

4 ERGEBNISSE

4.1 Voruntersuchungen

Die Luftkeimsammlungen mit dem sechsstufigen Andersen Sammler haben während der Vorversuchsreihe bewiesen, dass eine Anwendung dieses Gerätes in sehr hoch belasteten Umgebungen nicht möglich ist. Nach keiner der drei Probenahmezeiten war eine Auszählung der Schimmelpilzkolonien auf den Nährböden möglich. Die Ursachen lagen in einer Überwucherung der Platten, die keine klar abgegrenzten Strukturen erkennen lassen konnte und eine Zuordnung in einzelne Schimmelpilzkolonien nicht erlaubte (Abbildung 4.1). Demnach konnte auch keine Differenzierung einzelner Schimmelpilzgattungen vorgenommen werden. Folglich fiel die Entscheidung auf den achtstufigen Andersen Sammler, der, wie bereits in Kapitel 3.1.3 beschrieben, der Sammlung von Staubpartikeln dient.



Abbildung 4.1: DG 18 Platten nach einer Sammelzeit von 25 Sekunden.

4.2 Hauptversuche

4.2.1 Langzeitmessungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Langzeit- und Punktmessungen für beide Stallanlagen anhand der Messparameter Staub und Schimmelpilze getrennt dargestellt. Die Parameter Temperatur und Luftfeuchtigkeit hatten keinen merklichen Einfluss auf den Staub- und Sporengelalt der Stallluft und können daher vernachlässigt werden. Kapitel 4.3.2 beschreibt abschließend das Verhältnis der Hauptparameter Staubpartikel und Schimmelpilzsporen zueinander und unterzieht in einem statistischen Modell die ermittelten Werte einer Regressionsanalyse.

4.2.1.1 Staubkonzentration

Stall 1

Die Abbildung 4.2 zeigt eine Übersicht über den Median der Gesamtstaubkonzentration der 6 Messtage. Es ist ersichtlich, dass die Werte bei Staubgehalten zwischen ca. 49 und etwas über 100 Millionen Partikel pro m^3 Luft liegen. Da besonders in Pferdeställen der Tagesstaubgehalt aktivitätsbedingt großen Schwankungen unterliegt, ist ein Vergleich der Mediane nur zu einer ersten Orientierung empfehlenswert.

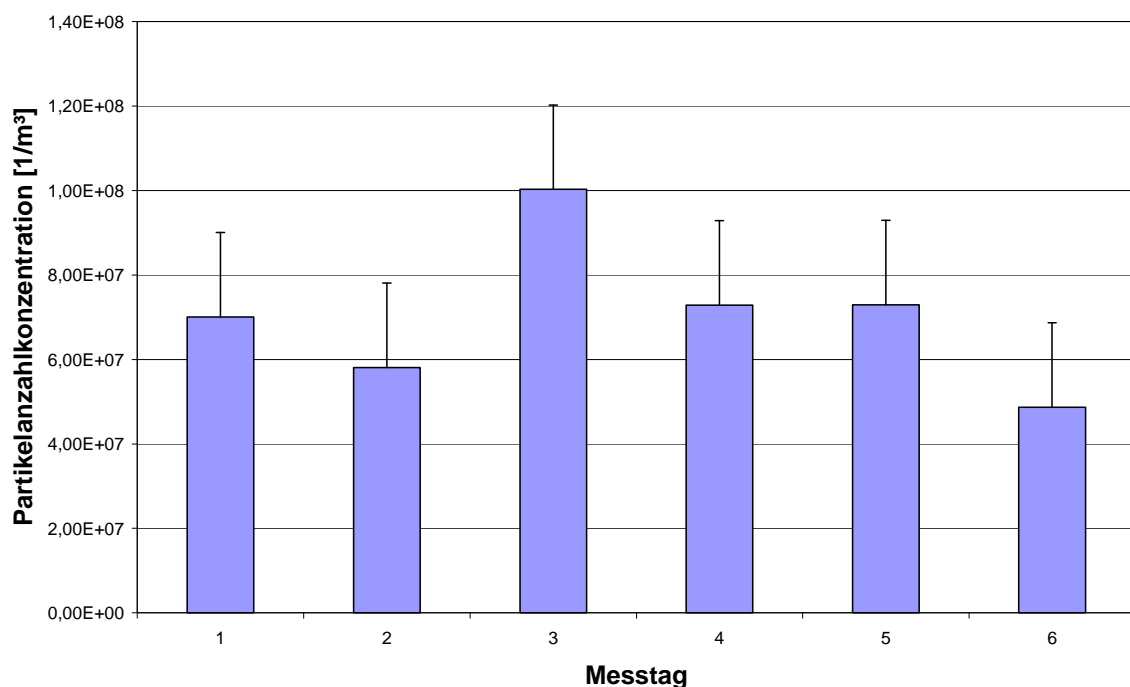


Abbildung 4.2: Gesamtstaubkonzentration verschiedener Messtage im Stall 1

Eine genauere Betrachtung der einzelnen Messtage anhand einer Konzentrations-

verteilung der Staubpartikel im Tagesverlauf (Abbildung 4.3) gibt detaillierten Aufschluss über die Repräsentativität der Tagesmittelwerte. Die Konzentrationsspitzen sind aktivitätsbedingten Tätigkeiten zuzuordnen. Der hier gewählte Tagesverlauf ist exemplarisch für alle anderen Messtage und spiegelt einen Zeitraum wieder, der gekennzeichnet ist durch vorwiegend personengebundene Aktivitäten, wie sie in Pferdeställen üblich sind. Die erste Konzentrationserhöhung lässt sich zur morgendlichen Fütterung verzeichnen, bei der die Ausgangskonzentration von 100 Millionen Partikel/m³ (Unruhe des Pferdes) Luft um die Hälfte ansteigt und anschließend während der Futteraufnahme auf 80 Millionen Partikel/m³ wieder absinkt. Der deutlichste Peak tritt während des Entmistungs- und Einstreuvorgangs in Erscheinung und führt zeitweilig zu einem Anstieg des Gesamtstaubgehaltes von > 500 Millionen Partikel/m³ Luft. Der weitere Tagesverlauf ist gekennzeichnet durch eine Ruhephase. In dieser Zeit sinkt die Konzentration bis auf ein Niveau von 29 Millionen Partikel/m³ Luft ab. Am späten Nachmittag erfolgte die Raufuttervorlage, die im Stalltrakt der Versuchsbox anhand des Peaks um 15.45 Uhr-16.00 Uhr zugeordnet werden kann. Andere, kleinere Belastungsspitzen im Tagesverlauf entstammen den Bewegungen des Pferdes und konnten anhand der Auswertung des Videomaterials und eines Abgleichs mit dem Konzentrationsverlauf eingeordnet werden.

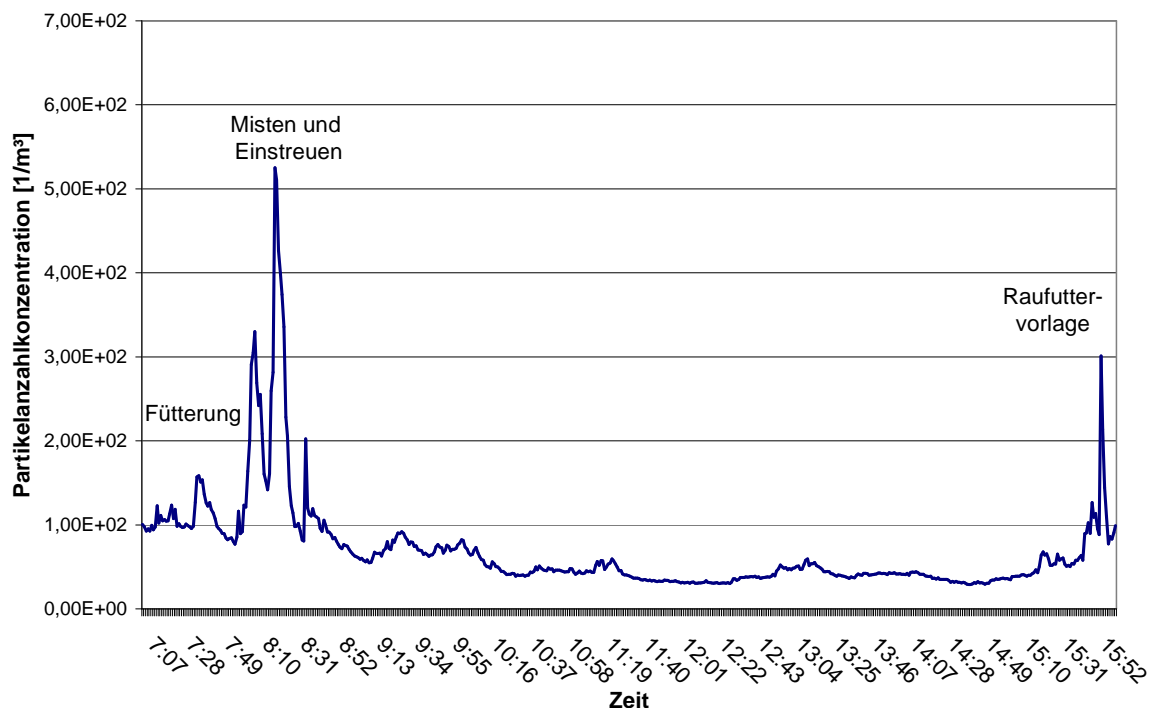


Abbildung 4.3: Typischer Konzentrationsverlauf der Gesamtstaubpartikel im Tagesgang am 13.01.2005 im Stall 1

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 geschildert ist nicht nur die Staubmenge ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung. Insbesondere die Größenklassenverteilung gibt Auskunft über diejenigen Partikel, die der Feinstaubfraktion angehören ($< 5 \mu\text{m}$) und somit von übergeordneter Bedeutung für die Belastung der tiefen Atemwege sind. Eine Partikelfraktionierung des Gesamtstaubes von Tag 6 ist in Abbildung 4.4 als Median dargestellt. Es ist ersichtlich, dass vor allem die kleinen Fraktionen den Gesamtstaub dominieren. Insbesondere Partikel mit einem Teilchendurchmesser von $0,3\text{-}0,4 \mu\text{m}$ bilden mit ca. 28 Millionen Partikel pro m^3 den größten Anteil aller Partikelfraktionen.

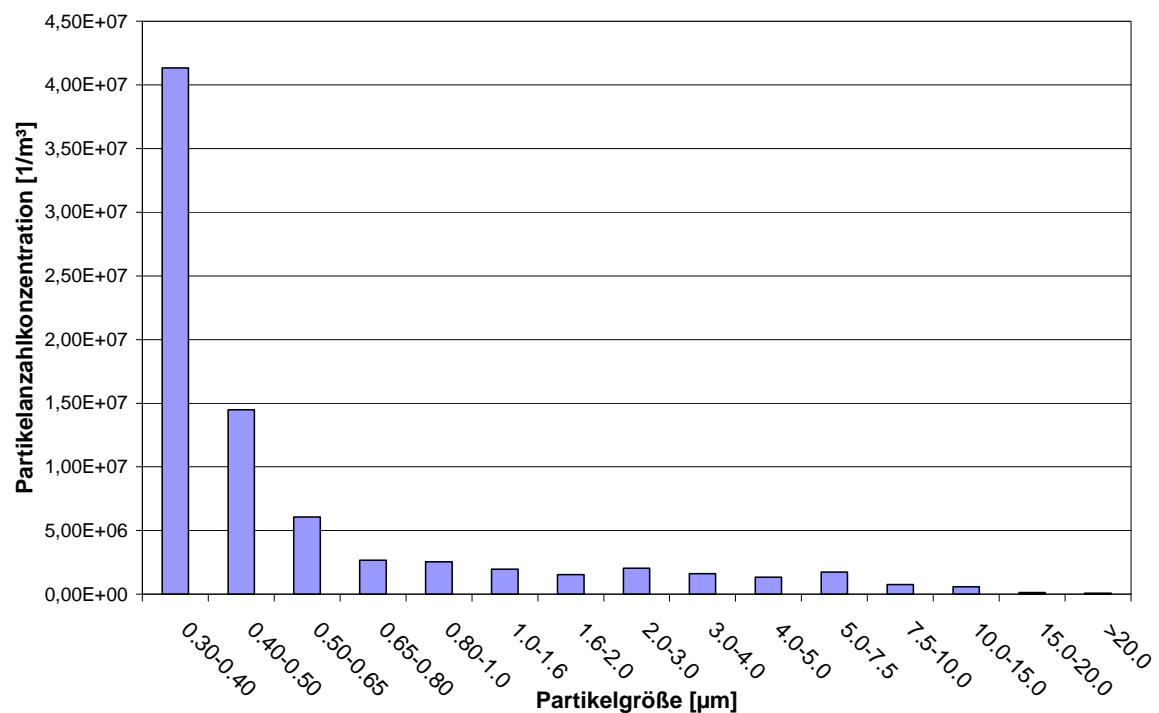


Abbildung 4.4: Typische Partikelgrößenverteilung am 13.01.2005 im Stall 1

Eine Differenzierung der Fein- und Grobstaubpartikel im Tagesverlauf ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Demnach ist der Feinstaubanteil maßgeblich am Gesamtstaubgehalt beteiligt, während die Grobstaubfraktion nur zu Aktivitätszeiten großen Konzentrationsänderungen unterliegt. In Ruhephasen bleibt der Gehalt an groben Staubpartikeln relativ konstant und kann Werte um fast $29.000 \text{ Partikel}/\text{m}^3$ Luft erreichen.

