



Bioaerosole aus der Tierhaltung

LANUV-Fachbericht 80

Bioaerosole aus der Tierhaltung

LANUV-Fachbericht 80

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2017

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
Autoren	Dr. Andrea Gärtner, Frank Geburek, Dr. Jutta Geiger, Andreas Gessner, Dr. Dieter Gladtko, Dr. Heike Hebbinghaus, Dirk Heller, Dr. Viola Müller-Keilholz, Dr. Peter Scholten, Dr. Sabine Wurzler
Titelfoto	FOTOALEM/fotolia.com
ISSN	1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachbericht
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Bioaerosole und Messparameter	6
2.1	Allgemeines	6
2.2	Messparameter bei Tierhaltungsanlagen	6
2.3	Tenazität von Mikroorganismen	8
2.4	Literatur	8
3	Tiergesundheit und Einsatz von Antibiotika	11
3.1	Einsatz von Antibiotika	11
3.2	Antibiotikaresistenz in der Tierhaltung	13
3.3	Literatur	14
4	Analytischer Nachweis	15
4.1	Bakterien und Schimmelpilze	15
4.2	Endotoxine	16
4.3	Literatur	16
5	Stallbelüftung und Emissionen	19
5.1	Stallbelüftung	19
5.2	Emissionsmessungen	19
5.3	Emissionsmessverfahren	19
5.4	Emissionskonzentrationen von Leitparametern	20
5.5	Emissionen (Frachten) von Leitparametern	21
5.6	Antibiotika resistente Bakterien	22
5.7	Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft	23
5.8	Endotoxine	24
5.9	Partikelgrößenverteilung	24
5.10	Emissionen aus Tiertransportern und während der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern	25
5.11	Literatur	25
6	Immissionen	29
6.1	Allgemeines	29
6.1.1	Messverfahren	29
6.1.2	Messplanung	29
6.1.2.1	Anlagenbezogene Messungen	29
6.1.2.2	Hintergrundmessungen	30
6.2	Bisherige Messergebnisse	30

6.3	Einschätzung der Messergebnisse und Empfehlungen für weitere Untersuchungen	32
6.4	Immissionsmessungen im Umfeld von Schweinehaltungsanlagen	32
6.5	Literatur	33
7	Ausbreitungsrechnung	35
7.1	Allgemeines	35
7.2	Durchgeführte Untersuchungen	35
7.3	Literatur	38
8	Gesundheitliche Wirkungen	39
8.1	Mögliche Erkrankungen	39
8.2	Antibiotika resistente Mikroorganismen	39
8.2.1	Methicillin resistente <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)	39
8.2.2	ESBL-bildende Enterobakterien	42
8.3	Endotoxine	43
8.4	Literatur	43
9	Technische Minderungsmaßnahmen	46
9.1	Abluftreinigungstechnik	46
9.2	Abscheidung von Bioaerosolen	47
9.3	Literatur	47
10	Gesetzliche, untergesetzliche und sonstige Regelungen	49
10.1	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)	49
10.2	LAI-Leitfaden Bioaerosole	50
10.3	Erlasse des MKULNV NRW	50
10.4	Richtlinie VDI 4250 Blatt 1	51
10.5	Literatur	51
11	Zusammenhänge und Erkenntnisse	52

1 Einleitung

Bioaerosole sind luftgetragene Partikel biologischer Herkunft, die sowohl natürlicherweise in der Umgebungsluft vorkommen als auch anthropogen freigesetzt werden können. Hierzu zählen Bestandteile von Pflanzen, Tieren und Böden sowie lebende und tote Mikroorganismen wie Bakterien und Schimmelpilze. Bioaerosole treten bei allen Vorgängen und Prozessen auf, an denen organisches Material beteiligt ist. Beispiele für einen natürlichen Eintrag in die Atmosphäre sind Verrottung von Laub, Pollenflug oder meteorologisch bedingte Verfrachtungen von Bodenpartikeln. Auch bei menschlichen Aktivitäten entstehen hohe Bioaerosol-Konzentrationen überall dort, wo organisches Material gehandhabt, bearbeitet oder umgeschlagen wird. Dies trifft in besonderem Maße auf die Bereiche Abfallbehandlung und -entsorgung (z. B. Deponien, Kompostwerke, Kläranlagen) und landwirtschaftliche Nutztierhaltung zu. Als weitere anthropogene Emissionsquellen sind Textilindustrie, Lebensmittelerzeugung, Holzverarbeitung und Biotechnologie zu nennen.

