Aus dem Department für
Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe

Gepresstes Trockengrünfutter aus Luzerne und Wiesengräsern als Alternative zu Heu beim Pferd

Bachelorarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Viktoria Wanda Maria Petz

Wien, im September 2020

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Christine Iben Dipl.ECVCN

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin

Veterinärmedizinische Universität Wien

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.sc.agr. Barbara Metzler-Zebeli

Abteilung für Ernährungsphysiologie

Department für Biomedizinische Wissenschaften

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vielen Dank an Prof.in Christine Iben und Prof. Qendrim Zebeli für die Unterstützung und die Überlassung des Equiwatch-Halfters.

Vielen Dank an Frau Dr. Ratchaneewan Khiaosa-Ard für die statistische Auswertung der Fresszeit und Kauschläge.

Ein herzliches Dankeschön auch an Herrn Dipl.-Ing. Martin Koller, Leiter des akkreditierten Labors der IC Consulenten Ziviltechniker GesmbH Wien für die Bereitstellung des Staubmessgerätes, die Messgeräteschulung und die gravimetrische Massenbestimmung zur Ermittlung der Staubkonzentration.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Literaturübersicht 3

2.1 Fressverhalten 3

2.1.1 Verdauungsapparat 3

2.1.2 Fressdauer 5

2.1.3 Kauschläge 5

2.2 Raufutter 6

2.2.1 Heu 6

2.2.2 Heubriketts 7

2.2.3 Rohfaser 7

2.3 Staubbelastung 9

2.3.1 Definition von Stäuben 9

2.3.2 Maßnahmen zur Reduktion der Staubbelastung 10

3 Tiere, Material und Methode 11

3.1 Versuchspferde 11

3.2 Haltung der Versuchspferde 12

3.3 Produkte 12

3.3.1 Heu 12

3.3.2 Wafer-Futterwürfel 12

3.4 Produkteanalyse 13

3.5 Messungen 14

3.5.1 Messung der Fressdauer und Kaufrequenz 14

3.5.2 Messung der Staubkonzentration 15

4 Ergebnisse 19

4.1 Fressdauer 19

4.2 Kaufrequenz 21

4.3 Staubkonzentration 23

5 Diskussion 30

6 Zusammenfassung 36

7 Summary 38

8 Literaturverzeichnis 39

9 Anhang 42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 01: Vergleich - Weender-Analyse und Detergenzien-Analyse (Gruber 2018) 9
Abbildung 02: Heu 12
Abbildung 03: M²-Wafer-Basic-Pferdefutter 13
Abbildung 04: Versuchspferd Velvet mit aufgepolstertem Equiwatch-Halfter 15
Abbildung 05: Messgeräteträger Frontseite und Rückseite 16
Abbildung 06: Messgerät mit Heuration und Messgerät bei Waferfütterung 16
Abbildung 07: Prinzipskizze und Messgerät Respicon 2 TM (Helmut Hund GmbH 2019) 17
Abbildung 08: Eatdowntime (Fresszeiten mit Kopfposition unten) 20
Abbildung 09: Eatuptime (Fresszeiten mit Kopfposition oben) 20
Abbildung 10: Kauschlagzahl mit Kopfposition unten (blau: Heu, orange: Wafer) 22
Abbildung 11: Kauschlagzahl mit Kopfposition oben (blau: Heu, orange: Wafer) 22
Abbildung 12: Gesamtkauschlagzahl (blau: Heu, orange: Wafer) 23
Abbildung 13: Messdaten Staubkonzentration bei Heufütterung 25
Abbildung 14: Messdaten Staubkonzentration bei Waferfütterung 26
Abbildung 15: Gravimetrie - thorakale Staubfraktion 27
Abbildung 16: Gravimetrie - einatembare Staubfraktion 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eindringtiefe der Partikel (DIN EN 481 1993) 10
Tabelle 2: Versuchspferde 11
Tabelle 3: Analyse der chemischen Zusammensetzung von Heu und Wafer 13
Tabelle 4: Mittlere Fressdauer mit verschiedenen Kopfpositionen 19
Tabelle 5: Fressdauer 19
Tabelle 6: Kauschläge mit verschiedenen Kopfpositionen 21
Tabelle 7: Kauschläge je Futtermenge und Zeit 21
Tabelle 8: Mittlere Staubkonzentrationen im Zeitraum von 20 Uhr bis 6 Uhr 29
Tabelle 9: Staubkonzentration während der ersten drei Stunden nach der Fütterung 29

1 Einleitung

Pferde sind Steppentiere, daher ist ihr Verdauungsapparat auf lange Fresszeiten mit stetigen kleinen Futtermengen ausgerichtet. Raufutter stellt einen großen Bestandteil in der Fütterung von Pferden dar. Aufgrund eines Heumangels im Jahr 2018 wurden Alternativen zu Heu gesucht.

Als mögliche Alternative wurde in dieser Arbeit das M^2-Wafer-Basic-Pferdefutter von Food4Horses in Betracht gezogen. Dabei handelt es sich um ein zu 3x3 cm große Futterwürfel gepresstes Grundfuttermittel aus Luzerne und Wiesenmischgräsern.

Nun stellt sich die Frage, ob die Wafer-Futterwürfel geeignet sind, den Raufutterbedarf eines Pferdes zu decken.

Um die Wafer-Futterwürfel mit Heu vergleichen zu können, werden beide Produkte hinsichtlich ihrer Aufnahmedauer und Kaufrequenz betrachtet. Diese Parameter spielen eine große Rolle in der Pferdefütterung, da das Pferd für eine physiologische Verdauung über den ganzen Tag verteilt immer wieder Futter aufnehmen muss und die Kautätigkeit für die ausreichende Einspeichelung und die Befriedigung des Kaubedürfnisses von Bedeutung ist. Außerdem werden für beide Produkte die Staubkonzentrationen während der Futteraufnahme ermittelt und die Futtermittel hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe miteinander verglichen.

Die Messung der Aufnahmedauer und der Kaufrequenz wird mit sechs Pferden in Form einer Cross-over-Studie durchgeführt. Die Staubkonzentrationen werden bei einem Pferd über einen Zeitraum von vier Nächten je Futtermittel ermittelt.

Als Grundlage für die Untersuchung der Aufnahmedauer und Kaufrequenz wird eine Hypothese über den Vergleich der beiden Produkte verwendet. Je mehr das M^2- Wafer-Basic-Pferdefutter einem herkömmlichen Heu von der Aufnahmedauer und der Kaufrequenz her ähnelt, desto besser ist es als Raufutterersatz geeignet.

Die Untersuchung der Staubmessung soll zeigen, dass es eine geringere Staubbelastung bei verarbeitetem Futter gibt. Denn wenn verarbeitetes Futter, wie in dieser Arbeit gepresstes

Trockengrünfutter, verfüttert wird, dann führt dieses zu einer geringeren Staubentwicklung während der Futteraufnahme.

Ziel der Studie ist es, das M^2-Wafer-Basic-Pferdefutter hinsichtlich seiner Eignung als Heuersatzprodukt zu bewerten, um somit eine Aussage über mögliche Vor- und Nachteile gegenüber Heu treffen zu können.

2 Literaturübersicht

2.1 Fressverhalten

Um ein Futtermittel einer Futterbeurteilung unterziehen zu können, muss zunächst das natürliche Fressverhalten von Pferden betrachtet werden.

Pferde ernähren sich in freier Wildbahn hauptsächlich von Gräsern und Kräutern. Je nach Vegetation oder Jahreszeit nehmen sie auch geringe Mengen an Blättern, Rinden, Schilfgräsern, Moosen und Zweigen sowie jungen Trieben auf. Sie unterscheiden zwischen den einzelnen Pflanzen, wobei sie süß schmeckende den bitteren vorziehen. Das Auswählen der Pflanzen wird von der Mutter erlernt. Die Nahrungsmittel prägen sich während der Jugend besonders ein, Zeitler-Feicht (2008) spricht von einer Futterprägung.

Die Nahrungsauswahl erfolgt hauptsächlich nach dem Geschmack, der Struktur und der Verfügbarkeit. Der Nährstoffgehalt spielt dabei keine besondere Rolle.

Bei großem und reichlichem Futterangebot nehmen sich die Pferde mehr Zeit für das selektive Fressen und sind umso wählerischer (Zeitler-Feicht 2008).

2.1.1 Verdauungsapparat

Das Verdauungssystem des Pferdes beginnt im Maulbereich. Eine rohfaserreiche Fütterung führt zu einer langsamen Futteraufnahme durch Lippen, Zunge und Zähne. Das Futter wird mithilfe der Lippen sortiert, zwischen die Zähne gezogen und von den Backenzähnen mechanisch zerkleinert (Fritz 2013). Die intensive Kautätigkeit führt zu einer ausreichenden Durchsaftung des Futterbreis und begünstigt eine langsame und begrenzte Magenfüllung (Zeyner 1995). Die Speichelbildung wird durch einen Reflex ausgelöst, sobald Futter die Schleimhaut berührt. Für ein Kilogramm Heu werden etwa fünf Liter Speichel produziert. Allerdings kann sich die Menge der Speichelbildung je nach Futterart und Pferderasse unterscheiden (Fritz 2013). Der Speichel dient dazu, das Futter anzufeuchten und gleitfähig zu machen. Die Menge der Speichelbildung ist von der Futterstruktur abhängig. Ein trockenes Futter wird intensiver gekaut und somit kommt es zur vermehrten Speichelbildung (Kirchgeßner et al. 2014). Außerdem sind im Speichel Bikarbonate und Natriumchlorid enthalten, welche als Puffer im Magen zur Regulierung des pH-Wertes dienen. Bis zum

Magenausgang kommt es zur physiologisch erforderlichen pH-Wert-Senkung, die auch im Dünndarm weiter erfolgt (Zeyner 1995). Ohne eine ausreichende und ständige Speichelproduktion würde es zu einer Übersäuerung des Magens kommen.

Der Magen ist im Vergleich zur Pferdegröße sehr klein. Um eine Überladung des Magens zu verhindern, ist die kontinuierliche Futteraufnahme von kleinen Mengen wichtig. Das Futter bleibt aufgrund der geringen Magengröße nur zwei bis sechs Stunden im Magen. Die Verweildauer ist davon abhängig, ob weiteres Futter nachkommt. Der Magen produziert täglich 10 bis 30 Liter Magensaft, auch während Hungerzeiten. Damit die Magenschleimhaut nicht von der Magensäure angegriffen wird, schützt eine Schleimschicht diese. Bei langen Fresspausen wird sie jedoch angegriffen, was zu Magenschleimhautentzündungen führen kann (Fritz 2013).

Die Verdaulichkeit beim Pferd hat eine große Bedeutung, um den Bedarf an Energie und Nährstoffen zu decken. Kamphues et al. (2014) beschreibt als Verdaulichkeit jenen Anteil an Energie und Nährstoffen im Futter, der nicht wieder mit dem Kot ausgeschieden wird. Die Verdaulichkeit wird durch drei Größen hauptsächlich beeinflusst:

- das Tier: sein Alter und seine Erkrankungen,
- die Zusammensetzung des Futtermittels: Rohfaser, Protein, Fett und leicht lösliche Kohlenhydrate sowie
- die Bearbeitung des Futtermittels und Zusätze.

Als wichtige Begriffe bei der Verdaulichkeit sind die Verdauung und die Resorption zu nennen.
Die Verdauung besteht aus der mechanischen Zerkleinerung des Futters durch Zunge und Zähne sowie der chemischen Spaltung der Futterbestandteile in eine resorbierbare Größe. Die chemische Spaltung erfolgt durch körpereigene, bakterielle und futtereigene Enzyme. Die Resorption beschreibt die Aufnahme der zerlegten Futterbestandteile aus dem Verdauungstrakt in die Blut- und Lymphbahn. Diese geschieht entweder passiv durch ein Konzentrationsgefälle, aktiv entgegen einem Konzentrationsgefälle oder durch Pinozytose (Kamphues et al. 2014).

2.1.2 Fressdauer

Lange Fresszeiten entstehen durch selektives Fressen, sorgfältiges Kauen und energiearme und rohfaserreiche Nahrung.

Die Fressdauer in der Natur oder bei Weidehaltung hängt von dem Nährstoffangebot und der Witterung ab. Die Regulation der Nahrungsaufnahme wird zum einen vom Futteraufnahmezentrum im Zwischenhirn gesteuert und zum anderen durch Signale aus der Umgebung. Das Futteraufnahmezentrum hält das ständige Bedürfnis der Futteraufnahme aufrecht, so dass dieser Mechanismus unterbrochen werden muss, um die Nahrungsaufnahme zu beenden. Beim Pferd erfolgt dies über die Motivation, einem anderen Bedürfnis nachzugehen. Auch die Befriedigung des Kaubedürfnisses dürfte eine Rolle spielen. Die Magenfüllung hat aber aufgrund der nicht vorhandenen Dehnungsrezeptoren keinen Einfluss auf die Futteraufnahme (Zeitler-Feicht 2008).

Um lange Fresszeiten zu erreichen, spielt das Raufutter die entscheidende Rolle in der Fütterung. Als Raufutter werden Gras, Heu, Silage, Stroh und andere Grünfutterkonserven verwendet.

2.1.3 Kauschläge

Zu einer pferdegerechten Fütterung zählen neben dem ausreichenden Energie- und Nährstoffgehalt die Befriedigung des Fress- und Kaubedürfnisses. Neben der Fressdauer spielt die Anzahl der Kauschläge eine wichtige Rolle (Zeitler-Feicht 2008). Eine intensive Kautätigkeit führt zu einer guten Einspeichelung des Futters (Zeyner 1995). Somit ist eine hohe Kaufrequenz wichtig für eine optimale Verdauung.

Je nach Futtermittel macht ein Großpferd 40-80 Kauschläge pro Minute. Bei Heu und Stroh braucht ein Pferd zur Aufnahme von einem Kilogramm 40-50 Minuten und etwa 3500 Kauschläge. Ein Kilogramm Hafer dagegen frisst ein Pferd in nur 10 Minuten mit etwa 800 Kauschlägen (Zeitler-Feicht 2008).

2.2 Raufutter

Der größte Anteil besteht aus Raufutter. Dazu gehören Heu, Stroh, Heulage, Gras und handelsübliche verarbeitete Heuprodukt wie Heucobs, -würfel oder -flocken.

Da Raufutter ein großes Volumen hat verhindert es eine Magenüberladung. Es regt die Motorik des Verdauungsapparates an und führt durch den gründlichen Kauvorgang zu einer guten Einspeichelung, welche den Darm optimal arbeiten lässt.

Zu wenig Raufutter führt neben Verdauungsproblemen wie Verschiebung der Darmflora bis hin zu Koliken zu geringem Zahnabrieb und Langeweile.

Die langen Fresszeiten beschäftigen Pferde und halten die Verdauung intakt.

Zeyner (1995) beschreibt die Wirkung einer rohfaserreichen Fütterung im Verdauungskanal des Pferdes. Sie führt zu einer langsamen Futteraufnahme mit einer intensiven Kautätigkeit. Dies führt zu einer ausreichenden Durchsaftung des Futterbreis und begünstigt eine langsame und begrenzte Magenfüllung. Bis zum Magenausgang kommt es zur physiologisch erforderlichen pH-Wert-Senkung, im Dünndarm wird durch Bikarbonat aus dem Pankreas der pH-Wert wieder erhöht. Durch die pH-Wert-Absenkung im Magen wird die Bildung organischer Säuren gering gehalten. Im Dickdarm führt die rohfaserreiche Fütterung zu moderaten Fermentationsprozessen mit physiologischer Bildung organischer Säuren sowie einem stabilen pH-Wert und niedrigen Konzentrationen an Lipopolysacchariden.

Die Wirkung auf die Kotbeschaffenheit zeigt sich in einem relativ niedrigen TS-Gehalt und einer geringen Konzentration an organischen Säuren sowie einem pH-Wert von etwa 7.

2.2.1 Heu

Das bekannteste und wichtigste Raufutter in der Pferdefütterung ist Heu, da mit diesem eine ausreichende Raufutterversorgung über das ganze Jahr sichergestellt werden kann (Fritz 2013).

Heu ist getrocknetes Grünfutter von Wiesen und Weiden. Der allgemein bevorzugte Schnittpunkt für Pferdeheu ist in der frühen Gräserblüte. Es sollte für Pferdeheu mindestens 20 % Rohfaser enthalten (Meyer und Coenen 2002).

Bei Heu ist eine gute Qualität sehr wichtig. Je nach Erntezeitpunkt variieren der Nährwert- und der Rohfasergehalt, so dass dies zur Fütterung von Pferden mit unterschiedlichem Energiebedarf genutzt werden kann. Heu für arbeitende Pferde oder Zuchttiere kann früher geerntet werden als Heu zur Fütterung von Ponys und Robustpferden (Fritz 2013).

2.2.2 Heubriketts

Briketts werden aus Grünfutter mittels künstlicher Trocknung gepresst. Künstliche Trocknung erfolgt mit Heißluft von 500 – 800 °C. Das Grünfutter selbst erreicht durch die Verdunstungskälte dabei maximal 60 °C. Vor der künstlichen Trocknung kann auch eine Vortrocknung im Freien stattfinden, welche kostensparend ist, jedoch zu Atmungs- und Carotinverlusten führt. Nach der Trocknung wird das Grünfutter zerkleinert. Für Briketts wird grob zerkleinertes Trockengrün verwendet und gepresst. Die grobe Struktur verändert Art und Geschwindigkeit der Futteraufnahme im Vergleich zu üblichen Heucobs. Vorteile der Heubriketts gegenüber Heu sind das geringe Volumen durch die hohe Verdichtung, eine geringe Staubentwicklung und eine Hygienisierung durch Oberflächenminderung, Druck und Temperatur (Kamphues et al. 2014).

Kirchgeßner (2014) beschreibt, dass Cobs und Briketts einen hohen Nährstoffgehalt haben und bei diesen Futtermitteln mikrobielle Störungen am wenigsten zu erwarten sind.

2.2.3 Rohfaser

Raufutter oder Grobfutter ist Heu, Heulage und Stroh und wird von Kamphues et al. (2014) mit mehr als 20 % Rohfaser in der Trockensubstanz (TS) beschrieben. Man spricht bei einem strukturreichen Futtermittel, das die Grundlage für die Rationen von Pferden bildet, von Grund- oder Grobfuttermitteln.

Weender-Analyse

Bei der Weender-Analyse von Henneberg und Strohmann (1864) werden folgende Rohnährstoffe bestimmt:

- Rohwasser (= ursprüngliche Substanz – Trockensubstanz)
- Rohasche (Ra)
- Rohprotein (Rp)

- Rohfett (Rfe)
- N-freie Extraktstoffe (NfE)
- Rohfaser (Rfa)

Als Rohfaser beschreibt man den in verdünnten Säuren und Laugen unlöslichen fett- und aschefreien Rückstand. Dieser enthält unlösliche Anteile von Zellulose, Hemizellulose und Lignin (Kamphues et al. 2014).

Van-Soest-Analyse

Nach Van Soest werden die Gerüstsubstanzen und Zellwände genauer betrachtet. Hemizellulose, Zellulose und Lignin bestehen aus komplexen Glucosemolekülen. Hemizellulose und Zellulose können nur durch Mikroorganismen im Verdauungstrakt aufgeschlossen werden.

Lignin blockiert die Verdaulichkeit der Zellulose und Hemizellulose. Es wird in der Pflanze nach und nach eingelagert, so dass der Ligningehalt mit Alter und Größe der Pflanze weiter zunimmt (Buchgraber 2004).

