

Nutzung automatisierter Videodatenanalyse (Optical Flow) zur Erfassung der Schmerzintensität bei Pferden mit Kolik

Dorothee Arneke¹, Dirk Barnewitz², Dominik Rueß³ und Heidrun Gehlen¹

¹ Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin

² Klinik für Pferde, fzm GmbH Bad Langensalza

³ Institut für Informatik, Fachbereich Computer Vision, Humboldt-Universität zu Berlin

Zusammenfassung: Schmerzerkennung und Graduierung beim Pferd stellen bis heute eine Herausforderung dar, da ein spezifischer Schmerzparameter fehlt und es bis heute keinen Goldstandard zur Schmerzerfassung beim Pferd gibt. Um das Wohlbefinden von Tieren zu untersuchen, wurden in den letzten Jahren immer häufiger videobasierte Methoden entwickelt, mit denen es anhand bestimmter Parameter möglich ist, objektiv und mit wenig Zeitaufwand das Wohlbefinden der Tiere zu beurteilen. In dieser klinischen Studie wurde ein Verfahren zur automatisierten Messung der Bewegungsintensität von Pferden mit akuter Kolik in einer Box mittels Videodaten angewandt. Die Korrelation der Bewegungsintensität mit Schmerz wurde dabei untersucht. Es wurden 10 Pferde herangezogen, die aufgrund von akuter Koliksymptomatik in eine Tierklinik überwiesen wurden. Es wurden von diesen Pferden am Tag der Einlieferung (Tag 1), am folgenden Tag (Tag 2) und am Tag der Entlassung (Tag 3) Videodaten über einen Zeitraum von einer Stunde erhoben und der Schmerzstatus mittels EQUUS-FAP erfasst. Anhand der Videodaten wurde die Bewegungsintensität mittels „Optical Flow“ bestimmt und in Korrelation zu dem erhobenen Schmerzscore gesetzt. An Tag 1, an dem die Pferde akute Koliksymptomatik zeigten, korrelierte die Bewegungsintensität gut mit dem Schmerzgrad ($r = 0,471$). An Tag 2 und Tag 3 zeigten sich moderate Korrelationen zwischen der Bewegungsintensität und dem Schmerzgrad ($r = 0,224$ bzw. $r = -0,354$). Unter akuten Schmerzen an Tag 1 zeigten die Pferde eine höhere Bewegungsintensität im Vergleich zu den Messzeitpunkten, an denen die Pferde geringere Schmerzintensitäten zeigten oder schmerzfrei waren (Tag 2 und Tag 3), allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant ($p = 0,891$). Außerdem wurde der Standort der Pferde in der Box ermittelt, um sogenannte „Heatmaps“ zu erstellen. Diese geben die Lokalisation der Pferde grafisch wieder. Es konnte damit festgestellt werden, dass sich die Pferde zumeist im hinteren Teil der Box aufhielten, unabhängig vom Schmerzgrad. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Bestimmung der Bewegungsintensität mittels „Optical Flow“ ein hilfreicher Parameter zur Erkennung von Schmerzen beim Pferd mit akuter Kolik nach dieser Studie zu sein scheint. Die Lokalisation der Pferde in der Box zeigte in dieser Studie nur eine geringe Aussage in Bezug auf den Schmerzgrad der Pferde. Limitierende Faktoren dieser Studie waren die geringe Patientenzahl und die unterschiedliche therapeutische Behandlung der Pferde. Zudem wäre eine Standardisierung der videobasierten Methode wünschenswert, so dass weitere Studien notwendig sind, um den Nutzen des hier dargestellten Verfahrens in Bezug auf die Schmerzerkennung zu überprüfen.

Schlüsselwörter: Pferd, Schmerzeinschätzung, Tierwohl, Kolik, Videodaten, Bewegungsintensität

Automated video data analysis (optical flow) for the recognition of pain intensity in horses with colic

To date, pain recognition and scoring in horses remain challenging, since there are no specific parameters to estimate pain and no gold standard is available. Video-based procedures have been developed in recent years to ensure an objective and less time-consuming method to access animal welfare based on given parameters. In this clinical study, a procedure has been used that automatically measures the movement intensity of horses in a box by using video data of horses with acute colic symptoms. Correlation between motion intensity and pain was examined. Ten horses were examined that had been transferred to the clinic with acute colic. Video data were gathered on the day of admission (day 1), the following day (day 2) and the day of discharge (day 3) over a period of one hour and the pain score was ascertained by EQUUS-FAP. Based on these video data, the intensity of motion was determined using „optical flow“ and then correlated with the pain score. On day 1, while the horses showed acute colic symptoms, there was a good correlation between the intensity of motion and pain score ($r = 0.471$). On day 2 and day 3, there were moderate correlations between the intensity of motion and pain score ($r = 0.224$ respectively $r = -0.354$). When the horses were in pain on day 1, they showed a higher motion intensity compared to timepoints when they showed less pain or were even painless (day 2 and day 3), although the differences were not significant ($p = 0.891$). It became also possible to determine and plot the location of horses in their boxes using automatic video data analysis. Therefore „heatmaps“ were gathered, which represent the location of the horses in their boxes. Thus, it was noticed that horses are most often located in the back of their boxes independently of the level of pain they are experiencing at the time. Summarizing the results, it can be said that the use of „optical flow“ to determine the motion intensity may be a helpful tool to recognize pain in horses with acute colic symptoms. The location of the horses in their boxes only gave less statement in relation to the pain score. Limitations of this study were the small number of patients and the different therapeutic treatments of the horses. In addition, standardization of the video-based method is desirable, thus further studies are necessary in order to better evaluate the relevance of pain assessment.

Keywords: equine, pain estimation, animal welfare, colic, video data, motion intensity

Zitation: Arneke D., Barnewitz D., Rueß D., Gehlen H. (2022) Nutzung automatisierter Videodatenanalyse (Optical Flow) zur Erfassung der Schmerzintensität bei Pferden mit Kolik. *Pferdeheilkunde* 38,535–543; DOI 10.21836/PEM20220605

Korrespondenz: Dr. Dorothee Arneke, Gemeinschaftspraxis Seedorf, Dorfstraße 18, 24589 Borgdorf-Seedorf; dorothee.arneke@gmx.de

