

Aus dem Department für Kleintiere und Pferd
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Departmentleiter: O.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Joerg Aurich, Dipl.ECAR

Graf Lehndorff Institut für Pferdewissenschaften
Gemeinsame Einrichtung der Veterinärmedizinischen Universität Wien und des
Brandenburgischen Haupt- und Landgestüt Neustadt/Dosse
Leiterin: Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Christine Aurich, Dipl.ECAR

**Effekte einer verlängerten Photoperiode mittels Equilume
Lichtmasken auf die kardiovaskulären Adaptionsmechanismen der
Stute und auf das fetale Wohlergehen während der Trächtigkeit**

Diplomarbeit

zur Erlangung der Würde einer MAGISTRA MEDICINAE VETERINARIAE
der Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Lydia Dietachmayr

Wien, im Mai 2021

Betreuerin:

Priv.-Doz. Dr.med.vet. Christina Nagel, Dipl. ECAR

Graf-Lehndorff Institut für Pferdewissenschaften

Gutachterin:

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Christine Aurich Dipl.ECAR

Graf-Lehndorff Institut für Pferdewissenschaften

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich einen besonderen Dank an meinen Freund und meine Familie aussprechen, die mich während meines Studiums und besonders in der intensiven Abschlussphase während der Anfertigung dieser Diplomarbeit großartig unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank meiner Betreuerin Priv.-Doz. Dr.med.vet. Christina Nagel, Dipl. ECAR. Vielen Dank für die tolle Begleitung, die strukturierte Anleitung, deine tatkräftige Unterstützung, sowie für die zahlreichen, hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit.

Weiteres möchte ich mich bei Frau Prof. Aurich als Leiterin des Graf Lehndorff-Instituts, sowie bei ihrem gesamtem Team bedanken. Mein spezieller Dank geht an Anne Lutzer, da ohne ihrer Mitarbeit meine Abschlussarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ein besonderer Dank gilt dem Brandenburgischen Haupt- und Landgestüt Neustadt/Dosse, im speziellen Ronny Voigt und seinem Team, ohne deren tatkräftige Unterstützung diese Arbeit nicht entstehen hätte können.

Ebenfalls möchte ich mich bei der Firma Equilume bedanken, für die Bereitstellung der Lichtmasken, die gute Zusammenarbeit und den technischen Support. Herzlichen Dank speziell an Dr. Barbara Murphy für ihre Hilfsbereitschaft und ihren fachlichen Beistand.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Material und Methode.....	4
2.1.	Tierversuchsrechtliche Genehmigung	4
2.2.	Tiere.....	4
2.3.	Versuchsprotokoll	5
2.4.	Lichtprogramm	6
2.5.	Fellanalyse.....	6
2.6.	Fetomaternale Elektrokardiographie, sowie Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilitätsanalyse	7
2.7.	Blutanalyse	7
2.8.	Blutdruckmessung	8
2.9.	Körpergewicht.....	8
2.10.	Innere Körpertemperatur	8
2.11.	Statistische Auswertung	8
3.	Ergebnisse.....	9
4.	Diskussion	14
5.	Zusammenfassung	17
6.	Summary	19
7.	Abkürzungsverzeichnis.....	20
8.	Literaturverzeichnis	21
9.	Abbildungsverzeichnis	24
10.	Tabellenverzeichnis	25

1. Einleitung

Viele Säugetierarten, die in einer Umgebung mit einer ausgeprägten jahreszeitlichen Temperatur- und Nährstoffveränderung leben, passen ihr Fortpflanzungsverhalten an ihre Umgebungsbedingungen an (Guerin und Wang, 1994; Kubiak et al., 1987). Die Reproduktionsaktivität dieser Tierarten ist somit saisonal, d.h. auf einen bestimmten Zeitabschnitt des Jahres beschränkt. Pferde haben eine natürliche Fortpflanzungszeit, die sich auf der Nordhalbkugel von April bis September erstreckt, eine Zeit, die mit längerer Tageslichtlänge, gesteigertem Graswachstum und somit höherem Nahrungsangebot und milderem Klima zusammenfällt (Hughes et al., 1975). Die zu- bzw. abnehmende Tageslichtlänge während des Jahres ist dabei der größte und konstanteste Indikator für die Jahreszeit im geophysikalischen Zyklus (Guerin und Wang, 1994). Lange Tage und kurze Nächte stimulieren die Fortpflanzungsaktivität bei zu den „long-day-breeder“ gehörenden Spezies, wie dem Pferd (Palmer et al., 1982). Die Saisonalität der Stute wird durch einen endogenen Rhythmus gesteuert, der durch die natürliche Photoperiodik moduliert wird und es so ermöglicht, die jahreszeitlichen Umweltveränderungen zu antizipieren und sich rechtzeitig anzupassen. Stuten sind saisonal polyöstrisch, d. h., im Winter erfahren die meisten Stuten eine Periode ovarieller Azyklie. Erst im Frühjahr wird mit zunehmender Tageslänge die zyklische Ovarialaktivität wieder aufgenommen (Aurich, 2009). Die zunehmende Tageslichtlänge unterdrückt die Melatoninsekretion aus der Epiphyse, so dass der durch Melatonin entstehende hemmende Effekt auf die Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse entfällt (Aurich, 2009). Über eine Abnahme der sezernierten Melatoninmenge wird ein Anstieg der Gonadotropin-Releasing-Hormon Konzentration und somit auch ein Anstieg der Konzentration des luteinisierenden und des follikelstimulierenden Hormon erreicht, wodurch es zur Wiederaufnahme der Ovaraktivität im Frühjahr kommt (Aurich, 2009; Cleaver et al., 1991; Sharp et al., 1991).

Durch die saisonale Reproduktionsaktivität der Stute in Verbindung mit einer langen Trächtigkeitsdauer von ca. 11 Monaten, kommen die meisten Fohlen natürlicherweise im Frühjahr zur Welt. Speziell in der Vollblutzucht, aber auch in der Warmblutzucht ist man jedoch bestrebt, dass die Fohlen sehr zeitig im Jahr geboren werden. Es ist bekannt, dass die natürliche Photoperiode einen Einfluss auf die Trächtigkeit der Stute hat. Bereits 1938 konnte ein Zusammenhang zwischen zunehmenden Tageslichtstunden und gleichzeitiger Abnahme der Trächtigkeitsdauer festgestellt werden (Walton et al., 1938). So haben Stuten die im März

belegt werden eine signifikant längere Trächtigkeitsdauer als Stuten die im Juni belegt werden (Kuhl et al., 2015). Auch sind Fohlen, die von Februar bis Anfang März geboren werden, signifikant kleiner, als Fohlen, die später im Jahr geboren werden (Beythien et al., 2017; Hintz et al., 1979; Pagan et al., 1996). Außerdem konnten bei diesen Trächtigkeiten auch Plazentaunterschiede in Bezug auf Größe und Gewicht festgestellt werden. Obwohl das Gewicht und auch die Oberfläche der Plazenten der früh im Jahr geborenen Fohlen geringer waren, war die Plazentafunktion bei diesen Trächtigkeiten effizienter, als bei denen der später im Jahr geborenen Fohlen (Beythien et al., 2017). Generell muss die Stute während der Trächtigkeit nicht nur ihre eigenen metabolischen Bedürfnisse decken, sondern auch in zunehmendem Maße die des Fötus. Um den steigenden Ansprüchen gerecht zu werden, kommt es im Laufe der Trächtigkeit zu umfangreiche Adaptationsreaktionen im kardiovaskulären System der Stute (Nagel et al., 2016).