NDF (neutral detergent fiber) = Summe der Gerüstsubstanzen
ADF (acid detergent fiber) = Zellulose und Lignin
ADL (acid detergent lignin) = Lignin

NDF – ADF = Hemizellulose
ADF – ADL = Zellulose
ADL = Lignin
(Kamphues et al. 2014)

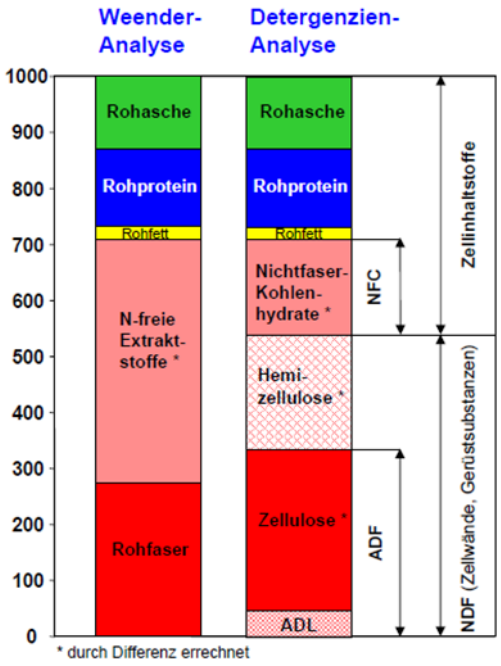


Abbildung 01: Vergleich - Weender-Analyse und Detergenzien-Analyse (Gruber 2018)

2.3 Staubbelastung

In der heutigen Pferdehaltung ist man immer wieder mit dem Thema Staubbelastung konfrontiert. Besonders die Haltung von Pferden in geschlossenen Ställen stellt häufig ein Problem dar. Dagegen haben Pferde bei einer Weidehaltung oft weniger Probleme durch Staub. Da ein großer Teil der Pferde in geschlossenen Haltungssystemen lebt, ist eine gute Stallluft bedeutend für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Pferde (Garlipp 2011). Um die Staubbelastung zu reduzieren, müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden. Dazu gehören vor allem die Einstreu, die Belüftung, das Futter, das Management sowie die Bodenbeläge beim Training (Claußen und Hessel 2017).

2.3.1 Definition von Stäuben

Stäube sind unbelebte Partikel des Bioaerosols. Als Schwebstaub bezeichnet man Stäube mit geringer Partikelgröße, die nicht oder sehr langsam sedimentieren und eingeatmet werden können (Garlipp 2011).

Luftgetragene Partikel dienen vielen Mikroorganismen als Transportmittel und Nährboden. Daher kann es beim Einatmen der Partikel neben einer mechanischen Reizung auch zu einer allergisierenden, infektiösen oder toxischen Wirkung kommen (Fleming 2008).

Tabelle 1: Eindringtiefe der Partikel (DIN EN 481 1993)

Staubfraktion	Partikeldurchmesser (µm)	Eindringtiefe in den Respirationstrakt
Einatembarer Staub	<100 µm	wird durch Mund und Nase eingeatmet
Thorakaler Staub	<10 µm	dringt über den Kehlkopf hinaus vor
Alveolengängiger Staub	<4 µm	dringt bis in die nicht ciliierten Luftwege vor

Der allgemeine Grenzwert für Partikelkonzentrationen am menschlichen Arbeitsplatz (maximale Arbeitsplatzkonzentration MAK) liegt bei 4 mg/m³ bei der einatembaren Fraktion und 3 mg/m³ bei der alveolengängigen Fraktion. Es gibt keine allgemein gültigen Grenzwerte für Pferde (Fleming 2008).

2.3.2 Maßnahmen zur Reduktion der Staubbelastung

Wenn man die Staubproblematik bei der Fütterung betrachtet, so sieht man, dass hauptsächlich bei bereits erkrankten Pferden darauf geachtet wird. Die üblichen Maßnahmen sind die Fütterung von nassem oder bedampftem Heu oder auch der Wechsel von Heu auf Heulage. Auch die Verwendung von industriell hergestellten Futtermitteln führt zu einer reduzierten Staubbelastung (Garlipp 2011).

Das Bedampfen von Heu ist sehr effizient in Bezug auf die Staubbelastung, doch die Methode hat Nachteile für große Pferdebetriebe, da sie mit hohen Kosten verbunden ist und nur eine begrenzte Menge an Heu bedampft werden kann. Die Fütterung von nassem Heu dagegen ist kostengünstiger und wird häufiger genutzt. Allerdings führt diese Methode zu einem Verlust an Nährstoffen und Mineralien und führt zu einem höheren Keimgehalt (Claußen und Hessel 2017).

3 Tiere, Material und Methode

Zur Beurteilung der beiden Produkte wurden die Fressdauer sowie die Kaufrequenz ermittelt. Diese Messungen erfolgten mit sechs Versuchspferden in Form einer Cross-over-Studie. Hierzu wurde das Equiwatch-Halfter der Firma Itin+Hoch GmbH (Liestal, Schweiz) verwendet. Außerdem wurden vergleichende Staubmessungen mit beiden Produkten durchgeführt. Die Messungen erfolgten während der Futteraufnahme eines Pferdes über einen Zeitraum von vier Nächten je Futtermittel.

3.1 Versuchspferde

Das Projekt wurde auf der Aspen Ranch in Salem, Baden-Württemberg (Deutschland) durchgeführt. Die Versuchspferde sind im Besitz der Familie Petz.

Die untenstehende Tabelle listet die verwendeten Pferde auf. Das Gewicht wurde mit folgender Formel mit einem Fehler von rund 5 % berechnet (Carrol und Huntington 1988, Frape 2010):

$$\text{Körpermasse (kg)} = \frac{\text{Brustumfang (cm)}^2 \times \text{Körperlänge (cm)}}{11877}.$$

Tabelle 2: Versuchspferde

Name	Rasse	Alter	Gewicht (kg)
Velvet	Quarter Horse	16	440
Seetha	Quarter Horse	11	509
Liesel	Quarter Horse	15	544
Blue	Paint Horse	12	506
Betty	Tinker	9	498
Stormy	Quarter Horse	4	473

3.2 Haltung der Versuchspferde

Die Pferde waren tagsüber in Gruppen zusammen auf der Koppel und verbrachten die Nacht in einer Box. Tagsüber hatten sie Gras und Heu *ad libitum* zur Verfügung, nachts erhielten sie während des Versuchs fünf Kilogramm des entsprechenden Futtermittels.

3.3 Produkte

3.3.1 Heu

Das in der Studie verwendetet Heu stammt von verschiedenen kleinen landwirtschaftlichen Betrieben aus der Region am Bodensee (Baden-Württemberg). Es handelt sich dabei um den 1. Schnitt eines Wiesenheus (Abb. 2).

Abbildung 02: Heu

3.3.2 Wafer-Futterwürfel

M^2-Wafer-Basic-Pferdefutter besteht aus italienischer Luzerne und Wiesenmischgräsern. Das Grünfutter besteht aus 3×3 cm großen Wafer-Futterwürfeln mit langen Fasern. Dadurch werden lange Kau- und Fresszeiten ermöglicht. Das hierfür verwendete Grünfutter kommt aus dem Norden Italiens (Food4Horses 2017) (Abb. 3).

Abbildung 03: M²-Wafer-Basic-Pferdefutter

3.4 Produkteanalyse

Die Zusammensetzung beider Produkte wurde vom Labor der Veterinärmedizinischen Universität Wien analysiert. Die Futteranalyse wurde mittels VDLUFA-Methoden durchgeführt.

Tabelle 3: Analyse der chemischen Zusammensetzung von Heu und Wafer

	Heu	Wafer
Trockensubstanz (%)	91,62	86,10
Organische Substanz (% d. TS)	94,80	87,80
Rohprotein (% d. TS)	8,42	20,64
Rohasche (% d. TS)	5,21	12,21
NDF (% d. TS)	75,53	49,09
ADF (% d. TS)	45,92	39,95
Rohfett (% d. TS)	0,95	1,59
Nicht-Faser-Kohlenhydrate (% d. TS)	9,90	16,48

Die Tabelle stellt die Mittelwerte der Analyse dar. Eine ausführliche Tabelle mit Standardabweichungen ist im Anhang beigefügt.

3.5 Messungen

3.5.1 Messung der Fressdauer und Kaufrequenz

Um die Eignung des M^2-Wafer-Basic-Pferdefutters als Raufutter für Pferde beurteilen zu können, wurden die Fressdauer und die Kaufrequenz im Vergleich zu Heu gemessen. Die Messungen erfolgten mithilfe des Equiwatch- Halfters.

Equiwatch (Itin+Hoch GmbH, Liestal, Schweiz) ist ein sensorbasiertes System in Form eines Halfters. Es erfasst die Kau- und Bewegungsaktivität von Pferden beim Fressen. Das Halfter ermöglicht, einzelne Kauschläge sowie die Gesamtdauer der Kauaktivität aufzuzeichnen. Zusätzlich werden die Kopfbewegungen des Tieres gemessen (Zehner et al. 2014).

Die Messung der Zahl der Kaubewegungen, der Fressdauer und die Erfassung der Kopfhaltung erfolgte immer über Nacht zwischen 20 Uhr und 7 Uhr und in Form einer Cross-over-Studie. Es wurde also abwechselnd in einer Nacht die Heufütterung eines Pferdes und in der folgenden Nacht die Waferfütterung eines anderen Pferdes gemessen. Die Versuchspferde haben jeweils 5 kg Heu bzw. Wafer erhalten. Für die Messung wurden die o. g. sechs Pferde im Alter von 4 bis 16 Jahren und mit einem Stockmaß zwischen 140 cm und 160 cm verwendet. Die Pferde waren an beide Futtermittel gewöhnt.

Das verwendete Equiwatch-Halfter war gut einstellbar. Ein Scheuern des Nasenriemens auf der Pferdenase konnte mit der Anbringung eines handelsüblichen Polsters für Trensen verhindert werden.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte am Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe der Veterinärmedizinischen Universität Wien. Sie erfolgte mit dem Statistik-Programm SAS (Version 9.4, SAS Inst. Inc., Cary, NC). Zuerst wurden die Daten hinsichtlich einer Normalverteilung geprüft und anschließend erfolgte die Varianzanalyse mit Hilfe von PROC MIXED, wobei die Gruppe als fester und das Tier als zufälliger Effekt betrachtet wurde. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt. Die Messungen innerhalb jedes Versuchslaufs am gleichen Pferd wurden im Modell als wiederholte Messungen betrachtet und es wurde eine autoregressive Varianz-Kovarianz-Matrix erster Ordnung verwendet, um die wiederholten Messungen der einzelnen Pferde zu berücksichtigen. Für die Post-Hoc-Analyse wurde der Tukey-Test verwendet.

Abbildung 04: Versuchspferd Velvet mit aufgepolstertem Equiwatch-Halfter

3.5.2 Messung der Staubkonzentration

In Anlehnung an die Messung und Beurteilung von Staubbelastungen an Arbeitsplätzen werden während der Fresszeiten in der Versuchsbox die drei unterschiedlichen Staubfraktionen (nach DIN EN 481 1993) bei der Futteraufnahme erfasst. Hierfür wurde ein Messgeräteträger gebaut, der die Probennahme im unmittelbaren Nahbereich von Mund und Nase bei der Nahrungsaufnahme erlaubt. Die Konstruktion musste auch eine geschützte Anbringung des Messsystems samt Kabel- und Schlauchführung sicherstellen.

Abbildung 05: Messgeräteträger Frontseite und Rückseite

Nachfolgende Abbildung 6 zeigt die Lage des Messgerätes zusammen mit dem zu vergleichenden Futter:

Abbildung 06: Messgerät mit Heuration und Messgerät bei Waferfütterung

Das verwendete komplette Messsystem besteht aus einer Probenahmepumpe vom Typ Gilian 10i (Firma Sensidyne, St. Petersburg, USA), welche zusammen mit dem Datenlogger DALO (Helmut Hund GmbH, Wetzlar) auf der Rückseite des Messgeräteträgers installiert wurde. Das gravimetrisch-fotometrische Messgerät Respicon 2 TM wurde stoßgeschützt auf der Frontseite des Messgeräteträgers befestigt und mit einem ummantelten Schlauch mit der Probenahmepumpe verbunden.

Die Pumpe saugt über einen definierten Zeitraum kontinuierlich Luft durch das Messgerät (Respicon 2 TM), welches, in drei durch virtuelle Impaktoren getrennte Stufen unterteilt, die entsprechende Staubfraktion auf Filtern sammelt.

Abbildung 07: Prinzipskizze und Messgerät Respicon 2 TM (Helmut Hund GmbH 2019)

Nach Auswiegen der Filter und Bestimmung der deponierten Staubmassen kann der Verlauf der Konzentrationen der E- (einatembar), T- (thorakal) und A- (alveolengängig) Staub-Fraktionen über die Messdauer berechnet werden. Hierfür ist jede Stufe zudem mit einem Streulichtfotometer ausgestattet, das nach der gravimetrischen Kalibrierung zeitaufgelöste Konzentrationsbestimmungen erlaubt (Helmut Hund GmbH 2019).

Mit Blick auf die Bestimmung der futterbedingten Staubkonzentrationen wurden die Messungen in einem sehr gut belüfteten Stallgebäude durchgeführt, in dem nur nachts das Versuchspferd und ein Beistellpferd untergebracht wurden. Sämtliche Stallarbeiten haben vormittags stattgefunden, weshalb von einer sehr geringen haltungsbedingten Vorbelastung durch Schwebstäube ausgegangen werden konnte. Weil auch eine geringe fütterungsbedingte Staubkonzentration erwartet werden konnte, wurde eine Gesamtmessdauer (Beaufschlagung der Filter) über vier Nächte (ca. 40 Stunden) gewählt. Die Messung erfolgte zwischen 20 Uhr und 6 Uhr.

Die gravimetrische Bestimmung der Staubfraktionen auf den Filtern erfolgte durch das akkreditierte Labor der IC Consulenten Ziviltechniker GesmbH, Wien.

4 Ergebnisse

4.1 Fressdauer

Bei den Messungen der Fressdauer mit dem Equiwatch-Halfter wurden sowohl die Fresszeit, während der der Kopf des Pferdes unten gehalten wurde (eatdowntime), als auch die Fresszeit, während der Kopf beim Fressen oben gehalten wurde (eatuptime), erfasst.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte am Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

Tabelle 4: Mittlere Fressdauer mit verschiedenen Kopfpositionen

	Heu	Wafer
Eatdowntime	281 Min ~ 4,7 Stunden	275 Min ~ 4,6 Stunden
Eatuptime	18 Min ~ 0,3 Stunden	47 Min ~ 0,8 Stunden
Gesamte Fresszeit	299 Min ~ 5 Stunden	322 Min ~ 5,4 Stunden

Wie in Tabelle 3 zu sehen ist, hielten die Pferde ihren Kopf beim Fressen die meiste Zeit unten und in nur 6 % (Heu) und 17 % (Wafer) der Fresszeit oben.

Der Zeitraum je Nachtmessung belief sich auf ca. 10 Stunden. Im Durchschnitt haben die Pferde 5 Stunden für 5 kg Heuaufnahme und etwa 5,4 Stunden für die Aufnahme von 5 kg Wafer-Futterwürfel benötigt. Der Zeitunterschied von ca. 8 % ist sehr gering. Eine signifikant unterschiedliche Fressdauer zwischen den Produkten konnte nicht nachgewiesen werden. Somit kann die Fressdauer bei der Fütterung der beiden Produkte als gleich lang bewertet werden.

Tabelle 5: Fressdauer

	Heu	Wafer
Gesamte Fresszeit	299 Min	322 Min
Fresszeit/ kg Futter	60 Min	65 Min

Die einzelnen Messergebnisse zu den Fresszeiten mit dem Equiwatch-Halfter zeigen nachfolgende Abbildungen 8 und 9:

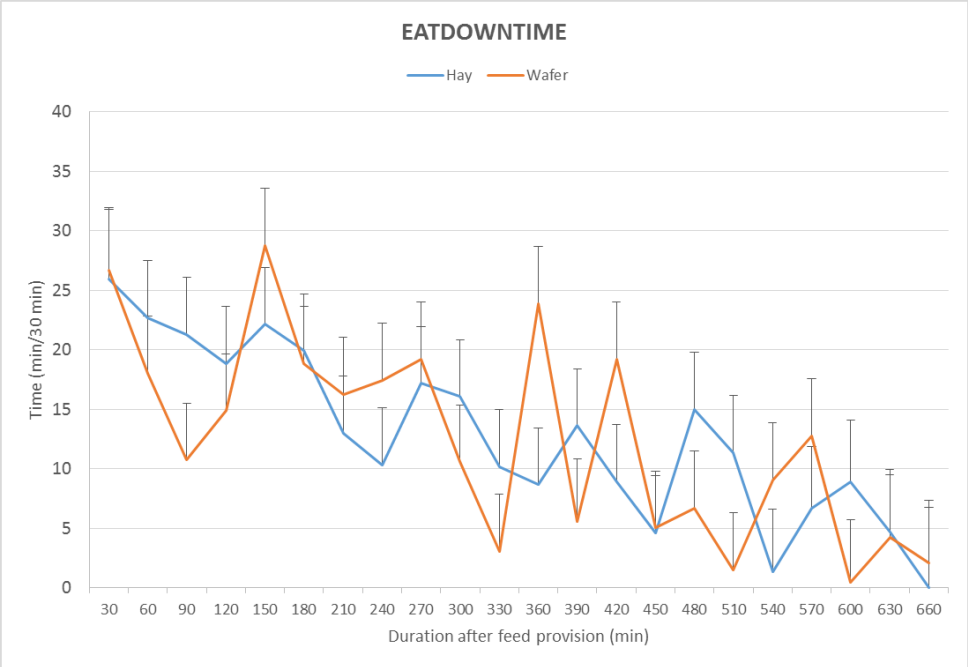


Abbildung 08: Eatdowntime (Fresszeiten mit Kopfposition unten)

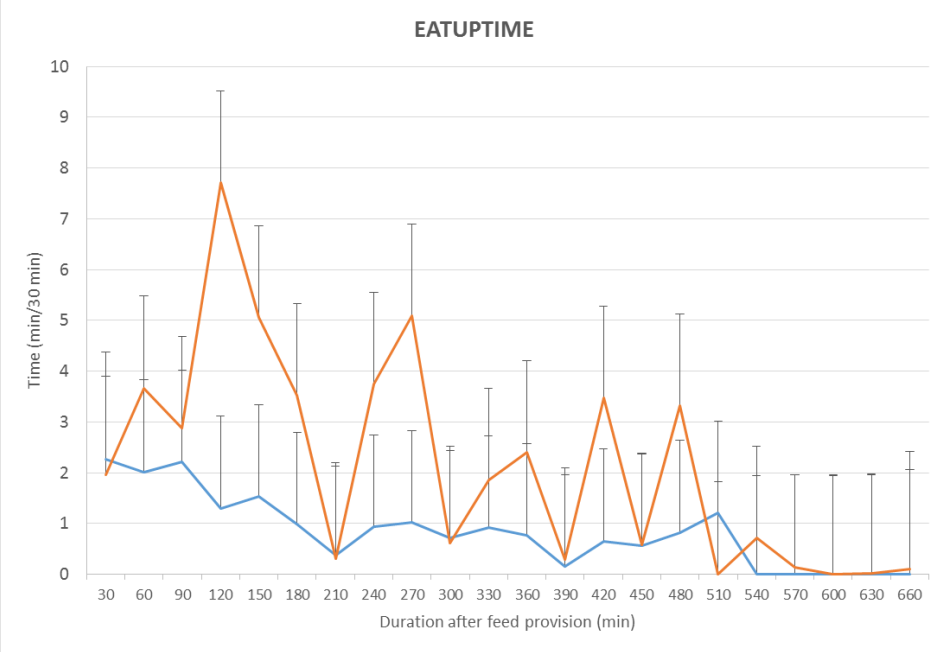


Abbildung 09: Eatuptime (Fresszeiten mit Kopfposition oben)

4.2 Kaufrequenz

Die Kauschlagzahlmessung mit Hilfe des Equiwatch-Halfters erfasst die Anzahl der Kauschläge getrennt nach Position des Kopfes und die Gesamtkauschläge.