Eingereicht: 11. April 2022 | **Angenommen:** 14. Juli 2022

Einleitung

Kolik beim Pferd ist der häufigste Notfall, für den Tierärzte zur Behandlung von Pferden gerufen werden (Curtis et al. 2019). Kolik beim Pferd beschreibt einen Symptomkomplex, der auf Schmerzen der Organe im Bauchraum zurückzuführen ist (Wiesner und Ribbeck 2002). Die meisten Koliken können medikamentös behandelt werden (Dukti und White 2009, Curtis et al. 2015). Je früher dieser schmerzhafte Zustand erkannt und behandelt wird, desto besser ist die Prognose für das Tier (Wormstrand et al. 2014). Somit können dem Tier bei frühzeitiger Schmerzerkennung Schmerzen und Leiden erspart werden. Schmerzerkennung und die Bestimmung des Schmerzgrads stellen nach wie vor eine große Herausforderung in der Tiermedizin dar, da Tiere ihren Schmerzzustand nicht wie die meisten Menschen verbal äußern können (Kästner 2000). Das Pferd als Fluchttier versucht Schmerzzustände zu kaschieren, um für seine natürlichen Feinde kein leichtes Opfer zu werden (Taylor et al. 2002). Um eine zuverlässige Schmerzerkennung vornehmen zu können, wurden in den letzten Jahren verschiedene Schmerzskalen entwickelt, die auf verhaltensbasierten Parametern, physiologischen Parametern und/oder der Mimik beruhen, wie beispielsweise der Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) und der Equine University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP) (van Loon und van Dierendonck 2015) oder der Horse Grimace Scale (HGS) (Costa et al. 2014). Auch wenn diese Skalen gute Übereinstimmungen zwischen verschiedenen Beobachtern zeigen, bleibt dennoch immer eine subjektive Komponente bestehen, die dazu führen kann, dass der Schmerzzustand nicht immer zuverlässig eingeschätzt wird. Zudem erfordern sie die Anwesenheit von fachkundigem Personal, so dass eine Trainingsphase für Laien notwendig ist, um sie anwenden zu können. Zwar wurden bereits auch objektiv messbare Parameter zur Schmerzvaluierung untersucht, wie beispielsweise biochemische Parameter (Raekallio et al. 1997, Lawson et al. 2020) oder die Herzfrequenzvariabilität (Rietmann et al. 2004, Gehlen et al. 2020), allerdings existiert bis heute kein Goldstandard zur objektiven Schmerzerkennung beim Pferd (de Grauw und van Loon 2016). Schmerz führt beim Pferd zur Veränderung des Verhaltens, so dass zur Schmerzerkennung die Beobachtung des Verhaltens als besonders relevant eingeschätzt wird (Bussièrès et al. 2008); allerdings kann die Anwesenheit von fremden Menschen das Schmerzverhalten beeinträchtigen, was zur Unterschätzung des Schmerzzustands führen kann (Price et al. 2003). Die subjektive Komponente, die störende Anwesenheit von fremden Menschen sowie die Notwendigkeit von Fachkunde können bei der Schmerzerfassung durch automatisierte Videodatenanalyse umgangen werden. Zudem sind solche Verfahren zeitsparend für den Anwender, und es können längere Zeitspannen komprimiert analysiert werden. Intelligente Videosysteme besitzen als Schlüsselfunktion die Fähigkeit, Menschen und Objekte automatisch zu erkennen und deren Handlung zu beschreiben (Borges et al. 2013). Die automatisierte Videodatenanalyse besteht aus mehreren Schritten. Zunächst müssen die Objekte, die von Interesse sind, im Bild erkannt werden, was durch die Modellierung der Umwelt erleichtert wird. Im nächsten Schritt der automatisierten Videodatenanalyse müssen die Objekte klassifiziert werden, das heißt, dass bestimmt wird,

um welche Art von Objekt es sich handelt. Das sogenannte „Tracking“ stellt den folgenden Schritt dar, welcher die Verfolgung des Objekts meint (Wang et al. 2003). Solche Systeme sind bis heute beispielsweise im Bereich der Sicherheitsüberwachung oder Verkehrsüberwachung gut etabliert (Borges et al. 2013). Auch im Bereich der Human- und Veterinärmedizin werden intelligente Videosysteme zunehmend eingesetzt, um Schmerzen zu erkennen. Während in der Humanmedizin verschiedene Datenbasen existieren, mit Hilfe derer es möglich ist, automatisierte Verfahren zur Schmerzerkennung vorrangig anhand der Mimik zu entwickeln (Brahnam et al. 2006, Walter et al. 2013, Costa et al. 2018), ist im Bereich der Veterinärmedizin die automatisierte Schmerzerkennung anhand von Videodaten noch nicht so weit fortgeschritten. Für Pferde gelang bereits eine automatisierte Einteilung von Bildern von Gesichtern von Pferden in schmerzhaft/schmerzfrei (Costa et al. 2018). Reulke et al. (2019) gelang eine automatisierte Detektion der Position und der Positionsorientierung von Pferden in der Box. Aufbauend darauf konnte anhand von Videodaten gezeigt werden, dass unter Schmerzen nach der Kastration weniger Bewegung vom Pferd ausgeht (Rueß et al. 2019). Zudem existiert bereits ein automatisiertes Verfahren zur Videodatenanalyse, mit dessen Hilfe es möglich ist, zwischen Pferden vor und nach einem schmerzhaften Stimulus zu unterscheiden (Broomé et al. 2019). Das automatisierte Tracking von Pferden in Videodaten gelang Kil et al. (2020) mit Hilfe gesetzter Key-Points, die dazu dienen sollen, das Verhalten von Pferden genauer zu analysieren. Somit sind bis heute die ersten Grundbausteine zur automatisierten Schmerzerkennung bei Pferden anhand von Videodaten gelegt.

Ziel dieser Studie war es zu überprüfen, ob die automatisierte Videodatenanalyse dazu geeignet ist Kolik bei Pferden automatisiert zu erkennen. Es sollte die Bewegungsintensität von Pferden mit Kolik als Schmerzparameter überprüft werden, ebenso wie die Lokalisation der Pferde in der Box. Zur Bestimmung der Bewegungsintensität wurde der „Optical Flow“ (OF) genutzt. Zur Visualisierung der Lokalisation der Pferde in der Box wurden sogenannte „Heatmaps“ (HM) erstellt.

Die vorliegende Arbeit entstand auf der Basis des Projektes „PainDetect – Sensorbasierte Systemlösung zur Früherkennung von Stress- und Schmerzzuständen bei Pferden“, gefördert im Rahmen des Netzwerkes „ProAnimalLife“ durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Dieser Artikel stellt die wichtigsten Ergebnisse einer Dissertation im Rahmen des Projekts an der Freien Universität Berlin dar.

Material, Tiere und Methoden

Patienten

In dieser Studie wurden 10 Pferde in der Zeit von Januar bis April 2020 untersucht. Alle Pferde wurden aufgrund von Koliksymptomatik vom Haustierarzt in die Tierklinik des fzmb GmbH Forschungszentrum für Medizintechnik und Biotechnologie, Bad Langensalza überwiesen. Unter den Pferden waren 6 Stuten und 4 Wallache unterschiedlichen Alters (3–27 Jahre), unterschiedlicher Rassen (8 Warmblüter, 1 Pony, 1 Paint Horse), unterschiedlicher Größe (142–172 cm) und unterschiedlichen Gewichts (350–660 kg) vertreten.

Behandlung der Pferde

Ein Teil der Pferde wurde durch den Haustierarzt 30–120 Minuten vor Ankunft in der Klinik medikamentös vorbehandelt. In den meisten Fällen handelte es sich um das Parasympathikolytikum N-Butylscopolamin und/oder das Analgetikum Metamizol. Drei Pferde erhielten das NSAID Flunixin-Meglumin, ein Pferd das NSAID Meloxicam. Zwei Pferde wurden mit dem Corticosteroid Dexamethason vorbehandelt. Nach Einlieferung in die Klinik (Tag 1) wurden alle Pferde einer allgemeinen Untersuchung und einer speziellen Kolikuntersuchung unterzogen. Die Hälfte der Pferde zeigte sich zu diesem Zeitpunkt im Habitus derart schmerzhaft, dass sie mit Analgetika, Spasmolytika und/oder Sedativa behandelt wurden. Das Spasmolytikum N-Butylscopolamin erhielten zu diesem Zeitpunkt drei der zehn Patienten. Fünf der untersuchten Pferde erhielten das langwirksame NSAID Flunixin-Meglumin, zwei Pferde erhielten Metamizol zur Analgesie. Das Sedativum Detomidin in Kombination mit dem Opioid Butorphanol wurde zwei der Patienten verabreicht, ein Pferd wurde mit Xylazin sediert, zwei der Pferde erhielten zusätzlich das Corticosteroid Dexamethason aufgrund seiner antiinflammatorischen Wirkung.