Eine künstliche Verlängerung der Tageslichtdauer im Dezember und Januar wird schon seit langem zur frühzeitigen Aufnahme der zyklischen Aktivität der nicht tragenden Stute eingesetzt (Palmer et al., 1982). Auch bei tragenden Stuten wurde bereits der Effekt eines Lichtprogramms mit einer verlängerten Tageslichtlänge untersucht. Bei Stuten, die während der Trächtigkeit einem Lichtprogramm ausgesetzt wurden, konnte eine Verkürzung der Zeit bis zur ersten Ovulation nach der Geburt beobachtet werden. Dies war jedoch nur der Fall, wenn die Stuten mindestens 10 Wochen unter der verlängerten Tageslichtdauer gehalten wurden (Koskinen et al., 1991). Künstliches Licht während der Trächtigkeit bewirkte außerdem eine Verkürzung der Trächtigkeitsdauer, eine Zunahme des Geburtsgewichtes der Fohlen (Hodge et al., 1982; Nolan et al., 2017), sowie eine deutliche Reduktion der Felllänge beim neugeborenen Fohlen (Nolan et al., 2017). Somit hat nicht nur die natürliche Photoperiodik, sondern auch eine künstlich veränderte Tageslichtlänge einen direkten Einfluss auf die Stute und das ungeborene Fohlen. Eine künstliche verlängerte Lichtzufuhr kann entweder durch die großflächige Beleuchtung des Stalls (Murphy et al., 2011) und gegebenenfalls des Paddocks, oder durch den individuellen Einsatz speziell entwickelter Lichtmasken (Walsh et al., 2013; Murphy et al., 2014; Nolan et al., 2017) erreicht werden. Die Lichtmaske, die die Tageslichtlänge individuell für die jeweilige Stute steuern kann und gezielt auf die Retina eines Auges der Stute wirkt, ermöglichte es, Stuten mit und ohne zusätzlichem Lichteinfluss unter den gleichen Umweltbedingungen in einem Stall und im Freien zu halten (Walsh et al., 2013; Murphy et al., 2014; Nolan et al., 2017). Equilume Lichtmasken ermöglichen ein effizientes Lichtmanagement, durch Abgabe von blauem LED-Licht auf nur ein Auge (Murphy et al.,

2014). Blaues LED Licht unterdrückt speziell die Melatoninsekretion aus der Epiphyse so dass, die mit den langen Sommertagen in Verbindung stehenden positive Effekte, effektiv genutzt werden können. Eine durchgehende Beleuchtung über 15 Stunden von Sonnenaufgang bis in die Abendstunden, sorgt dafür, dass auch an bedeckten Tagen und im dunklen Stall eine gleichmäßige Lichtzufuhr gewährleistet ist. Durch die optimierte Passform und das einfache Management, werden die Pferde durch das tragen der Maske in deren natürlichen Verhalten und deren Lebensweise nicht beeinträchtigt.

Saisonale Effekte von Jahreszeit und Photoperiodik auf die trächtigkeitsassoziierten Adaptationsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems und den Metabolismus der tragenden Stute, sowie die Fetalentwicklung und das fetale Wohlbefinden sind bisher nur im Ansatz erforscht.

Das Ziel der Untersuchungen ist, die Auswirkungen eines Lichtprogramms, mit einer Verlängerung der Photoperiode, auf die trächtigkeits- und saisonal bedingten Adaptationsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems der tragenden Stute sowie die fetale Entwicklung zu charakterisieren.

Bei der Durchführung dieser Studie folgten wir der Hypothese, dass ein Lichtprogramm mit einer Verlängerung der Tageslichtdauer in der dunklen Jahreszeit, schon während der Trächtigkeit auf die kardiovaskulären Adaptationsmechanismen der Stute wirkt und sich somit auch auf das fetale Wohlergehen auswirkt.

2. Material und Methode

2.1. Tierversuchsrechtliche Genehmigung

Das Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit des Landes Brandenburg erteilte die Genehmigung für die Durchführung des Tierversuches (Aktenzeichen: 2347-41-2018).

2.2. Tiere

An dieser über zwei Jahren angelegten Studie nahmen 13 Warmblutzuchtstuten des Brandenburgischen Haupt- und Landgestüts in Neustadt/Dosse (Deutschland) teil. Die Stuten waren zu Versuchsbeginn zwischen drei und 18 Jahre alt (Durchschnittsalter: $7,5 \pm 4,4$ Jahre) und befanden sich in ihrer 5 ± 3 Trächtigkeit (1 – 11 Trächtigkeiten; Tabelle 1). Die Belegung der Zuchtstuten erfolgte im ersten Studienjahr im Zeitraum von 19.03.2018 bis 05.06.2018 und im zweiten Studienjahr von 11.03.2019 bis 26.05.2019. Die Abfohlung erfolgte zwischen dem 21.02.2019 und dem 04.05.2019 bzw. zwischen dem 12.02.2020 bis 04.05.2020. Die Durchschnittliche Trächtigkeitslänge bei Versuchsbeginn (Zeit von Ovulation bis Versuchsbeginn) betrug im ersten Studienjahr 235 ± 26 Tage und im zweiten Studienjahr 247 ± 27 . Im ersten Studienjahr betrug die Zeit von Versuchsbeginn bis zur Geburt der Fohlen 100 ± 26 Tage und im zweiten Studienjahr 89 ± 26 Tage. Die Differenz des Abfohldatums der Stuten betrug 11 ± 8 Tage zwischen dem ersten und zweiten Versuchsjahr. Insgesamt wurden acht Stutfohlen und 18 Hengstfohlen geboren. Die Stuten wurden in strohbedeckten Gruppenlaufställen mit täglichem Auslauf auf Sandpaddocks gehalten. Die Fütterung beinhaltete Hafer, Heu und Mineralstoffzusätzen nach individuellem Bedarf. Wasser stand ad libitum zur Verfügung. Alle tragenden Stuten wurden regelmäßig tierärztlich untersucht und waren während der gesamten Untersuchungszeit gesund. Die Fohlen wurden nach der Geburt klinisch untersucht und anhand des klinischen Erscheinungsbildes und an dem Verhältnis neutrophiler Granulozyten zu Lymphozyten ($> 1,5 : 1$) als gesund und reif eingestuft. Im Alter von 18 bis 24 Stunden wurde die Immunglobulin G (IgG) Konzentration im Blut des Fohlens kontrolliert (Snap Test, Idexx, Hoofddorp, Niederlande). Alle Fohlen hatten eine IgG Konzentration im Blut von > 800 mg/dL.