Tabelle 6: Kauschläge mit verschiedenen Kopfpositionen

	Heu	Wafer
Eatdownchews (unten)	20 770	15 242
Eatupchews (oben)	1 252	921
Total Chews (gesamt)	22 022	16 163

Die Messungen erfolgten während der Aufnahme von 5 kg des jeweiligen Futters. Im Ergebnis wurden 22.022 Kauschläge bei der Heufütterung und 16.163 Kauschläge bei der Waferfütterung erfasst. Somit zeigte sich bei der Fütterung mit Wafer-Futterwürfel eine gegenüber der Fütterung mit Heu um etwa 37 % geringere Kauschlagzahl.

Tabelle 7: Kauschläge je Futtermenge und Zeit

	Heu	Wafer
Gesamtkauschläge	22 022	16 163
Kauschläge/kg Futter	4 404	3 233
Kauschläge/Minute	73	50

Nachfolgend sind die Messdaten im 30-Minuten-Intervall ab Beginn der Fütterung dargestellt:

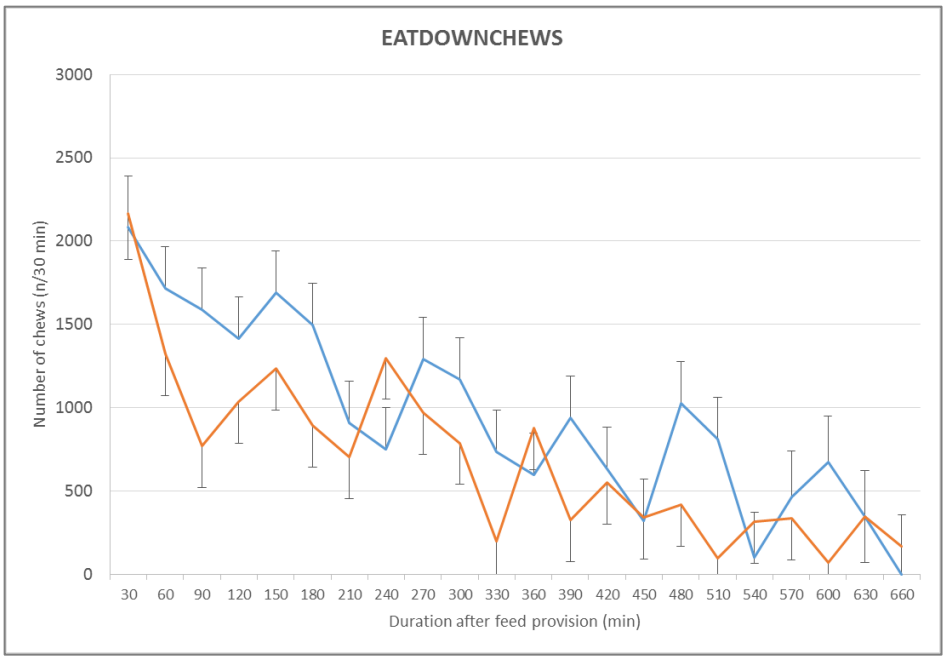


Abbildung 10: Kauschlagzahl mit Kopfposition unten (blau: Heu, orange: Wafer)

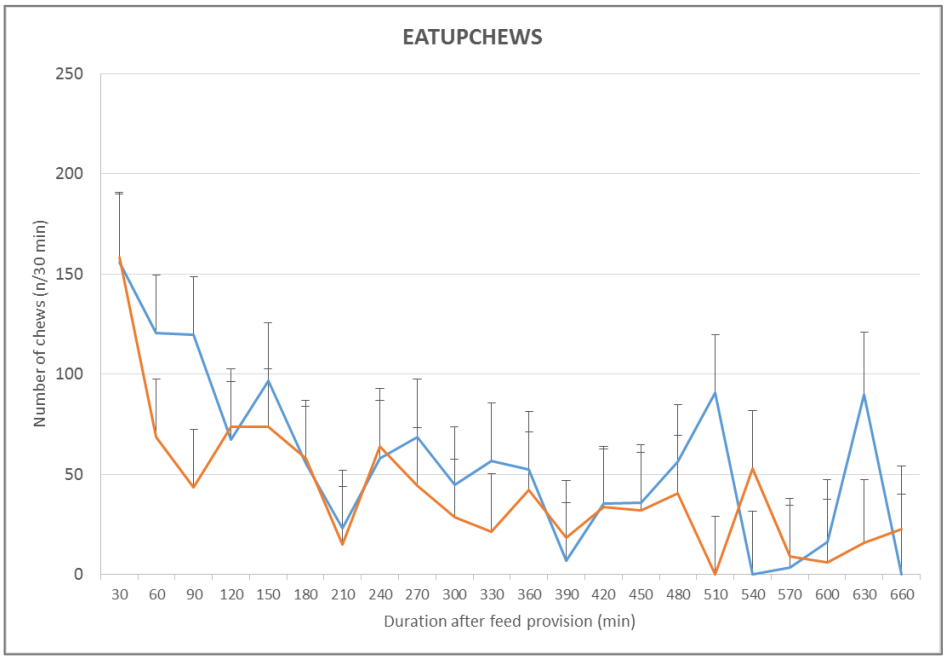


Abbildung 11: Kauschlagzahl mit Kopfposition oben (blau: Heu, orange: Wafer)

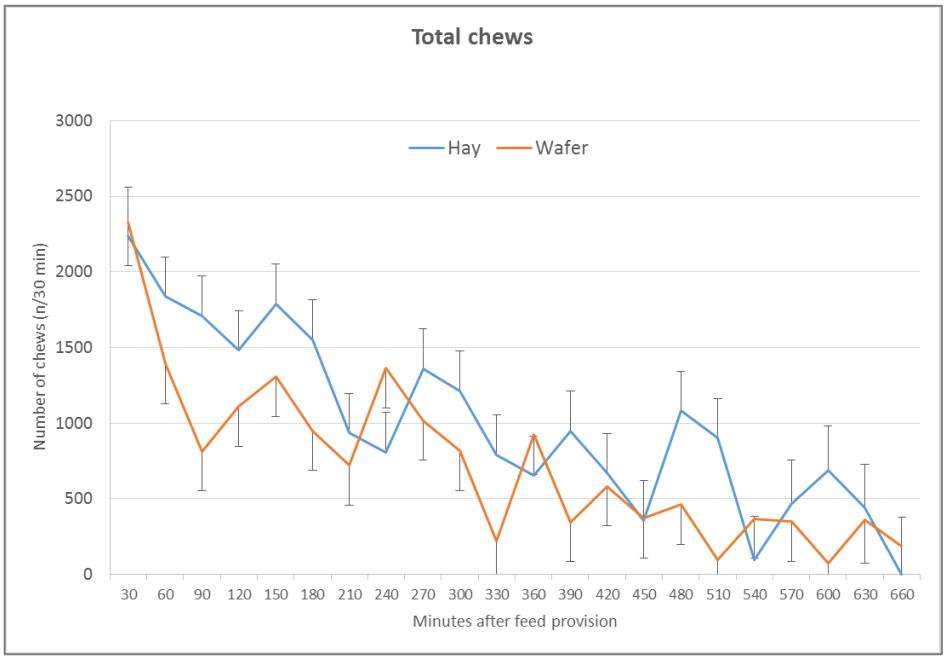


Abbildung 12: Gesamtkauschlagzahl (blau: Heu, orange: Wafer)

4.3 Staubkonzentration

Die Ergebnisse setzen sich aus der gravimetrischen Wiegung und der Massenbestimmung durch das Streulichtphotometer zusammen. Die gemessenen Staubkonzentrationen sind in den Abbildungen 13 bis 16 in einem 5-Sekunden-Messintervall dargestellt.

Die Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Staubkonzentrationen der E-, T- und A-Staub-Fraktionen über die Messdauer erfolgte durch IC Consulenten Ziviltechniker GesmbH, Wien. Die Abbildungen 13 und 14 zeigen die gemessenen Staubkonzentrationen der jeweiligen Fraktionen getrennt für die Messwoche mit Heufütterung und mit Waferfütterung. Man sieht die Unterschiede der einatembaren Staubkonzentration gegenüber der thorakalgängigen Staubkonzentration in den vier Nächten. Abbildung 13 zeigt besonders in der zweiten, dritten und vierten Nacht deutliche Unterschiede zwischen den beiden Fraktionen bei der Heufütterung. In Abbildung 14 dagegen sind die Unterschiede nicht so deutlich.

Die erfassten alveolengängigen Staubmassen auf dem Filter nach ca. 40 Stunden Beaufschlagung waren im Bereich der Nachweisgrenze von etwa 20 µg, so dass sich die aus der Streulichtmessung berechneten Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze des Messgerätes von 5 µg/m³ bewegen. Daher wird im Weiteren kein Vergleich der alveolengängigen Staubkonzentrationen bei der Heu- bzw. Waferfütterung vorgenommen.

Die Konzentrationsverläufe der thorakalen (<10 µm) und einatembaren Staubfraktionen (<100 µm) sowie die identifizierten nächtlichen Fresszeiten sind zusammenhängend für die vier nächtlichen Messzeiten von Heu und Wafer vergleichend in den nachfolgenden Abbildungen 15 und 16 dargestellt.

