



## Alternative raumluftechnische Konzepte der Emissionsminderung in der Schweinehaltung unter den Gesichtspunkten des Tier- und Umweltschutzes

---

Reduzierung von Emissionen und Förderung der Tiergesundheit in der Schweinehaltung durch Kombination von intelligenter Luftführung und Abluftreinigungstechnik

*Reduction of emissions and supply of animal health in pig husbandry by combination of intelligent air guidance and air purification*

## **Konzeption und Zusammenstellung:**

Dr. Michael Mußlick

Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Erfurt

Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause

Ingenieur- und Sachverständigenbüro Peine

Gunar Sickert

Agrar- Dienstleistungs- Industrie- und Baugesellschaft mbH Bad Langensalza

## In Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten

Bauer, Dr. Thomas (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena)

Donhauser, Heike (Ingenieurbüro Dr. Eckhof Ahrensfelde)

Drmic, Jozo (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft Groß-Umstadt)

Eckhof, Dr.-Ing. Wilfried (Ingenieurbüro Dr. Eckhof Ahrensfelde)

Gernand, Dr. Erhard (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Bad Salzungen)

Linke, Stefan (Thünen Institut Braunschweig)

Müller, Dr. Jürgen (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Bad Salzungen)

Pilz, Matthias (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Jena)

Wentzke, Rainer (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Jena)

© 2015

ADIB Agrar- Dienstleistungs- Industrie- und Baugesellschaft mbH

Bahnhofstrasse 10

99947 Bad Langensalza

Telefon +49 3603 85000, Fax +49 3603 848189

E-Mail: [info@adib.de](mailto:info@adib.de)

Internet: [www.adib.de](http://www.adib.de)

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung der ADIB mbH urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit freundlicher Unterstützung des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Berlin (BMU-Umweltinnovationsvorhaben 2010 - Programm zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen) und dem Umweltbundesamt (UBA) Dessau-Roßlau

## Redaktion

Dr. Michael Mußlick, Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Erfurt

Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause, Ingenieur- und Sachverständigenbüro Peine

Gunar Sickert, Agrar- Dienstleistungs- Industrie- und Baugesellschaft mbH Bad Langensalza

## Fotos

Dr. Michael Mußlick, Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Erfurt

Gunar Sickert, (Agrar- Dienstleistungs- Industrie- und Baugesellschaft mbH Bad Langensalza)

<b>I</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
<b>1.</b>	<b>Einleitung und Zielstellung</b>	1
<b>2.</b>	<b>Literatur</b>	2
<b>3.</b>	<b>Untersuchungen</b>	9
	<b>3.1. Material und Methode</b>	9
	<b>3.1.1. Numerische Entwurfsplanung</b>	9
	<b>3.1.2. Untersuchungsbedingungen</b>	12
	<b>3.1.3. Tiere</b>	17
	<b>3.1.4. Parameter und Methoden</b>	17
	3.1.4.1. Erfassung der Konzentrationen	17
	3.1.4.2. Erfassung der Volumenströme	19
	3.1.4.3. Olfaktometrische Untersuchungen	20
	<b>3.1.5. Investitionsaufwand und Investitionsfolgekosten</b>	22
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	23
	<b>4.1. Konzentrationen</b>	23
	<b>4.2. Volumenströme</b>	76
	<b>4.3. Massenströme</b>	84
	<b>4.4. Numerik</b>	89
	<b>4.5. Olfaktometrie</b>	107
	<b>4.6. Investitionsaufwand und Investitionsfolgekosten</b>	112
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	117
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	121
<b>7.</b>	<b>Summary</b>	123
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	125
<b>II</b>	<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	
<b>III</b>	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	

---

## II Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung	Titel	Seite
1	Schematische Darstellung der zu untersuchenden Gestaltungsvarianten der raumluftechnischen Anlage einer Tierhaltungsanlage.	4
2	Numerische Modellierung eine partielle Unterflurabsaugung I	6
3	Numerische Modellierung eine partielle Unterflurabsaugung II	6
4	Modellstall im Maßstab 1:20	7
5	Laserlichtschnitt von Rauchgas	7
6	Partikel, die von der Stalldecke aus gestartet werden	8
7	Partikel, die von der Stalldecke aus gestartet werden	8
8	Konzentrationsverteilung von Ammoniak in einer Tierbucht bei klassischer Oberflurabsaugung	9
9	Konzentrationsgefälle bei Oberflurabsaugung und Unterflurabsaugung auf gleicher Seite bzw. Oberflurabsaugung und Unterflurabsaugung auf gegenüberliegender Seite	10
10	Bauliche Umsetzung der numerischen Ergebnisse im Stallabteil	10
11	Horizontaler Querschnitt des Schweinestalles mit 2188 Tierplätzen	12
11a	Vertikaler Querschnitt des Schweinestalles mit 2188 Tierplätzen	13
11b	Longitudinale Querschnitt des Schweinestalles mit 2188 Tierplätzen	14
12	Schweinebucht	15
12a	Schweineabteil	16
12b	Abluftreinigungsanlage	17
13	Messpunkte für die Konzentrationsmessungen im Versuchs- und Kontrollabteil	19
14	Messpunkte für die olfaktorischen Untersuchungen im Versuchs- und Kontrollabteil	22
15	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	23
16	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	24
17	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	24
18	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	25
19	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	25
20	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	26
21	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	26

Abbildung	Titel	Seite
22	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	27
23	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	27
24	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	28
25	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	28
26	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	29
27	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	29
28	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	30
29	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	30
30	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Versuchsabteil	31
31	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	31
32	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	32
33	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	32
34	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	33
35	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 1 Oberflur rechts Kontrollabteil	33
36	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 8 Oberflur links Versuchsabteil	34
37	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 5 Oberflur links Kontrollabteil	35
38	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 11 Oberflur rechts Versuchsabteil	35
39	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	36
40	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	36
41	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	37
42	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	37
43	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil	38
44	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil	38

Abbildung	Titel	Seite
45	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil	39
46	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil	39
47	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	40
48	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	40
49	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	41
50	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	41
51	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	42
52	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 6 Unterflurrechts Versuchsabteil	42
53	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	43
54	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	43
55	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	44
56	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 6 Unterflurrechts Versuchsabteil	44
57	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	45
58	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	45
59	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	46
60	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	47
61	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	47
62	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil	48
63	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	49
64	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall	49
65	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	50

Abbildung	Titel	Seite
66	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall	51
67	Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	51
68	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil	52
69	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentration an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	52
70	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentration an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil	53
71	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	54
72	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil	54
73	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentration an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	55
74	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentration an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil	55
75	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	56
76	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil	56
77	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall	57
78	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall	57
79	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	58
80	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	59
81	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	59
82	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	60
83	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	60

Abbildung	Titel	Seite
84	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	61
85	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	62
86	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollabteil	62
87	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	63
88	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	64
89	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	64
90	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	65
91	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	66
92	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollabteil	66
93	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall	67
94	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall	67
95	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	68
96	Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	68
97	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	69
98	Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollstall	69
99	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	70
100	Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	70
101	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	71
102	Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	71
103	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	72
104	Konzentrationsverlauf von Methan an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	72

Abbildung	Titel	Seite
105	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	73
106	Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	73
107	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	74
108	Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 12 Zuluft Kontrollabteil	74
109	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	75
110	Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil	75
111	Gesamtabluftvolumenstrom aus dem Versuchsabteil	76
112	Gesamtabluftvolumenstrom aus dem Kontrollabteil	77
113	Box and Whiskers Plot der Volumenströme der einzelnen Ventilatoren	78
114	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 1 Oberflur links Versuchs-abteil	78
115	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 2 Oberflur rechts Versuchs-abteil	79
116	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 3 Oberflur rechts Kontrollabteil	80
117	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 4 Oberflur links Kontrollabteil	81
118	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 5 Unterflur links Versuchsabteil	82
119	Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 6 Unterflur rechts Versuchsabteil	82
120	Unterfluranteil des Massenstroms an Ammoniak aus dem Versuchsabteil	84
121	Oberfluranteil des Massenstroms an Ammoniak aus dem Versuchsabteil	85
122	Gesamtmassenstrom an Ammoniak aus dem Kontrollabteil	85
123	Unterfluranteil des Massenstroms an Kohlendioxid aus dem Versuchsabteil	86
124	Oberfluranteil des Massenstroms an Kohlendioxid aus dem Versuchsabteil	86
125	Gesamtmassenstrom an Kohlendioxid aus dem Kontrollabteil	87
126	Unterfluranteil des Massenstroms an Methan aus dem Versuchsabteil	87
127	Oberfluranteil des Massenstroms an Methan aus dem Versuchsabteil	88
128	Gesamtmassenstrom an Methan aus dem Kontrollabteil	88

Abbildung	Titel	Seite
129	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	89
130	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	90
131	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	91
132	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.	92
133	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	93
134	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	94
135	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	95
136	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	96
137	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	97
138	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.	98
139	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	99
140	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	100

Abbildung	Titel	Seite
141	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	101
142	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	102
143	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	103
144	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.	104
145	Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (mitte) und 10 (unten) ppm.	105
146	Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.	106

### III Verzeichnis der Tabellen

Tabelle	Titel	Seite
1	Messstellen für die Konzentrationen	18
2	Einbaupositionen zur Erfassung der Volumenströme	20
3	Statistik der Volumenströme (in m <sup>3</sup> /h)	83
4	Darstellungen der Konzentrationen zu den Fallbeispielen 1 bis 9	107
5	Darstellung der Geruchsstoffkonzentrationen	107
6	Darstellung der Randbedingungen während der Messungen	108
7	Darstellung der Volumenströme, mittleren Geruchsstoffkonzentrationen und des Geruchsstoffstromes	109
8	Ermittlung der Messunsicherheit	110
9	Darstellung der Geruchsstoffkonzentration an den Messetagen	111
10	Ermittlung des Investitionsaufwandes nach betrieblichen Regelsätzen	112
11	Auslegungslufrate der RLT-Anlage im Versuchszeitraum	113
12	Aufstellung des Betriebsmittelverbrauches für die Anlage	114
13	Darstellung der jährlichen Betriebskosten für die Anlage	115
14	Ermittlung der jährlichen Investitionskosten	116

## 1. Einleitung und Zielstellung

Die internationalen Vereinbarungen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung lassen sich realisieren, wenn man z.B. die Luftführungskonzepte in der Tierhaltung ändert. Die Anforderungen an den Umweltschutz in der Schweinehaltung steigen. Tendenziell sinkt die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Tierhaltung. Abluftreinigungssysteme rücken dabei immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Die Landwirte schauen dabei kritisch auf die Kostenwirkungen. Ziel ist die Entwicklung wirtschaftlich vertretbarer und tiergerechter Verfahren. In der nachfolgend angewandten Methodologie wird eine intelligente Luftführung im Stall mit einer dezentralen Abluftreinigungseinrichtung kombiniert.

Im letzten Jahr wurde das Thema "Tierwohl" in der Arbeitsgruppe des Bundes „Umwelt und Landwirtschaft“ verhandelt. Die Ergebnisse der Verhandlungen wurden in der Initiative "Eine Frage der Haltung - Neue Wege für mehr Tierwohl" vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgegriffen.

Das Programm soll den Tierschutz stärker in die Mitte der Gesellschaft rücken. Es mahnt Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verbraucher, gemeinsam neue Wege in der Verfahrenstechnologie zu beschreiten. Es sollen bewertbare und klare Indikatoren entwickelt werden, die den Erfolg der freiwilligen Initiativen messbar machen und Ziele vorgeben. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt aber in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Es sollen so schnell wie möglich tiergerechte, aber auch praxistaugliche Verfahrenslösungen gefunden werden. Ställe in Deutschland sollen künftig neben dem Umweltschutz noch stärker am Tierwohl orientiert sein. In einem Netz von Demonstrationsbetrieben sollen bis Ende 2015 besondere Tierschutzbedingungen in die Praxis umgesetzt werden.

Maßnahme im Umweltschutz erfordern in den meisten Fällen Zugeständnisse bzw. Abstriche im Tierschutz. Die Tierwohl-Offensive mahnt zu neuen Wegen in der Verfahrenstechnologie, die diesen Umstand noch stärker berücksichtigen. Seit 2010 untersucht eine Auswahl von Wissenschaftlern in Thüringen eine verfahrenstechnische Konzeption, die beide Wirkungsfelder gleichzeitig berücksichtigen. Die Anforderungen an den Umweltschutz in der Schweinehaltung in Bezug auf die Gestaltung raumluftechnischer Anlagen rücken dabei immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Dabei war man sich in Thüringen bewusst, dass das Anhängen von Abluftreinigungsanlagen an die Tierhaltung nicht zu den optimalen Lösungen der Stalllüftung gehören kann.

Ziel war es, dem Tierhalter eine alternative technologische Verfahrenslösung zu bieten, die bei vertretbarer Kostenbelastung Schadstoffemissionen wirksam reduziert und das Stallklima weiter optimiert. Die Simulationsprognostik sollte hierzu eine wichtige Rolle spielen.

## 2. Literatur

Raumlufttechnische Anlagen in der Tierhaltung haben insbesondere die Aufgabe, zum einen die Tiere mit ausreichend Frischluft zu versorgen und zum anderen die Stallluft (Fortluft) in die Umwelt zu verblasen. Ob beide Aufgaben optimal erfüllt werden, hängt vor allem von der „richtigen“ Konstruktion dieser Anlagen ab. D.h. nicht allein die Einhaltung der Grundsätze der DIN 18910-1 ist entscheidend, sondern das immissionsnahe Umfeld der Anlage muss ebenfalls Beachtung finden. Entscheidend hierbei ist die Wahl der Fortluftführung oder auch Ableitbedingungen.

Bei der Fortluftführung geruchsbeladender Stoffe möchten die Landwirte möglichst nicht den Nachbarn treffen. Aus der Industrie wurden Vorstellungen übernommen, durch hochgezogene Abluftschächte den unmittelbaren Nachbarn zu „überblasen“. Nur unterscheiden sich in der Regel die Ablufthöhen (Kaminhöhen) der Industriekamine von denen der Abluftschächte aus der Tierhaltung meist um mehr als 50 m KRAUSE ET AL. (2003). Die Folge dessen (trotz gleicher meteorologischer und dynamischer Randbedingungen) ist ein völlig anderes Ableitverhalten. Dieses wird zusätzlich stark durch die Gebäudegeometrie beeinflusst.

Es sei zunächst dahingestellt, wie komplex sich Immissionsprognosen auch immer in Bezug auf den Realfall erweisen mögen. Erkenntnisse, die man von einzelnen Emissionsquellen her kennt, lassen sich zumindest tendenziell auf die Situation von Tierhaltungsanlagen übertragen. Was für eine Quelle gilt, hat auch für mehrere Quellen Gültigkeit. Die gegenseitige Beeinflussung mag der subtileren Betrachtung im Rahmen numerischen Simulationen vorbehalten bleiben. Geht man von der analytischen Lösung der atmosphärischen Diffusionsgleichung

$$C(x, y = 0, z = 0) = \frac{C_0 \dot{V}_0}{\pi U \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{h}{\sigma_z} \right)^2} \quad (1)$$

aus und beschränkt sich auf die Beschreibung der Immissionskonzentration  $C$  in Laufrichtung  $x$  des mit der Geschwindigkeit  $U$  anströmenden Windes, dann erweist sich die Immissionskonzentration von der Quellenkonzentration und dem Volumenstrom an der Quelle (Index 0), der Abluftfahnenhöhe  $h$ , der Windgeschwindigkeit  $U$  und den atmosphärischen Streuparametern  $\sigma$  in  $y$ - und  $z$ -Richtung abhängig. Um die Auswirkungen der Veränderung der einzelnen Größen auf die Immissionskonzentration  $C$  festzustellen, lassen sich durch Differentiation des Ausdruckes in Gl. (1) nach den relevanten Größen und anschließender Bezugnahme auf die Immissionskonzentration  $C$  vergleichbare Ausdrücke gewinnen:

$$\frac{\delta C}{C} \cong \frac{\delta C_0}{C_0} \quad (2)$$

$$\frac{\delta C}{C} \cong \frac{\delta U}{U} \quad (3)$$

$$\frac{\delta C}{C} \cong \frac{\delta \sigma_y}{\sigma_y} \quad (4)$$

$$\frac{\delta C}{C} \cong \left( \frac{h^2}{\sigma_z^2} - 1 \right) \frac{\delta \sigma_z}{\sigma_z} \quad (5)$$

$$\frac{\delta C}{C} \cong \frac{h^2}{\sigma_z^2} \frac{\delta h}{h} \quad (6)$$

Danach sieht es so aus, dass die größten Effekte zur Minderung der Immissionskonzentration von den Veränderungen zu erwarten sind, die sich direkt linear bemerkbar machen, siehe Gl. (2), (3) und (4). Das betrifft in erster Linie die Quellenkonzentration  $C_0$ . Was bedeutet das? Unter Beibehaltung des Stallbesatzes soll die Stalllüftung so gefahren werden, dass die Abluft insgesamt einen reduzierten Emissionsmassenstrom aufweist. Dazu, und das ist zumindest vom Ansatz neu, wird deutlich zwischen einer Unterflurabsaugung und Oberflurabsaugung unterschieden. Die bei der Unterflurabsaugung freigesetzten Geruchsstoffemissionen sollen einem Wäscher zugeführt werden.

Eine weitere Beeinflussung der Quellenkonzentration besteht darin, sie durch Luftbeimengung herabzusetzen.

Auf eine Veränderung des Volumenstromes wird hier nicht weiter eingegangen, da er tierphysiologisch vorgegeben ist. Obschon mit der Neufassung der DIN 18910-1 Bestrebungen festzustellen sind, die Volumenströme zu reduzieren, soll dieser Weg hier nicht besprochen werden. Eine relative Erhöhung der Windgeschwindigkeit wirkt sich nach Gl. (3) zwar positiv im Sinne eines Rückganges der Immissionskonzentration aus; es liegt aber nicht in der Hand des Anlagenbetreibers, hier aktiv eingreifen zu können.

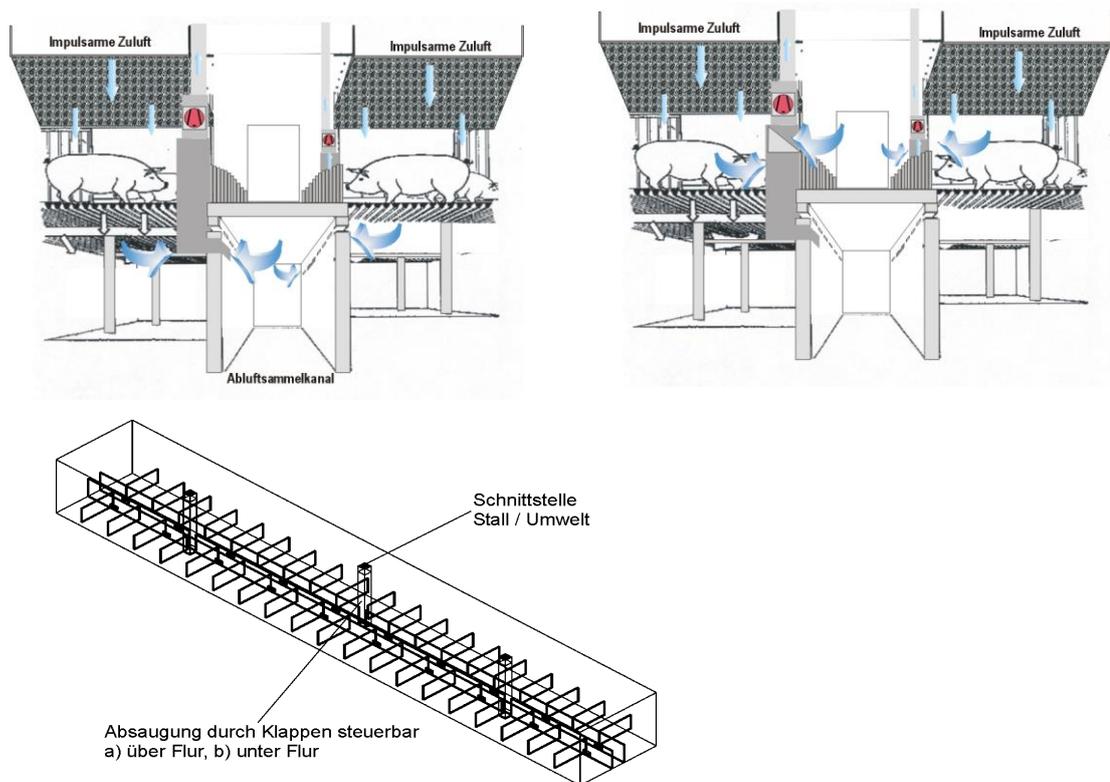
Bei den Streuparametern  $\sigma$ , zumindest in der horizontalen Querverteilung in y-Richtung, ist gemäß Gl. (4) bei einer Erhöhung ihrer Wirkung eine Konzentrationsabnahme zu erwarten. Dieses ist ein Hinweis darauf, den gegebenen atmosphärischen Streuungen mechanisch induzierte Turbulenzen zuzusetzen. Da man sich im Prinzip in der bodennahen Grenzschicht befindet, ist ein solches Ansinnen nicht gänzlich auszuschließen. Bezüglich der vertikalen Verteilung der Streuung in z-Richtung ist ein ähnlicher Effekt zu vermuten, Gl. (5). Die Streuparameter sind bei Betrachtung einer Punktquelle allesamt abhängig mit der Lauflänge  $x$ , und zwar in der Weise, dass sie mit zunehmender Lauflänge anwachsen. Wenn es gelingt, diese Streuparameter in ihrer turbulenten Strömungsbeeinflussung zu stärken, dann tragen auch die Effekte der in den Streuparametern subsumierten mechanischen Turbulenzen zur Abnahme der Immissionskonzentration bei. Eine generelle Aussage lässt sich hier nur schwerlich machen, da die örtlichen Gegebenheiten konkret einzubeziehen sind – eben durch Windkanalversuche.

Was nun die Quelhöhe  $h$  anbelangt, Gl. (6), so ist mit deren Veränderung ebenfalls ein Minderungspotenzial gegeben. Wird die Quelhöhe unendlich hochgezogen, dann

sind keine Immissionen mehr zu erwarten. In der Realität stößt man mit hohen Abluftschächten auf allerlei Bedenken aus architektonischer Sicht und auch letztlich an statische Grenzen der Abluftschachtbefestigung selber. Die Abluftfreisetzung auf viele Quellen zu verteilen, stellt unter diesem Gesichtspunkt einen weiteren Weg dar. Die Forderung der Abluftbündelung und -zentralisierung macht nur dann einen Sinn, wenn man eine Abluftreinigungsanlage im großen Stil anschließt. Filteranlagen können nur in einem kleinen Stil praktiziert werden, wenn es z. B. um die Absenkung der Quellenkonzentration geht. Davon soll bei der Unterflurabsaugung Gebrauch gemacht werden.

### ***Einschätzung der Ober- und Unterflurabsaugung***

In einem ersten Schritt ging es im Jahr 2004 um die Überprüfung der Auswirkung der unterschiedlichen Gestaltung einzelner Konfigurationen des raumluftechnischen Systems (hauptsächlich Komponenten der Abluftführung/ Ober-, Unterflurabsaugung).



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung (nach BÜSCHER ET AL. 1995) der zu untersuchenden Gestaltungsvarianten der raumluftechnischen Anlage einer Tierhaltungsanlage.

KRAUSE ET AL. verglich (2003) die raumluftechnischen Systeme einer Unterflur- und einer Oberflurventilierung zeitgleich miteinander. Schwerpunkt des Systemvergleiches war u.a. die Klärung einzelner Fragestellungen hinsichtlich des Einflusses auf die Tiergesundheit ( $\text{NH}_3$ -Innenraumkonzentration), die Messung der Emissionen und die Quantifizierung der Immissions- und der Wahrnehmungshäufigkeiten im Umfeld der Tierhaltungsanlage.

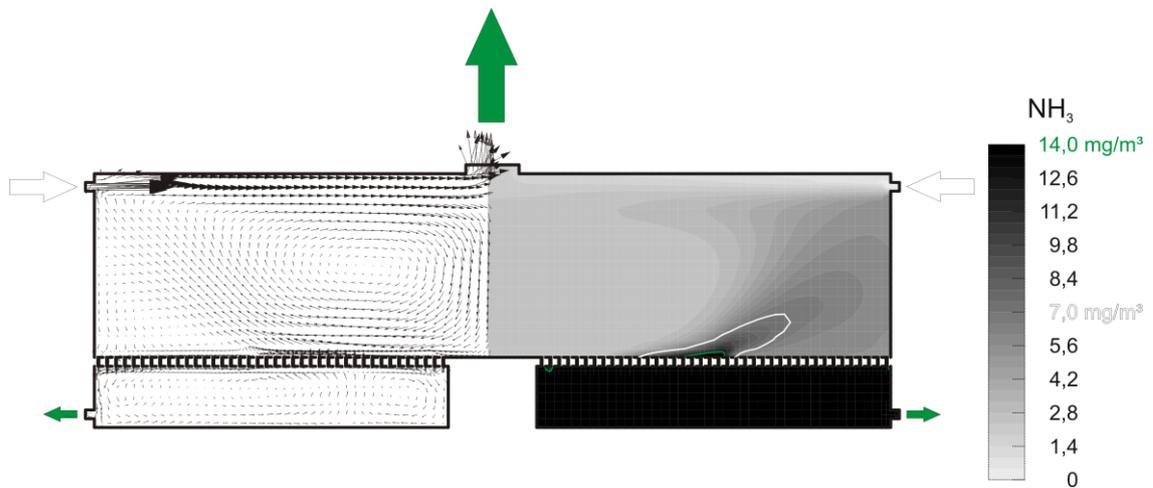
Der Methodenvergleich - insbesondere bezogen auf die Tiergesundheit - ergab nach ROESNER (2004), dass bei der Versuchsgruppe (Oberflurabsaugung) im Gegensatz zur Kontrollgruppe (Unterflurabsaugung) gehäuft Probleme auftraten (diskontinuierliche Futteraufnahme, zunehmend mehr Husten und Konjunktivitis).

Die ermittelten Quellkonzentrationen (Geruch in GE/m<sup>3</sup>) lagen nach KRAUSE UND MUBLICK (2004) bei der Oberflurvariante (Versuch) um durchschnittlich 18 bis 20 % niedriger als bei der Kontrollvariante. Bei der Wertung dessen muss aber (aus bautechnischen Gründen) auf die speziellen, vorgegebenen Versuchsbedingungen (keine klassische Form der Oberflurabsaugung im Versuchsabteil) verwiesen werden. Die Literatur verweist bei ähnlichen Untersuchungen auf Ergebnisse (Ammoniakemissionen), wobei bei Oberflurabsaugung zum Teil weniger als 10 % bis mehr als 55 % NH<sub>3</sub> - Emission (BÜSCHER ET AL.; 1995) ermittelt wurden. Die Ursachen seien hier weniger im Lüftungsprinzip den mehr in der raumluftechnischen Gesamtkonzeptionen (Zuluftvariante und -geschwindigkeit, Intensität der Durchströmung des Bereiches zwischen Spaltenboden und Flüssigmist, Temperatur des Flüssigmistes etc.) zu suchen.

Speziell für diese Versuchsanstellung im zu untersuchenden Betrieb verlief die Umstellung auf Oberflurabsaugung zu Ungunsten der Tiergesundheit. Die zu erwartenden immissionsseitigen Effekte im Umfeld der Tierhaltungsanlage rechtfertigen in keiner Weise die Umstellung der RLT-Anlage unter dem Vorzeichen einer emissionsmindernden Maßnahme.

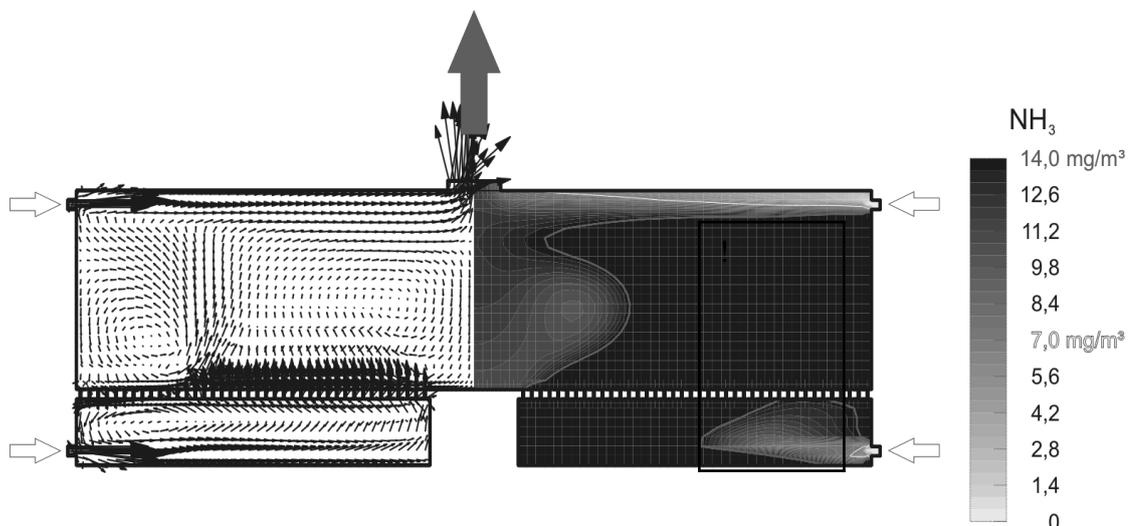
Obschon es zu Umweltbelastungen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen kommen kann, sind die Immissionseinträge nicht so geartet, dass nicht eine Lösung der Immissionsprobleme in Angriff genommen werden kann. Dabei sind dominant nach Untersuchungen von MUBLICK, KRAUSE, ROESNER UND URBICH (2004) der Quellbereich der Tierhaltung und das unmittelbare Quellumfeld zur Immissionsminderung heranzuziehen. Bei den Lösungsvorschlägen sei auf die Anfangsrauhigkeit um die Quellen verwiesen, die erheblich zur Immissionsminderung beitragen. Diese bedürfen jedoch aus Gründen der eventuellen wirtschaftlichen Folgen für den Betreiber einer Überprüfung ihrer Auswirkung im Windkanalversuch mit anschließender numerischer Simulation. Es wurde hier zu untersucht, inwiefern durch Vorverdünnung (Reduzierung der Ausgangskonzentration um 20 % z.B. durch Frischlufteinmischung nach dem „Wasserstrahlpumpenprinzip“) ein erheblicher Beitrag zur Minderung der Immissionen erfolgen kann und es ist zu prüfen, ob eine raumluftechnische Trennung beider „Stallbereiche“, d.h. Oberflur- und Unterflurbereich, einen Beitrag zur Immissionsminderung liefern können. Dabei sollen praktische Untersuchungen, Windkanalversuche und numerische Simulationen den Wirkungsgrad dieser raumluftechnischen Trennung beschreiben bzw. anschließende Maßnahmen einer eventuellen Abluftteilbehandlung (modifizierte Abluftreinigungsanlage) quantifizieren.

Diese letztgenannte Variante basiert auf numerischen Studien zur Konzentrationsverteilung im Stall und zum Emissionsverhalten.



**Abbildung 2:** Durch eine partielle Unterflurabsaugung kann erreicht werden, dass die Konzentrationen in Stallraum (ober Flur) relativ niedrig gehalten werden können. Dieses wird hier am Beispiel von Ammoniak gezeigt. Die Konzentration über der Gülleoberfläche beträgt  $20 \text{ mg/m}^3$ .

Will man die Konzentrationen im Stall und damit auch diejenigen, die beim Absaugen der Stallluft nach draußen verfrachtet werden, senken, dann sollte nach KRAUSE ET AL. (2004) der Grenzschichtabbau an Ammoniak oberhalb der Gülleoberfläche vermieden werden. Das gelingt nur bedingt. Folglich müsse dafür Sorge getragen werden, dass die damit durch turbulente Diffusion freigesetzte Konzentration (hier an Ammoniak) nicht vollends in den Stallraum ober Flur getragen wird, siehe Abbildung 1. In Abbildung 2 ist dargelegt, was passiert, wenn die Außenluft in Form von Leckageströmungen über die Gülleoberfläche in den Stallraum gezogen wird. Nach KRAUSE ET AL. (2004) gilt, in Abhängigkeit von den Stallgegebenheiten (Geometrie, Stalllüftung) ein entsprechendes Verhältnis zwischen den Luftvolumenströmen zu finden, die ober Flur und unter Flur abgesaugen werden. Der gesamte Volumenstrom soll dabei konstant gehalten werden.



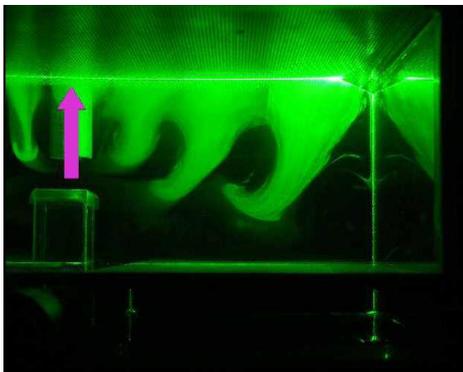
**Abbildung 3:** Sind im Bereich unterhalb des Spaltenbodens und oberhalb der Gülleoberfläche Leckageöffnungen vorhanden, erfolgt ein relativ hoher Konzentrationseintrag in den Raum ober Flur, verglichen mit der vorstehenden Darstellung.

Stalllüftungskonzepte potenzieren sich in ihren Auswirkungen an Großanlagen der Tierhaltung zwangsläufig in einem größeren Ausmaß als an Einzelanlagen auf einem Bauernhof herkömmlicher Prägung. Die Sorge um Fehlinvestitionen erklärt die Bereitschaft, weiterführende Untersuchungen an Großanlagen eher in Angriff zu nehmen als an Einzelbetrieben. Die Stallphysik bleibt davon unberührt. Sie ist dieselbe. Wenn man zu neuen Erkenntnissen kommen will, müssen nach KRAUSE ET AL. (2011) Veränderungen an Stallsystemen vorgenommen und ihre Auswirkungen messtechnisch erfasst werden. "Nur wer misst, ist der Wahrheit auf der Spur." Messungen im Bereich der Tierhaltung sind allerdings nicht ganz unproblematisch, da die Randbedingungen sehr "unsauber" sind. Nach DESTA ET AL. (2004), gelingt der direkte messtechnische Nachweis, dass z.B. die Emissionen von der Tiermasse abhängen, nur mit einer Sicherheit bis zu 80 %. Wenn man nun weit differenzierte Aussagen zum Emissionsverhalten in einem Stall treffen will, muss man sich allerdings die Frage gefallen lassen, wie aussagekräftig die Punktmessungen vor Ort im Originalsystem sind. Es liegt nahe, auf physikalische Modelle in verkleinertem Maßstab überzugehen. Im Labor hat man das Emissionsgeschehen besser "im Griff" als vor Ort. Man kann eher flächendeckende Aussagen treffen (Abbildung 4) z.B. im Hinblick auf Ammoniakkonzentrationen in einem Stallquerschnitt. Man kommt zu allgemeinen Aussagen, die im Originalstall kaum zu gewinnen sind. Es lassen sich Verhaltensmuster aufzeigen (Abbildung 5) die zum Allgemeinverständnis des Emissionsgeschehens beitragen (WEINKAUF, ET AL, 2004). Hier ist beispielhaft gezeigt, wie bei einer Oberflurabsaugung Partikel zum Abluftschacht gelangen. Mit der Maßstabsverkleinerung sind allerdings Einschränkungen im Hinblick auf die Ähnlichkeitsmechanik verbunden (WEIHS, 2006).



**Abbildung 4:**

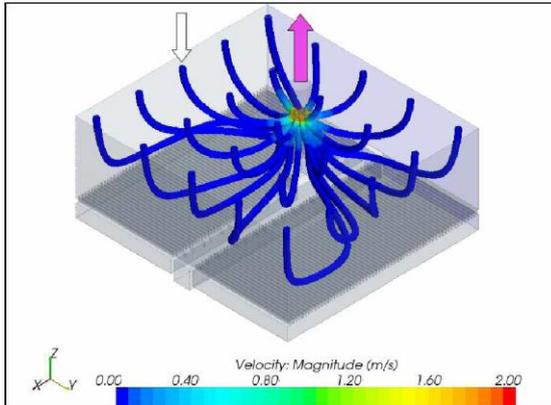
Modellstall im Maßstab 1:20. Zu sehen sind die Absaugschläuche für Ammoniak oberhalb des Spaltenbodens (Aufnahme ATB, Müller, 2003).



**Abbildung 5:**

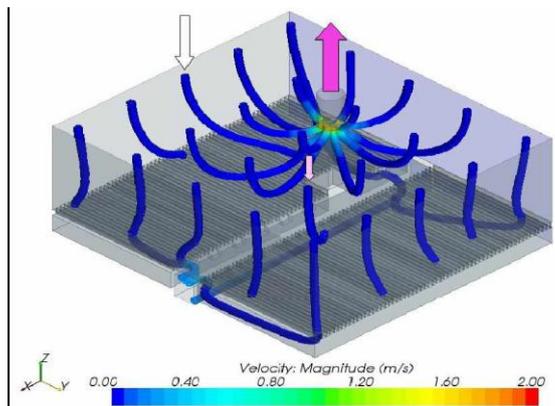
Laserlichtschnitt von Rauchgas, das durch die Porendecke zum Abluftschacht (violetter Pfeil) gesaugt wird (Aufnahme ATB, Müller, 2003).

Anders ist es bei der dritten Form der Erfassung der physikalischen Abläufe, und zwar der numerischen Darstellung der Strömungsabläufe, bei der die Restriktionen in der Auflösung des Strömungsraumes liegen. Mit den numerischen Simulationen kann man die Untersuchungsergebnisse im verkleinerten physikalischen Modell "nachfahren" und auch die Messergebnisse im Originalstall. Was heißt das nun? Wenn die Numerik in der Lage ist, in welcher Stallgröße auch immer, die vorgegebenen Geschehnisse abzubilden (in Abbildung 6 und Abbildung 7 werden die Modellversuche mittels numerischer Simulationen überprüft), dann kann sie auch vorhersagen, was bei bestimmten Veränderungen vor Ort geschehen wird. Das bedeutet, dass die numerische Simulationstechnik ein konstruktives Mittel ist, Stallauslegungen vorzunehmen.



**Abbildung 6:**

Partikel, die von der Stalldecke aus gestartet werden, bewegen sich in Stromröhren durch den Stallraum. Frischluft (weißer Pfeil) wird über eine Porendecke in den Stall gesaugt (Oberflurabsaugung) und über einen Ventilator zentral nach draußen verblasen (violetter Pfeil), vergleiche hierzu Abb. 2.



**Abbildung 7:**

Zu der Oberflurabsaugung (70 %) tritt eine Unterflurabsaugung (30 %) hinzu. Partikel gelangen wegen der gleichgerichteten Luftströmung vermehrt an die Randzonen (kleiner Pfeil) in den Unterflurbereich als unterhalb der Ventilatoren. Die Unterflurabsaugung erfolgt durch einen zentralen Unterflurkanal.

Grundsätzlich werden mit Hilfe von ausführlichen Feldstudien in Kombination mit physikalischen Modellen Datensätze geschaffen, die in Verbindung mit numerischen Modellen eine Weiterentwicklung der Technik fördern, um eine nachhaltige Tierhaltung zu erreichen, die Aspekte des Tierschutzes und des Umweltschutzes vereint.

Als wesentlich wird jedoch von der Wissenschaft, das Aufzeigen von technologischen Verfahrenslösungen mit Minderungspotenzialen für Immissionen gesehen.

### 3. Untersuchungen

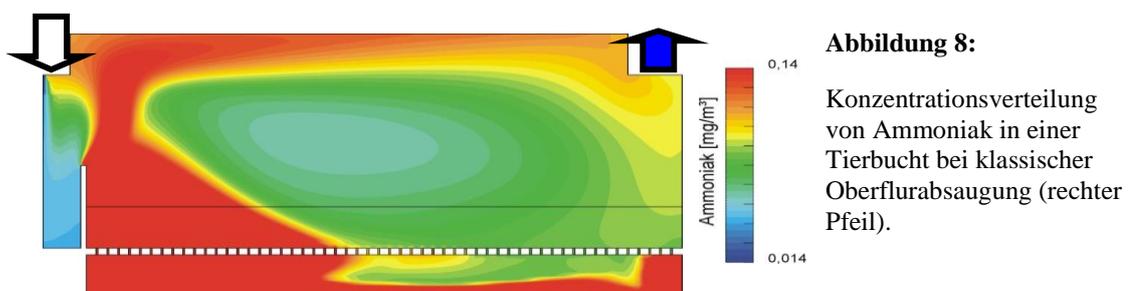
#### 3.1. Material und Methode

##### 3.1.1. Numerische Entwurfsplanung

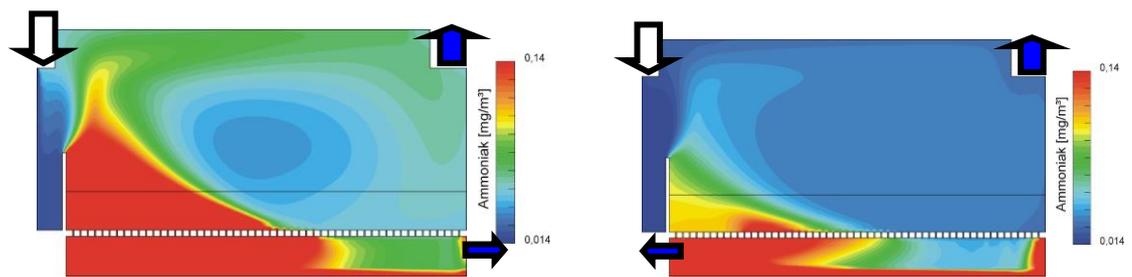
Die numerische Entwurfsplanung erfolgte mit dem Programmpaket STAR-CCM+. Es ist ein CFD-Programm der CD-adapco Group und ist im Vergleich zu dem anderen bekannten CFD-Programm dieser Firma - STAR-CD - eine neue Entwicklung mit objektorientierter, Client-Server Architektur. STAR-CCM+ bietet über eine grafischen Oberfläche eine vollständige Vernetzungs-, Modellierungs- und Visualisierungsumgebung. Die Möglichkeiten der physikalischen Modellierung umfassen u. a. gekoppelte und segregierte Solver, 2. Ordnung, verschiedene Turbulenzmodelle, freie Oberflächen, kompressible Gase, konjugierte Wärmeausbreitungen, chemische Reaktionen, Verbrennung und Explosion u.v.m.. Die Ergebnisse von Berechnungen mit STAR-CCM+ lassen sich in ein Format ausgeben, die mit dem 3D-Viewer STAR-View+ darstellen lassen.

Bei der numerischen Entwurfsplanung für den Schweinemaststall lagen die Ziele klar auf der Hand. Es sollte zum einen die Ausschöpfung von Reduktionspotenzialen von Emissionen aus Tierhaltungssystemen gewährleistet und zum anderen eine Quantifizierung und Risikobewertung der Stoffeinträge in die Umwelt vorgenommen werden. Die Optimierung der Stallabteile und Tierhaltungssystemen sollte so erfolgen, dass ein optimales Stallklima bei gleichzeitig geringen Emissionen möglich wird.

Abbildung 8 zeigt die natürliche Verteilung der  $\text{NH}_3$  Konzentration in einem Abteil bei Oberflurventilierung. Erkennbar sind die typischen Konzentrationsfelder in der Tierbucht mit teilweise mehr als  $0,15 \text{ mg/m}^3$  Ammoniak.

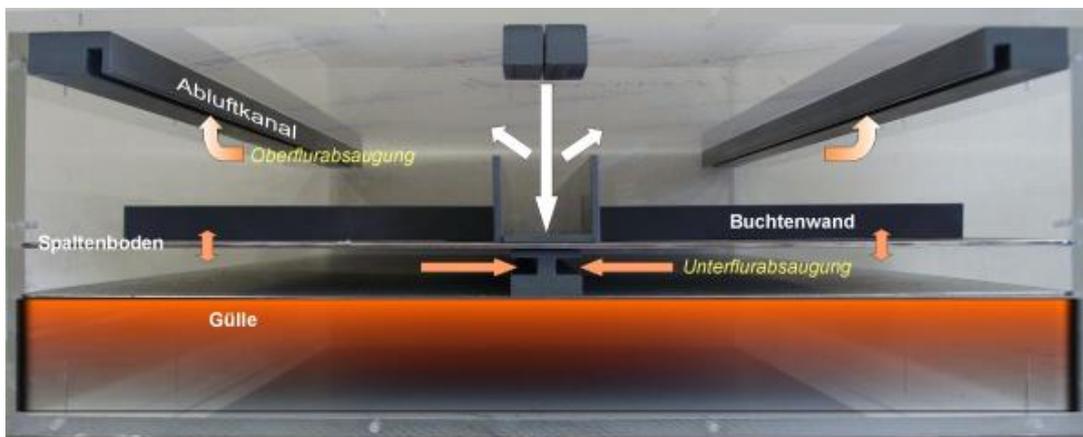


Im Sinne der Aufgabenstellung wurde eine zusätzliche Unterflurabsaugung numerisch simuliert. Dabei sollten lediglich 30% des notwendigen Volumenstromes über die Unterflurabsaugung „laufen“ und die restlichen 70% des Volumenstromes über die Oberflurabsaugung. Es wurde weiterhin separat betrachtet, ob der Unterflurabsaugpunkt einen Einfluss auf die abteilinterne Konzentration von Schadstoffen haben kann. Hierzu wurde der Unterflurabsaugpunkt gleichzeitig zum Oberflurabsaugpunkt und gegenseitig zum Oberflurabsaugpunkt numerisch modelliert (Abbildung 9).



**Abbildung 9:** Konzentrationsgefälle bei Oberflurabsaugung und Unterflurabsaugung auf gleicher Seite (links) bzw. Oberflurabsaugung und Unterflurabsaugung auf gegenüberliegender Seite (rechts)

Laut Ergebnis der numerischen Prognose wurde deutlich, dass es mehr Sinn macht die Absaugpunkte in der Tierbucht gegenüberliegend anzuordnen. Diese Erkenntnis wurde beim Bau der Tierbuchten verwirklicht (Abbildung 10).



**Abbildung 10:** Bauliche Umsetzung der numerischen Ergebnisse im Stallabteil. Die Stallluft wird über Kanäle unter der Stalldecke abgesaugt. Frischluft strömt deckenseitig über den Einlasskanal zu. Unterhalb des Spaltenbodens wird stallmittig die Luft über die Gülle abgesaugt und einem Filter zugeführt. Es bleibt bei der Breite des Spaltenbodens und der Druckverteilung nicht aus, dass oberhalb des Spaltenbodens auch Luft aus dem Bereich unterhalb des Spaltenbodens angesaugt wird.

In dem Verfahren kann auf den Abluftreinigungseinsatz zwar auch nicht verzichtet werden, aber der durchgesetzte Massenstrom der Luftbeimengungen beschränkt sich auf die Winterluftfrate [2]. Die Änderung der Quellenkonzentration stellt zweifelsfrei die wirkungsvollste und nachhaltigste Maßnahme zur Emissions- und damit zur Immissionsminderung dar. Hier geht es um ein Verfahren zum Be- und Entlüften eines Stalles, bei dem die Frischluftzufuhr und auch die Abfuhr der mit u.a. luftfremden Stoffen und Wärme befrachteten Stallluft über Kanäle an der Decke erfolgt. Die gleichzeitig unter dem Spaltenboden abgesaugte Luft, die den Stoffübergang von Ammoniak und Geruchsstoffen in den Stallraum erheblich beeinflusst, wird einem Filter zugeführt. Das Besondere an dem Verfahren besteht darin, dass die unter dem Stall abgesaugte Luft nur einen Teil der Luftmenge (KRAUSE ET AL., 2009) ausmacht, die insgesamt aus tierphysiologischen Gründen die Luftwechselrate im Stall bestimmt.

Normalerweise wird die gesamte im Stall umgewälzte Luft einem Filter zugeführt. Hier ist es nur der Teil, der unterhalb des Spaltenbodens abgesaugt wird. Der oberhalb des Spaltenbodens anfallende Anteil an Kontaminationen wird ungefiltert in die Umwelt abgegeben. Durch das Einbringen von Linienquellen unterhalb der Stalldecke oder an den Seitenwänden und Liniensenken unterhalb der Stalldecke oder an den Seitenwänden werden einfache Strömungsfelder von den Einlassschlitzen zu den Auslassschlitzen aufgebaut. Damit ist ein über die gesamte Abteilbreite bzw. -länge, je nach Ausrichtung der Haltungsboxen, ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsfeld des Trägermediums Luft mit seinen Inhaltsstoffen gewährleistet. Dieser Gedanke der kontrollierten Erzeugung eines Strömungsfeldes findet seine Fortsetzung in der Optimierung der Zuluft- und Ablufteinrichtungen hinsichtlich Lokalisierung im Stall und Dimensionierung, ausgerichtet an der Minimierung des Austrages von ammoniakbefrachteter Stallluft. Eine Luftführung gilt als optimal, wenn der emittierte Massenstrom an Ammoniak möglichst klein wird. Dieses ist der erste Schritt der Optimierungsstrategie. Er fällt in die Planungsphase. In der Planungsumsetzung bedeutet dieses, dass Ammoniak vermehrt im Flüssigmist verbleibt und nicht in den Stallraum gesogen wird. Der zweite Schritt besteht in einer Absaugung der Stallluft unter dem Spaltenboden.

Das in einer Schweinemast getestete Lüftungssystem ist auch in Laboruntersuchungen Prüfungen unterzogen worden, bevor es in Wiegleben (Thüringen) implementiert werden konnte.



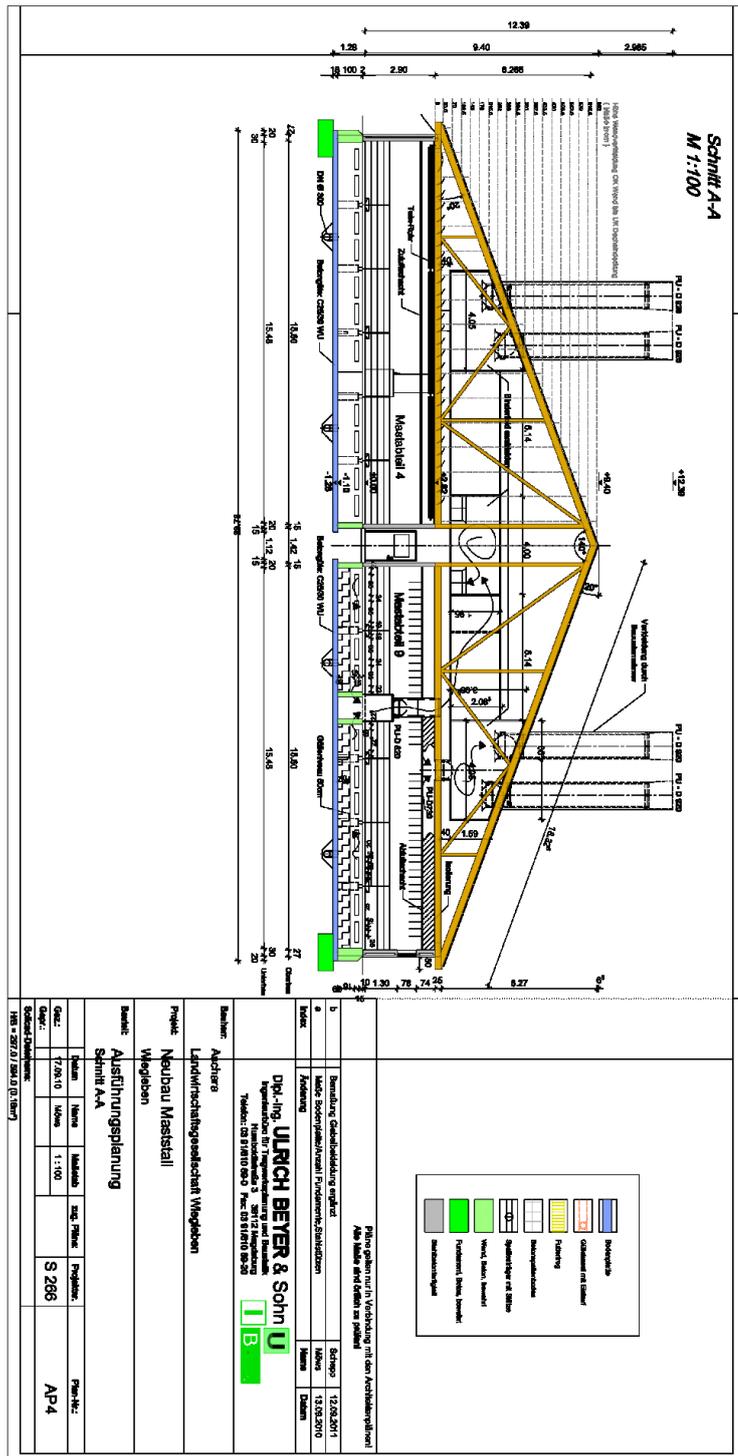


Abbildung 11a: Vertikaler Querschnitt des Schweinestalles mit 2188 Tierplätzen

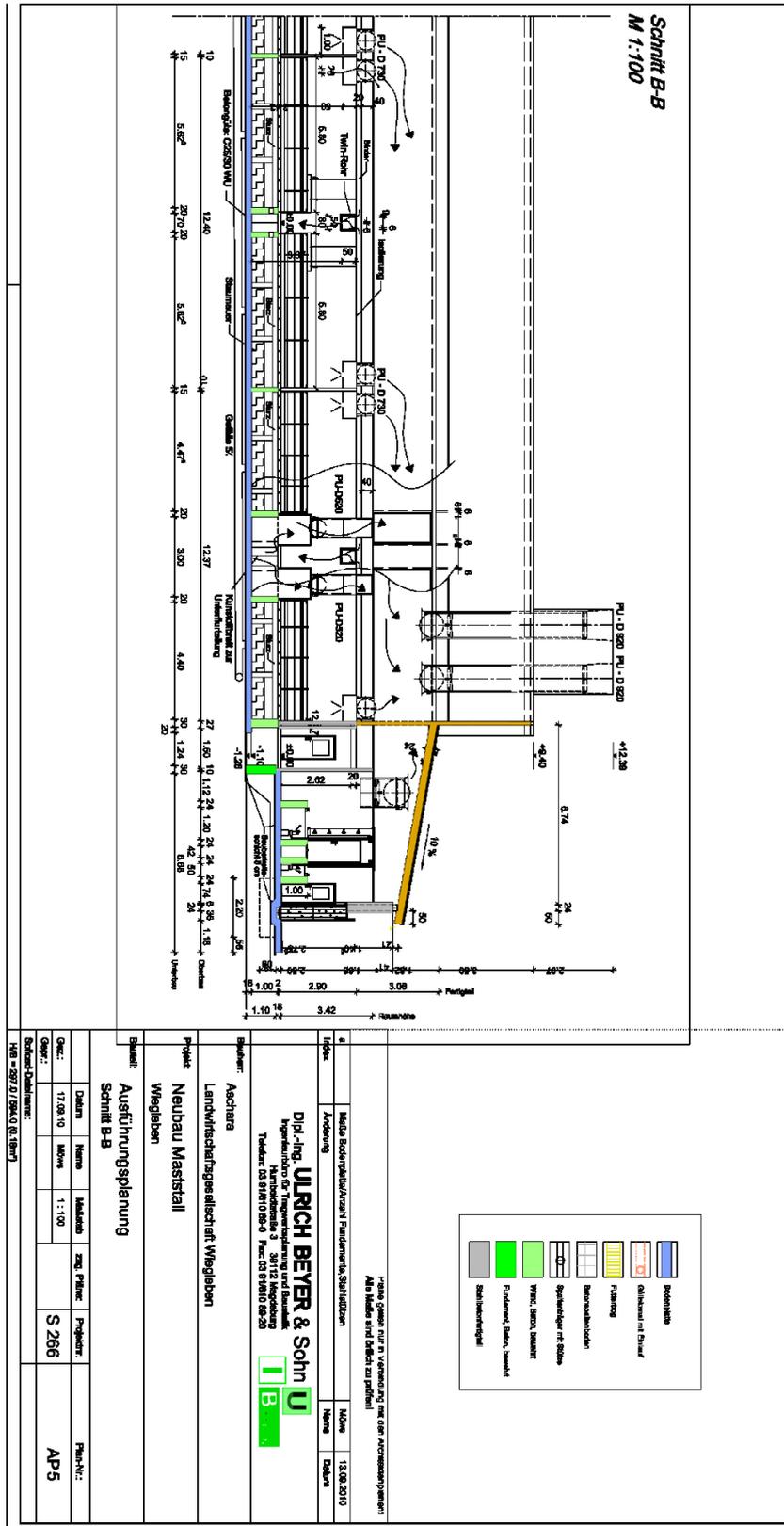


Abbildung 11b: Longitudinale Querschnitt des Schweinestalles mit 2188 Tierplätzen

Neben der „Verwertung“ numerischer Ergebnisse wurden beim Bau die üblichen gesetzlichen Rahmenbedingungen beachtet. Zu erwähnen seien hier insbesondere die Forderungen der Tierschutznutztierhaltungsverordnung und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Die Abbildungen 12, 12a und 12b zeigen Details baulicher Anlagen der Raumluftechnik.



**Abbildung 12:** Schweinebucht – Zentral ist die Unterflurabsaugung erkennbar. Der Abstand zwischen Güllegrund bis zur Absaugöffnung beträgt 100 cm (Bild links). Hier werden maximal 30 % des geforderten Volumenstroms abgesaugt und der dreistufigen Abluftreinigungsanlage zugeführt.



**Abbildung 12a:** Schweineabteil – Zentral ist Zuluftkanal erkennbar. An der linken Abteilwandseite befindet sich der Oberflurabluftkanal. Bei einer Volumenstromanforderung über 30 % des Gesamtvolumenstromes werden die Ventilatoren der Oberflurabsaugung angesteuert. Die Kanäle befinden sich, entsprechend der numerischen Planung jeweils rechts und links in den Abteilen. Die Detailabbildung zeigt das „Innere“ eines Abluftkanals. Die Schlitzbreite wird systemangepasst von Programmpaket STAR-CCM+ vorgegeben. Gleiches gilt übrigens für alle Schlitzbreiten im Zu- und Abluftsystem.