Tabelle 1:

Versuchs- und trächtigkeitsassoziierte Parameter sowie Alter und Reproduktionsdaten der Stuten im Studienjahr 1 und 2 sowie über den gesamten Studienverlauf

	1. Studienjahr	2. Studienjahr	1. & 2. Studienjahr
Stuten mit Lichtprogramm (n)	6	7	13
Stuten ohne Lichtprogramm (n)	7	6	13
Alter Stute (a)	7,0 ± 4,5 ^A	8,0 ± 4,5 ^B	7,5 ± 4,4
Anzahl bisheriger Fohlen (n)	4 ± 3 ^A	5 ± 3 ^B	5 ± 3
Zeit: Ovulation - Versuchsbeginn (d)	235 ± 26 ^a	247 ± 27 ^b	241 ± 27
Versuchsbeginn - 1. Untersuchungstag (d)	21 ± 1 ^a	23 ± 1 ^b	22 ± 2
Versuchsbeginn - 2. Untersuchungstag (d)	62 ± 1 ^a	51 ± 1 ^b	56 ± 6
Zeit: Versuchsbeginn – Geburt (d)	100 ± 26 ^a	89 ± 26 ^b	95 ± 26
Trächtigkeitslänge (d)	335 ± 1	337 ± 2	336 ± 1
Anzahl Fohlen (n)	13	13	26
- davon Stutfohlen (n)	5	3	8
- davon Hengstfohlen (n)	8	10	18

Signifikante Unterschiede zwischen den Studienjahren 1 und 2 sind mit verschiedenen Buchstaben angegeben: A,B: p<0,001; a,b: p<0,05

2.3. Versuchsprotokoll

Dreizehn Stuten der Neustädter Zuchtstutenherde, die sowohl für die Zuchtsaison 2018 als auch 2019 vorgesehen waren, wurden im ersten Studienjahr per Zufall in zwei Gruppen eingeteilt. Im ersten Studienjahr wurden alle Stuten der Gruppe 1 (Licht) mit einer Lichtmaske (Equilume Light Masks, Equilume Ltd., Kildare, Irland) und somit einem Lichtprogramm ausgestattet, während Stuten der Gruppe 2 (Kontrolle) ohne Maske und ohne künstliche Beeinflussung der Photoperiodik verblieben (Tabelle1). Im zweiten Studienjahr wurde jede Stute der jeweils anderen Studiengruppe zugeteilt und bildete somit ihre eigene Kontrolle. Das Lichtprogramm der Equilume Lichtmasken startete in beiden Studienjahren Mitte Dezember.

Die Untersuchungen und Probenentnahmen wurden an zwei Untersuchungszeitpunkten 22 ± 4 und 56 ± 7 Tage nach Aktivierung des Lichtprogramms durchgeführt. Dabei wurden bei allen Stuten ein 30-minütiges fetomaternales Elektrokardiogramm aufgezeichnet (EKG; Televet 100; Version 5.1.1; Engel Engineering, Heusenstamm, Deutschland). Zusätzlich wurde der Blutdruck der Stute nicht-invasiv (Handgelenk- Blutdruckmessgerät, Breuer Medical, Ulm, Deutschland), als auch die innere Körperkerntemperatur rektal gemessen. Des Weiteren wurden Blutproben zur Bestimmung von Hämatokrit, Totalprotein, Leukozyten, Erythrozyten, Lymphozyten, Neutrophile Granulozyten genommen. Das Körpergewicht der Stuten wurde mittels elektronischer Pferdewaage (PW Bosche, Damme, Deutschland) gemessen. Zur Bestimmung des Längenwachstums und der Fellqualität wurde eine Fellanalyse durchgeführt.

2.4. Lichtprogramm

Um die für den Versuch benötigte Verlängerung des Tageslichtes zu erreichen, wurde eine Lichtmaske des Typs Cashel von Equilume performance lighting (Equilume Light Masks, Equilume Ltd., Kildare, Irland) verwendet. Die Masken bestanden aus einem individuellen Kopfstück mit einer wasserdichten Schale am rechten Auge in dem sich ein blaues LED-Licht befand (Murphy et al., 2014). Das Lichtprogramm startete im ersten Studienjahr am 13.12.2018 und im zweiten Studienjahr am 16.12.2019, dabei brannte das blaue LED-Licht bei allen Stuten täglich von 8 bis 23 Uhr. Die Stuten wurden also 15 Stunden lang mit einer gleichmäßigen Lichtintensität von 40 Lux bei einer Lichtwellenlänge von 465 – 485 nm beleuchtet.

2.5. Fellanalyse

Die Länge des Fells und der Haarnachwuchs wurden mit einem flexiblen Maßband gemessen (Schrammel et al., 2016). Um den Fellnachwuchs zu messen, wurde bei den Stuten zu Beginn der Studie (Tag der Aktivierung des Lichtprogramms) eine 6 x 5 cm große rechteckige Fläche an der Brust rasiert. Im Bereich 15 cm kaudal der Rasur (Schulterbereich) wurde die Länge des ungestörten Fellwachses bestimmt. Die Beurteilung der Menge an verlorenen Haaren erfolgte nach mehrmaligen streichen über die Kruppe mit einem Latexhandschuh. Der Haarausfall wurde in vier aufsteigenden Stufen klassifiziert: 1 (kein Haarausfall), 2 (wenige Haare am Handschuh), 3 (viele Haare am Handschuh) und 4 (starker Haarausfall). Zusätzlich wurde die Qualität des Fells jeden Monat bewertet, wobei zwischen 1 = Winterfell, 2 = Übergangszeit und 3 = Sommerfell unterschieden wurde (Schrammel et al., 2016). Das Winterfell wurde als dickes und langes Fell definiert. Das Sommerfell wurde als glattes, kurzes

und glänzendes Fell klassifiziert. Ein beobachtbarer Haarausfall und kurze Haare auf Rücken als auch Kruppe wurde als Übergangszeit angesehen.

2.6. Fetomaternale Elektrokardiographie, sowie Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilitätsanalyse

Für die Aufzeichnung der Herzfrequenz der Stute und des Fötus wurde ein fetomaternales EKG durchgeführt. Bei dem nicht-invasiven Verfahren (Televet 100, Engel Engineering Service GmbH, Heusenstamm, Deutschland; Nagel et al., 2010) wurde das EKG-Gerät, welches 10 x 15 cm misst, mit Hilfe eines elastischen Gurtes an der Stute angebracht. Die vier selbstklebenden Elektroden wurden nach dem europäischen Standardfarbenschema für diagnostische EKG Systeme am Rumpf der Zuchtstuten platziert. Die Daten wurden entweder per SD-Karte gespeichert oder direkt über Bluetooth an einen nahestehenden Computer gesendet und aufgezeichnet. Bei dieser Studie kamen beide Varianten zum Einsatz. Das EKG-Gerät Televet 100 erlaubt es, durch Verwendung eines Filters, den maternalen Abstand zwischen zwei R-Zacken (RR) sowie die fetale Herztätigkeit sowohl kombiniert als auch getrennt darzustellen, zu analysieren und das fetale Signal zur Auswertung zu verstärken (Nagel et al., 2010). Zur anschließenden Analyse der Herzfrequenz (HR) und Herzfrequenzvariabilitätsparameter (HRV) wurde die Kubios HRV-Software (biomedizinische Signalanalysegruppe, Abteilung für angewandte Physik, Universität Kuopio, Finnland) angewendet. Um die HR und die HRV Variablen Standardabweichung des RR-Intervalls (SDRR) und den quadratischen Mittelwert der aufeinanderfolgenden RR-Differenzen (RMSSD) aus den maternalen und fetalen Aufzeichnungen zu bestimmen, wurde eine fünfminütige EKG-Sequenz analysiert (Nagel et al., 2010).