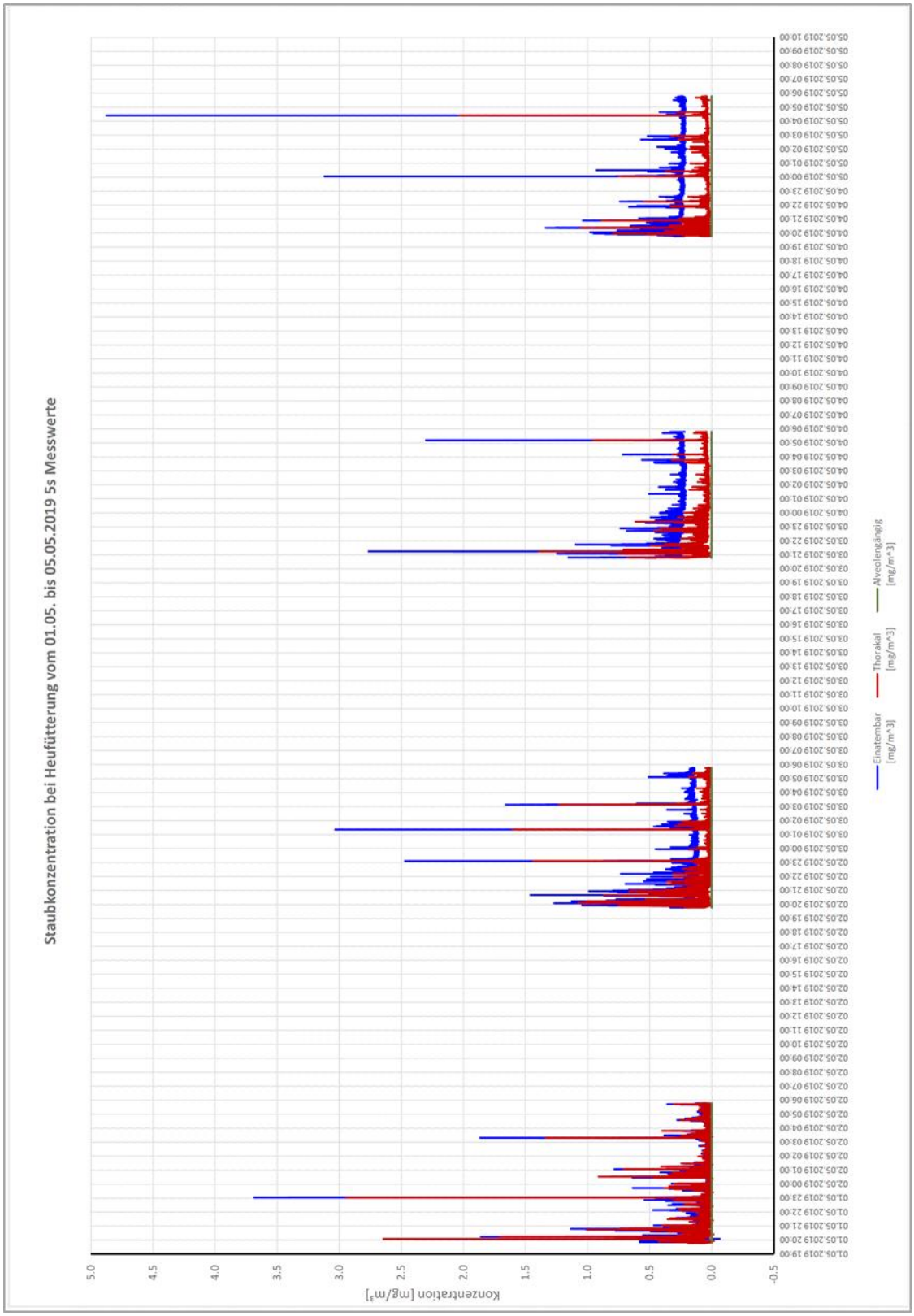


Abbildung 13: Messdaten Staubkonzentration bei Heufütterung

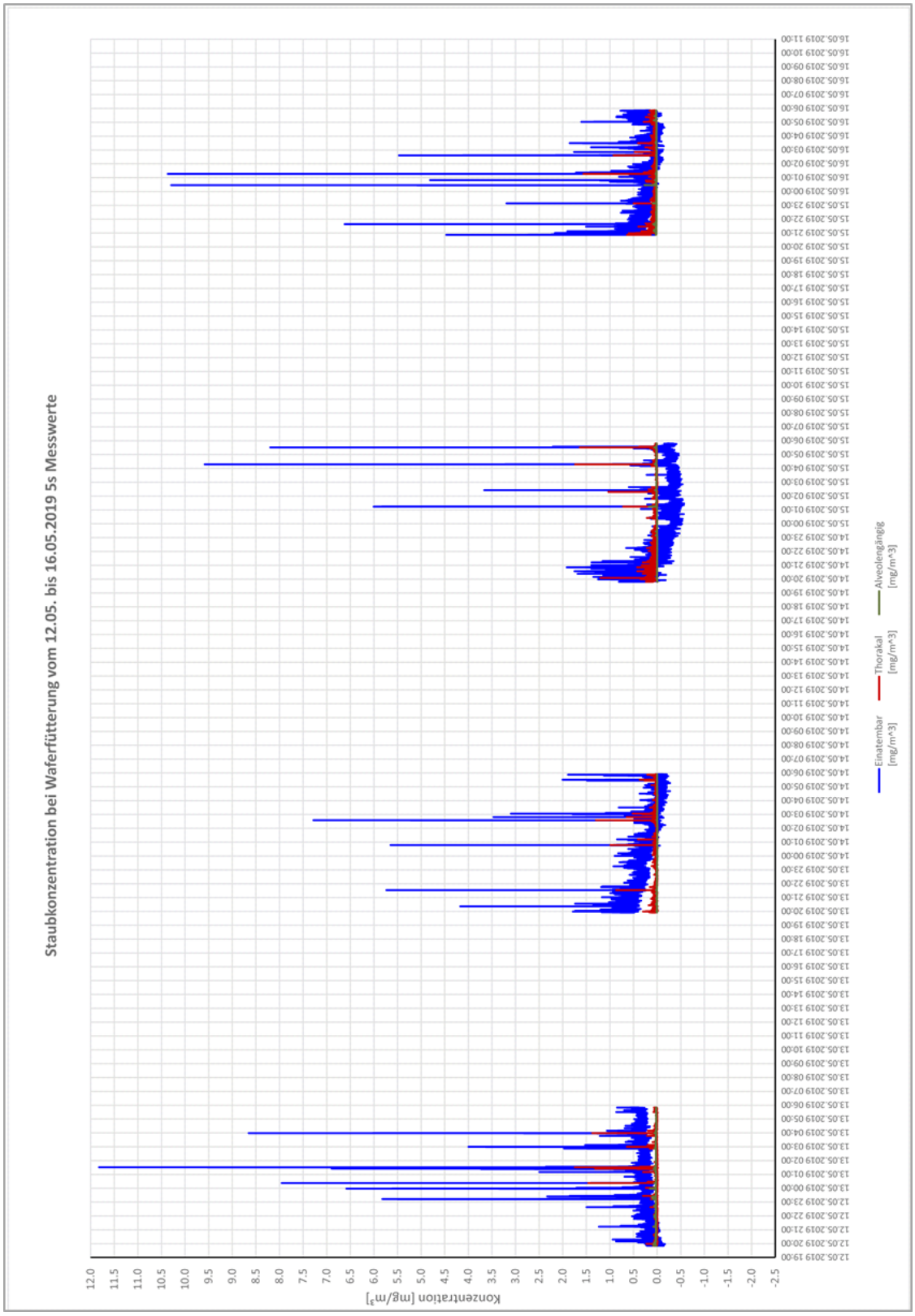


Abbildung 14: Messdaten Staubkonzentration bei Waferfütterung

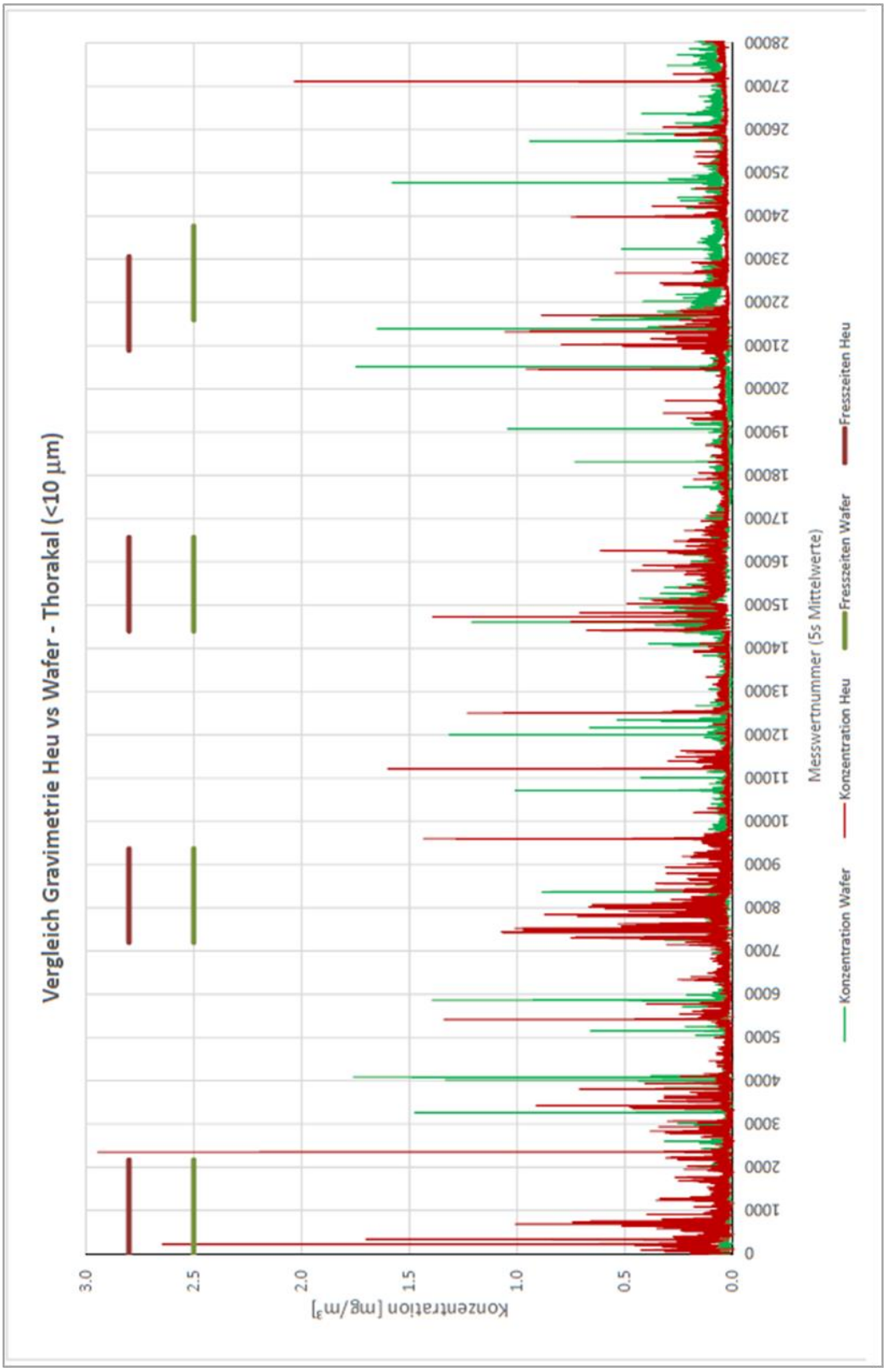


Abbildung 15: Gravimetrie - thorakale Staubfraktion

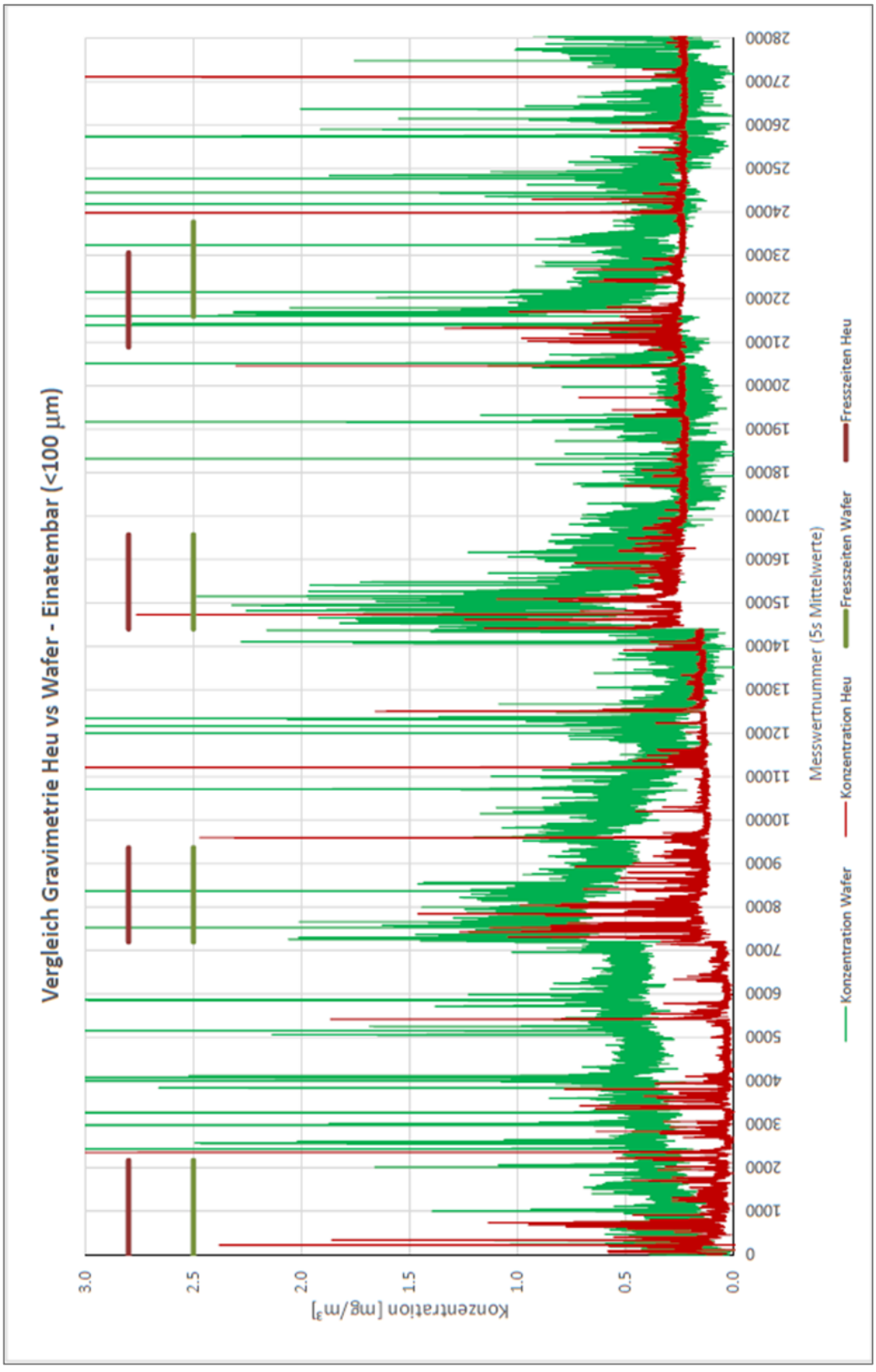


Abbildung 16: Gravimetrie - einatembare Staubfraktion

Aus den Messwerten konnten die in Tabelle 8 ausgewiesenen mittleren Staubkonzentrationen zur Nachtzeit und die in Tabelle 9 ausgewiesenen Konzentrationen während der auffälligen Hauptfresszeiten in den ersten drei Stunden nach der Fütterung ermittelt werden.

Tabelle 8: Mittlere Staubkonzentrationen im Zeitraum von 20 Uhr bis 6 Uhr

	Thorakal (<10 µm)	Einatembar (<100 µm)
Heu	0,0345 mg/m³	0,0501 mg/m³
Wafer-Futterwürfel	0,0298 mg/m³	0,2964 mg/m³

Tabelle 9: Staubkonzentration während der ersten drei Stunden nach der Fütterung

	Thorakal (<10 µm)	Einatembar (<100 µm)
Heu	0,0622 mg/m³	0,0899 mg/m³
Wafer-Futterwürfel	0,0464 mg/m³	0,4467 mg/m³

5 Diskussion

Zunächst wird die gewählte Methodik erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse der gemessenen Parameter mit Angaben aus verschiedenen Veröffentlichungen verglichen und diskutiert.

Die Messungen der Fressdauer und der Kaufrequenz wurden in Form einer Cross-over-Studie mit sechs Pferden durchgeführt. Die Anzahl der Versuchspferde zeigte sich als ausreichend, da gute Ergebnisse damit erzielt werden konnten. Brüssow (2006) hat eine Studie zur Fressdauer und Kaufrequenz mit vier Pferden durchgeführt. Meyer et al. (1975) hat die Kaufrequenz während der Heufütterung ebenfalls mit vier Pferden ermittelt.

Die Messungen wurden mit dem Equiwatch-Halfter durchgeführt. Das ist ein spezielles Halfter, welches zur Ermittlung der Kaufrequenz dient. In der Studie von Brüssow (2006) wurde die Kaufrequenz mit einem Handzähler, mit Myografie und umgebauten Halftern, die in ihrer Funktion dem Equiwatch-Halfter ähneln, ermittelt. Meyer et al. (1975) hat die Kaufrequenz ebenfalls mittels Myografie erhoben.

Die Fressdauer für ein Kilogramm Heu betrug im Mittel 60 Minuten, für ein Kilogramm Wafer etwa 65 Minuten. Die Literatur ist sich nicht einig, ob die Futteraufnahmedauer je Kilogramm des Futtermittels oder je Kilogramm Trockensubstanz (TS) betrachtet werden soll. Will man die Zeit pro Kilogramm TS betrachten, ergeben sich unter Berücksichtigung der ermittelten Trockensubstanzen von 91,62 % beim verwendeten Heu und 86,10 % bei den Wafer-Futterwürfeln Futteraufnahmezeiten von etwa 55 min/kg TS (Heu) und 56 min/kg TS (Wafer).

Brüssow (2006) beschreibt Futteraufnahmezeiten von 39,3 min/kg TS bei Heu und 52,0 min/kg TS bei Heulage. Meyer et al. (1975) sprechen bei langem Heu von mittlerer Qualität von 39,0 Minuten je Kilogramm, Fritz (2012) spricht von etwa 45-50 Minuten Fresszeit pro Kilogramm Heu und Zeitler-Feicht (2008) und Zeyner (1995) von 40-50 Minuten.

Zur Fressdauer von Wafer-Futterwürfeln oder ähnlichen Produkten findet man in der Literatur keine bzw. wenig Angaben. Meyer et al. (1975) haben bei der Futteraufnahme von hart gepressten Heucobs mit einem Durchmesser von etwa 6 cm eine Fressdauer von 40 Minuten

gemessen. Die Fressdauer ist vergleichbar mit der in der Literatur angegebenen Fressdauer von Heu, so dass damit nahezu gleich lange Aufnahmezeiten von Heu und Wafer bestätigt werden können.

Die insgesamt etwas längeren Fresszeiten in unserer Studie gegenüber den Angaben in der Literatur lassen sich damit erklären, dass es sich bei den Versuchspferden um kleinere Pferde handelt. Sie haben alle ein Stockmaß zwischen 140 und 160 cm und fressen aufgrund der schmaleren Kaufläche etwas langsamer (Zeitler-Feicht 2008). Meyer et al. (1975) beschreiben, dass Ponys mit 200-280 kg für die Aufnahme von 1 kg Heu etwa doppelt so lange wie Großpferde brauchen. Bei Brüssow (2006) handelte es sich bei den Versuchspferden um drei Traber und ein Mecklenburger Warmblut; und auch Zeyner (1995) spricht von der Fütterung eines Großpferdes. Mixa (2009) hat in ihrer Studie mit kleineren Islandpferden 74 Minuten pro 1 kg Heu ermittelt. Auch könnten sich die im Nachtzeitraum gemessenen etwas höheren Fresszeiten dadurch erklären, dass die Versuchspferde tagsüber Heu *ad libitum* zur Verfügung haben, wodurch sie ohne besonderen Hunger und entspannt an ihre Ration für die Nacht gehen konnten. Kürzere Fresszeiten können durch die oft noch übliche Pferdehaltung mit rationiertem Raufutter zustande kommen (Brüssow 2006).

Die Messung der Kaufrequenz ergab 4.404 Kauschläge je 1 kg Heu und 3.233 Kauschläge je 1 kg Wafer-Futterwürfel. Die Messung hat einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Futtermitteln von etwa 27 % gezeigt. Die Kaufrequenz pro Minute ergab 73 Schläge bei der Heufütterung und 50 Schläge bei der Waferfütterung. Damit macht das Pferd bei der Waferfütterung 31,6 % weniger Kauschläge gegenüber der Heufütterung. Brüssow (2006) hat in ihrer Studie bei der Fütterung von Heu 70,0 Kauschläge pro Minute mit dem Handzähler, 71,3 mit der Myografie und 61,5 Kauschläge mit dem dafür umgebauten Halfter gemessen. Die in dieser Studie ermittelte Kaufrequenz zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Brüssow (2006). Das Ergebnis zeigt auch, dass sich die Kaufrequenz je Minute nicht wesentlich mit der Pferdegröße verändert. Meyer et al. (1975) geben an, dass die Kaufrequenz bei Ponys mit 200-280 kg mit etwa 100 Kauschlägen pro Minute etwas höher liegt. Meist finden sich in der Literatur nur allgemeine Angaben zur Kaufrequenz wie bei Zeitler-Feicht (2008) mit 40-80 Kauschlägen beim Großpferd pro Minute je nach Futtermittel oder 3.000-3.500 Kauschläge je 1 kg Raufutter (Meyer et al. 1975, Bochnia et al. 2019).

Die geringere Kaufrequenz bei der Waferfütterung könnte mit dem geringeren Gehalt an Gerüstsubstanzen gegenüber dem Heu liegen. Die Wafer-Futterwürfel haben einen NDF-Anteil von 49,1 % in der Trockensubstanz, das Heu dagegen hat einen Anteil von 75,5 % in der Trockensubstanz (Tab. 3, Seite 12).

Mixa (2009) konnte in ihrer Studie darlegen, dass Heucobs als vollwertiges Raufuttermittel und als Heuersatzprodukt geeignet sind, obwohl diese eine deutlich geringere Aufnahmedauer benötigen. Die Wafer-Futterwürfel kommen den guten Eigenschaften von Heu sehr viel näher als gewöhnliche Heucobs. Sie haben eine vergleichbar lange Aufnahmedauer wie Heu, lediglich die geringere Kaufrequenz bei der Futteraufnahme ist auffällig.

Die Staubmessung wurde über vier Nächte je Futtermittel durchgeführt, damit alle Aktivitäten tagsüber wie Ausmisten, Füttern und Kehren keinen Einfluss auf die Messung nehmen. Die Ergebnisse aus der Messung bei der Heufütterung ergaben während der Fresszeit mit Heu für die thorakale Fraktion (<10 µm), im folgenden PM_{10} genannt, im Mittel 0,0622 mg/m³. Während der Fresszeit der Wafer-Futterwürfel wurde im Mittel eine PM_{10}-Konzentration von 0,0464 mg/m³ ermittelt. Dieses Ergebnis war von der Tendenz her zu erwarten, da die gepressten Wafer-Futterwürfel bei der Handhabung geringer stauben. Ein Vergleich der Messdaten anhand von Ergebnissen aus anderen Studien ist nur begrenzt möglich, da viele Arbeiten ein anderes Studiendesign aufweisen. In vielen Studien bezüglich Staubkonzentrationen im Pferdestall geht es um einen Vergleich von verschiedenen Einstreumaterialien. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass viele Autorinnen und Autoren die Einstreu als Hauptquelle für die Staubbelastung sehen. Anders bei Zeitler et al. (1987) und Bartz (1992), die beide Heu als größte Staubquelle im Pferdestall ansehen.

Grundsätzlich ist zwischen einer stationären Messung im ganzen Stall und einer Messung im direkten Einatembereich des Pferdes – mithilfe von Messköpfen, die am Halfter befestigt werden – zu unterscheiden (Woods et al. 1993, Bartz 1992). In der vorliegenden Studie wurde ein stationäres Messgerät in unmittelbarer Nähe des Futters angebracht, mit dem Ziel, die Staubkonzentration im Einatembereich des Pferdes zu erfassen, ähnlich einer Messung direkt am Halfter. Dennoch ist der Vergleich mit den Halfter-Ergebnissen von Woods et al. (1993) und Bartz (1992) aufgrund der unterschiedlichen Fraktionsgrößen (PM_{20} und $PM_{2,5}$) nur sehr

bedingt möglich. Woods et al. (1993) haben bei der Pferdehaltung mit Stroh und Heu im Einatembereich des Pferdes 17,51 mg/m³ bei der Staubfraktion PM_{20} gemessen und 9,28 mg/m³ bei der Staubfraktion $PM_{2,5}$. Bei der Haltung mit Spänen und pelletiertem Futter wurden 0,52 mg/m³ bei der Staubfraktion PM_{20} und 0,30 mg/m³ bei der Staubfraktion $PM_{2,5}$ ermittelt. Das zuletzt genannte Haltungssystem ist vergleichbar mit der Messung während der Waferfütterung in dieser Studie. Üblicherweise steigt die Konzentration von Staubfraktionen mit der Teilchengröße an. Daher sollte die PM_{20}-Konzentration (0,52 mg/m³ bei Woods et al.) deutlich über der PM_{10}-Konzentration (~ 0,05 mg/m³ in dieser Studie) liegen. Die bei Woods et al. (1993) gemessene $PM_{2,5}$-Konzentration von 0,30 mg/m³ liegt allerdings deutlich über den in dieser Studie gemessenen PM_{10}-Konzentrationen, was sich möglicherweise dadurch erklären lässt, dass die Messung sowohl tagsüber als auch nachts durchgeführt wurde. Damit ist aufgrund von Aktivitäten wie Misten, Füttern und Kehren von einer insgesamt höheren fütterungsunabhängigen Staubbelastung auszugehen. Derartige Unterschiede zeigen sich in der Studie von Zeitler (1985). In dieser wurden vormittags bei den Stallarbeiten Gesamtstaubkonzentrationen von 2,25 mg/m³, nachmittags von 1,50 mg/m³ und nachts von 0,39 mg/m³ erhoben.

Die große Bedeutung der Vorbelastung zeigt sich auch beim Vergleich der E-Staubfraktionen (einatembar <100 µm) während der Heu- bzw. Waferfütterung (siehe auch Abbildung 16). Während die Staubmessungen bei Heufütterung im Zeitraum 01.05. bis 05.05.2019 bei feuchtem Wetter und klarer Außenluft stattfanden, herrschte in der Woche vom 12.05. bis 16.05.2019 sehr trockenes Wetter mit hohem Staub- und Pollenflug in der Atmosphäre. Entsprechend waren die jeweiligen nächtlichen Messwerte bei der Heufütterung nur einer gerätespezifischen Nullpunktkorrektur zu unterziehen. Im Messzeitraum einer Nacht mit Heufütterung zeigte sich eine konstante Hintergrundbelastung bei den E-Staubfraktionen. Hingegen schwanken die gemessenen E-Staubfraktionen während der Waferfütterung erheblich innerhalb einer Messnacht. Auch lagen die gemessenen E-Staubfraktionen während der Waferfütterung um Faktor 5 über den Vergleichsmessungen während der Heufütterung. Es wird vermutet, dass die Konzentration der E-Staubfraktionen überwiegend von der atmosphärischen Vorbelastung bestimmt wurde, weil der Stall sehr gut durchlüftet war. Deshalb wird auf eine weitere Ergebnisdiskussion verzichtet.

Insgesamt zeigen die Staubkonzentrationsmessungen, dass bei der Waferfütterung etwa 25 % weniger Feinstaub PM_{10} (T-Staubfraktion) entsteht. Für einen Vergleich von A-Staubfraktionen wären deutlich längere Messzeiten als in dieser Studie (ca. 40 Stunden) erforderlich, um sicher die verfahrensbedingte Nachweisgrenze von etwa 20 µg alveolengängiger Staubmasse zu erreichen. Eine Beurteilung von E-Staubfraktionen war unter den gegebenen Messbedingungen nicht möglich, da die Schwankungen der atmosphärischen Vorbelastung einatembarer Staubfraktionen höher waren als mögliche Unterschiede der Staubkonzentrationen während der Fütterung.

Die gemessenen Unterschiede bei den thorakalen Staubkonzentrationen lassen jedoch den Schluss zu, dass die M^2-Wafer-Basic-Futterwürfel für atemwegserkrankte Pferde hinsichtlich der Staubbelastung einen geeigneten Heuersatz darstellen.