Im Anschluss wurden die Pferde auf eine Box gebracht und mit Ringer-Lösung infundiert. Nach 10 Minuten Adaptionsphase an die neue Umgebung wurden der Schmerzscore mittels EQUUS-FAP erhoben und die Pferde auf der Box für 1 Stunde gefilmt. Patient 8 wurde während der speziellen Kolikuntersuchung mit Xylazin behandelt. Bei diesem Patienten wurden erst 2 Stunden nach letzter Medikation der Schmerzscore erhoben und anschließend die Videoaufnahmen gestartet. Von den Pferden, die mit Detomidin behandelt wurden, wurden erst 4 Stunden nach letzter Medikation der Schmerzscore erhoben und die Videoaufnahmen gestartet. Bei Patient 1 war es allerdings nicht möglich den zeitlichen Abstand zu gewährleisten,



Abb. 1 Videoaufnahme eines Patienten aus der Perspektive der Kamera, welche unter der Decke in der Mitte der Box angebracht war. | Video recording of a patient from the perspective of the camera installed under the ceiling in the centre of the box.

da dieser mehrfach mit Detomidin behandelt wurde, so dass dieser Patient nach 30 Minuten nach Verabreichung von Detomidin beurteilt und gefilmt wurde. Am folgenden Tag (Tag 2) standen nur noch 5 Patienten zur Verfügung, da 5 Pferde aufgrund der Befunde bis zu diesem Zeitpunkt euthanasiert werden mussten. An diesem Tag wurden zwischen 8.00–10.00 Uhr morgens erneut der Schmerzscore erhoben und die Pferde anschließend für 1 Stunde gefilmt. Auch am Tag der Entlassung (Tag 3) wurde der Schmerzscore für jedes Pferd erhoben, diesmal zwischen 8.00–11.00 Uhr. Im Anschluss wurden die Pferde wiederum für 1 Stunde gefilmt.

Erheben des Schmerzscores

Um den Schmerzgrad zu bestimmen, wurde der EQUUS-FAP (van Loon und van Dierendonck 2015) genutzt. Dazu wurden die Pferde 10 Minuten lang beobachtet und die Mimik beurteilt. Es wurden dabei die Bewegung des Kopfes, die Augenlider, der Fokus, die Nüstern, das Maul, der Muskeltonus am Kopf, das Auftreten von Flehmen, das Auftreten von Gähnen, das Auftreten von Zähneknirschen und die Position der Ohren beurteilt. Nach EQUUS-FAP können sich 0 Punkte (nicht schmerzhaft) bis 18 Punkte (hochgradig schmerzhaft) für den Schmerzscore ergeben.

Videodatenanalyse

Es wurden drei Standard Full-HD Video-Kameras (Hartford Electronics GmbH, Dortmund, Deutschland) in den Boxen aufgehängt und installiert. Die Boxen waren 2,7 m breit, 5 m lang und 3,1 m hoch. Es befand sich jeweils eine Kamera auf ca. 120 cm Höhe mittig an der Seite der Box mit der Boxentür, um Gesichtsaufnahmen der Patienten aufzuzeichnen. Außerdem befand sich eine Kamera zur Aufzeichnung des gesamten Pferdes direkt unter der Decke an der der Tür gegenüberliegenden Seite. Eine weitere Kamera befand sich zentral direkt unter der Decke, um das ganze Pferd darzustellen (Abbildung 1). Die Aufzeichnungen wurden mit einem digitalen Videorecorder aufgenommen, indem 12 Bilder pro Sekunde festgehalten wurden. Im Anschluss wurden die Daten lokal gespeichert und an die Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Berlin, Deutschland, übermittelt und dort ausgewertet. Die Bilder wurden in der Länge gestaucht, so dass sich ein quadratischer Bildausschnitt ergab. Es wurden sogenannte „Key-Points“ zu Bildern von Pferden annotiert und die Erkennung dieser Key-Points mit Hilfe eines Deep Neural Networks „OpenPose“ (Cao et al. 2021) antrainiert. Zudem war es möglich mit Hilfe des Frameworks „TensorFlow“ (Abadi et al. 2016) eine Maske zu erstellen, die die Pixel im Bild wiedergibt, welche durch das Pferd beansprucht wurden. Diese Masken wurden ebenfalls antrainiert, mit dem Network „Deeplab v3“ (Chen et al. 2018). Um eine ausreichend gute Generalisierbarkeit zu gewährleisten, wurden für den Fall der Masken insgesamt ca. 4000 Bilder aus eigener Datenbasis der Humboldt-Universität Berlin und öffentlich zugänglichen Datenbanken antrainiert. Auch für die Key-Points wurden ca. 1200 Bilder aus beiden Datenbanken für das Training genutzt. Die Masken und Key-Points wurden dann mit vier Bildern pro Sekunde in den Videoaufnahmen dieser Studie detektiert.

Der „Kalman filter“ wurde angewendet, um die Ausreißer der Key-Points durch Filterung zu verbessern. Die erstellten Pferdmasken wurden aufsummiert für die jeweilige Stunde pro Tag und das Ergebnis der Summierung dann grafisch mittels Matplotlib (Hunter 2007) als Heatmap (HM) dargestellt. HMs repräsentieren zweidimensionale Zahlentabellen in einer Abbildung mit Schattierungen und Farben. Durch die Möglichkeit der intuitiven Interpretation eignen sich HMs gut dazu, komplexe Daten auf einen Blick zu visualisieren. Sie basieren im Wesentlichen auf einer Farbcodierung (Gehlenborg und Wong 2012). Somit kann diesen grafischen Abbildungen auf einen Blick die bevorzugte und weniger bevorzugte Position der Pferde in der Box entnommen werden. In dieser Studie wurde mit Hilfe der erstellten HMs grafisch aufgezeigt, an welchen Standorten sich die Patienten innerhalb der Box im Verhältnis zur Zeit befanden (Abbildung 3). Dies wurde farblich dargestellt, wobei blau eine geringe zeitliche Beanspruchung der Pixel bedeutet, über grün bis gelb bei mittlerer zeitlichen Beanspruchung. Die Farbe Rot wurde genutzt, um zeitlich stark beanspruchte Pixel zu kennzeichnen. Zudem wurde der Optical Flow (OF) mit Hilfe der Software OpenCV Version 4.4 (Bradski 2000) ermittelt. Der OF bezeichnet ein Vektorfeld, das ein Bild mit dem anderen verkettet und beschreibt die Bewegung von Punkten bzw. Pixeln zwischen Bildern (Watson und Ahumada 1985) und wird definiert als die offensichtliche Bewegung von Helligkeitsmustern im Bild (Horn und Schunck 1993). Wenn sich dreidimensionale Objekte bewegen, werden im Bild zweidimensionale Wege aufgezeichnet, und zwar für jeden Punkt/jedes Pixel im Bild, der/das von dem Objekt beansprucht wird. In Zusammenhang mit der Richtung und der Geschwindigkeit, mit der sich die Punkte/Pixel bewegen, entstehen Vektoren, die angeben, wie schnell und in welche Richtung sich ein Punkt/Pixel bewegt (Fleet und Weiss 2006). Zur Ermittlung des durchschnittlichen OFs jedes Patienten wurden die pixelweise ermittelten OFs (beschränkt auf die Pixel der Pferdemaske) zusammengeführt zu einem durchschnittlichen Bewegungsvektor, der grafisch als Zeitreihe mittels Matplotlib (Hunter 2007) dargestellt wurde (Abbildung 2) und im weiteren als OF beschrieben wird. Beim OF handelte es sich hier um eine Bewegungsanalyse, bei der ermittelt wurde, um welchen Prozentsatz der Pixel (insgesamt 2 073 600 Pixel) sich die Maske innerhalb einer Sekunde verschob. Somit ergab sich für die weitere Auswertung die Einheit %/s. Die Patienten 6 und 7 wurden während der Videoaufnahmen kurzzeitig aus der Box herausgeholt, so dass sich die Aufnahmen an Tag 1 für Patient 6 auf 44 Minuten verkürzten und für Patient 7 auf 25 Minuten. Der OF wurde für die Daten von der Kamera mit-

tig unter der Decke ermittelt und ausgewertet. Die generierten Graphiken der HMs wurden ebenfalls für die Videodaten der Kamera unter der Decke erstellt und um 90° gedreht, so dass die Graphiken so zu interpretieren waren, dass sich die Seite mit der Boxentür an der oberen Bildkante befand.