**Abbildung 12b:** Abluftreinigungsanlage – Zum Einsatz kam ein „handelsüblicher“ dreistufige Abluftreinigungsanlage. Die Besonderheit lag in der Dimensionierung des Wäschers. Er ist für lediglich 30 % des Volumenstromes ausgelegt.

Da es sich bei den Untersuchungen um einen klassischen Methodenvergleich handelt, wurde bei der Versuchsplanung streng darauf geachtet, dass die Randbedingungen gleich sind bzw. so wenig wie möglich Störgrößen die Untersuchung beeinflussen.

Nach Bau der Anlage wurde ein Abteil (Kontrollabteil) baulich und technisch so manipuliert, dass die Abluft über eine klassische Oberflurabsaugung in den Transmissionsbereich gelangt. Das Versuchsabteil war unverändert, entsprechend der Ausführungsplanung. Es konnte somit gewährleistet werden, dass während der Untersuchung der Tierbestand, genetische Konstruktion der Tiere, Tieralter, Gruppengröße, Anzahl weiblicher und männlicher Tiere je Abteil, Fütterung, - Fütterungszeiten und Betreuungspersonal vergleichbar war. Unterschiedlich war die Führung der raumluftechnischen Anlage.

Es wurden zwei Mastdurchgänge messtechnisch begleitet. Messtechnisch erfasst wurden die beiden Durchgänge vom 01.08.2013 bis 04.12.2013 und vom 16.12.2013 bis zum 26.03.2014.

### **3.1.3. Tiere**

Die Studie umfasst Mastschweine mit der genetischen Konstruktion: Niederländische Landrasse \* Large White \* Duroc. Die Tiere wurden mit einem durchschnittlichen Lebendgewicht von 25 kg eingestallt und mit einem Mastendgewicht von durchschnittlich 120 kg ausgestallt. Pro Abteil wurden jeweils 216 Tiere gehalten.

### **3.1.4. Parameter und Methoden**

#### **3.1.4.1. Erfassung der Konzentrationen**

Zum Einsatz kam ein Gasmesssystem bestehend aus einem Multi-Gas-Monitor 1312 der Firma Lumasense Technologies Innova Product Line und einem Messstellenumschalter der Firma Breitfuss Messtechnik GmbH. Das Messgerät arbeitet nach dem Verfahren der fotoakustischen Infrarot-Spektroskopie. Der Multi-Gas-Monitor kann bis zu fünf Gase plus Wasserdampf detektieren. Die Gase die bei diesem Versuch vermessen wurden sind:

Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Methan (CH<sub>4</sub>)

Wasserdampf (H<sub>2</sub>O)

Im Stall sind nach unten stehender Tabelle 12 Messpunkte verteilt. Zwischen diesen wurde über einen Messstellenumschalter gewechselt. Dabei wurde dem Nachlaufverhalten von Ammoniak so Rechnung getragen, dass beim Umschalten von einem Punkt auf den darauffolgenden eine Messung und zwei Wiederholungen realisiert wurden.

Bei den Messungen aus den Zuluftkanälen wurde mit 5 Wiederholungen gearbeitet. Von der fünften zur sechsten Messung war kaum noch ein Trend erkennbar, so dass für die sechste Messung als „wahr“ betrachtet wurde. Da eine Ausweitung auf die anderen Messpunkte zu einer nicht zu rechtfertigenden Dehnung des Messzyklus geführt hätte, wurde eine Hochrechnung auf Basis der drei Messwerte unter Beachtung des Konzentrationsgefälles zum vorhergehenden Messpunkt eingeführt. Insgesamt ergibt sich damit eine Umlaufzeit von 84 min. Die Angaben der Konzentrationen beziehen sich auf 1013 hPa und 273,16 K bei trockener Luft.

Nachfolgend sind weitere technische Daten der Messwerterfassung genannt.

Probenahme Integrationszeit für NH<sub>3</sub>: 20 s

Probenahme Integrationszeit für alle anderen Komponenten: 5 s

Kompensation Wasserdampf: ja

Kompensation Störkomponenten: ja

Spülzeit Kammer: 8 s

Spülzeit Schlauch: 20 s

Messintervall aller Messpunkte (ein Durchlauf): 84 min

Probenahme: PTFE-Schlauch (6 x 4 mm) beheizt mit selbstlimetierender Rohrbeheizung

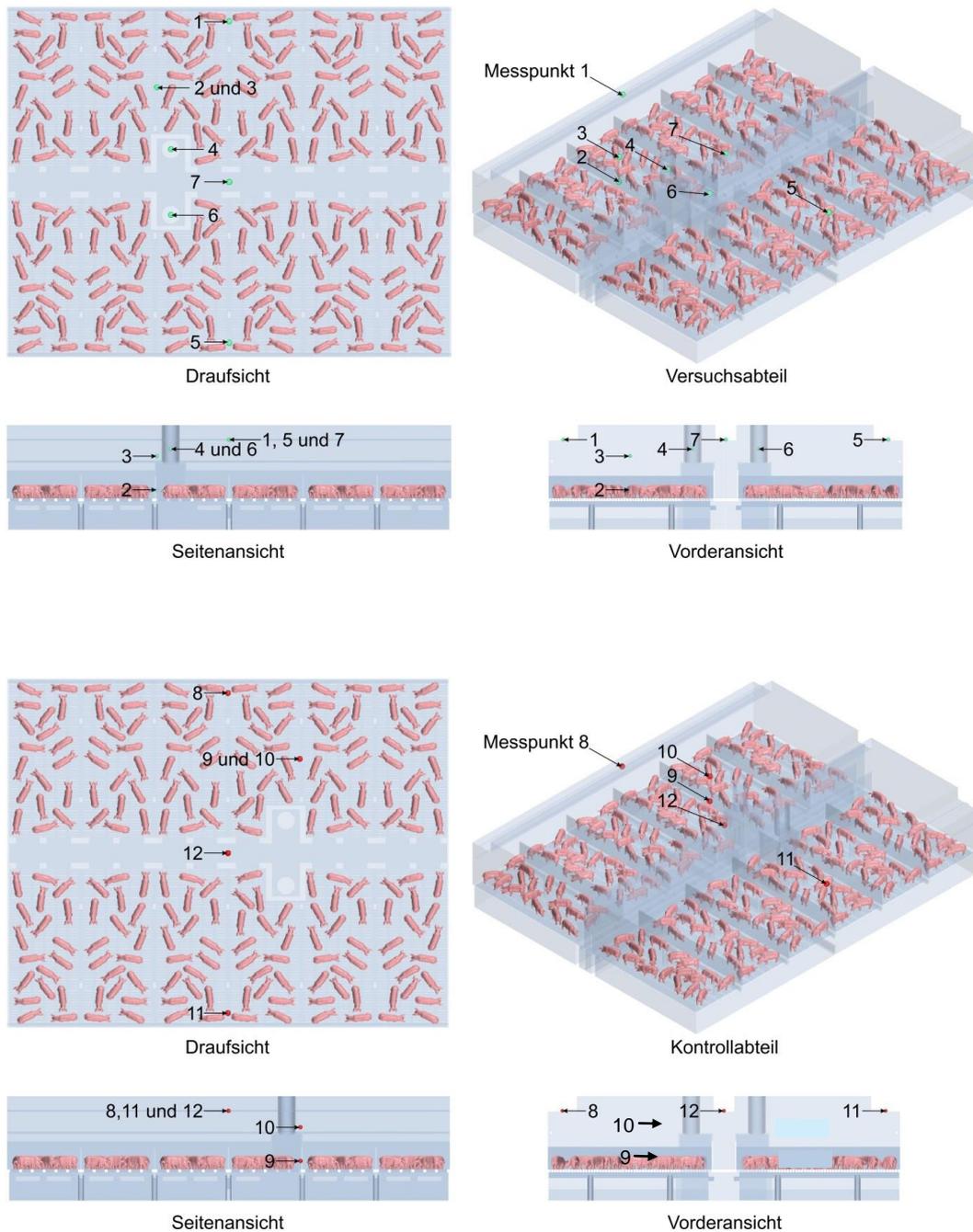
Messdatenerfassung: über Datenerfassungsprogramm EASYCOMP der Fa. Breitfuss Messtechnik GmbH

Um der Qualitätssicherung der Messungen zu genügen, wurden drei Kalibrierungen des Messgerätes beim Hersteller im Gesamtzeitraum durchgeführt.

**Tabelle 1:** Messstellen für die Konzentrationen

Messstellennummer	Messpunkt	Bezeichnung
<b>Messstelle 1</b>	Oberflur links	Versuchsabteil (Oberflur links VA)
<b>Messstelle 2</b>	Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden	Versuchsabteil (Tier 30 cm VA)
<b>Messstelle 3</b>	Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden	Versuchsabteil (Tier 150 cm VA)
<b>Messstelle 4</b>	Unterflur links	Versuchsabteil (Unterflur links VA)
<b>Messstelle 5</b>	Oberflur rechts	Versuchsabteil (Oberflur rechts VA)
<b>Messstelle 6</b>	Unterflur rechts	Versuchsabteil (Unterflur rechts VA)
<b>Messstelle 7</b>	Zuluft	Versuchsabteil (Zuluft VA)
<b>Messstelle 8</b>	Oberflur rechts	Kontrollabteil (Oberflur rechts KA)
<b>Messstelle 9</b>	Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden	Kontrollabteil (Tier 30 cm KA)
<b>Messstelle 10</b>	Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden	Kontrollabteil (Tier 150 cm KA)
<b>Messstelle 11</b>	Oberflur links	Kontrollabteil (Oberflur links KA)
<b>Messstelle 12</b>	Zuluft	Kontrollabteil (Zuluft KA)

Die Messstellen im Versuchsabteil (VA) sind in Abbildung 13 dargestellt und durchnummeriert.



**Abbildung 13:** Messpunkte für die Konzentrationsmessungen im Versuch- (oben) und Kontrollabteil (unten)

### 3.1.4.2. Erfassung der Volumenströme

Zur Ermittlung des Volumenstroms wurden in die betreffenden Abluftschächte Messventilatoren eingebaut. Deren Aufnahmezyklus betrug eine Minute.

**Tabelle 2:** Einbaupositionen zur Erfassung der Volumenströme

Ventilatorbezeichnung	Messstellenbezeichnung	Messort
<b>Ventilator 1</b>	Messstelle 1	Oberflur links Versuchsabteil
<b>Ventilator 2</b>	Messstelle 5	Oberflur rechts Versuchsabteil
<b>Ventilator 3</b>	Messstelle 8	Oberflur rechts Kontrollabteil
<b>Ventilator 4</b>	Messstelle 11	Oberflur links Kontrollabteil
<b>Ventilator 5</b>	Messstelle 4	Unterflur links Versuchsabteil
<b>Ventilator 6</b>	Messstelle 6	Unterflur rechts Versuchsabteil

Zusätzlich wurde der gesamte Unterflurabluftvolumenstrom der Anlage erfasst. Dazu wurden sechs weitere Messventilatoren verschiedener Durchmesser in den Sammelkanal der Unterflurabluft installiert. Der Mindestluftvolumenstrom für die 218 Mastschweine pro Abteil sollte laut DIN 18910-1 bei 2.507 m<sup>3</sup>/h liegen, die Sommerluftfrate bei 12.426 m<sup>3</sup>/h. Die Abteil- und Außentemperaturen wurden mit dem Equipment des Stallausrüsters ermittelt, die auch Eingangssignale für den Stallcomputer waren der die Lüftungs- und Heizungsanlage steuert.

Für die Kalkulation des Massestromes der Schadgase und des Wasserdampfes wurde eine 973 hPa als Standarddruck in der Höhe von 338 unterstellt und die jeweils im Stall gemessene Temperatur genutzt.

Um die unterschiedlichen Taktfrequenzen zu synchronisieren, wurden Konzentrationen und Temperaturen Werte auf einen 1-Minutentakt linear interpoliert. Die weitere Auswertung wurde diese Werte, oder die arithmetischen Mittelwerte aus einer Stunde genutzt und gegen die Zeit geplottet.

### 3.1.4.3. Olfaktometrische Untersuchungen

Die Geruchsstoffprobenahme erfolgt gemäß VDI 3880 i. V. m. DIN EN 15259. Die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration erfolgt gemäß DIN EN 13725.

Die statische Probenahme erfolgte nach dem Lungenprinzip. Bei der statischen Probenahme nach dem „Lungenprinzip“ wird die Probenluft in konditionierte Folienbeutel (Größe ca. 10 - 12 l) gezogen. Die Geruchsstoffprobenahme erfolgte jeweils als halbstündige Geruchsstoffprobenahme. Die Konditionierung erfolgt durch einmaliges Füllen des Probenahmebeutels mit der zu untersuchenden Probenluft unter Verwendung des Spezialprobenahmegerätes System Mannebeck und anschließendes Verdrängen der Probenluft aus den Beuteln. Als Probebeutel werden handelsübliche Nalophanschläuche verwendet, welche geruchsfrei und gasdicht sind und andererseits keine Geruchsstoffe absorbieren. Der Einlass der Probenluft in den Beutel erfolgte über ein PTFE-Schlauchstück, welches mit dem Probenahmebeutel verdrillt und mittels Korkstopfen verschließbar ist. Die Probenahmebeutel wurden für die Erzeugung eines erforderlichen Unterdrucks zur Strömungserzeugung in ein evakuierbares Probenahmegerät gelegt. Die Proben wurden unmittelbar nach den jeweiligen Probenahmen in einem lichtundurchlässigen Transportbehälter gelegt und danach ins Messlabor ge-

bracht. Die Lagerung erfolgte bei Temperaturen von unter 25 °C, jedoch zur Vermeidung von Kondensation oberhalb des Taupunktes der Proben.

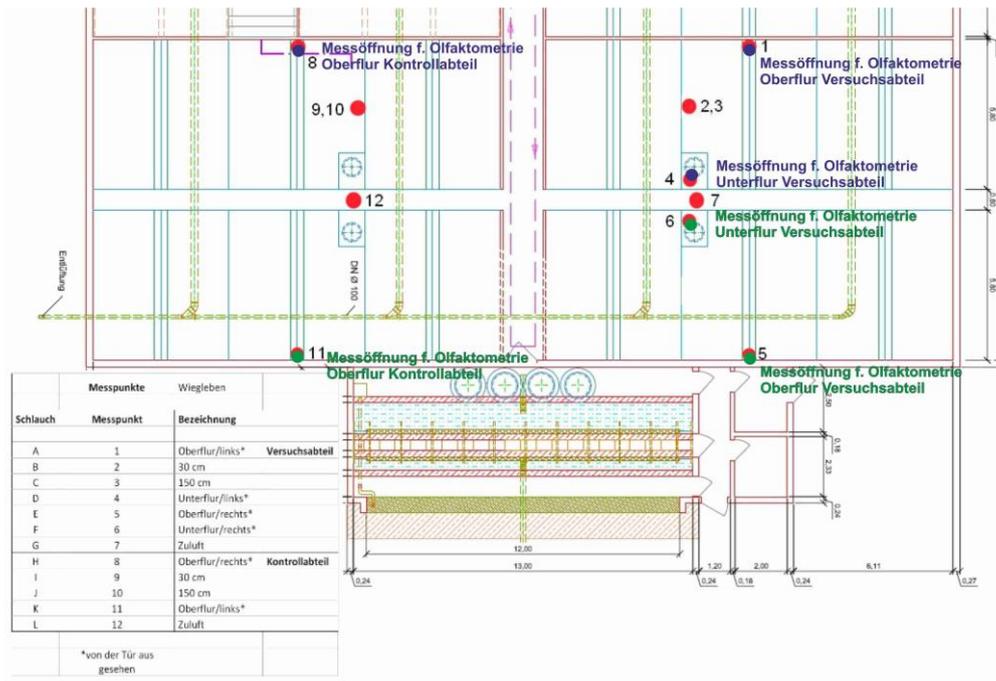
Die olfaktometrische Auswertung erfolgte am Tag der Probenahme. Der Zeitraum zwischen Probenahme und Messung darf entsprechend DIN EN 13725 in keinem Fall 30 Stunden überschreiten. Gemäß VDI 3880 sind bei Lagerzeiten von mehr als sechs Stunden spezifische Nachweise zu führen. Es wurde weder am 02.10.2013 noch am 19.03.2014 der Zeitraum von 6 Stunden zwischen der Geruchsstoffprobenahme und der olfaktometrischen Analyse überschritten.

Die Probenauswertung stellt eine kontrollierte Darbietung von mit Geruchsstoffen beladener Luft sowie eine Erfassung der dadurch beim Menschen auftretenden Sinnesempfindungen dar. Mit dem Olfaktometer wird eine Gasprobe (Geruchsprobe) mit Neutralluft verdünnt und Testpersonen (Probanden) als Riechprobe dargeboten.

Geruchsstoffmengen werden in Geruchseinheiten (GE) gemessen, wobei eine GE der Stoffmenge eines Geruchsstoffes oder eines Stoffgemisches entspricht, die bei 20 °C und 1 013 hPa in 1 m<sup>3</sup> Neutralluft verteilt entsprechend der Definition der Geruchsschwelle bei 50 % eines Probandenkollektivs eine Geruchswahrnehmung auslöst. Die Geruchsstoffkonzentration an der Geruchsschwelle beträgt definitionsgemäß 1 GE/m<sup>3</sup>.

Die Geruchsstoffkonzentration einer gasförmigen Geruchsstoffprobe wird ermittelt, indem einem Panel ausgewählter, mit den Referenzgasen n-Butanol und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) überprüfter Personen diese Probe in unterschiedlichen Konzentrationen durch Verdünnung mit Neutralluft dargeboten wird, um den Verdünnungsfaktor zu ermitteln, bei dem in 50 % der Fälle ein Geruch wahrgenommen wird. Dabei wird den Probanden im unterschweligen Bereich mit steigenden Geruchsstoffkonzentrationen die Mischluft zur Beurteilung dargeboten. Die Geruchsstoffkonzentration der untersuchten Probe wird als Vielfaches (entsprechend der für die Geruchsschwellenbestimmung eingestellten Verdünnung) einer Geruchseinheit je Kubikmeter dargestellt.

Messpunkte der Probenahme sind in Abbildung 14 zu sehen.



**Abbildung 14:** Messpunkte für die olfaktorischen Untersuchungen im Versuchs- und Kontrollabteil

### 3.1.5. Investitionsaufwand und Investitionsfolgekosten

Nach Fertigstellung der Anlage wurden die betrieblichen Inventarisierungswerte zum 30.06.2012 getrennt für den Herstellungsaufwand und die Investitionsförderung übernommen. Die Systematisierung der Baukosten erfolgt in Anlehnung an DIN 276.

Es wurde weiterhin der jährliche Betriebsmittelverbrauch der Versuchs- und Kontrollvariante ermittelt und verglichen. Dabei wurde der Strombedarf der RLT-Anlage, der Abluftreinigungsanlage, der Wasserbedarf, Abwasseranfall und Säurebedarf der Abluftreinigungsanlage bzw. der notwendige Arbeitszeitbedarf berücksichtigt. Anhand der genannten Faktoren wurden die jährlichen Betriebskosten ermittelt.

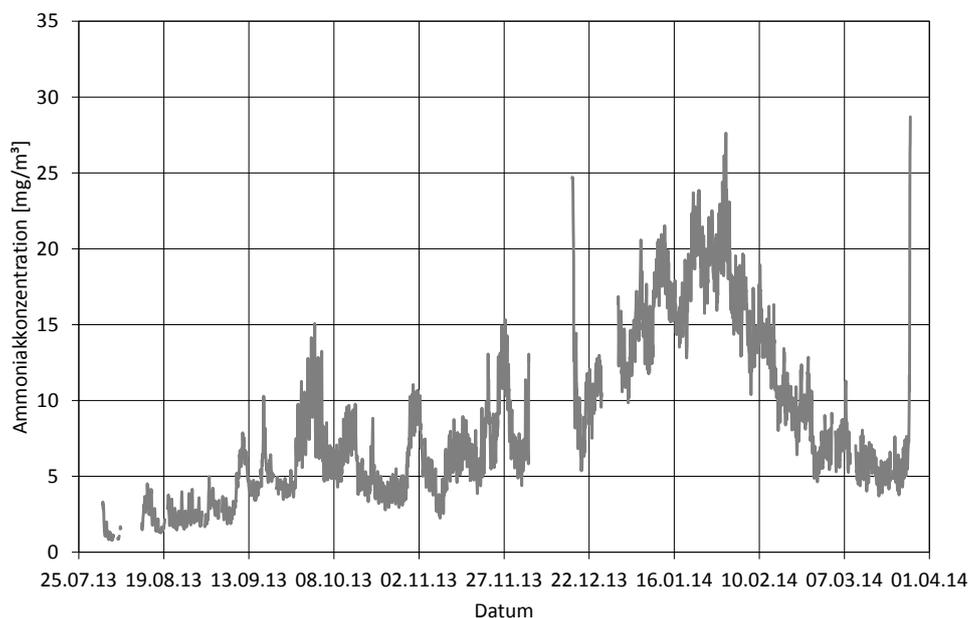
In allen Wertangaben ist die Umsatzsteuer nicht enthalten (Netto-Angaben).

## 4. Ergebnisse

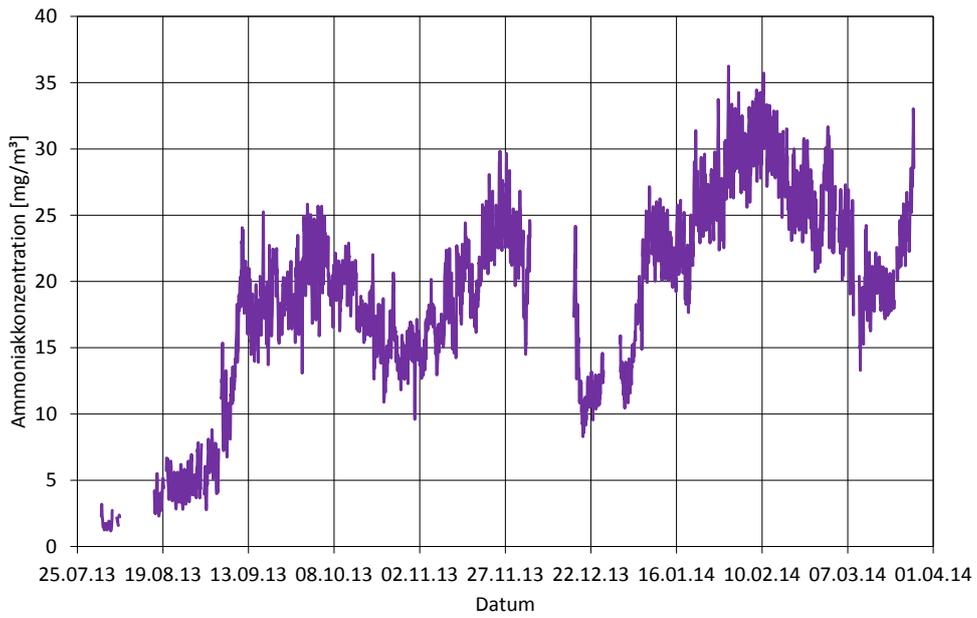
### 4.1. Konzentrationen

Im Versuchsabteil sollte nach Erreichen einer Luftrate von 30 % der Sommerluftrate die Oberflurabsaugung die Unterflurabsaugung ergänzen. Die Oberflurabluft sollte dann ohne weitere Filterung dem Oberflursammelkanal zugeführt und dann in die Umwelt verblasen werden. Da im Versuchsabteil die Oberflurlüftung bis auf einige wenige Ausnahmen abgeschaltet war, sind die Konzentrationen als wenig aussagekräftig, gerade in Bezug auf die Emissionen, anzusehen. Sie können aber als weitere „Höhe“ also als Ergänzung zu den beiden im Tierbereich aufgenommen Höhen herangezogen werden. Der teilweise Ausfall an Messzeiten ist begründet durch Aus- und Ein-stallzeiten, Messgeräteausfall und Kalibrierung des Messgerätes beim Hersteller.

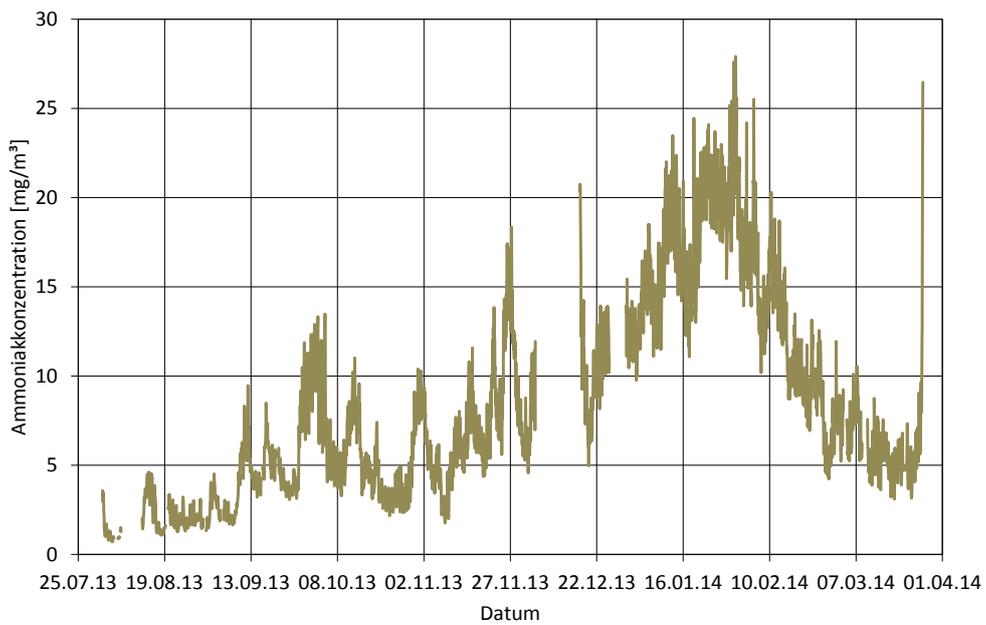
#### Konzentrationen in den Abluftkanälen



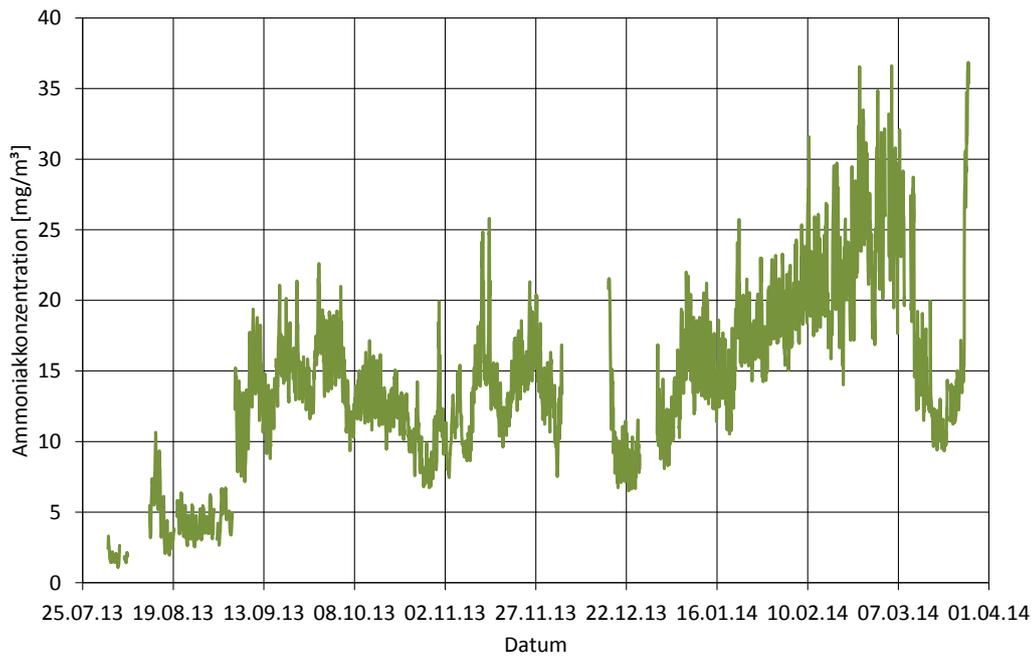
**Abbildung 15:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil



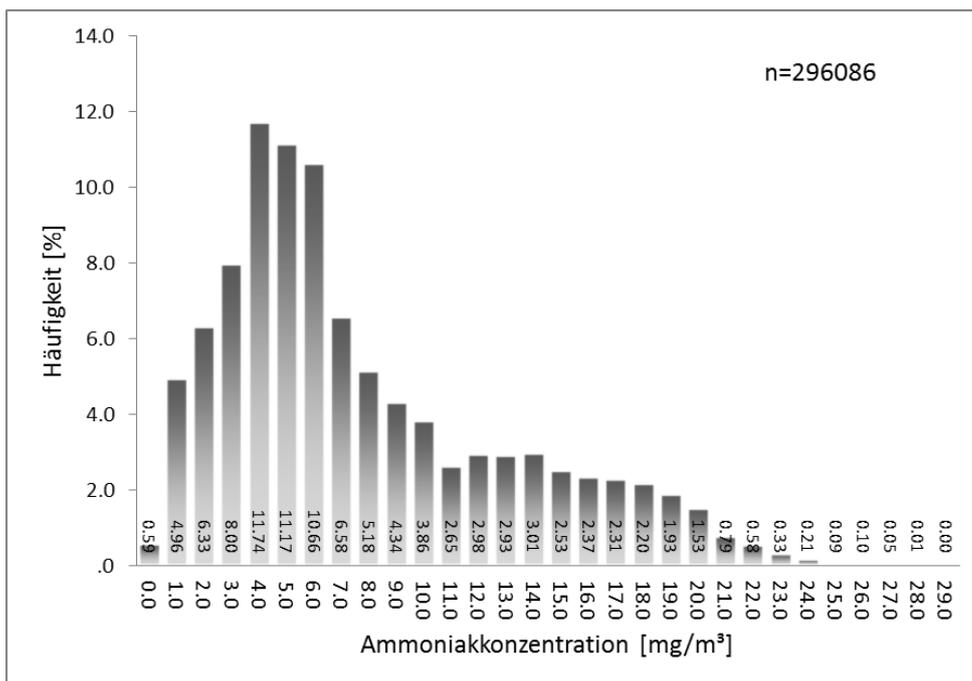
**Abbildung 16:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil



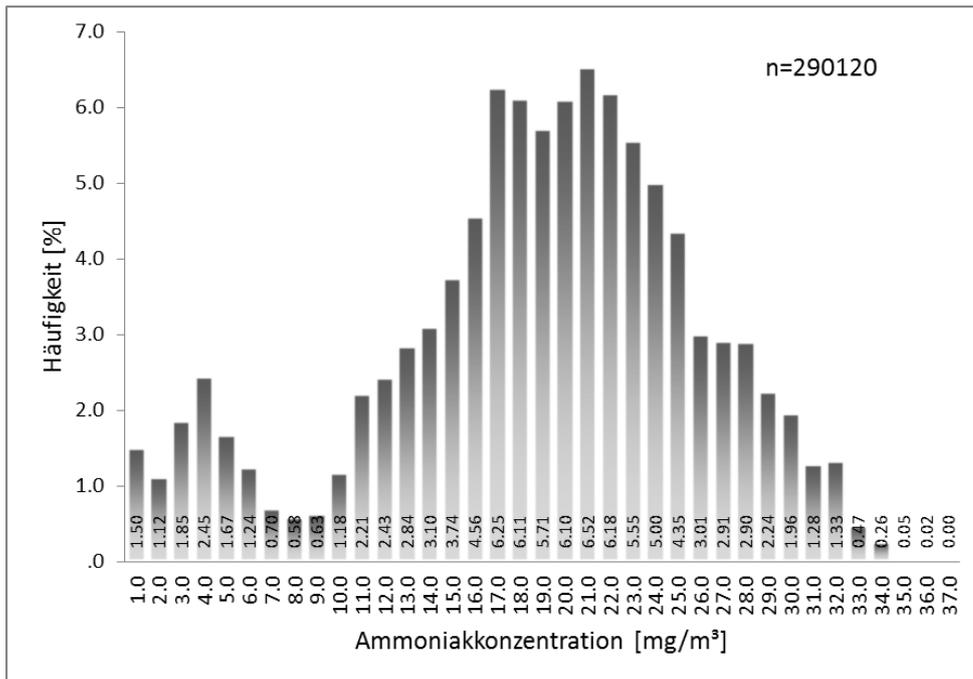
**Abbildung 17:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



**Abbildung 18:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil

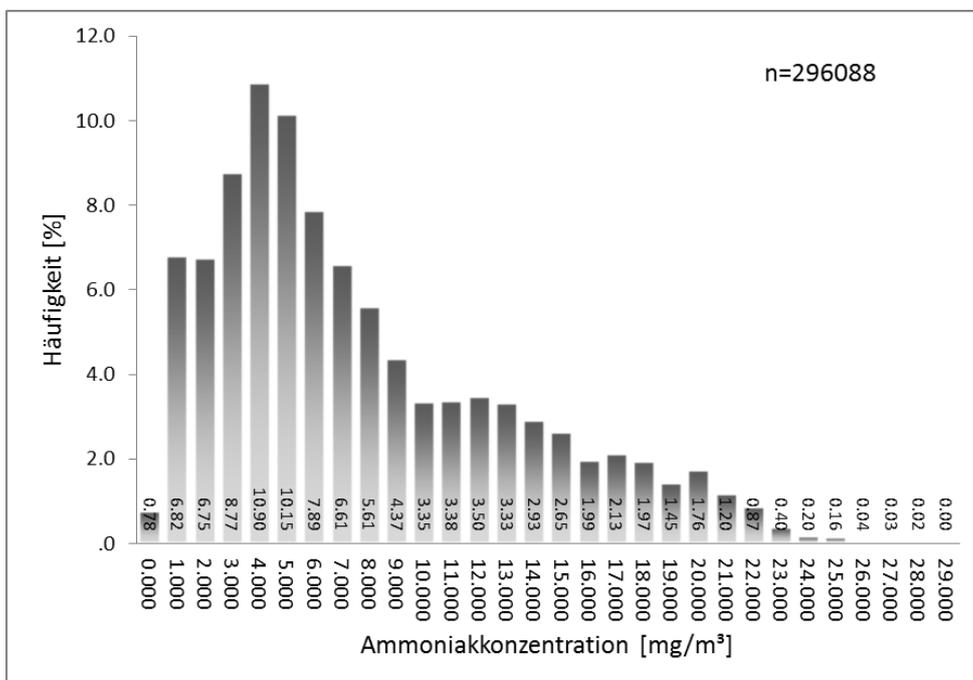


**Abbildung 19:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil

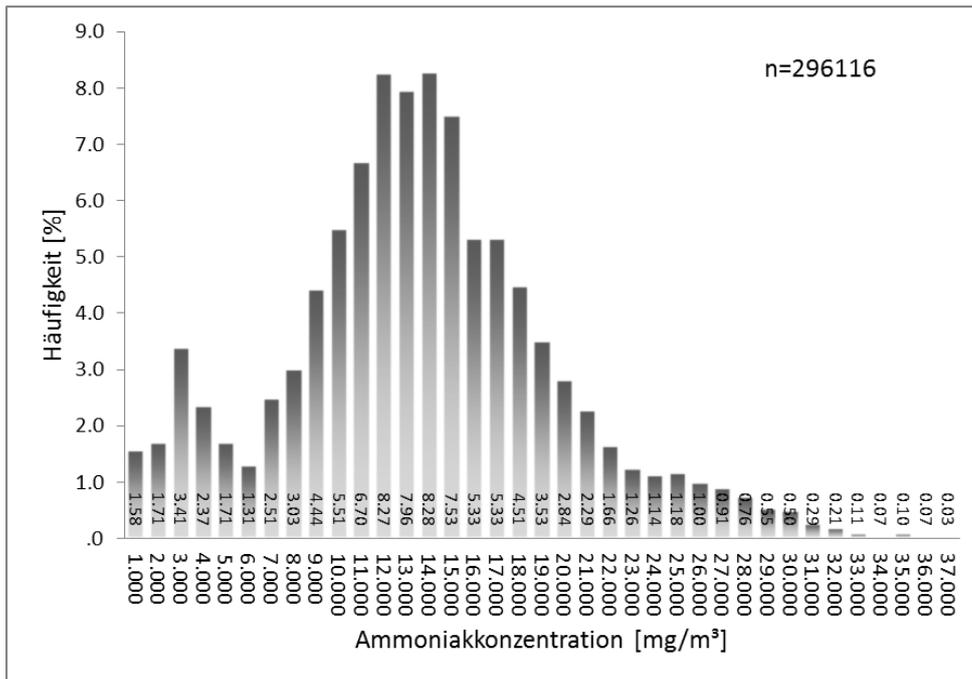


**Abbildung 20:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil

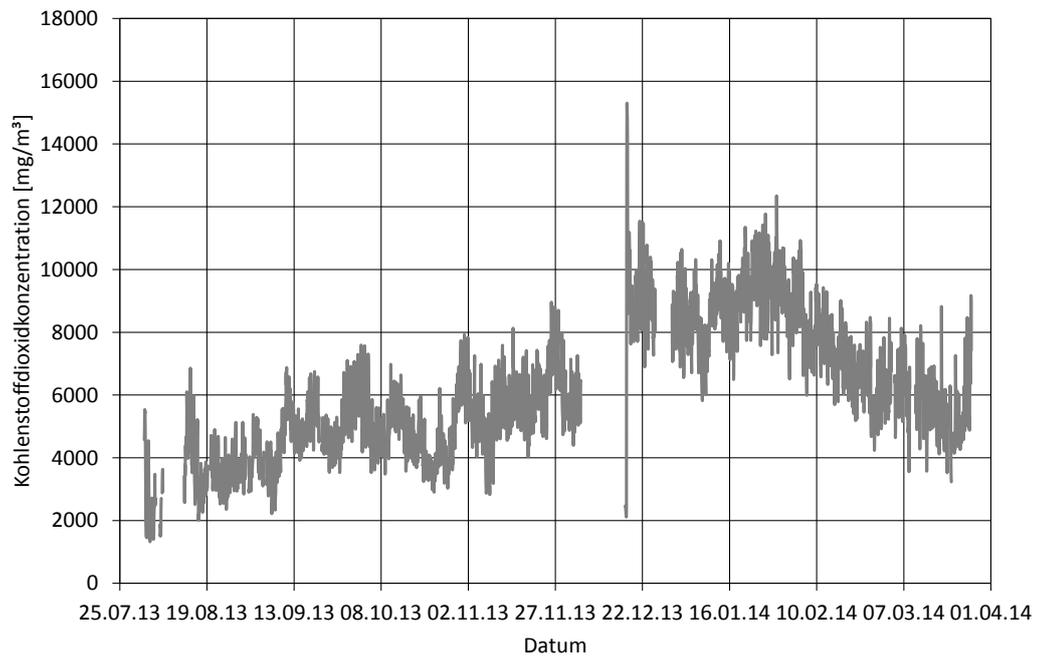
18 % der auftretenden Ammoniakkonzentrationen im Versuchsstall lagen über 13,9 mg/m<sup>3</sup> (20 ppm). Im Kontrollstall geht dagegen die gesamte Abluft durch die Oberflurventilierung, sodass die höheren Werte zwangsläufig auftreten und fast 80% der Werte diese Grenze überschreiten.



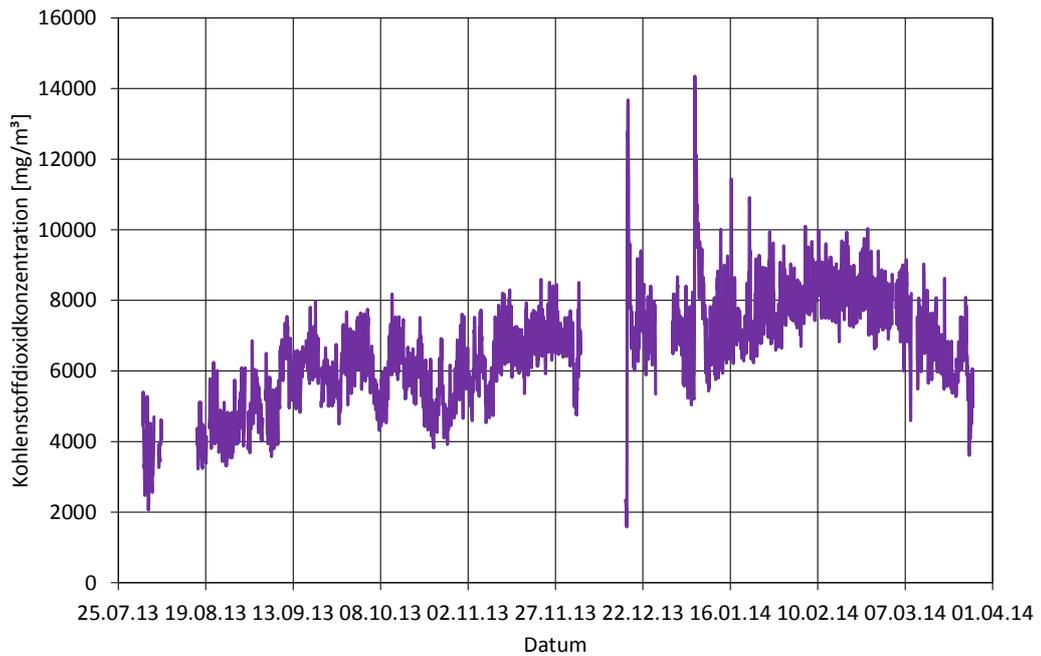
**Abbildung 21:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



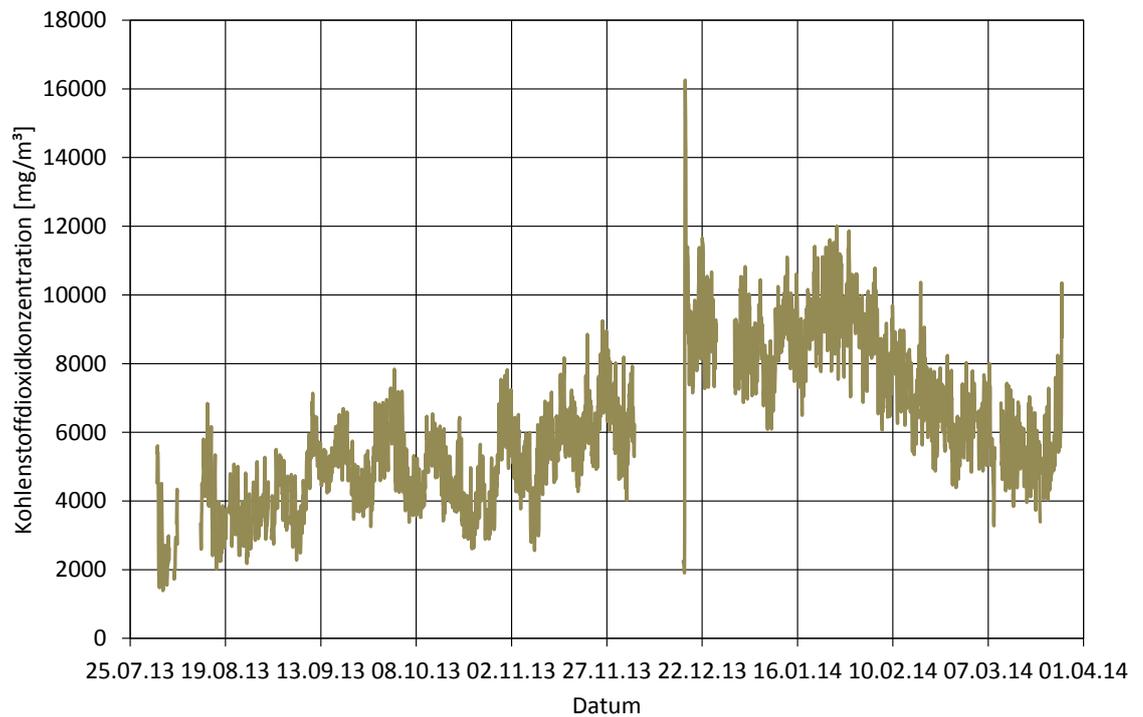
**Abbildung 22:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil



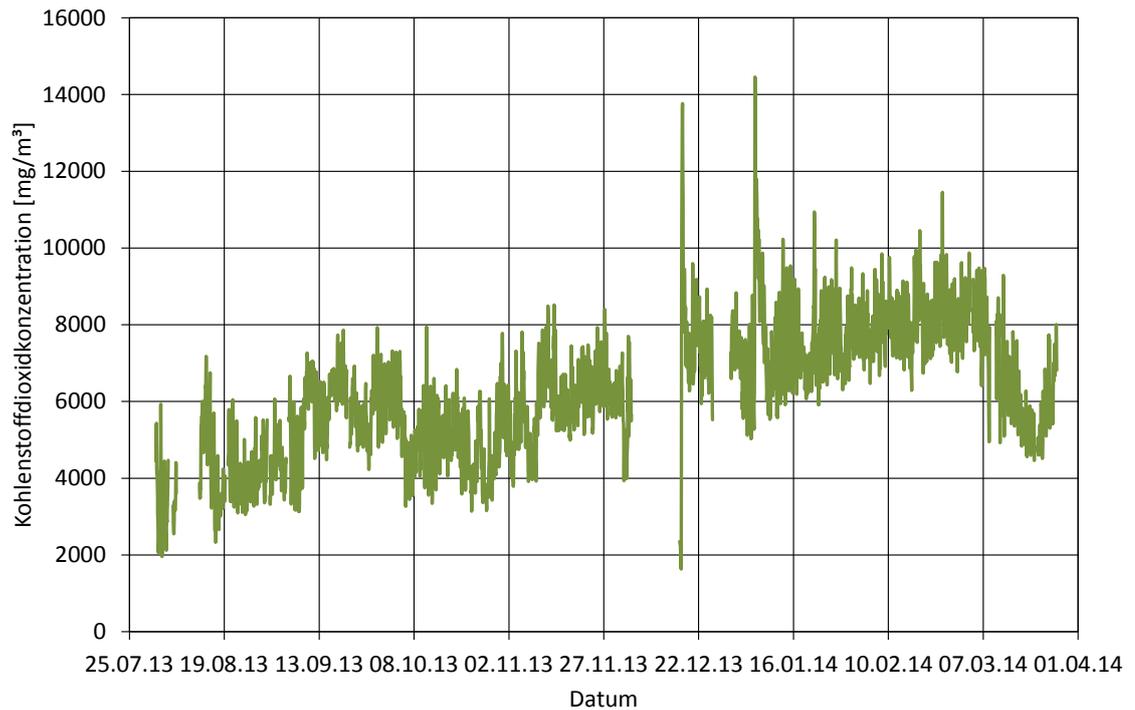
**Abbildung 23:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil



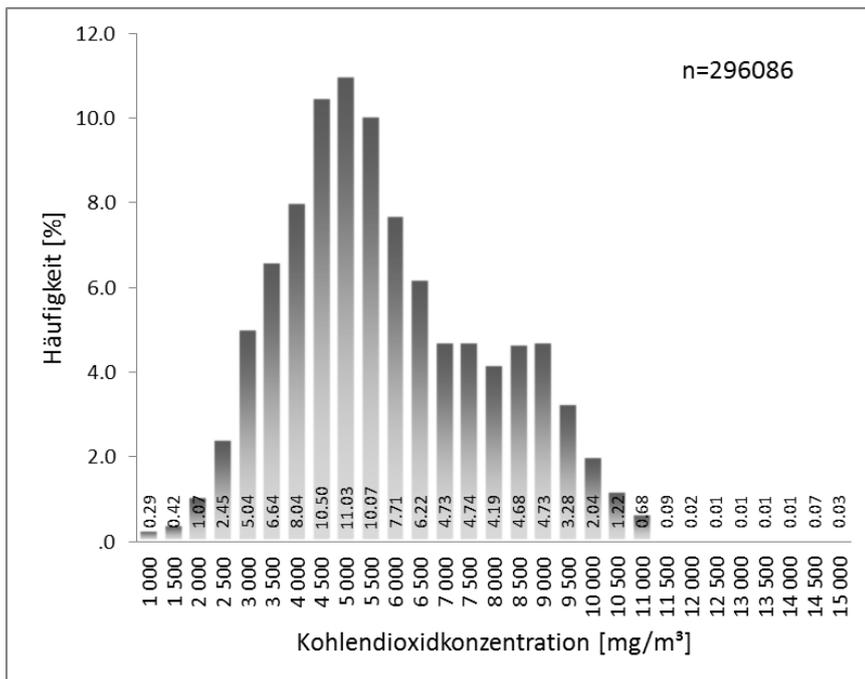
**Abbildung 24:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil



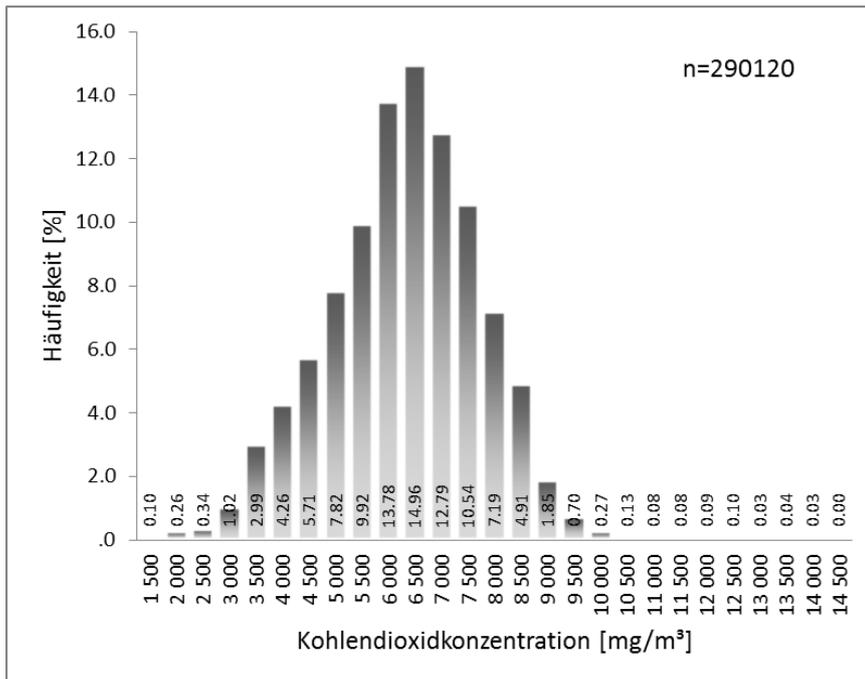
**Abbildung 25:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



**Abbildung 26:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil

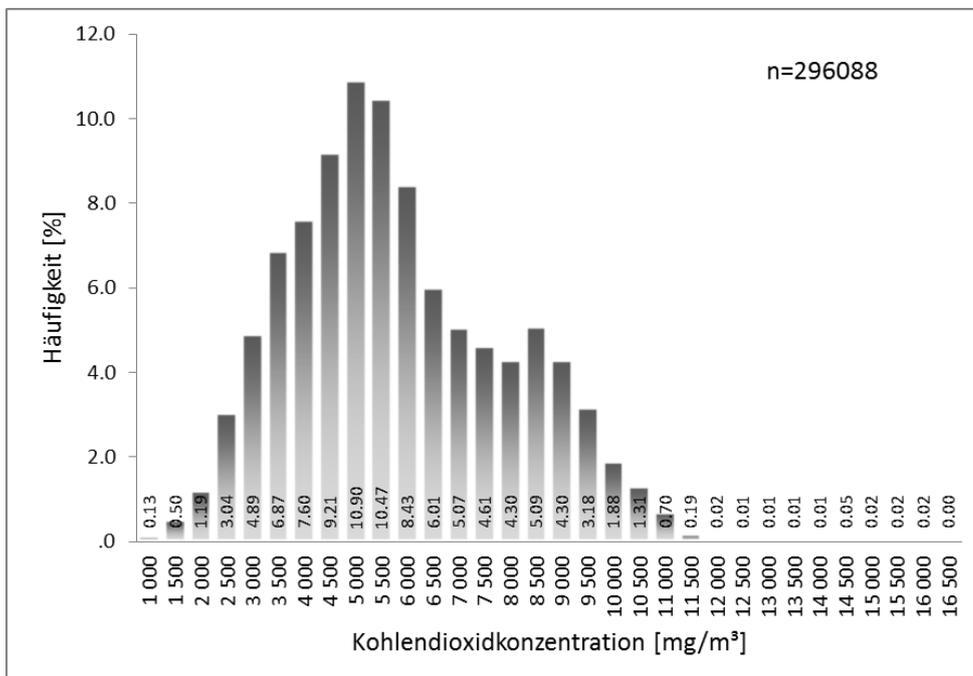


**Abbildung 27:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil

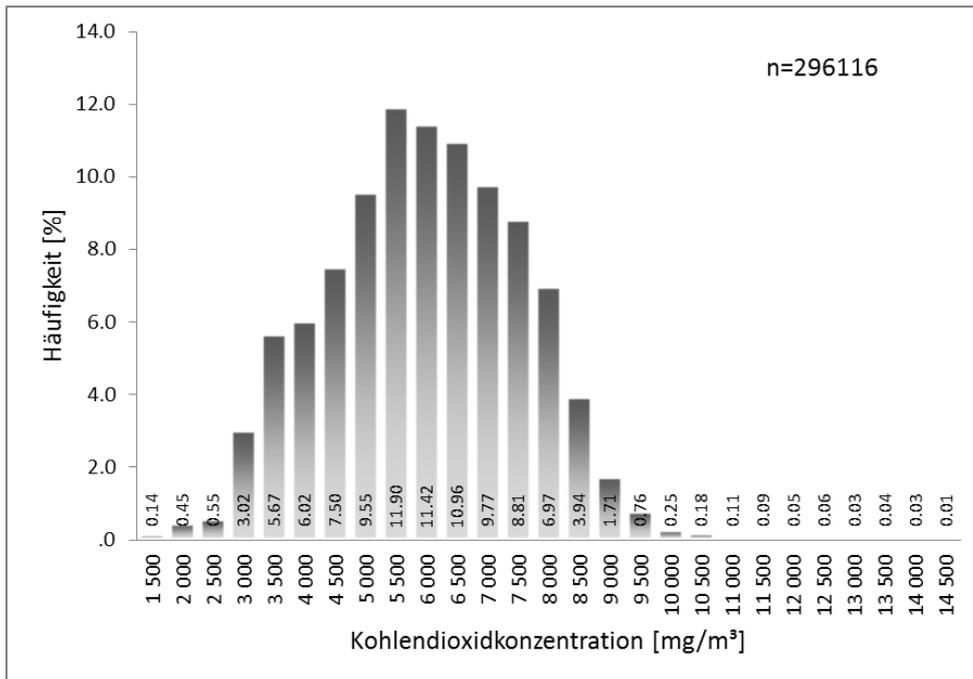


**Abbildung 28:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil

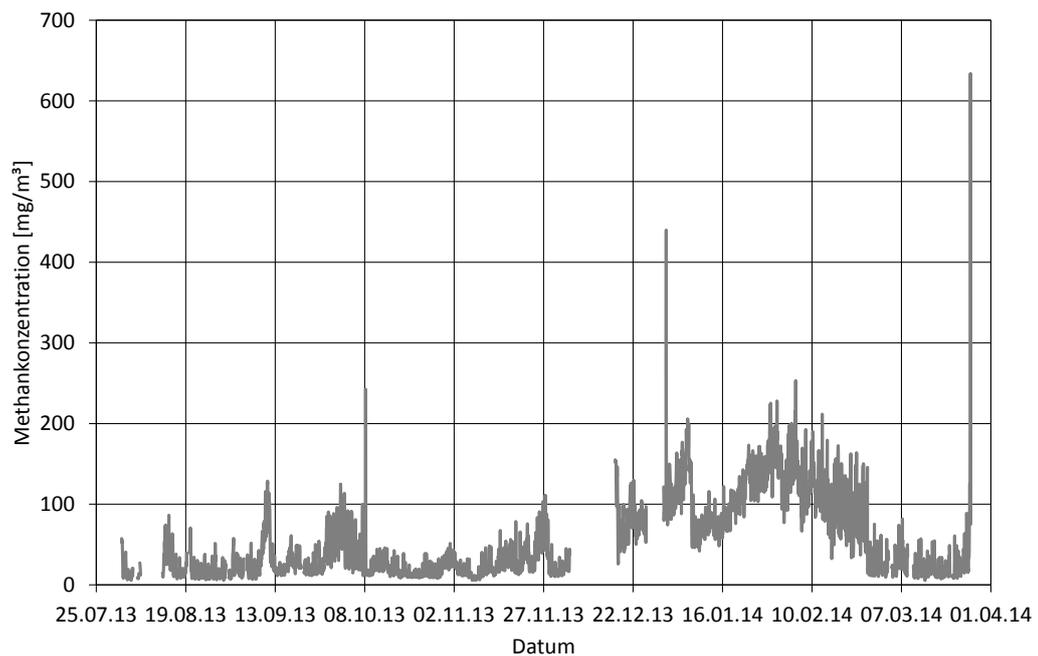
Im Zeitverlauf sieht man dauerhafte Überschreitungen von 5400 mg/m<sup>3</sup> (3000 ppm) und auch die Häufigkeiten zeigen 54,5 % Überschreitungen. Dies liegt vermutlich an der zu gering gehaltenen Lüftungsrate im Versuchsabteil. Im Kontrollabteil liegt dieser Anteil mit 77% noch höher.