Um abschließend die M^2-Wafer-Basic-Futterwürfel beurteilen zu können, muss auch die chemische Zusammensetzung betrachtet werden. Unter anderem sollte eine Überversorgung mit Protein vermieden werden (Kamphues at al. 2014). Bei Freizeitpferden, die meist nur den Erhaltungsbedarf benötigen, muss besonders darauf geachtet werden. Trächtige und laktierende Stuten sowie Fohlen und Absetzer haben hingegen einen erhöhten Bedarf an Protein.

Durch einen Überschuss an Proteinen wird vermehrt Harnstoff gebildet. Um diesen in Form von Urin ausscheiden zu können, benötigen Leber und Niere mehr Wasser (Hermann 2011).

Bei den Ergebnissen der chemischen Analyse sticht besonders der hohe Rohproteingehalt heraus, welcher bei den Wafer-Futterwürfeln 20,64 % der Trockensubstanz ausmacht. Beim Heu dagegen liegt er nur bei 8,42 %. Somit sollte bei Verwendung von M^2-Wafer-Basic-Futterwürfel als dauerhafter bzw. vollständiger Heuersatz der spezifische Proteinbedarf des Pferdes berücksichtigt werden.

Allgemein kann zum Einsatz der M^{2-}Wafer-Basic-Futterwürfel gesagt werden, dass diese kurzfristig als Raufutterersatz geeignet sind, was besonders bei einer eventuellen Heuknappheit in der Zukunft von Interesse ist. Durch die Verarbeitung haben sie ein deutlich geringeres Volumen im Vergleich zu Heu, wodurch auch der Transport über weite Strecken leichter möglich ist. Bei der Verwendung ist jedoch der deutlich höhere Proteingehalt zu

beachten. Beim Einsatz in der täglichen Praxis sind die M^{2-}Wafer-Basic-Futterwürfel als ein Teil der Raufutter-Tagesration geeignet. Bei Pferden mit erhöhtem Proteinbedarf, wie zum Beispiel Zuchtstuten oder heranwachsenden Jungtieren können sie auch als Heuersatz verwendet werden. Als dauerhaftes alleiniges Raufutter wäre Heu, aufgrund der höheren Kaufrequenz und dem geringeren Proteingehalt, den M^{2-}Wafer-Basic-Futterwürfeln vorzuziehen.

6 Zusammenfassung

Viktoria Petz (2020)

Gepresstes Trockengrünfutter aus Luzerne und Wiesengräsern als Alternative zu Heu beim Pferd

Raufutter stellt einen wichtigen Bestandteil in der Pferdefütterung dar. Heu und Gras sind die bekanntesten Raufuttermittel für Pferde. Doch auch Stroh, Heulage und Grünmehlprodukte kommen zum Einsatz. Aufgrund der Heuknappheit 2018 wurde untersucht, ob das Heuersatzprodukt M^2-Wafer-Basic von food4horses als Raufutteralternative zu Heu geeignet ist. Dies könnte in solchen trockenen Jahren als Unterstützung in der Pferdefütterung genutzt werden. Da die Wafer-Futterwürfel außerdem für Stauballergiker empfohlen werden, wurde eine vergleichende Staubmessung während der Futteraufnahme von Heu und Wafer-Futterwürfeln durchgeführt.

In dieser Studie wurden jeweils bei der Heufütterung und der Waferfütterung die Fressdauer und die Kaufrequenz mithilfe des Equiwatch-Halfters ermittelt. Die Messungen der Fressdauer und Kaufrequenz wurden mit sechs Versuchspferden in Form einer Cross-over-Studie durchgeführt. Die vergleichenden Staubmessungen erfolgten bei der Futteraufnahme eines Pferdes über einen Zeitraum von vier Nächten je Futtermittel. Es zeigte sich kein Unterschied bezüglich der Fressdauer, die Pferde brauchten 60-65 Minuten je Kilogramm Futtermittel. Die Kaufrequenz war jedoch bei der Fütterung der Wafer-Futterwürfel um ca. 30 % niedriger. Während bei der Heufütterung im Mittel 73 Kauschläge je Minute gemessen wurden, fanden bei der Waferfütterung im Mittel nur 50 Kauschläge statt. Andererseits konnte eine deutlich geringere thorakale Staubkonzentration während der Waferfütterung nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die M^2-Wafer-Basic-Futterwürfel als Raufutteralternative eingesetzt werden können. Im Vergleich zum Heu sind sie, was die Befriedigung des Kaubedürfnisses betrifft, schlechter zu bewerten, da die Kaufrequenz deutlich niedriger ist, was zu einer schlechteren Einspeichelung führen kann. Eine gute Einspeichelung ist wichtig, um den Darm optimal arbeiten zu lassen. Doch die langen Fresszeiten, die wichtig für die Beschäftigung der Pferde und eine gesunde Verdauung sind,

machen sie zu einer guten Alternative gegenüber herkömmlichen Raufuttermitteln. Als dauerhafter Raufutterersatz sind sie jedoch aufgrund des hohen Proteingehaltes nicht für jedes Pferd geeignet.

7 Summary

Viktoria Petz (2020)

Pelleted dry green fodder from lucerne and meadow grasses as an alternative to hay for horses

Roughage is an important part of horse feeding. Hay and grass are the most popular roughages for horses. But also straw, haylage and other pelleted grass products are also used. Due to the hay shortage in 2018, it was investigated whether the hay substitute product M^2 Wafer Basic from food4horses is suitable as a roughage alternative to hay. This could be used as a horse feeding alternative in such dry years. As the wafer feed cubes are also recommended for horses suffering from dust allergy, a comparative dust measurement was carried out during the feed intake of hay and wafer feed cubes.

In this study the feeding duration and the frequency of chewing during hay feeding and wafer feeding were determined using the Equiwatch halter. The feed intake time and the chewing frequency were measured with six test horses, in a cross-over-study. The comparative dust measurements were carried out during a horse´s feed intake over a period of four nights per feed.

There was no difference in the feed intake time. The horses needed 60-65 minutes per kilogram of feed. However the chewing frequency was about 30 % lower when the wafer cubes were fed. While an average of 73 chewing beats per minute was measured during hay feeding, only 50 chewing beats were measured on average during wafer feeding. A significantly lower thoracic dust concentration during wafer feeding could be detected.

The results of this study show that the M^2 wafer basic feed cubes can be used as alternative to roughage. Compared to hay, they are worse in terms of satisfying the chewing need, as the chewing frequency is significantly lower, which can lead to poorer salivation. Good insalivation is important to allow the intestine to work optimally. But the long feed intake times, which are important for the horses' activity and a healthy digestion, make it a good alternative to conventional roughage. However, as a permanent roughage substitute they are not suitable for every horse due to their high protein content.

8 Literaturverzeichnis

Bartz J. 1992. Staubmessungen im direkten Einatmungsbereich eines Pferdes mit Hilfe eines „personal samplers“ [Dissertation]. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover

Brüssow NAS. 2006. Effekte verschiedener Futtermittel und - bearbeitungsformen auf die Futteraufnahmedauer, die Kaufrequenz und Kauintensität beim Pferd [Dissertation]. Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover

Buchgraber K. 2018. Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. Graz: Leopold Stocker Verlag

Carrol CL, Huntington PJ. 1988. Body condition scoring and weight estimation of horses. Equine Vet J, 20: 41-45

Claußen G, Hessel EF. 2017. Particulate Matter in Equestrian Stables and Riding Arenas. Journal of Equine Veterinary Science, 55: 60-70

DIN EN 481. 1993. Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Berlin: Beuth

Fleming K. 2008. Analyse und Bewertung physikalisch-chemischer und stofflicher Parameter auf die Freisetzung von biogenen Gasen und luftgetragenen Partikeln aus Substraten bei der Haltung von Warmblutpferden in eingestreuten Einzelboxen [Dissertation]. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen

Food4Horses. 2017. M2 Wafer Basic Pferdefutter. https://food4horses.com/Produkte/m2-wafer-basic-raufutter-alternativen/(Zugriff: 26.12.19).

Frape D. 2010. Equine nutrition and feeding. Oxford: Wiley-Blackwell

Fritz C. 2013. Pferde fit füttern. Schwarzenbek: Cadmos Verlag

Garlipp F. 2011. Evaluierung verschiedener prozesstechnischer Handlungsoptionen zur Reduktion luftgetragener Partikel beim Einsatz von Einstreumaterialien und der Vorlage von Rau- und Kraftfuttermitteln in der Pferdehaltung [Dissertation]. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen

Gruber L. 2018. Zusammensetzung und Analyse pflanzlicher Gerüstsubstanzen. In: Den Wert des Grundfutters an den Gerüstsubstanzen erkennen. ÖAG-Info. http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/jdownloads/FODOK/3466-wt-cornell-und-in-situ-methode-gf-und-kf/fodok_1_21339_gruber_resch_st_gm_ller_den_wert_des_grundfutters_an_den_ger_stsubstanzen_erkennen__ag_info_1.2018_12_s.pdf (Zugriff: 03.05.2020)

Helmut Hund GmbH. 2019. Respicon 2 TM. https://www.hund.de/images/Hund-Flyer-Respicon-A4-30102019-DE-www.pdf (Zugriff: 04.05.2020)

Hermann A. 2011. Der Einfluss der Schnitthäufigkeit auf den Kleeanteil und den Proteingehalt von Pferdewiesen und –weiden sowie deren Auswirkungen auf die Fütterung [Bachelorarbeit]. Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien

Kamphues J, Wolf P, Coenen M, Eder K, Iben C, Kienzle E, Liesegang A, Männer K, Zebeli Q, Zentek J. 2014. Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis. Hannover: M. & H. Schaper

Kirchgeßner M., Stangl G, Schwarz F, Roth F, Südekum K, Eder K. 2014. Tierernährung. Frankfurt am Main: DLG Verlag

Meyer H, Coenen M. 2002. Pferdefütterung. Berlin: Paul Parey Verlag

Meyer H, Ahlswede L, Reinhardt HR. 1975. Untersuchungen über Freßdauer, Kaufrequenz und Futterzerkleinerung beim Pferd. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 82: 54-58

Mixa M. 2009. Vergleich von Raufuttermitteln einschließlich Beobachtungen zur Futteraufnahmedauer dieser Produkte bei Islandpferden [Bachelorarbeit]. Wien: Veterinärmedizinische Universität Wien

Woods PS, Robinson NE, Swanson MC, Reed CE, Broadstone RV, Derksen FJ. 1993. Airborne dust and aeroallergen concentration in a horse stable under two different management systems. Equine Veterinary Journal, 25: 172-174

Zehner N, Werner J, Nydegger F, Umstätter C, Wyss C, Hoch M, Schick KM. 2014. Equiwatch – Eine neue Methode zur Erfassung der Kauaktivität bei Pferden. Agroscope Science, 3

Zeitler MH. 1985. Konzentration und Korngrößenverteilung von luftgetragenen Staubpartikeln in Pferdeställen. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 98: 241-246

Zeitler MH, König M, Groth W. 1987. Der Einfluß der Futterform (mehlig, pelletiert, flüssig) und Jahreszeit auf die Konzentration und Korngrößenverteilung luftgetragener Staubpartikel in Mastschweineställen. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 94: 420-424

Zeitler-Feicht MH. 2008. Handbuch Pferdeverhalten. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag

Zeyner A. 1995. Diätetik beim Pferd. Jena-Stuttgart: Gustav Fischer Verlag

9 Anhang

Anhang chemische Zusammensetzung

Table 1. Chemical composition of hay and cube (mean ± SD*).

Item	Hay	Cube
Dry matter (%)	91.62 ± 0.02	86.10 ± 0.02
Organic matter (% of DM)	94.80 ± 0.11	87.80 ± 0.32
Crude protein (% of DM)	8.42 ± 0.48	20.64 ± 0.32
Crude ash (% of DM)	5.21 ± 0.11	12.21 ± 0.32
Neutral detergent fiber (% of DM)	75.53 ± 0.52	49.09 ± 0.24
Acid detergent fiber (% of DM)	45.92 ± 0.66	39.95 ± 0.66
Crude fat (% of DM)	0.95 ± 0.02	1.59 ± 0.05
Non-fiber carbohydrates (% of DM)	9.90 ± 1.13	16.48 ± 0.83

*The samples were ground, and part of the ground samples were taken for analysis (analytical replicates = 2).

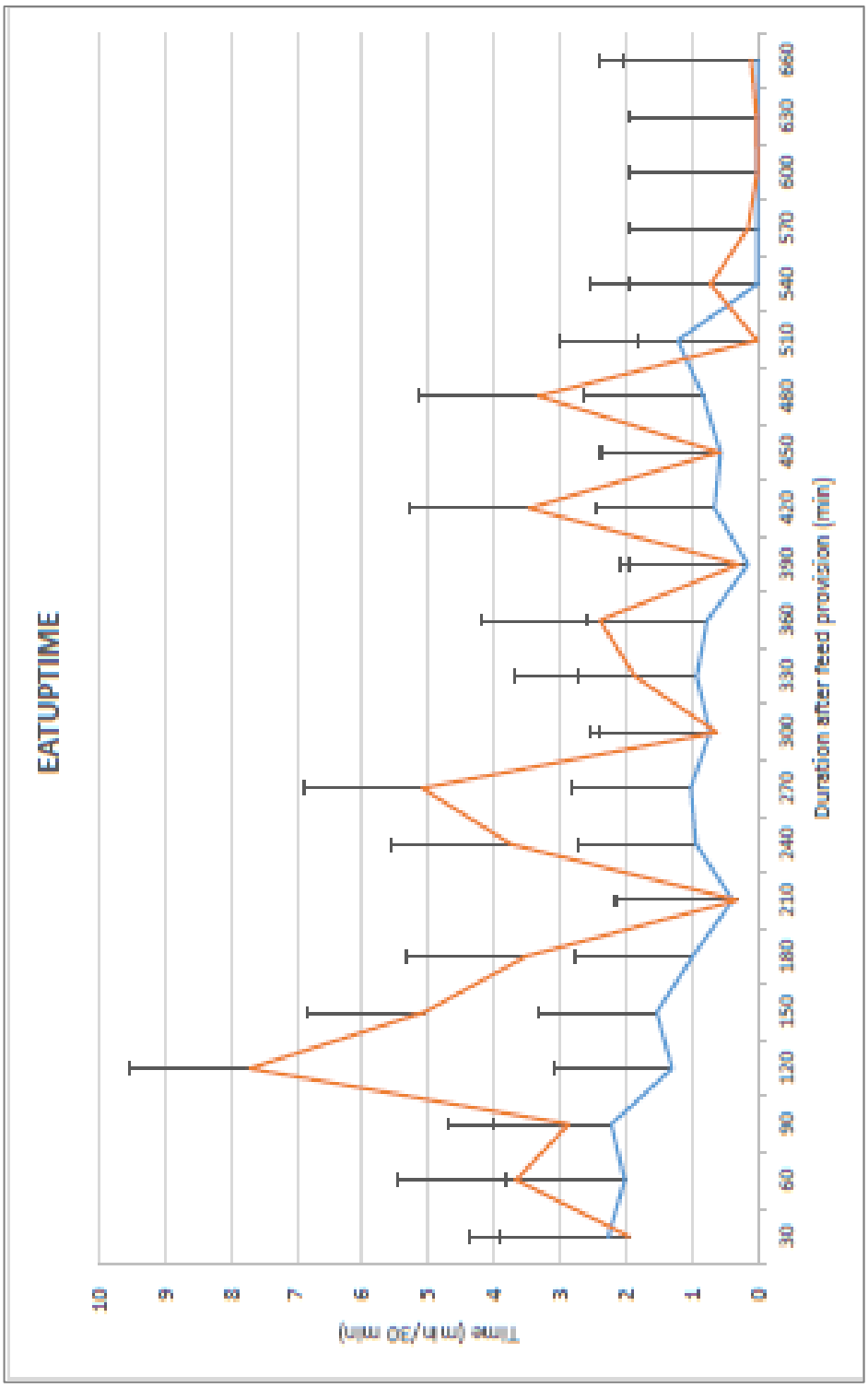
Non-fiber carbohydrates = 100 – (crude ash + crude protein + crude fat + neutral detergent fiber)

Anhang Fressdauer

Fressdauer mit Kopfposition oben

Futter	Minuten nach Futterbeginn	Uhrzeit	Mittelwert	Standard-abweichung
Heu	30	20:00	2,2602	2,1177
	60	20:30	2,0167	1,8087
	90	21:00	2,2183	1,8087
	120	21:30	1,3	1,8087
	150	22:00	1,5333	1,8087
	180	22:30	0,9833	1,8087
	210	23:00	0,3817	1,8087
	240	23:30	0,93	1,8087
	270	00:00	1,0167	1,8087
	300	00:30	0,72	1,8087
	330	01:00	0,9233	1,8087
	360	01:30	0,765	1,8087
	390	02:00	0,1467	1,8087
	420	02:30	0,6533	1,8087
	450	03:00	0,565	1,8087
	480	03:30	0,825	1,8087
	510	04:00	1,2117	1,8087
	540	04:30	0	1,9376
	570	05:00	0	1,956
	600	05:30	0	1,9588
	630	06:00	0	1,9593
	660	06:30	0	2,4136
Wafer	0	20:00	1,9633	1,9372
	30	20:30	3,6667	1,8087
	60	21:00	2,87	1,8087
	90	21:30	7,7133	1,8087
	120	22:00	5,0567	1,8087
	150	22:30	3,5183	1,8087
	180	23:00	0,315	1,8087
	210	23:30	3,7417	1,8087
	240	00:00	5,095	1,8087
	270	00:30	0,6217	1,8087
	300	01:00	1,8583	1,8087
	330	01:30	2,3967	1,8087
	360	02:00	0,2917	1,8087
	390	02:30	3,4717	1,8087
	420	03:00	0,5833	1,8087
	450	03:30	3,3233	1,8087
	480	04:00	0,008333	1,8087
	510	04:30	0,7167	1,8087
	540	05:00	0,145	1,8087
	570	05:30	0	1,9374
	600	06:00	0,01287	1,9556
	630	06:30	0,09682	1,9583