Alle Besitzer der Pferde wurden über die Studie im Vorfeld informiert und gaben ihr Einverständnis zu der Teilnahme. Die Studie wurde beim LAGeSo (Landesamt für Gesundheit und Soziales in Berlin angemeldet (Nr. StN 002/18).

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung der statistischen Ergebnisse erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms SPSS Statistics® (Version 25) und Microsoft® Excel 2016. Die Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für den OF und den Schmerzscore für die drei Messzeitpunkte ermittelt. Mittels deskriptiver Statistik wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft. Anschließend wurde mit Hilfe nicht parametrischer Tests mit Messwiederholungen untersucht, ob es innerhalb des OF sowie für den Schmerzscore bei den Patienten signifikante Unterschiede über den Messverlauf gab. Das Signifikanzniveau wurde festgelegt auf $p \leq 0,05$. Mit Hilfe der zweifaktoriellen Varianzanalyse für Ränge nach Friedman wurde spezifiziert, zwischen welchen Messzeitpunkten (Tag 1, Tag 2 und Tag 3) es signifikante Unterschiede gab. Die Signifikanzen wurden nach Bonferroni korrigiert. Um zu untersuchen, ob es Unterschiede innerhalb des OFs zwischen den konservativ behandelten Patienten und den chirurgisch behandelten oder euthanasierten Patienten gab, wurden die Daten erneut mittels deskriptiver Statistik auf Normalverteilung geprüft und mittels Levene-Test auf Homogenität getestet. Da die Daten normalverteilt waren und von Homogenität auszugehen war, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Um zu untersuchen, ob es einen linearen Zusammenhang zwischen dem OF und dem Schmerzscore zu den verschiedenen Messzeitpunkten gab, wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt. Dabei galt folgende Skala zur Beurteilung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman unabhängig vom Vorzeichen:

0 = kein linearer Zusammenhang; 0,01–0,2: schwach-linearer Zusammenhang; 0,21–0,4: moderat-linearer Zusammenhang; 0,41–0,6: gut-linearer Zusammenhang; 0,61–0,8: sehr gut-linearer Zusammenhang; 0,81–0,99: fast perfekter

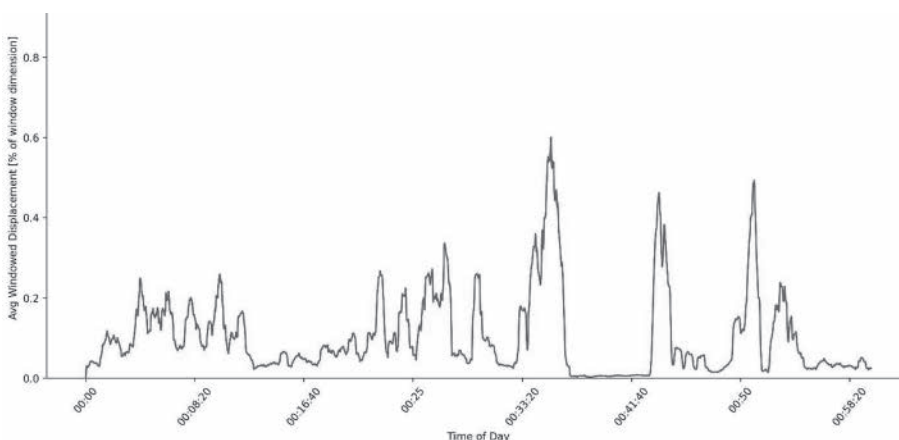


Abb. 2 Beispiel einer graphischen Darstellung des Optical Flows (OFs) als Zeitreihe. | Example of a graph showing the optical flow (OF) as a time series.

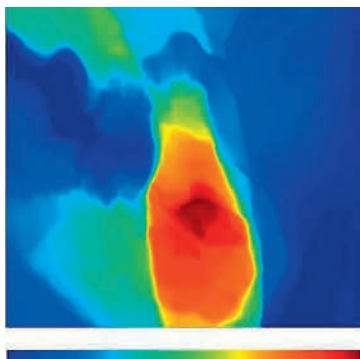


Abb. 3 Beispiel einer Heatmap, die die Lokalisation eines Pferdes in der Box zeigt. Die Tür der Box lag auf der oberen Seite der Darstellung, der hintere Teil der Box lag am unteren Teil der Darstellung. Der Farbbalken zeigt die Bedeutung der Farben in Bezug auf die Beanspruchung der Pixel durch die Pferdemaske. Der Farbbalken sollte von links nach rechts mit zunehmender Beanspruchung der Pixel gelesen werden. | Example of a "heatmap" (HM) showing the location of the horse in the box. The door of the box was on the upper edge of the illustration the back of the box was at the lower edge. The color bar represents how much the pixels in the image are used by the horse mask created. The color scale should be read from left to right expressing the increased use of the pixels.

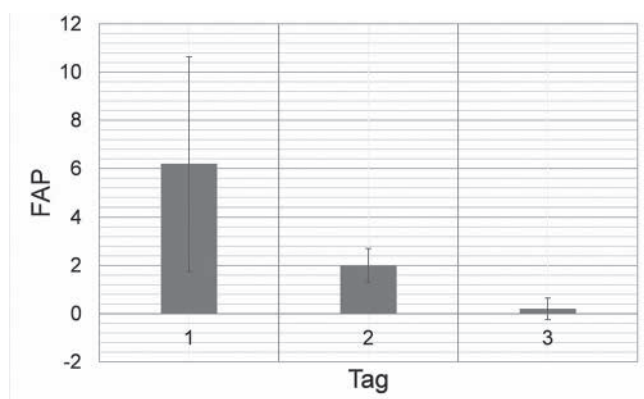


Abb. 4 Grafische Darstellung des Mittelwerts und der Standardabweichung des Schmerzscores (FAP) zu den verschiedenen Messzeitpunkten (Tag 1, 2 und 3). | Graphical representation of the mean values and standard deviations of the pain score (FAP) at the different measurement time points (day 1, day 2 and day 3).

linearer Zusammenhang; 1,0 = perfekter linearer Zusammenhang.

Die Heatmaps wurden rein deskriptiv beurteilt.

Ergebnisse

Von den zehn Pferden, die an der Studie teilnahmen, mussten 5 Pferde noch vor Tag 2 euthanasiert werden, sodass ab Tag 2 noch 5 Pferde zur Verfügung standen. Die Werte für den Schmerzscore jedes Patienten zu den drei Messzeitpunkten und der entsprechende Wert für den Optical Flow jedes Patienten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Auswertung des Schmerzscores

Der Schmerzscore nahm über den gesamten Messverlauf ab. Es ergab sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten mit $p=0,010$, allerdings zeigte sich in

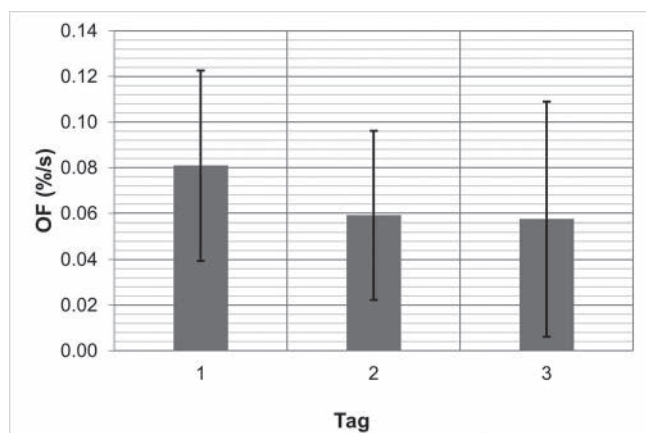


Abb. 5 Grafische Darstellung des Mittelwerts und der Standardabweichung des OFs in %/s zu den verschiedenen Messzeitpunkten (Tag 1, 2 und 3). | Graphical representation of the mean values and standard deviations of the OF in %/s at the different measurement times (day 1, day 2 and day 3).