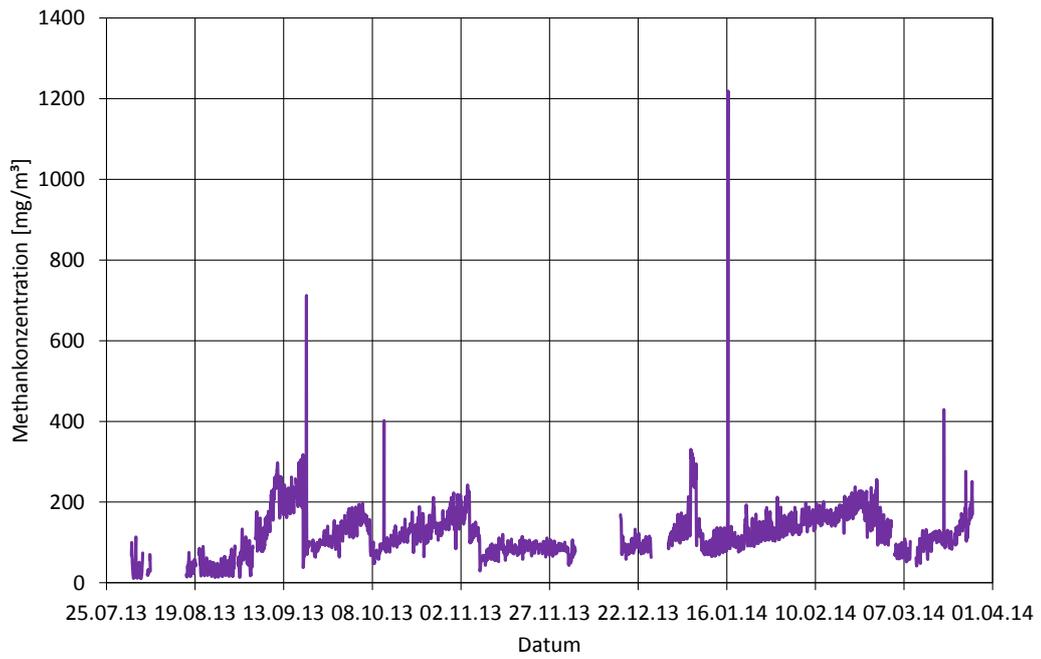
**Abbildung 29:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



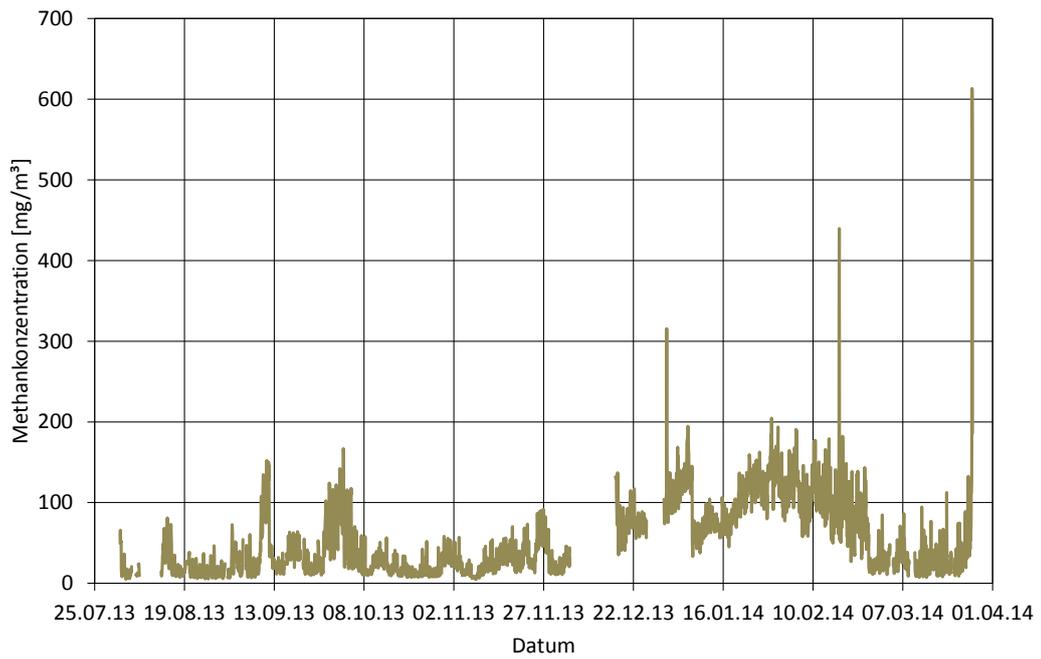
**Abbildung 30:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Versuchsabteil



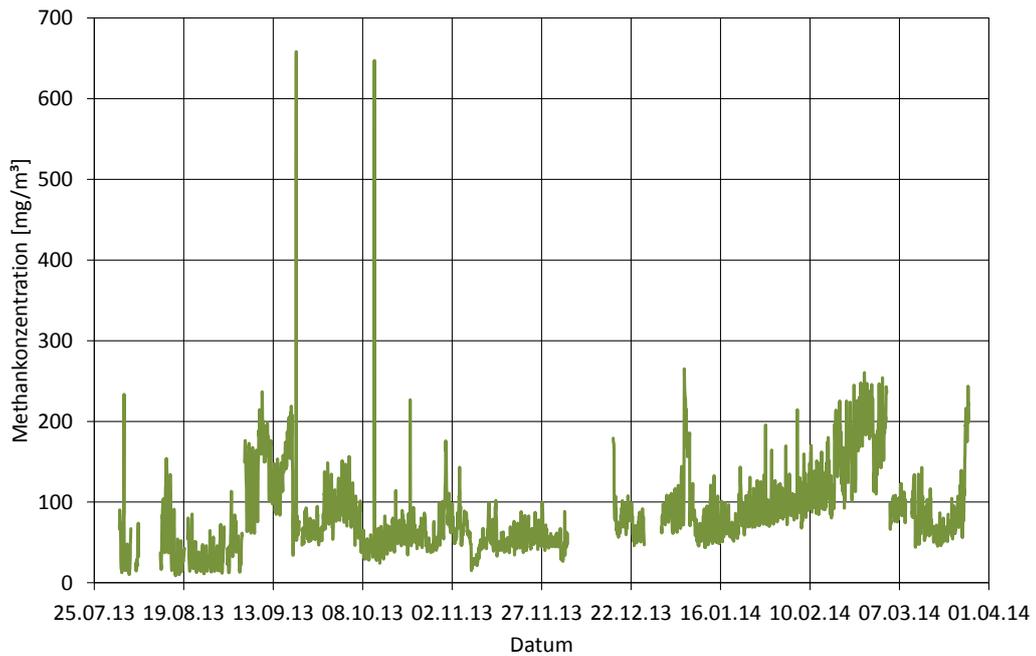
**Abbildung 31:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil



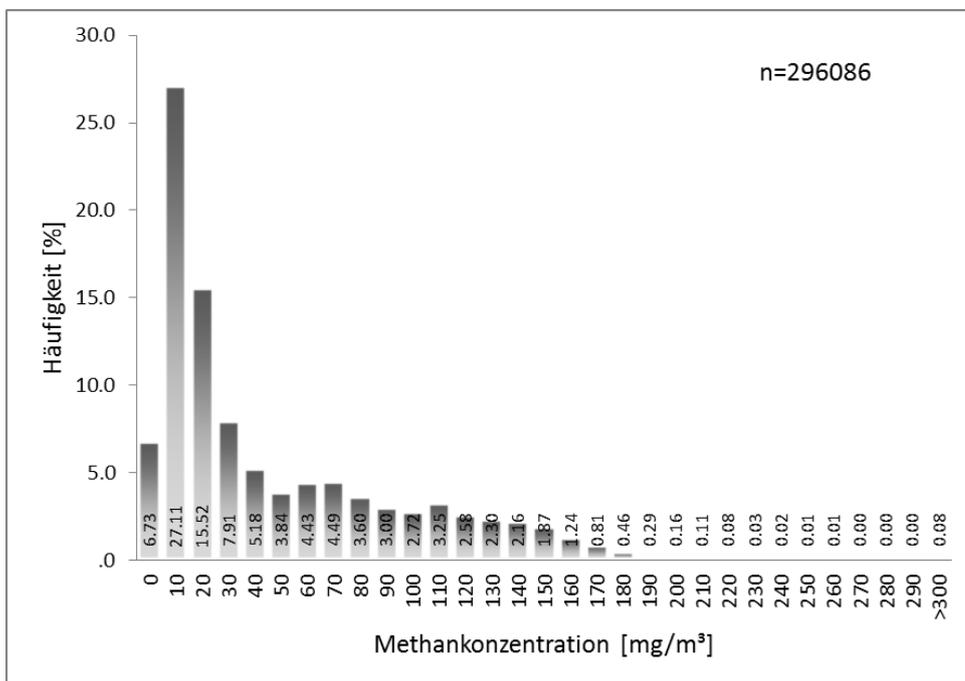
**Abbildung 32:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil



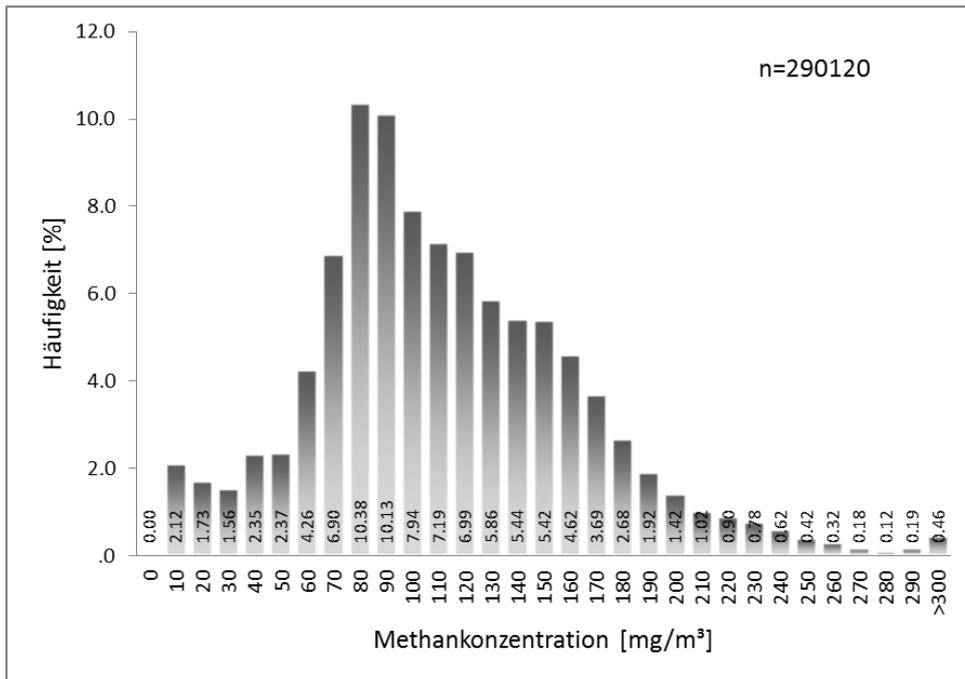
**Abbildung 33:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



**Abbildung 34:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil



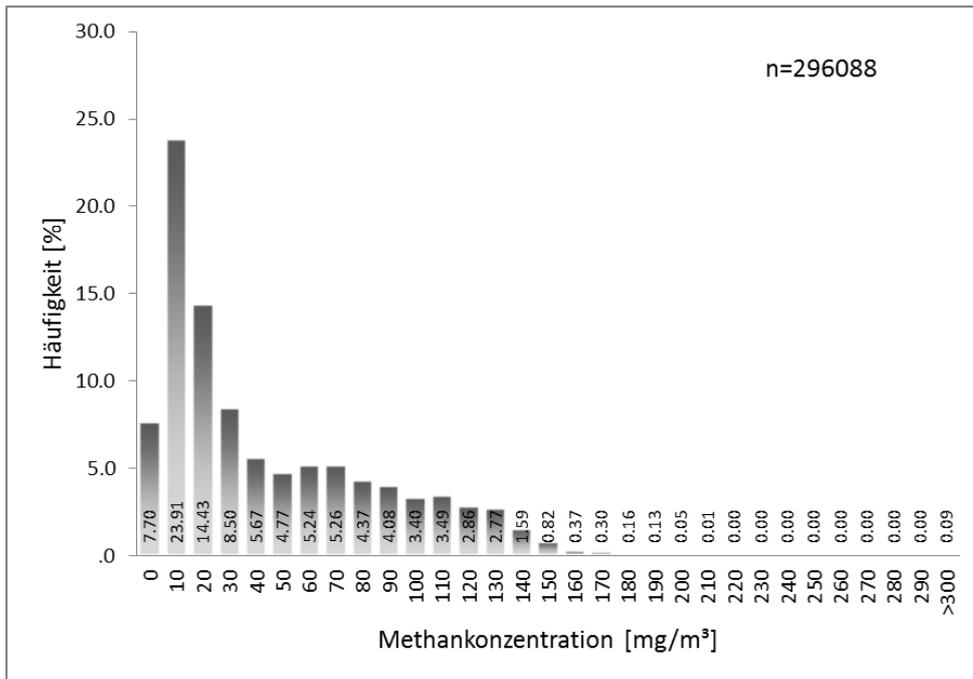
**Abbildung 35:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 1 Oberflur rechts Kontrollabteil



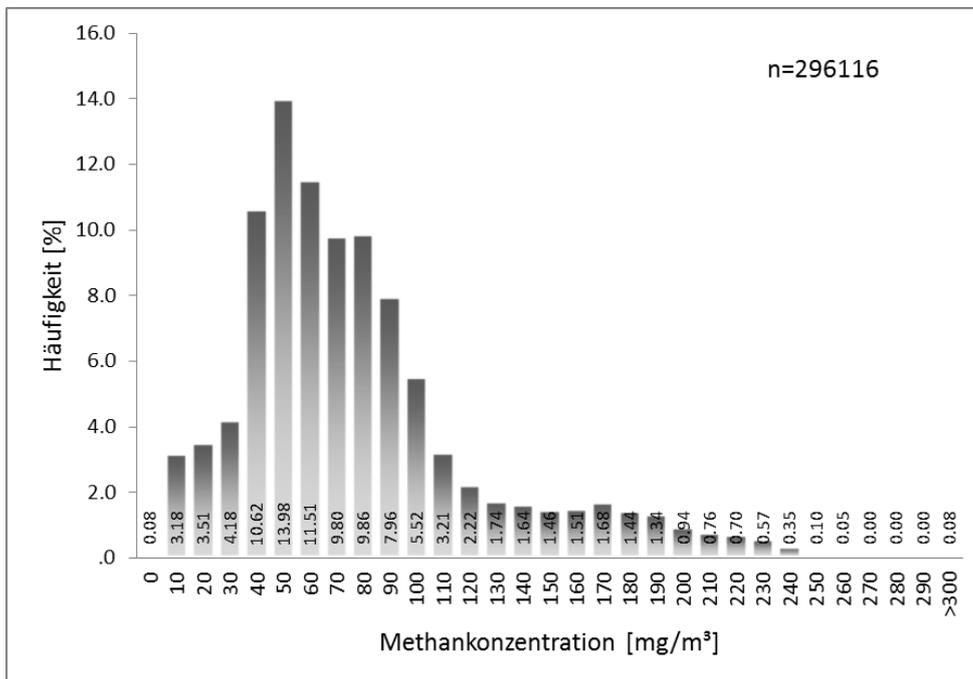
**Abbildung 36:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 8 Oberflur links Versuchsabteil

Etwa 49 % der Methankonzentrationen des Versuchsstalles lagen im Messzeitraum unter 30 mg/m<sup>3</sup>, im Kontrollstall führt die andere Ablufführung zu deutlich höheren Werten.

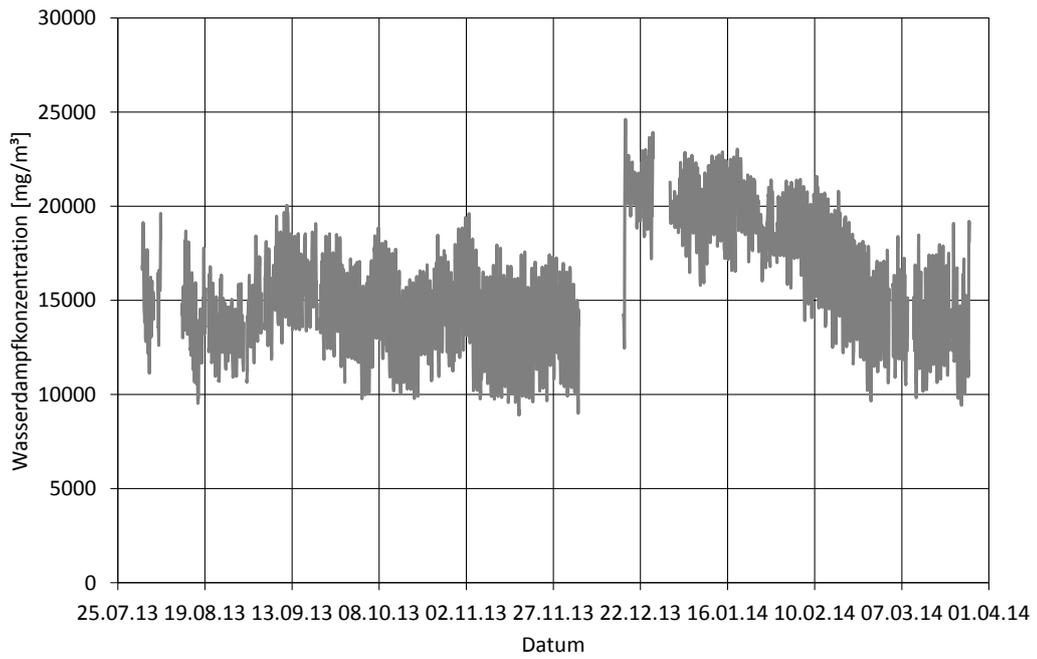
Der Wasserdampf an Position 1 ist über den gesamten Messzeitraum schwankungsarm wie der Zeitverlauf in der Abbildung zeigt. Auch die Häufigkeiten sind homogen über einen breiten Klassenbereich verteilt.



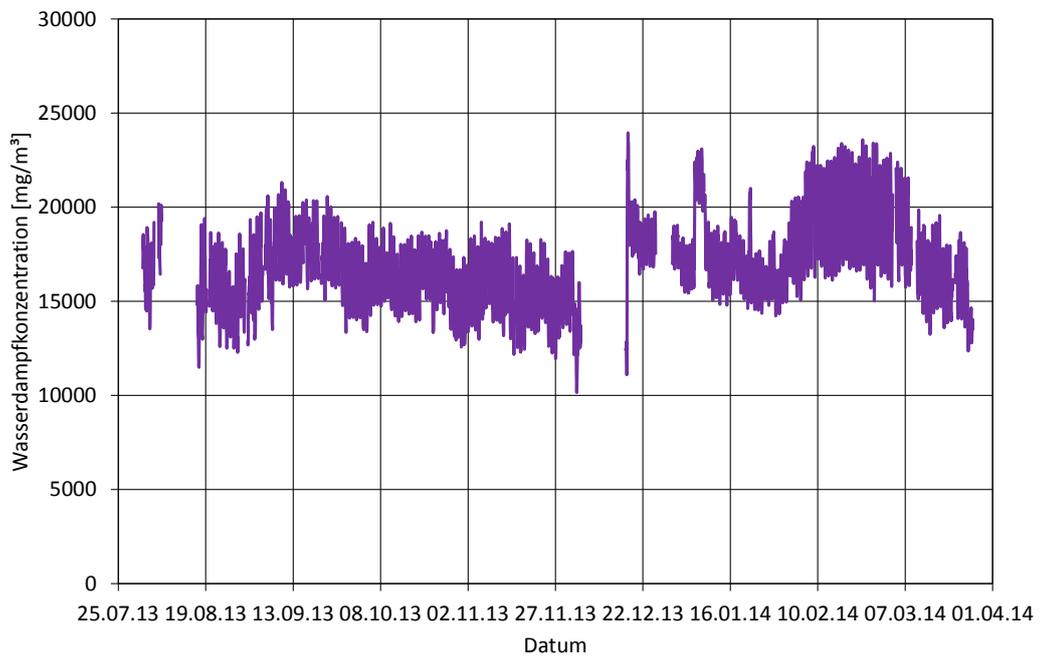
**Abbildung 37:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 5 Oberflur links Kontrollabteil



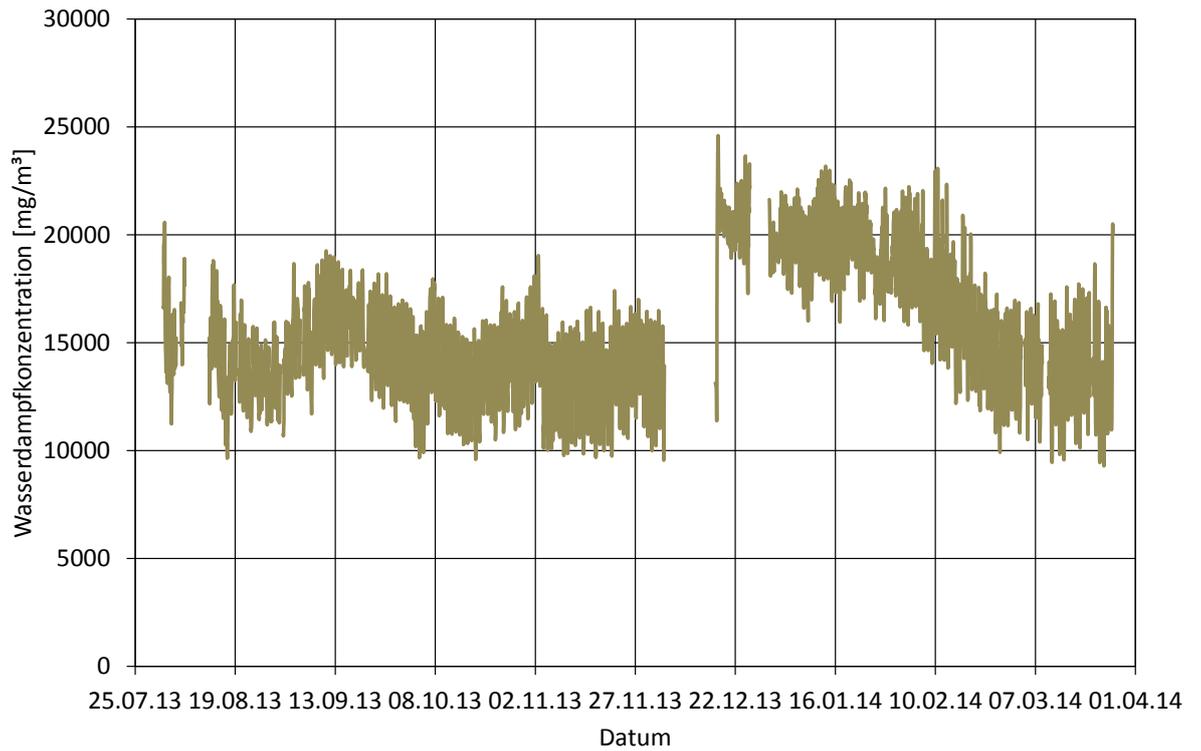
**Abbildung 38:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 11 Oberflur rechts Versuchsabteil



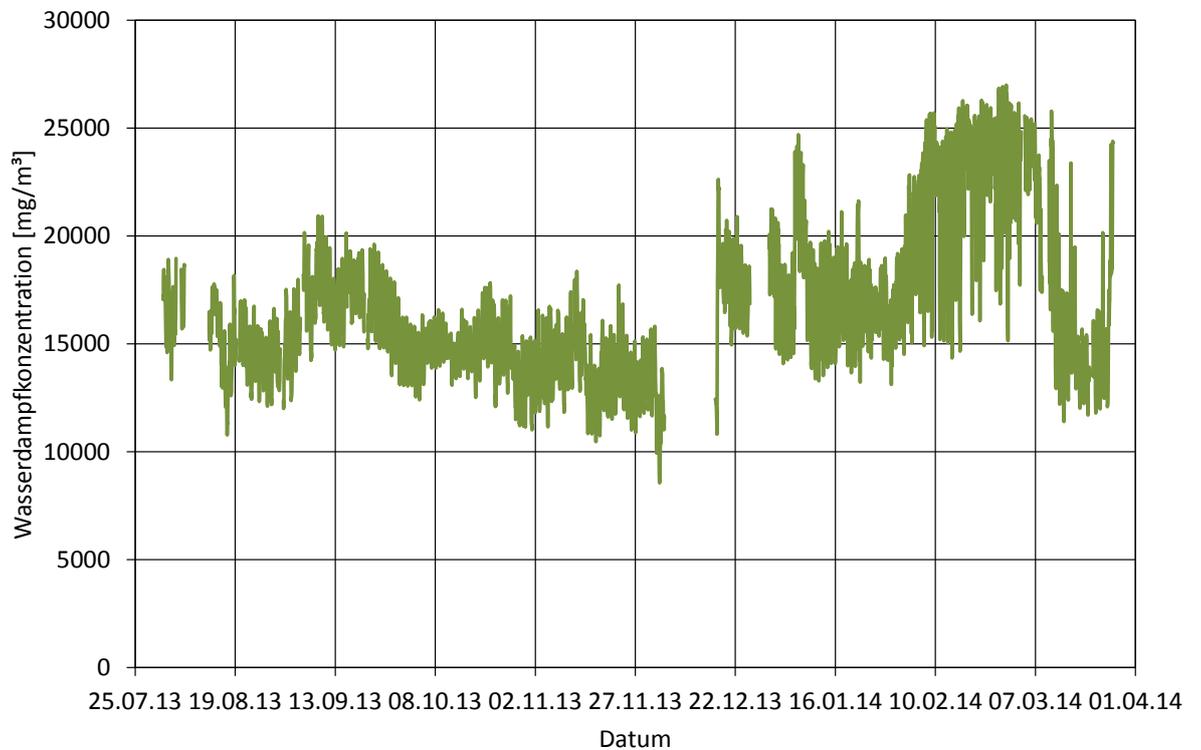
**Abbildung 39:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil



**Abbildung 40:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil



**Abbildung 41:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil



**Abbildung 42:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil

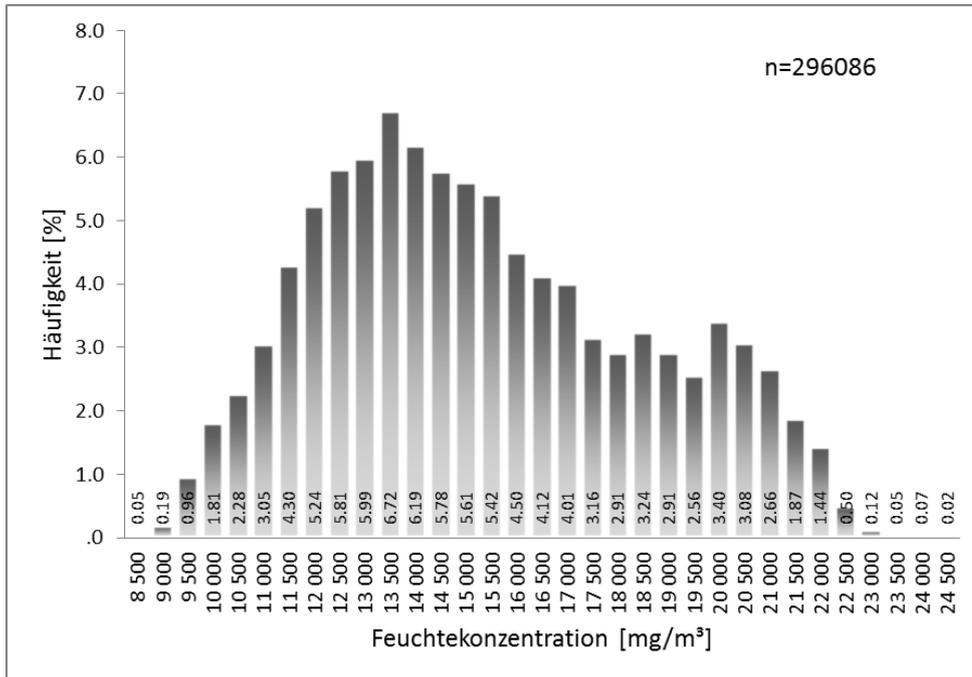


Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 1 Oberflur links Versuchsabteil

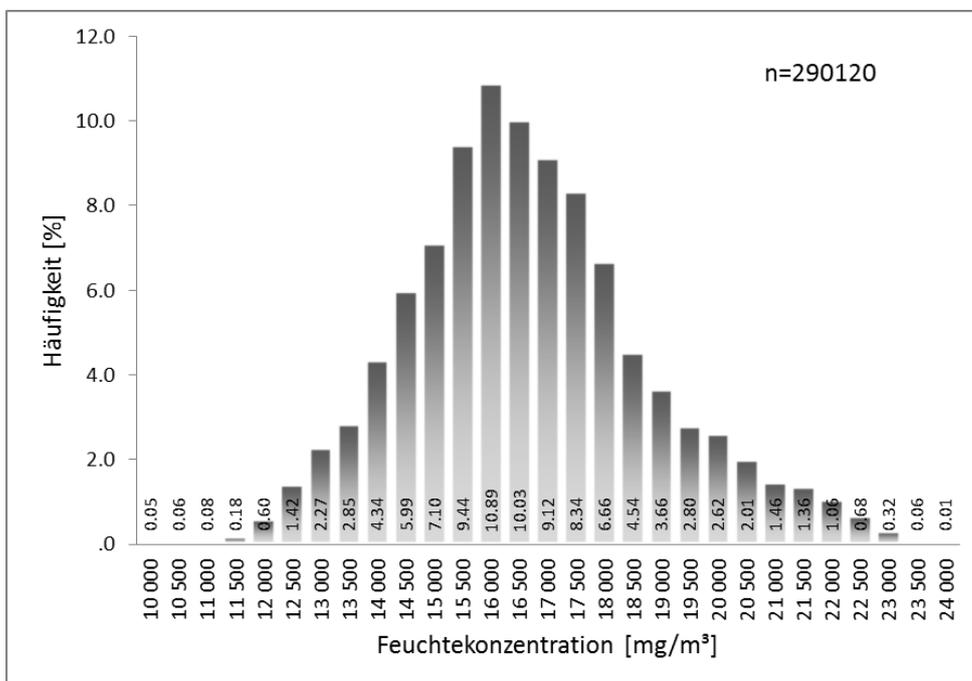
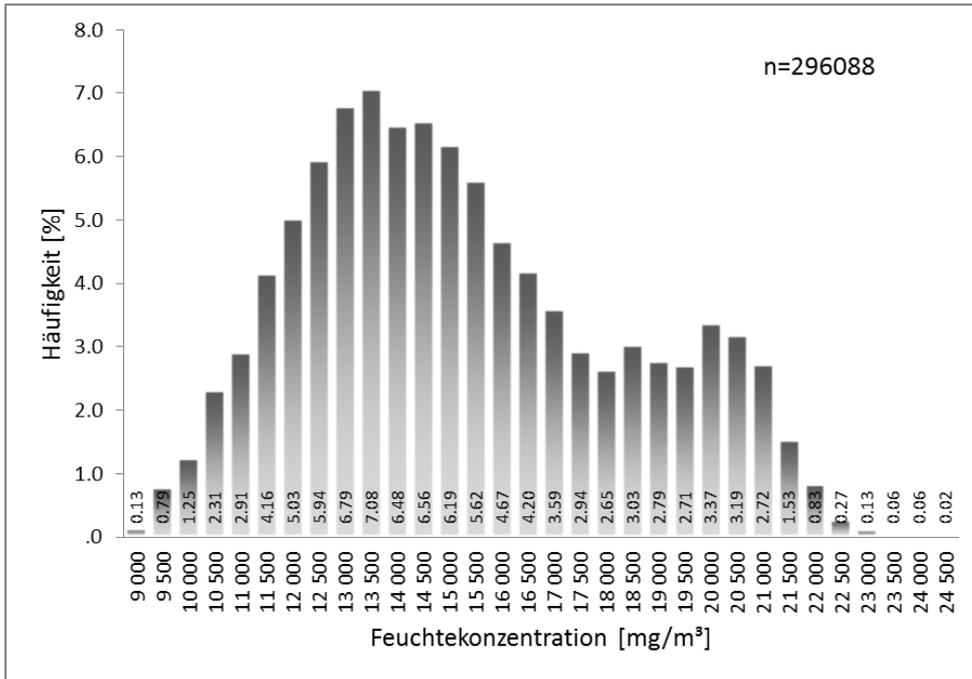
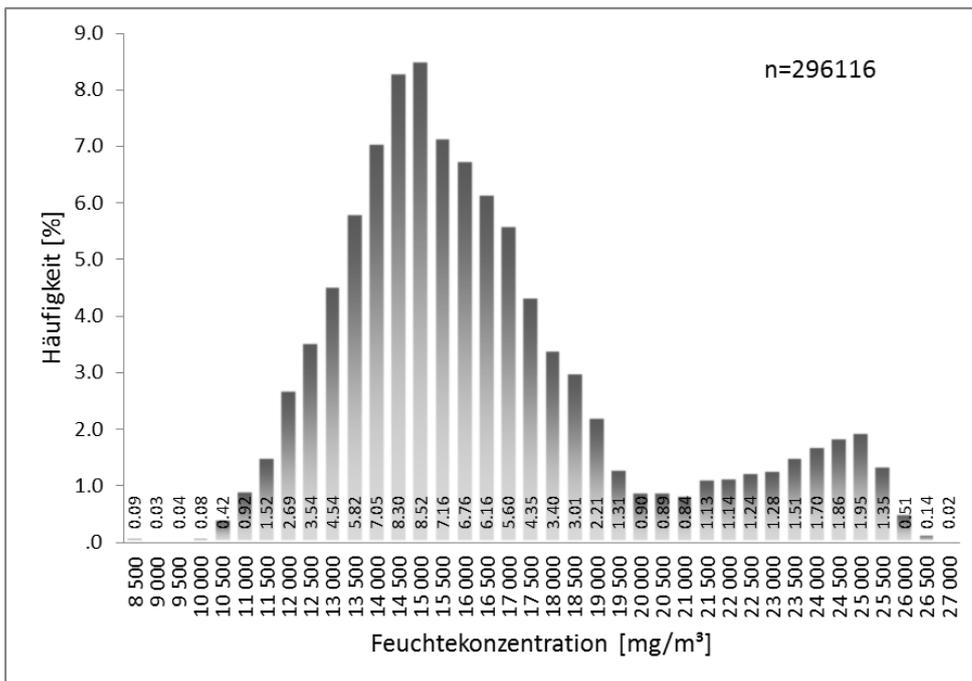


Abbildung 44: Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 8 Oberflur rechts Kontrollabteil

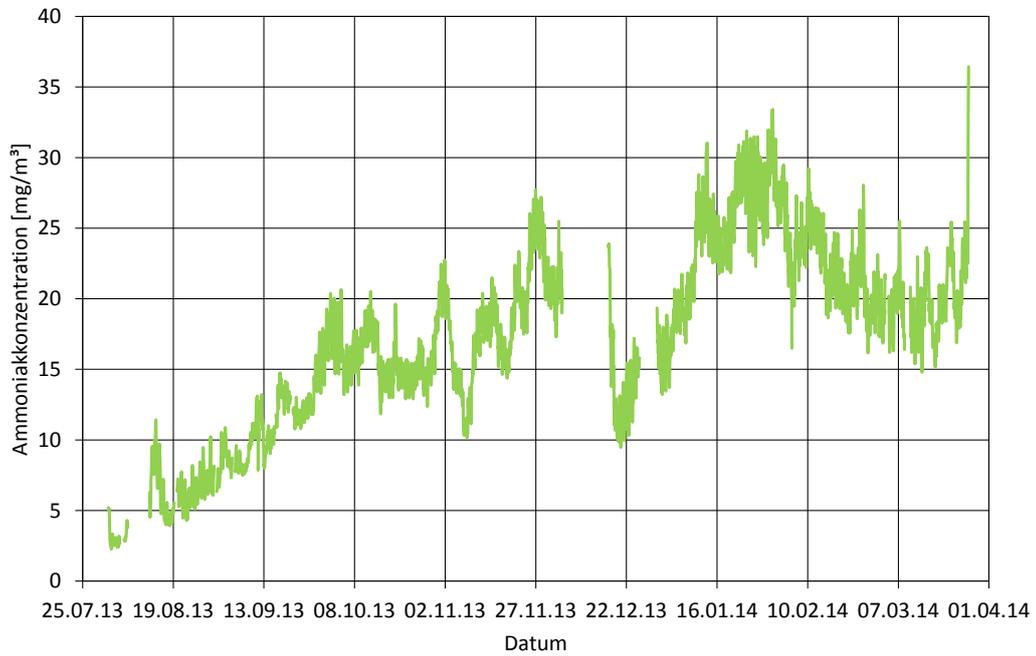


**Abbildung 45:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 5 Oberflur rechts Versuchsabteil

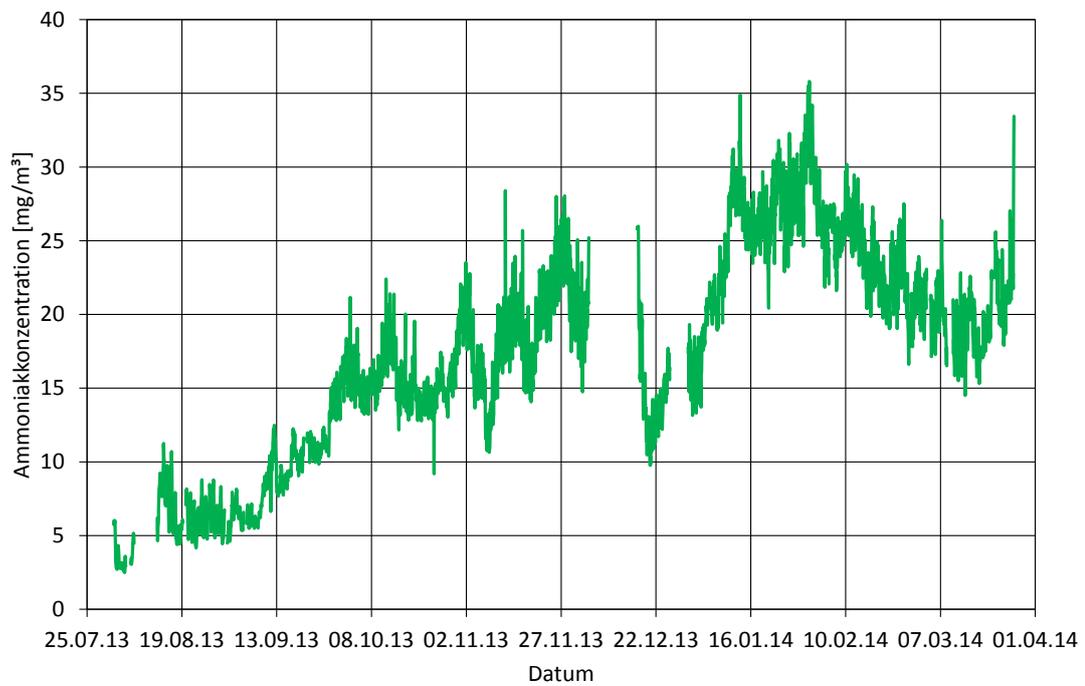


**Abbildung 46:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 11 Oberflur links Kontrollabteil

Position 4 zeigt, genau wie Position 6, dass das Ammoniak aus der Gülle im Unterflurbereich gehalten wird. Es treten wesentlich höhere Konzentrationen auf als Oberflur. Der Bereich in dem sich die Tiere aufhalten hat somit eine bessere Luftqualität. Die hoch kontaminierte Luft aus dem Unterflurbereich wird dem Wäscher zugeführt.



**Abbildung 47:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil



**Abbildung 48:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil

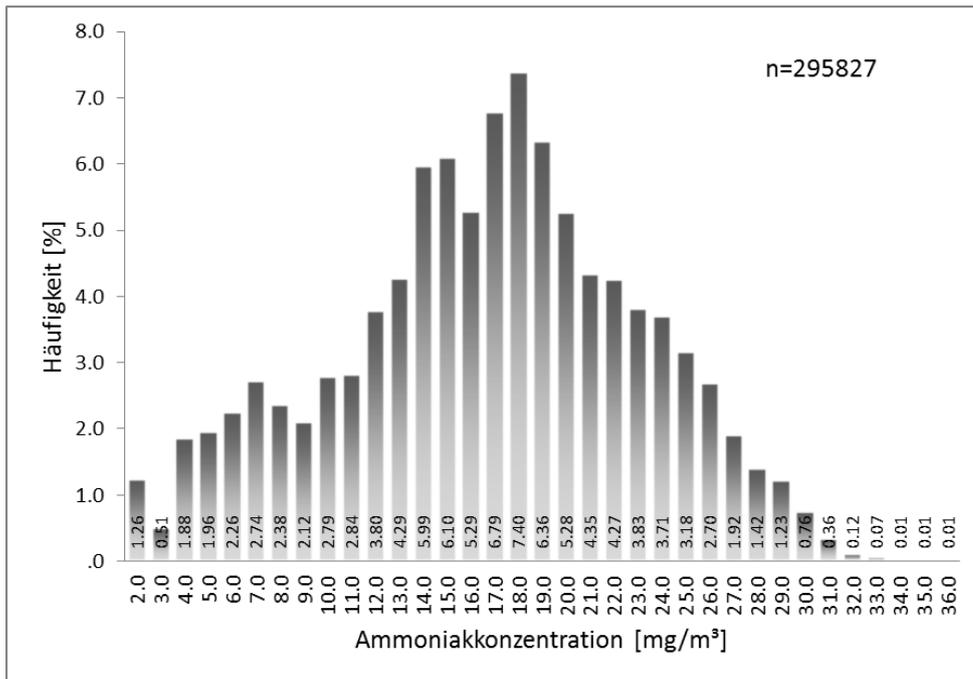


Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil

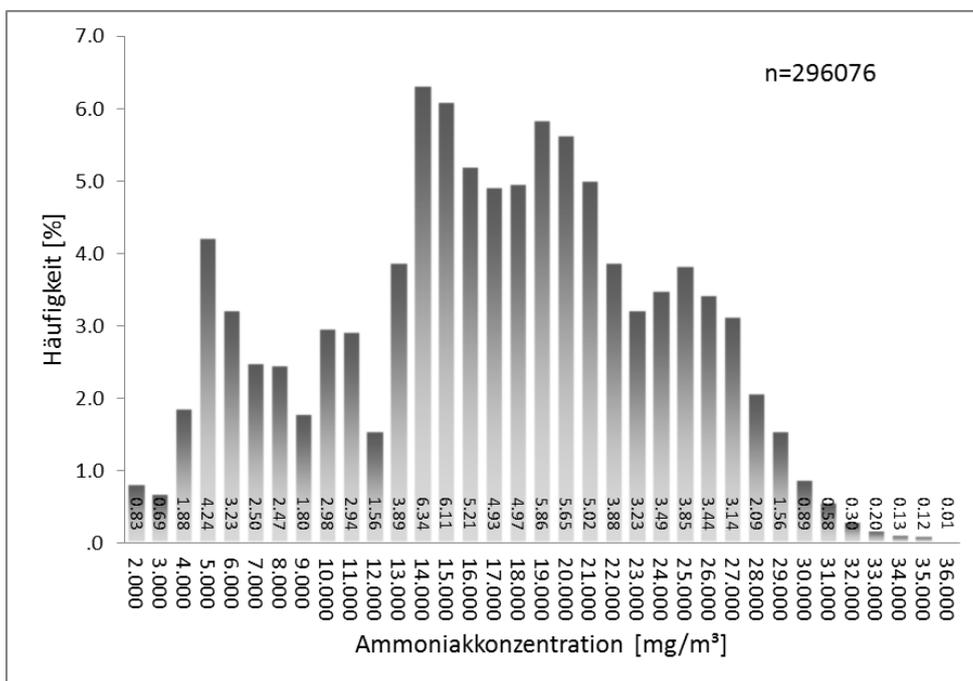
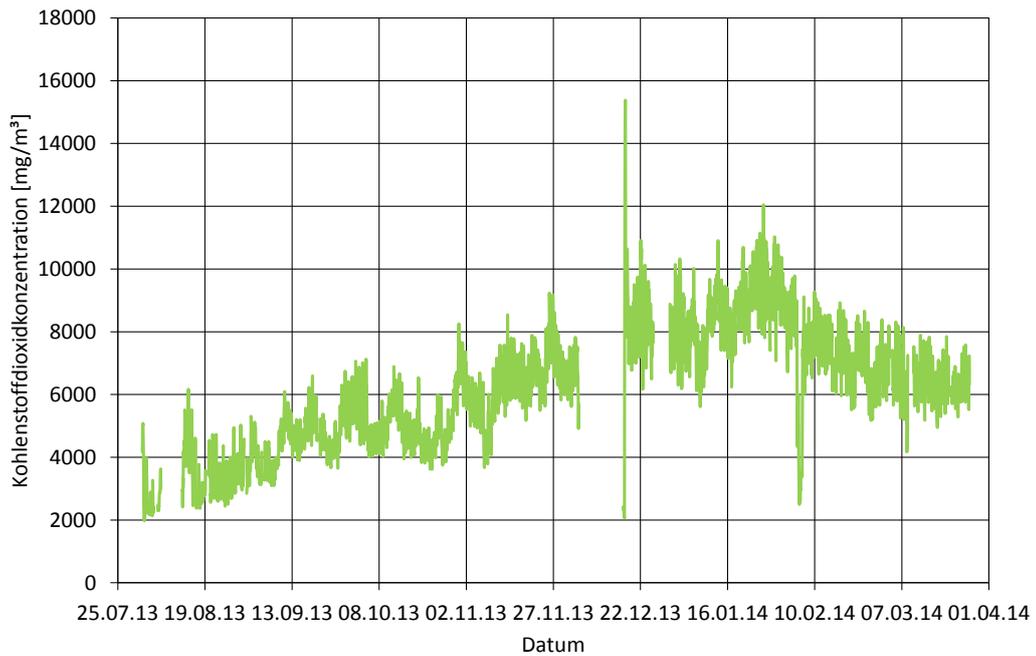
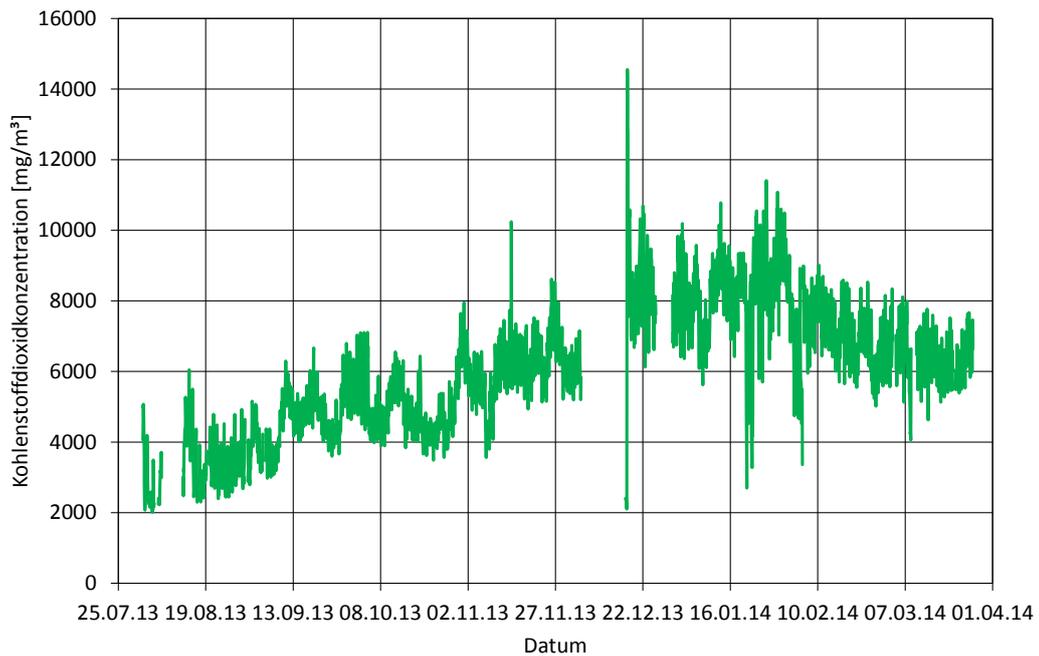


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil

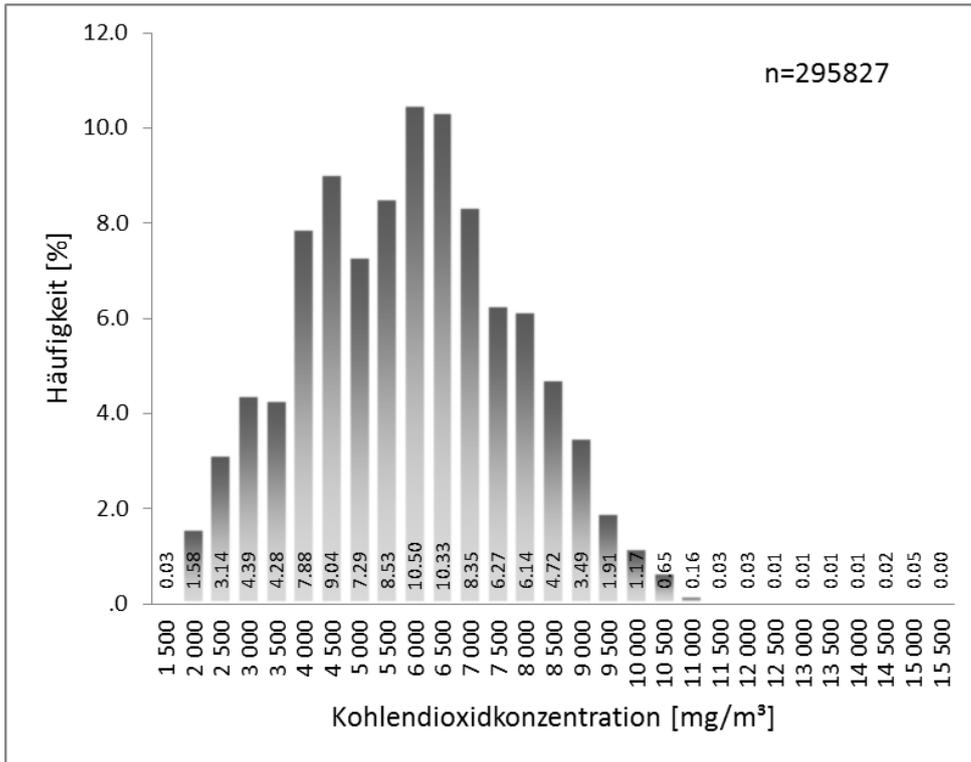


**Abbildung 51:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil

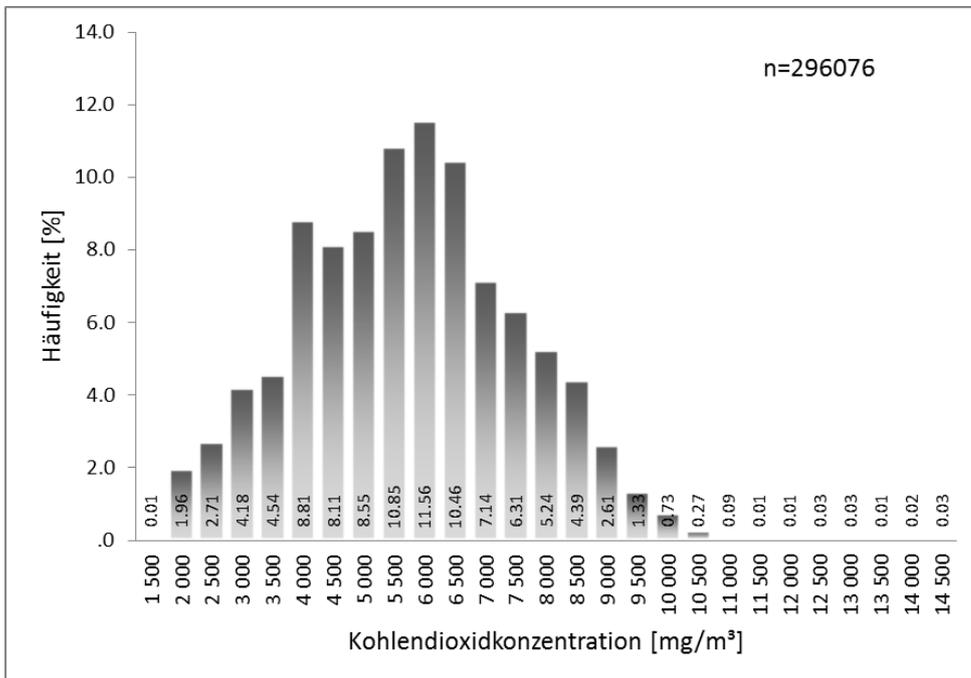


**Abbildung 52:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 6 Unterflurrechts Versuchsabteil

Es treten keine wesentlichen Konzentrationsunterschiede im Vergleich mit den Oberflurwerten auf. Kohlendioxid entsteht im Gegensatz zum Ammoniak aber auch nicht Unterflur in der Gülle sondern beim Atmen der Tiere Oberflur. Der Entstehungsort ist also entscheidend für den Verbleib in der Abluft.

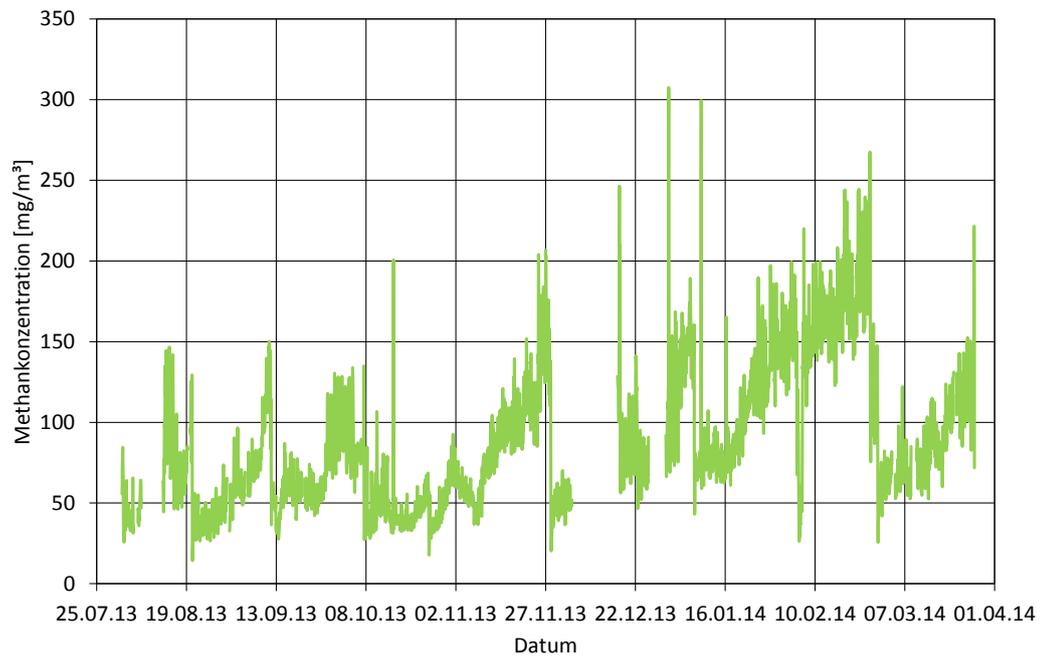


**Abbildung 53:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil

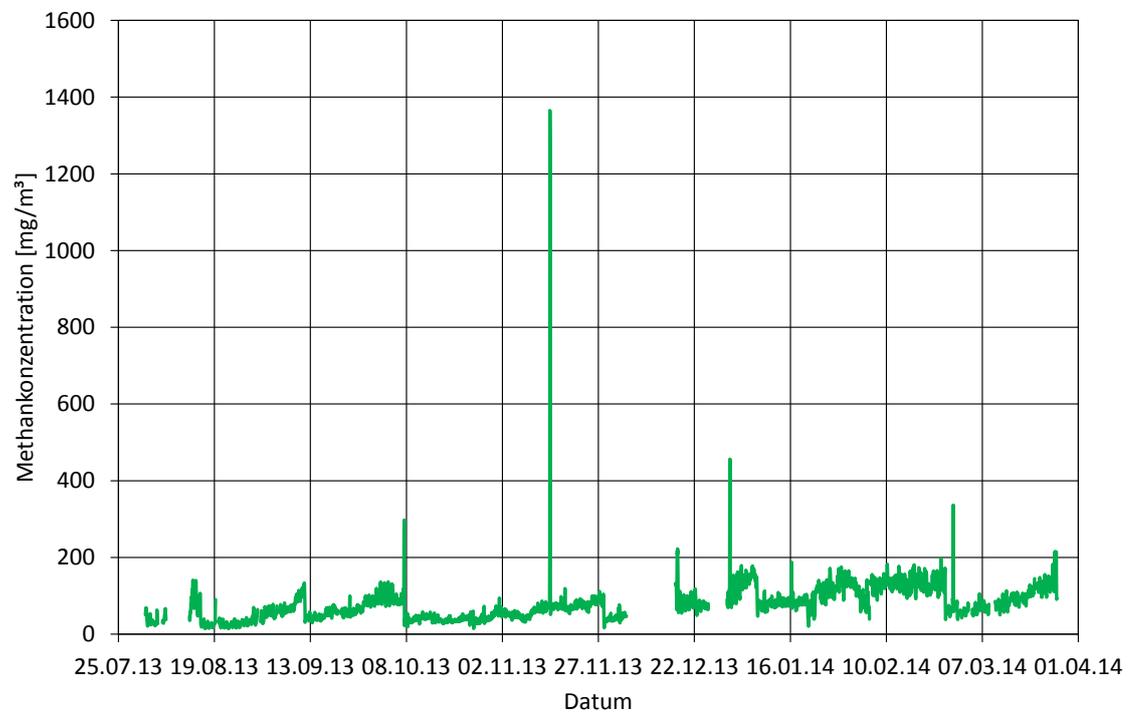


**Abbildung 54:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil

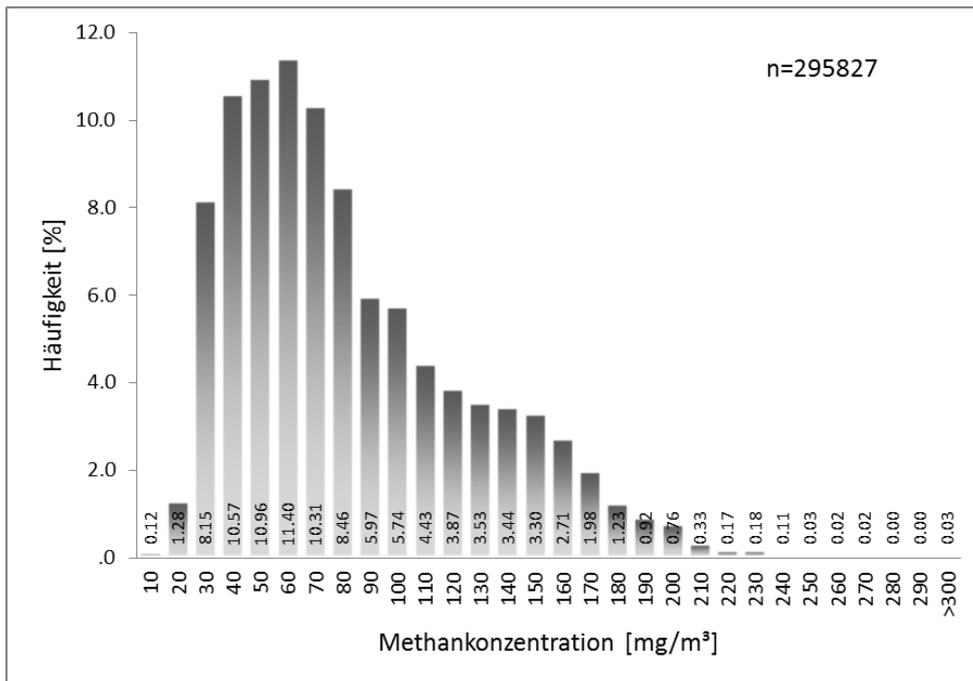
Die Häufigkeitsverteilung zeigt eine ähnliche Verteilung wie an den Oberflurpositionen in 150 cm Höhe. Dies weist auf eine Gleichverteilung hin.