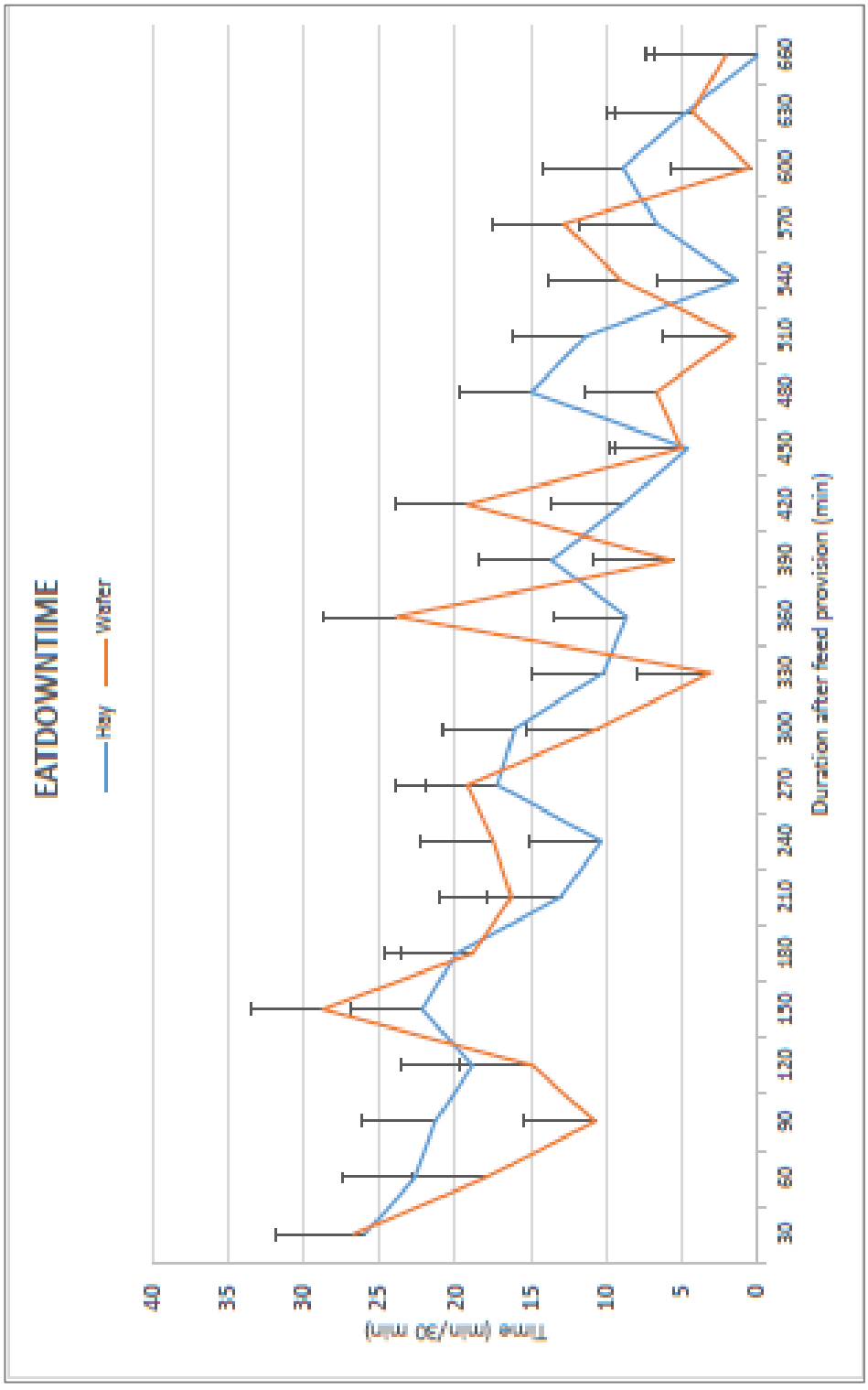
P value		
Feed	Time	F x T
0,0742	0,3778	0,7639



Fressdauer mit Kopfposition unten

Futter	Minuten nach Futterbeginn	Uhrzeit	Mittelwert	Standard-abweichung
Heu	30	20:00	25,9547	5,848
	60	20:30	22,6767	4,7899
	90	21:00	21,2933	4,7899
	120	21:30	18,8417	4,7899
	150	22:00	22,15	4,7899
	180	22:30	19,9033	4,7899
	210	23:00	13,005	4,7899
	240	23:30	10,3183	4,7899
	270	00:00	17,1833	4,7899
	300	00:30	16,0617	4,7899
	330	01:00	10,1783	4,7899
	360	01:30	8,645	4,7899
	390	02:00	13,6183	4,7899
	420	02:30	8,9017	4,7899
	450	03:00	4,615	4,7899
	480	03:30	14,9733	4,7899
	510	04:00	11,3383	4,7899
	540	04:30	1,3608	5,2367
	570	05:00	6,6559	5,2333
	600	05:30	8,8845	5,2332
	630	06:00	4,6744	5,2332
	660	06:30	0	6,7622
Wafer	30	20:00	26,6737	5,2356
	60	20:30	18,015	4,7899
	90	21:00	10,7267	4,7899
	120	21:30	14,865	4,7899
	150	22:00	28,785	4,7899
	180	22:30	18,83	4,7899
	210	23:00	16,2583	4,7899
	240	23:30	17,45	4,7899
	270	00:00	19,195	4,7899
	300	00:30	10,58	4,7899
	330	01:00	3,0667	4,7899
	360	01:30	23,8683	4,7899
	390	02:00	5,5852	5,2389
	420	02:30	19,225	4,7899
	450	03:00	5,0233	4,7899
	480	03:30	6,705	4,7899
	510	04:00	1,5167	4,7899
	540	04:30	9,055	4,7899
	570	05:00	12,7833	4,7899
	600	05:30	0,4708	5,236
	630	06:00	4,2558	5,2325
	660	06:30	2,1146	5,2324

P value		
Feed	Time	F x T
0,9016	<0,0001	0,2795

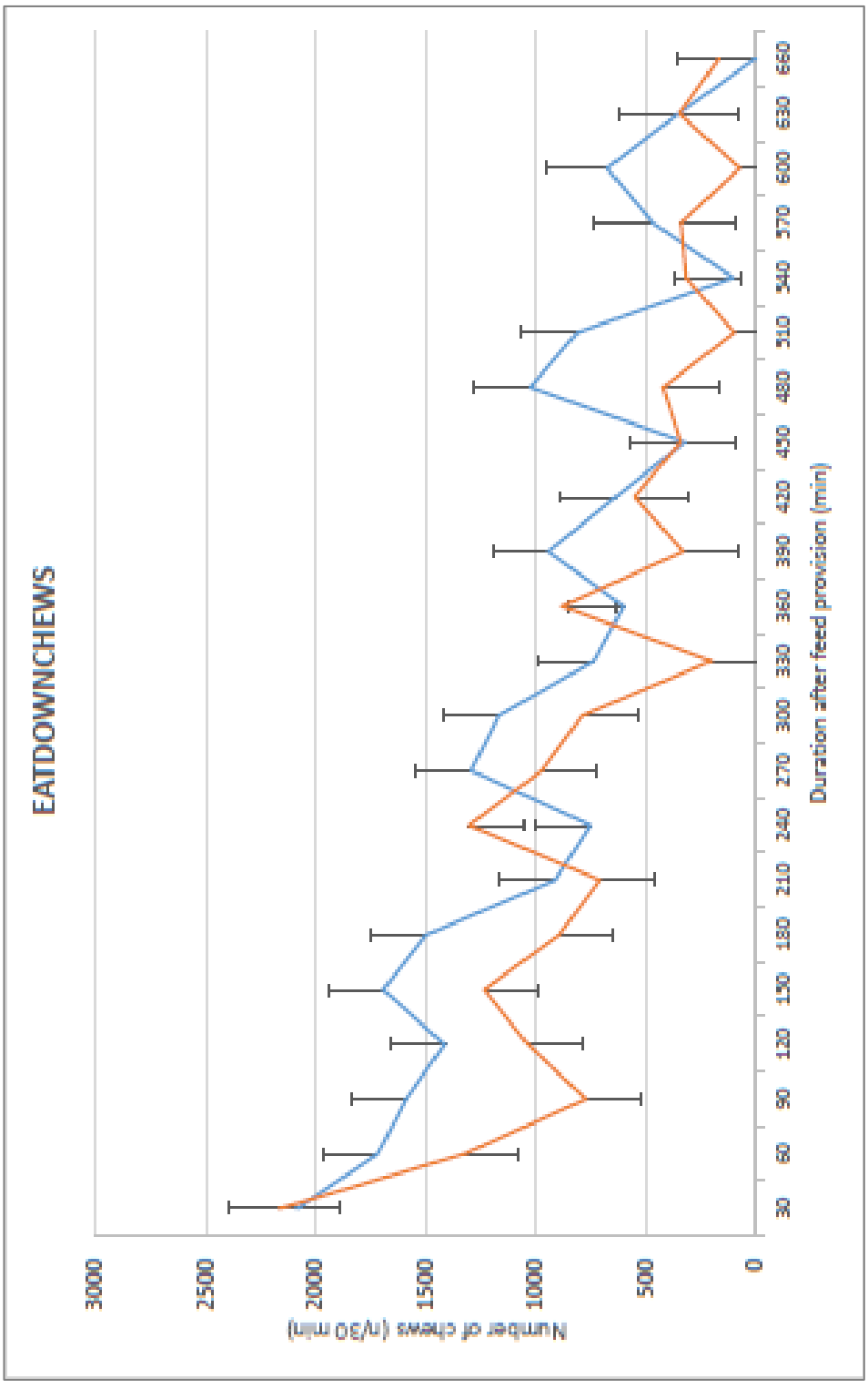


Anhang Kaufrequenz

Anzahl Kauschläge mit Kopf unten

Futter	Minuten nach Futterbeginn	Uhrzeit	Mittelwert	Standard-abweichung
Heu	30	20:00	2084,03	307,76
	60	20:30	1716,17	250,09
	90	21:00	1588,5	250,09
	120	21:30	1413,17	250,09
	150	22:00	1692,67	250,09
	180	22:30	1497,33	250,09
	210	23:00	911	250,09
	240	23:30	751	250,09
	270	00:00	1291,83	250,09
	300	00:30	1168,33	250,09
	330	01:00	734,17	250,09
	360	01:30	599,17	250,09
	390	02:00	942	250,09
	420	02:30	634,67	250,09
	450	03:00	320	250,09
	480	03:30	1025,5	250,09
	510	04:00	810,67	250,09
	540	04:30	100,89	274,27
	570	05:00	464,69	274,24
	600	05:30	674,61	274,23
	630	06:00	349,35	274,23
	660	06:30	0	358,5
Wafer	30	20:00	2163,92	274,26
	60	20:30	1321,67	250,09
	90	21:00	771,33	250,09
	120	21:30	1035	250,09
	150	22:00	1234	250,09
	180	22:30	892,17	250,09
	210	23:00	707	250,09
	240	23:30	1300	250,09
	270	00:00	972,33	250,09
	300	00:30	789,33	250,09
	330	01:00	200,33	250,09
	360	01:30	880,67	250,09
	390	02:00	328,17	250,09
	420	02:30	549,5	250,09
	450	03:00	341,17	250,09
	480	03:30	420,33	250,09
	510	04:00	96	250,09
	540	04:30	315,33	250,09
	570	05:00	339,17	250,09
	600	05:30	71,5636	274,26
	630	06:00	346,52	274,22
	660	06:30	166,39	274,21

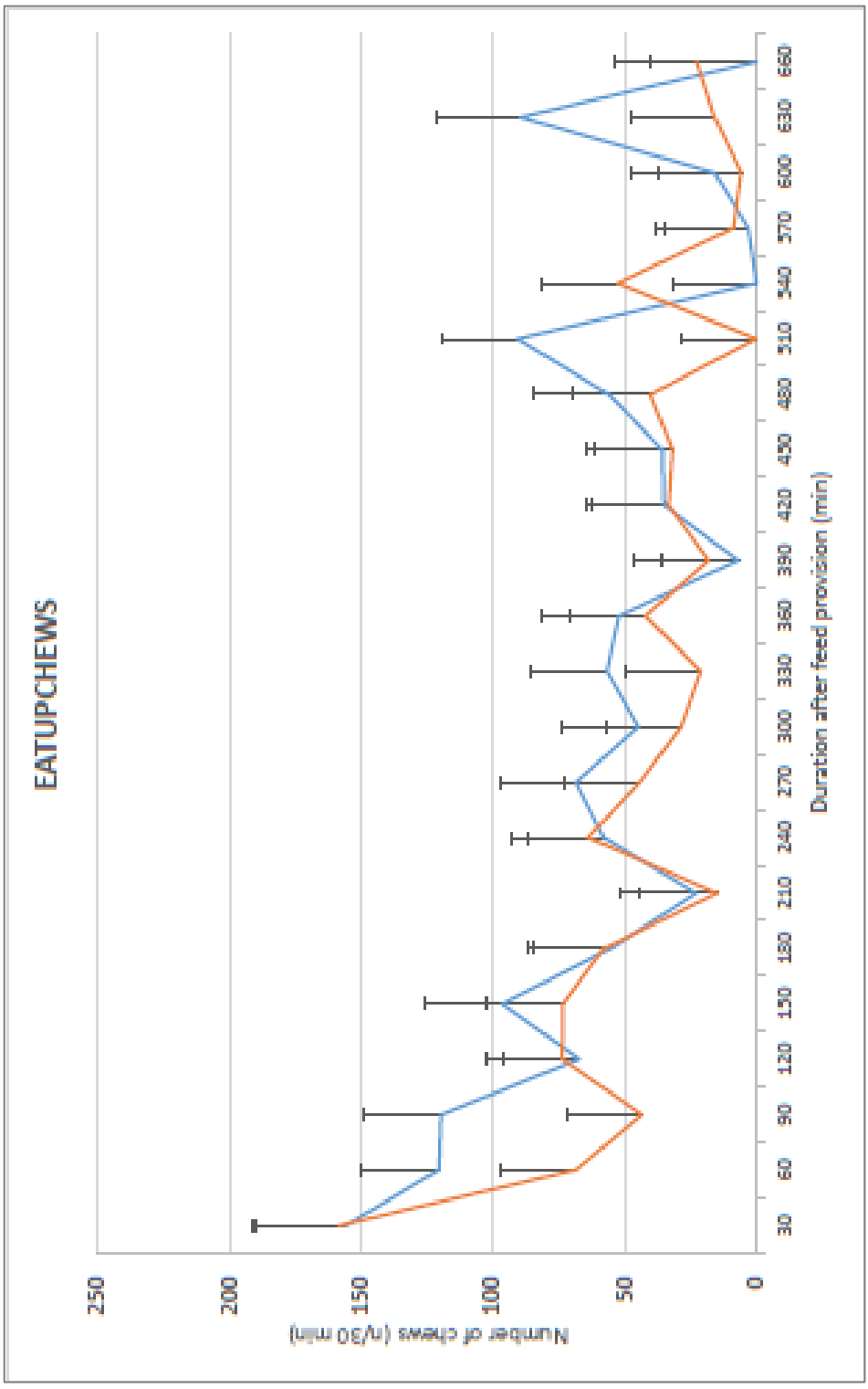
P value		
Feed	Time	F x T
0,0048	<0,0001	0,3849



Anzahl Kauschläge mit Kopf oben

Futter	Minuten nach Futterbeginn	Uhrzeit	Mittelwert	Standard-abweichung
Heu	30	20:00	155,8	34,7809
	60	20:30	120,5	28,8903
	90	21:00	119,67	28,8903
	120	21:30	67,1667	28,8903
	150	22:00	96,6667	28,8903
	180	22:30	55,1667	28,8903
	210	23:00	23	28,8903
	240	23:30	58	28,8903
	270	00:00	68,5	28,8903
	300	00:30	44,8333	28,8903
	330	01:00	56,8333	28,8903
	360	01:30	52,3333	28,8903
	390	02:00	7	28,8903
	420	02:30	35,1667	28,8903
	450	03:00	35,6667	28,8903
	480	03:30	56	28,8903
	510	04:00	90,6667	28,8903
	540	04:30	0	31,3679
	570	05:00	3,2271	31,341
	600	05:30	16,0273	31,3403
	630	06:00	89,6273	31,3403
	660	06:30	0	39,9147
Wafer	30	20:00	158,53	31,3595
	60	20:30	68,5	28,8903
	90	21:00	43,5	28,8903
	120	21:30	73,8333	28,8903
	150	22:00	73,5	28,8903
	180	22:30	57,8333	28,8903
	210	23:00	15	28,8903
	240	23:30	64	28,8903
	270	00:00	44,3333	28,8903
	300	00:30	28,6667	28,8903
	330	01:00	21,1667	28,8903
	360	01:30	42,1667	28,8903
	390	02:00	18,1667	28,8903
	420	02:30	33,5	28,8903
	450	03:00	32	28,8903
	480	03:30	40,3333	28,8903
	510	04:00	0,1667	28,8903
	540	04:30	52,6667	28,8903
	570	05:00	8,8333	28,8903
	600	05:30	5,9264	31,3633
	630	06:00	15,9369	31,3365
	660	06:30	22,7368	31,3358

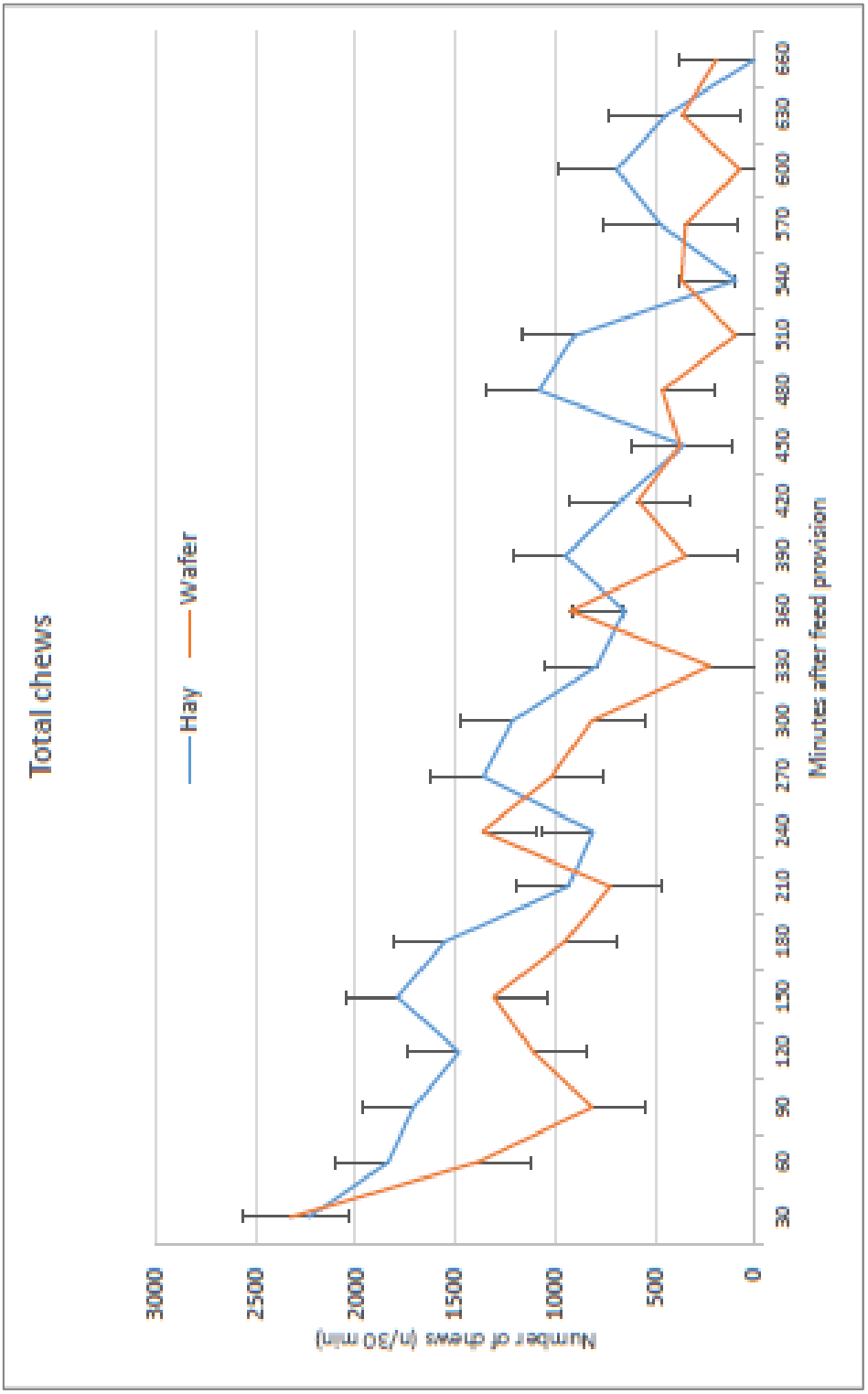
P value		
Feed	Time	F x T
0,1064	<0,0001	0,7121