Im Zusammenhang mit Bioaerosol-Emissionen stehen in den letzten Jahren insbesondere Anlagen zur Nutztierhaltung im Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit und Kritik. Aufgrund des Strukturwandels in der Landwirtschaft werden vermehrt größere Ställe beantragt und genehmigt, so dass von den dadurch verursachten Immissionen immer mehr Menschen betroffen sind. Viele Anwohnerinnen und Anwohner sorgen sich über eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch Bioaerosole, insbesondere seitdem bekannt ist, dass auch Antibiotika resistente Bakterien wie Methicillin resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) in Tierhaltungsbetrieben und bei Landwirten auftreten können.

In vorliegendem Bericht wird der aktuelle Wissensstand im Zusammenhang mit Bioaerosolen aus Tierhaltungsanlagen zusammengestellt, erläutert und diskutiert. Hierzu gehören Erkenntnisse aus Emissions- und Immissionsmessungen, Ausbreitungsrechnungen, zu Wirkungsfragen, technischen Minderungsmaßnahmen und zur Tiergesundheit. Ebenso berücksichtigt wird dabei auch die Bedeutung Antibiotika resistenter Bakterien. Die Ausarbeitung beschränkt sich auf die Bereiche der Geflügel-, Schweine- und Rinderhaltung.

Für die Erstellung des Berichtes wurde die dem LANUV zur Verfügung stehende aktuelle Literatur ausgewertet. Dabei wurden auch Publikationen und interne Berichte zu Messungen in NRW und anderen Bundesländern berücksichtigt, sowie Erkenntnisse aus der VDI-Richtlinienarbeit miteinbezogen. In den Kapiteln 2 bis 10 wird der Wissensstand zu den einzelnen Themenbereichen zusammengefasst, Kapitel 11 stellt die daraus resultierenden Erkenntnisse und Zusammenhänge dar.

2 Bioaerosole und Messparameter

2.1 Allgemeines

Neben von Tieren und Pflanzen stammenden Partikeln (z. B. Hautschuppen, Federbestandteile, Pollen) gehören zu den Bioaerosolen insbesondere lebende und tote Mikroorganismen und deren Stoffwechsel- und Zerfallsprodukte wie z. B. Glucane und Toxine [1]. Mikroorganismen haben sich im Laufe der Evolution sehr gut an verschiedene Umweltbedingungen angepasst und kommen daher in allen Lebensbereichen vor. Einige Mikroorganismen haben Dauerformen (Sporen) entwickelt, die ihnen ein Überleben auch unter extremen Bedingungen ermöglichen [2]. Aufgrund ihrer Vielfalt umfassen Bioaerosole einen weiten Größenbereich von etwa 0,01 μm bis 100 μm . Für isoliert vorliegende Bakterien und Schimmelpilze kann ein aerodynamischer Durchmesser zwischen 0,5 und 10 μm angenommen werden. In luftgetragenen Zustand kommen Bakterien meist aggregiert oder an in der Umgebung vorhandenen Partikeln gebunden vor, während Schimmelpilzsporen meist singulär auftreten [3]. Abbildung 1 zeigt die Größenverteilung verschiedener Bioaerosole im Überblick.



Abbildung 1: Größenverteilung von Bioaerosolen nach Hoppenheidt, 2002 [4].

2.2 Messparameter bei Tierhaltungsanlagen

Anthropogen bedingte Bioaerosolfreisetzen können grundsätzlich beim Umgang mit organischen Materialien auftreten. Schwerpunktmäßig ist dies in den Bereichen Abfallwirtschaft und Landwirtschaft der Fall. Um einen Anlageneinfluss ermitteln und bewerten zu können, wurden in der Richtlinie VDI 4250 Blatt 3 [5] Leitparameter und spezielle Messparameter festgelegt. Diese wurden nach **bisherigem Kenntnisstand** als anlagentypisch und umweltmedizinisch relevant eingestuft. Die als Leitparameter aufgeführten Mikroorganismen sind obligatorisch zu messen bzw. zu bewerten, die speziellen Messparameter können im Einzelfall als weitere Erkenntnisquelle für einen Anlageneinfluss herangezogen werden. In unbelasteter Außenluft sind die Leit- und speziellen Messparameter mit den standardisierten Probenahme- und Analysenverfahren [6–9] in der Regel nicht quantifizierbar, d. h. die dort vorliegenden Konzentrationen liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Für den Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung wurden folgende Leitparameter festgelegt:

- **Intestinale Enterokokken**

Intestinale Enterokokken sind typische Darmbakterien bei Warmblütern. Eine wichtige Rolle im Verdauungssystem spielen insbesondere die Spezies *E. faecalis* und *E. faecium*. Intestinale Enterokokken können bei immungeschwächten Menschen Infektionen auslösen und werden immer wieder im Zusammenhang mit schweren Krankenhausinfektionen erwähnt.