Tab. 1 Behandlungsart und Schmerzscore der Patienten zu den drei unterschiedlichen Messzeitpunkten mit den entsprechenden Werten für den OF. | Type of treatment of the patients and their pain scores at the three different measurement time points with the corresponding values of the OF.

Pferd ID	Behandlung*	PS Tag 1	PS Tag 2	PS Tag 3	OF Tag 1	OF Tag 2	OF Tag 3
1	e	10	-	-	0,0457	-	-
2	c	3	2	0	0,1115	0,1207	0,1491
3	c	4	2	0	0,0863	0,0653	0,0368
4	e	10	-	-	0,0744	-	-
5	e	7	-	-	0,1048	-	-
6	c	3	3	1	0,0466	0,0353	0,0361
7	c	2	2	0	0,0578	0,0442	0,0258
8	e	15	-	-	0,1476	-	-
9	s, e	7	-	-	0,1235	-	-
10	c	1	1	0	0,0116	0,0303	0,0397

* e = euthanasiert, c = konservativ behandelt, s = chirurgisch behandelt; PS = Schmerzscore nach EQUUS-FAP; OF = Optical Flow
 * e = euthanized, c = conservative treatment, s = surgical treatment; PS = pain score in accordance with EQUUS-FAP; OF = optical flow

der Varianzanalyse für Ränge nach Friedman ein signifikanter Unterschied nur zwischen Tag 1 (Mittelwert $6,2 \pm 4,0$) und Tag 3 (Mittelwert $0,3 \pm 0,5$) mit $p = 0,022$. Zwischen Tag 1 und Tag 2 (Mittelwert $2,0 \pm 0,7$) und zwischen Tag 2 und Tag 3 war der Unterschied nicht signifikant mit $p > 0,999$ und $p = 0,119$ (Abbildung 4).

Auswertung des OF

An Tag 1 war der OF deutlich höher als an Tag 2 und Tag 3, allerdings waren die Unterschiede nicht signifikant mit $p = 0,819$. An Tag 1 lag der Mittelwert bei $0,08099 \pm 0,04161\%/s$, an Tag 2 lag der Mittelwert bei $0,05917 \pm 0,03690\%/s$ und an Tag 3 lag der Mittelwert bei $0,05751 \pm 0,05146\%/s$ (Abbildung 5).

Der OF war bei den chirurgisch behandelten oder euthanasierten Patienten höher (Mittelwert $0,0992 \pm 0,0401\%/s$) als bei den konservativ versorgten Patienten (Mittelwert $0,0628 \pm 0,0382\%/s$), allerdings war der Unterschied statistisch nicht signifikant mit $p = 0,180$ (Abbildung 6).

An Tag 1 zeigten der OF (Mittelwert $0,08099 \pm 0,04161\%/s$) und der Schmerzscore (Mittelwert $6,2 \pm 4,4$) einen Korrelationskoeffizienten von $0,471$. An Tag 2 zeigten der OF (Mittelwert $0,05917 \pm 0,03690\%/s$) und der Schmerzscore (Mittelwert $2,0 \pm 0,7$) einen Korrelationskoeffizienten von $0,224$. An Tag 3 korrelierten der OF (Mittelwert $0,05751 \pm 0,05146\%/s$) und der Schmerzscore (Mittelwert $0,2 \pm 0,5$) negativ miteinander bei einem Korrelationskoeffizienten von $-0,354$ (Abbildung 7).

Auswertung der Heatmaps

Tag 1: Bei der vergleichenden Analyse der HM konnte festgestellt werden, dass sich an Tag 1 alle Pferde vor allem im hinteren Teil der Box aufhielten. Die stärker schmerzhaften Patienten (Schmerzscore ≥ 7) zeigten sich außerdem zusätzlich

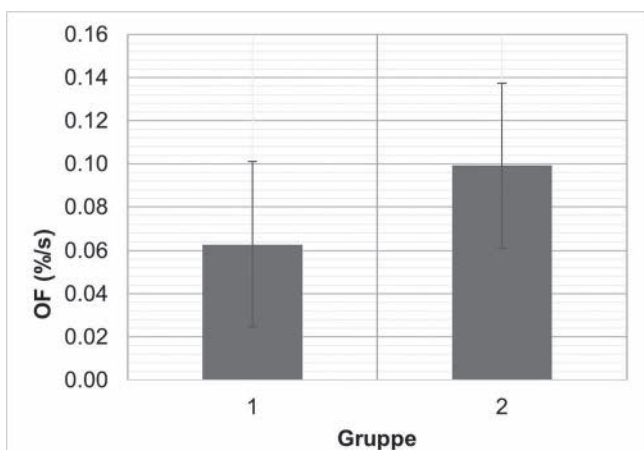


Abb. 6 Graphische Darstellung der Mittelwerte und der Standardabweichung des OFs in %/s für die konservativ behandelten Patienten (Gruppe 1) im Vergleich zu den Patienten, die chirurgisch behandelt wurden oder euthanasiert wurden (Gruppe 2). | Graphical representation of the mean value of the OFs in %/s for the conservatively treated patients (group 1) compared to the patients who had to be surgically treated or euthanized (group 2).

vermehrt in der Mitte der Box. Während die weniger schmerzhaften Pferde sich auch für kürzere Zeiten an mehreren unterschiedlichen anderen Stellen der Box aufhielten, blieben die stärker schmerzhaften Pferde (Schmerzscore ≥ 7) eher an nur 1–2 Standorten (mittig/hinten). Besonders die Patienten mit einem Schmerzscore von 2–3 zeigten unruhigere Heatmaps, so dass den Heatmaps zu entnehmen ist, dass sich diese Pferde für kürzere Zeit an unterschiedlichen Standorten aufhielten.

Tag 2: Für die Heatmaps an Tag 2 war festzustellen, dass sich alle 5 Pferde eher im hinteren Teil der Box aufhielten, bei einem eher geringen Schmerzscore (Schmerzscore = 1 bis 3). Je höher der Schmerzscore war, desto mehr wurden unterschiedliche Pixel durch das Pferd beansprucht, was mehrere Standorte der Pferde in der Box widerspiegelt.

Tag 3: An Tag 3 zeigten sich die 5 Pferde (außer Patient 2) eher im hinteren Teil der Box bei einem maximalen Schmerzscore von 1.

Diskussion

In dieser Studie wurde ein Verfahren zur automatisierten Videodatenanalyse bei Pferden mit Schmerzen aufgrund von Kolik angewendet und die Bewegungsdaten in Korrelation zu dem Schmerzgrad gestellt. Die Schmerzintensität wurde mit Hilfe des EQUUS-FAP Scoring Systems ermittelt. Solche Skalen haben sich für die Beurteilung der Schmerzintensität bewährt (van Dieendonck und van Loon 2016, Costa et al. 2016). Die ideale Methode zur Schmerzerkennung beim Pferd soll wenig störanfällig, nichtinvasiv, direkt am Pferd durchführbar, mit sofortigem Ergebnis und kostengünstig sein (Lebelt et al. 2017). Die hier angewandte Videodatenanalyse erfüllt die genannten Kriterien und ist zudem auch von Laien leicht auszuwerten, zeitsparend und erfordert keine Anwesenheit von fremdem Personal am

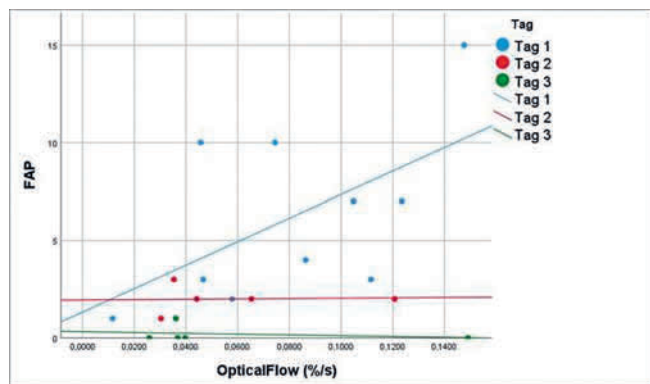


Abb. 7 Grafische Darstellung der Korrelation des Schmerzscore und dem OF in %/s an Tag 1, Tag 2, und Tag 3. Die blauen Punkte zeigen die Ergebnisse der Patienten an Tag 1, die roten Punkte zeigen die Ergebnisse der Patienten an Tag 2 und die grünen Punkte zeigen die Ergebnisse der Patienten an Tag 3. Für die entsprechenden Verbindungslinien wurde dieselbe Farbe gewählt. | Graphical representation of the correlation between the pain score and the OF in %/s on day 1, day 2 and day 3. The points colored in blue represent the results of the patients of day 1, the red-colored points represent the results of the patients on day 2 and the green points represent the results of the patients on day 3. For the corresponding reference lines the same colors are used for each day.