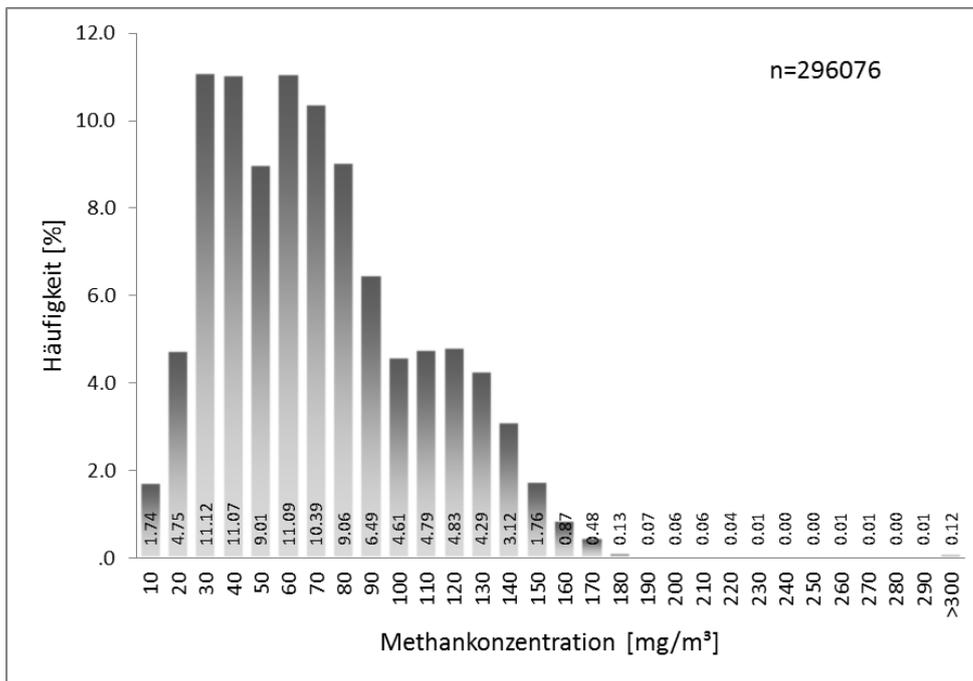
**Abbildung 55:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil



**Abbildung 56:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 6 Unterflurrechts Versuchsabteil



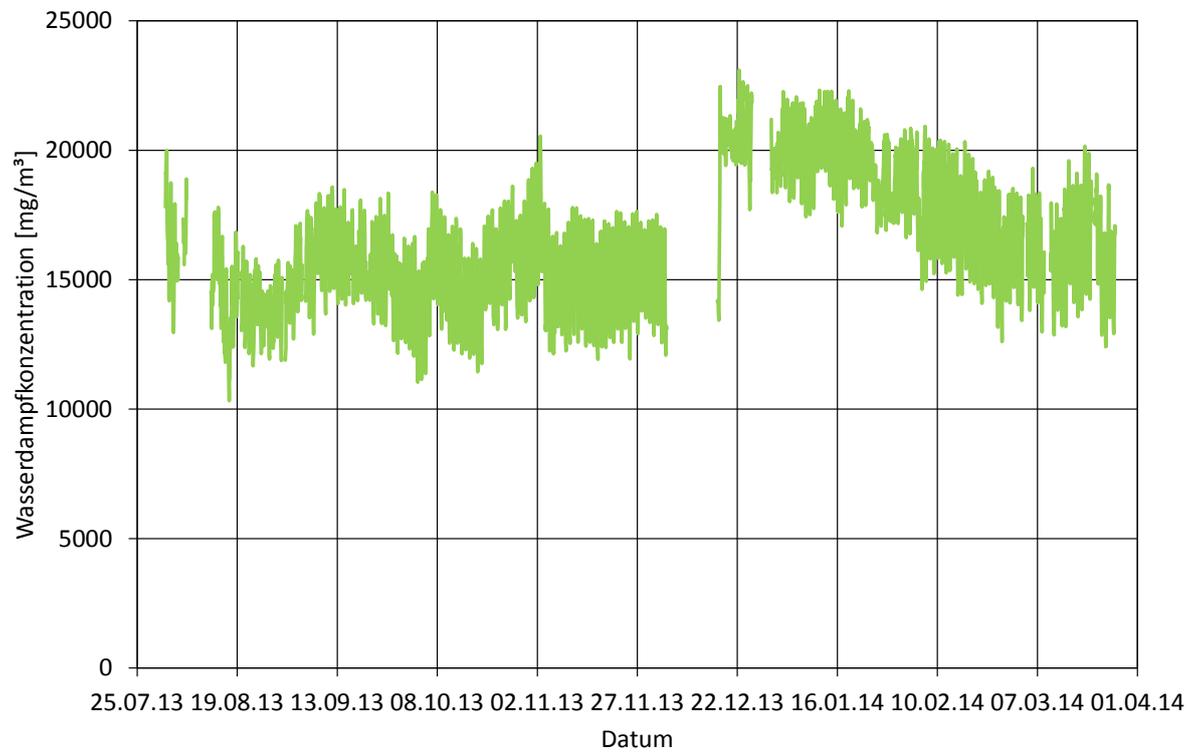
**Abbildung 57:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil



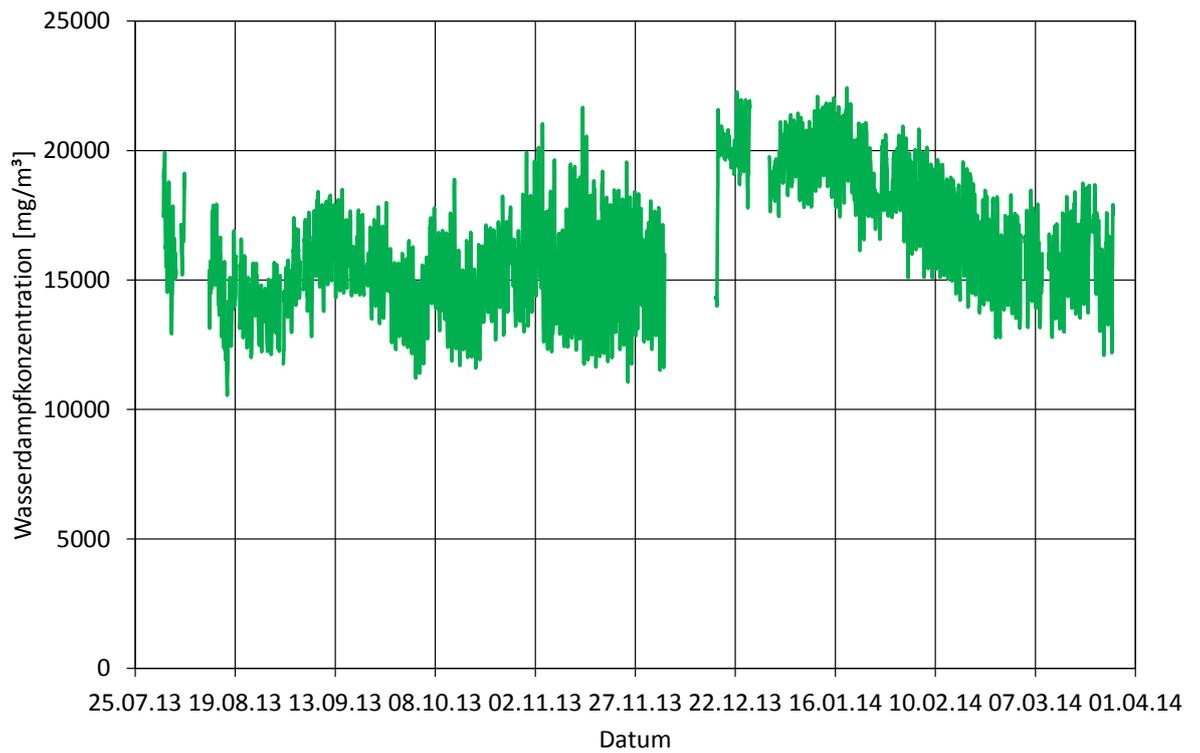
**Abbildung 58:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil

Etwa 47 % der Methankonzentrationen lagen im Messzeitraum über 80 mg/m<sup>3</sup>.

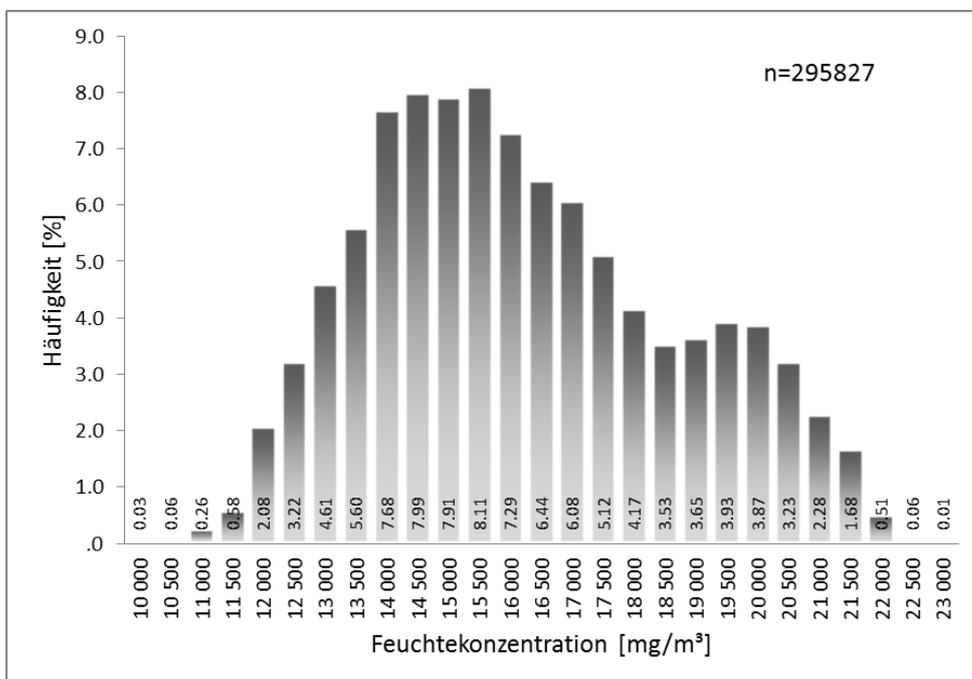
Der Wasserdampf an Position 4 ist über den gesamten Messzeitraum schwankungsarm wie der Zeitverlauf zeigt. Auch die Häufigkeiten sind homogen über einen breiten Klassenbereich verteilt.



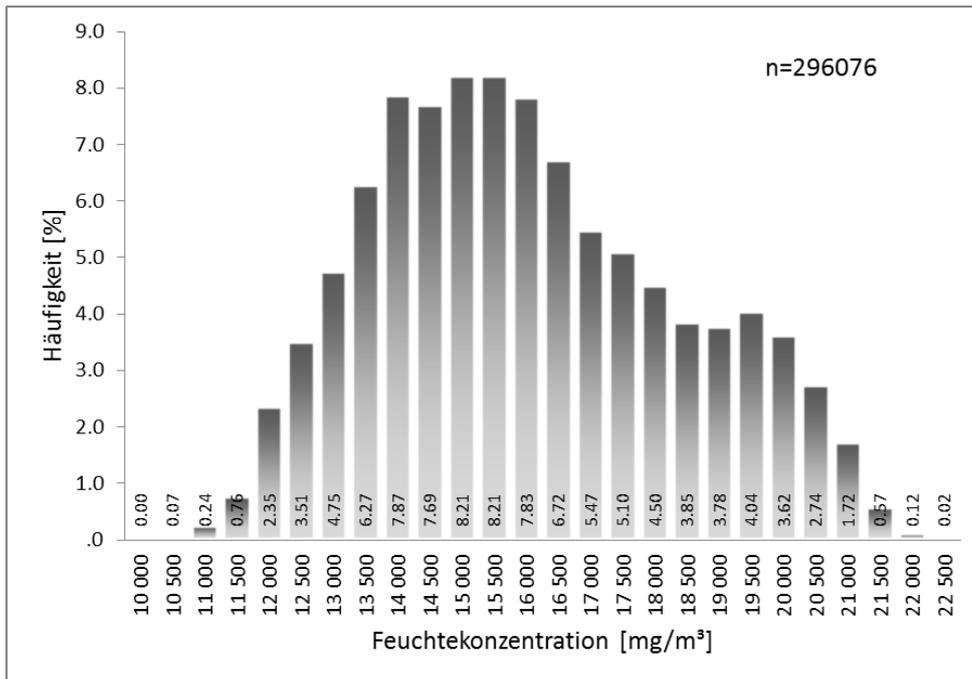
**Abbildung 59:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil



**Abbildung 60:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 6 Unterflur rechts Versuchsabteil



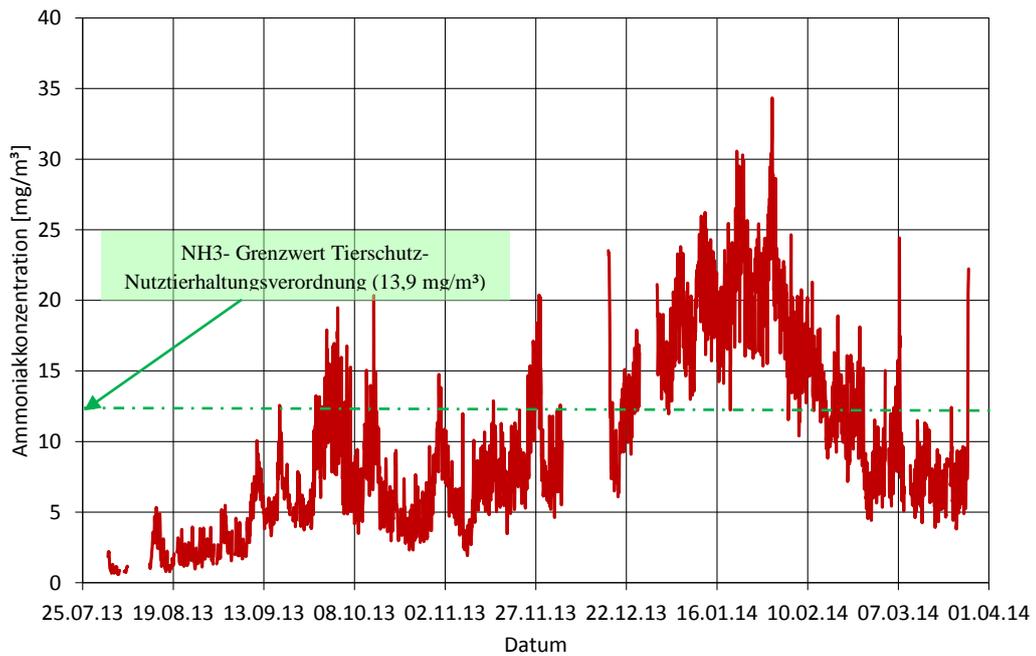
**Abbildung 61:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil



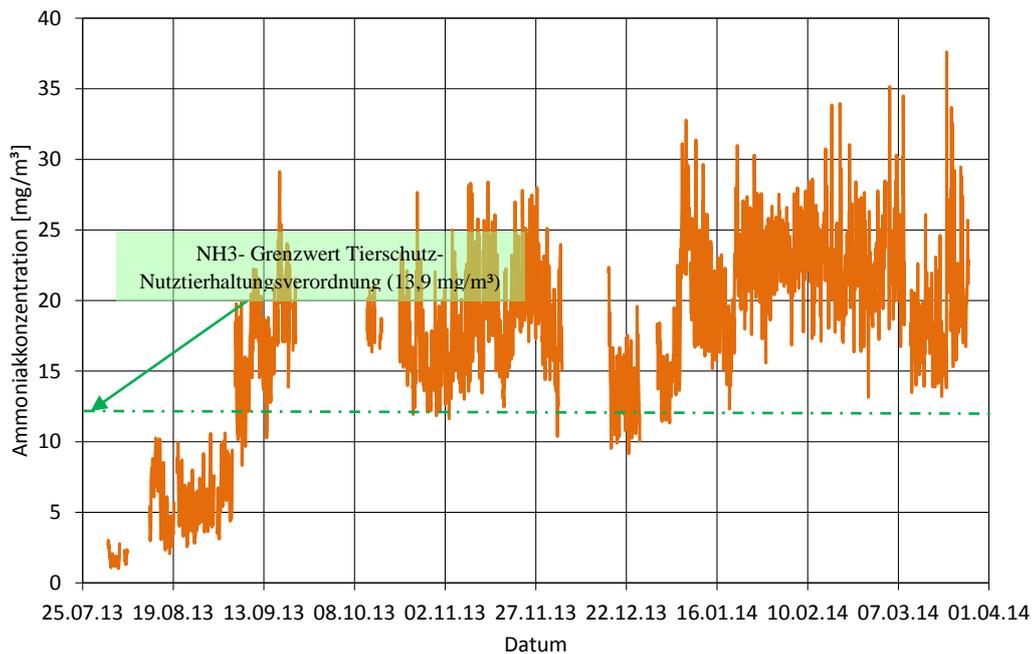
**Abbildung 62:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 4 Unterflur links Versuchsabteil

### Konzentrationen 30 cm über den Spaltenboden

Die Position 2 im Versuchsabteil (bzw. 9 im das Kontrollabteil) kann als Bezugspunkt für die in der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung genannten Konzentrationen für Ammoniak und Kohlendioxid benannt werden. Denn die 30 cm Höhe über Spaltenboden ist der Atembereich der Tiere. In diesem Bereich sollen 13,9 mg/m<sup>3</sup> (20 ppm) Ammoniak und 5400 mg/m<sup>3</sup> (3000 ppm) Kohlendioxid nicht dauerhaft überschritten werden.



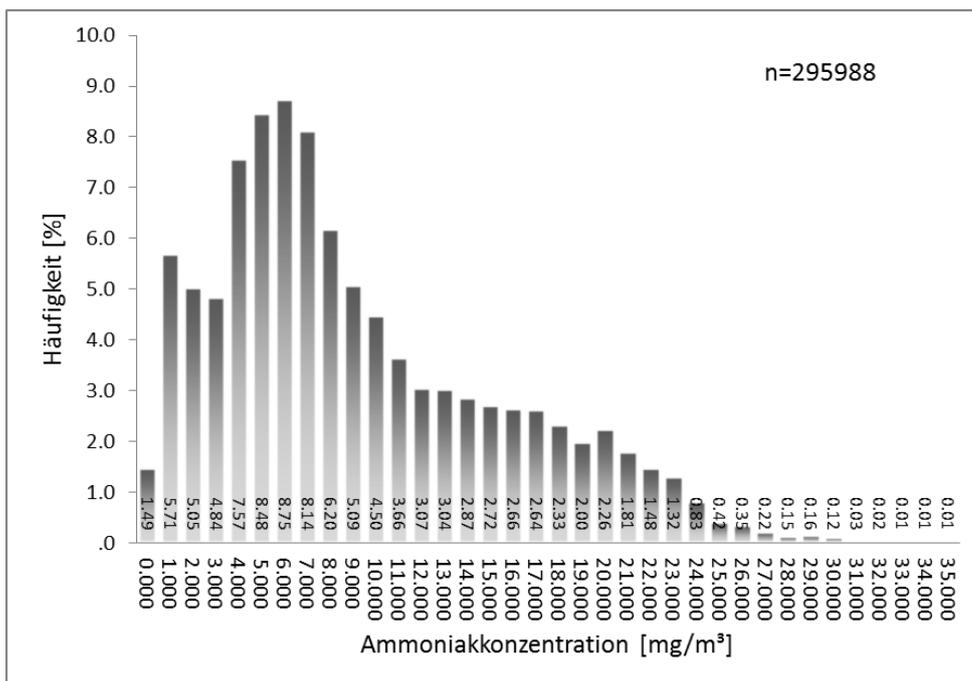
**Abbildung 63:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



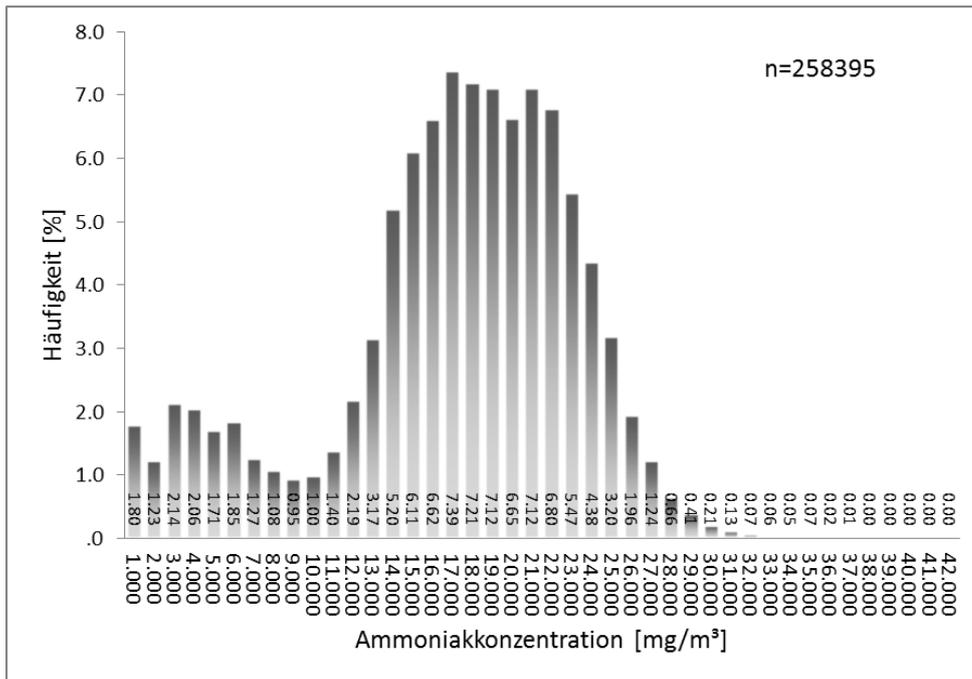
**Abbildung 64:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall

Wie in Abbildung 63 zu erkennen ist, werden die  $13,9 \text{ mg/m}^3$  gerade zu Beginn der zweiten Mast mit geringen Volumenströmen, dauerhaft überschritten. Im Verlauf der ersten Mast war dies nur selten der Fall. Für den Kontrollstall (Abb. 64) gilt dies fast

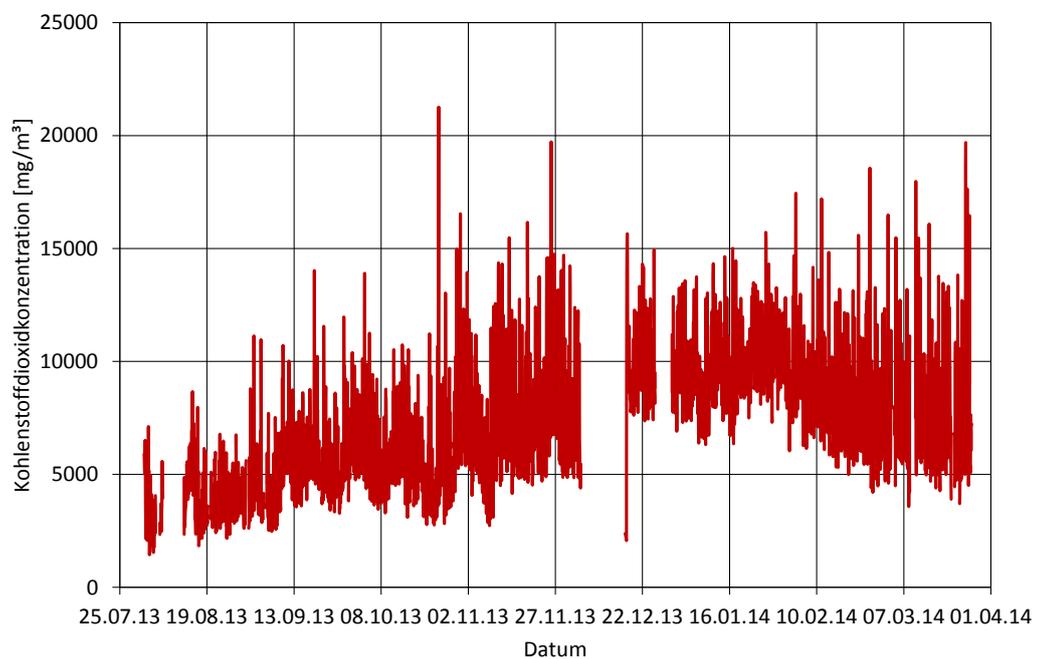
durchgängig. Entsprechend deutlich sind die Unterschiede der Häufigkeitsverteilungen (Abb. 65/66). Im Versuchsstall überschreiten nur etwa 20% der Werte den gesetzlichen Grenzwert, sodass eine Routinekontrolle mit hoher Wahrscheinlichkeit unauffällig bleiben würde. Eine geringfügige Anpassung der Winterluftrate würde das Problem hier lösen. Im Gegensatz dazu liegen im Vergleichsstall über 70% der Werte jenseits des gesetzlichen Grenzwertes, sodass deutlich wird, dass mit der althergebrachten Oberflurentlüftung den gesetzlichen Gegebenheiten nur bei sehr hohen Luftraten entsprochen werden könnte. Die hier nicht gezeigten Leistungs- und Gesundheitsdaten lassen allerdings auch im Kontrollstall keinerlei Beeinträchtigung der Tiere erkennen.



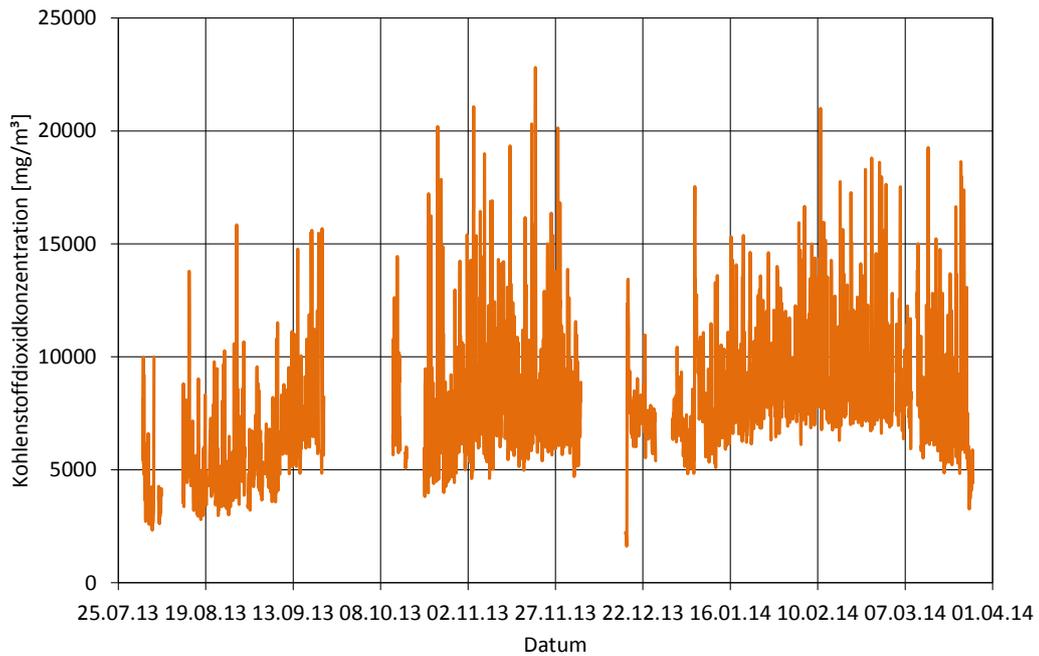
**Abbildung 65:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



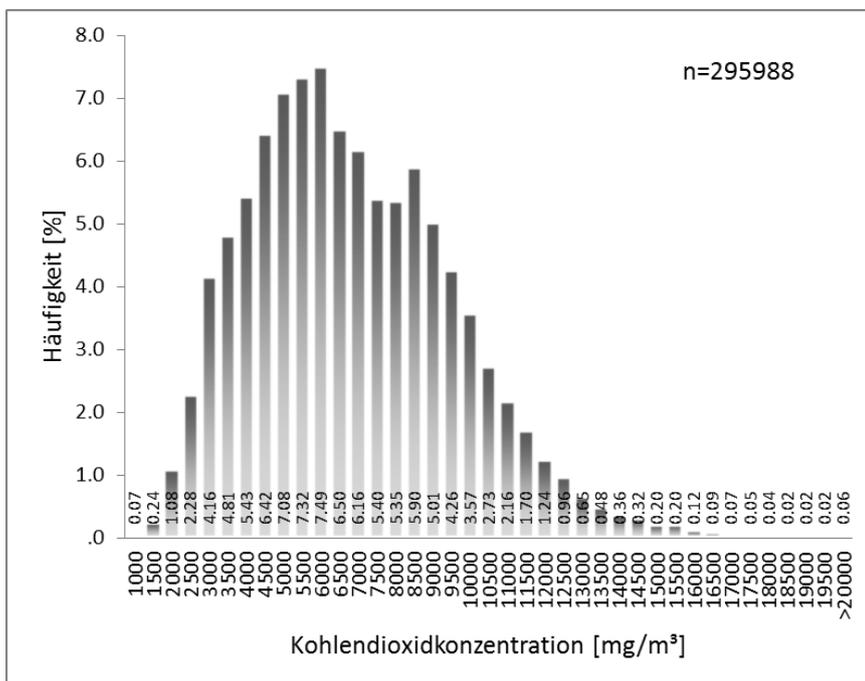
**Abbildung 66:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall



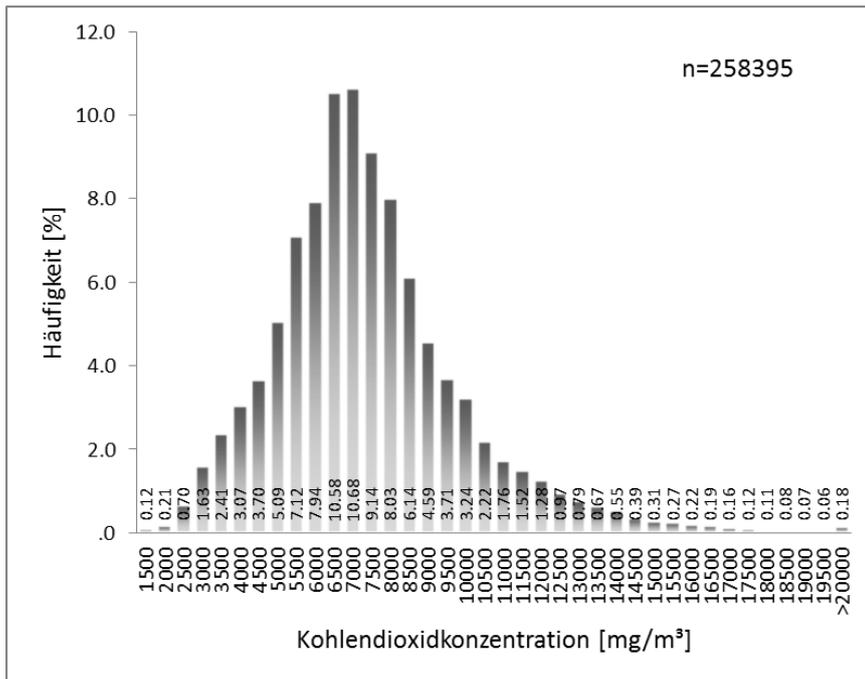
**Abbildung 67:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 68:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil

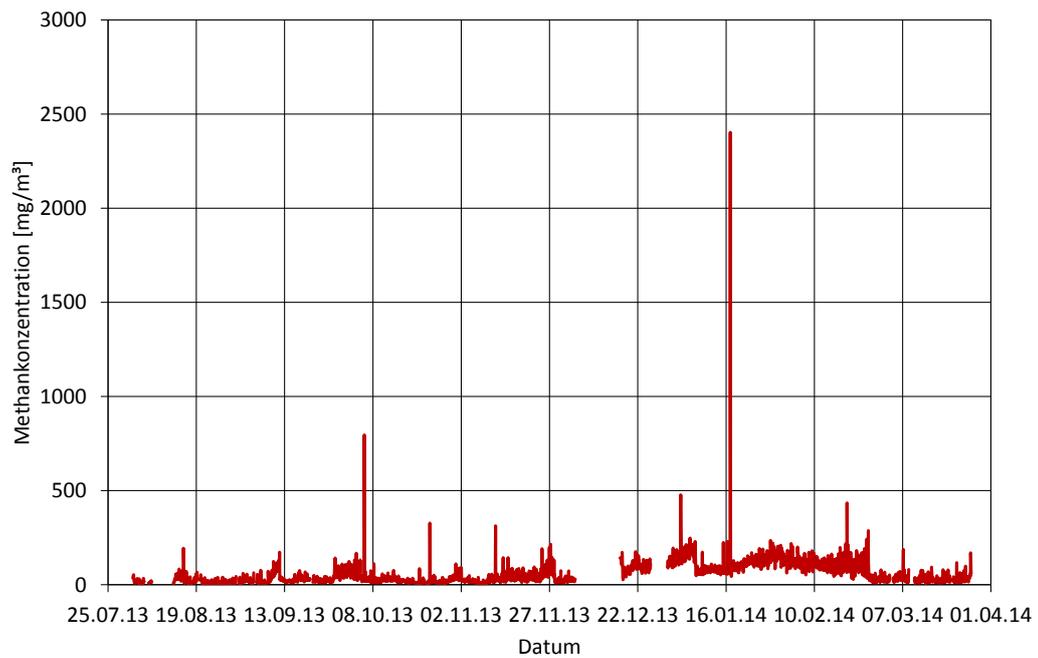


**Abbildung 69:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentration an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall

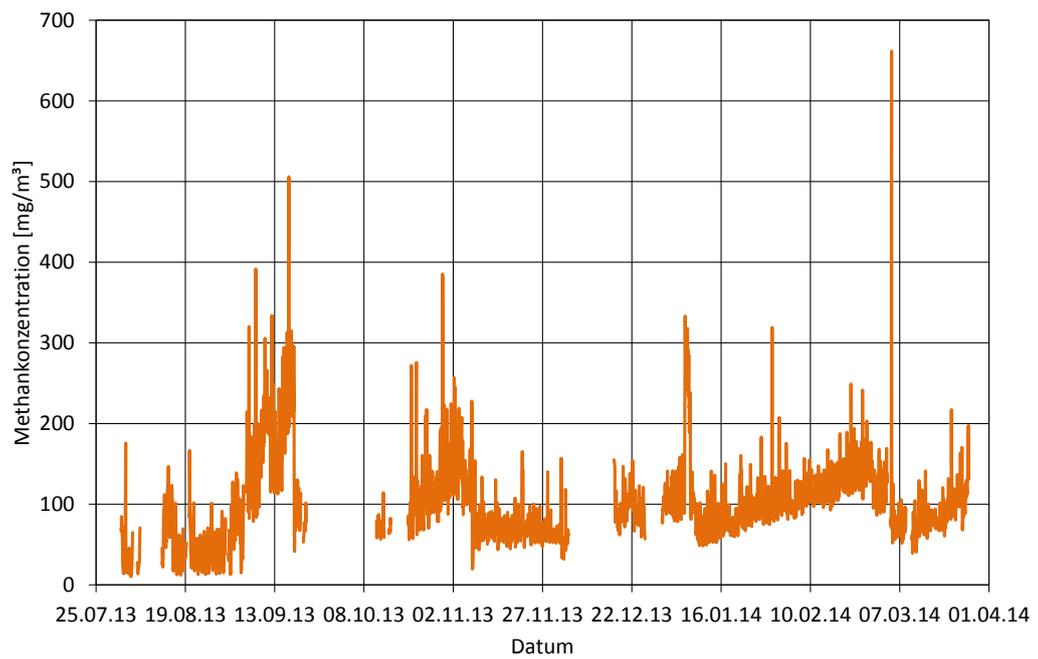


**Abbildung 70:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentration an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil

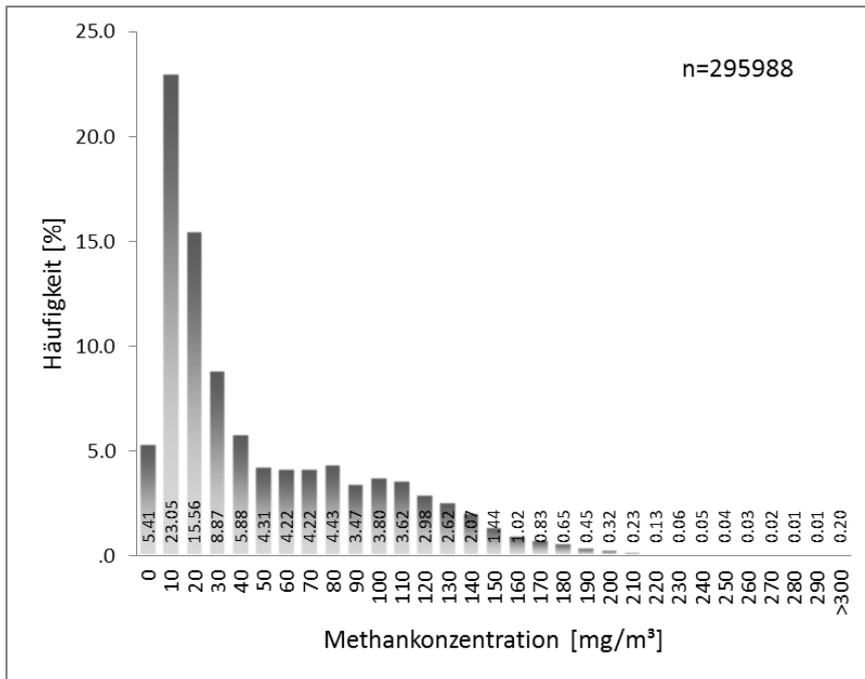
In der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung ist festgelegt, dass im Aufenthaltsbereich der Schweine  $5400 \text{ mg/m}^3$  ( $3000 \text{ ppm}$ ) nicht dauerhaft überschritten werden sollen. Im Zeitverlauf sieht man hingegen dauerhafte Überschreitungen in beiden Ställen und auch die Häufigkeiten zeigen  $68,4 \%$  Überschreitungen der  $5400 \text{ mg/m}^3$ . Die grundsätzlich gegensätzliche Ergebnisse  $\text{NH}_4$  und  $\text{CO}_2$  lassen vermuten, dass die vom Stallpersonal gewählten Lüftungsraten, die sich neben der Temperatur am Geruch (Ammoniak) orientieren, bei einer Luftführung die den Ammoniakübertritt aus dem Unterflurbereich in den Oberflurbereich minimiert, für die im Oberflurbereich entstehenden geruchsneutralen Schadgase bei niedrigen Winterlüftraten nicht ausreicht. Dies liegt vermutlich an der zu gering gehaltenen Lüftungsrate im Versuchsabteil. Im Kontrollabteil liegt dieser Anteil mit über  $83\%$  noch höher (Abb. 70). Dies entspricht für diesen Bereich auch den Ergebnissen des bei Ammoniak. Die gewählten Lüftraten, die sich am Verhalten der Schweine orientierten, waren für die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte im Winter zu niedrig. Grundsätzliche gesundheitliche Problem für die Tiere waren hieraus aber nicht abzuleiten.



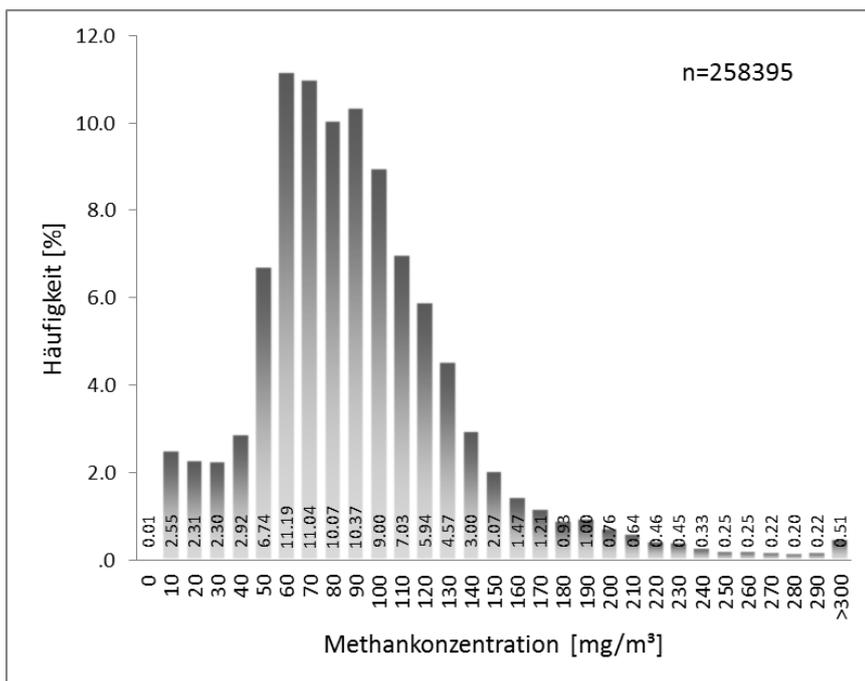
**Abbildung 71:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 72:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil



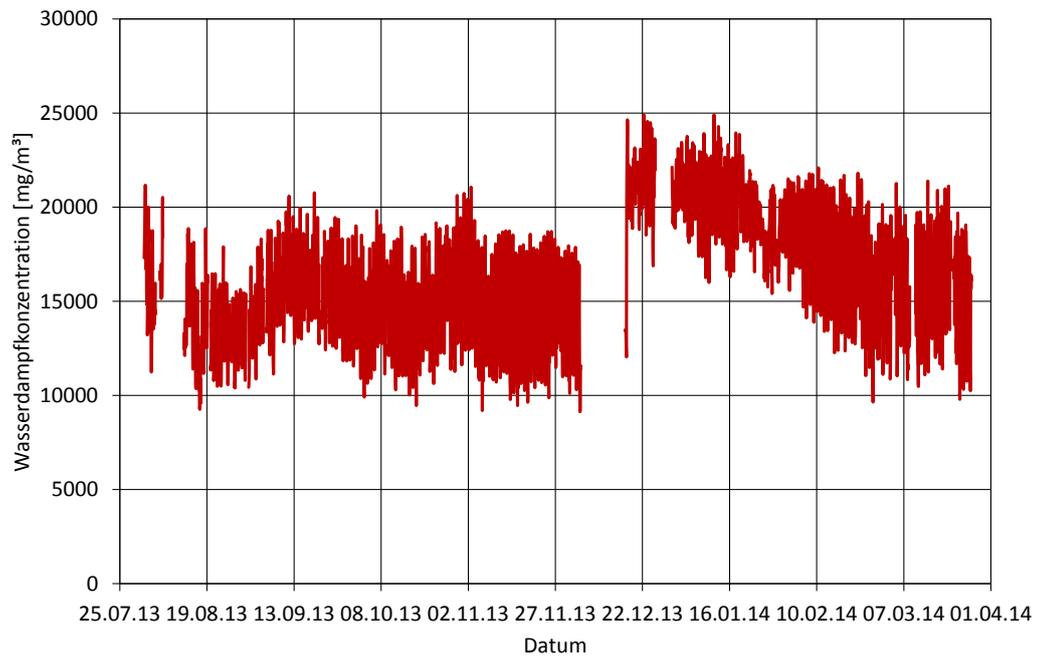
**Abbildung 73:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentration an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



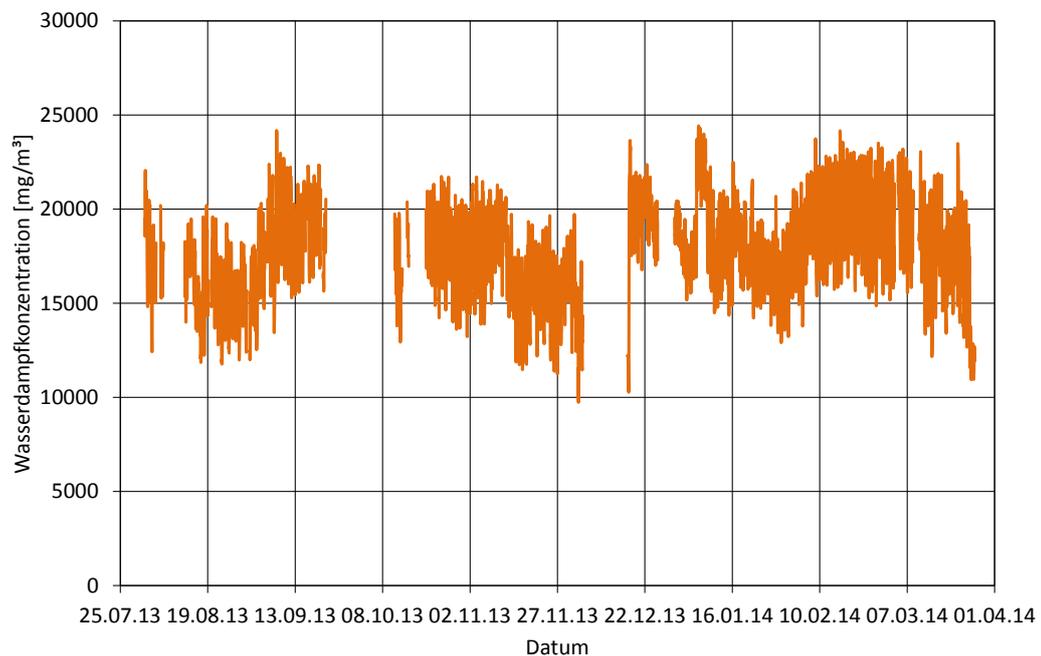
**Abbildung 74:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentration an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil

Etwa 44 % der Methankonzentrationen des Versuchsstalles in 30 cm Höhe lagen im Messzeitraum unter 30 mg/m<sup>3</sup>, im Kontrollstall liegt dieser Wert bei nur 7,2 %. Der Wasserdampf an Positionen 2 und 9 ist über den gesamten Messzeitraum schwan-

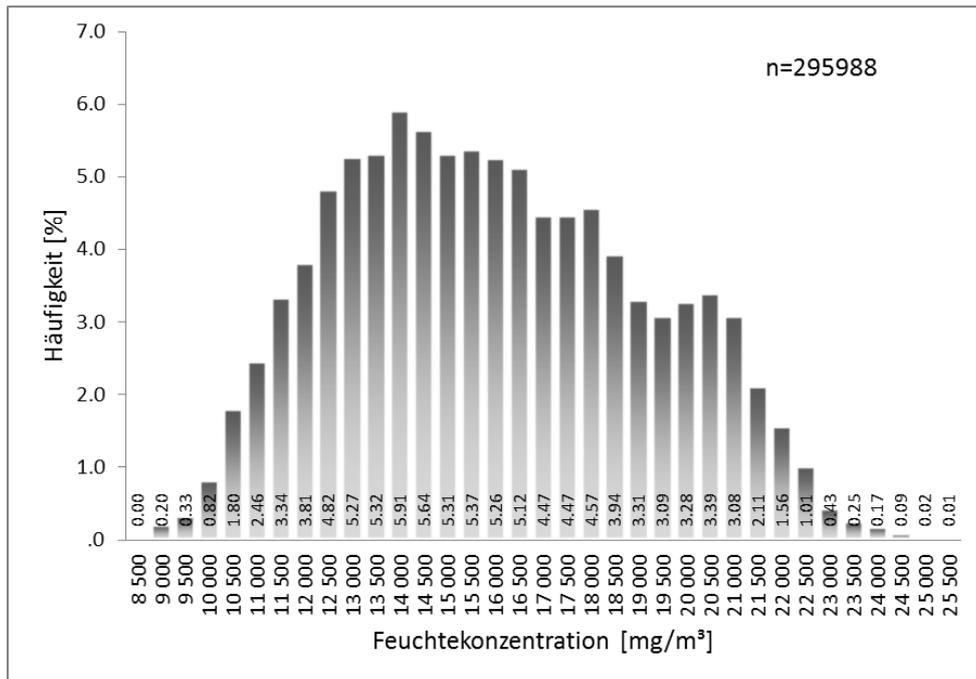
kungsarm wie der Zeitverlauf der Abbildungen 73 und 74 zeigen. Auch die Häufigkeiten sind homogen über einen breiten Klassenbereich verteilt (Abb. 75/76).



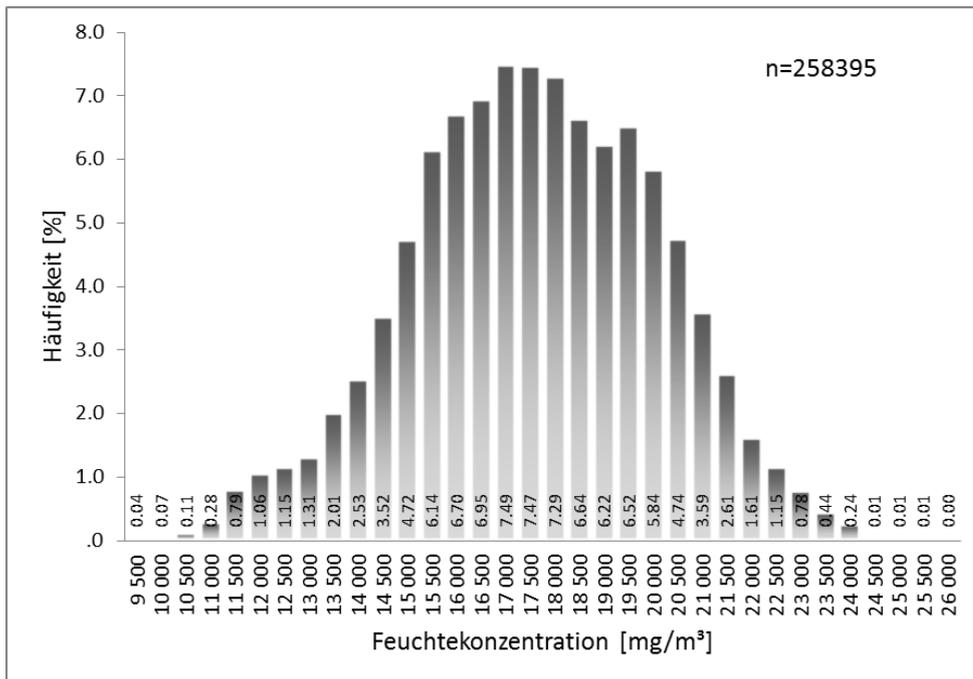
**Abbildung 75:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 76:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollabteil



**Abbildung 77:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 2 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Versuchsstall



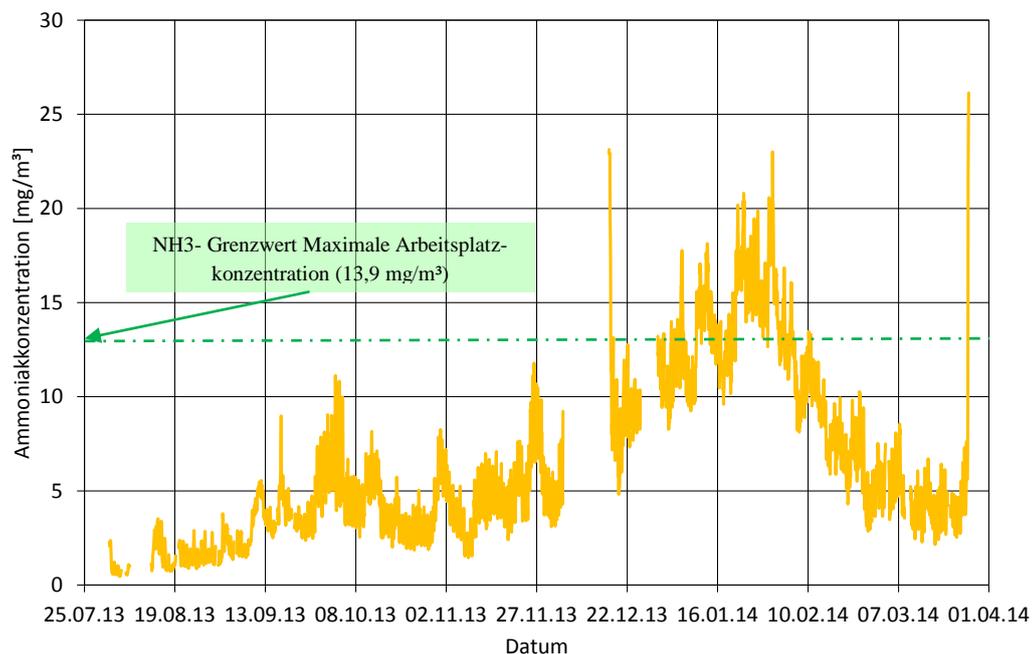
**Abbildung 78:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 9 Tierbereich Höhe 30cm über Spaltenboden Kontrollstall

## Konzentrationen 150 cm über den Spaltenboden

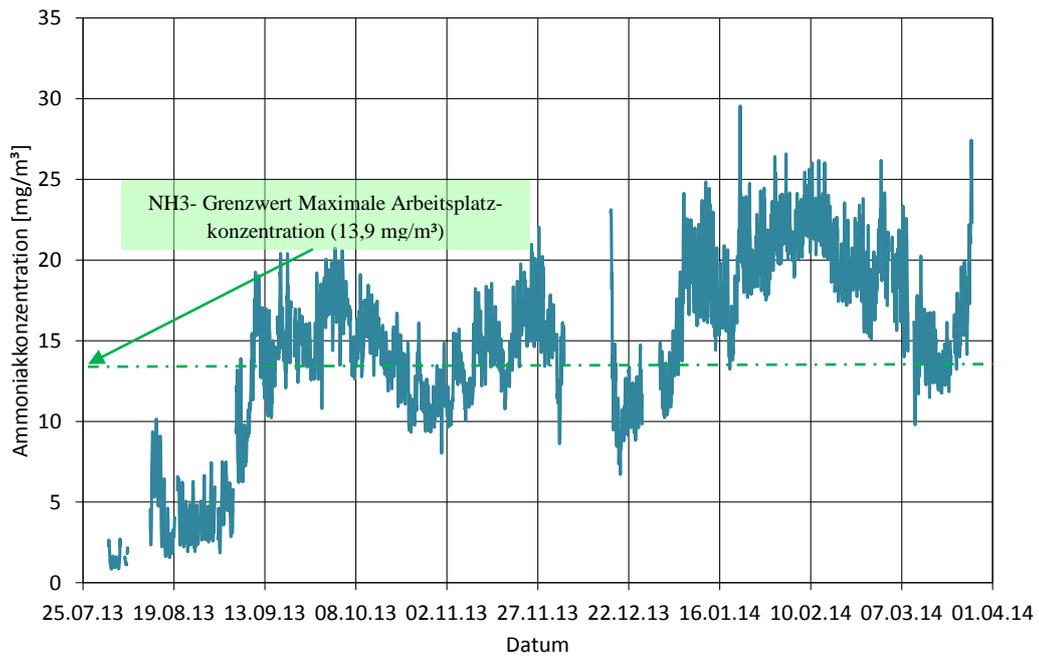
Position 3 kann für das Versuchsabteil als Bezugspunkt für die laut Deutscher Forschungsgemeinschaft (DFG) genannten Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Wert) für Ammoniak und Kohlendioxid benannt werden. Denn die 150 cm Höhe über Spaltenboden ist der Atembereich des im Stall arbeitenden Menschen. Gemäß DFG ist der MAK-Wert die höchstzulässige Konzentration eines Gases in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich 8-stündiger Exposition, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt. Der MAK-Wert für Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) beträgt  $13,9 \text{ mg/m}^3$  und für Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )  $9100 \text{ mg/m}^3$

Wie in folgender Abbildung 79 zu erkennen ist, werden die  $13,9 \text{ mg/m}^3$  nur zu Beginn der zweiten Mast mit geringen Volumenströmen im Versuchsstall überschritten. Im Verlauf der ersten Mast traten hier keine Überschreitungen auf. Im Kontrollstall traten dagegen in beiden Mastperioden deutliche Überschreitungen auf (Abb. 80).