- **Staphylokokken (*Staphylococcus* spp.)**

Bakterien der Gattung *Staphylococcus*, die fast 50 Arten umfasst, besiedeln Haut- und Schleimhäute von Warmblütern, kommen aber auch sonst in der Umwelt vor. Hierzu gehören sowohl harmlose Vertreter als auch Bakterien mit hohem pathogenem Potential.

- ***Staphylococcus aureus***

S. aureus ist in der Natur weit verbreitet und besiedelt insbesondere Haut und Schleimhäute von Warmblütern. Bei immungeschwächten Menschen und unter bestimmten Voraussetzungen kann *S. aureus* schwere, auch lebensbedrohende Infektionen hervorrufen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Antibiotika resistente *S. aureus*.

- **Enterobakterien (*Enterobacteriaceae*)**

Enterobakterien kommen sowohl in der gesunden Darmflora von Mensch und Tier, als auch in anderen Umweltbereichen vor. Auch einige Krankheitserreger gehören zu der großen Familie der gramnegativen Enterobakterien. Als typisches Darmbakterium ist *Escherichia coli* zu erwähnen.

Ergänzend wurden in der VDI 4250 Blatt 3 für den Bereich der Tierhaltung einige weitere „spezielle Messparameter“ definiert. Hierzu gehören u. a. auch Endotoxine, eine chemisch und thermisch sehr stabile Substanzklasse der Lipopolysaccharide, die beim Zerfall gramnegativer Bakterien, wie z. B. *E. coli*, freigesetzt werden können. Ferner wird auf den Parameter *Streptococcus* spp. verwiesen, der bei der Schweinehaltung auftreten kann. Als weitere spezielle Messparameter sind thermophile Bakterien, thermophile Actinomyceten und thermotolerante Pilze aufgeführt. In der VDI 4250 Blatt 3 wird darüber hinaus empfohlen, aus Gründen der Qualitätssicherung in bestimmten Fällen die Gesamtzahl kultivierbarer Bakterien zu bestimmen.

Alle in der VDI 4250 Blatt 3 genannten Leitparameter werden durch Kultivierung der Bakterien nachgewiesen. Die hierfür anzuwendenden mikrobiologischen Analyseverfahren sind in der VDI 4253 Blatt 3 [8] festgelegt, die zurzeit grundlegend überarbeitet wird (siehe auch Kap. 4). Die gesundheitlichen Wirkungen der Leit- und Messparameter werden, sofern bekannt, in Kap. 8 erläutert. An dieser Stelle wird auch explizit auf die Problematik Antibiotika resistenter Bakterien eingegangen. Die Kriterien für die Festlegung der Beurteilungswerte für eine von Tierhaltungsanlagen ausgehende Gefährdung sowie deren Handhabung sind in Kap. 10 dargelegt.

2.3 Tenazität von Mikroorganismen

Unter dem Begriff Tenazität versteht man das Ausmaß der Widerstandsfähigkeit von Mikroorganismen gegenüber bestimmten Umweltbedingungen. Grundsätzlich kann die Überlebensfähigkeit von Bakterien in der Luft – und damit auch deren Kultivierbarkeit auf Nährmedien – durch eine Vielzahl verschiedener Parameter beeinflusst werden [10]. Hierzu gehören z. B. Temperatur, Feuchte, UV-Strahlung und der Gehalt an Ozon, Schwefel- und Stickoxiden. Auch der noch nicht vollständig in seiner Wirkung erklärbare, letztlich auf der Bildung von freien Radikalen beruhende „Open air factor (OAF)“ wirkt sich auf die Überlebensfähigkeit von Bakterien aus. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine abtötende Wirkung durch Ozon erst nach einer Expositionszeit von 10 bis 60 min eintritt [11], und dass auch der Effekt des OAF in diesem Zeitraum anzusiedeln ist [12]. Frühere Studien verweisen darauf, dass das Überleben von luftgetragenen Bakterien bei Temperaturen oberhalb von 24 °C im Allgemeinen abnimmt [13]. Bakterien der Gattung *Staphylococcus* sind gegenüber der Austrocknung an der Luft wesentlich resistenter als die vegetativen Zellen vieler anderer Bakteriengattungen und können in der Luftphase mehr als 10 Stunden überleben [14–16]. Bei moderaten Luftfeuchten ohne Berücksichtigung der UV-Strahlung wurde für Staphylokokken eine Absterbekonstante von $k = -0,00003 \text{ x/s}$ im luftgetragenen Zustand ermittelt [17]. Untersuchungen zu *Staphylococcus aureus* haben ergeben, dass die Halbwertszeit des Überlebens in der Luft bei 40 °C und 15 % relativer Feuchte etwa 7 min beträgt, bei 21 °C und 85 % relativer Feuchte dagegen etwa 136 min [18]. Auch die fakultativ anaeroben grampositiven Enterokokken weisen eine hohe Tenazität auf, d. h. sie können auf trockenen Oberflächen über längere Zeiträume überleben. Für *E. faecalis* wurden nach 250 s Verluste von $\leq 1 \%$ bei relativen Luftfeuchten von 15 bzw. 85 % und Temperaturen von 21 bzw. 22 °C festgestellt [19]. Die gramnegativen Enterobakterien, wie z. B. *E. coli* reagieren dagegen empfindlich gegenüber Austrocknung; in luftgetragenen Zustand wurden hohe Absterberaten beobachtet [14, 20].