Ergebnisse

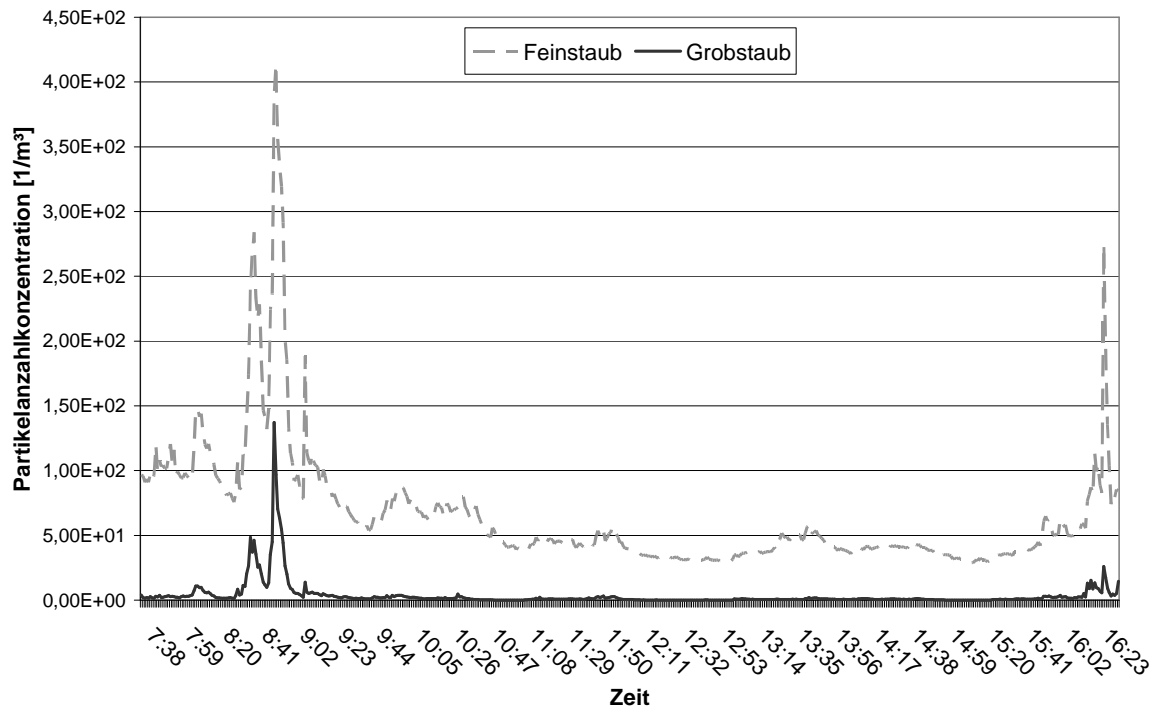


Abbildung 4.5: Typischer Konzentrationsverlauf der Grob- und Feinstaubpartikel im Tagesgang am 13.01.2005 im Stall 1

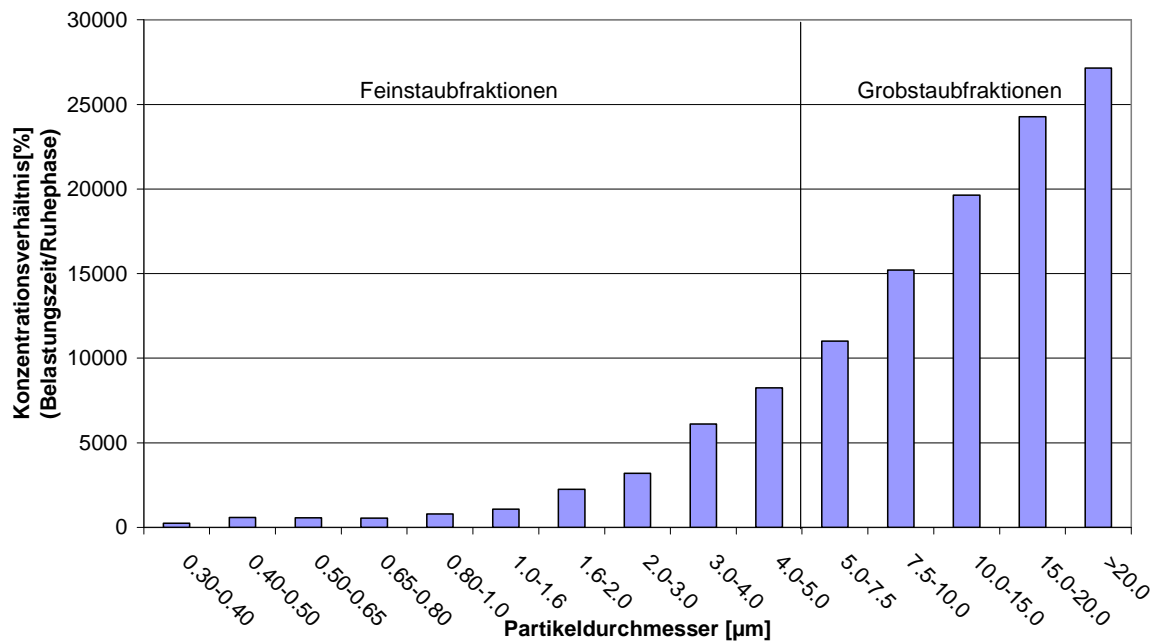


Abbildung. 4.6: Typisches Konzentrationsverhältnis der einzelnen Partikelfractionen zu Belastungs- und Ruhezeiten (Ruhezeit=100%) am 13.01.2005 im Stall 1

Dies wird auch durch Abbildung 4.6 verdeutlicht. Zur Veranschaulichung wurden die Staubkonzentrationswerte der Ruhephase auf 100 % gesetzt und darauf bezogen die Konzentrationsänderung während der Aktivitätsphase prozentual berechnet. Hierzu wurden jeweils von beiden Tagesabschnitten die gemessenen Minutenwerte einer halben Stunde gemittelt. Es wird deutlich, dass die großen Staubpartikel bei hohen Aktivitäten größeren Veränderungen ausgesetzt sind als die kleinen Fraktionen.

Stall 2

Durch die Belegung der Box mit einer Stute mit Fohlen ist hinsichtlich der Staubkonzentration mit höheren und ungleichmäßigeren Werten zu rechnen als in Stall 1. Die Anbringung der Messgeräte in einer Ecke der Box, die vom Luftaustausch nahezu unberührt bleibt, ist repräsentativ für 2/3 der Boxenfläche. Trotz des Einbaus neuer Boxentüren, die neben einem erheblich höheren Luftaustausch uneingeschränkte Sichtverhältnisse gewährleisten sollen, ist die Staubkonzentration im Mutterstall verglichen mit Stall 1 wesentlich höher. Die Abbildung 4.7 veranschaulicht, wie groß die Konzentrationschwankungen an den verschiedenen Messtagen sind.

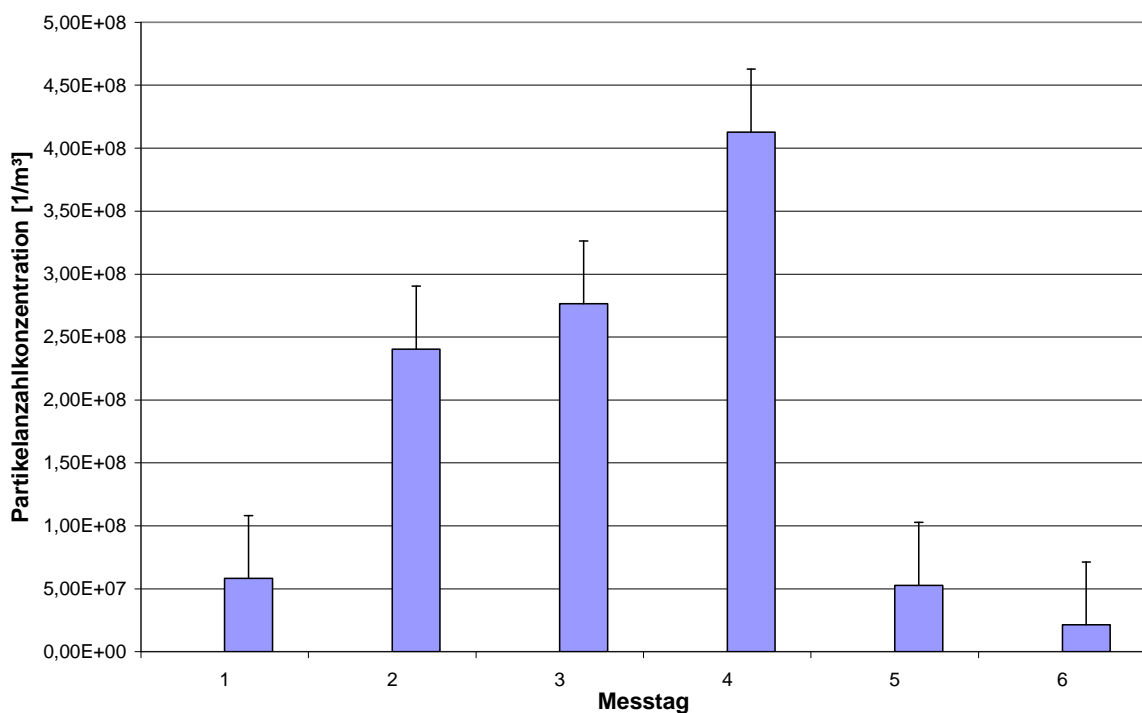


Abbildung 4.7: Gesamtstaubkonzentration verschiedener Messtage im Stall 2

Liegen die Tage 5 und 6 mit 21-52 Millionen Partikeln pro m³ Luft nahezu auf einem Wertenniveau, erscheinen die Tage 1-4 hingegen einer funktionellen Steigung zu unterliegen. Dabei fällt Messtag 4 mit durchschnittlich über 400 Millionen Partikel pro m³ Luft weit aus den bis dahin gemessenen Tageswerten heraus. Betrachtet man den Konzentrationsverlauf an Tag 4 (Abbildung 4.8) fällt auf, dass dieser wie ein einziger Peak erscheint, der morgens mit einer Partikelanzahl von knapp unter 200 Millionen Partikel beginnt, sein Hochplateau gegen 11.00 Uhr mit einem Wert von ca. 680 Millionen Partikeln pro m³ Luft erreicht und sein Niveau ca. eine Stunde hält. Drei Konzentrationsspitzen heben sich jedoch in diesem Tagesverlauf hervor. Zum einen kurz vor Erreichen des Plateaus zwei Belastungsspitzen, die Werte > 800 Millionen Partikel erreichen und gegen 14.35 Uhr, mit Vorlage der nachmittäglichen Raufuttermahlung, eine Spitze, die mit > 500 Millionen Partikel/m³ Luft die dritte Hochkonzentration bildet. Bis zu diesem Zeitpunkt sinkt die Gesamtstaubkonzentration nach Erreichen des Plateaus nur allmählich wieder ab. Zu erklären ist dies mit einem an diesem Messtag länger andauernden Entmistungsvorgang im Stutenstall.

Der Gesamtstaubgehalt wird vornehmlich durch die drei Fraktionen 0,3-0,4 µm, 0,4-0,5 µm und 0,5-0,65 µm gebildet (Abbildung 4.9), wobei erste mit knapp 250 Millionen Partikel/m³ Luft bei einer Gesamtstaubpartikelzahl von ca. 420 Millionen Partikeln die dominante Größeneinheit darstellt.