Pferd, was zum Kaschieren des Schmerzverhaltens durch das Pferd führen kann (Gleerup und Lindegaard 2016). In dieser Studie wurden automatisierte Verfahren zur Erstellung von HMs und zur graphischen Darstellung des OFs angewendet, so dass der Anwender ohne weiteren Zeitaufwand und auf einen Blick die Lokalisation der Pferde in der Box und die Bewegungsintensität innerhalb des gemessenen Zeitraums erfahren kann. Zu beachten ist, dass die Bewertung der Bewegungsintensität zuverlässiger ist, je länger der Zeitraum der Analyse ist (Rueß et al. 2019). In dieser Studie wurde eine Länge der verwendeten Videodaten von einer Stunde herangezogen, um einen konkreten Bezug zu dem zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Schmerzgrad stellen zu können, der sich bei der Auswertung längerer Sequenzen möglicherweise zwischenzeitlich ändert. Zudem war es nicht möglich, Videodaten auszuwerten, die während der Dunkelheit aufgenommen wurden, da Kameras verwendet wurden, die keine ausreichende Bildqualität bei Dunkelheit liefern. Für den Zeitraum von einer Stunde konnte in dieser Studie eine ausreichende Helligkeit garantiert werden. Es stellte sich bei der Auswertung der Videodaten heraus, dass die Detektion der Key-Points sehr vielversprechend ist, da man damit genau den Ort und die Ausrichtung des Pferdes bestimmen kann und auch das Verhalten des Pferdes genauer analysieren kann (Kil et al. 2020). Allerdings ist sie stark abhängig von der Sichtbarkeit des gesamten Pferdes im Bild, was in den Videodaten dieser Studie nicht immer gegeben war. Umgangen werden kann das Problem der Dunkelheit und der eingeschränkten Sichtbarkeit des gesamten Pferdes möglicherweise durch eine andere Wahl des Kameramodells, wie beispielsweise Weitwinkelkameras oder Infrarotkameras (Zhou et al. 2017, Kil et al. 2020). Die Auswertung der Mimik mittels automatisierter Videodatenanalyse gelang nicht, da die Kamera zur Aufnahme der Gesichter der Pferde fest angebracht war und sich die Pferde zu stark bewegten, um kontinuierliche Aufnahmen der Mimik zu erfassen. Auch diese Schwierigkeit könnte eventuell mit anderen Kameras umgangen werden, was durchaus als lohnend erscheint, da die Mimik des Pferdes gut geeignet ist, um den Schmerzgrad und andere Emotionen zu erfassen (Costa et al. 2014, van Loon und van Dierendonck 2015, Wathan et al. 2015). Der OF wurde in %/s angegeben, was bis heute kein gebräuchliches Maß für den OF ist. Diese Einheit wurde gewählt, um die Bewegungsintensität mit Zahlen zu belegen. Zudem hängt dieses Maß auch von der Größe des Pferdes ab, da die Maske mit zunehmender Größe/Breite des Pferdes auch mehr Pixel beansprucht. Daher sind die Zahlen immer in Relation zur Pferdegröße und dem Bildausschnitt zu sehen. Auch in den Heatmaps hängen die beanspruchten Pixel und damit die durch das Pferd genutzten Areale von der Größe des Pferdes ab. Je größer/breiter das Pferd, desto größer die Areale mit dem angegebenen Aufenthalt des Pferdes. Andere Möglichkeiten die Bewegungsintensität von Pferden zu messen sind beispielsweise die Akzelerometrie und das Tracking per GPS (Hampson et al. 2010, Burla et al. 2014). Diese Verfahren haben allerdings wiederum den Nachteil, dass Geräte direkt am Pferd angebracht werden müssen, die einen störenden Einfluss auf das Pferd haben können. Die Videodaten wurden zu einem Zeitpunkt größtmöglicher Ruhe im Stall aufgenommen. Dennoch konnte die Anwesenheit von fremdem Personal im Stall nicht immer ausgeschlossen werden, so dass es möglicherweise zu erhöhter Bewegungsaktivität durch menschliche Gegenwart im Stall kam. Ebenso konnte die Kommunikation der Pferde mit Artgenossen in den Nachbarboxen nicht vollkommen ausgeschlossen werden, so dass dies mögli-

cherweise ebenfalls zu erhöhter Bewegungsaktivität führte. Auch die Futter- und Wasseraufnahme kann die Daten verfälschen, allerdings wurde auf den Videoaufnahmen keine dieser Handlungen beobachtet. Inwieweit verabreichte Medikamente die Bewegungsintensität beeinflusst haben, bleibt unklar. Besonders α -2-Agonisten wie Detomidin und Xylazin beeinträchtigen das Verhalten und reduzieren die Bewegungsaktivität durch ihre sedative und muskelrelaxierende Wirkung (Freeman und England 2000, Daunt und Steffey 2002). Aus diesem Grund wurden die Videoaufnahmen von den Pferden, die mit α -2-Agonisten sediert wurden, erst gestartet, nachdem davon auszugehen war, dass die Wirkdauer überschritten war. Allerdings konnte für Patient 1 dieser zeitliche Abstand aufgrund der starken Schmerzhaftigkeit nicht gewährleistet werden, so dass die Bewegungsintensität an Tag 1 für diesen Patienten möglicherweise unterschätzt wurde. Ein limitierender Faktor dieser Studie stellt die geringe Patientenzahl dar, so dass es wünschenswert wäre, die Anwendung der videobasierten Methode bei weiteren Patienten zu überprüfen. Zudem wäre es wünschenswert, die Methode weiter zu standardisieren, um die Anwendung in anderen Umgebungen möglich und vergleichbar zu machen.

An Tag 1, an dem die Pferde aufgrund akuter Koliksymptomatik in die Klinik eingeliefert wurden, korrelierte die Bewegungsintensität gut mit dem Schmerzgrad ($r=0,471$), der einen Mittelwert von $6,2 \pm 4,4$ zeigte. Am darauffolgenden Tag und am Tag der Entlassung zeigte sich nur noch eine moderate Korrelation zwischen der Bewegungsintensität und dem Schmerzgrad, wobei an diesen beiden Tagen alle noch übrigen Pferde als schmerzfrei einzustufen waren bei einem maximalen Schmerzscore von 3 an Tag 2 und einem maximalen Schmerzscore von 1 an Tag 3, da der Cut-off Wert für den EQUUS-FAP bei 4 liegt (van Loon und van Dierendonck 2015). Dies weist daraufhin hin, dass unter akuter Koliksymptomatik die Bewegungsintensität ein geeignetes Maß für den Schmerzgrad sein könnte. Über den gesamten Messverlauf nahm die Bewegungsintensität ab. Die Ergebnisse unterschieden sich allerdings nicht signifikant voneinander, was möglicherweise an der geringen Anzahl der Patienten lag. Ähnlich verhielt sich der Schmerzgrad, der ebenfalls über den gesamten Messverlauf abfiel, so dass auch dies zu der Schlussfolgerung führen könnte, dass Pferde mit akuten viszeralen Schmerzen höhere Bewegungsintensitäten zeigen als Pferde in einem schmerzfreien Zustand. Die Pferde, die chirurgisch behandelt oder euthanasiert werden mussten, zeigten eine höhere Bewegungsintensität, als die Pferde, die konservativ behandelt werden konnten, allerdings war der Unterschied nicht signifikant, so dass aus dieser Studie nicht klar hervorgeht, ob die Messung der Bewegungsintensität bei der Entscheidung, ob eine OP notwendig ist oder nicht, hilfreich sein kann. Diese Ergebnisse widersprechen den Ergebnissen anderer Studien, die bei Pferden unter Schmerzen eine geringere Bewegungsintensität feststellten (Price et al. 2003, Pritchett et al. 2003, Rueß et al. 2019). Allerdings ist zu beachten, dass in den genannten Studien die Pferde unter einer anderen Art von Schmerz (postoperativem Schmerz) standen und die Art des Schmerzes bei der Schmerzüßerung eine wichtige Rolle spielt (Ashley et al. 2010).