Diese Ausführungen zeigen, dass über die Tenazität von Staphylokokken, Enterokokken und Enterobakterien einige grundsätzliche Erkenntnisse vorliegen. Es kann jedoch bisher nicht vorhergesagt werden, wie sich im Einzelfall die Vielzahl der Umwelteinflüsse auf die Kultivierbarkeit der Leitparameter nach deren Freisetzung aus Tierhaltungsanlagen und Ausbreitung in die Atmosphäre konkret auswirkt.

2.4 Literatur

- [1] DIN EN 13098: 2001-02 Arbeitsplatzatmosphäre - Leitlinien für die Messung von Mikroorganismen und Endotoxin in der Luft; Deutsche Fassung EN 13098:2000.
- [2] Mücke, W. und Lemmen, C.: Bioaerosole und Gesundheit – Wirkungen biologischer Luftinhaltsstoffe und praktische Konsequenzen. ecomed Medizin (2008).
- [3] Clauß, M.: Particle size distribution of airborne microorganisms in the environment – a review. Landbauforsch, Appl Agric Forestry Res (2015), DOI: 10.3220/LBF1444216736000.

- [4] *Hoppenheidt, K.*: Bioaerosole aus Bestandteile von Feinstäuben. In: Mücke, W. (Hrsg.): Wirkung und Erfassung von Fein- und Ultrafeinstäuben. Herbert Utz Verlag, München (2002), 157–178.
- [5] VDI 4250 Blatt 3: 2016-08 Bioaerosole und biologische Agenzien; Anlagenbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter und grundlegende Beurteilungswerte.
- [6] VDI 4252 Blatt 3: 2008-08 Aktive Probenahme von Bioaerosolen, Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse.
- [7] VDI 4352 Blatt 2: 2004-06 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Aktive Probenahme von Bioaerosolen - Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern.
- [8] VDI 4253 Blatt 3: 2008-08 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft; Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten.
- [9] VDI 4253 Blatt 2: 2004-06 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft; Indirektes Verfahren nach Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern.
- [10] *Springorum, A.C. und Clauß, M.*: Das Überleben von Bakterien im luftgetragenen Zustand. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 76 (2016) Nr. 9, 351–358.
- [11] *Heindel, T., Streib, R., Botzenhart, K.*: Effect of ozone on airborne microorganisms. Zbl. Hygien. 194 (1993), 464–480.
- [12] *Cox, C. S.*: Stability of airborne Microbes and allergens. In: Bioaerosols Handbook, C. S. Cox and C.M. Wathes (Hrsg.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA (1995), 77–99.
- [13] *Tang J. W.*: The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. J. R. Soc. Interface 6 (2009) Suppl 6, 737–746.
- [14] *Müller, W., Wieser, P.*: Dust and microbial emissions from animal production. In: Animal production and environmental health. World animal science, B6; Elsevier science Publishers B.V., Amsterdam, Niederlande (1987), 47–89.
- [15] *Potts, M.*: Desiccation tolerance of prokaryotes. Microbiol. Rev. 58 (1994), 4, 755–805.
- [16] *Webb, S. J.*: Bound water in biological integrity. Charles C. Thomas, Springfield, Ill (1965).
- [17] *Müller, W., Gröning, K.*: The tenacity of airborne bacteria. 2nd communication: Experimental investigations carried out for determining the kill constant β_{biol} for cocci. Zbl. Bakt. Hyg. 173 (1981), 180–187.

- [18] *Seedorf, J., Hartung, J.:* Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 393. Darmstadt (2002).
- [19] *Böhm, R., Martens, W., Bittighofer, P. M.:* Aktuelle Bewertung der Luftkeimbelastung in Abfallbehandlungsanlagen. Abfall-Wirtschaft, Neues aus Forschung und Praxis; M.I.C. BAEZA-Verlag, Witzenhausen (1998).
- [20] *Platz, S.:* Menge und Ausbreitung von aus Geflügelställen emittierten Bakterien und die durch sie verursachte Kontamination der Umwelt. Berl. Tierärztl. Wschr. 92 (1979), 297–301.