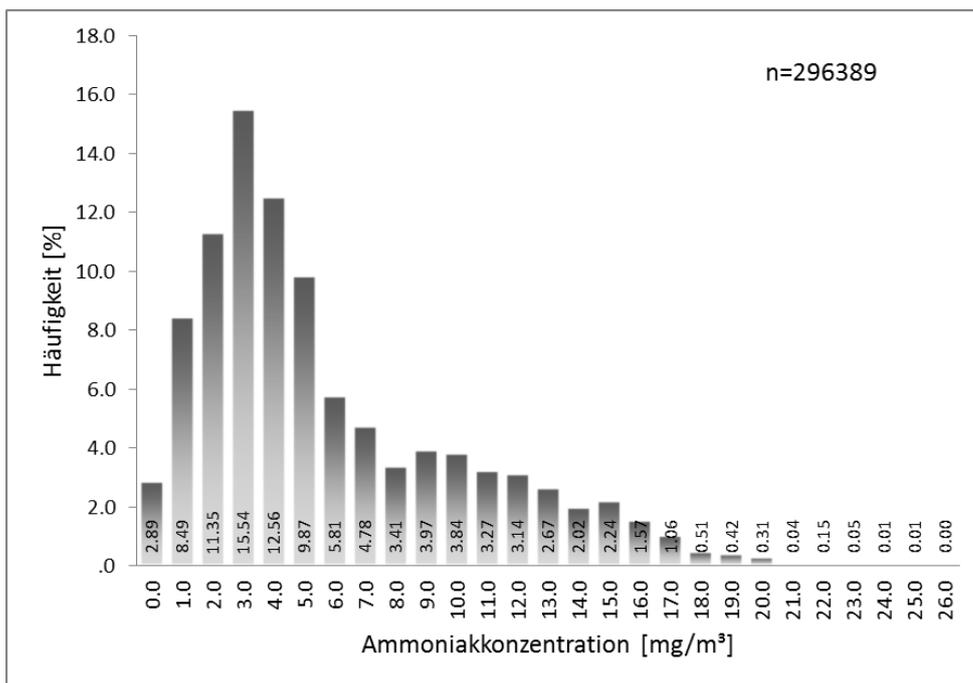
Wie die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 47 zeigt, lagen 8 % der Werte aus dem Versuchsstall des gesamten Messzeitraums über dem Grenzwert von  $13,9 \text{ mg/m}^3$ , Im Kontrollstall betrug dieser Anteil dagegen 59.3% (Abb. 81).



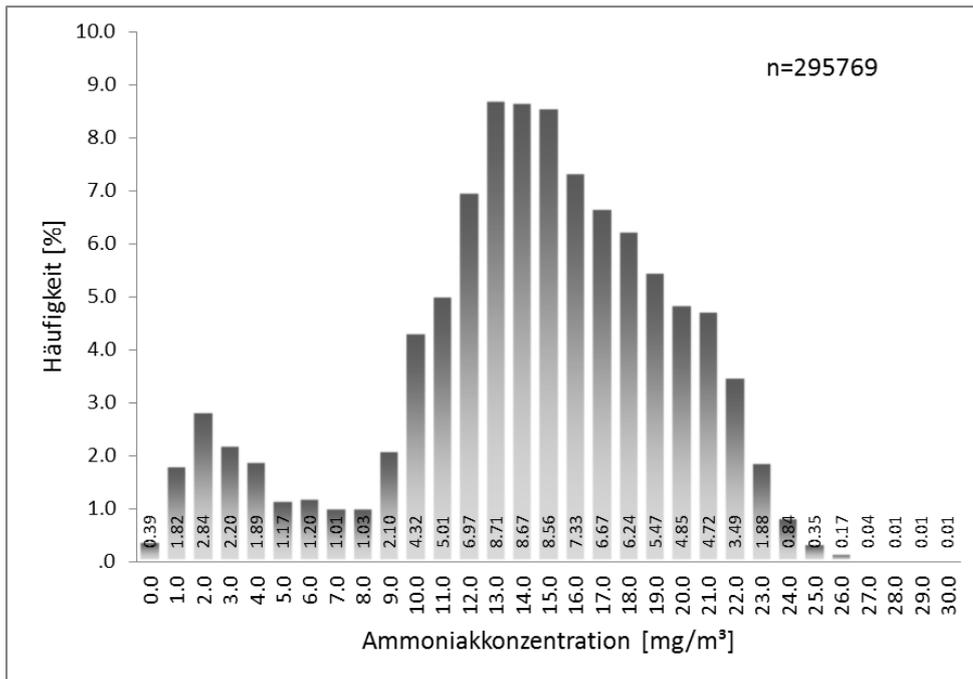
**Abbildung 79:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



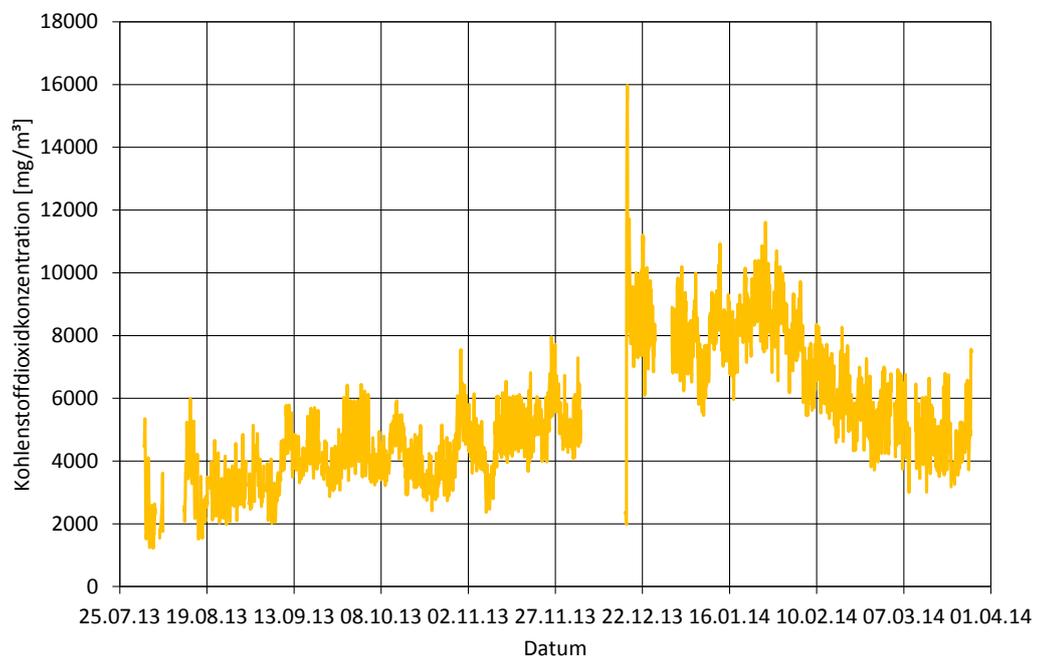
**Abbildung 80:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall



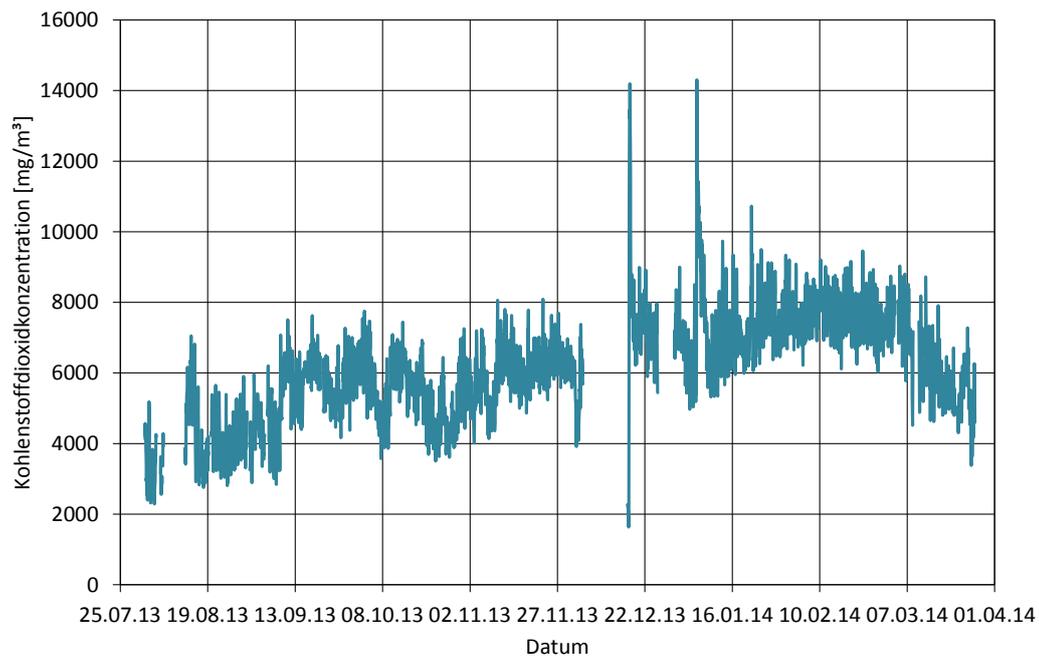
**Abbildung 81:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 82:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall

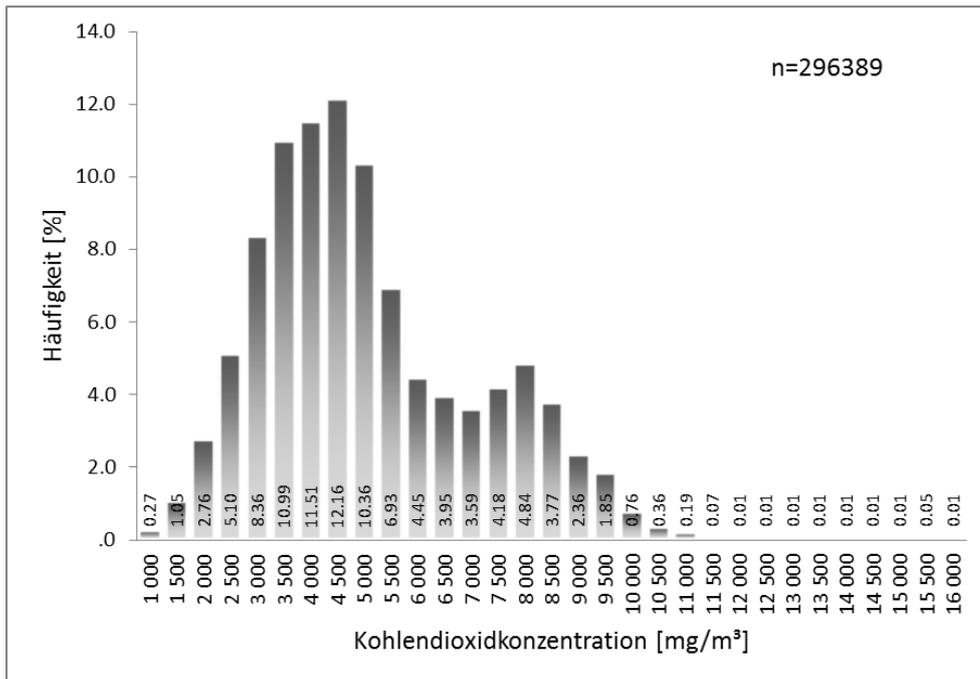


**Abbildung 83:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall

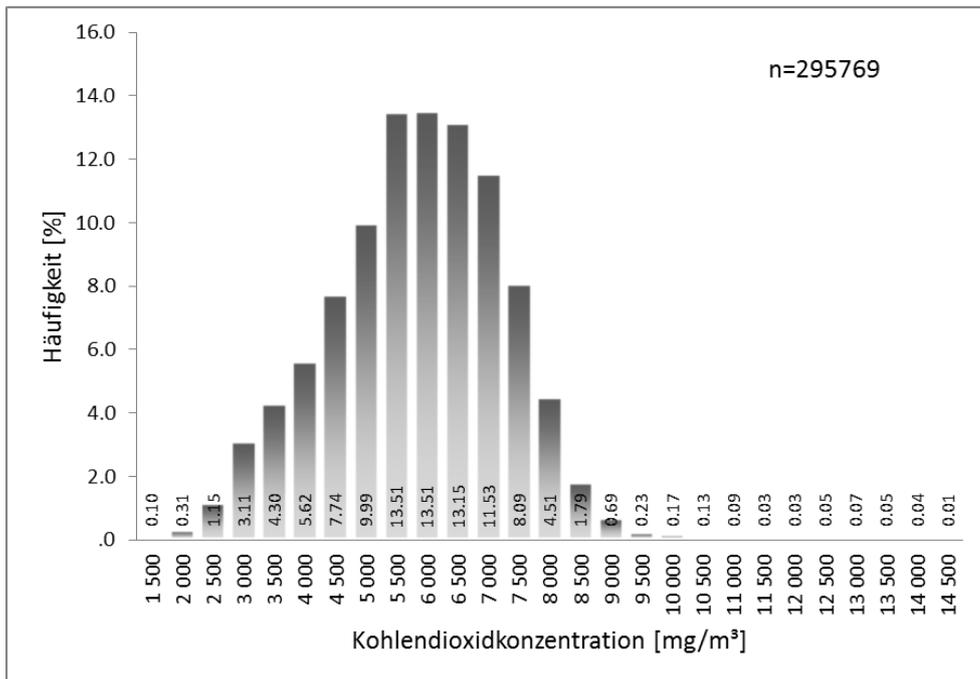


**Abbildung 84:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall

Die laut Deutscher Forschungsgemeinschaft (DFG) genannten Maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) für Kohlendioxid von 9100 mg/m<sup>3</sup> (5000 ppm) wird nur zu Beginn der zweiten Mast überschritten. Dies liegt vermutlich an der zu diesem Zeitpunkt zu gering gehaltenen Lüftungsrate im Versuchsabteil. Im Kontrollstall treten nur sporadisch Überschreitungen auf (Abb. 84).

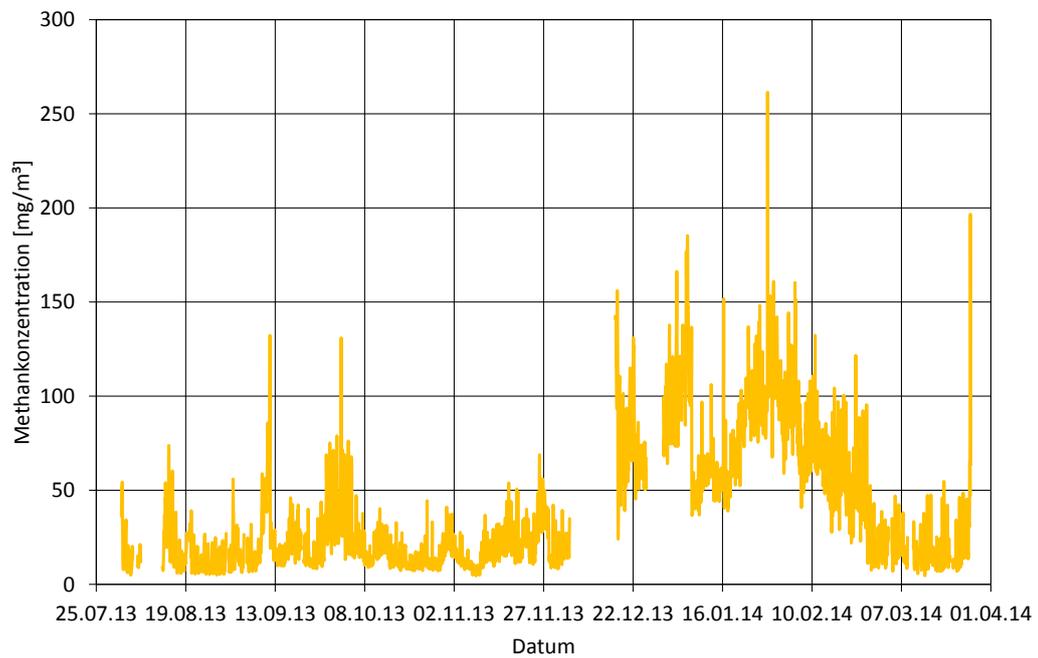


**Abbildung 85:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall

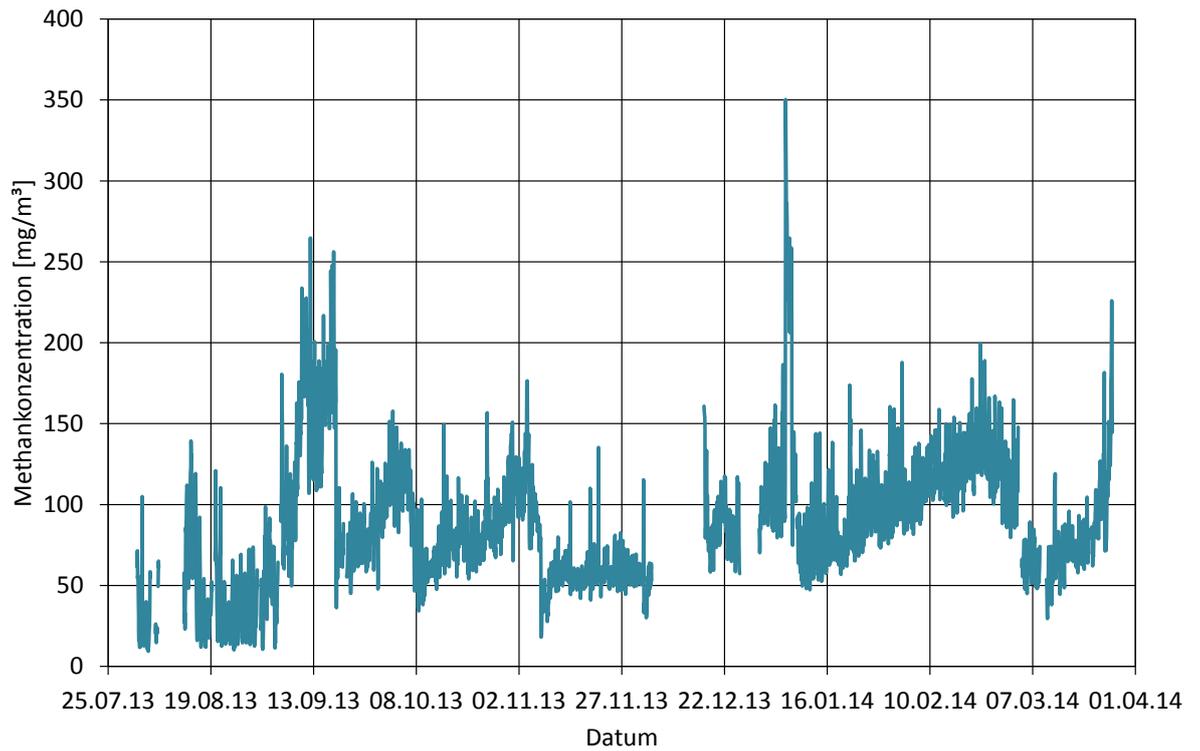


**Abbildung 86:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollabteil

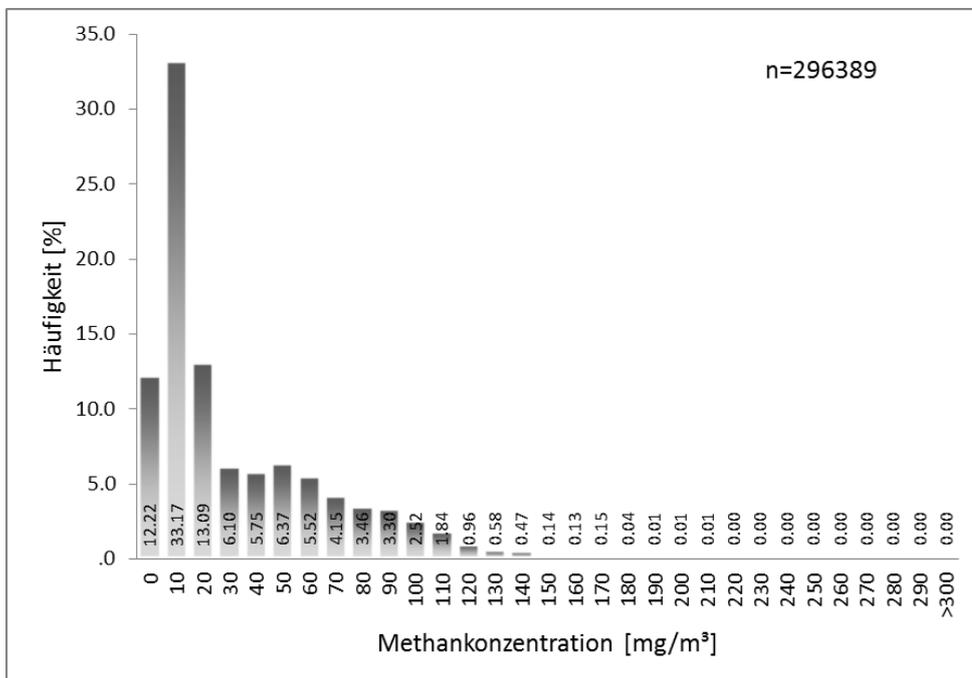
Die Häufigkeiten zeigen nur 5,7 % Überschreitungen über 9100 mg/m<sup>3</sup> im Versuchsstall (Abb. 85), während im Kontrollstall der Anteil Überschreitungen nur bei 0,9% liegt (Abb. 86).



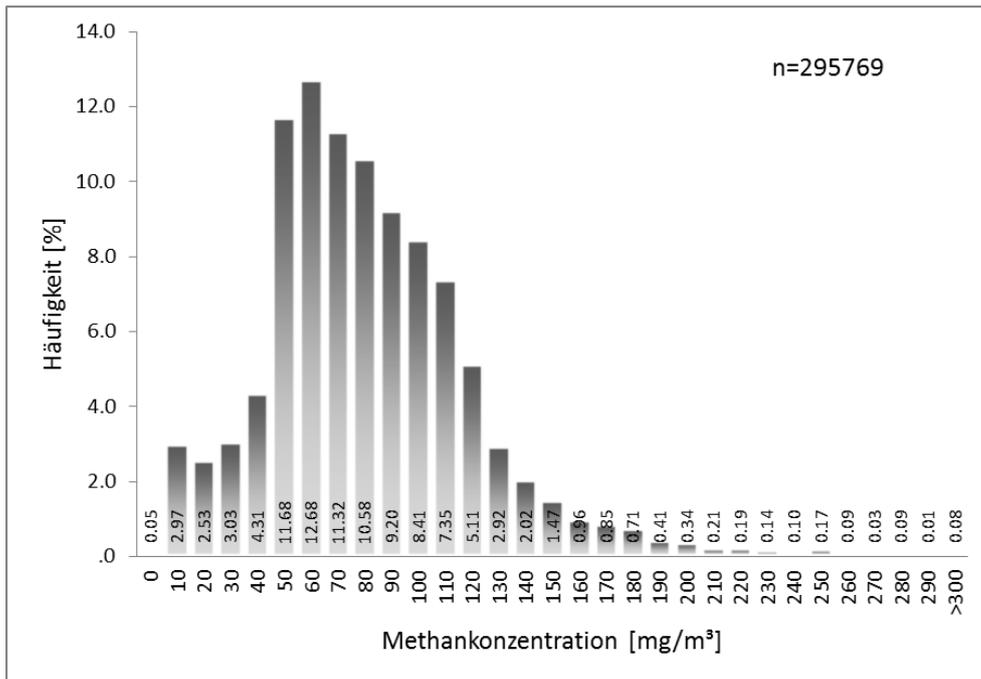
**Abbildung 87:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 88:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall



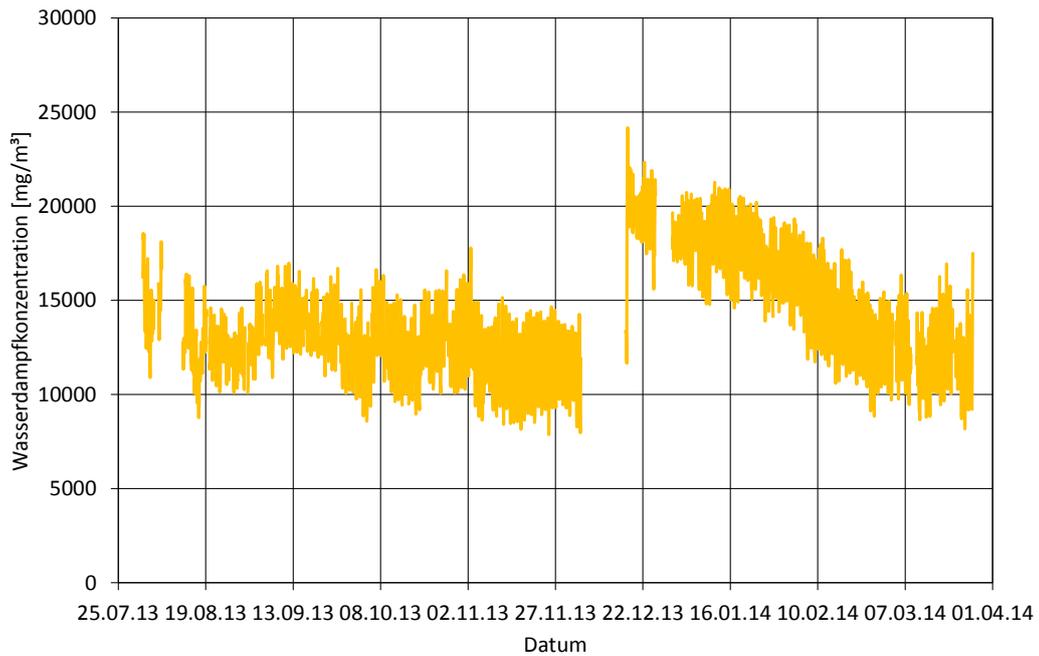
**Abbildung 89:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



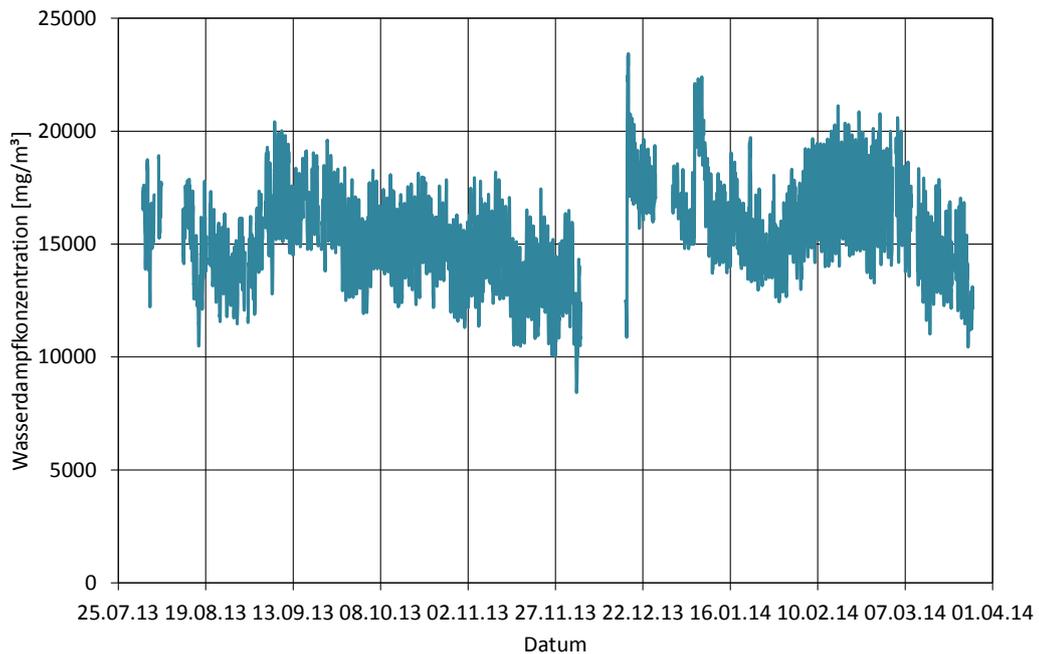
**Abbildung 90:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall

Etwa 59 % der Methankonzentrationen lagen im Messzeitraum unter 30 mg/m<sup>3</sup> (Abb. 89), während im Kontrollstall über 90% der Werte darüber lagen (Abb. 90).

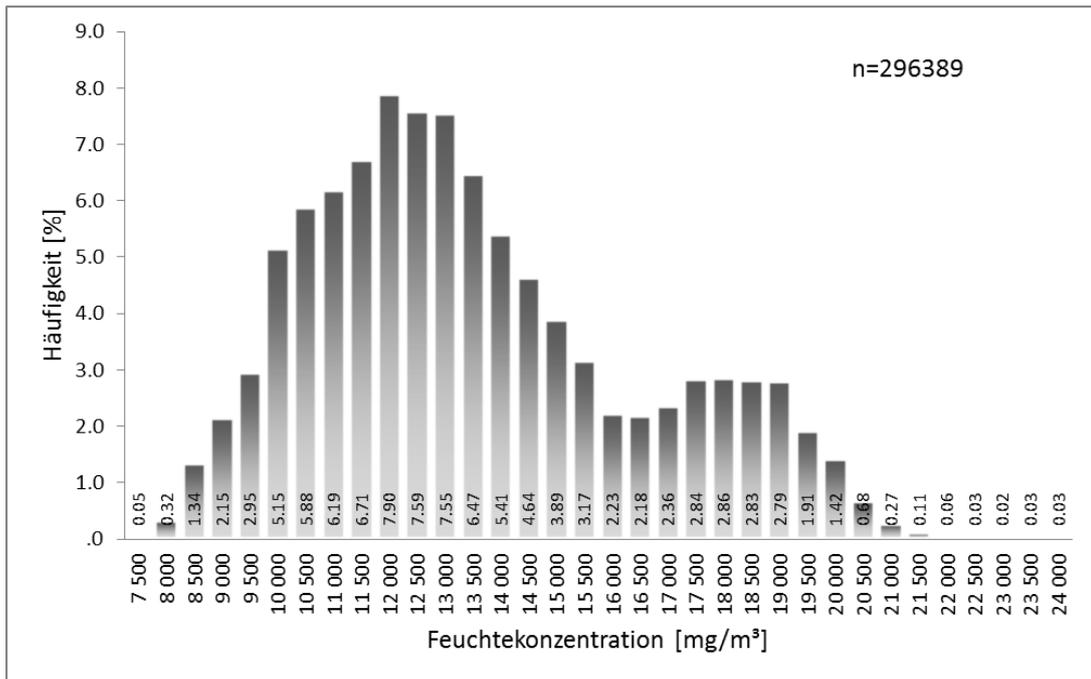
Der Wasserdampf an Position 3 ist über den gesamten Messzeitraum schwankungsarm wie der Zeitverlauf zeigt. Auch die Häufigkeiten sind homogen über einen breiten Klassenbereich verteilt (Abb. 91 – 94).



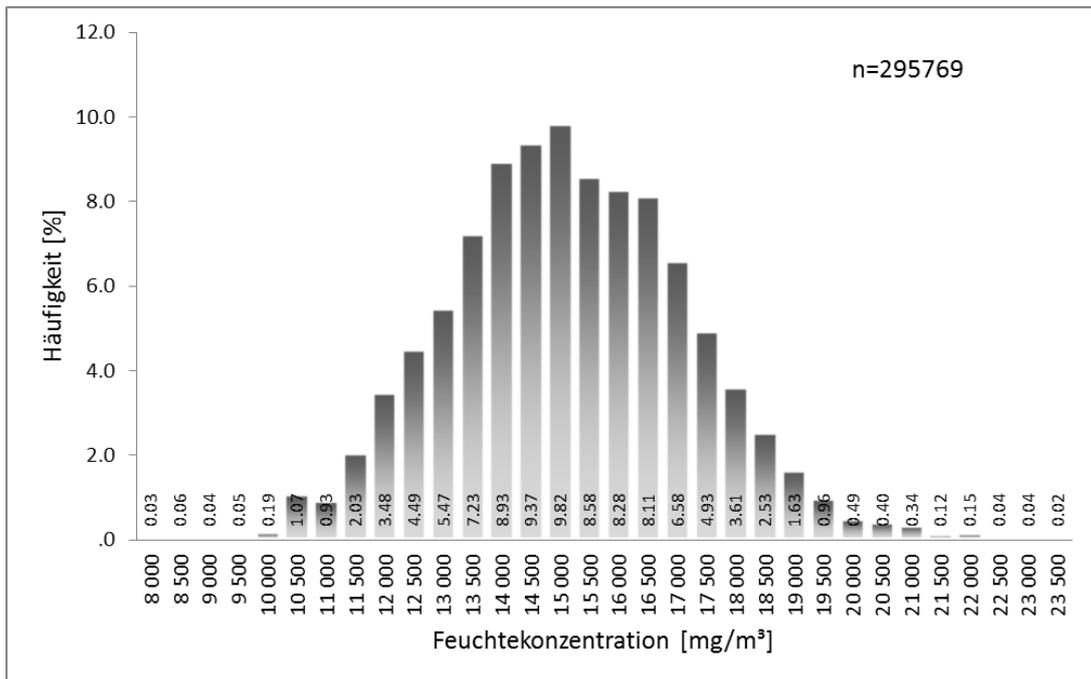
**Abbildung 91:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



**Abbildung 92:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollabteil



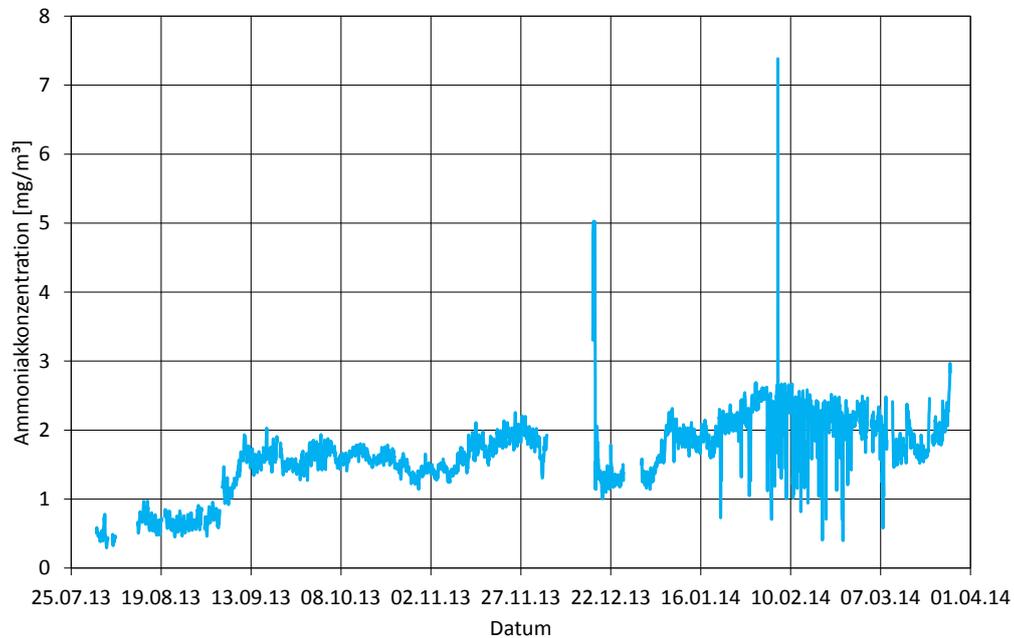
**Abbildung 93:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 3 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Versuchsstall



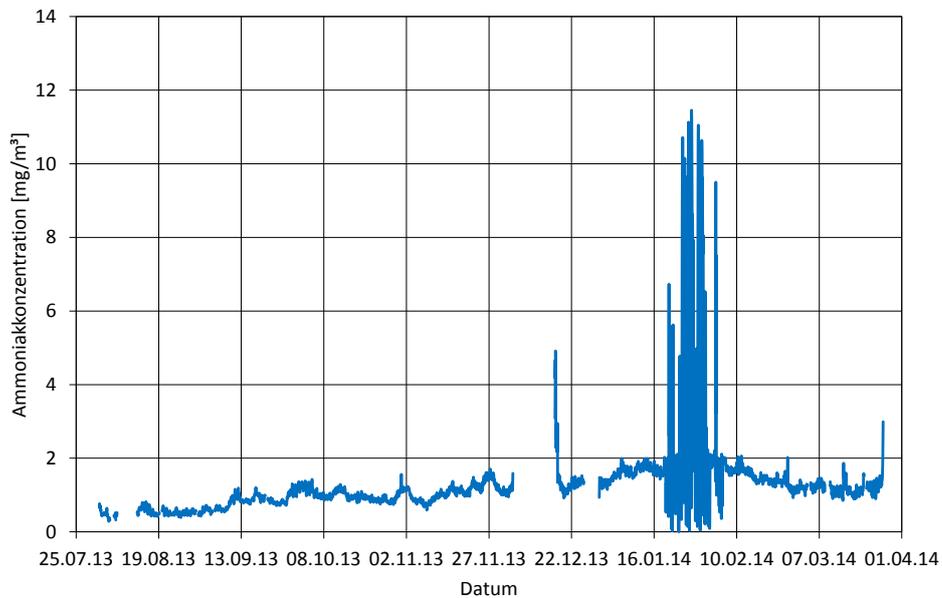
**Abbildung 94:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 10 Tierbereich Höhe 150cm über Spaltenboden Kontrollstall

## Konzentrationen im Zuluftbereich (Vorbelastung)

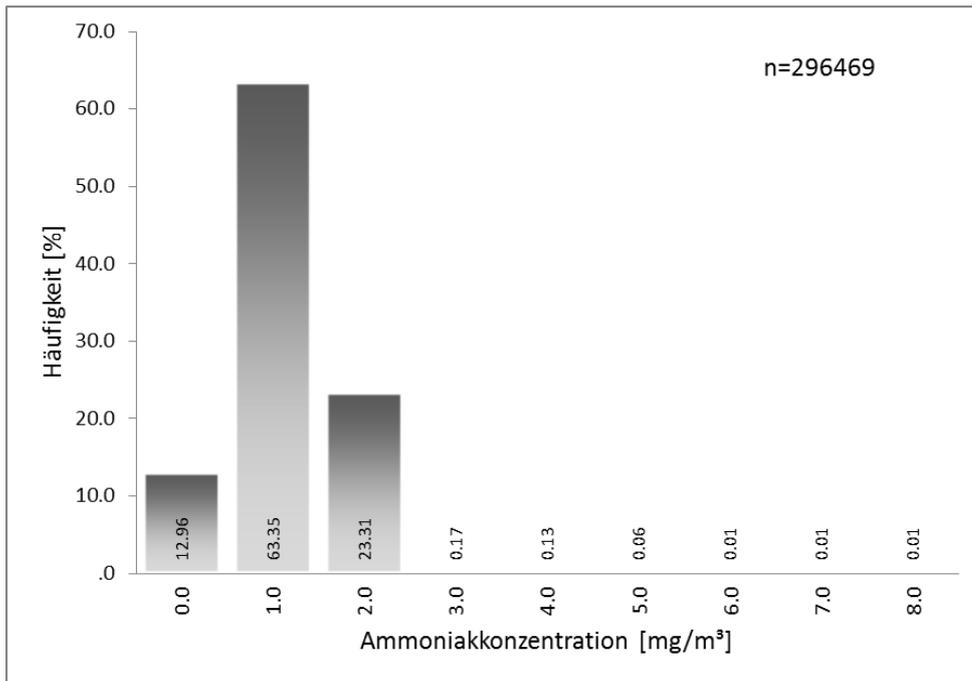
Im nachfolgenden werden die Vorbelastungen (Konzentrationen) im Zuluftbereich dargestellt. Die Messung dessen ergab sich aus der Notwendigkeit, dass im unmittelbaren Umfeld der Anlage ein Schweinemaststall mit einer Kapazität von 6.000 Tierplätzen (normale Oberflurentlüftung) vorhanden ist.



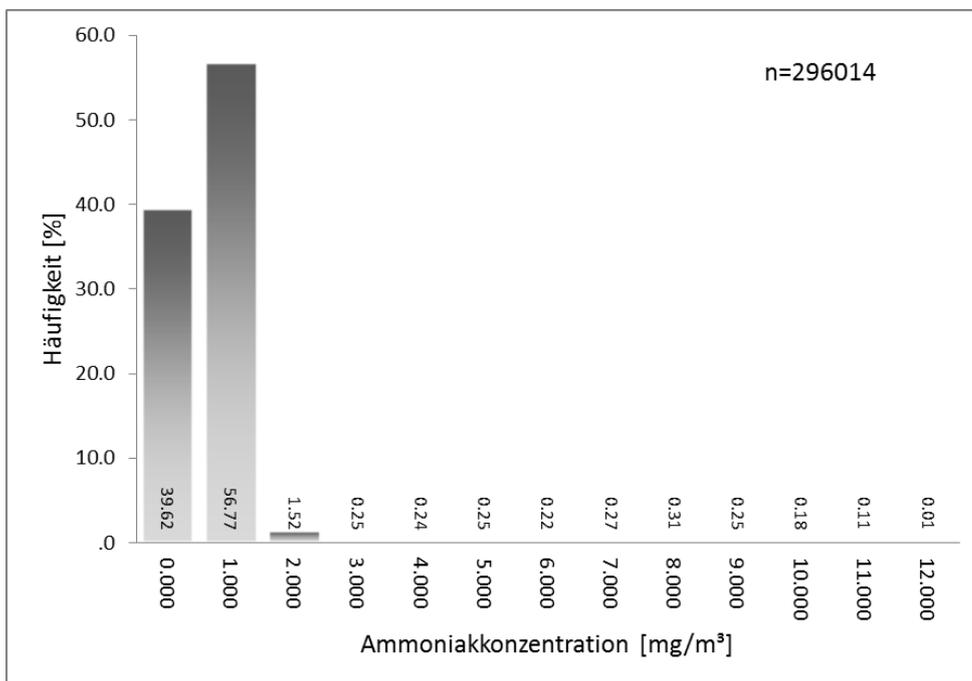
**Abbildung 95:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



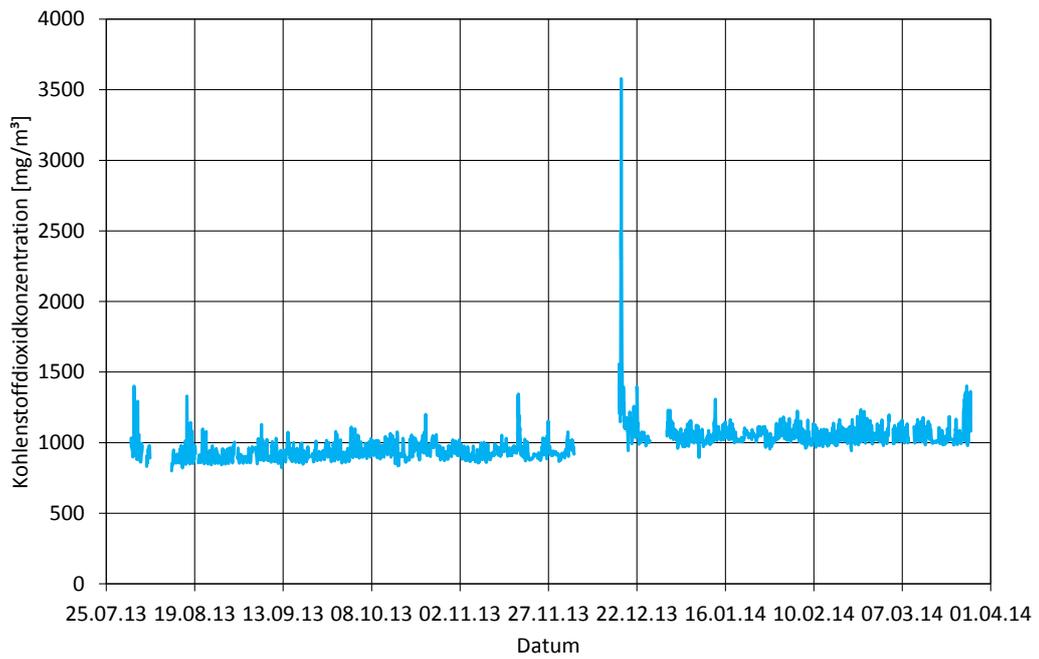
**Abbildung 96:** Konzentrationsverlauf von Ammoniak an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



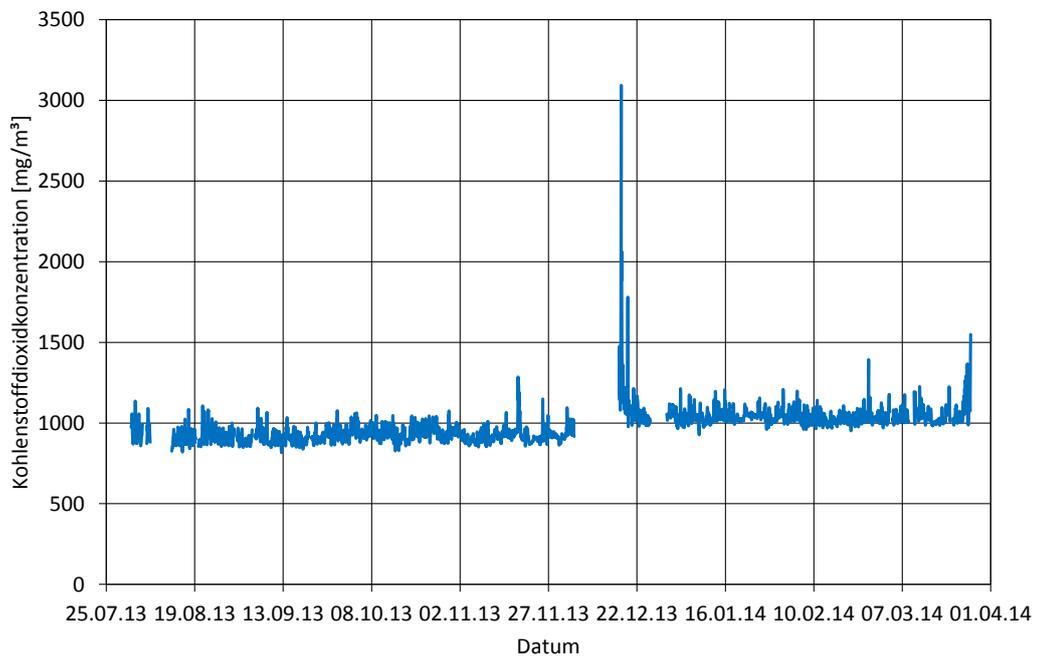
**Abbildung 97:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsbteil



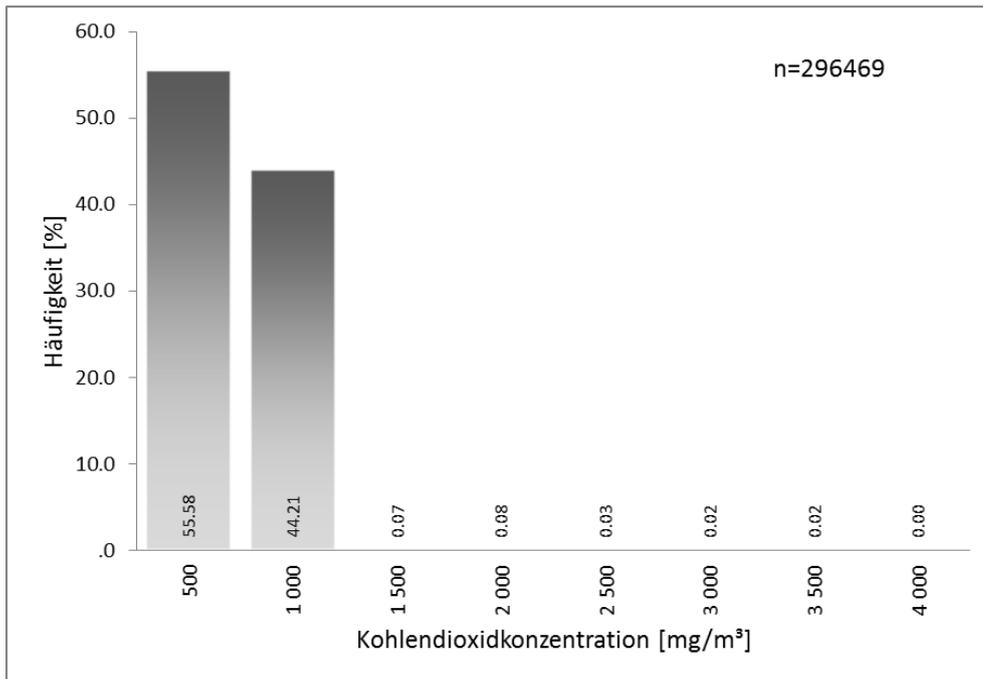
**Abbildung 98:** Häufigkeitsverteilung der Ammoniakkonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollstall



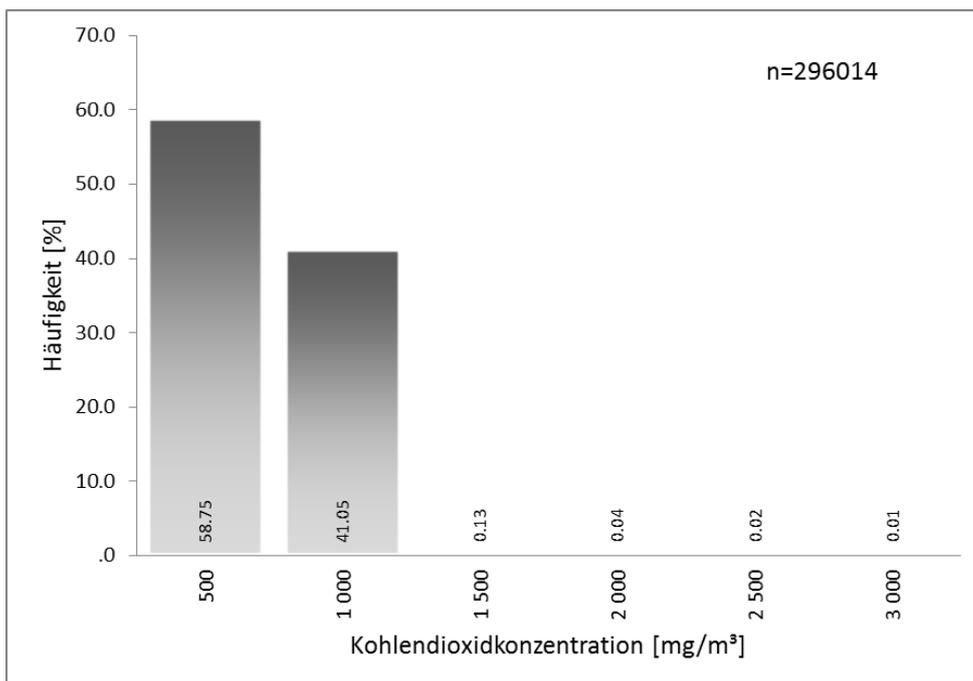
**Abbildung 99:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



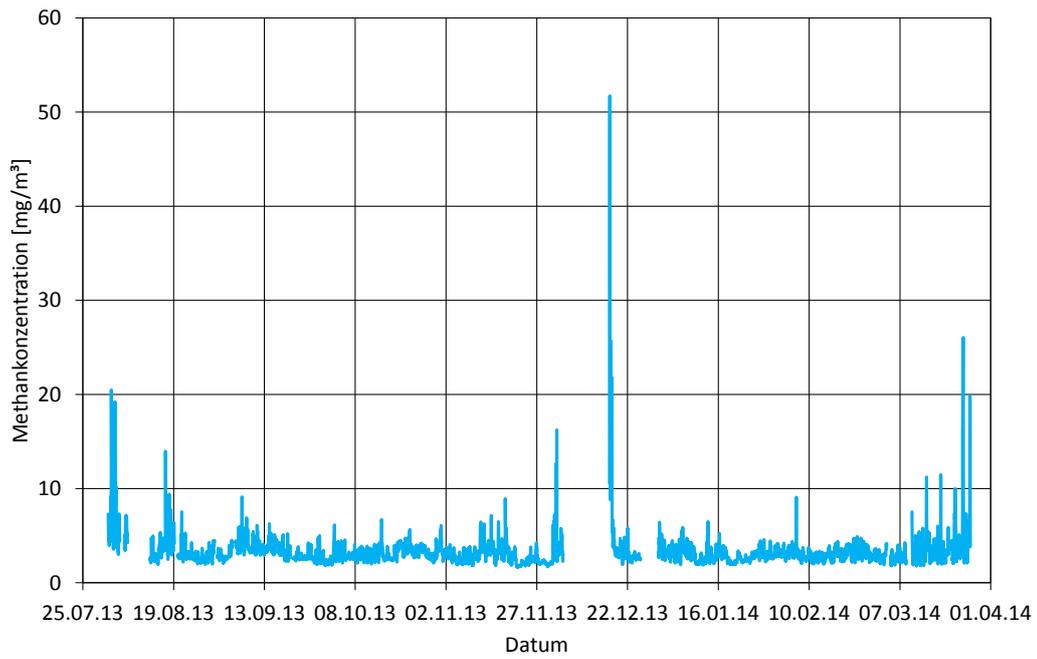
**Abbildung 100:** Konzentrationsverlauf von Kohlendioxid an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



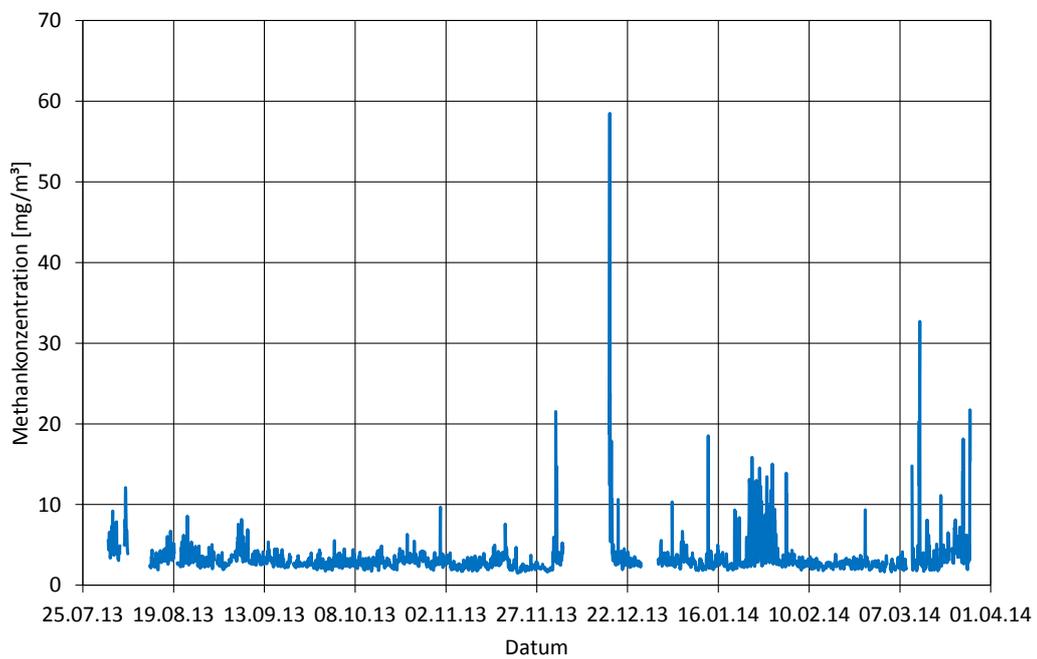
**Abbildung 101:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



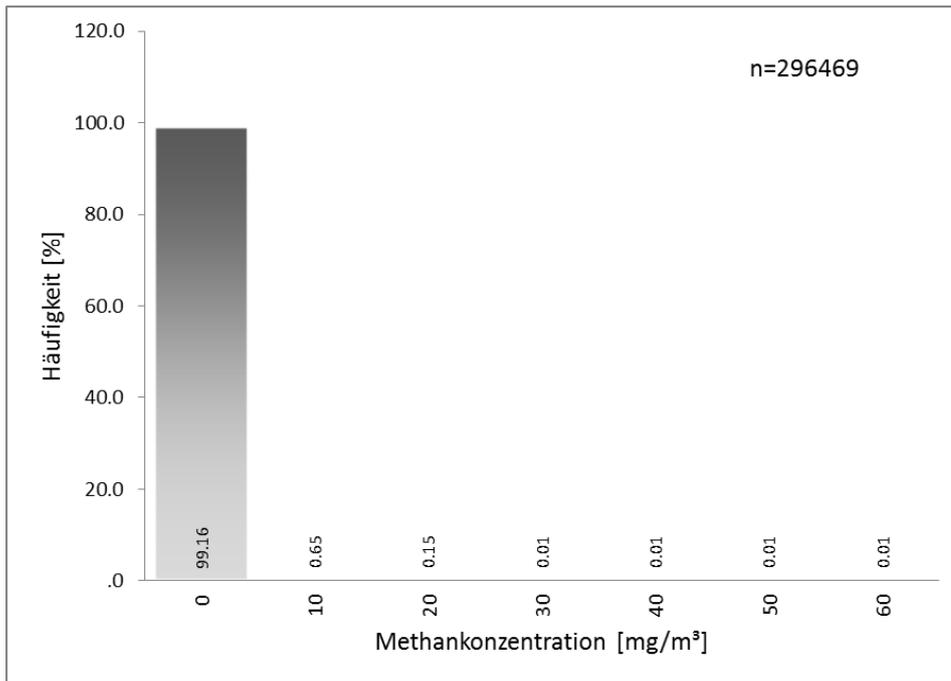
**Abbildung 102:** Häufigkeitsverteilung der Kohlendioxidkonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



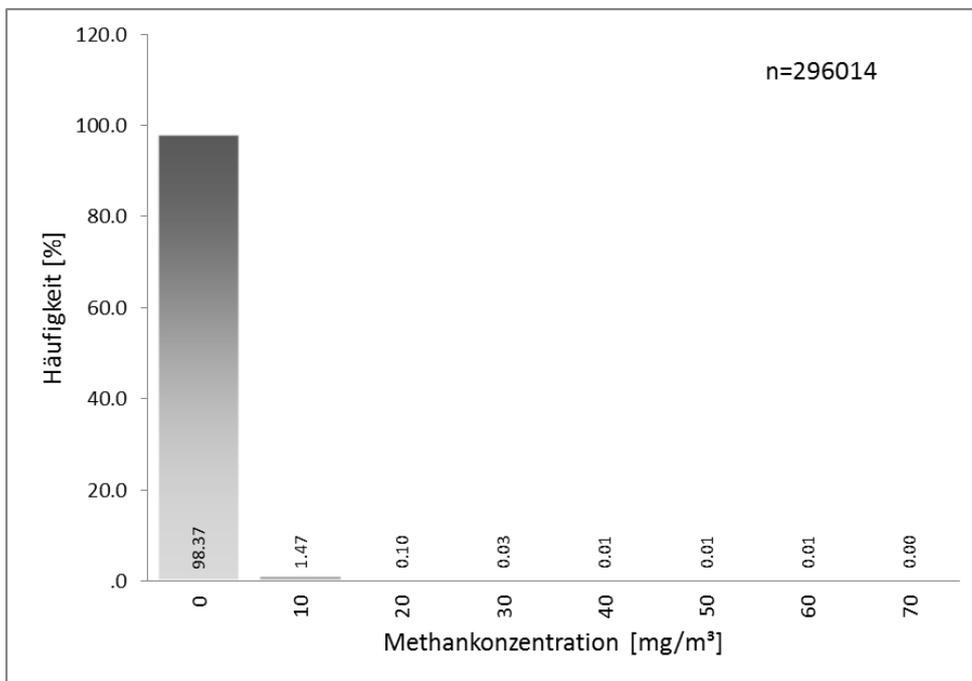
**Abbildung 103:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