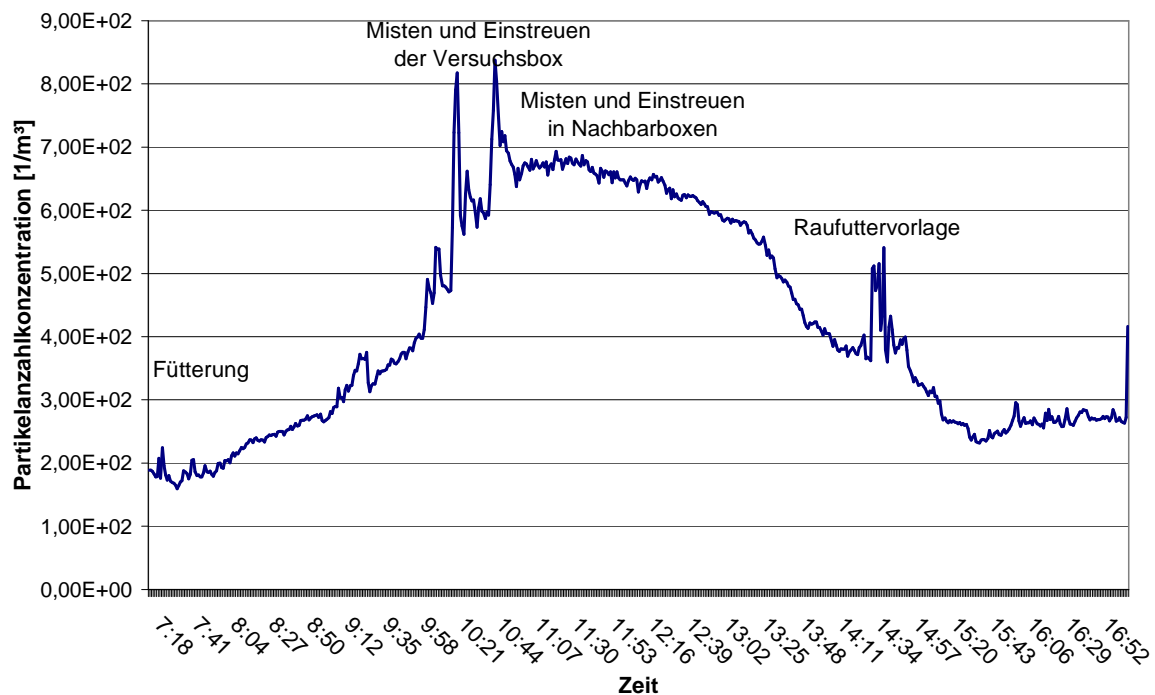


Abbildung. 4.8: Typischer Konzentrationsverlauf der Gesamtstaubpartikel im Tagesgang am 13.04.2005 im Stall 2

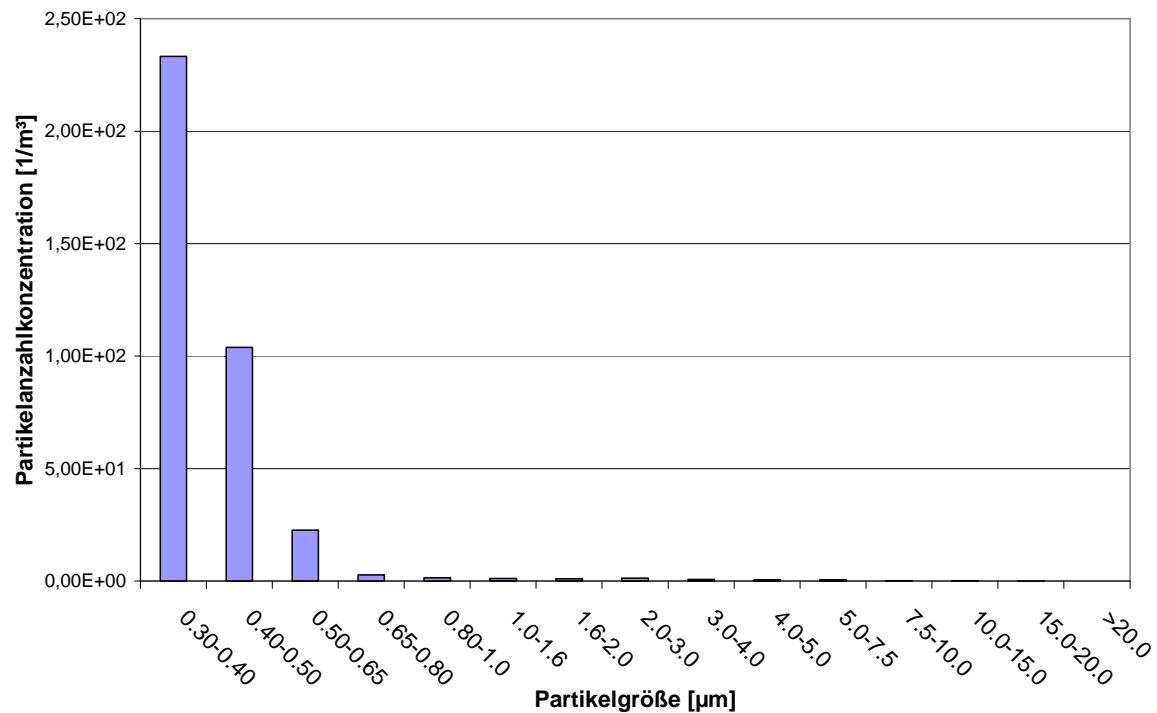


Abbildung 4.9: Typische Partikelgrößenverteilung am 13.04.2005 im Stall 2

Unterteilt man auch hier die Gesamtstaubpartikel in eine Fein- (Partikel < 5 µm) und eine Grobstaubfraktion (Partikel > 5 µm), so lässt sich anhand des Konzentrationsverlaufes das Verhalten beider Fraktionen in Abhängigkeit der Aktivität beurteilen (Abbildung 4.10). Es fällt auf, dass der Konzentrationsunterschied nahezu gleich bleibend groß ist, und auch zu Belastungszeiten der Anteil großer Partikel nicht über ein Niveau von 100 Millionen Partikel/m³ Luft steigt. Mit durchschnittlich 3 Millionen Partikel/m³ liegt es im Vergleich zum Feinstaub mit einer durchschnittlichen Konzentration von 413 Millionen Partikel/m³ in einem sehr niedrigen Bereich.

In Abbildung 4.11 sind, wie schon für Stall 1 dargestellt, die Konzentrationswerte der Ruhephase 100 % gesetzt und die Aktivitätszeit relativ dazu betrachtet worden. Das Zeitintervall zur Berechnung der Ruhephase wurde für den Nachmittag gesetzt, zwischen 15.36-16.06 Uhr, für das der Aktivitätszeit zwischen 10.22-10.52 Uhr. Es zeigt sich, dass auch hier zu den Aktivitätszeiten vor allem die größeren Partikel einer starken Konzentrationsänderung unterliegen. Insbesondere Partikel mit einem Teilchendurchmesser von 1,6-2,0 µm steigen, verglichen mit den Konzentrationswerten zur Ruhezeit, um über 2.500 %. Die größten gemessenen Partikel hingegen (> 20 µm) liegen mit einer ca. 1700 % Konzentrationssteigerung hinter den anderen Partikeln der Grobstaubfraktion zurück.

Ergebnisse

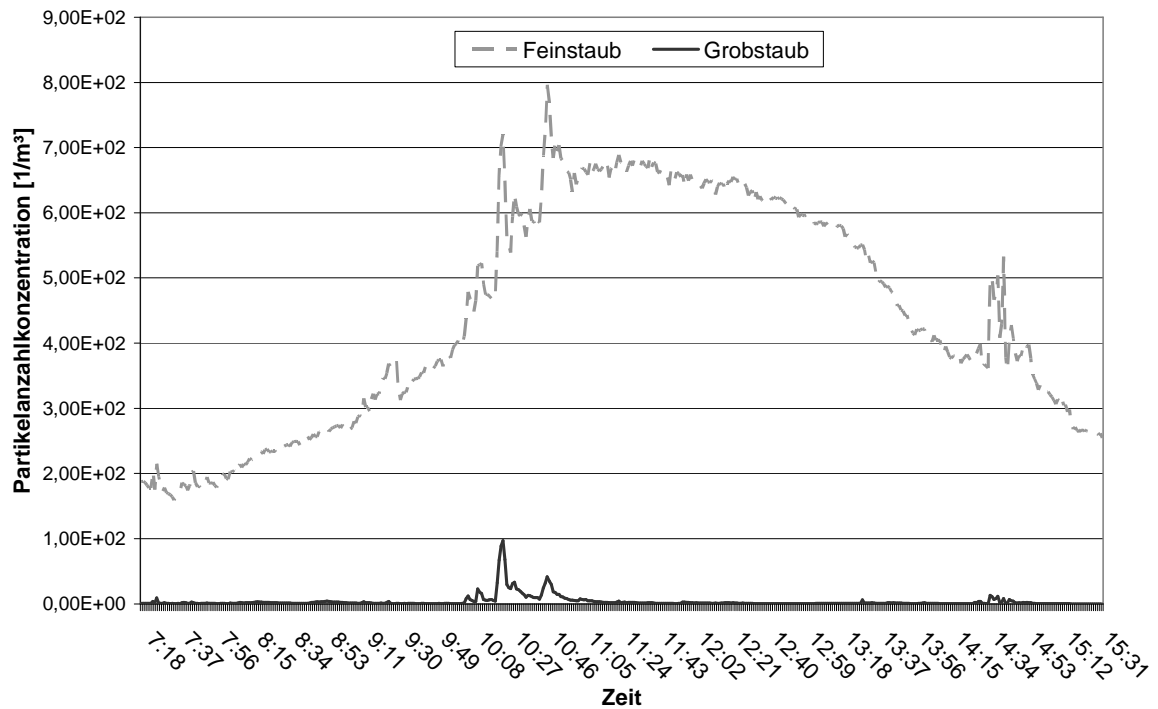


Abbildung 4.10: Typischer Konzentrationsverlauf der Fein- und Grobstaubpartikel im Tagesgang am 13.04.2005 im Stall 2

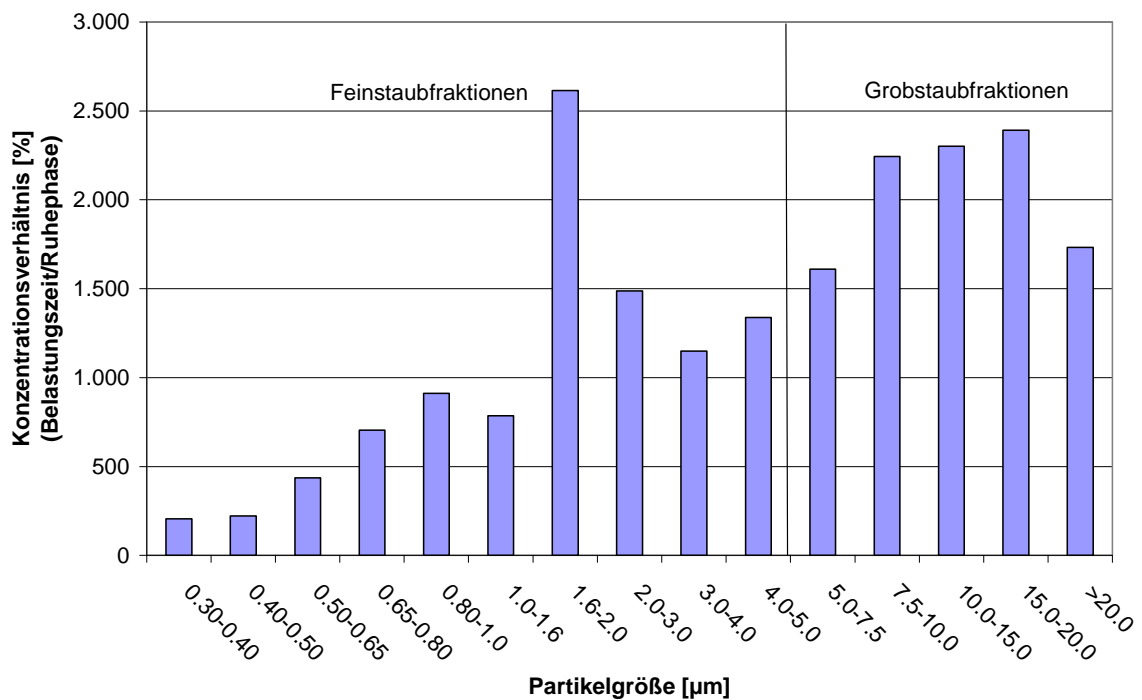


Abbildung 4.11: Typisches Konzentrationsverhältnis der einzelnen Partikelfractionen zu Belastungs- und Ruhezeiten am 13.04.2005 im Stall 2 (Ruhezeit=100%)

4.2.1.2 Schimmelpilzkonzentration

Zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Stallluft wurde, wie in Kapitel 4.1 erläutert, der achtstufige Andersen Kaskadenimpaktor verwendet.

Stall 1

Die Stallluftmessungen mit dem achtstufigen Andersen Sammler erfolgten an neun Tagen über eine Zeit von jeweils acht Stunden, von denen aus technischen Gründen jedoch nur fünf Tage ausgewertet werden konnten. Die durchschnittlich gesammelte Schimmelpilzkonzentration an einem Messtag ist in Abbildung 4.12 dargestellt.