2.7. Blutanalyse

Die Blutentnahme erfolgte über Punktion der V. jugularis mittels Vacutainer-System jeweils um 6:00 Uhr morgens. Es wurden 15 ml Blut zur Bestimmung der vorgesehenen Parameter entnommen: Hämatokrit, Totalprotein, Leukozyten, Erythrozyten, Lymphozyten, Neutrophile Granulozyten. Der Hämatokrit wurde mit einer Hämatokritzentrifuge (Eickemeyer, Tuttlingen, Deutschland) und das Totalprotein mit einem manuellen Refraktometer (HRM 18, Krüss Optronic, Hamburg, Deutschland) bestimmt. Die Blutproben wurden im Laborzentrum Neuruppin (LaDR GmbH Medizinisches Versorgungszentrum Neuruppin) untersucht.

2.8. Blutdruckmessung

Der Blutdruck der Stute wurde mittels eines oszillometrischen, nicht-invasiven, indirekten Handgelenk-Blutdruckmessgerätes gemessen (Breuer Medical, Ulm, Deutschland; Nagel et al., 2016). Die Manschette des Blutdruckmessgerätes wurde über der Arteria sacralis mediana fixiert und drei aufeinanderfolgende Messungen durchgeführt. Während der Messung befand sich der Kopf der Stute in Ruheposition. Zur Bestimmung des Blutdrucks wird zuerst die Arterie durch aufblasen der Manschette verschlossen. Da der Blutfluss während der langsamen Entleerung der Manschette zurückkehrt, ist die Bestimmung des systolischen und diastolischen Blutdrucks möglich (Engelhardt et al., 2004). Zur weiteren Analyse wurde jeweils der Mittelwert aus den drei aufeinanderfolgenden Messungen herangezogen.

2.9. Körpergewicht

Das Körpergewicht wurde am Messzeitpunkt 1 und 2 mit Hilfe einer elektronischen Pferdewaage (PW Bosche, Damme, Deutschland) gemessen.

2.10. Innere Körpertemperatur

Die innere Körperkerntemperatur wurde mittels Fieberthermometer (Auflösung 0,1 °C, Microlife, Widnau, Schweiz) rektal um 6:00 Uhr morgens an den jeweiligen Messtagen gemessen.

2.11. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der an den jeweiligen Messzeitpunkten gewonnenen Daten wurde das Statistikpaket SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) verwendet. Fellqualität und Fellverlußt wurden an Zeitpunkt 1 und 2 mittels χ^2 -test zwischen den Gruppen verglichen.

Alle anderen Daten wurden in Abhängigkeit des Lichtprogramms (Versuchsgruppe vs. Kontrollgruppe) für alle untersuchten Parameter über den zeitlichen Verlauf untersucht. Die Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Danach wurden alle Daten mit einem generalisierten linearen Modell für wiederholte Messungen (Messzeitpunkt 1 und 2) mit Gruppe als Zwischensubjektfaktor ausgewertet. Ein p-Wert von $<0,05$ wurde als statistisch signifikant angenommen. Alle Werte sind als Mittelwerte $\pm$ Standardfehler des Mittelwertes angegeben.

3. Ergebnisse

Weder das Alter der Stuten, die Anzahl der bisherigen Fohlen, die Zeitspanne von Ovulation bis zum Versuchsbeginn, die Zeitspanne Versuchsbeginn bis 1. Untersuchungstag und 2. Untersuchungstag, noch die Zeitspanne Versuchsbeginn bis Geburt unterschieden sich signifikant zwischen den Stuten der Gruppe mit Licht und der Kontrollgruppe ohne künstlichen Lichteinfluss (Tabelle 2). Jedoch war die Trächtigkeitslänge der Stuten mit zusätzlichem Lichteinfluss signifikant kürzer als die Trächtigkeit bei den Stuten, die kein zusätzliches Licht bekamen.

Tabelle 2:

Alter, Reproduktionsdaten sowie versuchs- und trächtigkeitsassoziierte Parameter bei Stuten der Gruppe 1 (Licht; n=13) und Gruppe 2 (Kontrolle; n=13)

	Gruppe 1 (Licht)	Gruppe 2 (Kontrolle)
Alter Stuten (a)	7,5 ± 1,3	7,5 ± 1,3
Anzahl bisheriger Fohlen (n)	4 ± 1	5 ± 1
Zeit: Ovulation - Versuchsbeginn (d)	242 ± 7	242 ± 8
Versuchsbeginn - 1. Untersuchungstag (d)	22 ± 1	22 ± 0
Versuchsbeginn - 2. Untersuchungstag (d)	56 ± 1	57 ± 2
Zeit: Versuchsbeginn – Geburt (d)	93 ± 7	97 ± 8
Trächtigkeitslänge (d)	333 ± 2 ^a	338 ± 2 ^b
Anzahl Fohlen (n)	13	13
davon Stutfohlen (n)	4	4
davon Hengstfohlen (n)	9	9

Signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe 1 und 2 sind mit verschiedenen Buchstaben angegeben: a,b: p<0,05

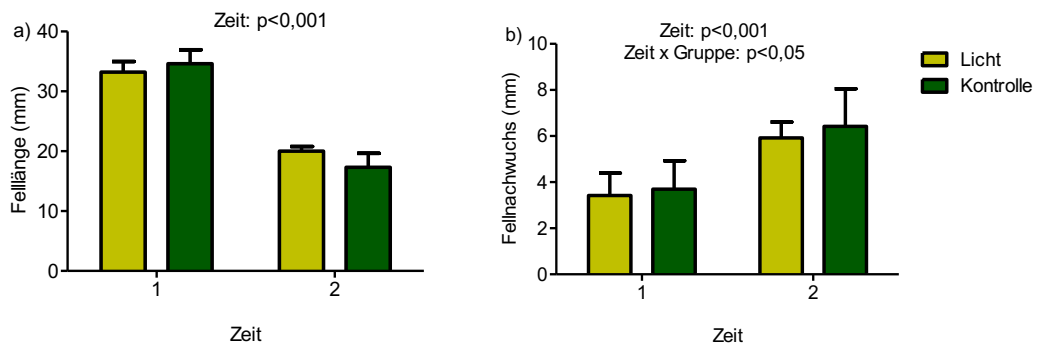


Abbildung 1:

a) Felllänge und b) Fellnachwuchs bei Stuten der Gruppe Licht ($n=13$) und Stuten der Kontrollgruppe ($n=13$) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs. Signifikante Unterschiede sind in den Abbildungen angegeben.

Die Felllänge nahm von Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2 bei allen Stuten signifikant ab ($p < 0,001$; Abbildung 1a). Der Fellnachwuchs stieg über die Zeit signifikant an ($p < 0,001$; Abbildung 1b). Weder für die Felllänge noch für den Fellnachwuchs ergaben sich signifikante Gruppenunterschiede, jedoch ergaben sich bei dem Fellnachwuchs Interaktionen (Zeit x Gruppe: $p < 0,05$).