3 Tiergesundheit und Einsatz von Antibiotika

Bei der Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere können je nach Tierart verschiedene Krankheiten auftreten. Ein Teil dieser Erkrankungen (z. B. Atemwegserkrankungen, Erkrankungen des Darmtraktes, usw.) wird durch infektiöse Krankheitserreger wie z. B. Viren oder Bakterien verursacht. Gegen einige dieser Erreger kann vorbeugend geimpft werden.

Wenn ein Tier oder Tierbestand an einer bakteriellen Infektion erkrankt, wird in Abhängigkeit von dem Krankheitserreger ggf. eine Behandlung mit einem Antibiotikum erforderlich.

In der Tierhaltung dürfen Antibiotika nur im Rahmen einer Behandlung von erkrankten Tieren durch einen Tierarzt eingesetzt werden.

3.1 Einsatz von Antibiotika

Mit Erlass des 16. Gesetzes zur Änderung des Arzneimittelgesetzes (16. AMG-Novelle) [1] wurde ab dem 01.07.2014 ein Benchmarking-System für den Antibiotikaeinsatz u. a. für die Mast von Rindern, Schweinen, Hühnern und Puten eingeführt. Seitdem muss der Tierhalter halbjährlich die Anzahl der gehaltenen Tiere und den Antibiotikaverbrauch in die HI-Tier Datenbank (Herkunftssicherungs- und Informationssystem Tier) eingeben. Tierhalter mit hohem Antibiotikaverbrauch je gehaltenem Tier müssen einen Maßnahmenplan zur Reduktion des Einsatzes von Antibiotika erstellen.

Die Daten werden schließlich vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) ausgewertet und die halbjährliche betriebliche Therapiehäufigkeit berechnet. Diese gibt an, an wie vielen Tagen im abgelaufenen Halbjahr ein Tier in dem jeweiligen Bestand im Durchschnitt mit Antibiotika behandelt wurde. Aus den halbjährlichen betrieblichen Therapiehäufigkeiten ermittelt das BVL im Rahmen des Antibiotika-Minimierungskonzeptes für zur Mast gehaltene Nutztiere u. a. den bundesweiten Median je Nutzungsart. Der Median ist der Wert, der in der Mitte der nach Größe sortierten Therapiehäufigkeiten steht [2].

Tabelle 1 zeigt die Entwicklung des Medians der bundesweiten Therapiehäufigkeit über die Erfassungszeiträume II/2014 bis I/2016. Mit Ausnahme der Ferkel bis 30 kg Körpergewicht ist der Median der Therapiehäufigkeit des ersten Halbjahres 2016 gegenüber den vorangegangenen Erhebungszeiträumen zurückgegangen. Für Mastkälber und Mastrinder ergab sich für alle ausgewerteten Erfassungszeiträume ein Median von 0,000 [3–6].

Tabelle 1: Therapieindex (Median) für Mastputen, Masthühner, Schweine und Rinder für die Erfassungszeiträume (EZ) II/2014, I/2015, II/2015 und I/2016, angegeben in Tagen je Halbjahr, die ein Tier mit Antibiotika behandelt wurde

Nutztierart	Therapieindex [Tage/Halbjahr/Tier]			
	EZ II/2014	EZ I/2015	EZ II 2015	EZ I 2016
Mastputen	23,030	21,791	18,357	17,383
Masthühner	19,558	16,712	11,816	12,928
Ferkel bis 30 kg Körpergewicht	4,793	5,930	3,490	3,354
Ferkel über 30 kg Körpergewicht	1,199	0,757	0,547	0,442
Mastkälber bis 8 Monate	0,000	0,000	0,000	0,000
Mastrinder älter als 8 Monate	0,000	0,000	0,000	0,000

Gemäß Verordnung über das datenbankgestützte Informationssystem über Arzneimittel des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI-Arzneimittelverordnung) [7] werden die Mengen der bei Tieren eingesetzten Antibiotika getrennt nach Wirkstoffklassen erfasst. Hinsichtlich der insgesamt eingesetzten Menge an Antibiotika ist ein Rückgang von 1.706 Tonnen im Jahr 2011 auf 805 Tonnen im Jahr 2015 zu beobachten [8] (Tabelle 2). Allerdings hat es hierbei eine Verlagerung der eingesetzten Wirkstoffklassen gegeben: während Antibiotika mit hohen Dosierungen (Tetrazykline, Penicilline, Makrolide, Sulfonamide) seltener eingesetzt werden, ist eine Zunahme von Antibiotika mit niedriger Dosierung (Fenicole, Fluorchinolone, Cephalosporine) in Bezug auf angewandte Wirkstoffmenge in mg/kg Körpergewicht zu registrieren.