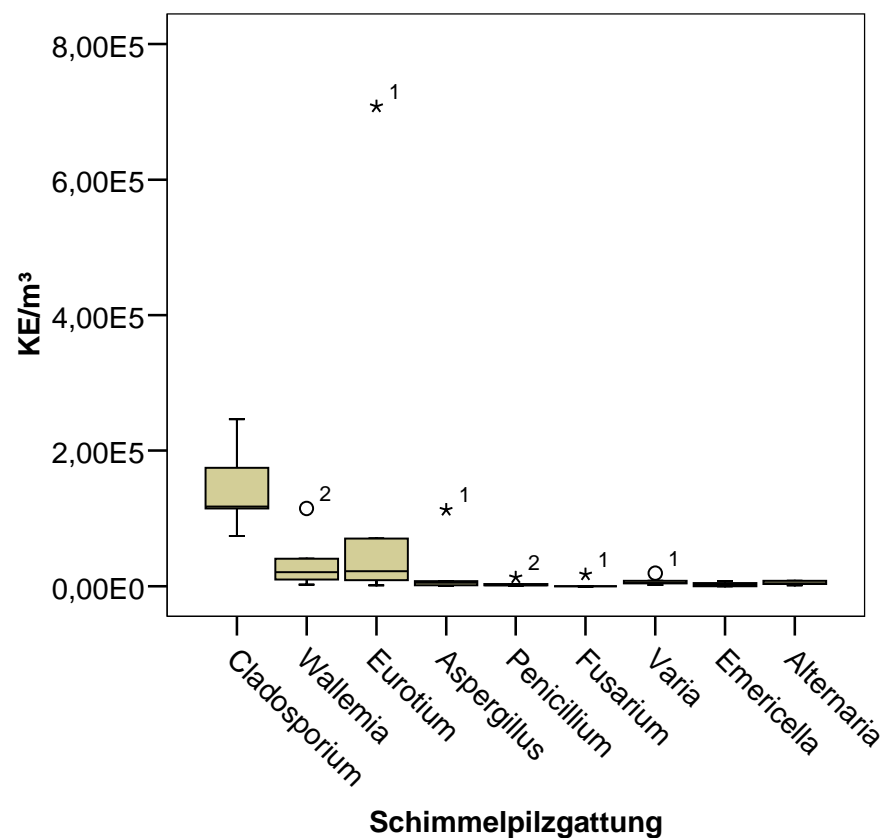


Abbildung 4.12: Durchschnittliche Konzentration einzelner Schimmelpilzgattungen in der Versuchsbox von Stall 1

Die zu der *Aspergillus glaucus* Gruppe gehörende Gattung *Eurotium* ist mit $1,6 \times 10^5$ KE/m³ im Mutterstall neben der Gattung *Cladosporium* mit $1,4 \times 10^5$ KE/m³ am häufigsten

vertreten. Die Konzentrationen der Gattungen *Wallemia* und *Aspergillus* kommen dagegen um den Faktor 5 weniger vor. Die Bezeichnung steriles Myzel definiert die Gruppe von Schimmelpilzen, die keine Vermehrungsorgane ausbilden und auch nach Überimpfen auf Selektivnährmedien nicht identifiziert werden konnten. Ihre Konzentration beläuft sich auf ca. 7.400 KE/m³ Luft und liegt auf Rang 5 in der Häufigkeit des Auftretens. Die weiteren Schimmelpilzgattungen wie *Alternaria*, *Penicillium*, *Fusarium* und *Emericella* spielen in diesem Versuchsstall hinsichtlich ihrer Konzentration in der Stallluft nur eine untergeordnete Rolle.

Betrachtet man in Abbildung 4.13 die Verteilung der durchschnittlich gesammelten Schimmelpilze, so fällt auf, dass die meisten Keime mit $6,8 \times 10^5$ KE/m³ auf der Stufe 4 abgeschieden wurden. Eine weitere Häufung von Schimmelpilzen ist auf den Stufen 1, 2 und 5 zu verzeichnen, die mit $3,4 - 3,6 \times 10^5$ KE/m³ in einem Wertebereich liegen. Die meisten gesammelten schimmelpilztragenden Partikel werden auf den ersten fünf Impaktorstufen des Andersen Sammlers abgeschieden.

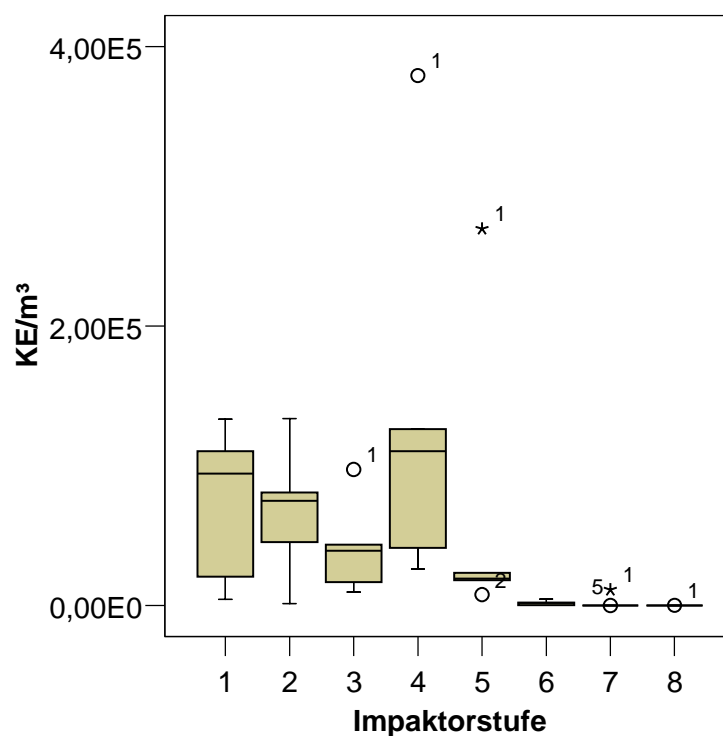


Abbildung 4.13: Übersicht über den Median der einzelnen Impaktorstufen auf dem ANDERSEN Sammler

Die Abscheidungsrate auf den einzelnen Impaktorstufen für jede in diesem Stall erfasste Schimmelpilzgattung ist auf den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Das Verteilungsmuster für *Cladosporium* (Abbildung 4.14) reicht von Stufe 1 bis 4, wobei der Median der Stufen 1, 2 und 4 mit $2,7 \times 10^4 - 3,2 \times 10^4$ KE/m³ Luft in einem ähnlichen

Wertebereich liegen. Die nachfolgenden Stufen spielen keine beachtliche Rolle.

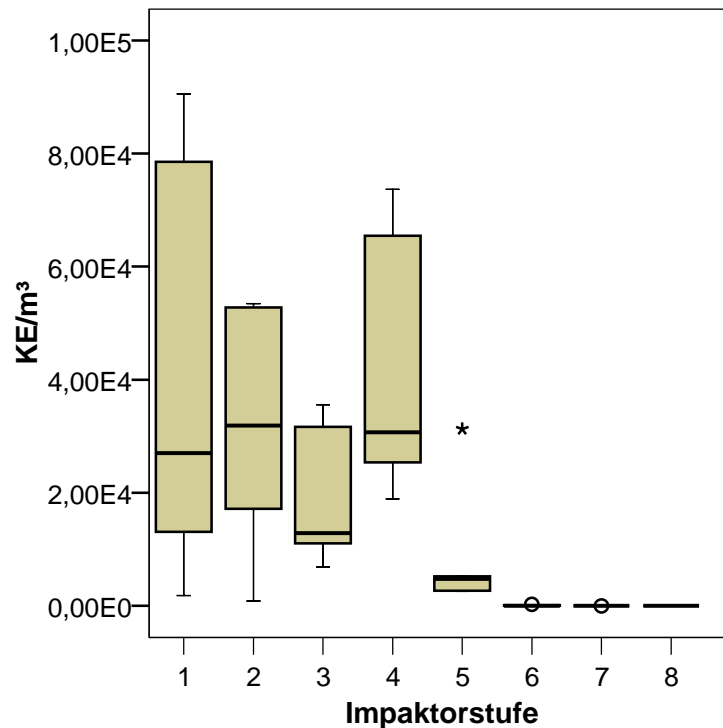


Abbildung 4.14: Vorkommen von *Cladosporium* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 1

Bei der dritt häufigsten nachgewiesenen Schimmelpilzgattung handelt es sich um *Wallemia* (Abbildung 4.15), welcher mit einem Median von $6,4 \times 10^3$ KE/m³ vorrangig auf den Stufen 5 und 4 abgeschieden wurde. Auf letzterer Stufe ist auch die Gattung *Eurotium* am häufigsten zu finden, wobei die Wertebereiche (Datenpunkte) von mehreren Extremwerten gekennzeichnet sind (Abbildung 4.16). Diese sind im ersten Messtag begründet, an dem *Eurotium* im Unterschied zu den anderen Tagen in überdurchschnittlich hoher Anzahl die dominierende Gattung darstellt.

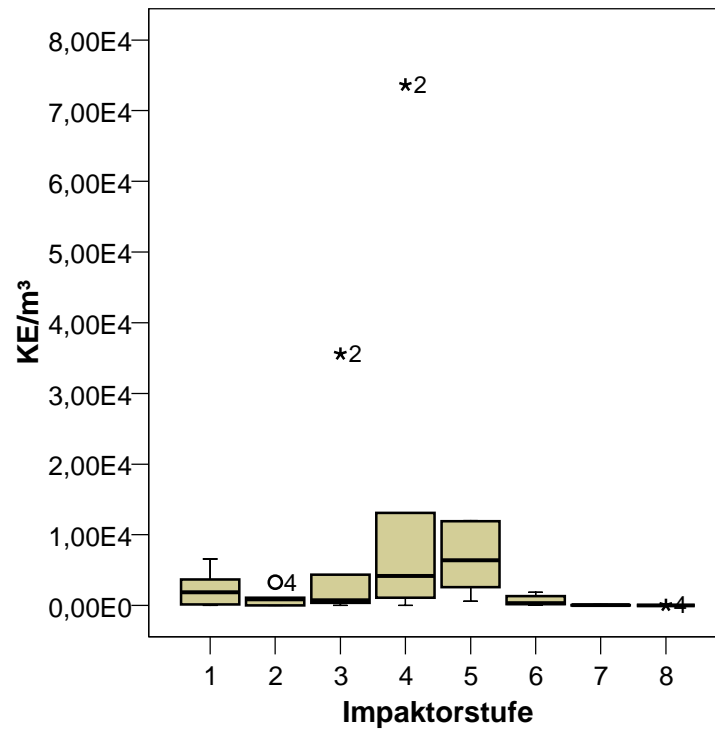


Abbildung 4.15: Vorkommen von *Wallemia* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 1

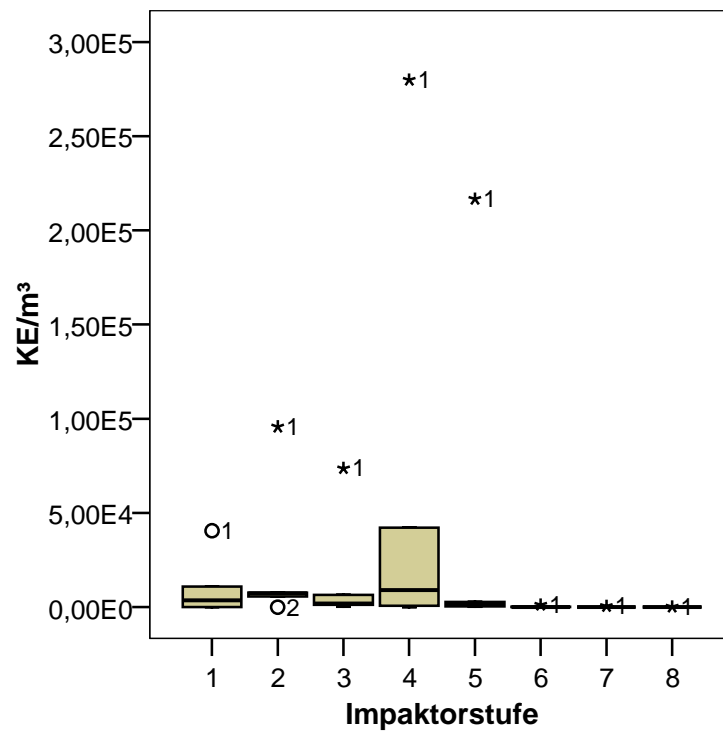


Abbildung 4.16: Vorkommen von *Eurotium* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 1

In Abbildung 4.17 ist die Größenverteilung der Gattung *Alternaria* dargestellt. Die meisten Schimmelpilzkolonien wurden mit bis zu 3.700 KE/m³ Luft vor allem auf der ersten Stufe gefunden. Eine große Streuung der Werte ist auf der zweiten Stufe festzustellen. Im Gegensatz zur Stufe 1 wurden hier nur an zwei Messtagen schimmelpilztragende Partikel entsprechender Größe abgeschieden und das in unterschiedlich hoher Konzentration. Dies begründet die Zuordnung des Wertes 6,1 x 10³ KE/m³ Luft als Extremwert, sowie den großen „Bauch“ des oberen Quartils durch den zweiten Wert mit 2,5 x 10³ KE/m³ Luft.