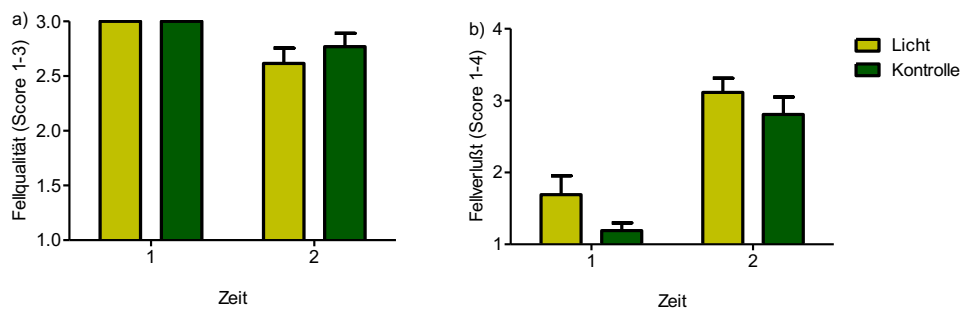


Abbildung 2:

a) Fellqualität (1 = kein Haarausfall; 2 = wenige Haare am Handschuh; 3 = viele Haare am Handschuh; 4 = starker Haarausfall) und b) Fellwechsel (1 = Winterfell; 2 = Übergangszeit; 3 = Sommerfell) bei Stuten der Gruppe Licht ($n=13$) und Stuten der Kontrollgruppe ($n=13$) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs.

Es gab weder zum ersten noch zum zweiten Untersuchungszeitpunkt signifikanten Unterschiede bezüglich der Fellqualität und dem Fellverlust zwischen den Gruppen (Abbildung 2a,b). Die Fellqualität entsprach in beiden Gruppen zu beiden Untersuchungszeitpunkten dem saisonalen und physiologischen Felltyp.

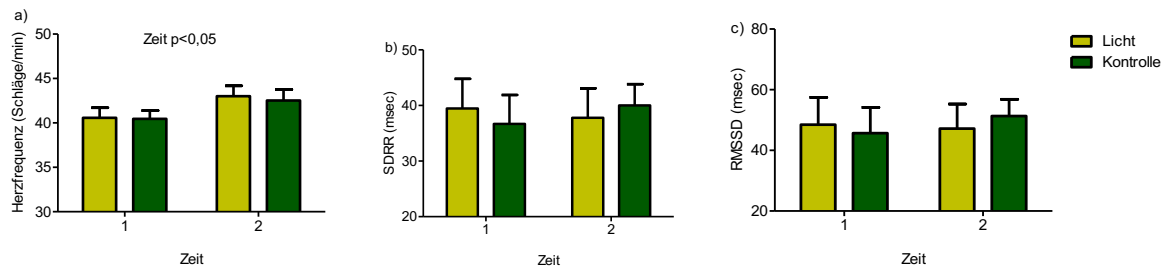


Abbildung 3:

a) Herzfrequenz, b) SDRR und c) RMSSD bei Stuten der Gruppe Licht ($n=13$) und Stuten der Kontrollgruppe ($n=13$) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs. Signifikante Unterschiede sind in den Abbildungen angegeben.

Während die Herzfrequenz bei allen Stuten über die Zeit anstieg ($p < 0,05$, Abbildung 3a), konnten bei der Herzfrequenzvariabilität weder bei SDRR noch bei RMSSD Veränderung über die Zeit festgestellt werden (Abbildung 3a-c). Weder die Herzfrequenz noch die HRV-Variablen SDRR und RMSSD der Stuten unterschieden sich zwischen den Gruppen.

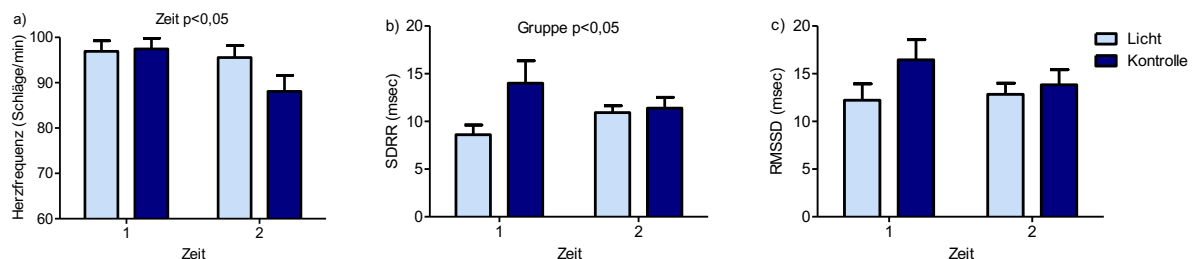


Abbildung 4:

a) Herzfrequenz, b) SDRR und c) RMSSD bei Feten von Stuten der Gruppe Licht ($n=13$) und Stuten der Kontrollgruppe ($n=13$) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs. Signifikante Unterschiede sind in den Abbildungen angegeben.

Die fetale Herzfrequenz sank signifikant über die Zeit, jedoch ohne dass sich Unterschiede zwischen den Gruppen zeigten ($p < 0,05$; Abbildung 4a). Die HRV-Parameter SDRR und

RMSSD zeigten keine Veränderungen über die Zeit (Abbildung 4b, c). Während SDRR bei Feten deren Stuten einem Lichtprogramm zugeführt wurde niedriger war als bei der Gruppe ohne Lichtprogramm (SDRR: Gruppe: $p < 0,05$), zeigten sich bei RMSSD keine Gruppenunterschiede.

Tabelle 3:

Gesundheitsassoziierte Parameter bei Stuten der Gruppe Licht (n=13) und Stuten der Kontrollgruppe (n=13) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs.

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2	
	Gruppe 1 (Licht)	Gruppe 2 (Kontrolle)	Gruppe 1 (Licht)	Gruppe 2 (Kontrolle)
HK (%)	$33,6 \pm 0,6$	$34,2 \pm 0,7$	$33,5 \pm 0,6$	$33,8 \pm 0,5$
TP (g/dl)	$6,3 \pm 0,2$	$6,2 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,1$	$6,1 \pm 0,1$
Leukozyten (Gpt/l)	$7,6 \pm 0,5$	$7,5 \pm 0,4$	$7,9 \pm 0,6$	$7,8 \pm 0,4$
Erythrozyten (Tpt/l)	$7,5 \pm 0,1$	$7,5 \pm 0,1$	$7,6 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,2$
Neutrophile Granulozyten (Gpt/l)	$3,6 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$
Lymphozyten ($10^9/l$)	$3,5 \pm 0,4$	$3,5 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$
Systolischer Blutdruck (mmHg)	103 ± 5	100 ± 3	109 ± 7	103 ± 4
Diastolischer Blutdruck (mmHg)	55 ± 3	50 ± 2	58 ± 5	54 ± 3
Körpergewicht (kg)	616 ± 10	625 ± 12	640 ± 10	642 ± 11
IKT ($^{\circ}\text{C}$)	$37,4 \pm 0,1$	$37,4 \pm 0,1$	$37,3 \pm 0,1$	$37,5 \pm 0,1$