Der Anstieg an Fluorchinolonen ist kritisch zu sehen, da diese Substanzklasse im Zusammenhang mit der Entstehung und Ausbreitung von Extended-Spectrum Betalactamase (ESBL)-bildenden Bakterien steht. Fluorchinolone gelten als besonders wertvoll, weil sie gegen ein breites Spektrum von Krankheitserregern wirken und beim Menschen vergleichsweise wenig unerwünschte Nebenwirkungen verursachen. Sie werden daher als „Reserveantibiotika“ eingestuft und sollten nur nach gründlicher Abwägung und in Verbindung mit einem Antibiotogramm verabreicht werden. Werden diese Reserveantibiotika unkontrolliert und in subtherapeutischen Dosen eingesetzt, steigt die Gefahr von Wirksamkeitseinbußen beim Menschen, die unter Umständen lebensbedrohlich sein können [9].

Tabelle 2: Abgabemengen von Antibiotika an Tierärzte in den Jahren 2011 bis 2015 in Tonnen

Jahr	Antibiotika [t]
2011	1.706
2012	1.619
2013	1.452
2014	1.238
2015	805

3.2 Antibiotikaresistenz in der Tierhaltung

Jeder Einsatz von Antibiotika kann zu einer Selektion von resistenten Bakterien führen. In welchem Umfang dies tatsächlich geschieht, ist von vielen Faktoren abhängig, die bisher zum Teil nicht bekannt sind bzw. noch nicht vollständig aufgeklärt werden konnten. Tendenziell ist aber erkennbar, dass bei Tieren, die häufig mit Antibiotika behandelt werden, auch häufiger Resistenzen gegen Antibiotika beobachtet werden [10].

Als Überträger von Antibiotikaresistenzen zwischen Mensch und Tier werden zurzeit insbesondere Methicillin resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) und Extended-Spectrum Betalactamase (ESBL)-bildende Enterobakterien wie beispielsweise *E. coli* wissenschaftlich erforscht. Aktuelle Untersuchungen beschäftigen sich primär mit dem Vorkommen von MRSA und ESBL-bildenden *E. coli* und der Häufigkeit, mit der sie in landwirtschaftlichen Betrieben und im Menschen detektierbar sind. Ein nachgewiesener Übertragungsweg von MRSA auf den Menschen ist der direkte Kontakt von Personen (z. B. des Betreuungspersonals) mit MRSA-kolonisierten Tieren (siehe auch Kap. 8).

In der Tierhaltung sind insbesondere livestock-associated MRSA (la-MRSA) verbreitet. Besondere Bedeutung kommt hier v. a. den stabilen Klonen CC 398, CC9, CC5 und CC 97 zu. La-MRSA kolonisieren die Tiere eines Bestandes ohne Krankheitserscheinungen hervorzu-rufen und sind sowohl in Beständen mit, als auch ohne Einsatz von Antibiotika nachweisbar. Der Eintrag von MRSA in bisher nicht kolonisierte Bestände erfolgt durch Tierverkehr (z. B. durch das Einstellen von MRSA-positiven Tieren) oder durch Personenverkehr. Innerhalb eines Bestandes breiten sich die Bakterien durch direkten Tierkontakt oder indirekt über das Betreuungspersonal, Gerätschaften, Luft, etc. aus.

In Schweine haltenden Betrieben wurden MRSA im Jahr 2013 in 29 % der Gülleproben und in 25 % der Staubproben nachgewiesen [13]. Des Weiteren wurden im Jahr 2012 in Staubproben von Mastkälbern und Jungmastrindern Prävalenzen von 19,2 % und im Jahr 2013 in Staubproben von Mastrindern von 11,0 % festgestellt [11,12].

Die Beprobung von Mastrinder-Ställen hinsichtlich der ESBL-bildenden *E. coli* ergab im Jahr 2013 eine Prävalenz von 17,7 %. Weiterhin wurde Kot von Masthähnchen in 64,9 % der be-

proben Betriebe positiv getestet [11,12]. In Schweine haltenden Betrieben wurden ESBL-bildende *E. coli* 2013 in 29 % der Gülleproben und in 10 % der Staubproben nachgewiesen [13]. Von welchen Faktoren die Verbreitung abhängig ist und auf welchen Wegen (Tier zu Mensch und/oder Mensch zu Tier) diese stattfindet, konnte bisher nicht vollständig aufgeklärt werden. Hier ist weitere Grundlagenforschung über die Epidemiologie der entsprechenden Gensequenzen, die für die Bildung der beta-Lactamasen verantwortlich sind, erforderlich.