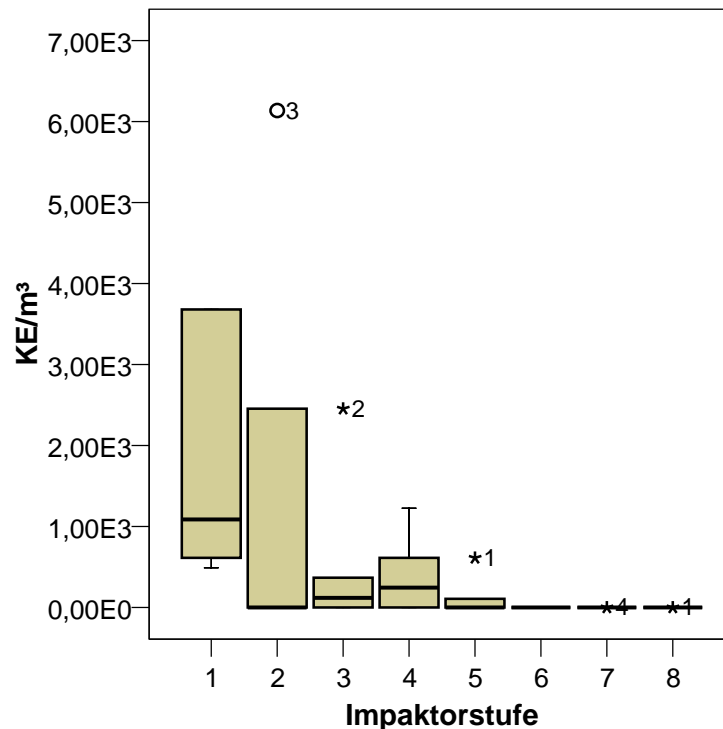


Abbildung 4.17: Vorkommen von *Alternaria* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers in Stall 1

Die Gattung *Aspergillus* ist besonders an Tag 1 auf allen Impaktorstufen in hohen Konzentrationen abgeschieden worden, was durch die Extremwerte (*1) in Abbildung 4.18 deutlich wird. In der Gesamtheit der Messungen zeigte sich jedoch ein vermehrtes Auftreffen der Sporen tragenden Partikel auf der Stufe 4.

Auch die Sporen der Gattung *Penicillium* (Abbildung 4.19) sind auf dieser Stufe bevorzugt zu finden. Hohe Extremwerte wie bei *Aspergillus* sind hier jedoch mit einem 25 Fach höheren Wert als der Median nur an Tag 2 auf der Stufe 4 zu verzeichnen.

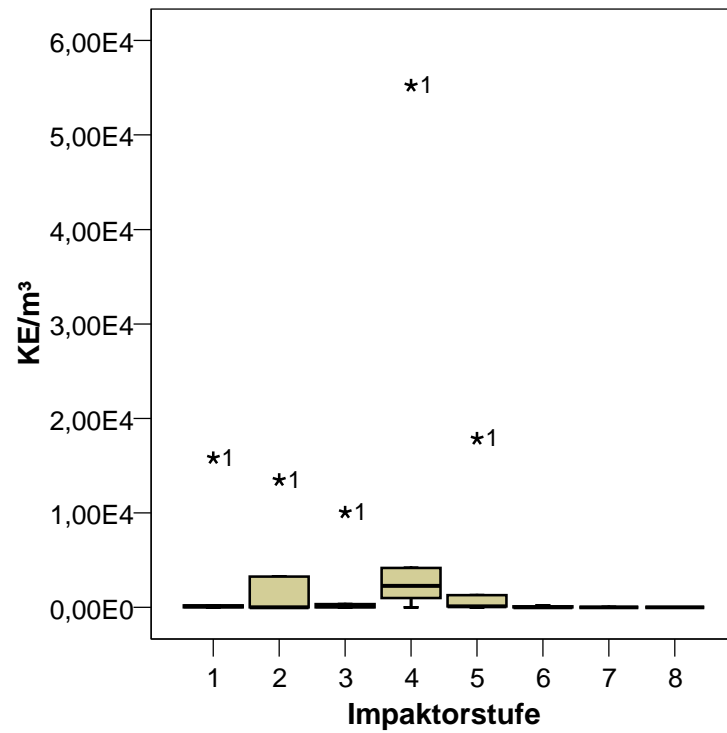


Abbildung 4.18: Vorkommen von *Aspergillus* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 1

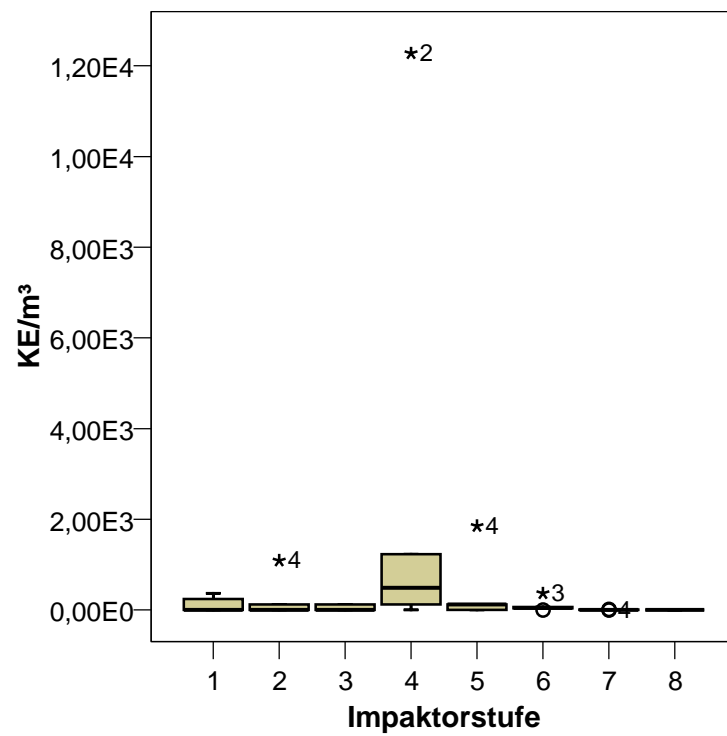


Abbildung 4.19: Vorkommen von *Penicillium* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 1

Der lineare Zusammenhang zwischen den sporentragenden Partikel bestimmter Impaktorstufen des Andersen Sammlers und einzelner Partikelfractionen des Grimm Messgerätes ist in Tabelle 4.1 und 4.2 dargestellt. Es wurden nur ausgewählte Größenklassen aufgeführt, welche hohe Bestimmtheitsmaße vorweisen konnten. Der höchste R^2 Wert mit 0,797 konnte bei den Sporen der Stufe 6 als abhängige Variable und bei den Partikelfractionen der Größe 0,40-0,50 μm als unabhängige Variable festgestellt werden.

Tabelle 4.1: Partikelfractionen verschiedener Größenklassen und Schimmelpilzsporen der Stufe 1 des Andersen Sammlers mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen

Staubfraction	3,0-4,0 μm	4,0-5,0 μm
Regressionsgleichung	$y=0,097x+(-92887,013)$	$y=0,091x+(-67084,420)$
Bestimmtheitsmaß (R^2)	0,747	0,639
Standardfehler des Schätzers (SE)	33082,3	39503,1

Tabelle 4.2: Partikelfractionen verschiedener Größenklassen und Schimmelpilzsporen der Stufe 6 des Andersen Sammlers mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen

Staubfraction	Gesamtstaub	0,30-0,40 μm	0,40-0,50 μm
Regressionsgleichung	$y=8,746E05x+(-5378,214)$	$y=0,000164x+(-5080,065)$	$y=0,000216x+(-1673,945)$
Bestimmtheitsmaß (R^2)	0,555	0,656	0,797
Standardfehler des Schätzers (SE)	1406,2	1237,2	949,7

Stall 2

In der Abbildung 4.20 sind ebenfalls die gemessenen Schimmelpilzgattungen, entsprechend der Häufigkeit ihres Auftretens in der Luft des Stutenstalls aufgeführt. Im Gegensatz zum Versuchsstall auf dem Durchhäuser Hof, hebt sich im Stutenstall eine Gattung klar hervor. Es handelt sich hierbei um *Wallemia*, welche mit einem Gehalt von fast $4,0 \times 10^5$ KE/m³ Luft um ein 4 Faches höher liegt, als die Gattung *Cladosporium*, welche in der Luft dieses Stalls den zweit häufigsten Vertreter stellt. Ähnlich wie im ersten Versuchsstall liegt der Gehalt von *Aspergillus* bei $3,2 \times 10^4$ KE/m³ Luft.

Auffallend hoch ist die Konzentration von *Fusarium* ($1,4 \times 10^4$ KE/m³) im Vergleich zu Stall 1 ($3,5 \times 10^3$ KE/m³).

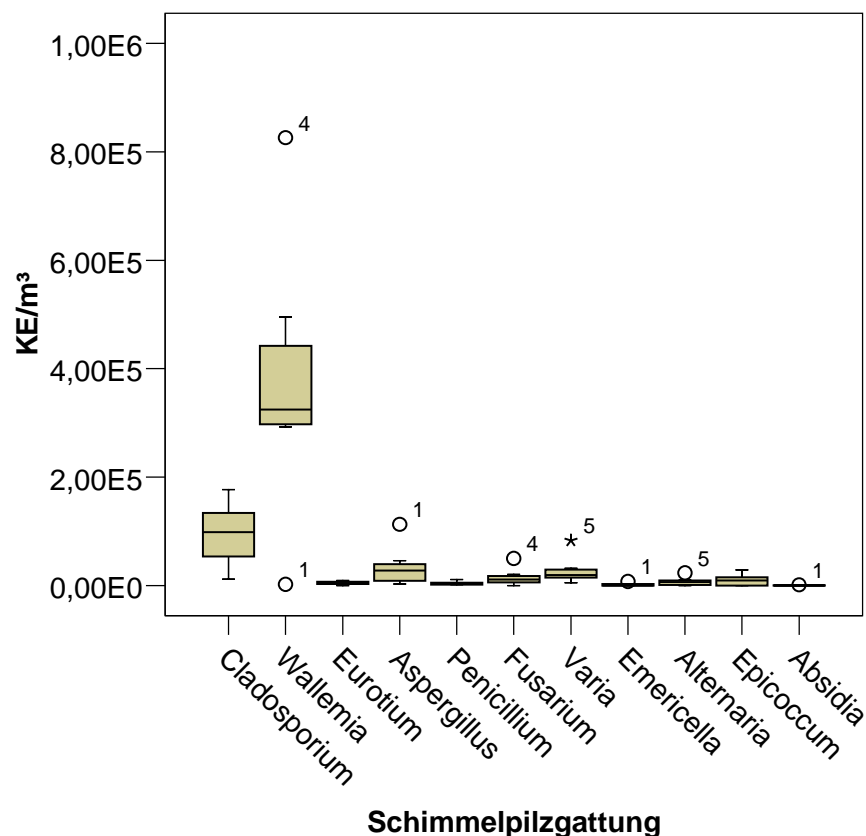


Abbildung 4.20: Durchschnittliche Konzentration einzelner Schimmelpilzgattungen in der Versuchsbox von Stall 2

Anders als bei den Messungen im Stall 1, ist die Mehrzahl der gesammelten und kultivierbaren Schimmelpilzsporen auf der Stufe 5 ($2,2 \times 10^5$ KE/m³) zu finden, neben

einer Häufung der Werte auf der Stufe 4 mit einem Gehalt von $1,3 \times 10^5$ KE/m³, wie in Abbildung 4.21 ersichtlich. Die Verteilung auf den einzelnen Impaktorstufen zeigt nach wie vor eine Dominanz der 4. und 5. Stufe, wenn auch letztere einer großen Streuung unterliegt.

Größere Schimmelpilzsporen sind auf den ersten drei Stufen vertreten, vorwiegend auf der 1. Stufe mit $1,0 \times 10^5$ KE/m³ Luft.

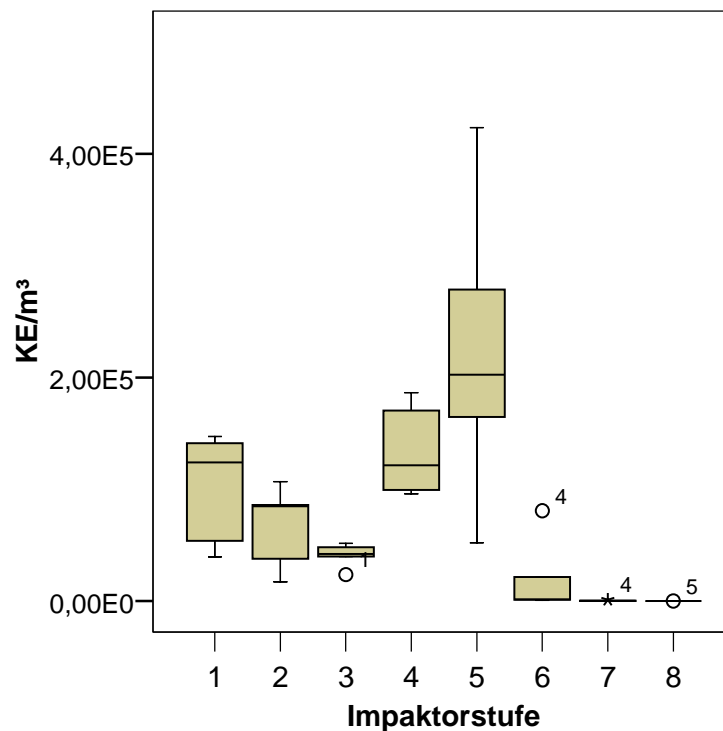


Abbildung 4.21: Übersicht über den Median der einzelnen Impaktorstufen auf dem ANDERSEN Sammler und deren Standardabweichung

Wie in Abbildung 4.22 ersichtlich, ist die Abscheidung der Gattung *Wallemia* auf der 5. Stufe mit einem Median von $1,7 \times 10^5$ KE/m³ Luft deutlich höher als auf der 4. Stufe mit einem Median von $8,8 \times 10^4$ KE/m³. Betrachtet man in den nachfolgenden Abbildungen die Abscheidungsrate weiterer Gattungen auf den einzelnen Impaktorstufen fällt auf, dass *Wallemia* die Gesamtkeimzahl der 5. Stufe dominiert, sowie *Cladosporium* (Abbildung 4.23) die der ersten zwei Stufen. Beide gemeinsam sind für die hohe Konzentration auf der 4. Stufe verantwortlich. Die Gattung *Aspergillus* (Abbildung 4.24) lässt keine eindeutig bevorzugte Abscheidung auf einer der Stufen erkennen. Während im Stall 1 eine deutliche Häufung der gesammelten Schimmelpilzsporen der Gattung *Eurotium* (Abbildung 4.25) auf Stufe 4 zu erkennen ist, liegt der Schwerpunkt der Verteilung im Stutenstall auf den ersten drei Stufen.