Die Blutparameter Hämatokrit und Totalprotein zeigten weder über die Zeit noch zwischen den Gruppen signifikante Unterschiede auf (Tabelle 3). Weder die Leukozyten, noch die Erythrozyten, die Neutrophilen Granulozyten oder die Lymphozyten zeigten einen Unterschied zwischen den Gruppen. Während Leukozyten und Erythrozyten über die Zeit unverändert blieben, stiegen die Neutrophilen Granulozyten ($p < 0,01$) sowie die Lymphozyten ($p < 0,05$) signifikant von Messzeitpunkt 1 zu Messzeitpunkt 2 an. Sowohl der systolische, als auch der diastolische Blutdruck unterschieden sich weder zwischen den Gruppen, noch konnten

Veränderungen über die Zeit festgestellt werden. Das Körpergewicht aller Stuten stieg zwischen den beiden Messzeitpunkten signifikant an ($p < 0,001$), Unterschiede zwischen den Gruppen konnten jedoch nicht beobachtet werden. Bei allen Stuten lag die durchschnittliche Körpertemperatur zum Messzeitpunkt 1 bei $37,4 \pm 0,1$ °C. Es konnten keine Unterschiede weder zwischen den Gruppen, noch über die Zeit beobachtet werden.

4. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde bei Stuten in der späten Trächtigkeit eine Verlängerung der Photoperiode mittels eines blauen LED Lichtes, dass das rechte Auge beleuchtete, erzeugt. Die Wirkung des individuell zugeteilten blauen Lichtes bewirkte eine Verkürzung der Trächtigkeitslänge um durchschnittlich fünf Tage, im Gegensatz zu Stuten, welche nur unter den natürlichen saisonalen Lichtverhältnissen standen. Eine Verkürzung der Trächtigkeitslänge durch eine verlängerte Photoperiode wurde bereits 1982 untersucht (Hodge et al., 1982). Im Gegensatz zu den Untersuchungen von Hodge, wurden die Stuten in unserer Studie individuell mit blauem LED Licht ausgestattet, dass speziell die Melatoninausschüttung reduziert (Murphy et al., 2014). Um aussagekräftige Veränderungen tatsächlich auf das Lichtprogramm mittels Equilume Lichtmaske rückführen zu können, wurden in dieser Studie bewusst Stuten gewählt, welche einen sehr ähnlichen Abfohltermin in beiden Versuchsjahren aufwiesen. Die Differenz der Abfohlzeiten der Stuten betrug 11 ± 8 Tage. Die Zuchtstuten befanden sich somit in beiden Versuchsjahren zu Beginn des Versuchs in einem sehr ähnlichen Trächtigkeitsstadium. Dies ermöglichte es, Einflüsse der natürlichen Photoperiode und Effekte des Trächtigkeitsstadiums einzugrenzen, sodass Ergebnisse der Messungen eindeutig dem Effekt des blauen LED Lichtes zuzuordnen sind.

Die für das Überleben außerhalb des Uterus essenzielle Endreifung des Fötus findet beim Pferdefötus während der letzten 1-2 Trächtigkeitstage statt (Fowden und Silver, 1995). Die durch den Einsatz des blauen LED Lichtes verkürzte Trächtigkeitslänge, führte jedoch nicht zur Geburt von unreifen Fohlen. Die Fohlen beider Gruppen wurden zum Zeitpunkt der Geburt mittels einer allgemein klinischen Untersuchung und anhand von Blutparametern als gesund und reif eingestuft. Die Verkürzung der Trächtigkeitslänge wirkte sich somit nicht negativ auf die Reife der Fohlen aus. Da der Fötus unmittelbar den Rhythmen des internen Milieus der Stute ausgesetzt ist (Nolan et al., 2017), sind durchaus direkte Effekte des Lichts auch auf den Fötus zu erwarten. Ein Einfluss des Lichtprogramms auf die Herzaktivität der Feten, gemessen mittels fetomaternalen EKGs, konnte aber nicht festgestellt werden. Im Gegensatz dazu war der HRV-Parameter SDRR besonders während der ersten Messung bei den Feten, deren Mutterstuten einem Lichtprogramm unterzogen wurden, signifikant niedriger. Die Herzfrequenzvariabilität, d. h. die kurzzeitige Schwankung der Herzfrequenz, wird durch die Modulation der Herzaktion über das autonome Nervensystem (ANS) verursacht und reflektiert das Gleichgewicht von Sympathikus- und Parasympathikuston und wird als Indikator für Stress verwendet (Von Borell et al., 2007). Eine Verringerung der HRV deutet auf eine

Verschiebung hin zu einer stärkeren Sympathikusdominanz, während Erhöhungen eine Verschiebung hin zu einer Parasympathikusdominanz anzeigen (Von Borell et al., 2007). In der Humanmedizin wird eine während der Schwangerschaft abnehmende fetale HRV als Anzeichen der Reifung des autonomen Systems gesehen (Wheeler et al., 1979; Van Leeuwen et al., 1999). Die Herzfrequenzmessung beim Fötus liefert daher nicht nur Informationen zur fetalen Gesundheit und Lebensfähigkeit, sondern auch über den Entwicklungszustand des autonomen Nervensystems (Schneider et al., 2008). Auch beim Pferdefötus wurde beobachtet, dass es unter natürlichen Lichtverhältnissen mit zunehmendem Gestationsalter zu einer Steigerung der HRV kommt (Nagel et al., 2010). In der vorliegenden Studie wiesen die Feten der Gruppe Licht eine geringere Herzfrequenzvariabilität als die Feten der Kontrollgruppe auf. Diese Unterschiede waren zu Beginn der Studie deutlich stärker ausgebildet als in ihrem weiteren Verlauf, so dass ein direkter Lichteffect mit einer akuten Stressreaktion der Feten der Lichtgruppe wahrscheinlicher, als eine durch das Lichtprogramm induzierte verzögerte Entwicklung des Fötus ist. Diese Vermutung wird außerdem dadurch untermauert, dass alle Fohlen reif und gesund geboren wurden.

Im Gegensatz zu den Feten zeigten sich bei den Stuten keine versuchsbedingten Änderungen von Herzfrequenz und HRV. Eine Zunahme der Herzfrequenz im Laufe der Trächtigkeit findet als Adaptation an die steigenden Anforderungen an das maternale Herzkreislaufsystem statt (Nagel et al., 2010, 2016). Weitere trächtigkeitsbedingte Adaptationen zeigen sich physiologischer Weise unter anderem in einem Anstieg des Körpergewichtes, sowie Veränderungen des Blutbildes und des Blutdruckes (Nagel et al., 2016). In der vorliegenden Studie konnten durch ein relativ kurzes Untersuchungsintervall nicht bei allen Parametern die trächtigkeitsbedingten Unterschiede gezeigt werden. Fehlende Gruppenunterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe zeigen jedoch, dass die Gesundheit der Stute durch den Einfluss des blauen LED Lichtes nicht negativ beeinflusst worden ist. Daher handelte es sich auch wahrscheinlich bei der Reduktion der fetalen HRV der Lichtgruppe um einen direkten Einfluss des Lichtes, und keine Stressreaktion die durch ein verändertes maternales Wohlergehen bedingt worden ist.