3.3 Literatur

- [1] 16. Gesetz zur Änderung des Arzneimittelgesetzes (16. AMG-Novelle) vom 10.10.2013. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil 1 Nr. 62, ausgegeben zu Bonn am 16. Oktober 2013.
- [2] <http://www.lanuv.nrw.de/verbraucher/tiergesundheit/tierarzneimittel/regionalstelle-amg/therapiehaeufigkeit-und-kennzahlen/>.
- [3] BAnz AT 31.03.2015 B11.
- [4] BAnz AT 30.09.2015 B4.
- [5] BAnz AT 31.03.2016 B19.
- [6] BAnz AT 30.09.2016 B4.
- [7] Verordnung über das datenbankgestützte Informationssystem über Arzneimittel des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI-Arzneimittelverordnung - DIMDI-AMV) vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 140), zuletzt geändert durch Artikel 54 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
- [8] http://www.bvl.bund.de/DE/08_PresseInfothek/01_FuerJournalisten/01_Presse_und_Hintergrundinformationen/05_Tierarzneimittel/2016/2016_08_03_pi_Antibiotikaabgabemenge2015.html.
- [9] http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2002/A/zur_problematik_der_fluorchinolone_resistenz-540.html.
- [10] <http://www.bfr.bund.de/cm/343/zusammenhang-von-therapiehaeufigkeit-und-antibiotikaresistenzen.pdf>
- [11] https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/04_Zoonosen_Monitoring/Zoonosen_Monitoring_Bericht_2012.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [12] https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/04_Zoonosen_Monitoring/Zoonosen_Monitoring_Bericht_2013.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- [13] Harlitzius, Dr. J.: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; „Fachtierärztliche Stellungnahme zum Vorkommen von MRSA und ESBL positive Erreger in der Schweinehaltung in NRW“ 10/ 2015.

4 Analytischer Nachweis

4.1 Bakterien und Schimmelpilze

Der standardisierte Nachweis von Bakterien und Schimmelpilzen in Bioaerosolproben wird über deren Kultivierung auf Nährböden nach VDI 4253 Blatt 2 und Blatt 3 [1,2] vorgenommen. Hierbei wird ein Aliquot einer Mikroorganismensuspension, ggf. nach entsprechender Verdünnung oder Anreicherung, auf ein geeignetes Nährmedium ausplattiert und unter definierten Bedingungen über eine festgelegte Zeitdauer bebrütet. Sind in einer Probe vermehrungsfähige Mikroorganismen vorhanden, bilden sich durch Zellteilung sichtbare Kolonien, die ausgezählt werden können. Abgestorbene, geschädigte oder in einem „viable-but-not-culturable (VBNC)“-Stadium¹ befindliche Organismen lassen sich dagegen nicht kultivieren.

Bei jeder Kultivierung von Bakterien aus komplexen Gemeinschaften in Umweltproben erfolgt eine Selektion bestimmter Bakterienarten. Selbst bei Verwendung eines universellen Nährmediums für die Ermittlung der Gesamtbakterienzahl sind die Kultivierungsbedingungen nicht für alle vorhandenen Bakterienarten geeignet, so dass fast immer Minderbefunde auftreten. Umgekehrt wachsen auf sog. Selektivnährböden häufig nicht nur die gewünschten Zielorganismen, sondern auch andere Arten, zum Teil auch Vertreter anderer Gattungen. Diese „Nichtzielorganismen“ können koloniemorphologisch den Zielorganismen sehr ähnlich sein, so dass eine einfache visuelle Differenzierung kaum möglich ist. Viele Selektivnährmedien wurden insbesondere für die Trinkwasseranalytik und medizinische Diagnostik entwickelt, wo von einer geringeren Bakterienvielfalt auszugehen ist. Dagegen reicht bei Bioaerosolproben eine Kultivierung auf Selektivnährmedien für einen Nachweis von Bakterien auf Gattungs- oder Speziesebene in der Regel nicht aus [3]. Dies hat sich beispielsweise auch bei der Untersuchung Antibiotika resistenter Bakterien aus Tierhaltungsanlagen gezeigt. Von den aufgrund ihrer Form und Farbe als „MRSA-verdächtig“ eingestuften Isolaten erwies sich nur ein geringer Bruchteil tatsächlich als MRSA [4]. Um falsch positive Ergebnisse auszuschließen, ist es daher erforderlich, eine weitergehende Identifizierung bzw. Bestätigung der isolierten Bakterien in den verdächtigen Kolonien vorzunehmen. Diese kann z. B. mit Hilfe biochemischer und molekularbiologischer Methoden, wie der 16S-rRNS-Analyse [5], oder durch massenspektroskopischen Nachweis ribosomaler Proteine mit MALDI-TOF² [6] erfolgen. Eine konkrete Vorgehensweise, wie die Identifizierung und Quantifizierung bestimmter Zielorganismen künftig durchgeführt werden soll, wird für Bakterien derzeit im Rahmen der Überarbeitung der VDI 4253 Blatt 3 festgelegt. Im Anschluss daran sollen Kriterien für eine sachgerechte Anwendung von molekularbiologischen Methoden für die Qualifizierung und Quantifizierung von Bakterien in Bioaerosolen formuliert werden [7].