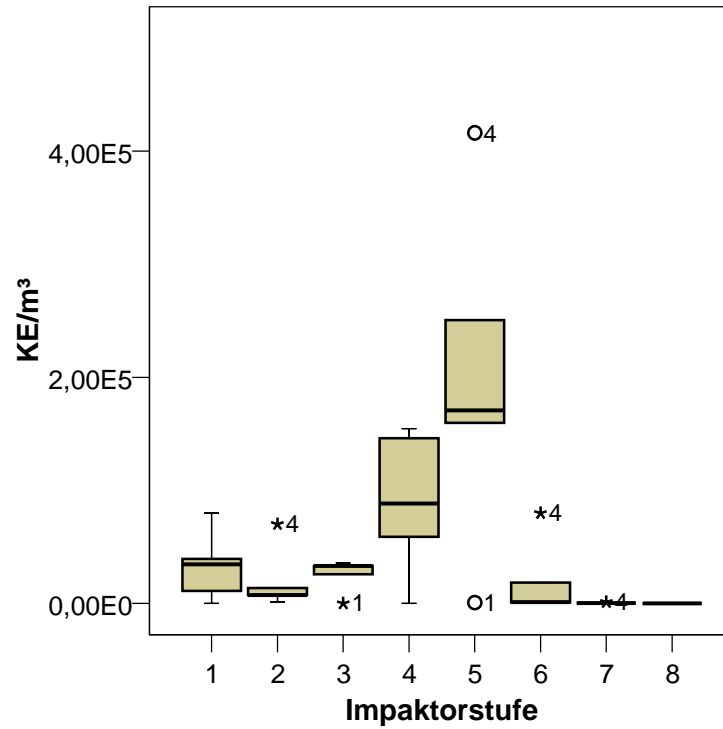


Abbildung 4.22: Vorkommen von *Wallemia* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 2

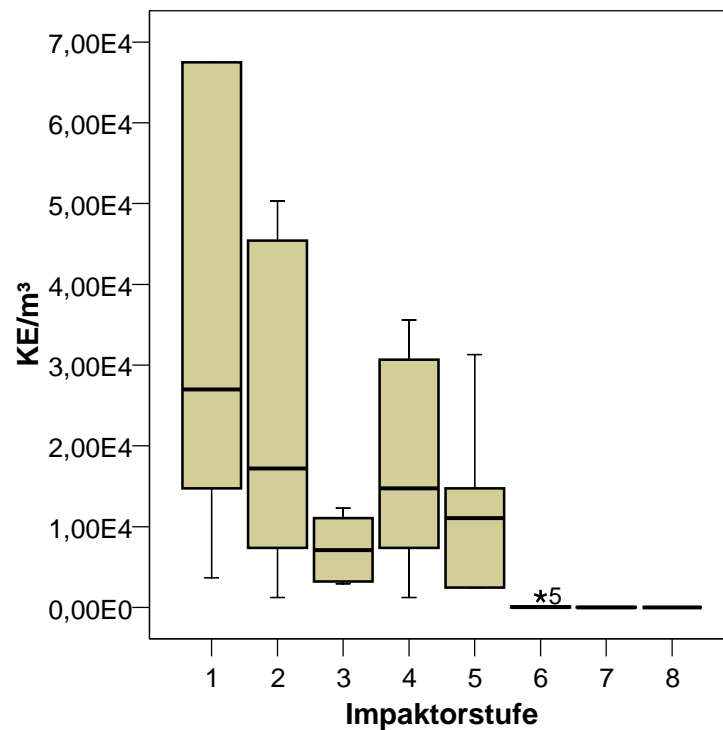


Abbildung 4.23: Vorkommen von *Cladosporium* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 2

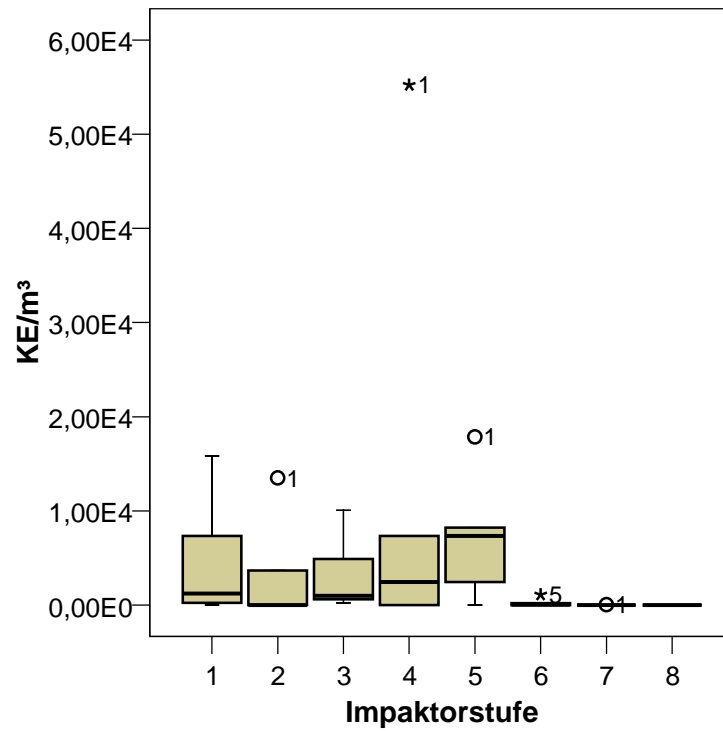


Abbildung 4.24: Vorkommen von *Aspergillus* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 2

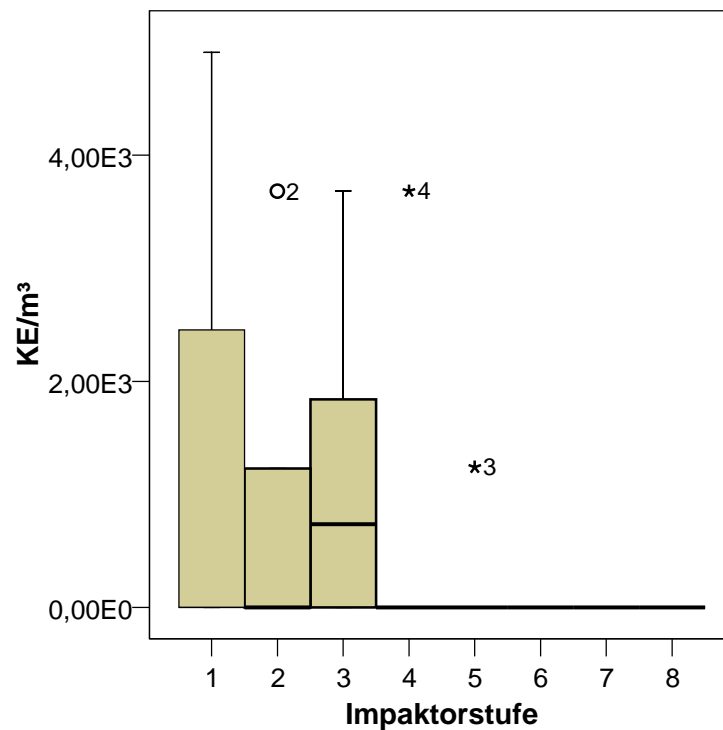


Abbildung 4.25: Vorkommen von *Eurotium* entsprechend ihrer Abscheidung auf den Impaktorstufen des ANDERSEN Sammlers im Stall 2

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse für den Stall 2 sind nachfolgend in den Tabellen 4.3-4.5 dargestellt. Ähnlich wie im Stall 1 erreicht keiner der Größenklassen ein Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,8$. Es fällt auf, dass die Stufen 5, 6 und 7 ihr höchstes Bestimmtheitsmaß gleichermaßen bei den Staubfraktionen der Größe 1,6-2,0 μm aufweisen.

Tabelle 4.3: Partikelfractionen verschiedener Größenklassen und Schimmelpilzsporen der Stufe 5 des Andersen Sammlers mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen im Stall 2

Staubfraktion	0,30-0,40 μm	1,6-2,0 μm
Regressionsgleichung	$y=0,001x+76463,187$	$y=0,105x+87809,870$
Bestimmtheitsmaß	0,654	0,649
Standardfehler des Schätzers (SE)	93805,0	94440,8

Tabelle 4.4: Partikelfractionen der Größe 1,6-2,0 μm und Schimmelpilzsporen der Stufe 6 des Andersen Sammlers mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß im Stall 2

Staubfraktion	1,6-2,0 μm
Regressionsgleichung	$y=0,26x+(-12882,169)$
Bestimmtheitsmaß	0,647
Standardfehler des Schätzers (SE)	23666,7

Tabelle 4.5: Partikelfractionen der Größe 1,6-2,0 μm und Schimmelpilzsporen der Stufe 7 des Andersen Sammlers mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß im Stall 2

Staubfraktion	1,6-2,0 μm
Regressionsgleichung	$y=0,00033x+46,363$
Bestimmtheitsmaß	0,730
Standardfehler des Schätzers (SE)	247,3

4.2.2 Punktmessungen

4.2.2.1 Staubkonzentration

Wie oben beschrieben, wurden die beiden Messzeiträume so gewählt, dass die maximal und minimal vorkommende Staubkonzentration im Mutterstall erfasst wird. Während des Vormittages und der Nacht wurde über einen Zeitraum von zwei Stunden gemessen. Das Ergebnis der Gesamtstaubmessung ist in Abbildung 4.26 dargestellt. Zu Zeiten hoher Aktivität liegt die Staubkonzentration bei einem Median von $2,6 \times 10^8/\text{m}^3$. Während der Nachtruhe sinkt die Partikelanzahl um den Faktor 10 auf $2,6 \times 10^7/\text{m}^3$. Die innerhalb der Ruhephase gemessenen Datenpunkte liegen enger beieinander. Die durchschnittliche Feinstaubkonzentration zu Spitzenbelastungszeiten (Abbildung 4.27) ist mit $2,3 \times 10^8/\text{m}^3$ um den Faktor 1,1 niedriger als der Gesamtstaubgehalt, während sich die Werte der Gesamt- und Feinstaubkonzentration in den Ruhezeiten nur gering unterscheiden.

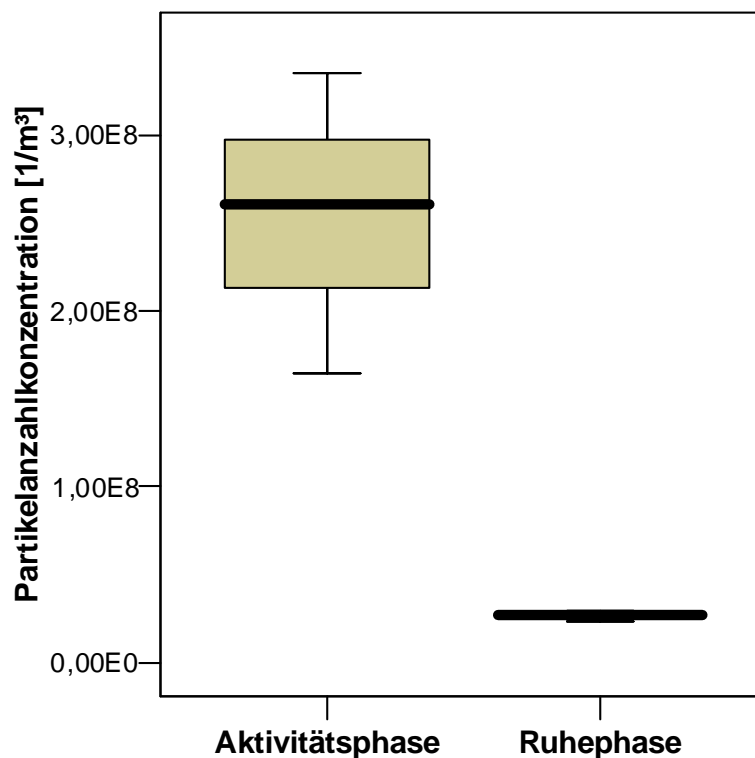


Abbildung 4.26: Gesamtstaubkonzentration im Stall 2 zu unterschiedlichen Tageszeiten