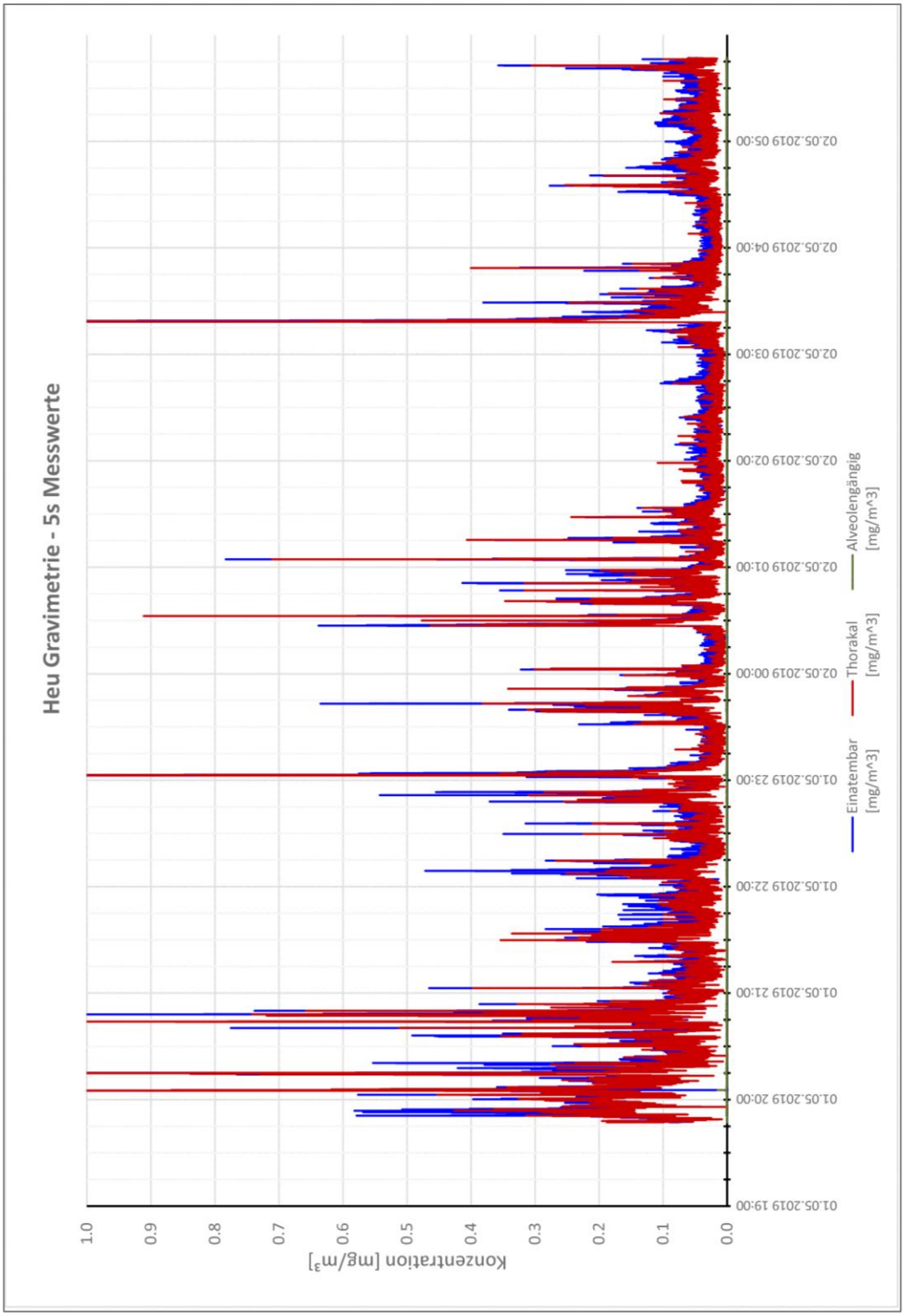
Gesamtkauschlagzahl

Futter	Minuten nach Futterbeginn	Uhrzeit	Mittelwert	Standard-abweichung
Heu	30	20:00	2236,36	323,67
	60	20:30	1836,67	262,93
	90	21:00	1708,17	262,93
	120	21:30	1480,33	262,93
	150	22:00	1789,33	262,93
	180	22:30	1552,5	262,93
	210	23:00	934	262,93
	240	23:30	809	262,93
	270	00:00	1360,33	262,93
	300	00:30	1213,17	262,93
	330	01:00	791	262,93
	360	01:30	651,5	262,93
	390	02:00	949	262,93
	420	02:30	669,83	262,93
	450	03:00	355,67	262,93
	480	03:30	1081,5	262,93
	510	04:00	901,33	262,93
	540	04:30	94,2229	288,4
	570	05:00	467,92	288,3
	600	05:30	690,9	288,3
	630	06:00	439,27	288,3
	660	06:30	0	377,04
Wafer	30	20:00	2328,71	288,38
	60	20:30	1390,17	262,93
	90	21:00	814,83	262,93
	120	21:30	1108,83	262,93
	150	22:00	1307,5	262,93
	180	22:30	950	262,93
	210	23:00	722	262,93
	240	23:30	1364	262,93
	270	00:00	1016,67	262,93
	300	00:30	818	262,93
	330	01:00	221,5	262,93
	360	01:30	922,83	262,93
	390	02:00	346,33	262,93
	420	02:30	583	262,93
	450	03:00	373,17	262,93
	480	03:30	460,67	262,93
	510	04:00	96,1667	262,93
	540	04:30	368	262,93
	570	05:00	348	262,93
	600	05:30	75,3321	288,38
	630	06:00	362,28	288,28
	660	06:30	189,26	288,28

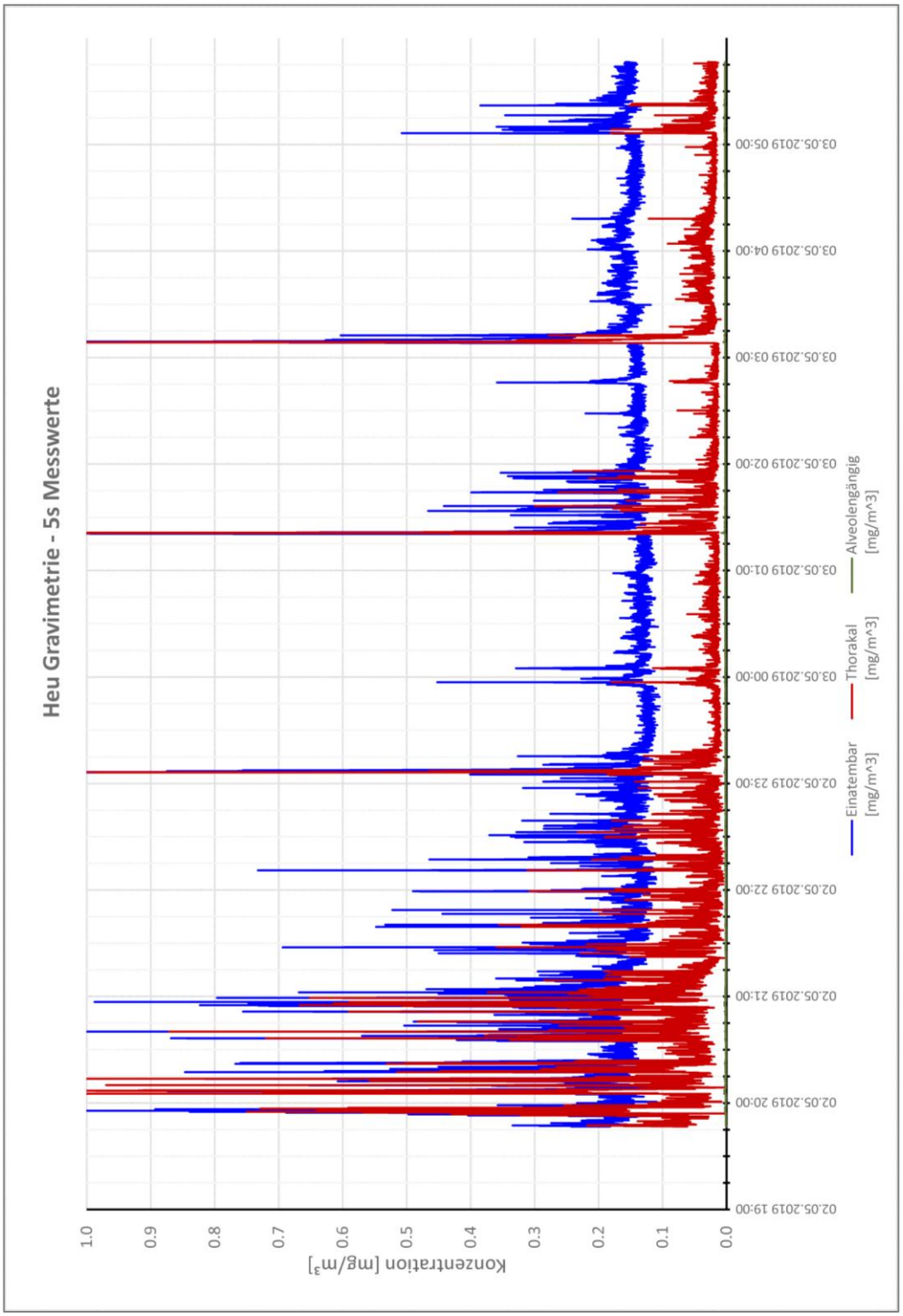
P value		
Feed	Time	F x T
0,0041	<0,0001	0,3885