Stuten der Lichtgruppe zeigten eine geringgradige Verminderung des Fellnachwuchses, jedoch keine Veränderung in der Fellqualität, dem Fellverlust oder der Felllänge. Dass eine Abnahme der Felllänge bei Pferden mit der Verlängerung der Photoperiodik in einem direkten Zusammenhang steht und bei diesen Pferden der Fellwechsel früher auftritt als bei Pferden, die unter natürlichen Verhältnissen gehalten werden, konnte schon mehrfach gezeigt werden (Schrammel et al., 2016). Dies steht in Zusammenhang mit einem durch die verlängerte

Tageslichtdauer veränderten Anpassungsmechanismen der Melatonin-, und Prolaktinsynthese (Schrammel et al, 2016). In unserer Studie wurde das Lichtprogramm Mitte Dezember gestartet und hatte somit keinen Einfluss mehr auf den Aufbau des Winterfells. Um den direkten Einfluss des Lichts auf die Felllänge und den Fellnachwuchs beobachten zu können, hätte das Lichtprogramm deutlich früher beginnen müssen. Aus diesem Grund konnten in beiden Gruppen nur Veränderungen über die Zeit festgestellt werden, welche auf die natürliche, saisonale Photoperiode zurückzuführen sind.

Schlussfolgernd kann zusammengefasst werden, dass blaues LED Licht, dass in der späten Trächtigkeit 15 Stunden täglich auf ein Auge gegeben wird, in der Lage ist, die Trächtigkeit der Stute zu verkürzen, ohne dass die fetale Reifung negativ beeinflusst wird. Das blaue LED Licht führt zwar zu einer vorübergehenden Verringerung der fetalen Herzfrequenzvariabilität, jedoch konnten keine negativen Effekte für die Gesundheit und das Wohlergehen von Stute und Fohlen festgestellt werden.

5. Zusammenfassung

Die Studie untersuchte anhand von Warmblutzuchtstuten ($n=13$) die Auswirkungen eines Lichtprogramms mit blauem LED Licht auf die trächtigkeits- und saisonal bedingten Adaptationsmechanismen des Herz-Kreislaufsystems der tragenden Stute, sowie den Einfluss einer verlängerten Photoperiode auf die fetale Entwicklung. Die Zuchtstuten waren sowohl für die Zuchtsaison 2018 als auch 2019 vorgesehen. Per Zufall wurden die Stuten in zwei Gruppen eingeteilt. Im ersten Studienjahr wurden alle Stuten der Gruppe 1 (Licht) mit einer Lichtmaske (Equilume Light Masks, Equilume Ltd., Kildare, Irland) ausgestattet, während Stuten der Gruppe 2 (Kontrolle) keine Maske und somit ohne künstliche Beeinflussung der Photoperiodik verblieben. Im zweiten Studienjahr bildete jede Stute ihre eigene Kontrolle, indem sie zur jeweils anderen Studiengruppe zugeteilt wurde. Das Lichtprogramm der Masken, welches ein blaues LED Licht für 15 Stunden pro Tag auf ein Auge abgab, startete in beiden Studienjahren Mitte Dezember. Die Untersuchungen und Probenentnahmen wurden an zwei Untersuchungszeitpunkten (22 ± 2 und 57 ± 2 Tage nach Versuchsbeginn) durchgeführt. Dabei wurde bei allen Stuten ein 30-minütiges fetomaternales Elektrokardiogramm aufgezeichnet. Zusätzlich wurde der Blutdruck, die innere Körperkerntemperatur, das Körpergewicht und verschiedene Blutparameter der Stuten evaluiert. Die statistische Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte durch das Statistikpaket SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Als Schwellwert für eine statistische Signifikanz wurde $p < 0,05$ definiert. Die Felllänge nahm von Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2 bei allen Stuten signifikant ab, während der Fellnachwuchs und die Herzfrequenz bei allen Stuten über die Zeit anstiegen. Veränderungen bei der Herzfrequenzvariabilität konnten bei den Stuten weder über die Zeit, noch zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die fetale Herzfrequenz sank signifikant über die Zeit, jedoch ohne dass sich Unterschiede zwischen den Gruppen zeigten. Während SDRR bei Feten deren Stuten einem Lichtprogramm zugeführt wurde niedriger war als bei der Gruppe ohne Lichtprogramm, zeigten sich bei RMSSD keine Gruppenunterschiede. Durch die Einwirkung des blauen LED Lichtes verkürzte sich die Trächtigkeitslänge der tragenden Stuten, ohne einen negativen Einfluss weder auf die Entwicklung des Fohlens während der Trächtigkeit, noch auf die Reife und die Gesundheit des Fohlens nach der Geburt zu haben. Auch wenn die Feten der Lichtgruppe eine vorübergehende erniedrigte HRV, zeigten, konnten keine direkten langanhaltenden negativen Einflüsse des Lichtes auf das fetale Wohlergehen bzw. auf die Fetalentwicklung beobachtet werden. Die Gesundheit und

das Wohlergehen der Stute wurde ebenfalls durch das blaue LED Licht nicht negativ beeinflusst.

6. Summary

The study used warmblood mares ($n=13$) to investigate the effects of a light programme with blue LED light on the pregnancy and seasonal adaptation mechanisms of the cardiovascular system of the pregnant mare, as well as the influence of a prolonged photoperiod on fetal development. The broodmares were scheduled for the 2018 and 2019 breeding season. The mares were divided into two groups. In the first study year, all mares in group 1 (light) were fitted with a light mask (Equilume Light Masks, Equilume Ltd., Kildare, Ireland), while mares in group 2 (control) were not fitted with a mask and remained without any artificial influence on photoperiodicity. In the second year of the study, each mare formed her own control by being assigned to the other study group. The light programme of the masks, which delivered a blue LED light to one eye for 15 hours per day, started in mid-December in both study years. Examinations and sampling were performed at two study time points (22 ± 2 and 57 ± 2 days after the start of the trial). A 30-minute fetomaternal electrocardiogram was recorded in all mares. In addition, blood pressure, internal core body temperature, body weight and various blood parameters of the mares were evaluated. Statistical analysis of the data obtained was performed by the statistical package SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). The threshold for statistical significance was defined as $p < 0.05$. Coat length decreased significantly from time 1 to time 2 in all mares, while coat regrowth and heart rate increased over time in all mares. Changes in heart rate variability were not observed in the mares over time or between groups. Fetal heart rate decreased significantly over time, but with no differences between groups. While SDRR was lower in fetuses whose mares were exposed to a light programme than in the group without light programme, there were no group differences in RMSSD. Exposure to blue LED light shortened the gestation length of the pregnant mares without having a negative effect on either foal development during pregnancy or foal maturity and health after birth. Even though the fetuses in the light group showed a temporary decrease in HRV, no direct long-lasting negative effects of light on fetal well-being or fetal development were observed. The health and well-being of the mare was also not negatively affected by the blue LED light.