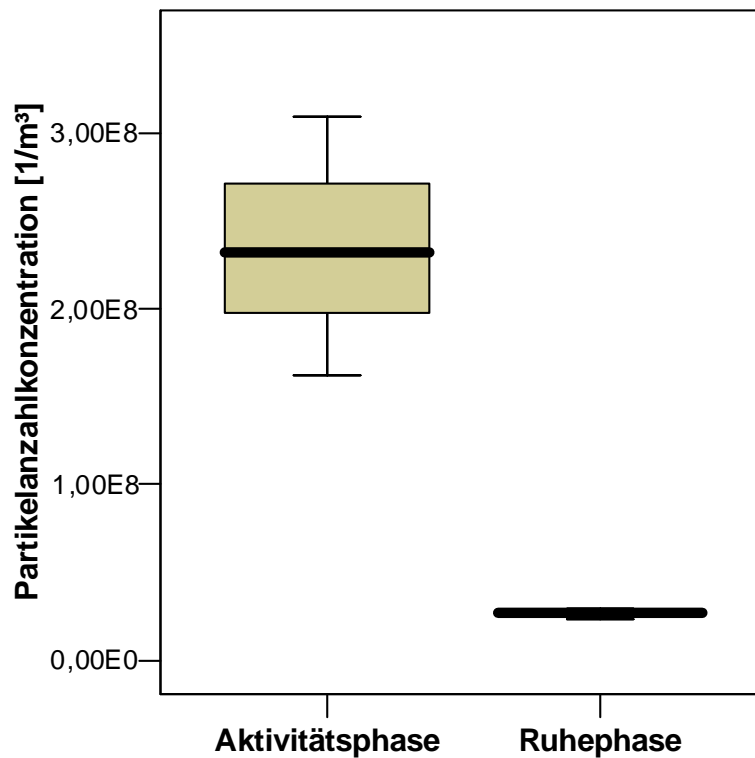


Abbildung 4.27: Feinstaubkonzentration im Stall 2 zu unterschiedlichen Tageszeiten

4.2.2.2 Schimmelpilzkonzentration

Die Ergebnisse der Schimmelpilzmessung mit dem PGP-GSP Messkopf sind in Abbildung 4.28 dargestellt. Die ermittelten Werte liegen sehr nah beieinander und erreichen zu Aktivitätszeiten bis zu $4,0 \times 10^4$ KE/m³, während der FSP Sammelkopf in dem selben Zeitraum mit $4,2 \times 10^3$ KE/m³ Luft eine Zehnerpotenz weniger Sporen gesammelt hat. Während der Ruhezeit betrug die Konzentration an Schimmelpilzen, die bei der Probenahme im GSP Sammelkopf nachgewiesen wurden, durchschnittlich 926 KE/m³ Luft. Die Messung mit dem FSP Sammelkopf erbrachte hingegen mit 159 KE/m³ eine viel niedrigere Konzentration.

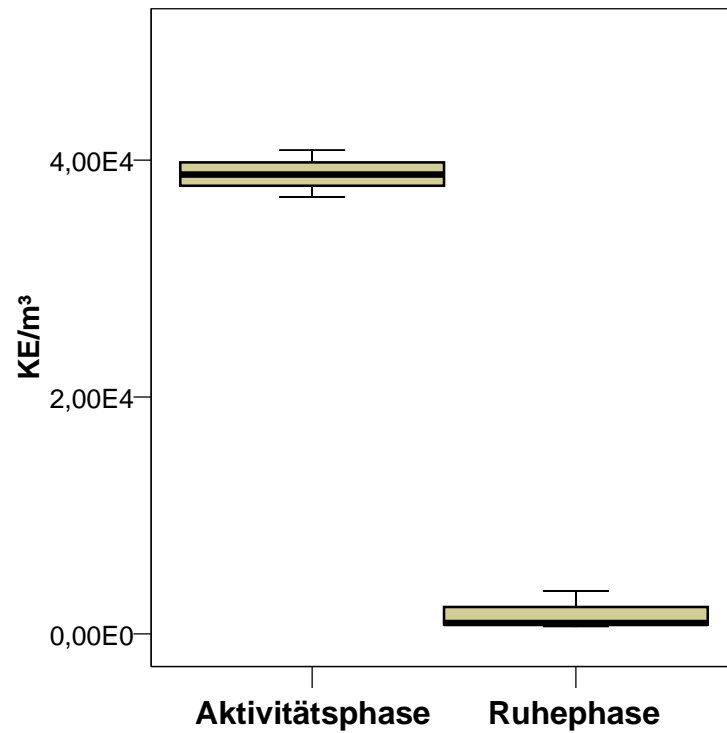


Abbildung 4.28: Ergebnis der Schimmelpilzkonzentrationsbestimmung mit dem GSP-Messkopf im Stall 2 zu unterschiedlichen Tageszeiten

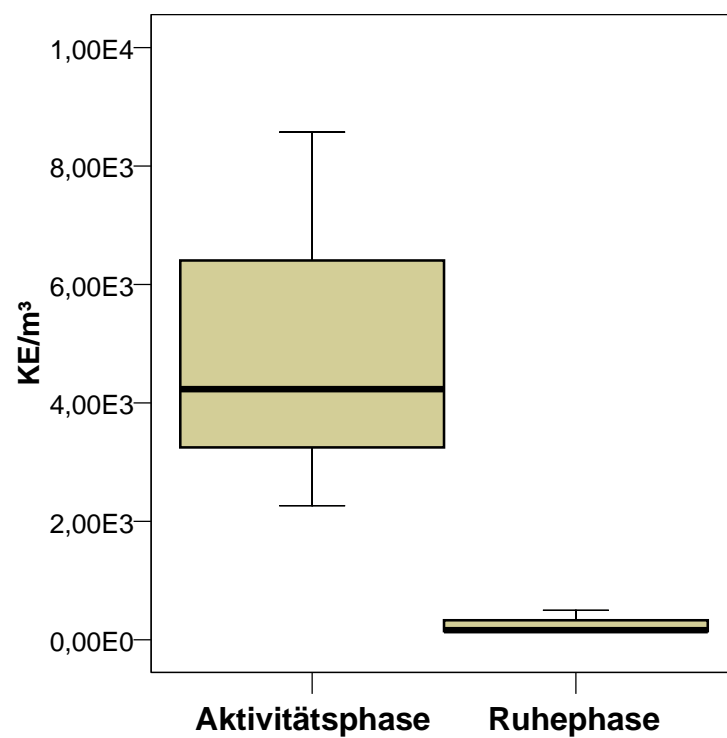


Abbildung 4.29: Ergebnis der Schimmelpilzkonzentrationsbestimmung mit dem FSP-Messkopf im Stall 2 zu unterschiedlichen Tageszeiten

4.2.3 Abhängigkeiten zwischen Staubpartikeln und Schimmelpilzsporen

Um die Beziehung zwischen den staubtragenden Partikeln und den Schimmelpilzsporen der Stallluft zu untersuchen, wurden auch hier die gewonnenen Daten einer Regressionsanalyse unterzogen. Das Ergebnis der linearen Regression zwischen den Konzentrationen von Staubpartikeln und Schimmelpilzsporen ist in den Abbildungen 4.30 und 4.31 dargestellt. Das höchste Bestimmtheitsmaß konnte zwischen der Konzentration von Gesamtstaub und den Schimmelpilzsporen des GSP Messkopfes festgestellt werden, während die Feinstaubanteile nur schwach mit den kleinen Schimmelpilzsporen und -fragmenten assoziierten.

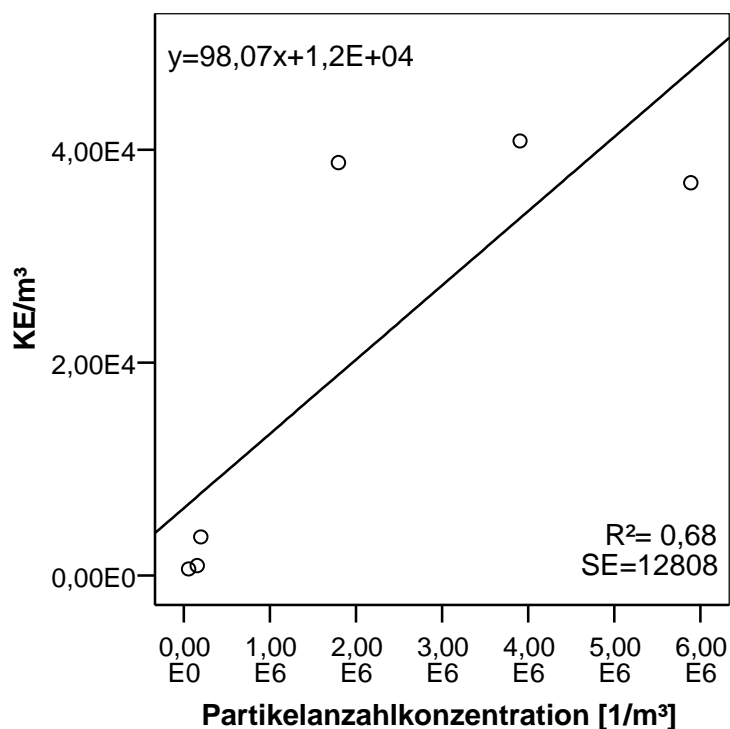


Abbildung 4.30: Beziehung zwischen Gesamtstaubpartikeln und den Schimmelpilzsporen gemessen mit dem GSP-Messkopf im Stall 2

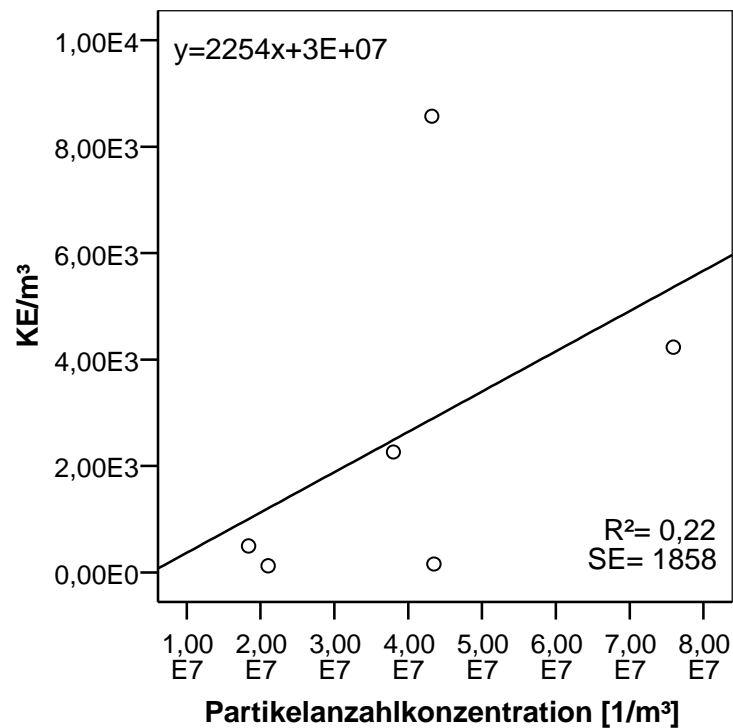


Abbildung 4.31: Beziehung zwischen Feinstaubpartikeln und den Schimmelpilzsporen gemessen mit dem FSP-Messkopf im Stall 2

4.3 Untersuchungen von Materialproben mit Hilfe eines Staubreisetzungswürfels

Betrachtet man die Ergebnisse in den Abbildungen 4.32 und 4.33 fällt auf, dass die Unterschiede hinsichtlich der freigesetzten Staubmenge zwischen kontaminiertem Heu und dem Ausgangsmaterial bei Gesamtstaub mit einer Differenz von $5,6 \times 10^8$ Partikel/m³ höher ist, als bei dem Feinstaubanteil mit $6,6 \times 10^7$ Partikel/m³ Luft.

Der Schimmelpilzgehalt von kontaminiertem und normalem Heu weist größere Konzentrationsunterschiede auf, als bei den Staubpartikeln. In Abbildung 4.34 sind die Pilzsporen dargestellt, die mit Hilfe des GSP Messkopfes gesammelt wurden. Die beiden untersuchten Materialien unterscheiden sich in ihrem Sporengehalt um drei Zehnerpotenzen, bei den Pilzsporen des Feinstaubanteils verhält es sich ähnlich (Abbildung 4.35).