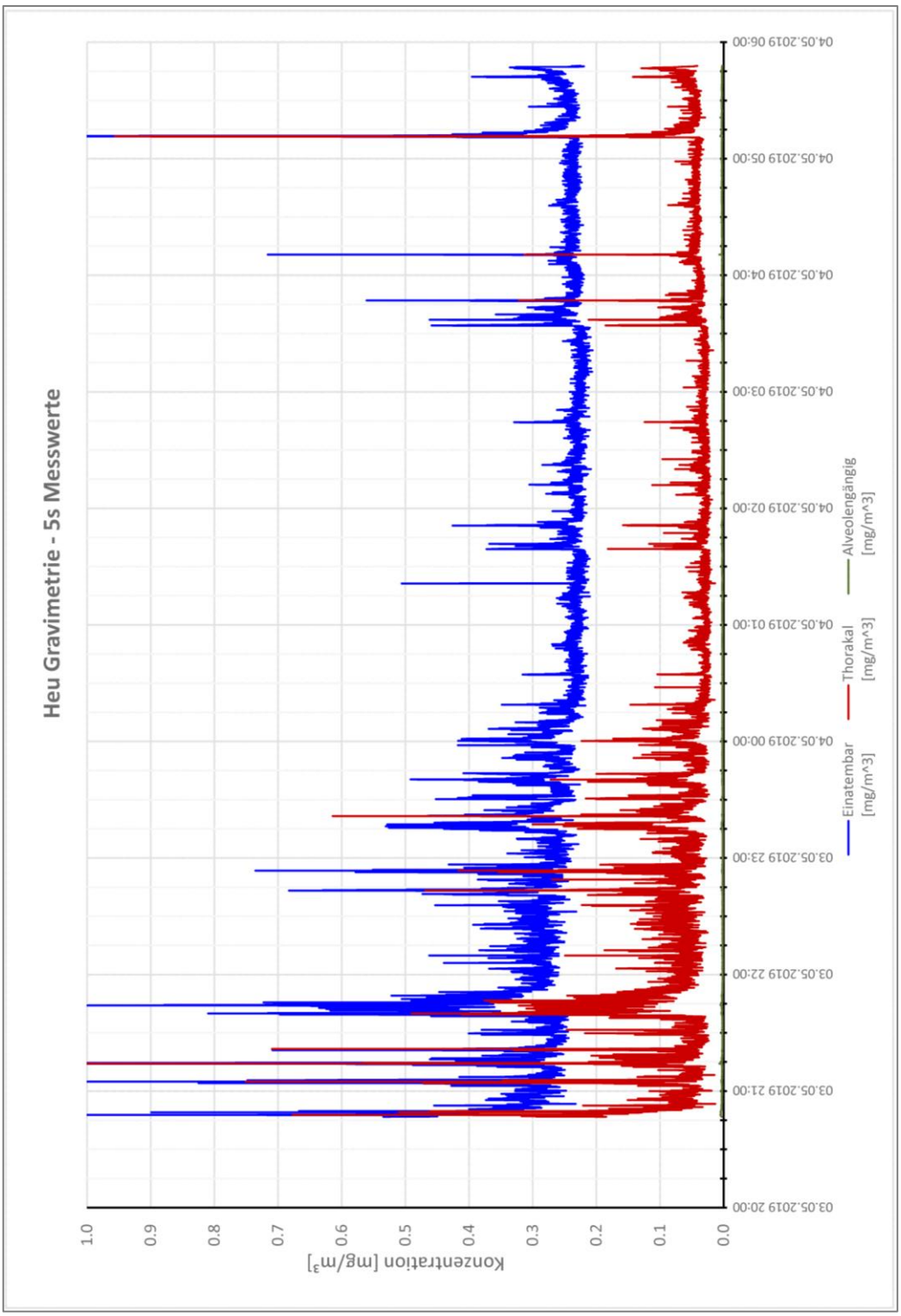
Anhang Staubmessung



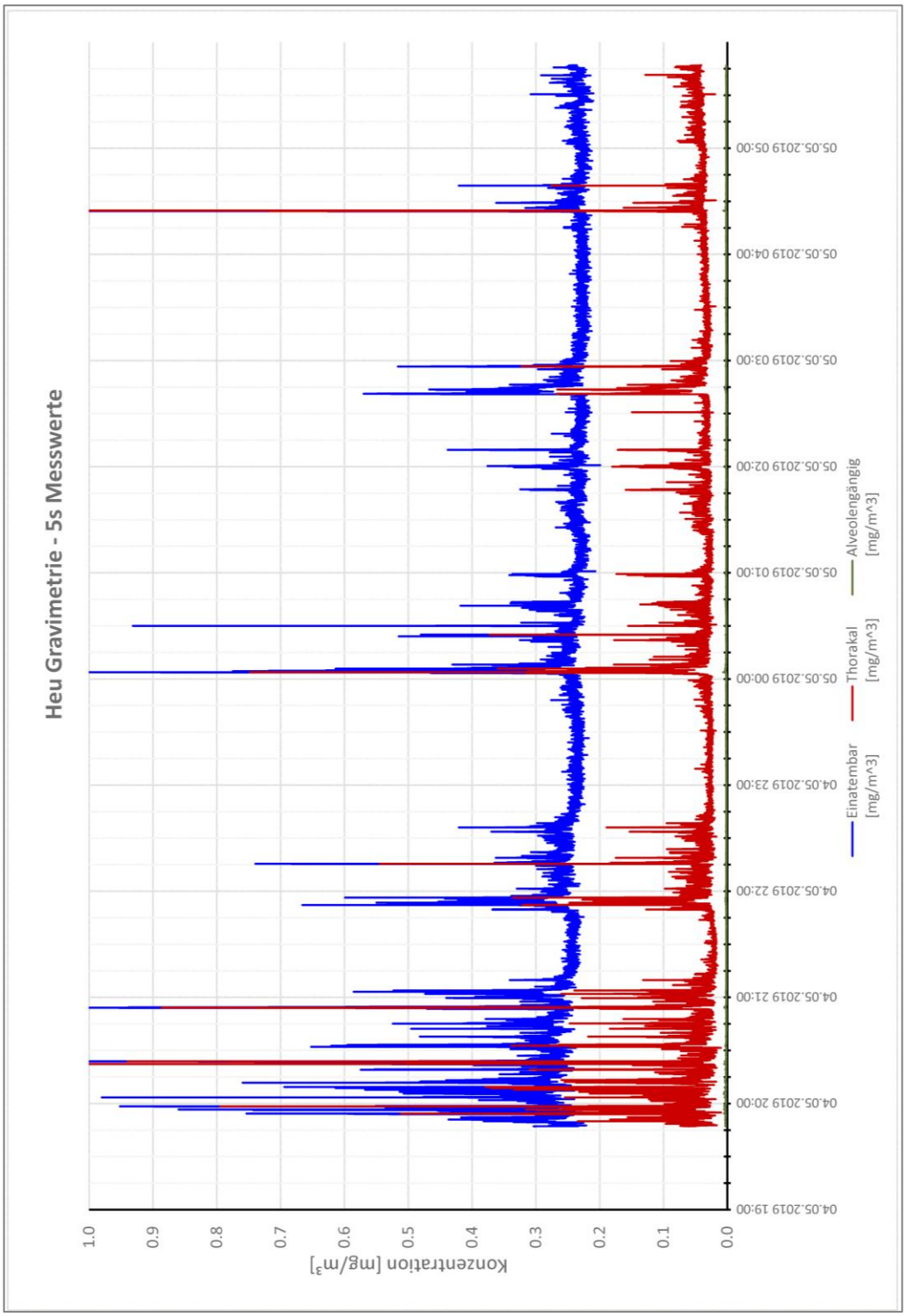
Staubmessung Heufütterung Nacht 1



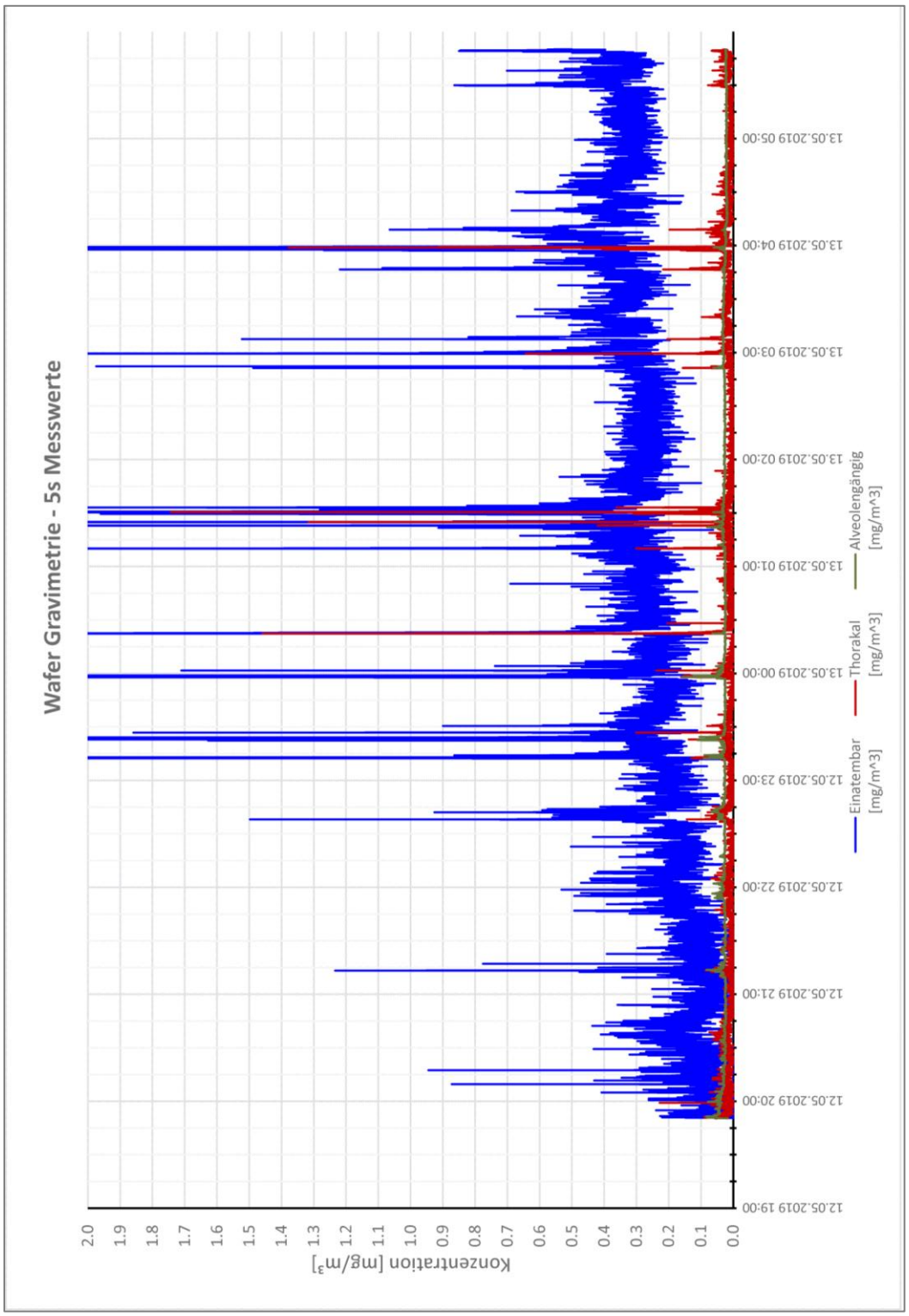
Staubmessung Heufütterung Nacht 2



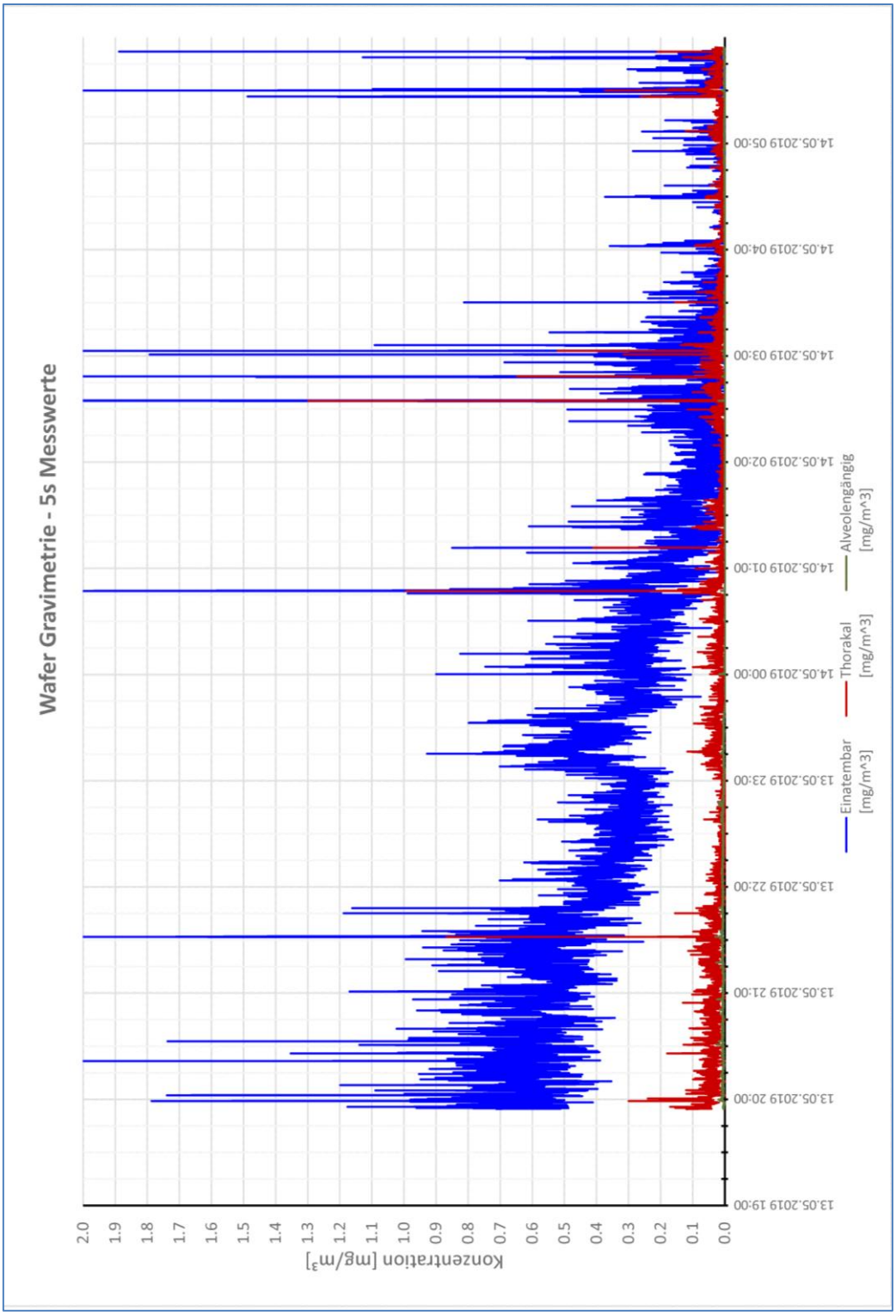
Staubmessung Heufütterung Nacht 3



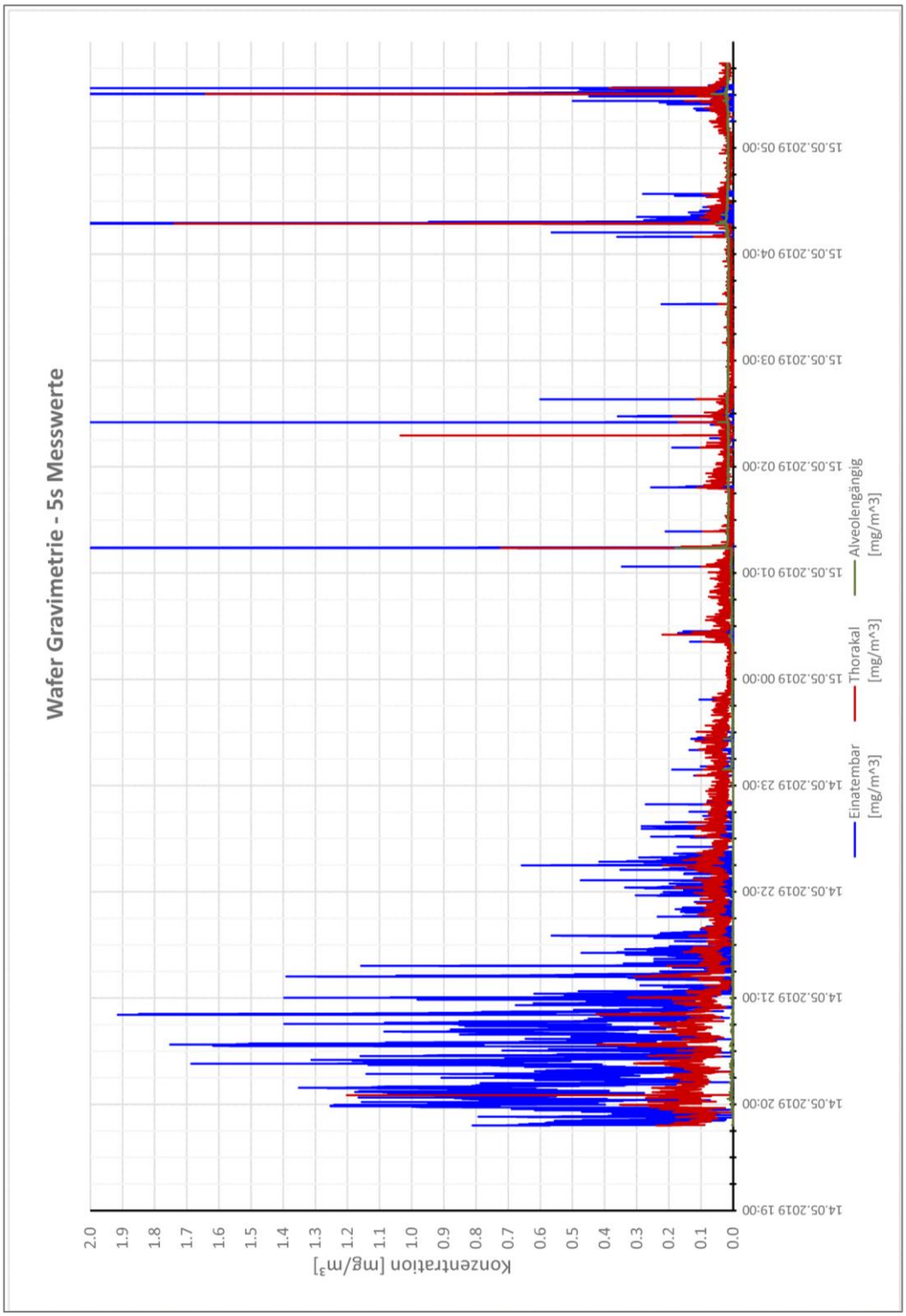
Staubmessung Heufütterung Nacht 4



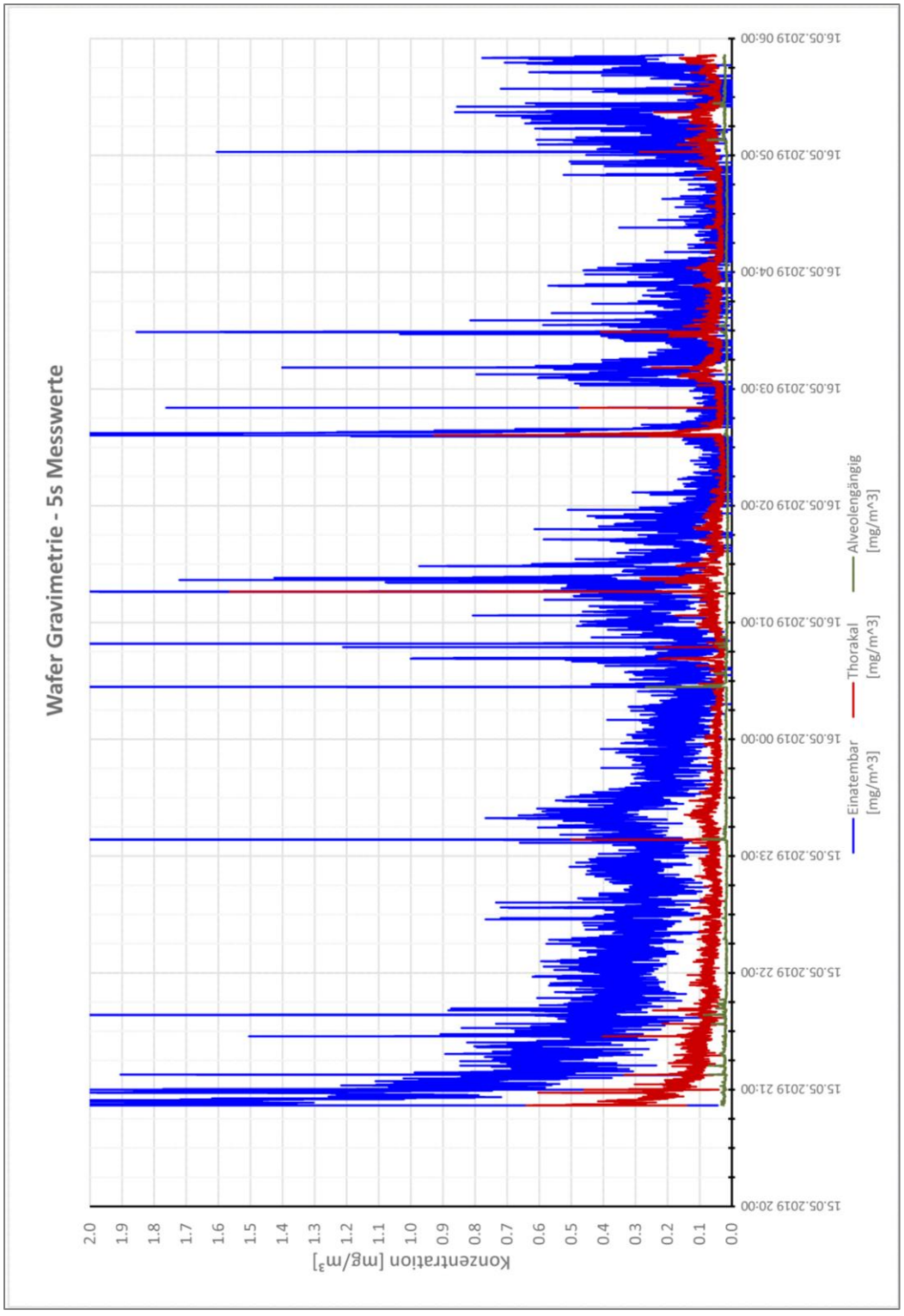
Staubmessung Waferfütterung Nacht 1



Staubmessung Waferfütterung Nacht 2



Staubmessung Waferfütterung Nacht 3



Staubmessung Waferfütterung Nacht 4

Analyse Staubmessung Heufütterung - 1.5.2019 bis 5.5.2019

Zeitraum Gesamte Messung		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
1.5. 19:47:11 bis 2.5. 05:47:01	7199	10	7189	0.0085	2.9441	0.0564	0.0479	3	7196	0.0191	3.6843	0.0836	0.0645
2.5. 19:46:42 bis 3.5. 05:46:32	7199	0	7199	0.0126	1.5990	0.0481	0.0355	0	7199	0.1219	3.0324	0.1776	0.0557
3.5. 20:46:44 bis 4.5. 05:47:50	6494	0	6494	0.0247	1.3915	0.0565	0.0318	0	6494	0.2216	2.7632	0.2682	0.0466
4.5. 19:47:06 bis 5.5. 05:46:56	7199	0	7199	0.0225	2.0339	0.0453	0.0228	0	7199	0.2221	4.8743	0.2556	0.0335
Gesamt					**2.9441**	**0.0516**	**0.0345**				**4.8743**	**0.1963**	**0.0501**

Zeitraum 3 Stunden ab Beginn der Messung, Fresszeit		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
1.5. 19:47:11 bis 1.5. 22:47:11	2161	5	2156	0.0085	2.6446	0.0887	0.0802	2	2159	0.0191	2.3799	0.1234	0.1043
2.5. 19:46:42 bis 2.5. 22:46:42	2161	0	2161	0.0126	1.0735	0.0854	0.0728	0	2161	0.1219	1.4607	0.2177	0.0958
3.5. 20:46:44 bis 3.5. 23:46:45	2161	0	2161	0.0247	1.3915	0.0874	0.0627	0	2161	0.2216	2.7632	0.3169	0.0953
4.5. 19:47:06 bis 4.5. 22:47:06	2161	0	2161	0.0225	1.0550	0.0558	0.0333	0	2161	0.2221	1.3358	0.2863	0.0642
Gesamt					**2.6446**	**0.0793**	**0.0622**				**2.7632**	**0.2361**	**0.0899**

Zeitraum restliche ca. 6 Stunden, anschließend an 3 Stunden Fresszeit		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
1.5. 22:47:16 bis 2.5. 05:47:01	5038	5	5033	0.0085	2.9441	0.0426	0.0341	1	5037	0.0191	3.6843	0.0666	0.0475
2.5. 22:46:47 bis 3.5. 05:46:32	5038	0	5038	0.0126	1.5990	0.0321	0.0195	0	5038	0.1219	3.0324	0.1605	0.0386
3.5. 23:46:50 bis 4.5. 05:47:50	4333	0	4333	0.0247	0.9563	0.0411	0.0164	0	4333	0.2216	2.3020	0.2440	0.0224
4.5. 22:47:11 bis 5.5. 05:46:56	5038	0	5038	0.0225	2.0339	0.0409	0.0184	0	5038	0.2221	4.8743	0.2424	0.0203
Gesamt					**2.9441**	**0.0392**	**0.0221**				**4.8743**	**0.1784**	**0.0322**

Analyse Staubmessung Waferfütterung - 12.5.2019 bis 16.5.2019

Zeitraum Gesamte Messung		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
12.5. 19:50:20 bis 13.5. 05:50:10	7199	0	7199	0.0133	1.7585	0.0319	0.0186	0	7199	0.2126	11.9856	0.4564	0.2438
13.5. 19:54:29 bis 14.5. 05:54:19	7199	0	7199	0.0131	1.3146	0.0364	0.0233	0	7199	0.1628	7.5529	0.5205	0.3577
14.5. 19:48:02 bis 15.5. 05:47:52	7199	0	7199	0.0103	1.7464	0.0508	0.0405	0	7199	0.1424	10.1572	0.4464	0.3040
15.5. 20:51:51 bis 16.5. 05:51:36	6478	0	6478	0.0431	1.5791	0.0800	0.0369	0	6478	0.1321	10.5163	0.4119	0.2798
Gesamt					**1.7585**	**0.0498**	**0.0298**				**11.9856**	**0.4588**	**0.2964**

Zeitraum 3 Stunden ab Beginn der Messung, Fresszeit		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0	gesamt		unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
12.5. 19:50:20 bis 12.5. 22:50:20	2161	0	2161	0.0133	0.2434	0.0284	0.0151	0	2161	0.2126	1.6592	0.3071	0.0945
13.5. 19:54:29 bis 13.5. 22:54:29	2161	0	2161	0.0131	0.8832	0.0453	0.0322	0	2161	0.1628	6.0072	0.7893	0.6265
14.5. 19:48:02 bis 14.5. 22:48:02	2161	0	2161	0.0103	1.2107	0.0933	0.0830	0	2161	0.1424	2.4846	0.7652	0.6228
15.5. 20:51:51 bis 15.5. 23:51:51	2161	0	2161	0.0431	0.6541	0.0985	0.0554	0	2161	0.1321	6.7687	0.5750	0.4429
Gesamt					**1.2107**	**0.0664**	**0.0464**				**6.7687**	**0.6092**	**0.4467**

Zeitraum restliche ca. 6 Stunden, anschließend an 3 Stunden Fresszeit		Thorakal (< 10 µm)						Einatembar (< 100 µm)					
	Werte	Werte		P95	Max	Mittelwert		Werte		P95	Max	Mittelwert	
	gesamt	< 0	> 0			unkorr.	P95 korr.	< 0	> 0			unkorr.	P95 korr.
				[mg/m³]						[mg/m³]			
12.5. 22:50:25 bis 13.5. 05:50:10	5038	0	5038	0.0133	1.7585	0.0334	0.0201	0	5038	0.2126	11.9856	0.5205	0.3079
13.5. 22:54:34 bis 14.5. 05:54:19	5038	0	5038	0.0131	1.3146	0.0326	0.0195	0	5038	0.1628	7.5529	0.4053	0.2425
14.5. 22:48:07 bis 15.5. 05:47:52	5038	0	5038	0.0103	1.7464	0.0325	0.0222	0	5038	0.1424	10.1572	0.3097	0.1673
15.5. 23:51:56 bis 16.5. 05:51:36	4317	0	4317	0.0431	1.5791	0.0707	0.0276	0	4317	0.1321	10.5163	0.3303	0.1982
Gesamt					**1.7585**	**0.0423**	**0.0223**				**11.9856**	**0.3914**	**0.2289**