Nach dieser Studie gibt die Lokalisation der Pferde in der Box lediglich ungenaue Hinweise auf die Schmerzhaftigkeit. Zu allen drei Messzeitpunkten zeigten sich die Pferde vermehrt im hinteren Teil der Box. Die stärker schmerzhaften Pferde

(Schmerzscore ≥ 7) zeigten sich an Tag 1 allerdings auch vermehrt in der Mitte der Box. Diese Beobachtung widerspricht ebenfalls den Beobachtungen vorangegangener Studien (Price et al. 2003, Jones et al. 2007), allerdings gilt auch hier, dass in diesen Studien eine andere Art von Schmerz untersucht wurde. Die HMs von Tag 2 und Tag 3 zeigen die Pferde für kürzere Zeiten an verschiedenen Standorten in der Box. Dies könnte darauf hindeuten, dass mehr Interesse an der Umgebung der nicht schmerzhaften Pferde bestand als bei den Pferden unter akuter Kolik, was sich wiederum mit den Ergebnissen von Price et al. (2003) und Pritchett et al. (2003) deckt, die bei gesunden Pferden die Interaktion mit Artgenossen und Verfolgung des Geschehens im Stall beobachteten.

Schlussfolgerung

In der hier vorliegenden Studie wurde eine Methode der automatisierten Videodatenanalyse mittels Optical Flow zur objektiven Messung der Bewegungsintensität und zur Darstellung der Lokalisation der Pferde in der Box mittels Heatmaps bei Pferden mit akuter Kolik angewendet. Mit Hilfe der Videodaten gelangen das Tracking der Pferde, sowie die Angabe und Darstellung der Bewegungsintensität und die Darstellung der Lokalisation in der Box der untersuchten, an akuter Kolik erkrankten Pferde. Da in dieser Studie die Bewegungsintensität eine gute Korrelation mit dem Schmerzgrad an Tag 1 zeigte, scheint sie möglicherweise als Indikator für akute Schmerzen im Bauchraum geeignet zu sein. Die Heatmaps erscheinen weniger hilfreich in Hinsicht auf das Erkennen des Vorhandenseins von Schmerz. Damit zeigt diese Studie, dass eine halbautomatisierte Schmerzerkennung bei akuten viszeralen Schmerzen anhand von Videodaten möglich sein könnte. Somit könnte sie durch die Möglichkeit der Erkennung von Schmerzen dazu beitragen, für das Wohlbefinden von Pferden durch die Erkennung der Notwendigkeit einer Therapie zu sorgen, da dem Tier weitere Schmerzen erspart werden können oder zumindest Linderung verschafft werden kann. Die Videodatenanalyse hat im Vergleich zur manuellen Erhebung von Schmerzscores einige Vorteile. Beispielsweise beansprucht sie keine Zeit von Personal, sie kann objektiv, nicht invasiv und in Echtzeit durchgeführt werden. Allerdings benötigt man eine relativ lange Beobachtungszeit. Sollte sich auch in weiteren Studien die Bewegungsintensität als Schmerzindikator bei Pferden mit akuter Kolik als geeignet erweisen, wäre es aufbauend auf dieser Arbeit wünschenswert, der Bewegungsintensität einen konkreten Schmerzgrad zuzuordnen und somit eine vollautomatisierte Messung der Schmerzintensität anhand von Videodaten zu etablieren.

Literatur

- Abadi M., Barham P., Chen J., Chen Z., Davis A., Dean J., Devin M., Ghemawat S., Irving G., Isard M. (2016) TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning. 12th Symp. Oper. Syst. Des. Implement. 2016, 265–283; DOI 10.48550/arXiv.1605.08695
- Ashley F. H., Waterman-Person A. E., Whay H. R. (2010) Behavioural assessment of pain in horses and donkeys: application to clinical practice and future studies. *Equine Vet. J.* 37, 565–575; DOI 10.2746/042516405775314826
- Borges P. V. K., Conci N., Cavallaro A. (2013) Video-based human behavior understanding: A survey. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 23, 1993–2008; DOI 10.1109/TCSVT.2013.2270402
- Bradski G. (2000) The OpenCV Library. *Dr. Dobbs Journal of Software Tools* 25, 122–125
- Brahnam S., Chuang C. F., Shih F. Y., Slack M. R. (2006) SVM classification of neonatal facial images of pain. *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)* 3849 LNAI, 121–128; DOI 10.1007/11676935_15
- Broomé S., Gleeurup K. B., Andersen P. H., Kjellström H. (2019) Dynamics Are Important for the Recognition of Equine Pain in Video. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 12659–12668; DOI 10.1109/CVPR.2019.01295
- Burla J.-B., Ostertag A., Schulze-Westerath H., Hillmann E. (2014) Gait determination and activity measurement in horses using an accelerometer. *Comput. Electron. Agric.* 102, 127–133; DOI 10.1016/j.compag.2014.01.001
- Bussiéres G., Jacques C., Lainay O., Beauchamp G., Leblond A., Cadoré J. L., Desmaizières L. M., Cuvellez S. G., Troncy E. (2008) Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Res. Vet. Sci.* 85, 294–306; DOI 10.1016/j.rvsc.2007.10.011
- Cao Z., Hidalgo G., Simon T., Wei S. E., Sheikh Y. (2021) OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 43, 172–186; DOI 10.1109/TPAMI.2019.2929257
- Chen L., Papandreou G., Kokkinos I., Murphy K., Yuille A. L. (2018) DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 40, 834–848; DOI 10.1109/TPAMI.2017.2699184
- Costa E., Minero M., Lebelt D., Stucke D., Canali E., Leach M. C. (2014) Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a pain assessment tool in horses undergoing routine castration. *PLoS One* 9, 1–10; DOI 10.1371/journal.pone.0092281
- Costa E. D., Stucke D., Dai F., Minero M., Leach M. C., Lebelt D. (2016) Using the horse grimace scale (HGS) to assess pain associated with acute laminitis in horses (*Equus caballus*). *Animals* 6; DOI 10.3390/ani6080047
- Costa E. D., Pasuzzo R., Leach M. C., Dai F., Lebelt D., Vantini S., Minero M. (2018) Can grimace scales estimate the pain status in horses and mice? A statistical approach to identify a classifier. *PLoS One* 13, 1–17; DOI 10.1371/journal.pone.0200339
- Curtis L., Burford J. H., Thomas J. S. M., Curran M. L., Boyes T. C., England G. C. W., Freeman S. L. (2015) Prospective study of the primary evaluation of 1016 horses with clinical signs of abdominal pain by veterinary practitioners, and the differentiation of critical and non-critical cases. *Acta Vet. Scand.* 57, 1–12; DOI 10.1186/s13028-015-0160-9
- Curtis L., Burford J. H., England G. C. W., Freeman S. L. (2019) Risk factors for acute abdominal pain (colic) in the adult horse: A scoping review of risk factors, and a systematic review of the effect of management-related changes. *PLoS ONE* 14, 1–32; DOI 10.1371/journal.pone.0219307
- Daunt D. A., Steffey E. P. (2002) Alpha-2 adrenergic agonists as analgesics in horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 18, 39–46; DOI 10.1016/S0749-0739(02)00004-4
- de Grauw J. C., van Loon J. P. A. M. (2016) Systematic pain assessment in horses. *Vet. J.* 209, 14–22; DOI 10.1016/j.tvjl.2015.07.030
- Dukti S., White N. A. (2009) Prognosticating Equine Colic. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 25, 217–231; DOI 10.1016/j.cveq.2009.04.004
- Fleet D., Weiss Y. (2006) Optical flow estimation. *Handb. Math. Model. Comput. Vis.* 1, 237–257; DOI 10.1007/0-387-28831-7_15
- Freeman S. L., England G. C. W. (2000) Investigation of romifidine and detomidine for the clinical sedation of horses. *Vet. Rec.* 147, 507–511; DOI 10.1136/vr.147.18.507
- Gehlen H., Jaburg N., Merle R., Winter J. (2020) Welchen Beitrag leistet die Messung der Herzfrequenzvariabilität zur Beurteilung von Schmerzzuständen beim Pferd? *Pferdeheilkunde* 36, 422–429; DOI 10.21836/PEM20200505
- Gehlenborg N., Wong B. (2012) Points of view: Heat maps. *Nat. Methods* 9, 213; DOI 10.1038/nmeth.1902
- Gleeurup K. B., Lindegaard C. (2016) Recognition and quantification of pain in horses: A tutorial review. *Equine Vet. Educ.* 28, 47–57; DOI 10.1111/eve.12383