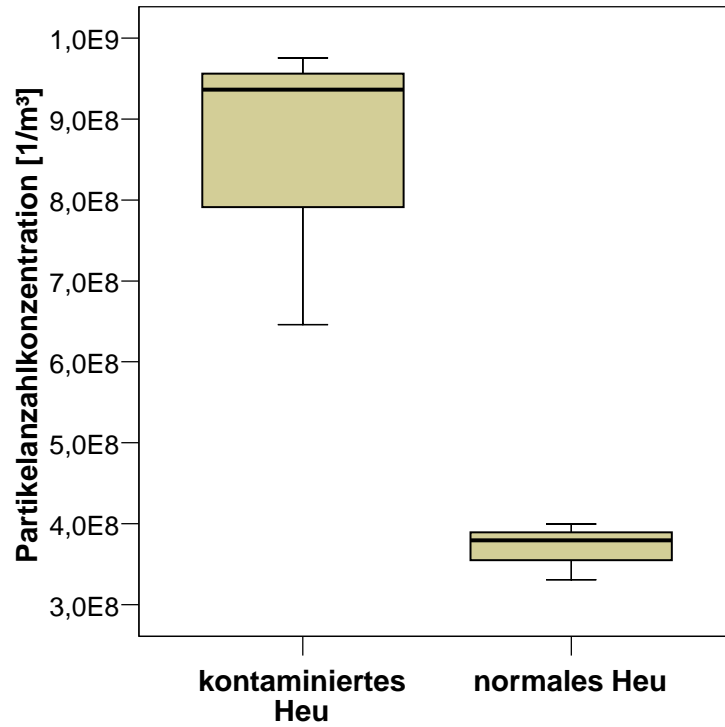


Abbildung 4.32: Gesamtstaubreisetzung aus normalem und kontaminiertem Heu

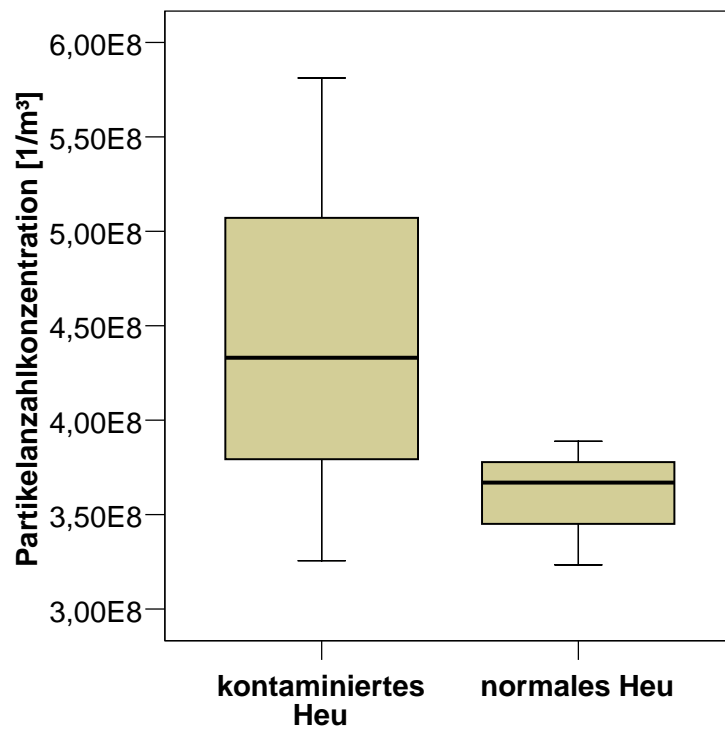


Abbildung 4.33: Feinstaubfreisetzung aus normalem und kontaminiertem Heu

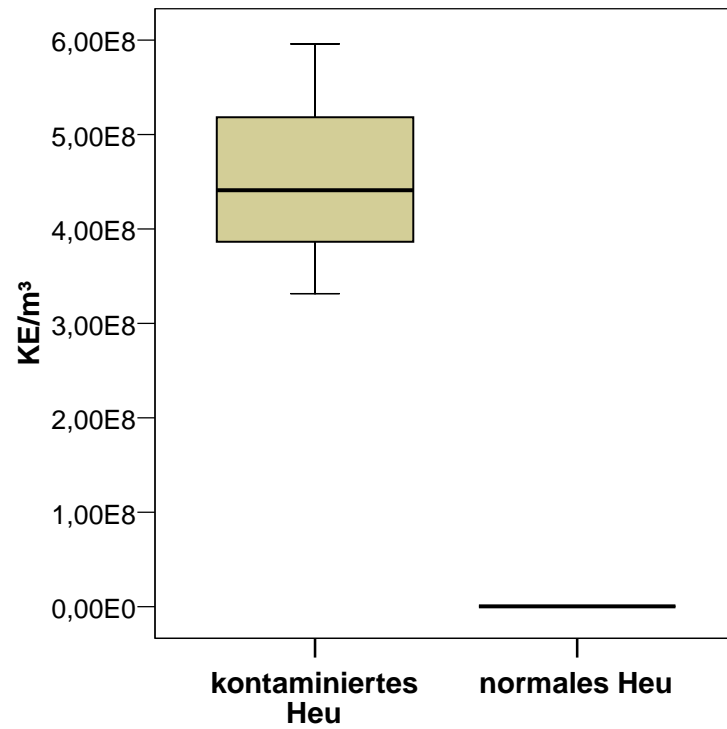


Abbildung 4.34: Freisetzung von Schimmelpilzen aus normalem und kontaminiertem Heu gemessen mit dem GSP-Messkopf

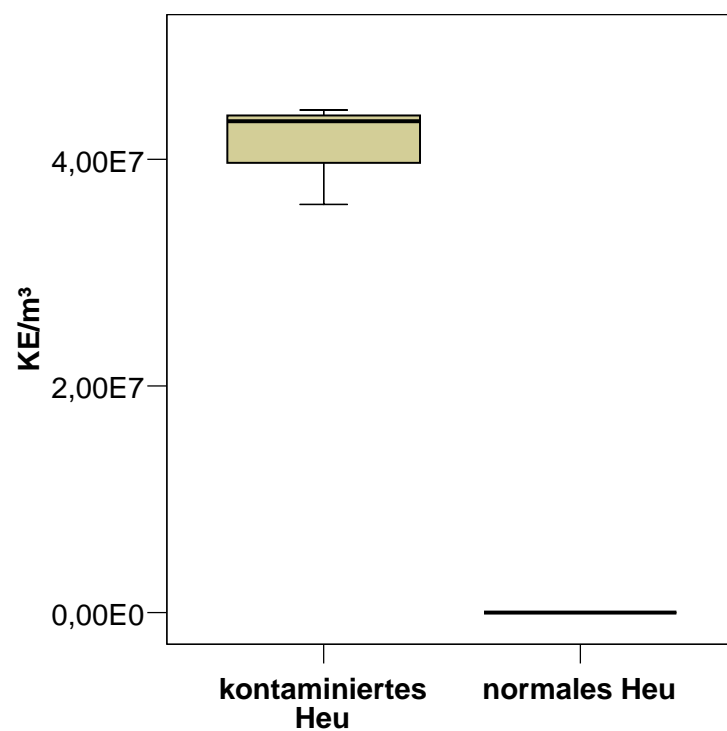


Abbildung 4.35: Freisetzung von Schimmelpilzen aus normalem und kontaminiertem Heu gemessen mit dem FSP-Messkopf

Ergebnisse

Den Zusammenhang zwischen der Konzentration von Gesamtstaub- bzw. Feinstaubpartikeln und dem Gehalt an Schimmelpilzsporen des GSP bzw. FSP Messkopfes wird durch die Abbildungen 4.36 und 4.37 in Form der linearen Regression dargestellt. Das höchste Bestimmtheitsmaß konnte bei den Gesamtstaubpartikeln festgestellt werden. Die Feinstaubanteile hingegen korrelieren mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,34$ nur kaum mit den Pilzsporen entsprechender Größe.

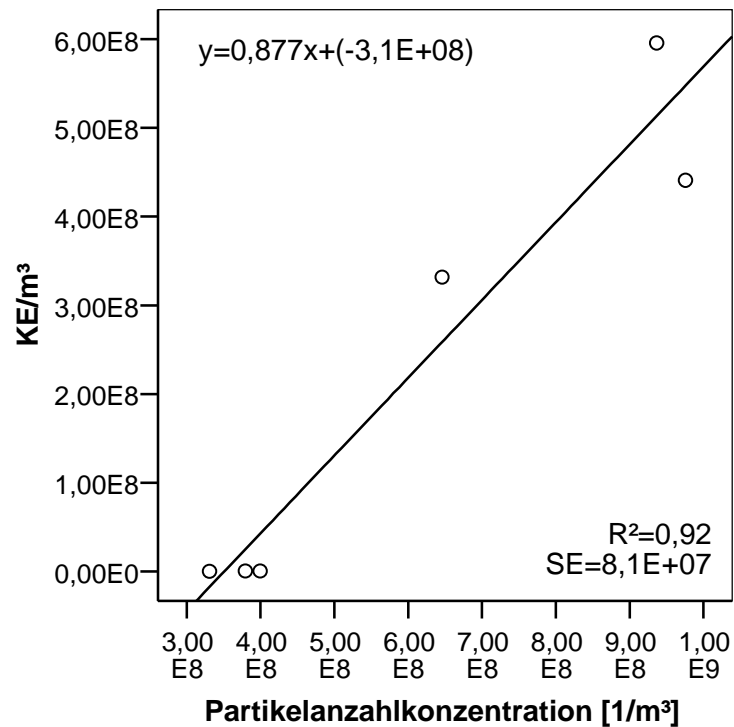


Abbildung 4.36: Beziehung zwischen Gesamtstaubpartikeln und den Schimmelpilzsporen gemessen mit dem GSP-Messkopf

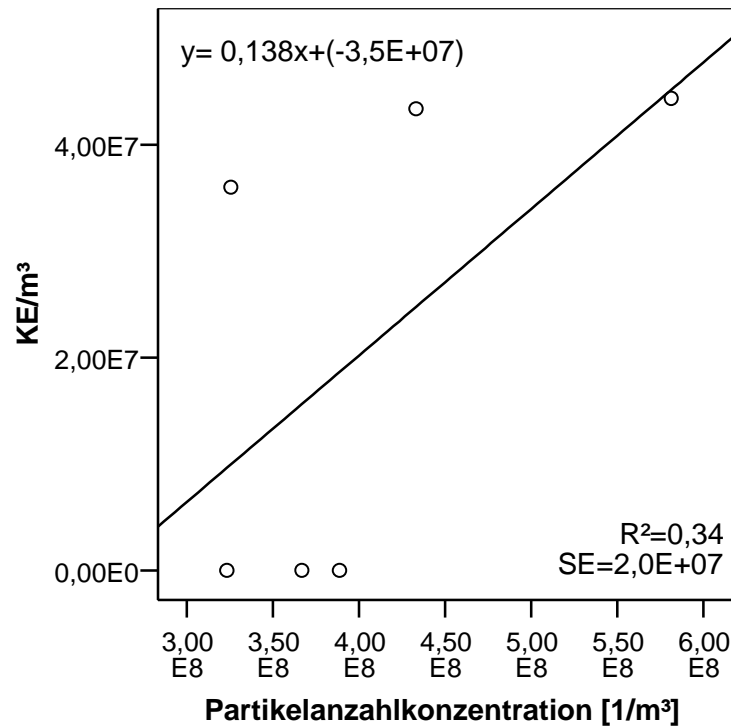


Abbildung 4.37: Beziehung zwischen Feinstaubpartikeln und den Schimmelpilzsporen gemessen mit dem FSP-Messkopf

In den Tabellen 4.6 und 4.7 sind diejenigen Partikelfractionen aufgeführt, die das höchste Bestimmtheitsmaß in der Beziehung zwischen Staub- und Schimmelpilzkonzentrationen aufweisen. Im Gegensatz zu der linearen Regression zwischen Staubpartikeln und Schimmelpilzsporen gleicher Größenbereiche wurde nachfolgend die gemessenen Keimkonzentrationen der beiden Messköpfe mit einzelnen Partikelfractionen unterschiedlicher Größe in Beziehung gesetzt. Das Ergebnis zeigt einen starken Zusammenhang zwischen den Staubfractionen der Größe 1,6-2,0 μm , 2,0-3,0 μm , sowie 3,0-4,0 μm mit denjenigen Schimmelpilzsporen, die mit Hilfe des GSP Messkopfes ermittelt wurden. Hier wurden mit 0,83, 0,89 und 0,90 die höchsten Bestimmtheitsmaße erreicht.

Tabelle 4.6: Partikelfractionen unterschiedlicher Größe und Schimmelpilzsporen des GSP Messkopfes mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß im Staubfreisetzungswürfel

Staubfraktion	1,0-1,6 µm	1,6-2,0 µm	2,0-3,0 µm	3,0-4,0 µm	4,0-5,0 µm
Regressionsgleichung	$y=17,264x+(-2,23E+08)$	$y=9,0 x+(56317270)$	$y=4,549 x+(-71394437)$	$y=11,906 x-1,28E+08$	$y=30,220 x+(1,90E+08)$
Bestimmtheitsmaß (R ²)	0,676	0,894	0,908	0,839	0,653
Standardfehler des Schätzers (SE)	1,6 E+08	9,6E+07	9,0E+07	1,2E+08	1,7E+07

Tabelle 4.7: Partikelfractionen unterschiedlicher Größe und Schimmelpilzsporen des FSP Messkopfes mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß im Staubfreisetzungswürfel

Staubfraktion	1,0-1,6 µm	1,6-2,0 µm	2,0-3,0 µm	3,0-4,0 µm	4,0-5,0 µm
Regressionsgleichung	$y=1,295x+(-13206065)$	$y=0,708x+(-1761776)$	$y=0,357x+(-2868081)$	$y=0,906x+(-6485030)$	$y=2,145x+(-9061776)$
Bestimmtheitsmaß (R ²)	0,509	0,742	0,747	0,651	0,440
Standardfehler des Schätzers (SE)	2,0E+07	1,0E+07	1,0 E+07	2,0E+07	2,0E+07