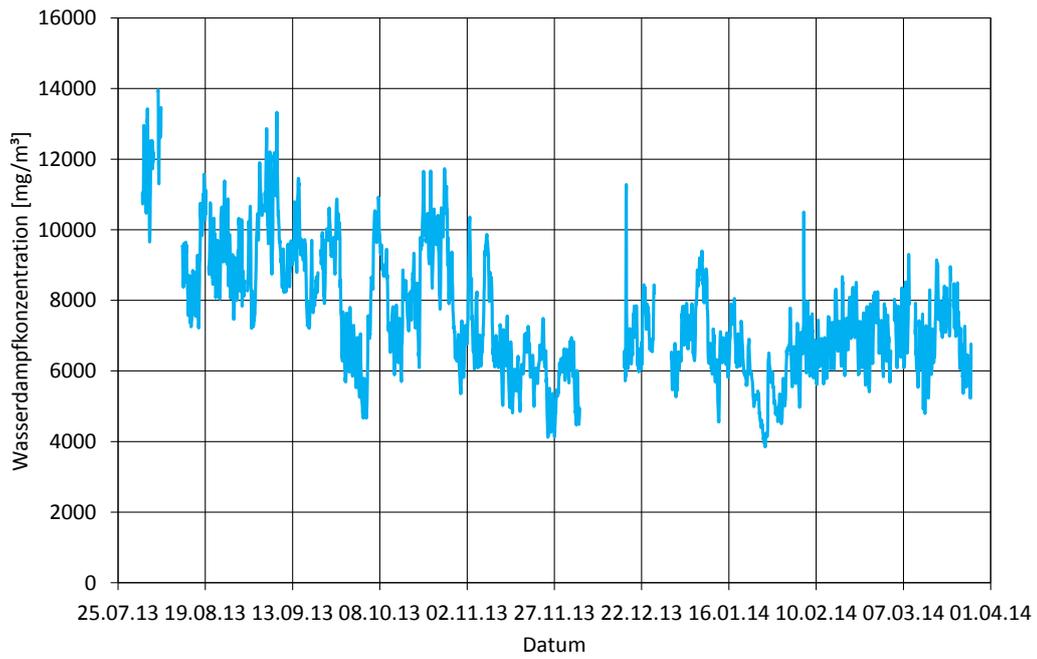
**Abbildung 104:** Konzentrationsverlauf von Methan an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



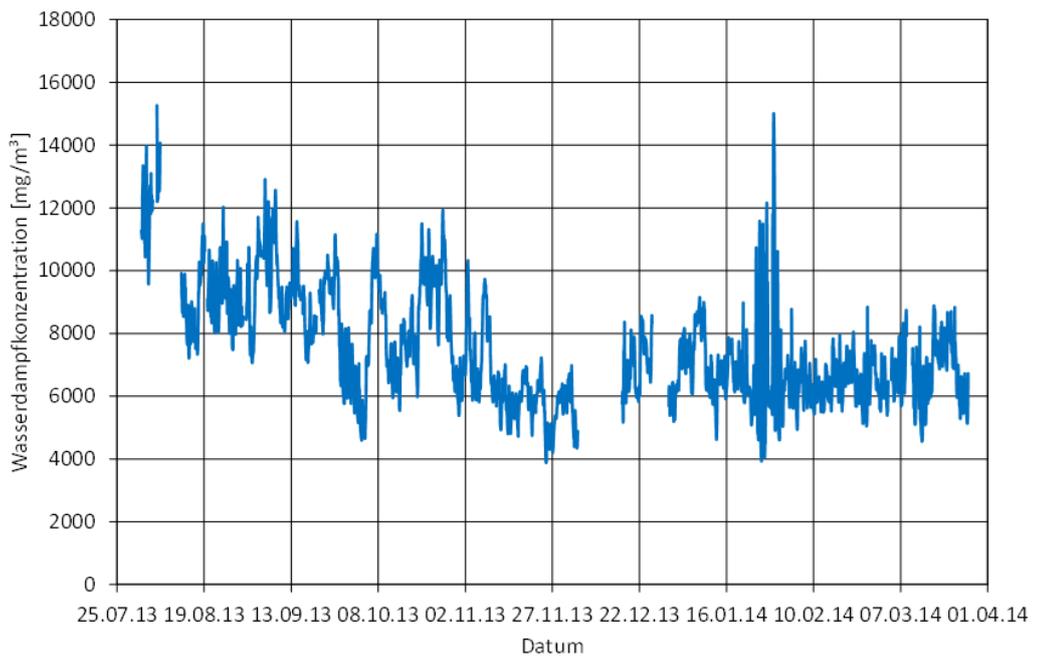
**Abbildung 105:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



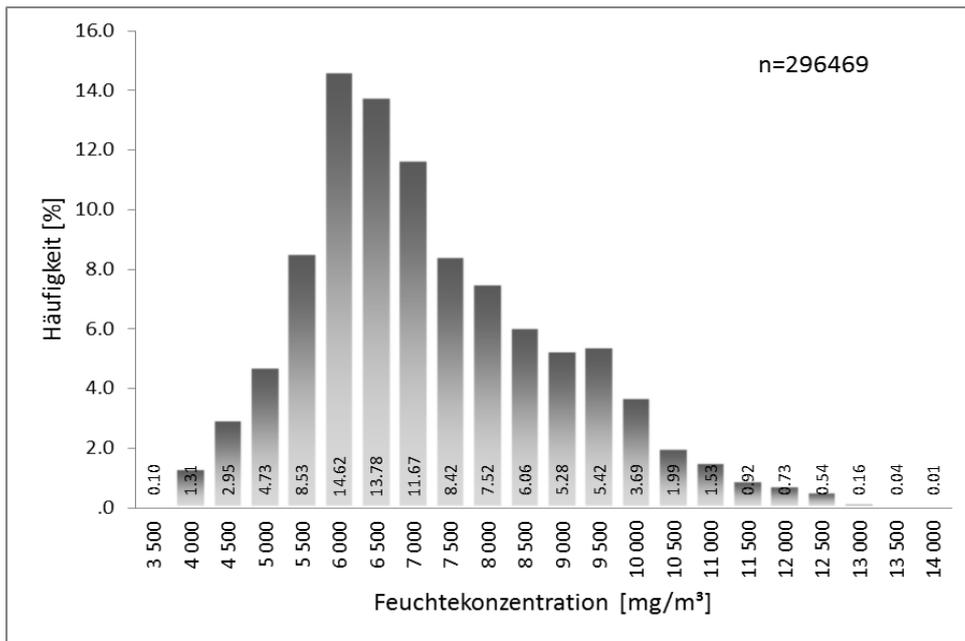
**Abbildung 106:** Häufigkeitsverteilung der Methankonzentrationen an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



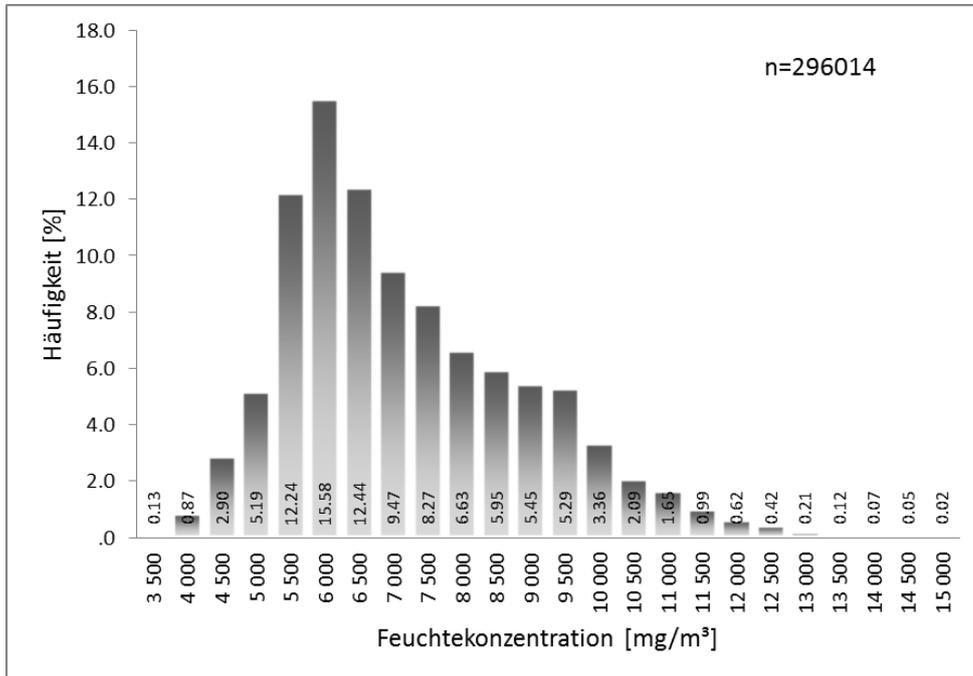
**Abbildung 107:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 7 Zuluft Versuchsabteil



**Abbildung 108:** Konzentrationsverlauf von Wasserdampf an Position 12 Zuluft Kontrollabteil



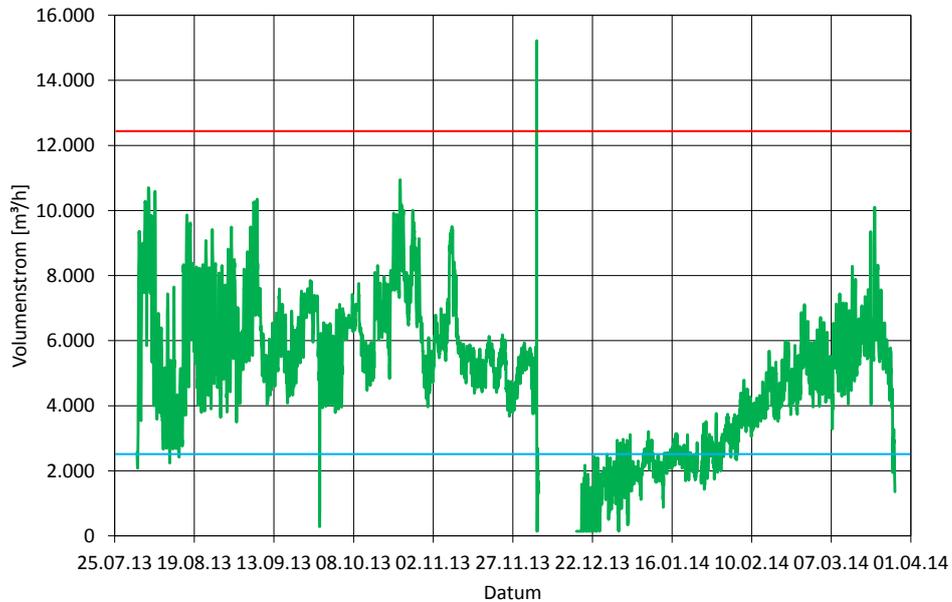
**Abbildung 109:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsausschnitt



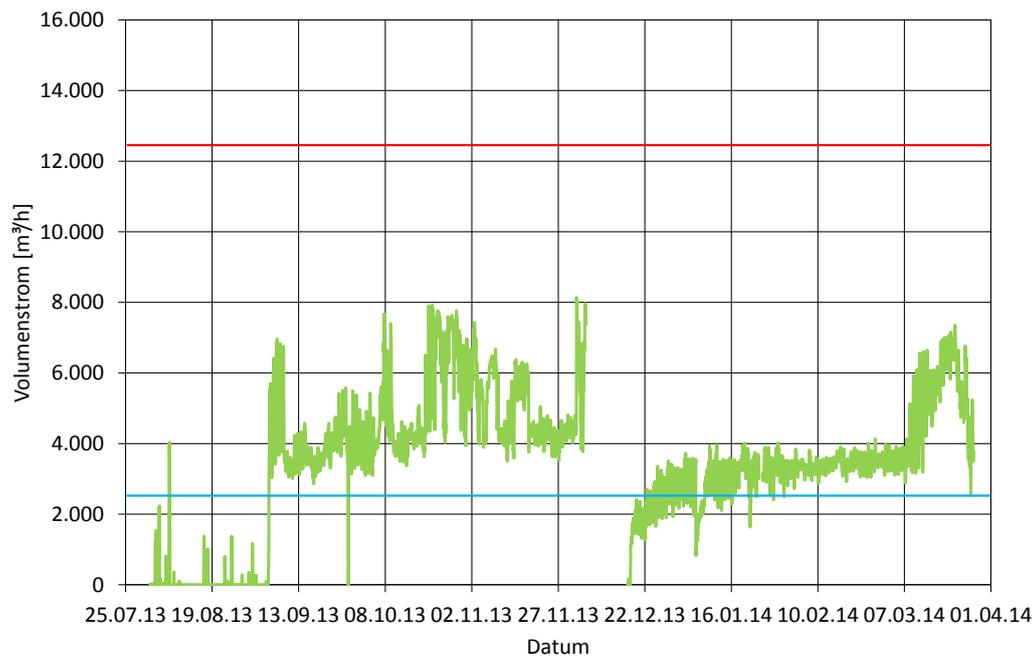
**Abbildung 110:** Häufigkeitsverteilung der Wasserdampfkonzentrationen an Position 7 Zuluft Versuchsausschnitt

## 4.2. Volumenströme

Der Volumenstrom beider Abteile verhielt sich im Zeitverlauf annähernd gleich. Abbildung 111 zeigt den Verlauf im Versuchsabteil, Abbildung 112 die im Kontrollabteil. In beiden Abbildungen ist die Mindestluftfrate blau und die Sommerluftfrate rot eingeblendet.

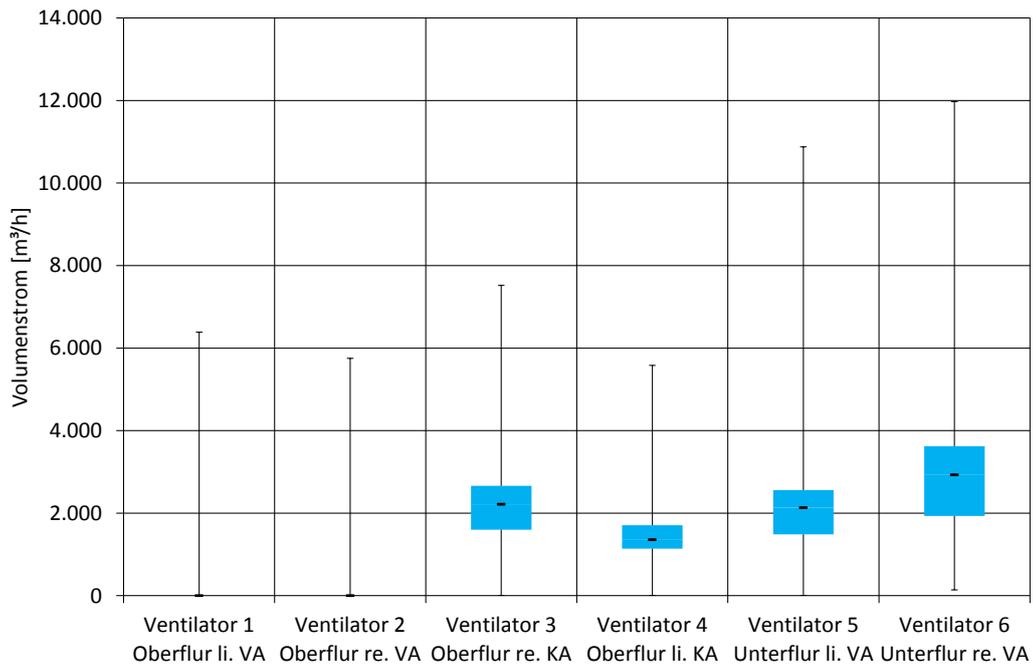


**Abbildung 111:** Gesamtabluftvolumenstrom aus dem Versuchsabteil



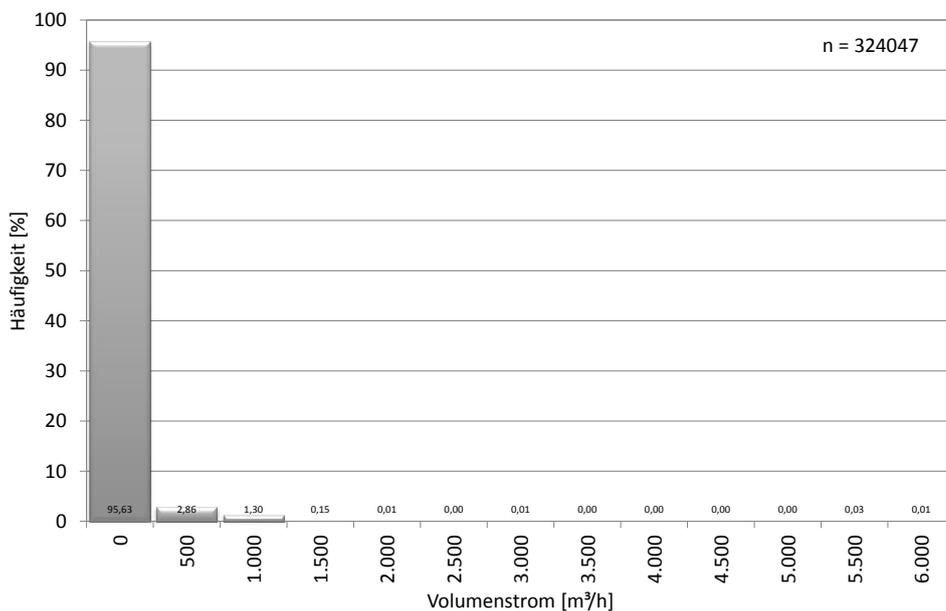
**Abbildung 112:** Gesamtabluftvolumenstrom aus dem Kontrollabteilabteil

In beiden Abteilen wurde nie die berechnete Sommerluftrate erreicht. Insgesamt wurden beide Abteile bezüglich der Luftrate sehr niedrig gefahren. Zu Beginn der zweiten Mastperiode lagen beide Abteile sogar unter der Mindestluftrate: In der obigen Abbildung, in der Minimum, Maximum, Median und auch der 25 % und der 75 % Percentil dargestellt ist, wird deutlich, dass die Oberflurabsaugung des Versuchsabteils, also die Ventilatoren 1 und 2 praktisch abgestellt waren. Nahezu der gesamte Volumenstrom im Versuchsabteil wurde von den Unterflurventilatoren 5 und 6 gefördert. Dabei ist eine leichte Asymmetrie zu beobachten. Ebenfalls asymmetrisch arbeitete die Lüftung im Kontrollabteil.



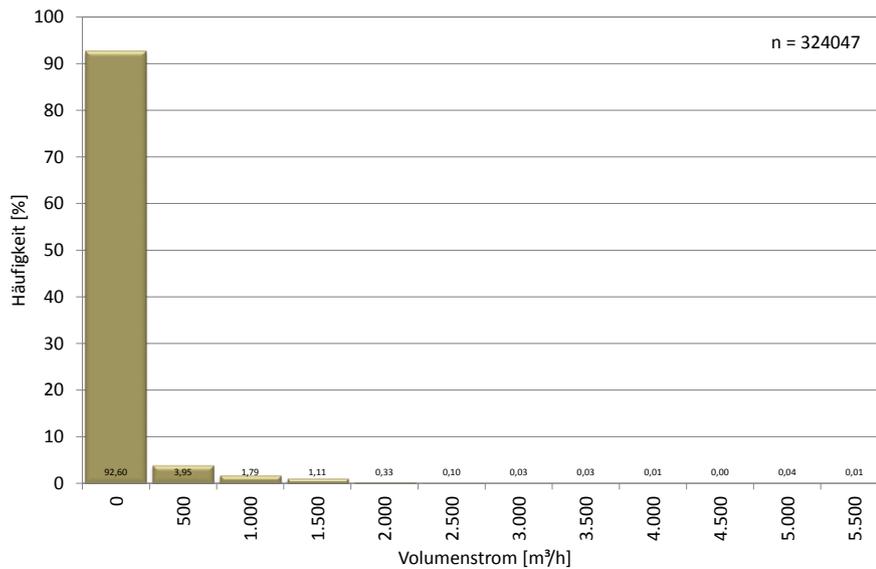
**Abbildung 113:** Box and Whiskers Plot der Volumenströme der einzelnen Ventilatoren

Ventilator 1, der Oberflur links im Versuchsabteil absaugt, war zu 93 % außer Betrieb. Dies geht aus der Häufigkeitsverteilung der Lüfterleistung in Abbildung 114 hervor.



**Abbildung 114 :** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 1 Oberflur links Versuchsabteil

Die Luftleistung im arithmetischen Mittel lag vernachlässigbar klein bei 53 m³/h. Das Maximum lag bei 6385 m³/h und entspricht der installierten Lüfterleistung. Ventilator 2 verhielt sich an der Position Oberflur rechts Versuchsabteil ähnlich. Auch er war zu 93 % außer Funktion.

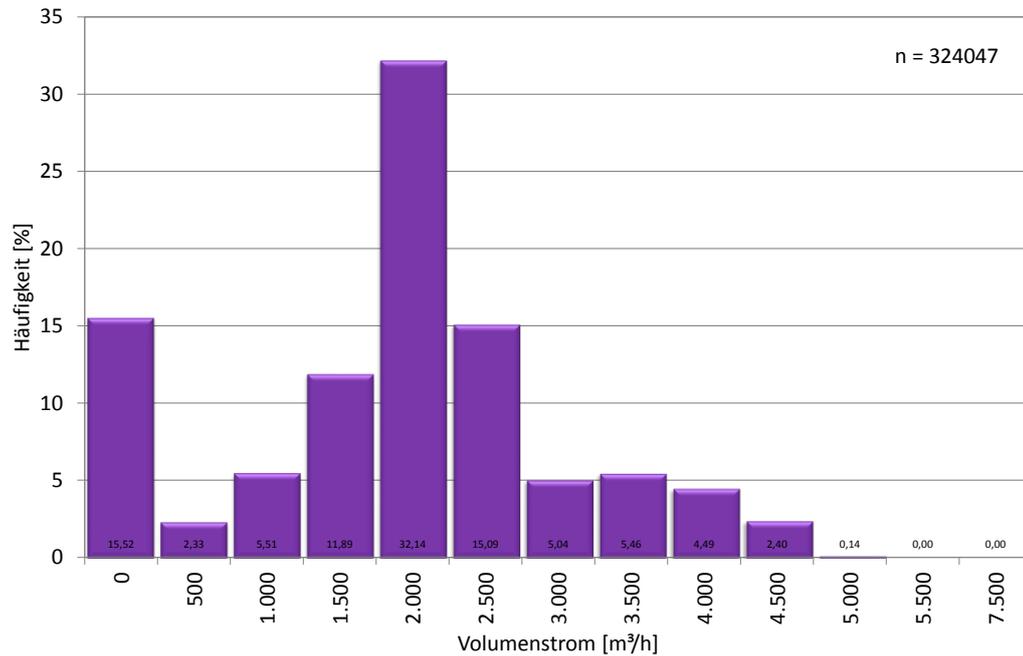


**Abbildung 115:** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 2 Oberflur rechts Versuchsabteil

Der Volumenstrom im arithmetischen Mittel ist mit 101 m<sup>3</sup>/h ebenfalls vernachlässigbar und das Maximum mit 5753 m<sup>3</sup>/h entspricht auch der Leistung des eingebauten Ventilators.

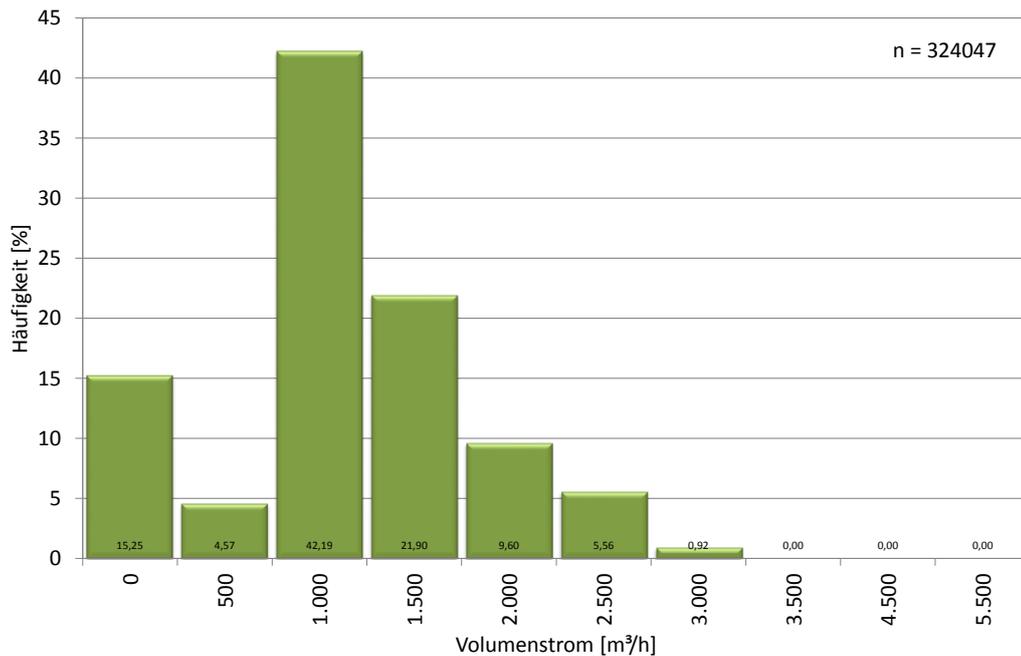
Eine dem Einsatzspektrum entsprechende Verteilung bzw. Verhalten zeigen die anderen Ventilatoren. So kann man in Abbildung 116 der Häufigkeitsverteilung von Ventilator 3 Oberflur rechts Kontrollabteil ablesen, dass um seinen Median von 2215 m<sup>3</sup>/h die meisten Häufigkeiten auftreten.

Zu Beginn der ersten Mast traten viele geringe Volumenströme auf, daher auch eine 16 prozentige Häufigkeit in der niedrigsten Klasse.



**Abbildung 116:** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 3 Oberflur rechts Kontrollabteil

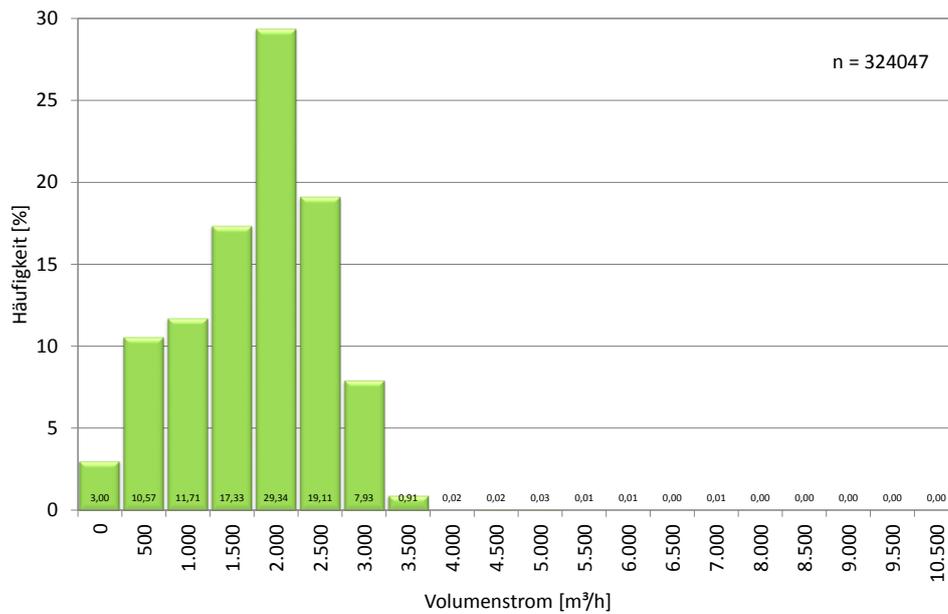
Ein anderes Bild zeigt der auf der gegenüberliegenden Seite installierte Ventilator 4, Oberflur links Kontrollabteil. In folgender Abbildung ist zu sehen, dass die Klasse 1000 m³/h mit 43 % klar heraus sticht. Dies spiegelt sich auch im Median von 1335 m/h wieder. Wie bei Ventilator 3 ist mit 15 % die unterste Klasse aufgrund der vielen geringen Volumenströme zu Messbeginn der ersten Mast überrepräsentiert.



**Abbildung 117:** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 4 Oberflur links Kontrollabteil

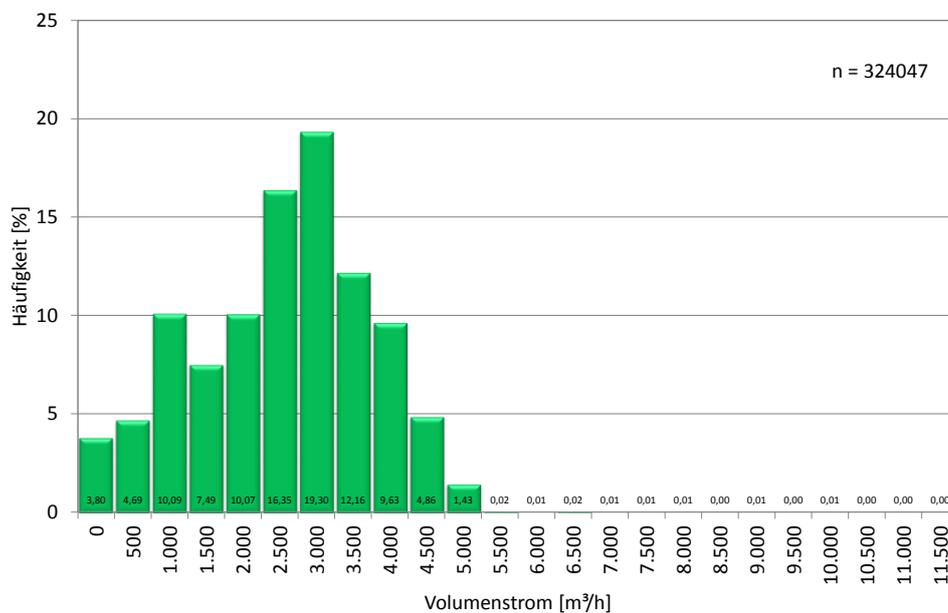
Die Messergebnisse von Ventilator 3 und 4 zeigen, dass das Kontrollabteil sehr asymmetrisch belüftet wurde. Auf der linken Seite wurde deutlich mehr entlüftet und die hohen Luftraten traten auch häufiger auf. Grund für solch ein Lüftungsverhalten kann nur in einer unzureichenden Steuerung der Lüftung liegen. Hier sind Messventilatoren vor jedem Abluftventilator zu fordern, die die direkt in die Steuerung eingreifen und eine gleichmäßige, symmetrische Entlüftung des Abteils gewährleisten.

Ventilator 5 Unterflur links Versuchsabteil zeigt in Abbildung 95 eine Verteilung die in den niedrigen Klassen normal ist aber die oberen Klassen aufgrund der im Vergleich zur DIN 18910-1 aber so gering gehaltenen Lüftungsstrategie unterrepräsentiert.



**Abbildung 118:** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 5 Unterflur links Versuchsabteil

Der Median von Ventilator 5 liegt mit 2131 m<sup>3</sup>/h dann auch im unteren Drittel seiner eigentlichen Leistungsfähigkeit, entspricht aber der in Abbildung 118 gezeigten Verteilung. Eine ähnliche Verteilung, allerdings ein wenig zu den höheren Klassen verschoben, sieht man in Abbildung 119 für Ventilator 6 Unterflur rechts Versuchsabteil.



**Abbildung 119:** Häufigkeitsverteilung des Volumenstromes an Ventilator 6 Unterflur rechts Versuchsabteil

Durch die Verschiebung in die höheren Klassen kommt es auch im Versuchsabteil zu einer Asymmetrie in der Entlüftung. Besonders im Versuchsabteil gilt, dass jeder Ventilator mit einem Messventilator der in die Regelung des Volumenstroms eingreift vorzusehen ist, da gerade im Versuchsabteil mit dem Zusammenspiel zwischen Ober- und Unterflurentlüftung eine exakte Regelung der Belüftung erfolgen muss.

Die statistische Gesamtbewertung der einzelnen Ventilatoren ist in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Alle Werte sind in m<sup>3</sup>/h angegeben. Zusätzlich ist noch der gesamte Volumenstrom im Unterflursammelkanal (UF gesamt), der Gesamtvolumenstrom aus dem Kontrollabteil (KA gesamt) und aus dem Versuchsabteil (VA gesamt) aufgelistet.

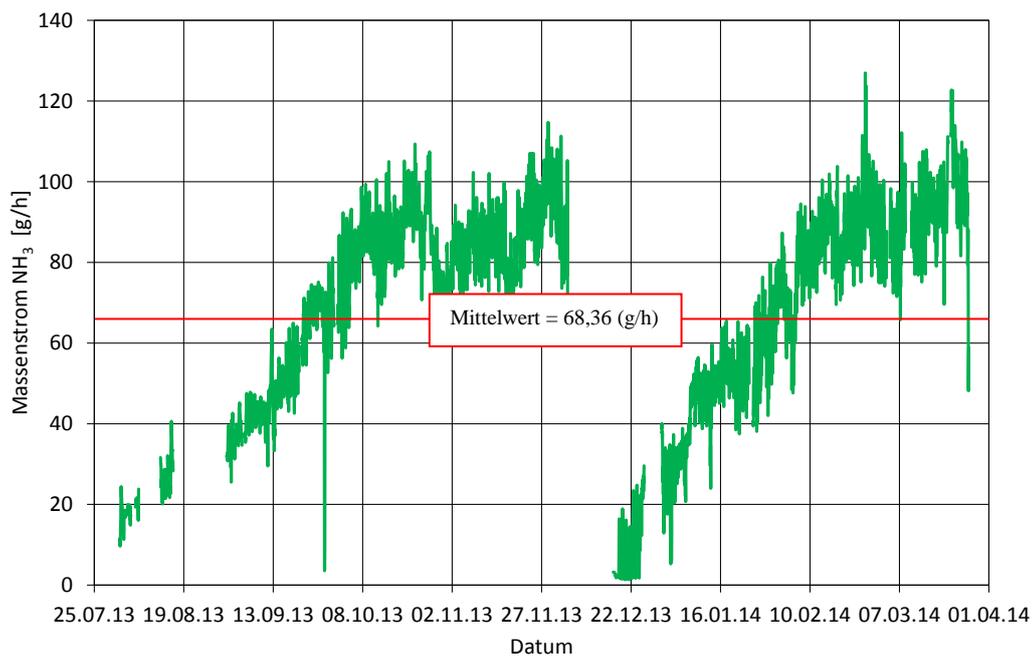
**Tabelle 3:** Statistik der Volumenströme (in m<sup>3</sup>/h)

	Min.	Max.	Mittelwert	Stabw.	Schiefe	Kurtosis	25 % Perz.	Median	75 % Perz.
Ventilator 1	1,0	6.385,0	59,2	230,2	8,8	157,1	1,0	1,0	1,0
Ventilator 2	1,0	5753,0	101,0	348,9	5,4	43,1	1,0	1,0	1,0
Ventilator 3	1,0	7522,0	2106,7	1196,5	-0,2	-0,2	1598,0	2215,0	2661,0
Ventilator 4	1,0	5581,0	1347,7	731,6	-0,2	0,0	1138,0	1353,0	1706,0
Ventilator 5	0,0	10876,0	2009,8	786,2	-0,3	0,2	1487,0	2131,0	2559,0
Ventilator 6	140,0	11972,0	2783,3	1206,0	-0,2	-0,2	1931,0	2926,0	3619,0
Ventilator 7	0,0	26153,0	6579,1	4238,7	-0,3	-1,0	4348,0	6956,0	10101,0
Ventilator 8	0,0	29943,0	7922,2	2867,5	0,3	-0,6	5503,0	7713,0	10112,0
Ventilator 9	36,0	24916,0	4311,2	1341,4	0,2	0,5	3195,0	4348,0	5383,0
Ventilator 10	36,0	22569,0	4183,4	1232,2	0,1	0,8	3160,0	4224,0	5169,0
Ventilator 11	36,0	29557,0	3737,1	1095,4	0,3	5,1	2863,0	3735,0	4627,0

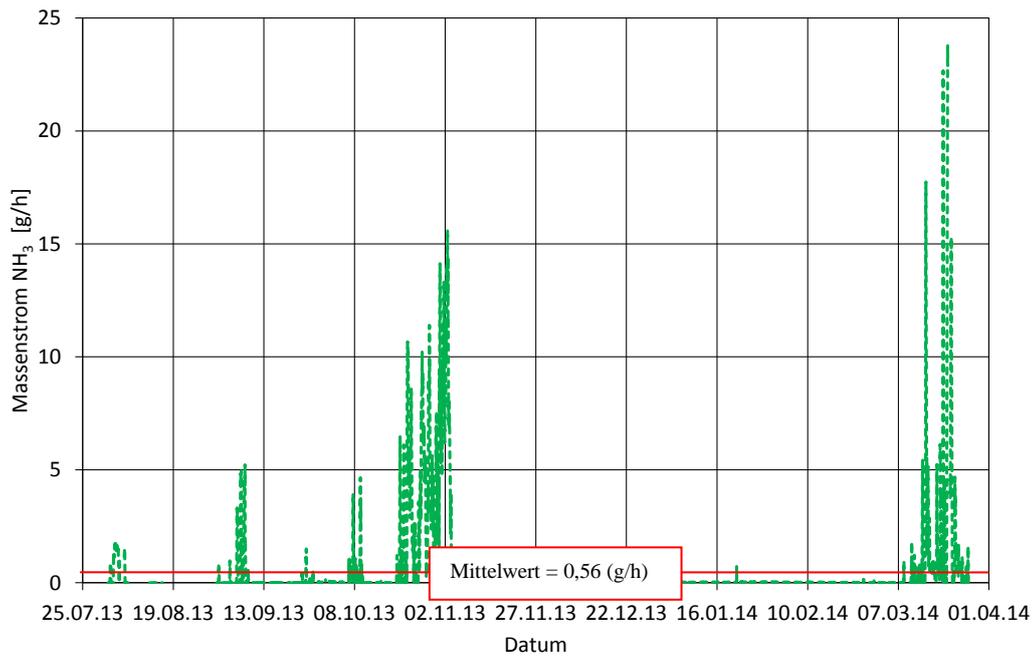
	Min.	Max.	Mittelwert	Stabw.	Schiefe	Kurtosis	25 % Perz.	Median	75 % Perz.
Ventilator 12	36,0	27927,0	3700,9	1011,3	0,2	3,2	2893,0	3723,0	4514,0
UF gesamt	108,0	136063,0	41962,0	14537,3	0,3	-0,6	30638,0	38964,0	54124,0
KA gesamt	2,0	12280,0	3454,4	1920,0	-0,2	-0,1	2746,0	3563,0	4362,0
VA gesamt	142,0	26898,0	4953,0	2167,6	0,0	0,2	3444,0	5156,0	6361,0

### 4.3. Massenströme

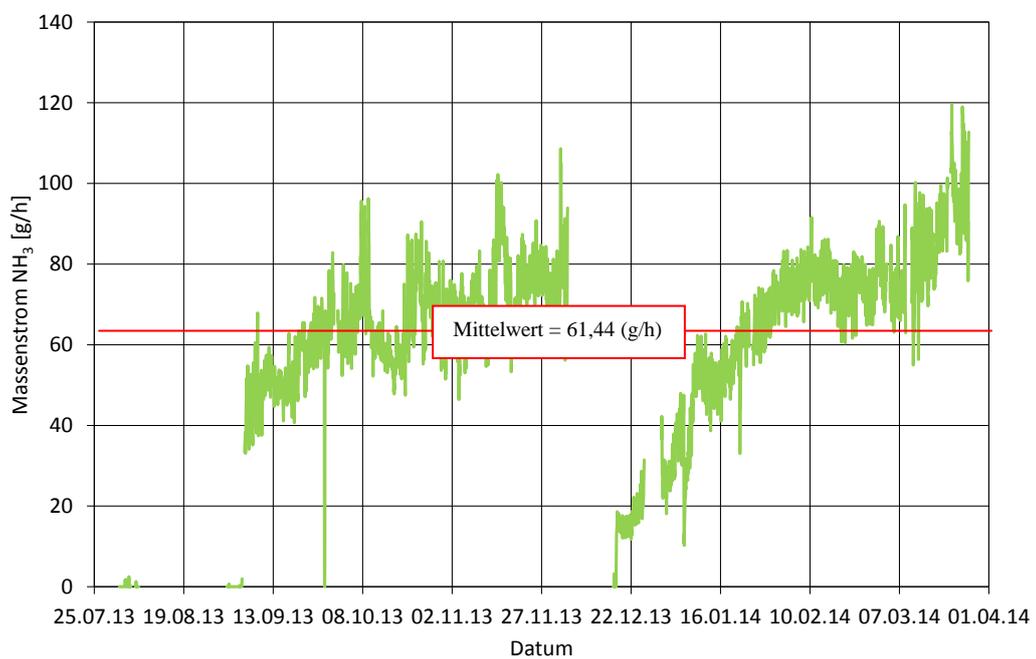
Nachfolgende Gesamtmasseströme konnten ermittelt werden.



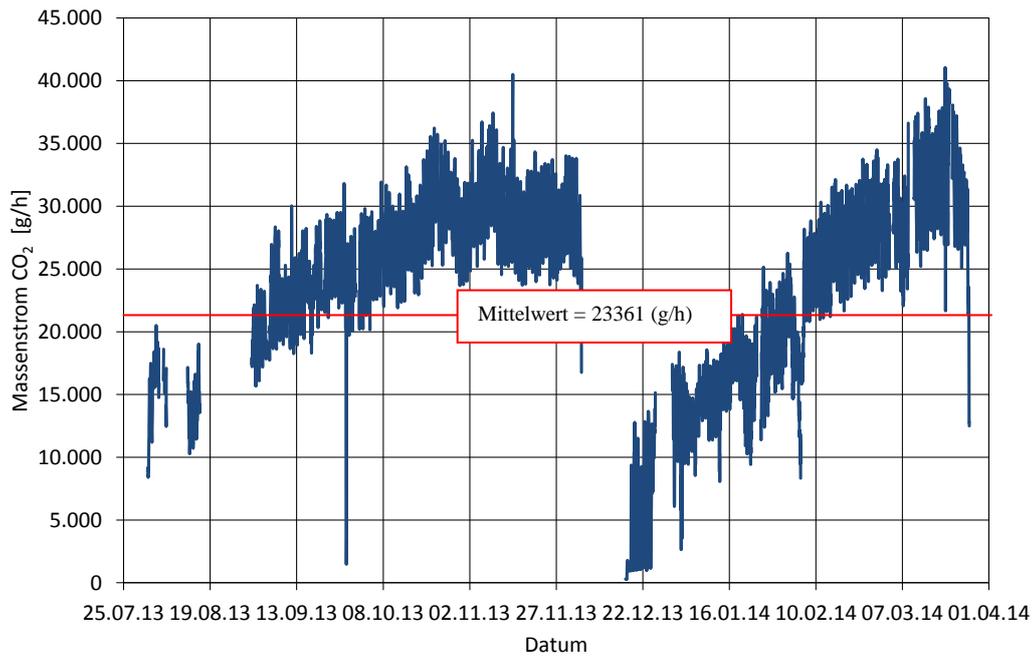
**Abbildung 120:** Unterfluranteil des Massenstroms an Ammoniak aus dem Versuchsabteil



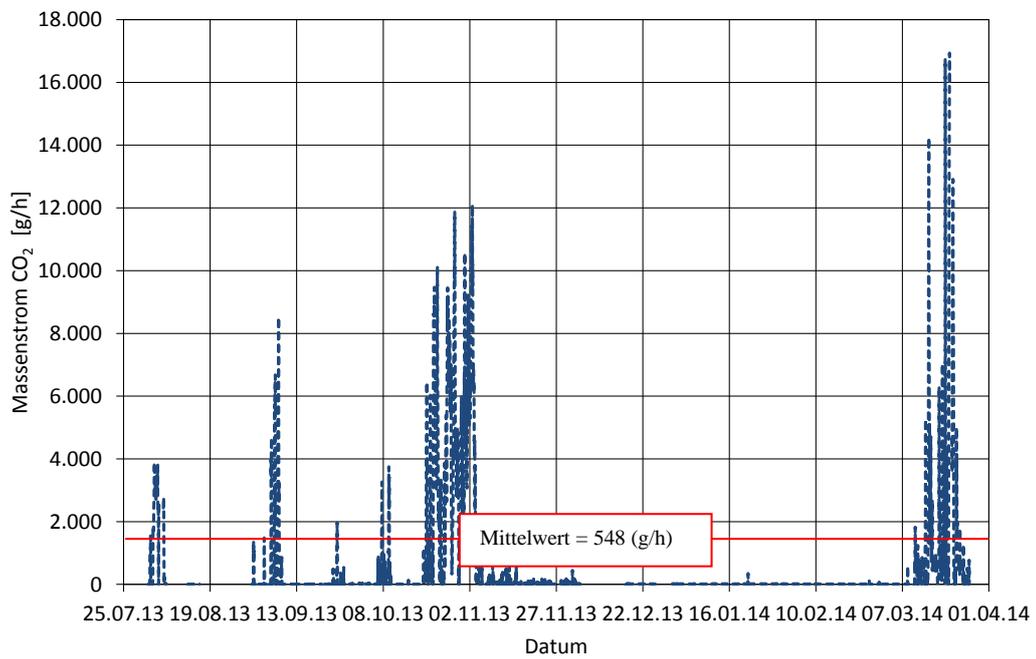
**Abbildung 121:** Oberfluranteil des Massenstroms an Ammoniak aus dem Versuchsabteil



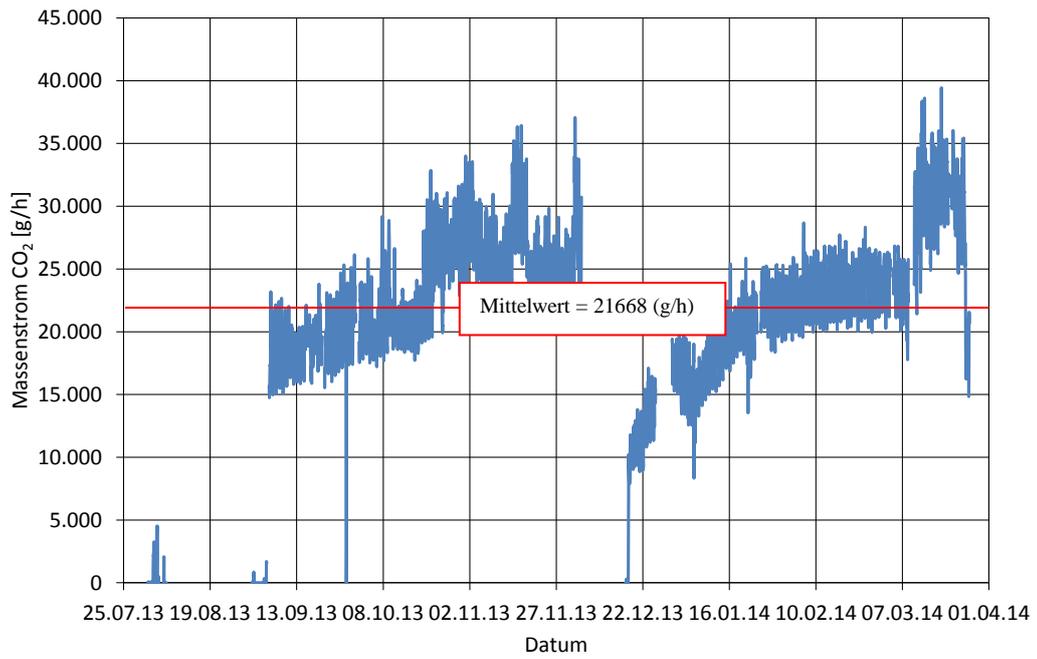
**Abbildung 122:** Gesamtmassenstrom an Ammoniak aus dem Kontrollabteil



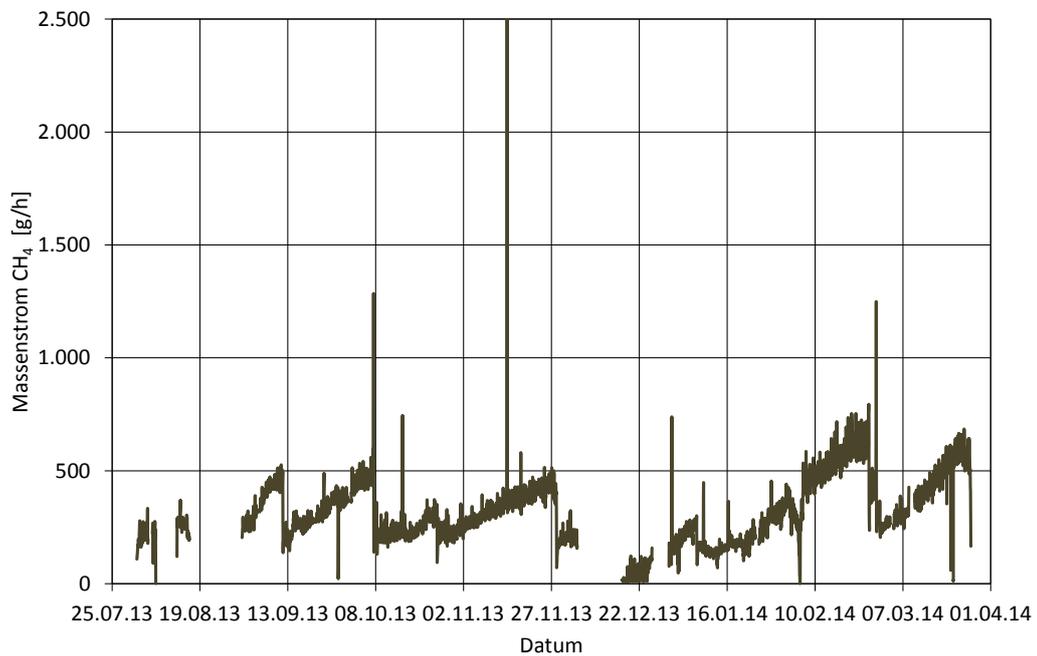
**Abbildung 123:** Unterfluranteil des Massenstroms an Kohlendioxid aus dem Versuchsabteil



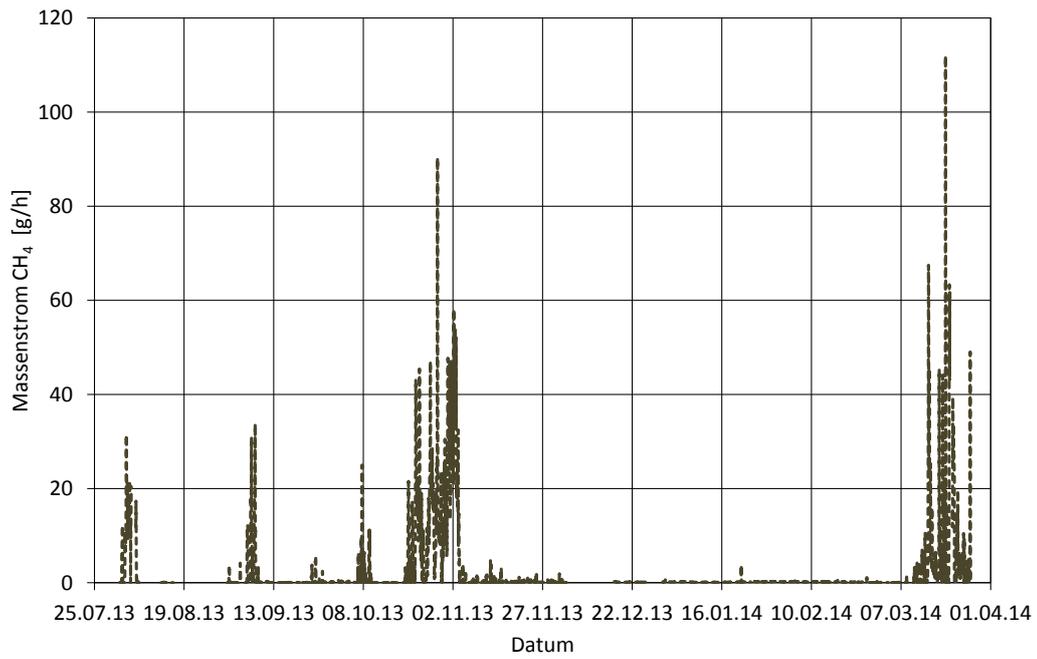
**Abbildung 124:** Oberfluranteil des Massenstroms an Kohlendioxid aus dem Versuchsabteil



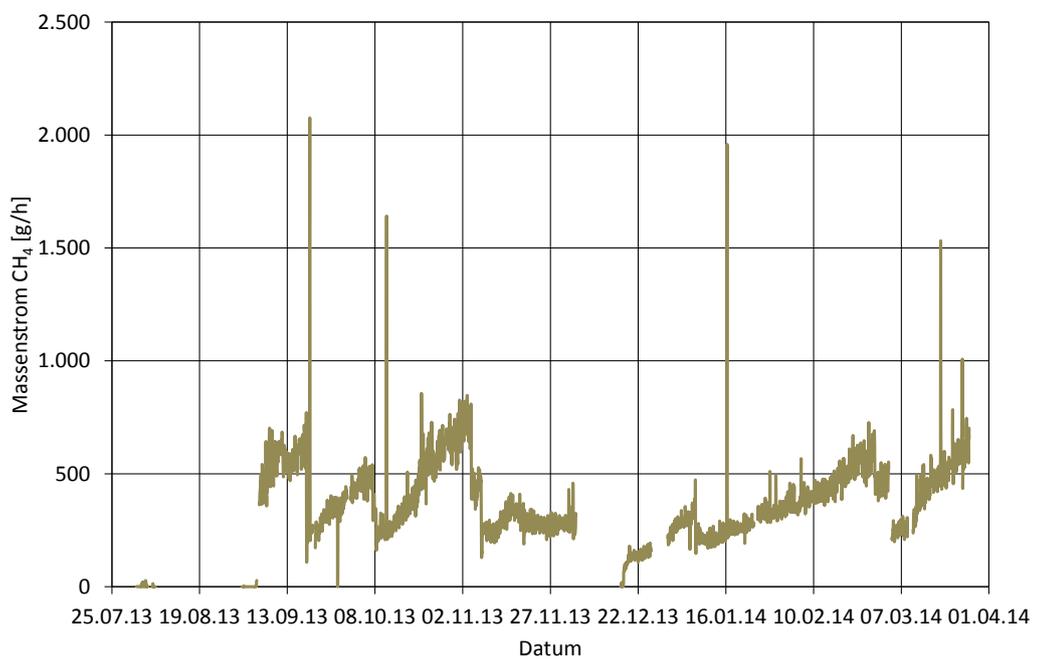
**Abbildung 125:** Gesamtmassenstrom an Kohlendioxid aus dem Kontrollabteil



**Abbildung 126:** Unterfluranteil des Massenstroms an Methan aus dem Versuchsabteil



**Abbildung 127:** Oberfluranteil des Massenstroms an Methan aus dem Versuchsabteil



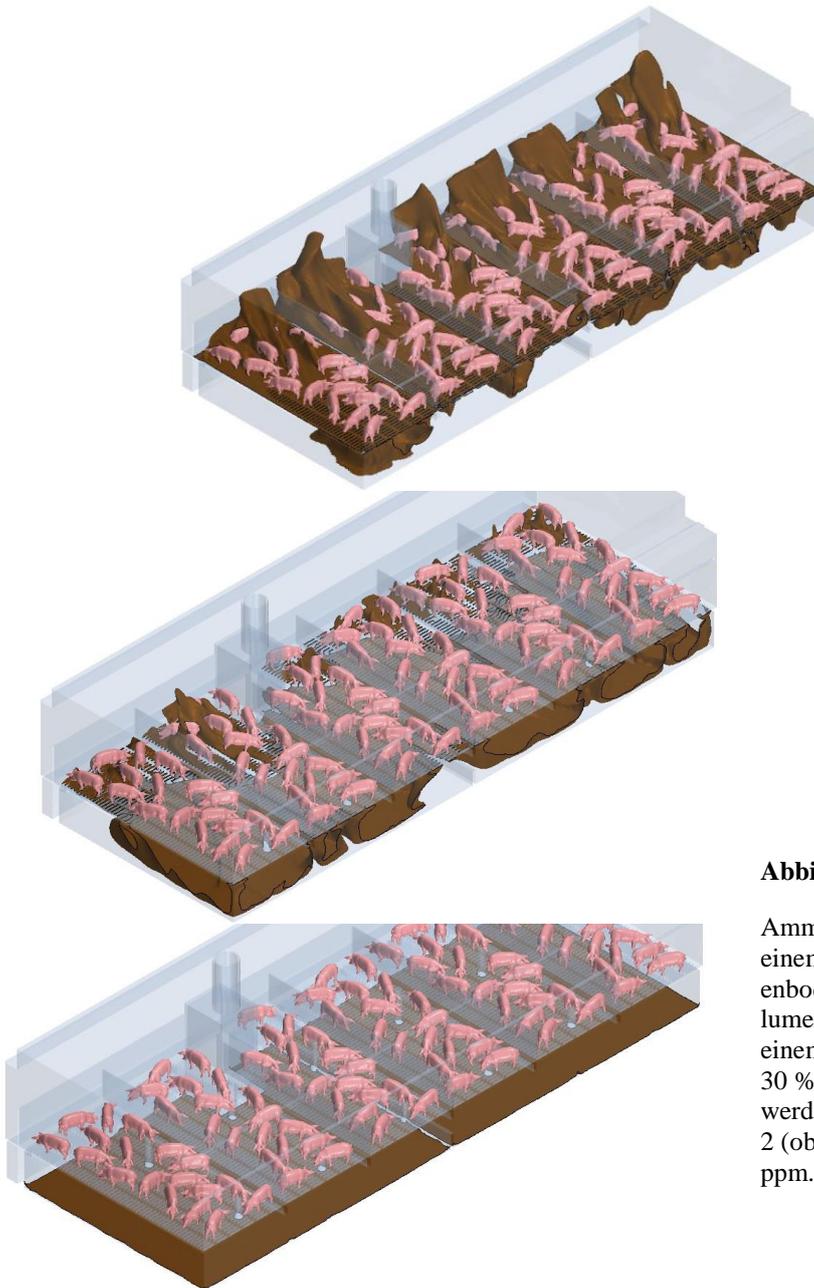
**Abbildung 128:** Gesamtmassenstrom an Methan aus dem Kontrollabteil

#### 4.4. Numerik

Entsprechend der Versuchsaufgabe wurden, unter Einbeziehung der ermittelten Konzentrationen, in Abhängigkeit zum Volumenstrom, der Abteiltemperatur und der Füllhöhe der Güllekanäle, mehrere Zustände numerisch aufgearbeitet. Der maximale Volumenstrom (100%) im Abteil war auf 6.213m<sup>3</sup>/h eingestellt.