7. Abkürzungsverzeichnis

ANS	autonomes Nervensystem
RR	RR Intervall, Abstand zwischen zwei R-Zacken
EKG	Elektrokardiogramm
HR	Herzfrequenz
HRV	Herzfrequenzvariabilität
RMSSD	quadratischer Mittelwert der Differenzen aufeinanderfolgender RR Intervalle
SDRR	Standardabweichung der RR Intervalle

8. Literaturverzeichnis

Aurich C. Physiologie des Sexualzyklus. In: Aurich C editor. Reproduktionsmedizin beim Pferd – Gynäkologie, Andrologie, Geburtshilfe, Stuttgart: Parey; 2009, S.15-29.

Beythien E, Aurich C, Wulf M, Aurich J. Effects of season on placental, foetal and neonatal development in horses. *Theriogenology* 2017;97:98-103.

Beythien E, Wulf M, Ille N, Aurich J, Aurich C. Effects of sex, pregnancy and season on insulin secretion and carbohydrate metabolism in horses. *Animal Reproduction Science* 2017;184: 86-93.

Cleaver B, Grubbaugh W, Davis S, Sheerin P, Franklin K, Sharp D. Effect of constant light exposure on circulating gonadotrophin levels and hypothalamic gonadotrophin-releasing hormone (GnRH) content in the ovariectomized pony mare. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* 1991;44:259-266.

Engelhardt W, Breves G. Kreislauf. In: Engelhardt W editor. *Physiologie der Haustiere*, Stuttgart: Enke; 2004, S.171-191.

Fowden A, Silver M. Comparative development of the pituitary-adrenal axis in the fetal foal and lamb. *Reproduction in Domestic Animals* 1995;30:170-177.

Guerin M, Wang X. Environmental temperature has an influence on timing of first ovulation of seasonal estrus in the mare. *Theriogenology* 1994;42:1053–1060.

Hintz H, Hintz R, Van Vleck L. Growth rate of Thoroughbreds, effect of age of dam, year and month of birth, and foal sex. *Journal of Animal Science* 1979;48:480-487.

Hodge S, Kreider J, Potter G, Harms P, Fleeger J. Influence of photoperiod on the pregnant and postpartum mare. *American Journal of Veterinary Research* 1982;43:1752-1755.

Hughes J, Stabenfeldt G, Evans J. The oestrous cycle of the mare. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* 1975;23:161-166.

Koskinen E, Kurki E, Katila, T. Onset of luteal activity in foaling and seasonally anoestrous mares treated with artificial light. *Acta Veterinaria Scandinavica* 1991;32:307–312.

Kubiak J, Crawford B, Squires E, Wrigley E, Ward G. The influence of energy intake and percentage of body fat on the reproductive performance of nonpregnant mares. *Theriogenology* 1987;28:587–598.

Kuhl J, Stock K, Wulf M, Aurich C. Maternal lineage of Warmblood mares contributes to variation of gestation length and bias of foal sex Ratio. *Plos One* 2015;10: e0139358.

Murphy B, Martin A, Furney P, Elliott J. Absence of a serum melatonin rhythm under acutely extended darkness in the horse. *Journal of Circadian Rhythms* 2011;9:3.

Murphy B, Walsh C, Woodward E. Blue light from individual light masks directed at a single eye advances the breeding season in mares. *Equine Veterinary Journal* 2014;46:601–605.

Nagel C, Aurich J, Aurich C. Determination of heart rate and heart rate variability in the equine fetus by fetomaternal electrocardiography. *Theriogenology* 2010;73:973-983.

Nagel C, Trenk L, Aurich J, Wulf M, Aurich C. Changes in blood pressure, heart rate, and blood profile in mares during the last 3 months of gestation and the peripartum period. *Theriogenology* 2016;86:1856-1864.

Nolan M, Walsh C, Duff N, McCrarren C, Prendergast R, Murphy B. Artificially extended photoperiod administered to pre-partum mares via blue light to a single eye: observations on gestation length, foal birth weight and foal hair coat at birth. *Theriogenology* 2017;100:126-133.

Pagan J, Jackson S, Caddel S. A summary of growth rates of Thoroughbreds in Kentucky. *Pferdeheilkunde* 1996;12:285-289.

Palmer E, Driancourt M, Ortavant R. Photoperiodic stimulation of the mare during winter anoestrus. *Journal of Reproduction and Fertility Supplement* 1982;32:275–282.

Schneider U, Frank B, Fiedler A, Kaehler C, Hoyer D, Liehr M, Haueisen J, Schleussner E. Human fetal heart rate variability - characteristics of autonomic regulation in the third trimester of gestation. *Journal of Perinatal Medicine* 2008;36:433–441.

Schrammel N, Deichsel K, Aurich J, Aurich C. A long-day light program accelerates seasonal coat changes but is without effect on semen and metabolic parameters in Shetland pony stallions. *Theriogenology* 2016;85:946-953.

Sharp D, Grubaugh W, Weithenauer J, Davis S, Wilcox C. Effects of steroid administration on pituitary luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in ovariectomized pony mares in the early spring: pituitary responsiveness to gonadotropin-releasing hormone and pituitary gonadotropin content. *Biology of Reproduction* 1991;44:983-990.

Von Borell E, Langbein J, Despres G, Hansen S, Leterrier C, Marchand-Forde J, Marc-hand-Fonde R, Minero M, Mohr E, Prunier A, Valance D, Veissier I. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals. *Physiology Behavior* 2007;92:293–316.

Walsh C, Prendergast R, Sheridan J, Murphy B. Blue light from light-emitting diodes directed at a single eye elicits a dose-dependent suppression of melatonin in horses. *The Veterinary Journal* 2013;196:231-235.

Walton A, Hammond J. The maternal effects on growth and conformation in Shire Horse-Shetland pony crosses. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Science* 1938;125:311-335.

Wheeler T, Cooke E, Murrills A. Computer analysis of fetal heart rate variation during normal pregnancy. *British Journal of Obstetrics Gynaecology* 1979;86:186–197.

Van Leeuwen P, Lange S, Bettermann H, Grönemeyer D, Hatzmann W. Fetal heart rate variability and complexity in the course of pregnancy. *Early Human Development* 1999;54:259–269.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Felllänge und Fellnachwuchs bei den Stuten der Gruppe Licht und Stuten der Kontrollgruppe

Abbildung 2: Fellqualität und Fellwechsel bei den Stuten der Gruppe Licht und Stuten der Kontrollgruppe

Abbildung 3: Herzfrequenz, SDRR und RMSSD bei Stuten der Gruppe Licht und Stuten der Kontrollgruppe

Abbildung 4: Herzfrequenz, SDRR und RMSSD bei Feten von Stuten der Gruppe Licht und Stuten der Kontrollgruppe

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:

Versuchs- und trächtigkeitsassoziierte Parameter sowie Alter und Reproduktionsdaten der Stuten im Studienjahr 1 und 2 sowie über den gesamten Studienverlauf

Tabelle 2:

Alter, Reproduktionsdaten sowie versuchs- und trächtigkeitsassoziierte Parameter bei Stuten der Gruppe 1 (Licht; n=13) und Gruppe 2 (Kontrolle; n=13)

Tabelle 3:

Gesundheitsassoziierte Parameter bei Stuten der Gruppe Licht (n=13) und Stuten der Kontrollgruppe (n=13) 22 ± 4 Tage (Zeitpunkt 1) und 56 ± 7 Tage (Zeitpunkt 2) nach Beginn des Versuchs