- Hampson B. A., Morton J. M., Mills P. C., Trotter M. G., Lamb D. W., Pollitt C. C. (2010) Monitoring distances travelled by horses using GPS tracking collars. *Aust. Vet. J.* 88, 176–181; DOI 10.1111/j.1751-0813.2010.00564.x
- Horn B. K. P., Schunck B. G. (1993) Determining optical flow: a retrospective. *Artif. Intell.* 59, 81–87; DOI 10.1016/0004-3702(93)90173-9
- Hunter J. D. (2007) Matplotlib: A 2D graphics environment. *Comput. Sci. & Eng.* 9, 90–95; DOI 10.1109/MCSE.2007.55
- Jones E., Viñuela-Fernandez I., Eager R. A., Delaney A., Anderson H., Patel A., Robertson D. C., Allchorne A., Sirinathsinghi E. C., Milne E. M. (2007) Neuropathic changes in equine laminitis pain. *Pain* 132, 321–331; DOI 10.1016/j.pain.2007.08.035
- Kästner S. (2000) Empfinden Tiere Schmerzen? *UZH Mag.* 4, 33–35
- Kil N., Ertelt K., Auer U. (2020) Development and Validation of an Automated Video Tracking Model for Stabled Horses. *Animals* 10, 2258 DOI 10.3390/ani10122258
- Lawson A. L., Opie R. R., Stevens K. B., Knowles E. J., Mair T. S. (2020) Application of an equine composite pain scale and its association with plasma adrenocorticotropic hormone concentrations and serum cortisol concentrations in horses with colic. *Equine Vet. Educ.* 32, 20–27; DOI 10.1111/eve.13143
- Lebelt D., Auer U., Bettschart-Wolfensberger R., Hopster K., Lonita J. C., Kästner S., Mus P. O., Roscher K. (2017) Schmerzerkennung und-messung beim Pferd. *Prakt. Tierarzt* 98, 926–934; DOI 10.2376/0032-681X-17-63
- Price J., Catriona S., Welsh E. M., Waran N. K. (2003) Preliminary evaluation of a behaviour-based system for assessment of post-operative pain in horses following arthroscopic surgery. *Vet. Anaesth. Analg.* 30, 124–137; DOI 10.1046/j.1467-2995.2003.00139.x
- Pritchett L. C., Ulibarri C., Roberts M. C., Schneider R. K., Sellon D. C. (2003) Identification of potential physiological and behavioral indicators of postoperative pain in horses after exploratory celiotomy for colic. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 80, 31–43; DOI 10.1016/S0168-1591(02)00205-8
- Raekallio M., Taylor P. M., Bennett R. C. (1997) Preliminary investigations of pain and analgesia assessment in horses administered phenylbutazone or placebo after arthroscopic surgery. *Vet. Surg.* 26, 150–155; DOI 10.1111/j.1532-950X.1997.tb01478.x
- Reulke R., Rueß D., Deckers N., Barnewitz D., Wieckert A., Kienapfel K. (2019) Analysis of Motion Patterns for Pain Estimation of Horses. Proceedings of AVSS 15th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, 0–5; DOI 10.1109/AVSS.2018.8639330
- Rietmann T. R., Stauffacher M., Bernasconi P. (2004) The association between heart rate, heart rate variability, endocrine and behavioural pain measures in horses suffering from laminitis. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 51, 218; DOI 10.1111/j.1439-0442.2004.00627.x
- Rueß D., Rueß J., Hümmer C., Deckers N., Migal V., Kienapfel K., Wieckert A., Barnewitz D., Reulke R. (2019) Equine Welfare Assessment: Horse Motion Evaluation and Comparison to Manual Pain Measurements. Proceedings of the Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 11854, 56–169; DOI 10.1007/978-3-030-34879-3_13
- Taylor P. M., Pascoe P. J., Mama K. R. (2002) Diagnosing and treating pain in the horse. Where are we today? *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 18, 1–19; DOI 10.1016/S0749-0739(02)00009-3
- van Dierendonck M. C., van Loon J. P. A. M. (2016) Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A validation study. *Vet. J.* 216, 175–177; DOI 10.1016/j.tvjl.2016.08.004
- van Loon J. P. A. M., van Dierendonck M. C. (2015) Monitoring acute equine visceral pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A scale-construction study. *Vet. J.* 206, 356–36; DOI 10.1016/j.tvjl.2015.08.023
- Walter S., Gruss S., Ehleiter H., Tan J., Traue H. C., Crawcour S., Werner P., Al-Hamadi A., Andrade A. O., Da Silva G. M. (2013) The biovid heat pain database: Data for the advancement and systematic validation of an automated pain recognition. 2013 IEEE Int. Conf. Cybern. CYBCONF, 128–131; DOI 10.1109/CYBCONF.2013.6617456
- Wang L., Hu W., Tan T. (2003) Recent developments in human motion analysis. *Pattern Recognit.* 36, 585–601; DOI 10.1016/S0031-3203(02)00100-0
- Wathan J., Burrows A. M., Waller B. M., McComb K. (2015) EquiFACS: The equine facial action coding system. *PLoS One* 10, 1–35; DOI 10.1371/journal.pone.0131738
- Watson A. B., Ahumada A. J. (1985) Model of human visual-motion sensing. *J. Opt. Soc. Am. A* 2, 322–342; DOI 10.1364/JOSAA.2.000322
- Wiesner E., Ribbeck R. (2002) *Kolik., Lexikon der Veterinärmedizin, Wiesner, E. and R. Ribbeck, Enke-Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, Deutschland, 4. Auflage: 201*
- Wormstrand B. H., Ihler C. F., Diesen R., Krontveit R. I. (2014) Surgical treatment of equine colic - a retrospective study of 297 surgeries in Norway 2005–2011. *Acta Vet. Scand.* 56, 1–9; DOI 10.1186/1751-0147-56-38
- Zhou C., Zhang B., Lin K., Xu D., Chen C., Yang X., Sun C. (2017) Near-infrared imaging to quantify the feeding behavior of fish in aquaculture. *Comput. Electron. Agric.* 135, 233–241; DOI 10.1016/j.compag.2017.02.013