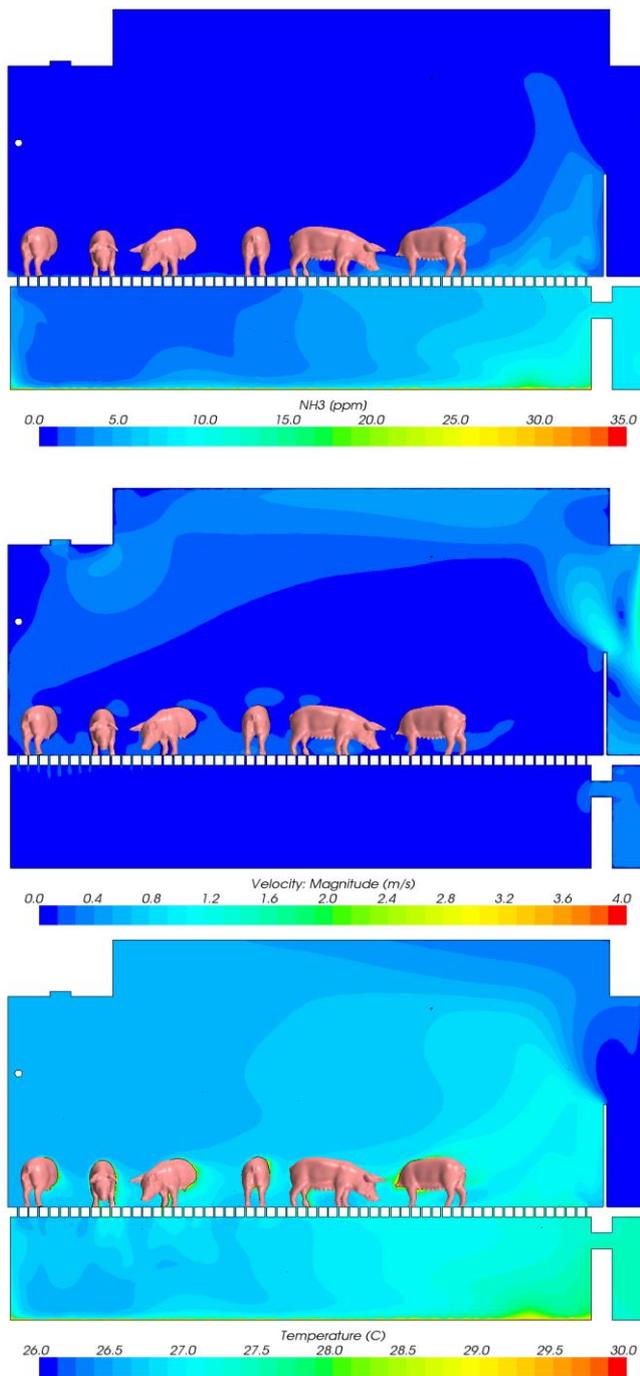
**Fallbeispiel 1:** Sommerlufrate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
100	70	30



**Abbildung 129:**

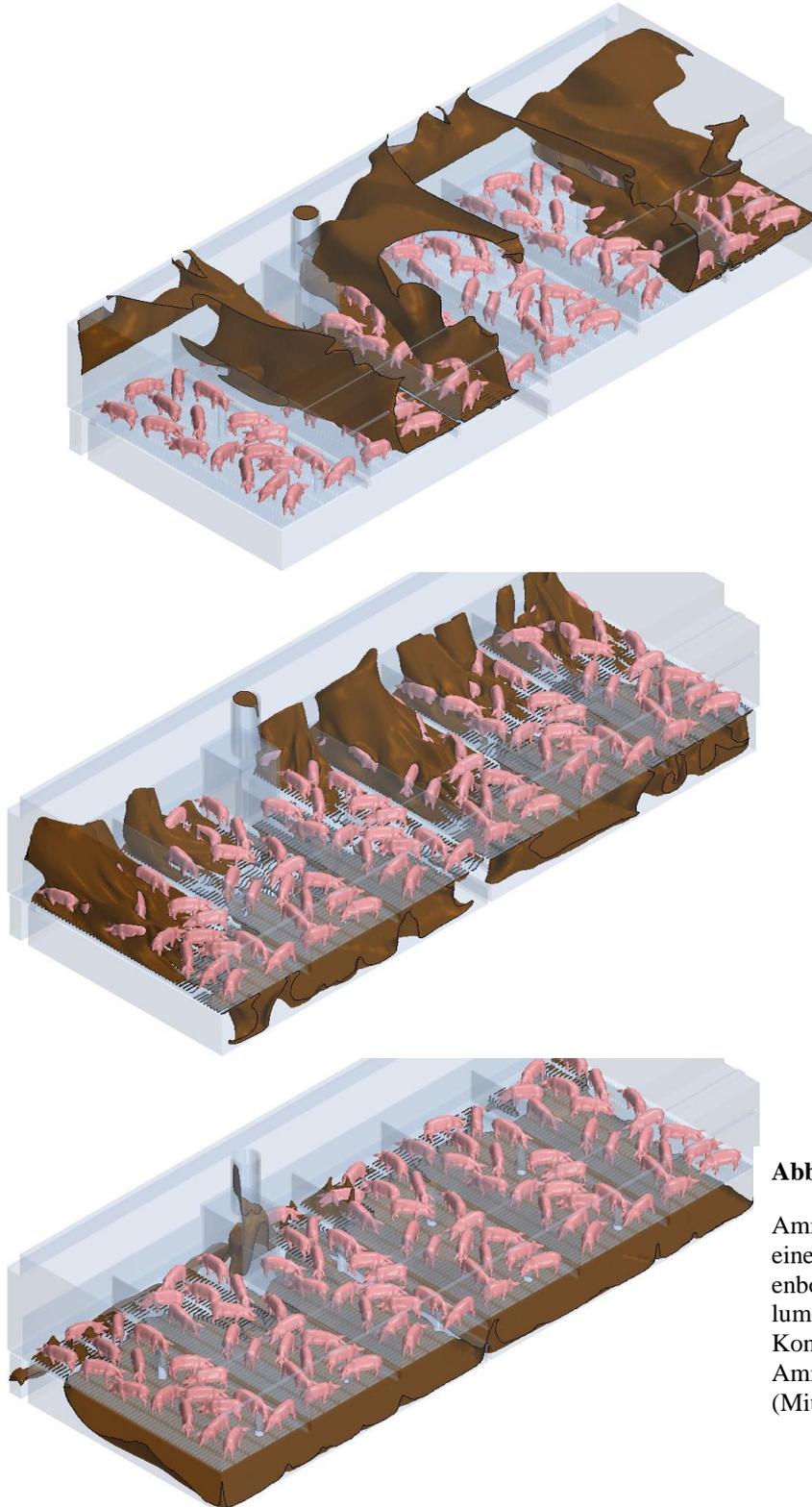
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 130:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

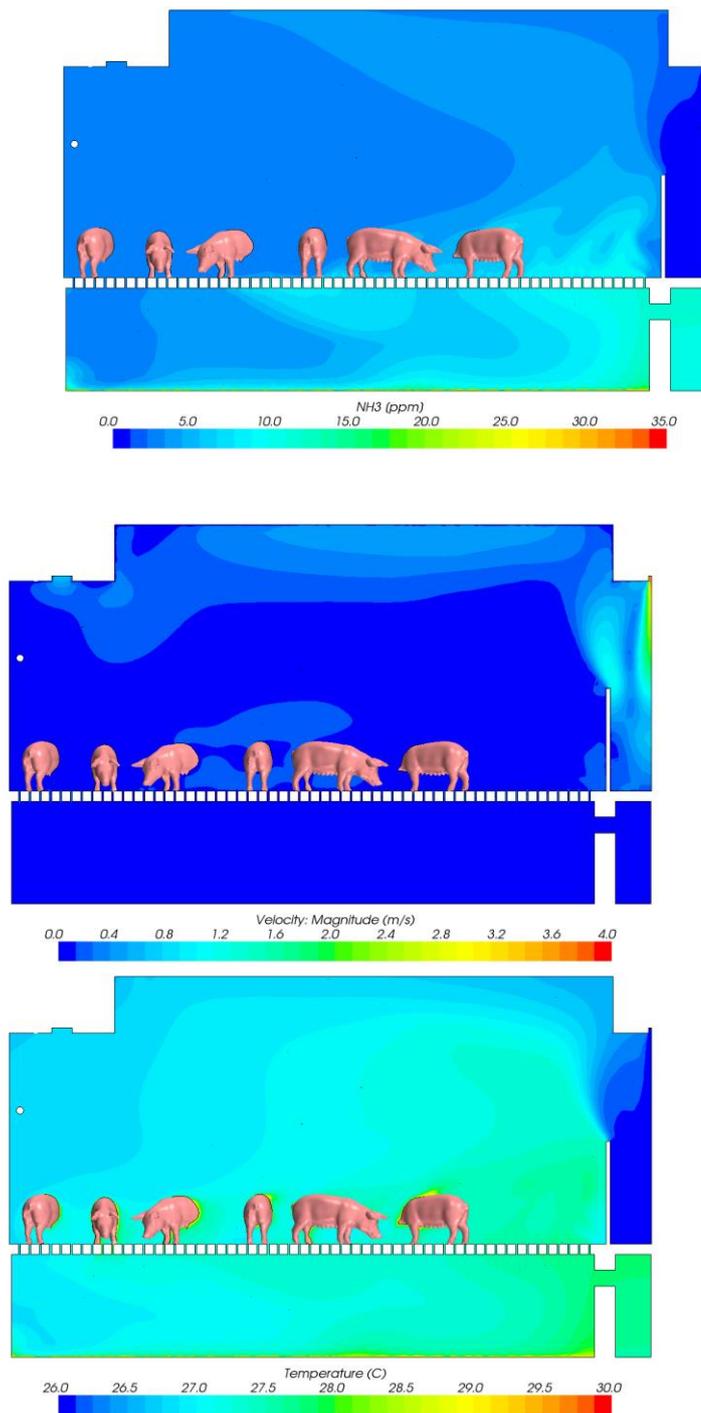
**Fallbeispiel 2:** Sommerlufrate Kontrollabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
100	100	0



**Abbildung 131:**

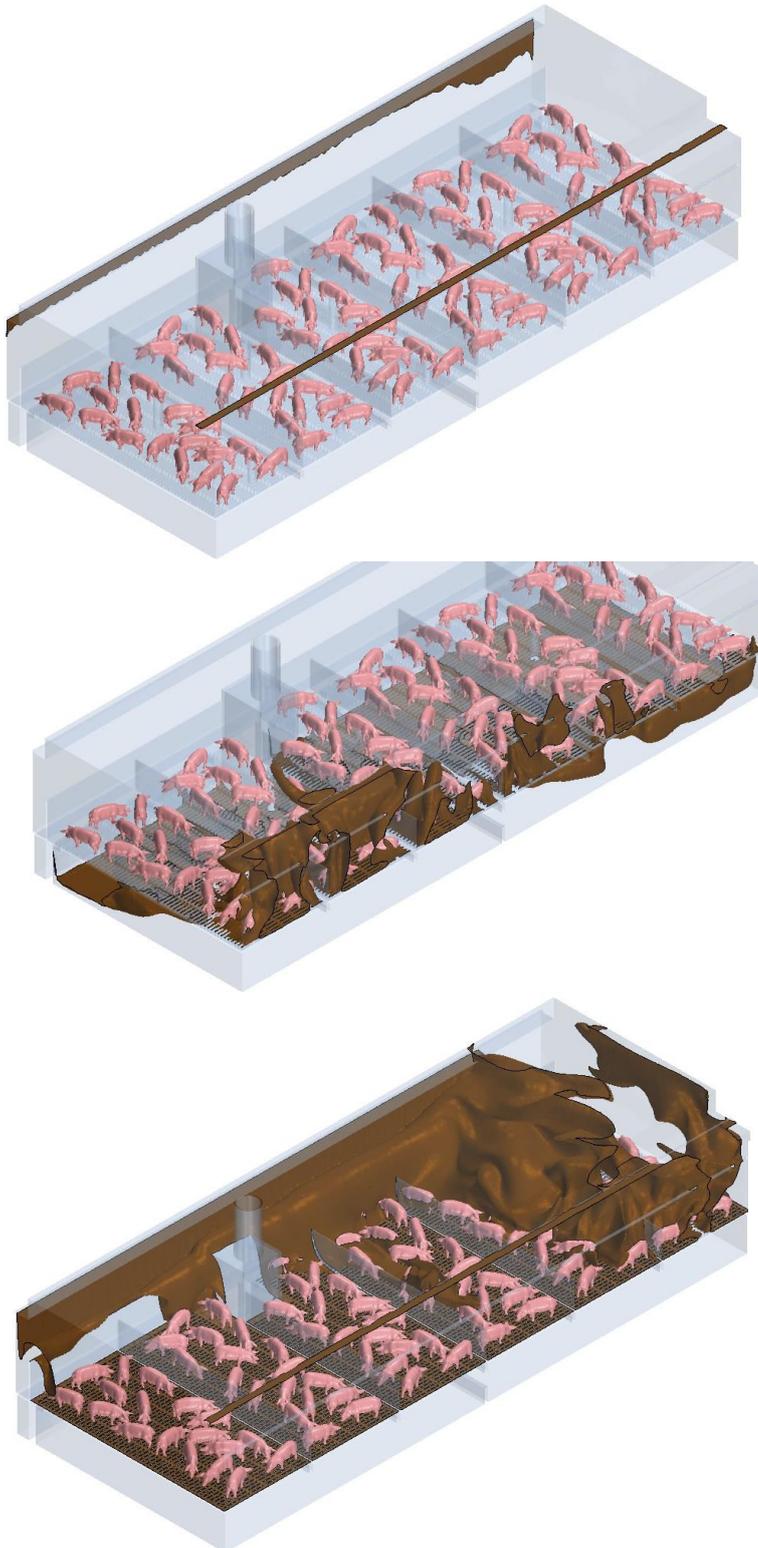
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 132:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.

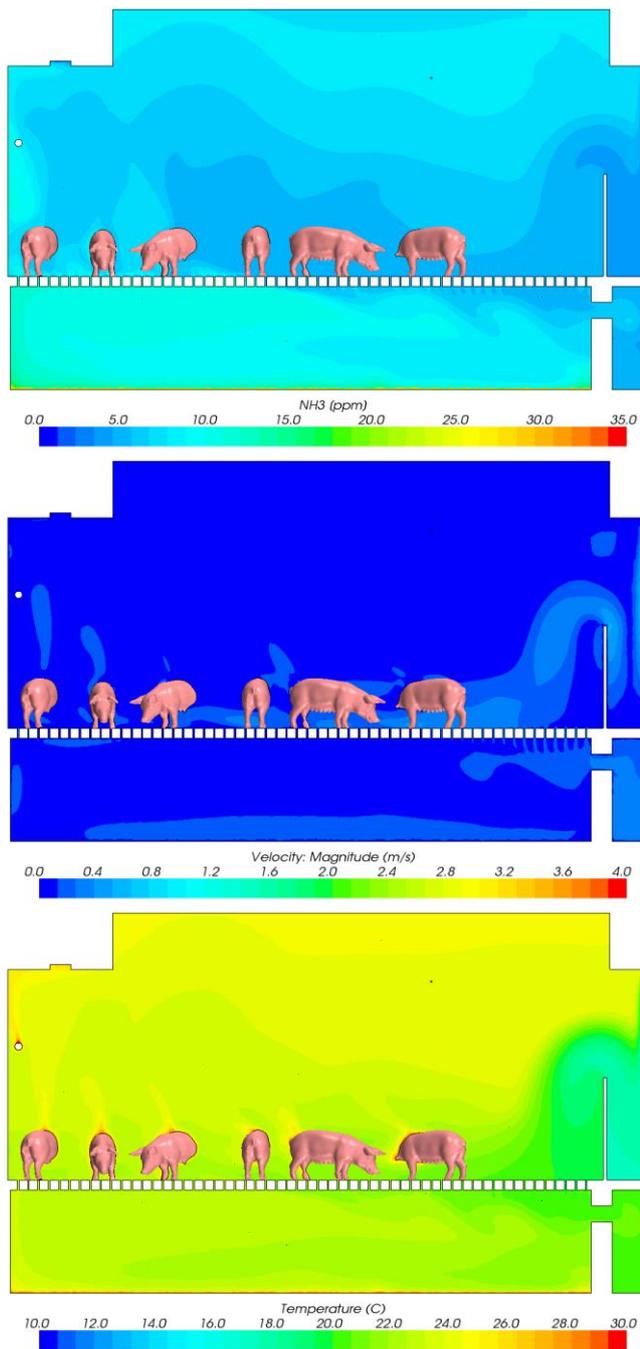
**Fallbeispiel 3:** Winterlufrate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
100	0	30



**Abbildung 133:**

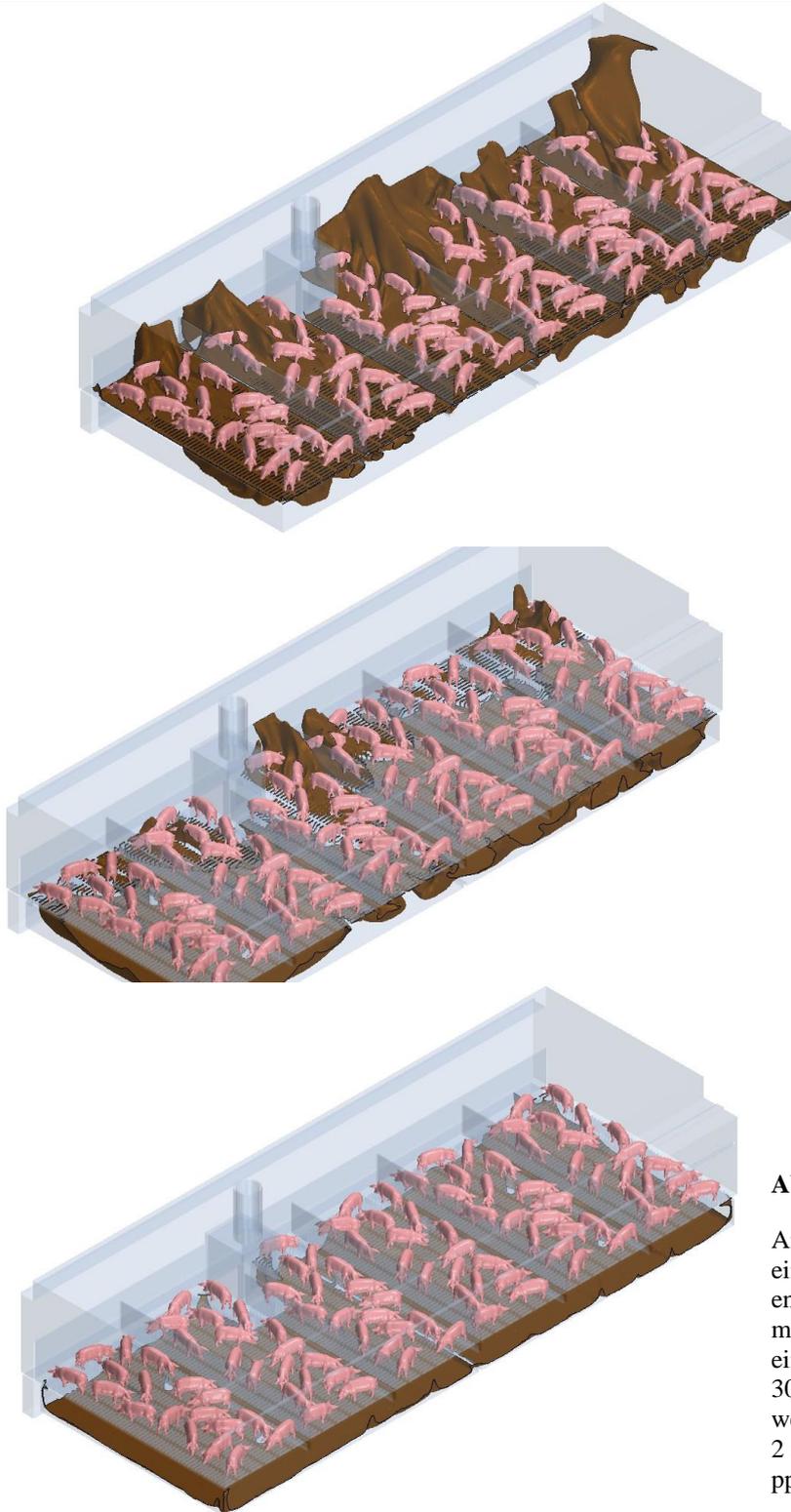
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterlufrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 134:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 100 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftfrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

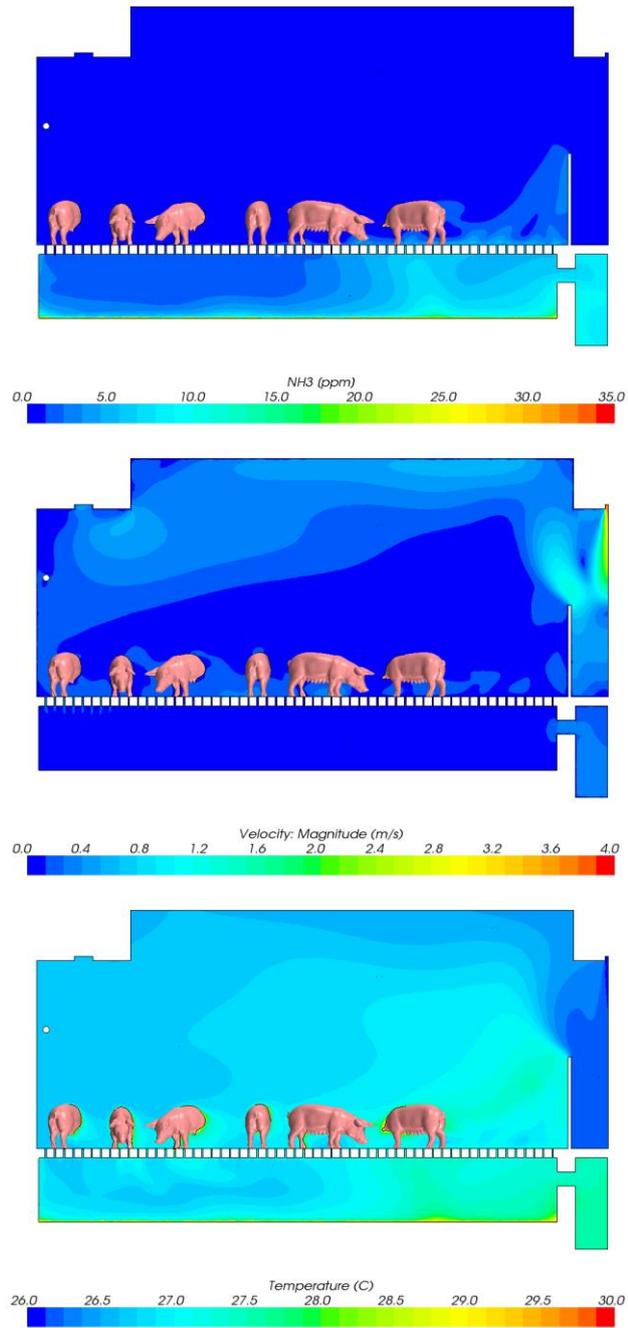
**Fallbeispiel 4:** Sommerlufrate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
70	70	30



**Abbildung 135:**

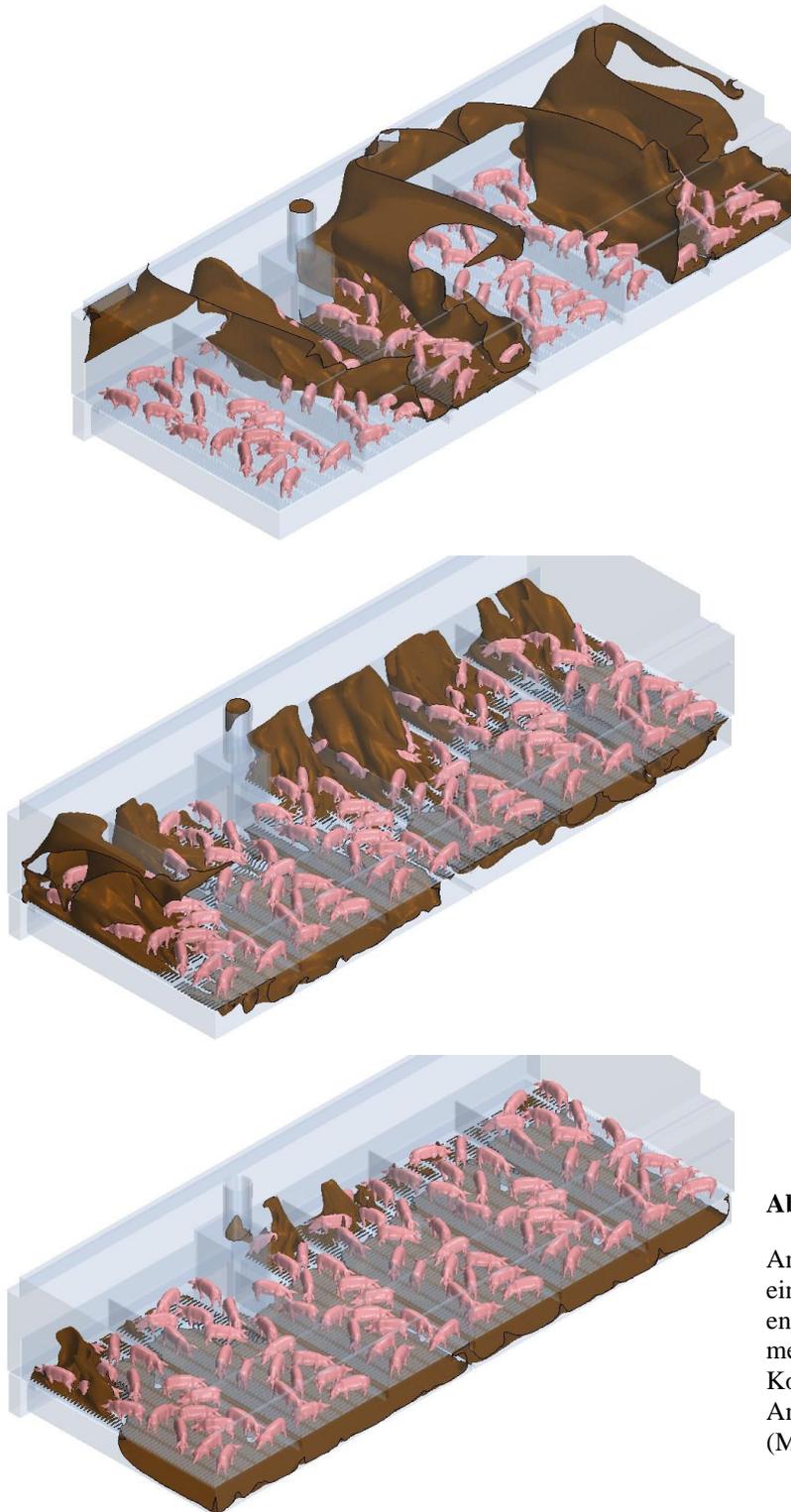
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 136:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

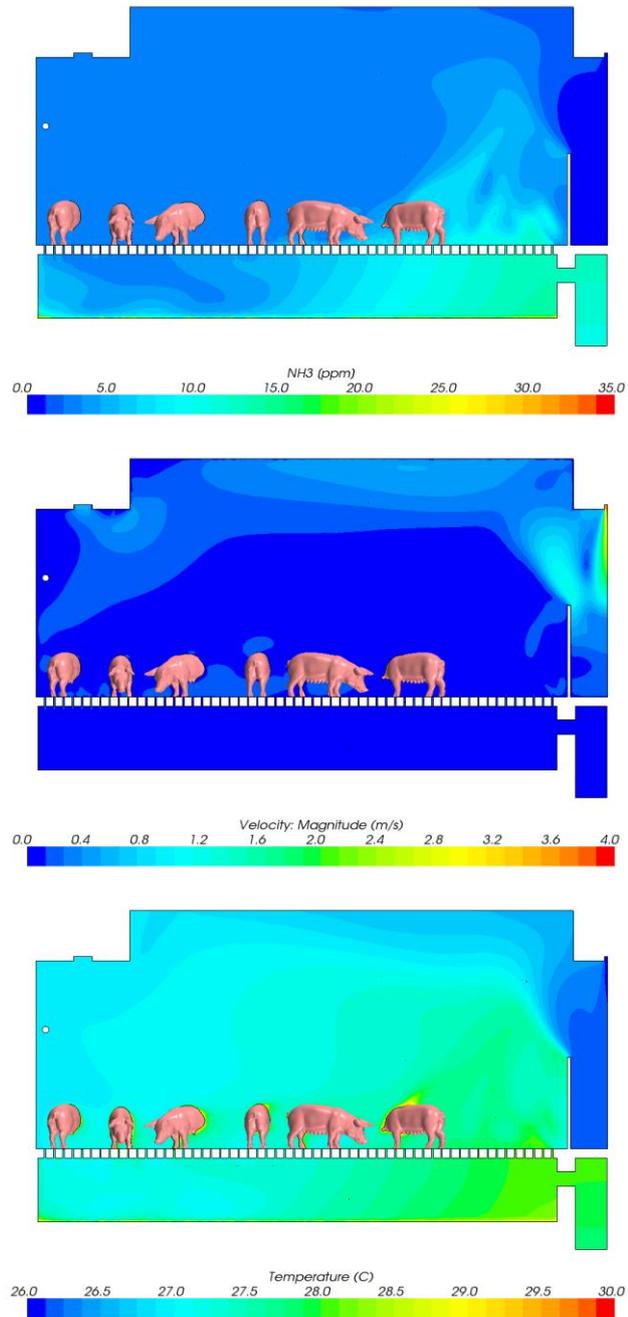
**Fallbeispiel 5:** Sommerlufrate Kontrollabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
70	100	0



**Abbildung 137:**

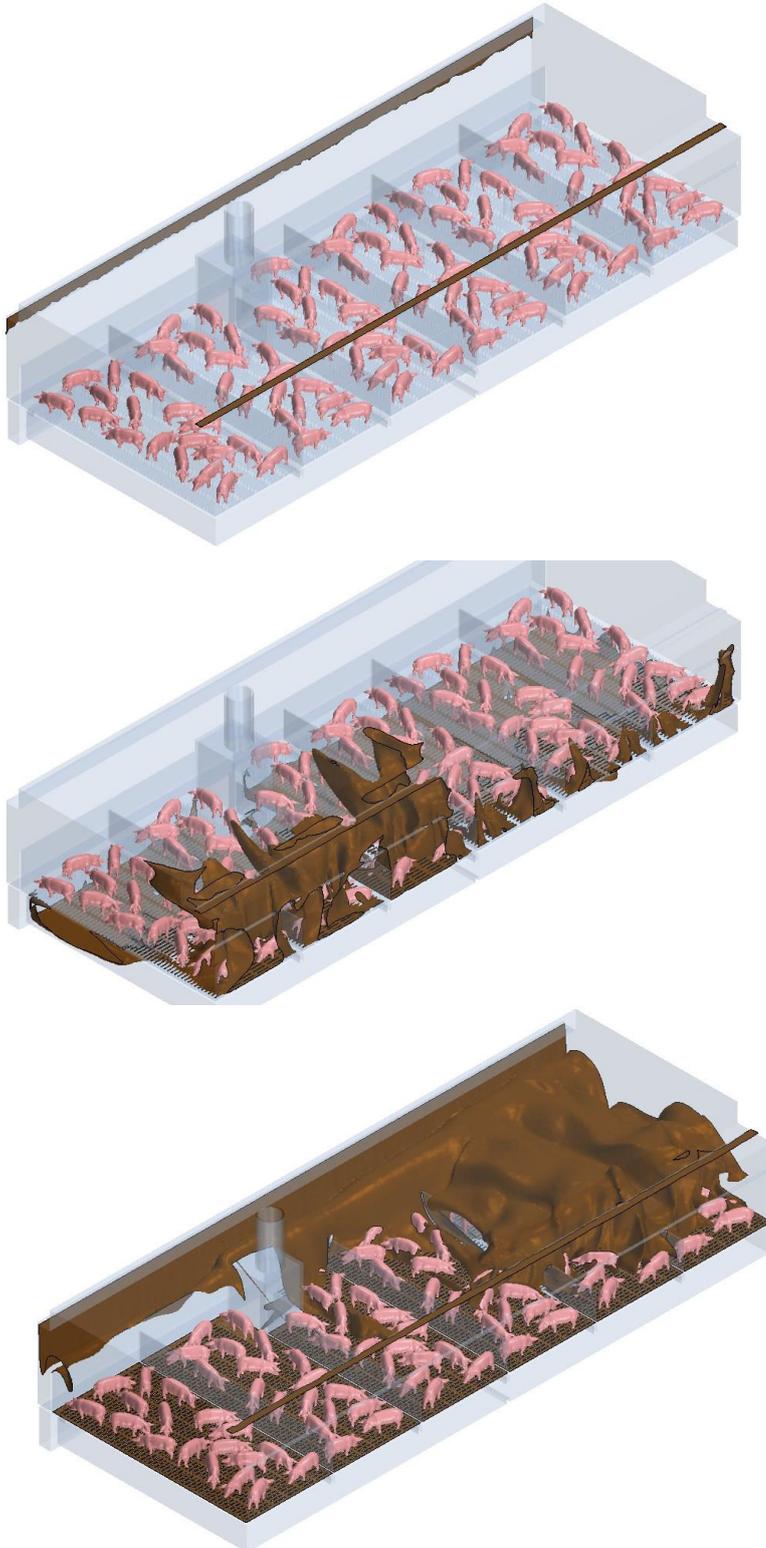
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 138:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.

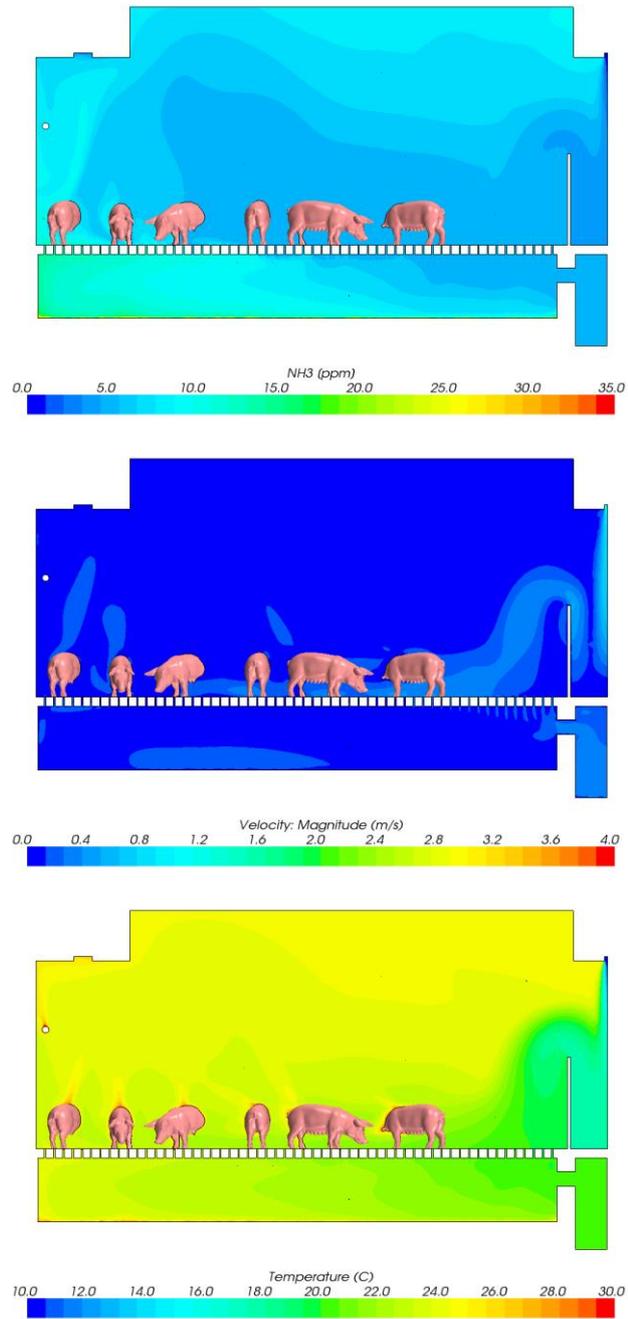
**Fallbeispiel 6:** Winterluft rate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
70	0	30



**Abbildung 139:**

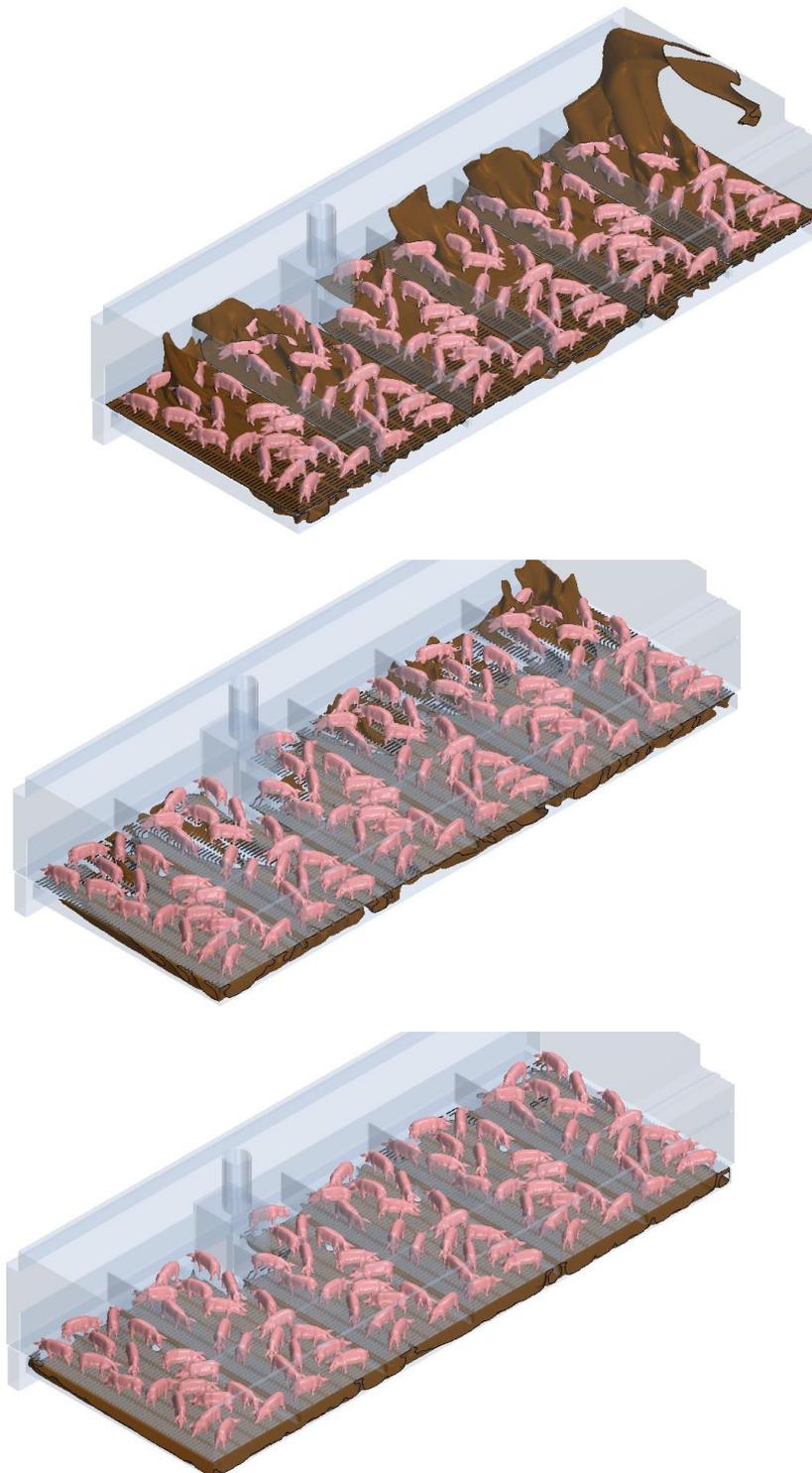
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluft rate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 140:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 70 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterlufrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

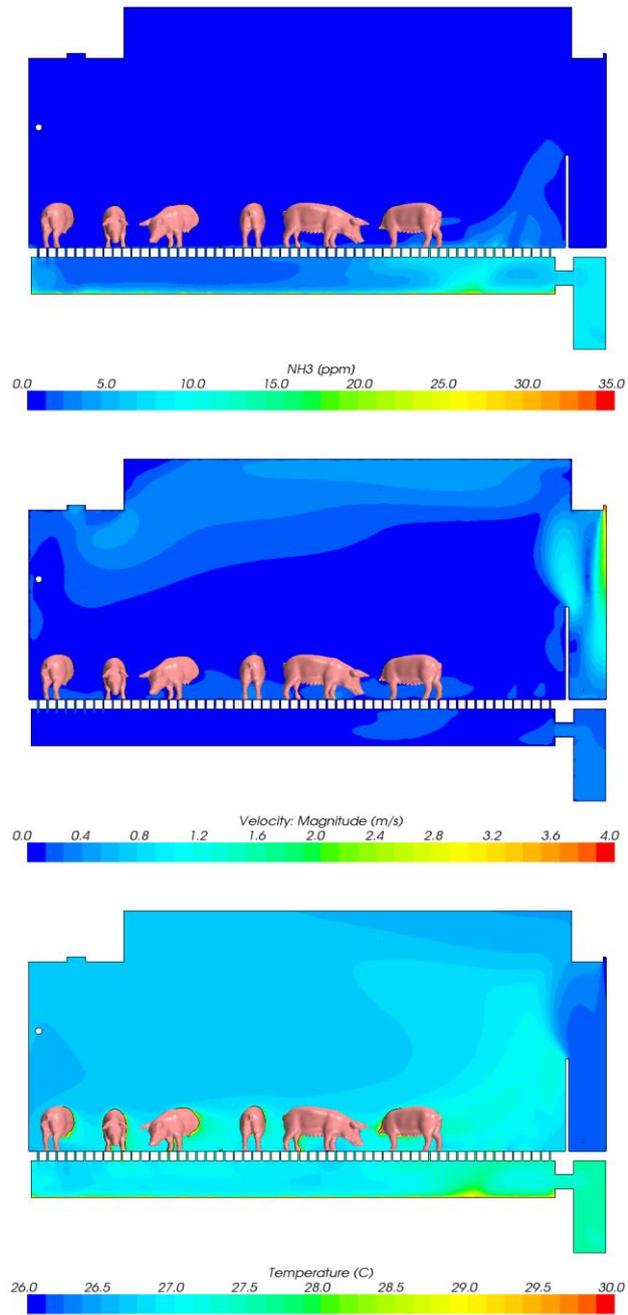
**Fallbeispiel 7:** Sommerlufrate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
50	70	30



**Abbildung 141:**

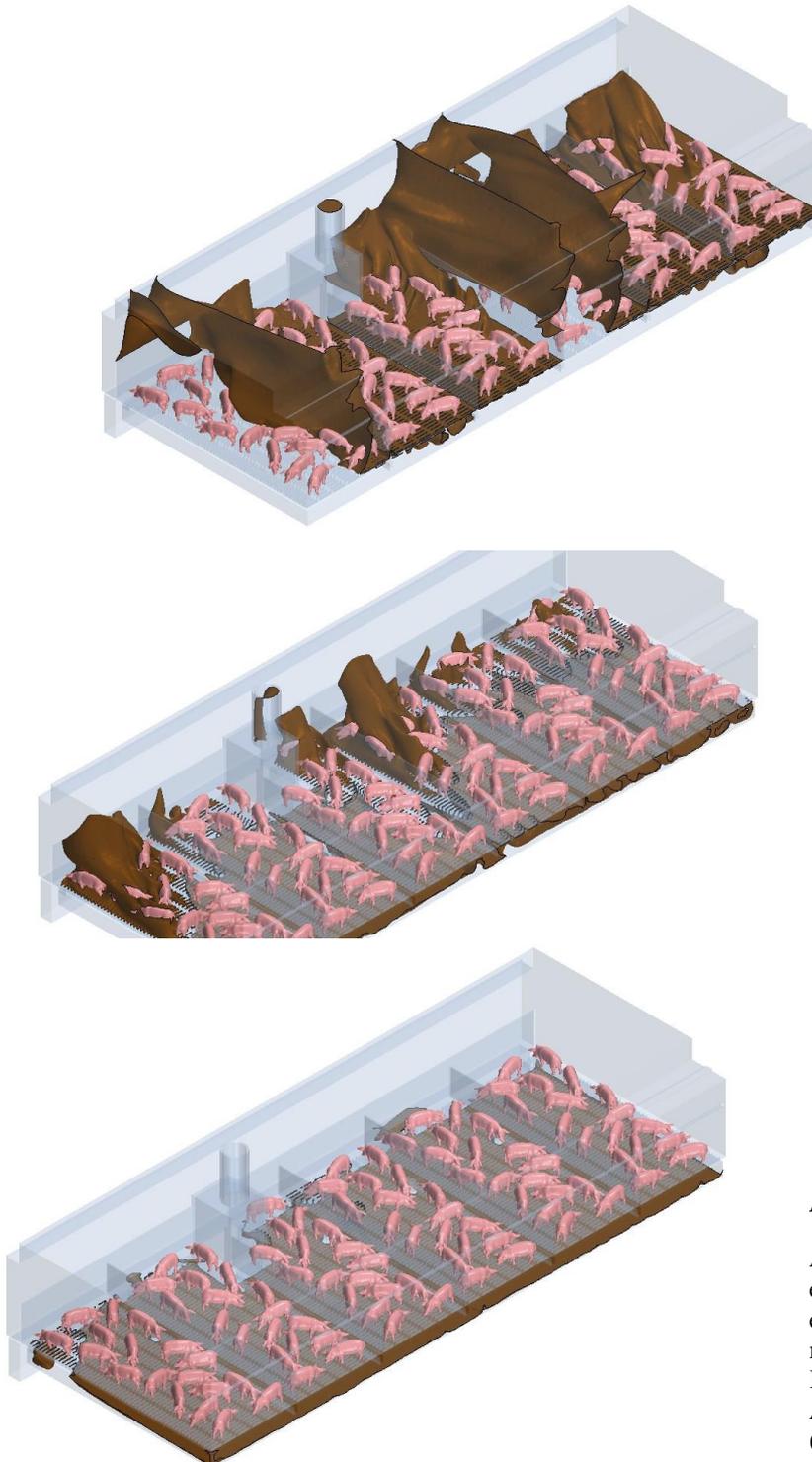
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 142:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 70 % und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

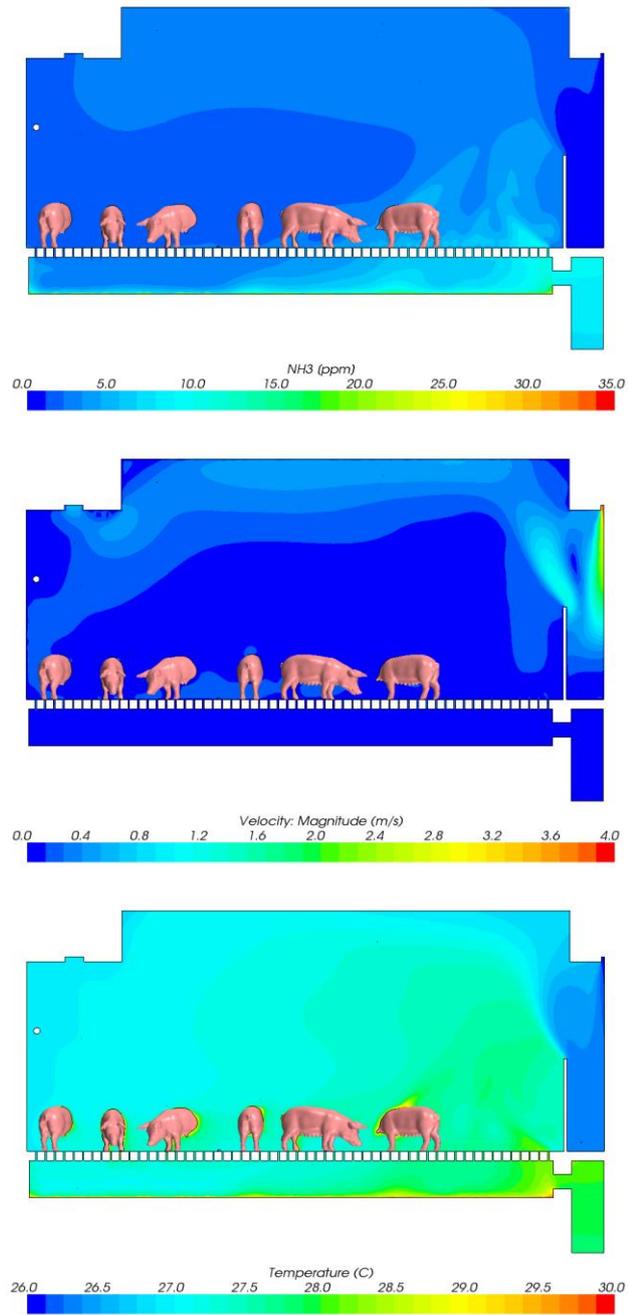
**Fallbeispiel 8:** Sommerlufrate Kontrollabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
50	100	0



**Abbildung 143:**

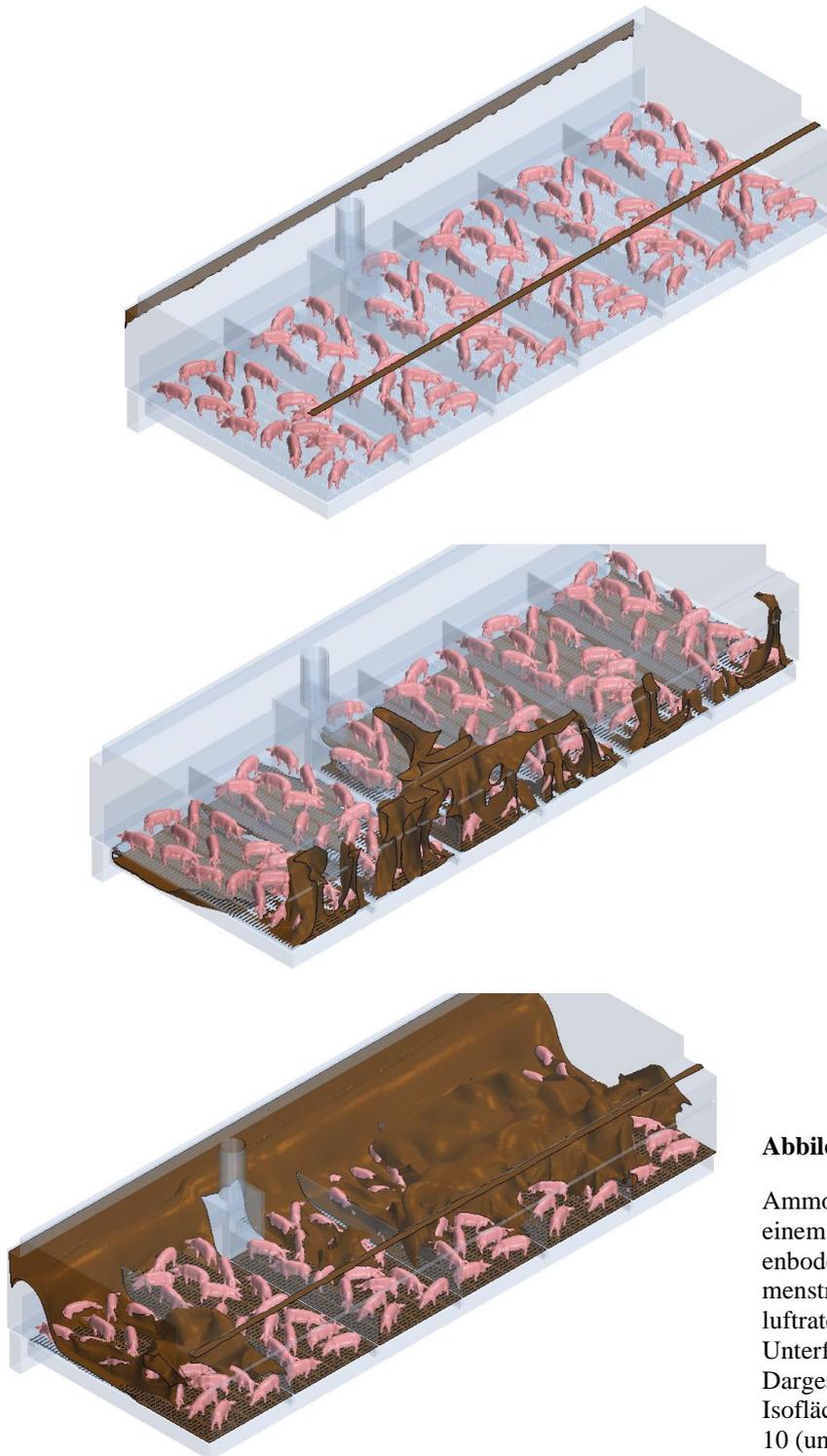
Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 144:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 100 % im Kontrollabteil.

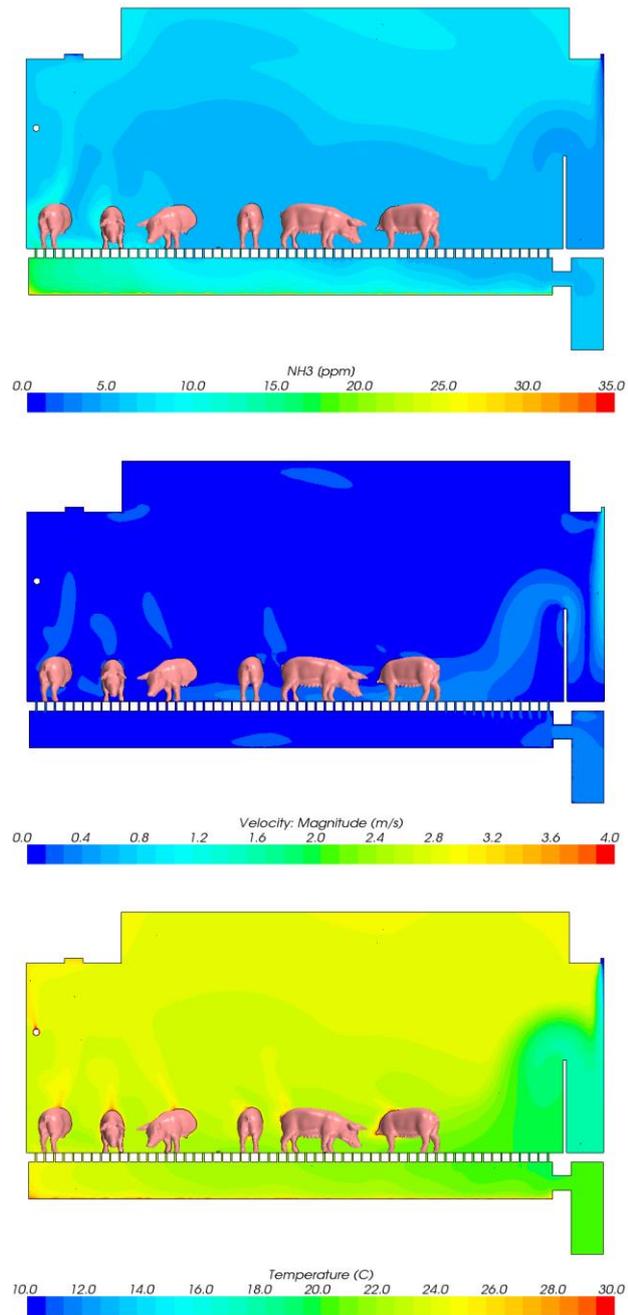
**Fallbeispiel 9:** Winterlufrate Versuchsabteil

Abstand Gülleoberfläche zum Spaltenboden (cm)	Volumenstrom Oberflur (%)	Volumenstrom Unterflur (%)
50	0	30



**Abbildung 145:**

Ammoniakverteilung im Abteil bei einem Abstand der Gülleoberfläche zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterlufrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil. Dargestellt werden die Ammoniak Isoflächen für 2 (oben), 5 (Mitte) und 10 (unten) ppm.



**Abbildung 146:** Ammoniakkonzentrationen (oben), Geschwindigkeitsverteilungen (Mitte) und Temperaturverteilungen (unten) in einem Stallquerschnitt bei einem Abstand der Gülle zum Spaltenboden von 50 cm, bei einem Volumenstrom Oberflur von 0 % (Winterluftrate) und einem Volumenstrom Unterflur von 30 % im Versuchsabteil.

Hinsichtlich der Darstellungen zu den Fallbeispielen 1 bis 9 muss von nachfolgenden Konzentrationen ausgegangen werden.

**Tabelle 4:** Darstellungen der Konzentrationen zu den Fallbeispielen 1 bis 9

	Kontrollabteil "Sommer"	Versuchsabteil "Sommer"		Versuchsabteil "Winter"
	100 % Oberflur [mg/m <sup>3</sup> ]	70 % Oberflur [mg/m <sup>3</sup> ]	30 % Unterflur [mg/m <sup>3</sup> ]	30% Unterflur [mg/m <sup>3</sup> ]
Abstand Gülle zum Spaltenbo- den [cm]				
100	1,6243	0,6067	5,0628	4,288
70	1,686	0,4937	5,115	4,3033
50	1,57	0,4768	5,2286	4,527

#### 4.5. Olfaktometrie

Die Betriebsbedingungen während der Emissionsmessungen am 02.10.2013 und am 19.03.2014 können als bestimmungsgemäß und als repräsentativ für die Aufgabenstellung charakterisiert werden. Insbesondere waren am 19.03.2014 die Witterungsbedingungen i. V. m. dem Luftbedarf der Tiere dazu geeignet, die Oberflurlüftung im Versuchsabteil ansteuern zu können. Nachfolgende Geruchstoffkonzentrationen konnten ermittelt werden.

**Tabelle 5:** Darstellung der Geruchstoffkonzentrationen

Quelle	Proben- bezeichnung	Probenahmezeit- raum	Auswer- tungszeit	Geruchstoff- konzentration [Z <sub>ITE</sub> ]
		[Uhrzeit]	[Uhrzeit]	[GE/m <sup>3</sup> ]
Ergebnisse der Geruchstoffkonzentrationsmessungen am 02.10.2013				
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 4</b>	4/1	08:39 – 09:09	14:40	6 137
	4/2	09:16 – 09:46	15:24	1 722
	4/3	09:50 – 10:20	15:51	1 625
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>2 580</b>
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 6</b>	6/1	08:40 – 09:10	14:48	2 299
	6/2	09:15 – 09:45	15:02	2 734
	6/3	09:51 – 10:21	16:10	1 625
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>2 170</b>
Oberflurabsaugung Kontrollabteil <b>Messöffnung 11</b>	11/1	09:25 – 09:55	15:38	1 722
	11/2	10:02 – 10:32	16:19	1 625
	11/3	09:51 – 10:21	16:57	1 448
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>1 594</b>
Oberflurabsaugung	8/1	10:51 – 11:21	17:05	1 024

Quelle	Proben- bezeichnung	Probenahmezeit- raum	Auswer- tungszeit	Geruchstoff- konzentration [Z <sub>ITE</sub> ]
		[Uhrzeit]	[Uhrzeit]	[GE/m <sup>3</sup> ]
Kontrollabteil <b>Messöffnung 8</b>	8/2	11:24 – 11:54	17:15	1 218
	8/3	11:56 – 12:26	17:25	1 218
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>1 150</b>
Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 19.03.2014				
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 4</b>	4/1	08:40 – 09:10	13:49	4 598
	4/2	09:20 – 09:50	14:39	7 732
	4/3	09:58 – 10:28	15:49	4 598
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>5 468</b>
Oberflurabsaugung Kontrollabteil <b>Messöffnung 8</b>	8/1	08:59 – 09:29	14:00	1 625
	8/2	09:35 – 10:05	15:21	3 251
	8/3	10:10 – 10:40	16:10	3 069
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>2 531</b>
Oberflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 1</b>	1/1	09:10 – 09:40	14:13	512
	1/2	09:43 – 10:13	15:33	1 448
	1/3	10:20 – 10:50	16:18	1 290
	<b>geometrischer Mittelwert</b>			<b>985</b>

Die folgende Tabelle zeigt im Überblick die Randbedingungen während der Messungen.

**Tabelle 6:** Darstellung der Randbedingungen während der Messungen

Quelle	Messparameter: Abluft		
	Temperatur	relative Feuchte	Volumenstrom*
	[°C]	[%]	[m <sup>3</sup> /h]
Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 02.10.2013			
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 4</b>	24,6	67	1 910
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 6</b>	24,6	67	2 765
Oberflurabsaugung Kontrollabteil <b>Messöffnung 11</b>	25,7	77	1 400
Oberflurabsaugung Kontrollabteil	25,7	78	2 375

Quelle	Messparameter: Abluft		
	Temperatur	relative Feuchte	Volumenstrom*
	[°C]	[%]	[m³/h]
<b>Messöffnung 8</b>			
Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 19.03.2014			
Unterflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 4</b>	24,4	61	2 040
Oberflurabsaugung Kontrollabteil <b>Messöffnung 8</b>	23,3	81	4 290
Oberflurabsaugung Versuchsabteil <b>Messöffnung 1</b>	23,3	81	1 680

\* Volumenstromangabe unter der Bedingung 973 hPa, gerundet

Zur Berechnung der Emissionsmassenströme wurden die ermittelten Volumenströme (Teilströme) mit den Konzentrationswerten der olfaktometrischen Analyse multipliziert.

**Tabelle 7:** Darstellung der Volumenströme, mittleren Geruchsstoffkonzentrationen und des Geruchsstoffstromes

Quelle	Volumenstrom* (Teilstrom)	mittlere Geruchsstoff- konzentration	Geruchsstoffstrom (Teilemissionsstrom)
	[Nm³/h]	[GE/m³]	[MGE/h]
Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 02.10.2013			
<b>Messöffnung 4</b>	1 806	2 580	4,66
<b>Messöffnung 6</b>	2 615	2 170	5,67
<b>Messöffnung 11</b>	1 319	1 594	2,10
<b>Messöffnung 8</b>	2 238	1 150	2,57
Ergebnisse der Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 19.03.2014			
<b>Messöffnung 4</b>	1 930	5 468	10,56
<b>Messöffnung 8</b>	4 075	2 531	10,31
<b>Messöffnung 1</b>	1 596	985	1,57

\* Volumenstromangabe unter den Bedingungen 1013 hPa, 293,15 K und feucht, gerundet

Die Ermittlung der Messunsicherheiten bei der Ermittlung der Geruchsstoffkonzentrationen (Olfaktometrie) erfolgte entsprechend DIN EN 13725, Anhang G. Es wurde hierbei angenommen, dass die Präzision, die für das Referenzmaterial (n-Butanol) festgestellt wurde, sich auf Messungen an Proben übertragen lässt, die kein Referenzmaterial sind. Die DIN EN 13725 führt aus, dass, wenn ein Labor für die Präzision  $r$  einen besseren Wert als denjenigen, der aus  $10^f = 3$  resultiert, erzeugt, dann dieser Wert den Berechnungen für Geruchsstoffproben, die nicht wiederholt analysiert werden, zugrunde gelegt werden kann.

Diese Annahme ermöglicht es, eine Standardabweichung für eine Grundgesamtheit von Prüfergebnissen zu ermitteln, die sich auf die statistische Beurteilung einer kleinen Anzahl von Prüfergebnissen anwenden lässt. Wird die Messunsicherheit bei der hier durchgeführten Messung gleich der zulässigen ermittelten Unsicherheit des Messlabors am Messtag bezüglich der Wiederholpräzision gesetzt, so kann der 95 %-Vertrauensbereich der durchgeführten Messung analog zur Tabelle G.1 der DIN EN 13725:2003 bestimmt werden.

Das 95%ige Vertrauensintervall der logarithmierten Geruchsstoffkonzentration variiert um den Erwartungswert mit

$$\pm t_{95\%} \frac{S_r}{\sqrt{n}}$$

Abhängig von der Probenanzahl kann anschließend nach folgender Formel der Faktor  $f(n)$  ermittelt werden, woraus sich der 95 %-Vertrauensbereich um den ermittelten Mittelwert ergibt.

$$f = 10^{t_{95\%} \frac{S_r}{\sqrt{n}}}$$

Zum Zeitpunkt der Datenauswertung (02.10.2013 und am 19.03.2014) wurden während der Messung folgende Leistungen erbracht, die der Ermittlung der Messunsicherheit zugrunde lagen.

**Tabelle 8:** Ermittlung der Messunsicherheit

Eingangsgrößen	02.10.2013	19.03.2014
am Messtag ermittelte Wiederholstandartabweichung ( $s_r$ )*	0,1328	0,1219
tatsächliche Wiederholpräzision $10^f$	2,4717	2,2946
$t_{95\%}$	2	2
Probenanzahl (n)	3	3
$t_{95\%}(s_r/\sqrt{n})$	0,1533	0,1408
$f(n)$	1,4235	1,3828

\* ermittelte Präzision für das Referenzmaterial (n-Butanol) = Präzision der Messung

Entsprechend der Tabelle G.1 aus dem Anhang G der DIN EN 13725 wurden die oberen und unteren Grenzen der Messunsicherheit laborspezifisch für die Geruchsstoffkonzentration ermittelt.

**Tabelle 9:** Darstellung der Geruchsstoffkonzentration an den Messtagen

Probenbezeichnung	Anzahl	Geruchsstoffkonzentration [ $Z_{ITE}$ ]		
	[n]	[GE/m <sup>3</sup> ] untere Grenze	Mittel [GE/m <sup>3</sup> ]	[GE/m <sup>3</sup> ] obere Grenze
Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 02.10.2013				
Messöffnung 4 (UF, Versuch)	3	1 812	2 580	3 673
Messöffnung 6 (UF, Versuch)	3	1 524	2 170	3 089
Messöffnung 11 (OF, Kontrolle)	3	1 120	1 594	2 269
Messöffnung 8 (OF, Kontrolle)	3	808	1 150	1 637
Geruchsstoffkonzentrationsmessungen am 19.03.2014				
Messöffnung 4 (UF, Versuch)	3	3 954	5 468	7 561
Messöffnung 8 (OF, Kontrolle)	3	1 830	2 531	3 500
Messöffnung 1 (OF, Versuch)	3	712	985	1 362

Die Messungen konnten bei gleichförmig arbeitenden Mess- und Probenahmegeräten ausgeführt werden. Alle Messungen wurden bei bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen durchgeführt. Störungen wurden nicht registriert. Die Messergebnisse weisen im Hinblick auf die Betriebsbedingungen sowie die Art der Quelle keine Ungewöhnlichkeiten auf. Bei Betrachtung des am jeweiligen Messtag vorgefundenen Betriebszustandes erscheint das Messergebnis plausibel. Die Geruchsstoffkonzentrationen und die ermittelten Emissionen entsprechen den Erfahrungswerten bei Messungen in Schweineställen.

Bei Betrachtung der Ergebnisse des 2. Messtages (Vergleich nur hier möglich) zeigt sich dass die Geruchskonzentration der Oberflurlüftung bei gleichzeitiger Unterflurlüftung erwartungsgemäß deutlich geringer ist.

#### 4.6. Investitionsaufwand und Investitionsfolgekosten

Nachfolgend sind die betrieblichen Inventarisierungswerte der Schweinemastanlage Wiegleben (2.188 Tierplätze) angegeben:

**Tabelle 10:** Ermittlung des Investitionsaufwandes nach betrieblichen Regelsätzen

Inv.-Nr.	Bezeichnung	Ansch.-datum	Ansch.-wert EUR	ND Mon	Afa %	Afa p.a. EUR
<b>1 Investitionsaufwand und Abschreibungen nach betrieblichen Regelsätzen</b>						
*01	Bau	31.12.11	432.543,79	300	4,0%	17.301,75
*02	Außenanlagen	01.06.12	26.006,30	180	6,7%	1.733,75
*03	Lüftung	01.06.12	180.415,76	120	10,0%	18.041,58
*04	Heizung	31.12.11	22.066,48	120	10,0%	2.206,65
*05	Fütterung	01.01.12	85.042,38	96	12,5%	10.630,30
*06	Ausrüstung	31.12.11	82.469,66	120	10,0%	8.246,97
*07	Elektroinstallation	31.12.11	34.440,80	120	10,0%	3.444,08
*08	Computer	01.01.12	1.697,60	36	33,3%	565,87
*09	Systembezogene zusätzliche bauliche Anlagen <sup>1)</sup>	31.12.11	481.907,00	300	4,0%	19.276,28
*10	Abluftreinigung, techn. Anlagen	01.01.12	114.926,00	120	10,0%	11.492,60
1.1	Summe Inv.-Nr. *01 bis *08		864.682,77		7,2%	62.170,94
	<b>je Tierplatz</b>		<b>395,19</b>			<b>28,41</b>
1.2	Summe Inv.-Nr. *09		481.907,00	300	4,0%	19.276,28
	<b>je Tierplatz</b>		<b>220,25</b>			<b>8,81</b>
1.3	Summe Inv.-Nr. *10		114.926,00	120	10,0%	11.492,60
	<b>je Tierplatz</b>		<b>52,53</b>			<b>5,25</b>
1	<b>Summe Inv.-Nr. *01 bis *10</b>		<b>1.461.515,77</b>		<b>6,4%</b>	<b>92.939,82</b>
	<b>je Tierplatz</b>		<b>667,97</b>			<b>42,48</b>
<b>2 Investitionsförderung und Erträge aus Sonderpostenauflösung</b>						
*09	Systembezogene zusätzliche bauliche Anlagen <sup>1)</sup>	30.06.12	168.667,00	300	4,0%	6.746,68
*10	Abluftreinigung, techn. Anlagen	30.06.12	40.225,00	120	10,0%	4.022,50
2	<b>Summe Sonderposten</b>		<b>208.892,00</b>		<b>5,2%</b>	<b>-10.769,18</b>
	<b>je Tierplatz</b>		<b>95,47</b>			<b>4,92</b>
<b>3 Investitionsaufwand abzüglich Investitionsförderung</b>						
	<b>Saldo Pos. 1 minus Pos. 2</b>		<b>1.252.623,77</b>		<b>6,6%</b>	<b>82.170,64</b>
	<b>je Tierplatz</b>		<b>572,50</b>			<b>37,56</b>

ND - Nutzungsdauer

<sup>1)</sup> infolge genehmigungstechnischer Auflagen

Der Investitionsaufwand für Bau, Innen- und Außeneinrichtung des Maststalles (Summe Inv.-Nr. \*01 bis \*08, d.h. ohne Abluftreinigung) beträgt umgerechnet 395,19 EUR je Tierplatz. Nach den betrieblichen Erwartungswerten zur Nutzungsdauer resultieren daraus Abschreibungen in Höhe von 28,41 EUR je Tierplatz und Jahr (bei 3 Umtrieben je Jahr sind das ca. 9,50 EUR je Mastschwein).

Für alle technischen Anlagen, die der Abluftreinigungsanlage (3-stufige Anlage unter Inv.-Nr. \*10) zuzuordnen sind, wird ein zusätzlicher Investitionsaufwand von 52,53

EUR je Tierplatz ausgewiesen. Allein dadurch entstehen jährlich höhere Abschreibungen von 5,25 EUR je Tierplatz (bzw. 1,75 EUR je Mastschwein). Weitere 220,25 EUR je Tierplatz mussten aufgrund behördlicher Auflagen (punktuell konzentrierte Abluftführung [Oberflurentlüftung] am südlichen Ende des Stalles, neue Statik, zusätzliche Kanäle; alles zusammen unter Inv.-Nr. \*09) investiert werden. Damit erhöht sich die jährliche Abschreibungsbelastung um nochmals 8,81 EUR je Tierplatz (bzw. die Produktionskosten je Schwein steigen um fast 3 EUR). Reduziert man den Gesamtbetrag des Herstellungsaufwandes von 667,97 EUR je Tierplatz um die betriebsspezifische Investitionsförderung in Höhe von 95,47 EUR, dann verbleiben 572,50 EUR je Tierplatz. In den Folgejahren werden daraus regelmäßig wiederkehrend Abschreibungen abzüglich der periodisierten Erträge aus der Investitionsförderung in Höhe von 37,56 EUR je Tierplatz (bzw. mehr als 12,50 EUR je Mastschwein) kostenwirksam. Dazu kommen noch die Finanzierungs-, Versicherungs- sowie Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von diesem Vermögenswert.

Nachfolgend werden die Investitionsfolgekosten für den Betrieb der 3-stufigen Abluftreinigungsanlage in der Schweinmastanlage Wiegleben aufgezeigt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der gestellten Untersuchungsaufgabe. Zum Vergleich stehen demnach der Versuchsstall (30% Unterflur/ 70 % Oberflur) und der Kontrollstall (100 % Oberflur).

Im Untersuchungszeitraum wurden nachfolgende Auslegungsluftraten zu Grunde gelegt.

**Tabelle 11:** Auslegungsluftrate der RLT-Anlage im Versuchszeitraum

(1) Minimaler Abluftvolumenstrom		15,0	m <sup>3</sup> /(TP*h)		
(2) Maximaler Abluftvolumenstrom ("Auslegungsluftrate")		98,0	m <sup>3</sup> /(TP*h)		
(3) Verteilung der Abluftvolumenströme		im Jahresverlauf		im Versuchszeitraum	
	in % von (2)	m <sup>3</sup> /(TP*h)	Tage	m <sup>3</sup> /(TP*h)	Tage
JAN	15%	14,7	31	14,7	31
FEB	20%	19,6	28	19,6	28
MRZ	25%	24,5	31	24,5	26
APR	50%	49,0	30		0
MAI	80%	78,4	31		0
JUN	100%	98,0	30		0
JUL	100%	98,0	31		0
AUG	100%	98,0	31	98,0	31
SEP	90%	88,2	30	88,2	30
OKT	75%	73,5	31	73,5	31
NOV	45%	44,1	30	44,1	30
DEZ	20%	19,6	31	19,6	18
Mittelwert	60%	<b>59,0</b>	365	<b>50,1</b>	225

Folgender jährlicher Betriebsmittelverbrauch wurde im Untersuchungszeitraum erfasst bzw. entsprechend der Literatur zum Ansatz gebracht.

**Tabelle 12:** Aufstellung des Betriebsmittelverbrauches für die Anlage

Position	Einheit	Bezug	Versuch	Kontrolle	Differenz
Innentemperatur (Lüftungssteuerung)	°C		25,64	25,34	0,31
Außentemperatur	°C		8,43	8,45	-0,01
Auslegungsluflrate (Versuchszeitraum)	m <sup>3</sup> /(TP*h)		50,1	50,1	
Ø Luftvolumenstrom (IST)	m <sup>3</sup> /(TP*h)		22,94	15,99	6,94
-"- relativ zur Auslegungsluflrate			46%	32%	14%
Auslegungsrate Luftwäscher (IST)	m <sup>3</sup> /(TP*h)		80		
Auslegungsrate Luftwäscher (IST)	m <sup>3</sup> /h		52.000		
Ø Luftvolumenstrom Unterflur (IST)	m <sup>3</sup> /h	(VA * 10)	47.943		
-"- relativ zur Auslegungsluflrate			92%		
<b>1 Strombedarf Lüftung</b>		<i>Tierplätze</i>	218	218	
Abluftvolumen Oberflur	m <sup>3</sup> /a		1.403.556	30.264.934	<sup>1)</sup>
spez. Leistungsaufnahme Lüfter	Wh/1.000 m <sup>3</sup>		28	28	<sup>2)</sup>
Faktor Zuluftführung: <i>Lochplatten</i>			1,33	1,33	<sup>2)</sup>
Faktor Abluftführung: <i>Oberflur, zentral</i>			1,75	1,75	<sup>2)</sup>
Faktor Kaminbauart: <i>Einströmdüse u. Dif-fusor</i>			1,00	1,00	<sup>2)</sup>
<b>1.1 Strombedarf Lüftung OF</b>	kWh/a		91	1.972	
Abluftvolumen Unterflur	m <sup>3</sup> /a		41.998.027	0	<sup>1)</sup>
spez. Leistungsaufnahme Lüfter	Wh/1.000 m <sup>3</sup>		28	28	<sup>2)</sup>
Mehrverbrauch druckstabiler Ventilatoren	Wh/1.000 m <sup>3</sup>		70	0	<sup>3)</sup>
Faktor Zuluftführung: <i>Lochplatten</i>			1,33	1,33	<sup>2)</sup>
Faktor Abluftführung: <i>Unterflur, zentral</i>			2,50	2,50	<sup>2)</sup>
Faktor Kaminbauart:			1,00	1,00	<sup>2)</sup>
<b>1.2 Strombedarf Lüftung UF</b>	kWh/a		13.685	0	
<b>1.3 Strombedarf Lüftungssteuerung</b>	kWh/a		78	78	
<b>Strombedarf Lüftung insges.</b>	<b>kWh/a</b>		<b>13.855</b>	<b>2.051</b>	
	<b>kWh/(TP*a)</b>		<b>63,6</b>	<b>9,4</b>	<b>54,1</b>
<b>2 Strombedarf gesamte Abluftreinigungsanlage (ARA)</b>		<i>Tierplätze</i>	2.180	2.180	
Schmutzwasserpumpen	kWh/a		14.104		
Säurewasserpumpe	kWh/a		9.636		
<b>Strombedarf ARA insges.</b>	<b>kWh/a</b>		<b>23.740</b>	<b>0</b>	
	<b>kWh/(TP*a)</b>		<b>10,9</b>	<b>0,0</b>	<b>10,9</b>
<b>3 Wasserbedarf gesamte Abluftreinigungsanlage (ARA)</b>		<i>Tierplätze</i>	2.180	2.180	
Schmutzwasser	m <sup>3</sup> /a		156,6		
Säurewasser <sup>5)</sup>	m <sup>3</sup> /a		31,4		
Verdunstungsrate	l/1.000 m <sup>3</sup> Abluft		6,0		<sup>3)</sup>
Abluftvolumen Unterflur	m <sup>3</sup> /a		419.980.274		
Wasserzufüllung	m <sup>3</sup> /a		2.519,9		
<b>Wasserbedarf ARA insges.</b>	<b>m<sup>3</sup>/a</b>		<b>2.707,9</b>	<b>0,0</b>	
	<b>m<sup>3</sup>/(TP*a)</b>		<b>1,2</b>	<b>0,0</b>	<b>1,2</b>

	Position	Einheit	Bezug	Versuch	Kontrolle	Differenz
4	<b>Abwasseranfall Abluftreinigungsanlage (ARA)</b>		Tierplätze	2.180	2.180	
	Schmutzwasser	m <sup>3</sup> /a		156,6		
	Säurewasser <sup>5)</sup>	m <sup>3</sup> /a		31,4		
	<b>Abwasseranfall ARA insges.</b>	<b>m<sup>3</sup>/a</b>		<b>188,0</b>	<b>0,0</b>	
		<b>m<sup>3</sup>/(TP*a)</b>		<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>
5	<b>Säurebedarf Abluftreinigungsanlage (ARA)</b>		Tierplätze	2.180	2.180	
	<b>Säurebedarf ARA insges.</b>	<b>kg/a</b>		<b>4.000</b>	<b>0</b>	
		<b>kg/(TP*a)</b>		<b>1,8</b>	<b>0,0</b>	<b>1,8</b>
6	<b>Arbeitszeitbedarf Abluftreinigungsanlage (ARA)</b>		Tierplätze	2.180	2.180	
	Funktionskontrolle	Akh/a		24,0		
	Reinigung ARA	Akh/a		96,0		
	Reinigung Abluftkanäle	Akh/a		0,0		4)
	<b>Arbeitszeitbedarf ARA insges.</b>	<b>Akh/a</b>		<b>120,0</b>	<b>0,0</b>	
		<b>Akh/(TP*a)</b>		<b>0,06</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>

<sup>1)</sup> lineare Hochrechnung auf Basis der Messdaten im Versuch

<sup>2)</sup> Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung; KTBL-Heft 105, Darmstadt 2014

<sup>3)</sup> Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen; KTBL-Schrift 451, Darmstadt 2006

<sup>4)</sup> 192 Akh (16 Akh/Monat x 12 Monate) zur manuellen Reinigung der Abluftkanäle nicht angerechnet

<sup>5)</sup> Der Düngewert des Säurewassers (entstehendes Ammoniumsulfat) wurde in der Kalkulation nicht berücksichtigt, da die fallspezifischen Konzentrationen nicht ermittelt wurde. Es wurde davon ausgegangen, dass der Ertragswert den anfallenden Verbringungskosten gleichzusetzen ist.

Entsprechend der ermittelten Daten ergaben sich nachfolgende jährliche Betriebskosten für die Anlage.

**Tabelle 13:** Darstellung der jährlichen Betriebskosten für die Anlage

Position	Einheit	Versuch	Kontrolle	Differenz
Strombedarf Lüftung und Abluftreinigungsanlage (ARA)	kWh/(TP*a)	74,4	9,4	65,0
0,1805 EUR/kWh	EUR/(TP*a)	13,44	1,70	11,74
Wasserbedarf (ARA)	m <sup>3</sup> /(TP*a)	1,2	0,0	1,2
1,50 EUR/m <sup>3</sup>	EUR/(TP*a)	1,86	0,00	1,86
Abwasseranfall (ARA)	m <sup>3</sup> /(TP*a)	0,1	0,0	0,1
4,00 EUR/m <sup>3</sup>	EUR/(TP*a)	0,34	0,00	0,34
Säurebedarf (ARA)	kg/(TP*a)	1,8	0,0	1,8
0,65 EUR/kg	EUR/(TP*a)	1,19	0,00	1,19
Arbeitszeitbedarf (ARA)	Akh/(TP*a)	0,06	0,00	0,1
18,00 EUR/Akh	EUR/(TP*a)	0,99	0,00	0,99
<b>Betriebskosten insgesamt</b>	<b>EUR/(TP*a)</b>	<b>17,83</b>	<b>1,70</b>	<b>16,13</b>
	EUR/Schlachtschwein <sup>1)</sup>	<b>5,94</b>	<b>0,57</b>	<b>5,38</b>
	EUR/kg Schlachtgewicht <sup>2)</sup>	<b>0,060</b>	<b>0,006</b>	<b>0,055</b>

<sup>1)</sup> 3,0 Umtriebe je Mastplatz und Jahr - <sup>2)</sup> 98,64 kg Schlachtgewicht je Tier

Zusammenfassend werden nachfolgende jährliche Investitionskosten dargestellt.

**Tabelle14:** Ermittlung der jährlichen Investitionskosten

Position	Einheit	Versuch	Kontrolle	Differenz
_Investitionsaufwand Maststall	EUR/TP	395,19	395,19	
_Investitionsaufwand Abluftreinigung	EUR/TP	52,53		
Abschreibungen <sup>a)</sup>	EUR/(TP*a)	33,66	28,41	5,25
Abzug Investitionsförderung <sup>a)</sup>	EUR/(TP*a)	-1,84		-1,84
Unterhaltung <sup>b)</sup>	EUR/(TP*a)	9,36	7,78	1,58
Verzinsung <sup>c)</sup>	EUR/(TP*a)	7,84	6,92	0,92
<b>Investitionskosten insgesamt</b>	<b>EUR/(TP*a)</b>	<b>49,02</b>	<b>43,11</b>	<b>5,91</b>
	EUR/Schlachtschwein <sup>1)</sup>	<b>16,34</b>	<b>14,37</b>	<b>1,97</b>
	EUR/kg Schlachtgewicht <sup>2)</sup>	<b>0,166</b>	<b>0,146</b>	<b>0,020</b>

Investitionsaufwand ohne systembezogene bauliche Anlagen aufgrund behördlicher Auflagen:  
punktuelle konzentrierte Abluftführung, neue Statik und zusätzliche Kanäle

<sup>a)</sup> nach den betrieblichen Bilanzierungswerten

<sup>b)</sup> nach Pauschalansätzen des KTBL:

1% für Bau, 2% für Gebäudetechnik, 3% für betriebliche Einbauten

<sup>c)</sup> 3,5% des halben Investitionsaufwandes

<sup>1)</sup> 3,0 Umtriebe je Mastplatz und Jahr

<sup>2)</sup> 98,64 kg Schlachtgewicht je Tier

## 5. Diskussion

Die internationalen Vereinbarungen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung lassen sich u. a. realisieren, wenn man die raumluftechnischen Konzepte in der Tierhaltung völlig neu überdenkt. Sowohl physikalische als auch numerische Modelle zur Erfassung des Betriebsablaufes tragen sehr effektiv dazu bei, Tendenzen aufzudecken und ein Modellvorhaben als fortführungswürdig einzustufen. Die Messungen am Modell aus den Untersuchungen im Jahre 2003 bestätigten, dass die Oberflurkonzentrationen bei gleichzeitiger Unterflurabsaugung geringer sind als im Fall ohne Unterflurabsaugung, und zwar schon bei geringen Luftabzweigungen. Diesen Zusammenhang galt es zu optimieren. Hier greifen im Detail numerische Modelle zur Erfassung des Strömungsablaufes im Bereich des Spaltenbodens. Die Anforderungen an den Umweltschutz in der Schweinehaltung steigen. Tendenziell sinkt die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Tierhaltung. Abluftreinigungssysteme rücken dabei immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Die Landwirte schauen dabei kritisch auf die geänderten Strömungsverhältnisse im Stall (Tiergesundheit) und verfahrensbedingten Investitionsfolgekosten. Abluftreinigungsanlagen für Tierhaltungsanlagen sind teuer in Anschaffung und Gebrauch. Mit Hilfe des Einsatzes von physikalischen und auch numerischen Modellen wurde ein neues raumluftechnisches Konzept entwickelt, in dem ein Teil der Stallluft unterhalb des Spaltenbodens abgesaugt wird und einer Abluftreinigungsanlage zugeführt, der deutlich kleiner bemessen ist als einer für den Gesamtvolumenstrom. Getrennt davon werden durch eine spezielle Luftführung oberhalb des Spaltenbodens die Strömungsverhältnisse so verändert, dass weniger Ammoniak mitgenommen wird. Die Abluftreinigung des kontinuierlich unter der Flur abgesaugten Volumenstroms, der maximal 30 % des Gesamtvolumenstromes ausmacht, ermöglicht bezüglich Ammoniak einen Gesamtwirkungsgrad der Anlage von 70 %. Außerdem sollten die stallinternen Schadgas-Konzentrationen im Tierbereich erheblich sinken.

Lassen sich demnach mit Hilfe der Numerik neue raumluftechnische Konzepte in der Schweinehaltung entwickeln, die durch eine gezielte Strömung im Bereich der Schweine und im Bereich der Flüssigmistoberfläche zu geringeren Emissionen führen? Dabei sollen beide Systembereiche getrennt voneinander von einem raumluftechnischen System geführt werden. Gelingt es dabei, die Druckverhältnisse im System so zu gestalten, dass fast kein Stoffaustausch zwischen Oberflur und Unterflur stattfindet? Physikalische und numerische Modelle haben gezeigt, dass dies unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist. Die logische Schlussfolgerung wäre demnach nicht mehr 100% der Abluft zu reinigen, sondern nur den Anteil (Unterflur) der Abluft, der hoch mit Ammoniak bzw. Geruch belastet ist.

Während des Untersuchungszeitraumes lag die Ammoniakkonzentration im Tierbereich des Versuchsstalls (Messpunkt 2) im Mittel bei  $7,94 \text{ mg/m}^3$ . Im Vergleichsstall wurde in der gleichen Höhe ein Durchschnitt von  $17,49 \text{ mg/m}^3$  ermittelt. Insbesondere in der Messreihe, wo Ober- und Unterflurventilatoren laufen, konnte festgestellt werden, dass es zu keinem größeren Stoffaustausch zwischen Unter- und Oberflurbereich (insbesondere an der „Systemgrenze“) gekommen sein muss. Die Konzentrationen in 150 cm Höhe waren im Versuchsstall bei durchschnittlich  $6,4 \text{ mg/m}^3$  ( $9,6 \text{ ppm}$ ). Im Vergleichsstall waren die Konzentrationen mit einem Mittel von  $14,63 \text{ mg/m}^3$  fast so

hoch wie im Tierbereich. Diese relativ niedrigen Konzentrationen im Versuchsstall dürften (entsprechend der Literatur) natürlich auch einen Effekt auf die tierischen Leistungen haben. Untersucht wurden beide Tiergruppen hinsichtlich tierphysiologischer Parameter. Die Ergebnisse werden hier nicht detailliert dargestellt, da sie Gegenstand einer weiteren Arbeitsaufgabe sind. Die hier vorhandenen Untersuchungsvoraussetzungen sind durchaus als optimal zu werten (neuer Stall, etc.). Aufgrund dessen werden die Unterschiede zwischen beiden Versuchsgruppen nur gering sein. Ethologische Untersuchungen werden jedoch zeigen, dass u.a. geringe Konzentrationen von Schadstoffen im Umfeld der Tiere sich positiv auf die Tiere auswirken.

Der durchschnittliche Massestrom von Ammoniak lag im Untersuchungszeitraum bei 0,56 g je Stunde. Unterflur wurden durchschnittlich 68,36 g Ammoniak je Stunde der 3-Stufigen Abluftreinigungsanlage zugeführt und in Größenordnung des vorliegenden DLG-Prüfergebnisses (Abluftreinigungszertifikat, Signum-Test) gemindert. Im Vergleichsstall lag der Massestrom im Untersuchungszeitraum bei durchschnittlich 61,44 g Ammoniak je Stunde. Die Messergebnisse widerspiegeln damit die Ergebnisse der numerischen Modelle wieder. Es findet demnach, trotz hoher Volumina-Gegensätze (30-70), kein oder nur ein sehr geringer Stoffaustausch zwischen beiden Systembereichen statt.

Die olfaktorischen Untersuchungen sind auf Grund der wenigen Messtage als Trend zu werten. Jedoch in Bezug auf die Geruchsstoffmassenströme wurden die Ergebnisse der Voruntersuchungen (MÜBLICK ET AL., 2003) und die von KRAUSE ET AL. (2005) tendenziell bestätigt. Unter diesen Versuchsbedingungen wurden Geruchsstoffmassenströme von 10,31 MGE je Stunde im Unterflurbereich des Versuchstalles ermittelt. Dieser Teilemissionsstrom wurde ebenfalls der 3-Stufigen Abluftreinigungsanlage zugeführt und gemäß Herstellerangaben zu 70% herausgefiltert. Oberflur strömten 1,56 MGE je Stunde ungefiltert aus dem Stall. Im Kontrollstall lag der Wert bei 10,31 MGE je Stunde. Es treffen also ähnliche Kausalitäten zu, wie sie beim Ammoniak ermittelt wurden (fast kein Stoffaustausch im Bereich der Systemgrenzen). Da bei der numerischen Modellierung mit dem Programmpaket STAR-CCM+ nur reine Stoffe (also keine Stoffgemische) betrachtet werden können, zeichnet sich die Möglichkeit ab, STAR-CCM+ auch in diesem Bereich (hinsichtlich der numerischen Modellierung bzw. Darstellung von Stoffströmen) zu nutzen.

Aus Sicht der Wirkung des untersuchten Systems auf die Umweltbelage ist es als positive Alternative zur 100% Erfassung und Behandlung zu werten.

Der Begriff Stand der Technik wird u.a. in § 3 Abs. 6 Bundes-Immissionsschutzgesetz einheitlich bestimmt. Der Stand der Technik im Umweltrecht wird maßgeblich durch das Europarecht beeinflusst. Die Industrieemissionsrichtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung fordert für bestimmte Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen die „beste verfügbare Technik“. Die richtlinienkonforme Auslegung des Standes der Technik kann in den von der Richtlinie umfassten Anwendungsbereichen zu abweichenden, strengeren Anforderungen kommen. Die tatsächlich „wirksamste Technik“ wird in der Regel nicht verlangt, sondern eine Technik, welche ökonomisch zumutbar, großtechnisch erprobt und die Umwelt insge-

samt am besten schützt. Letzteres heißt beispielsweise für eine Technik zur Luftreinhaltung, dass auch der Energie- und Ressourcenverbrauch sowie die Verlagerung von Schadstoffen ins Abwasser und in die Abfälle mit betrachtet wird.

Der Investitionsaufwand für den Maststall in Wiegleben ohne Abluftreinigung bewegt sich mit 395,19 EUR je Tierplatz im üblichen Bereich normativer Baukosten. Für einen vergleichbaren Stalltyp liegt der Baukostenrichtwert nach KTBL bei 383 EUR je Tierplatz (KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13: Stalltyp MS 25003, Preisbasis 2009). Werden über den Baukostenindex 2012 zu 2009 von 1,042 auch noch die Preisdifferenzen bereinigt, stimmen die spezifischen Baukosten für den reinen Mastplatz nahezu überein.

Die Kosten zur Errichtung der Dreistufigen Abluftreinigungsanlage am Maststall in Wiegleben betragen 52,53 EUR je Tierplatz bei Filterung von 30% des Abluftvolumens. Bezogen auf die Kapazität dieser Abluftreinigungsanlage von ca. 52.000 m<sup>3</sup>/h Abluftvolumenstrom bedeutet das einen Investitionsaufwand von 2.210 EUR pro 1.000 m<sup>3</sup>/h. Vergleichsdaten des KTBL bewegen sich in einer Spanne von 40 bis 50 EUR je Tierplatz bei 100% Abluftreinigung bzw. 700 bis 1.100 EUR pro 1.000 m<sup>3</sup>/h Abluftvolumenstrom (KTBL-Schrift 451: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen, 2006). Der spezifische Investitionsaufwand für die Filteranlage in Wiegleben ist in Relation dazu um das 2 bis 3fache höher. Ein Grund hierfür sind die höheren technischen Aufwendungen für die Raumluftechnik wie zusätzliche Ventilatoren, Steuereinheiten, Kanäle etc., ein anderer aber auch deutlich höhere Preise. Wegen des hohen Investitionsaufwandes für die Abluftreinigungsanlage im konkreten Fall der Mastanlage in Wiegleben ergibt sich keine betriebswirtschaftliche Vorteilswirkung des Abluftkonzeptes (auch nicht unter Berücksichtigung der Investitionsförderung).

Für den laufenden Betrieb der partiellen 3-stufigen Abluftreinigungsanlage entstehen nach den vorliegenden Erhebungsdaten Betriebskosten von 16,13 EUR je Tierplatz und Jahr. Das entspricht bei 3 Umtrieben je Mastplatz und Jahr 5,38 EUR je Schlachtschwein und bei 98,64 kg Schlachtgewicht je Mastschwein etwa 5,5 Cent je kg Schlachtgewicht. Die Literatur weist jährliche Betriebskosten in der Spanne von 7,45 bis 21,51 EUR je Tierplatz und Jahr aus. KTBL gibt für eine 3-stufige Abluftreinigungsanlage vergleichbarer Kapazität (39.000 – 60.000 m<sup>3</sup>/h) eine Spannweite der Betriebskosten zwischen 7,00 und 9,90 EUR je Tierplatz zu Preisen vor 2006 an. Der ermittelte Wert liegt im Bereich der veröffentlichten Werte. Ein direkter Vergleich der jährlichen Betriebskosten der untersuchten Variante mit einer 100 % Abluftreinigungsanlage ist nicht möglich, da die Gegebenheiten (bauliche, verfahrenstechnische, etc.) zu unterschiedlich sind. Weiterhin handelt es sich hier um ein Pilotprojekt. Die damit verbundenen Sicherheitsleistungen schlagen sich natürlich in der betriebswirtschaftlichen Bewertung des Verfahrens wieder. Erfahrungen aus diesen Untersuchungen wurden in Folgeprojekte umgesetzt und bestätigten den Trend.

Das in der Schweinemastanlage Wiegleben untersuchte raumluftechnische Konzept mit einem Reinigungsanteil von 30% der Abluft verursacht Gesamtkosten von 22,04 je Tierplatz und Jahr (5,91 EUR Investitions- und 16,13 EUR Betriebskosten). Bei 3 Umtrieben je Mastplatz und Jahr erhöhen sich dadurch die Produktionskosten je Schlachtschwein um 7,35 EUR, bezogen auf ein kg Schlachtgewicht sind das 7,4 Cent. An Hand der detailliert aufgezeigten betriebswirtschaftlichen Bewertung wird sicht-

bar, wo angesetzt werden muss, um die Kosten zu senken. Ob das raumlufttechnische Konzept der Schweinemastanlage Wiegleben die Produktionsleistungsparameter signifikant beeinflusst, wird sich zeigen. Optimierungsprozesse in der Verfahrenstechnologie (Feinabstimmungen) lassen höhere Leistungen erwarten, die sich betriebswirtschaftlich auswirken können. Hinsichtlich dieser Kausalitäten werden sich positive Effekte ergeben, die anschließenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren werden aus Gründen der Vorsorge oder des Schutzes der unter § 1 BImSchG genannten Schutzgüter z.B. bauliche Nebenbestimmungen erlassen. Sie sind oft mit hohen Investitionskosten verbunden. Im vorliegenden Falle sollte die Fortluftführung der Oberflurabsaugung zentral an dem Stallgiebel angebracht werden, der am weitesten dem nächstgelegenen Immissionsbereich abgewandt war. Um dies zu realisieren, wurden alle Abluftkanäle im Bereich der Dachstuhltragkonstruktion verlegt (neue Statik, etc.). Dies hatte zur Folge, dass 220,25 EUR je Tierplatz (= 1/3 der gesamten Investitionssumme) zusätzlich investiert werden mussten. Der Abstand zwischen Fortluftaustritt und nächstgelegenen Immissionsort erhöhte sich durch diese bauliche Maßnahme um 30 m. Dies ist als versuchstechnische Sicherheitsleistung entsprechend dem Vorsorgegrundsatz zu werten. Hätte sich das raumlufttechnische System der „Lufttrennung“ (Ober-, Unterflur) nicht bewährt bzw. wären höher Schadstoffmassenströme aufgetreten, so wäre ein kleiner Effekt in Bezug auf die Immissionsminderung (Emissionsschwerpunktverschiebung) noch zu verzeichnen. Natürlich sind bauliche Variationen in dieser Hinsicht möglich bzw. denkbar. Damit müsste bei Betracht des Gesamtprojektes die o. g. Summe vernachlässigt werden. In nachfolgenden Projekten flossen beispielsweise eine Vielzahl verfahrenstechnologischer Erkenntnisse in die jeweilige Entwurfsplanung ein und widerspiegeln gesagtes.

Es konnte messtechnisch der Nachweis erbracht werden, dass bei der Teilabsaugung kein wesentlicher Stoffaustausch vom Unterflur- zum Oberflurbereich stattfindet. In Hinsicht auf die Effekte zum Tier- und Umweltschutz ist die Gestaltung der raumlufttechnischen Anlage nach dem Prinzip der partieller Unterflurabsaugung und zusätzlicher Teilstromabluftreinigung als Alternative gegenüber der 100% Abluftreinigungsanlage zu werten. Die Bemühungen hinsichtlich der gleichzeitigen Betrachtung von Umwelt- und Tierschutz - bei der Gestaltung der Verfahrenstechnologie in der Schweinehaltung – wird von den zuständigen Fachbehörden in Thüringen anerkannt und befürwortet.

## 6. Zusammenfassung

Gestiegene Anforderungen in der Schweinehaltung an den Umweltschutz in Verbindung mit einer tendenziell sinkenden Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Tierhaltung haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass Abluftreinigungssysteme immer mehr in den Focus der Öffentlichkeit treten. Abluftreinigungssysteme sind zwar technisch in der Lage, die Belange des Umweltschutzes zu erfüllen, werden aber im Hinblick auf die Folgekosten für den Landwirt und die Folgen für das Tier häufig kritisch hinterfragt. Es ist deshalb erforderlich, nach verfahrenstechnischen Lösungen zu suchen, die bei vertretbarer Kostenbelastung die Schadstoffemissionen wirksam reduzieren und das Stallklima weiter optimieren.

Das hier zur Untersuchung anstehende Forschungsprojekt ist an zwei generellen Zielsetzungen orientiert:

1. Emissionsminderung durch Aufteilung der stallinternen Strömungsläufe in Oberflur- und Unterflurabsaugungen bei ausschließlich vorgegebener Unterflurabsaugung, da diese über eine Abluftreinigung in die Umwelt geführt wird. Zudem soll die Strömung so ausgelegt sein, dass für die Tiere keine gesundheitlichen Nachteile erwachsen,
2. Bestimmung des spezifischen Emissionsmassenstromes dieses neuen Stallsystems.

Die Stallanlage lässt sich durch die Lüftungstechnische Umrüstung auf Schlitzöffnungen sowohl im Ober- als auch Unterflurbereich als eine quasi zweidimensionale Strömung beschreiben; sie weist gegenüber den üblichen Stalllüftungen über kreisrunde Abluftschächte, die in den Stallraum hinunterreichen und noch deutliche Strömungsmuster markieren, Diffusionskoeffizienten auf, die den Stoffaustausch vermehren. Dabei stellt die Einbindung einer Abluftreinigungsanlage lediglich eine quantitative Minderung der Emissionen dar. Mit einer Abluftreinigungsanlage lassen sich rückwirkend keine tiergesundheitsrelevanten Effekte bewirken. Reduzierungen des Energieverbrauches zur Strömungserzeugung greifen ebenfalls nicht – im Gegenteil, der Energieverbrauch steigt.

Eine Strömung, die auch ohne Abluftbehandlung auskommt, ist machbar. So sinken an anderen umgebauten Ställen mit veränderter Luftführung die bodennahen Konzentrationen. Eine Abscheidungsrate auf 0 % (kein Fremdstoff wird zurückgehalten) ließe jedem absoluten Emissionsmassenstrom Tor und Tür offenstehen. Insofern ist schon aus Immissionsschutzgründen eine vorzuziehende Abluftbehandlung als sinnvoll zu erachten, wie in diesem Forschungsprojekt geschehen. Mit einer Abscheidungsrate von 30 % im Jahreseinsatz lässt sich das Ziel erreichen, mit verminderter Abluftbehandlung bei gleichzeitiger Strömungsänderung den Abscheidegrad der luftfremden Stoffe auf 60 bis 70 % zu bringen. Zur Nomenklatur: der Abscheidegrad ist als optimal bei 100 % zu bezeichnen; kein Fremdstoff verlässt das System. Alle Stoffe werden durch die Abluftreinigungsanlage abgefangen.

Was nun den Emissionsmassenstrom anbelangt, lässt sich dieser ermitteln, wenn möglichst viele Abluftbedingungen in die Datenerhebungen einbezogen werden. Dann ist der Datenumfang so groß, um möglichst alle Lüftungsvariationen zu erfassen. Mit einem Datum lassen sich nun einmal nicht alle Werte als Stützpunkte für eine Daten-

transformation abdecken, die letztlich für Ausbreitungsrechnungen erforderlich sind. Gefragt ist nach dem Emissionsmassenstrom in Abhängigkeit von der Tiermasse. Die Tiermasse entwickelt sich nach den stallmeteorologischen Verhältnissen.

In der zur Verfügung stehenden Zeit konnte nicht die erforderliche Vielzahl an Daten beigebracht werden, so dass weitere Datenerhebungen erforderlich sind. Damit lässt sich die in der TA-Luft (2002) vorgesehene Öffnungsklausel schließen, und zwar basierend auf denselben Messverfahren. Hier liegen für zahlreiche Stalluntersuchungen sowohl im Schweine-, Rinder- und Geflügelbereich Messerhebungen vor, die zwangsläufig auf einem ähnlichen Übertragungsmodus fußen. Im Hinblick auf eine Vergleichbarkeit der Messdaten während der Schweineaufzucht bei z. B. unterschiedlichen Stalltypen ist eine solche Vorgehensweise sehr hilfreich. Es lassen sich Spezifika im Hinblick auf die Emissionen herausarbeiten, sofern genügend Messzeit vorhanden ist. Beschränkt man die Versuchsparameter auf die in diesem Bericht herangezogenen Konzentrationen, dann lassen sich getrennt von den einzelnen Größen die spezifischen Massenströme nennen. Das hier zum Einsatz gebrachte Instrumentarium erlaubt weiterführende Untersuchungen im Hinblick auf die DIN 18910-1.

Die Abluftreinigung des kontinuierlich unter der Flur abgesaugten Volumenstroms, der maximal 30 % des Gesamtvolumenstromes ausmacht, ermöglicht bezüglich Ammoniak einen Gesamtwirkungsgrad der Anlage von 70 %. Das in der Schweinemastanlage Wiegleben untersuchte raumluftechnische Konzept mit einem Reinigungsanteil von 30% der Abluft verursacht Gesamtkosten von 22 EUR je Tierplatz und Jahr. Bei 3 Umtrieben je Mastplatz und Jahr erhöhen sich dadurch die Produktionskosten je Schlachtschwein um 7,35 EUR, bezogen auf ein kg Schlachtgewicht sind das 7 Cent. Es konnte messtechnisch der Nachweis erbracht werden, dass bei der Teilabsaugung kein wesentlicher Stoffaustausch vom Unterflur- zum Oberflurbereich stattfindet. In Hinsicht auf die Effekte zum Tier- und Umweltschutz ist die Gestaltung der raumluftechnischen Anlage nach dem Prinzip der partieller Unterflurabsaugung und zusätzlicher Teilstromabluftreinigung als Alternative gegenüber der 100% Abluftreinigungsanlage zu werten.

## 7. Summary

In recent years, increasing challenges in pig husbandry in terms of environmental protection, as well as the trend of decreasing social acceptance of animal husbandry in general, have led to the fact that animal facility exhaust treatment systems have come under public scrutiny. Exhaust treatment systems are technically capable of fulfilling the requirements of environmental protection, yet in hindsight, the resulting costs for farmers and the effects on the animals are questioned often and with much criticism. If, however, a technical solution can be offered to the farmer, which could cut the price of stall system dependent investment in half, and at the same time, optimize climate in the stalls, one could expect that this technological intervention would help all involved parties: the animal, the environment, and the livestock owner.

The here submitted, upcoming research project which investigates this is oriented toward two major goals:

1. Emissions reduction through the allocation of inside-stall channels of air flow in upper and lower floor suction ducts toward solely pre-existing lower floor ducts, where these air flows move through a filter system and exit into the environment. Additionally, the flow channels will be designed such that there are no negative health-related consequences that would accrue for the animal.
2. The determination of the specific total emissions output of this new stall system.

The stall facility, through this air ventilation retrofitting to slatted openings in the over- and under-floor areas can be described as essentially producing two dimensions of flow. The air flows toward the ordinary stall ventilation over circular exhaust shafts, which in the space of the stall, generate clear flow patterns and diffusion coefficients which contribute to the process of aeration and the exchange of air flows. The inclusion of an exhaust filter on these structures enables, quite simply, a quantitative reduction of emissions. The retroactive placement of a filter lends itself to the achievement of a situation in which no harmful effects in terms of animal health take place. Reducing the energy consumption for the generation of these airflows likewise takes up no space – however, energy consumption increases. An additional flow of exhaust, which travels without a filter, is also possible. In this way other retrofitted stalls with altered air direction reduce the ground-level emissions concentrations. A filter reduction to 0% (no foreign matter is retained) allows all exit locations for emissions outputs to remain open. In this way it is out of emissions reduction goals sensible to consider the usage of a filter on pre-standing ducts, as is done in this research project. With a filtration rate of 30% in one year, the goal can be reached of using less filter placement with simultaneous exhaust-flow changes in order to bring the filtration of foreign matter in the air to levels in the range of 60-70%. With regard to nomenclature: the filtration level is most optimal at 100%; no foreign matter leaves the system at this level. The filter captures all matter and particulates. When it comes to the total emissions output, it is possible to determine it when as much of the exhaust is captured in the data collection as possible. The volume of data therefore is so large that all possible variations of ventilation patterns can be understood. With this data, all values simply cannot be covered as the basis for a data transformation, these values being necessary finally for an assessment of dispersal. In question is the total emissions output independent of the biomass within the stalls. The animal mass changes in relation to the microclimates within

the stalls. In the available time the required multitude of data cannot be obtained, such that further considerations of data are required. Therefore it should be such that the TA-Luft designated opening clause should be closed, and be based instead on the same processes of measurement. Here at hand are measurement inquiries for many stall investigations too for pig, cattle, and poultry stalls, which necessarily rest upon a similar mode of transmission. With regard to the comparability of the measurement data in the context of pig breeding, with, for example, different stall types, such an approach is helpful. It allows for specifics with respect to the emissions to be worked out, provided that appropriate time for measurement is given. Upon singling out the experimental parameters that this report consults, then give the specific mass flow apart from the size. The here-deployed instruments allow further investigation with as per the DIN 18910-1.

The air purification of volumetric flow of the drained continuously under the floor, which maximum is 30% of the total volume, a total efficiency allows the the attachment by 70% with regard to ammonia. The in Wiegleben investigated ventilation concept and 30% of the exhaust air cleaning caused total cost of EUR 22 per animal place and year. At 3 activities per fattening place per year increase the production cost per slaughter pig about 7.35 EUR. The are 7 cents per kg slaughter weight. From metrological point of view, it could be demonstrated that in the current version of part air extraction of no significant exchange of odorants or ammonia from the underground takes place to the upper floor area. In terms of the effects on animal and environmental protection, is the design of the ventilation system according to the principle of partial air cleaning an alternative to the 100% air purification system.

## 8. Literaturverzeichnis

- Büscher, W. et al. (1995): Ammoniakfreisetzung aus zwangsbelüfteten Stallanlagen mit Flüssigentmischung –Ansätze zu deren Reduzierung –Agrartechnische Berichte 27, Habilitation, Hohenheim.
- DIN 18 910-1: Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 18910-1 - Wärmeschutz geschlossener Ställe. Wärmedämmung und Lüftung, Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe, 2004
- Desta, T Z; van Buggenhout, S; van Brecht, A; Meyers, J; Aerts, J-M; Baelmans, M; Berckmans, D. (2004): Modelling mass transfer phenomena and quantification of ventilation performance in a full scale installation. Building and Environment.
- Gartung, J.; Krentler, J.G.; Sievers; H.G. (1983): Bauliche Jahreskosten landwirtschaftlicher Betriebsgebäudesysteme. Landbauforschung Völkenrode Nr.65
- Gartung, J. (1987): Systematik einer EDV –gerechten Verschlüsselung und Abspeicherung von Gebäudeelementen für landwirtschaftliche Gebäude und bauliche Anlagen. ILB –Bericht Landbauforschung Völkenrode Nr.56
- Krause K-H.; Linke S.; Mußlick M. (2003) Stallsanierung per Computersimulation. 6. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 25.-27.03.2003, Vechta, VDI-MEG, KTBL, 188-193
- Krause K-H.; Müller H-J.; Linke S. (2003) Odour and ammonia emissions from different livestock buildings and the dispersion of these emissions in the surroundings. International Symposium on Gaseous and odour emissions from animal production facilities, EurAgEng, Horsens DK, 01.-04.6.2003, 368-377
- Krause K-H.; Linke S. (2004) Airborne substances in animal houses - a problem for human and animal welfare : preliminary abstract. In: Technologisch Instituut <Anvers> (eds) AgEng 2004 Conference Engineering the Future : September 12 - 16, 2004, Leuven, Belgium; book of abstracts; part 2. Leuven: Technologisch Instituut, 546-547
- Krause K-H.; Linke S.; Mußlick M. (2005) Computergestützte Simulation einer raumluftechnischen Anlage für einen Schweinemaststall mit 2000 Tierplätzen zwecks Optimierung wichtiger Stallklimafaktoren und Minimierung von Ammoniakfreisetzungen. In: Hoch C (ed) 7. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005 : 1.-3. März 2005 in Braunschweig. Münster-Hiltrup : KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, 289-294
- Krause K-H. (2005) Ausbreitungsrechnung für Emissionen der Tierhaltung – Rechtliche Anforderungen und methodische Umsetzung. KTBL-Vortragsveranstaltung. 23. Juni 2005 in Hannover.

Krause K-H.; Müller H-J.; Linke S. (2005) Ventilation efforts with reference to minimization of ammonia emissions of barns. Indoor Air 2005. Peking.

Krause, K-H.; Linke, S.; Mußlick, M. (2005): Computergestützte Simulation einer raumluftechnischen Anlage für einen Schweinemaststall mit 2000 Tierplätzen zwecks Optimierung wichtiger Stallklimafaktoren und Minimierung von Ammoniakfreisetzungen. In: Hoch C (ed) 7. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005 : 1.-3. März 2005 in Braunschweig. Münster-Hiltrup: KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverl, pp 289-294.

Krause, K-H; Linke, S; Müller, H-J.; Mußlick, M. (2007): Distribution of ammonia in swine houses at emission reduction. In: Ammonia emissions in agriculture, ed. Montoney, G.-J. und E. Hartung. Wageningen, pp. 134 - 135.

Krause, K.-H.; Mußlick, M.; Linke, S.; Müller, H.-J. (2009):. A new method of ammonia and odour reduction by partial underfloor filtration in swine houses. XXXIII CIOSTA–CIGR Section V Conference and IUFRO Workshop Reggio Calabria (Italy), 17-19 JUNE 2009, Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro-systems, forestry and safety”, S. 1901-1906

KTBL-Heft 105, Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung, Darmstadt 2014

KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13, 23. Auflage. Darmstadt 2012.

KTBL-Schrift 451: Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen. Darmstadt 2006.

Mußlick, M.; Krause K-H.; Roesner, P.; Urbich, S. (2003) Oberflur- / Unterflurabsaugung/ Emission / Immission/ Tiergesundheit – ein Vergleich der raumluftechnischen Systeme von Oberflur– und Unterflurabsaugung in der Tierhaltungsanlage „VAN ASTEN TIERZUCHT GMBH & CO. KG“ in Nordhausen. TLL Bericht 2003, Jena

Müller H-J.; Krause K-H. (2002) Odour emission from livestock buildings and guidelines for minimum distances in Germany, ASAP 24th Biennial Conference with the International Society for Animal Hygiene, 08.07.-11.07.2002, Adelaide, Australia, 123-127

Müller H-J.; Krause K-H. (2002) Odour emission from livestock buildings and the guideline VDI-3474 in Germany [CD-ROM]. In: AgEng Budapest 2002, full papers. pp 11 Paper no. 02-SE-062: 30-33

Müller H-J.; Krause K-H. (2005) Gaseous emissions from livestock buildings and the dispersion of these emissions in the surroundings. Indoor Air 2005. Peking.

Roessner, P.; (2004): Persönliche Mitteilung, Nordhausen, 2003

Weinkauf, T; Theise, H; Hege, H-C and Seidel, H-P (2004). Topological construction and visualization of higher order 3D vector fields. Eurographics, Vol. 23 (3).

Weihs, C (2006): Modell- und Praxisuntersuchungen zum Emissionsverhalten von zwei Schweinemastställen. Diplomarbeit, Fachschule Braunschweig/Wolfenbüttel. Wintersemester 05/06.