¹ viable but not culturable beschreibt ein Stadium von Bakterien mit geringer Stoffwechselaktivität, in dem die Mikroorganismen noch lebend, aber unter Standardbedingungen nicht mehr vermehrungsfähig sind.

² Matrix-assisted Laser Desorption/Ionization mit anschließender time-of-flight-Analyse; Massenspektroskopisches Verfahren zur Analyse von Polymeren und großen Biomolekülen.

Eine weitere Möglichkeit Mikroorganismen in Bioaerosolproben nachzuweisen, besteht in der Ermittlung der Gesamtzellzahl. Bei dieser kultivierungsunabhängigen Methode wird die zelluläre Desoxyribonukleinsäure (DNS) der Mikroorganismen mit dem Fluoreszenzfarbstoff 4',6-Diamidino-2-phenylindol-dihydrochlorid (DAPI) angefärbt [8]. Die Zellen können dann mithilfe eines Fluoreszenzmikroskops nach Anregung mit UV-Strahlung sichtbar gemacht und gezählt werden. Mit DAPI lassen sich lebende und tote Bakterien, bakterielle Sporen, Pilze und deren Sporen in Bioaerosolproben anfärben. Bezogen auf die Gesamtzahl vorhandener Zellen liegt der Anteil an kultivierbaren Mikroorganismen erfahrungsgemäß bei etwa 1 bis 10 % [9].

4.2 Endotoxine

Bei Endotoxinen handelt es sich um die chemisch und thermisch sehr stabile Substanzklasse der Lipopolysaccharide, die beim Zerfall gramnegativer Bakterien freigesetzt werden und verschiedene gesundheitliche Wirkungen auslösen können (siehe Kap. 8). Für den Nachweis von Endotoxinen wird meistens der „Limulus-Amöbozyten-Lysat-Test“ (LAL-Test) eingesetzt, der auf einer Gelbildung der Hämolymphe des Pfeilschwanzkrebses (*Limulus polyphemus*) beruht, und für den im Bereich des Arbeitsschutzes ein standardisiertes Verfahren beschrieben ist [10,11]. Der LAL-Test ist analytisch sehr empfindlich, jedoch auch störanfällig. So reagiert er auch auf andere, ubiquitär in der Umwelt auftretende pyrogen wirkende Stoffe wie z. B. Polyglucane, die stimulierend oder inhibierend auf das Testsystem wirken können. Dadurch kann es zu Über- oder Unterbefunden bei den ermittelten Konzentrationen kommen, so dass eine Vergleichbarkeit von Daten aus verschiedenen Umweltbereichen nicht gewährleistet ist. Eine weitere, tierunabhängige Methode zum Endotoxinnachweis basiert auf der Verwendung des rekombinanten Faktors C [12]. Hierfür gibt es derzeit die beiden Testsysteme „Rekombinanter Faktor C-Test“ [13] und „EndoLISA-Test“ [14]. Allerdings liegen bisher nur wenige Erfahrungen bezüglich der Eignung der Tests zur Untersuchung von Umweltproben vor. Da eine verlässliche Analyse von Endotoxinen aus dem Umweltbereich für wichtig erachtet wird, wurde im Herbst 2015 eine VDI-Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich mit der Probenahme und Analytik von Endotoxinen aus Bioaerosolen beschäftigt und hierzu Richtlinien erarbeiten wird. In diesem Zusammenhang soll zunächst die Ermittlung von Endotoxin-Emissionen standardisiert werden.

4.3 Literatur

- [1] VDI 4253 Blatt 2: 2004-06 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelpilz-Konzentrationen in der Luft; Indirektes Verfahren nach Probenahme auf Gelatine/Polycarbonat-Filtern.
- [2] VDI 4253 Blatt 3: 2008-08 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in der Luft; Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten.
- [3] Schulz, J.: Indikatorbakterien in der Luft von Geflügel- und Schweinehaltungen, in Bioaerosole in der Landwirtschaft – Bedeutung für Mensch und Umwelt; VDI-Expertenforum 30.9./1.10.2014 in Berlin, KRDL-Schriftenreihe 48.

- [4] Gärtner, A., Gessner, A., Martin, E., Jäckel, U.: Emissionen aus der Hähnchenmast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz – Teil 2: Ergebnisse. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 74 (2014) Nr. 9, 377–383.
- [5] <http://www.lag-gentechnik.de/dokumente/uam-methoden/SOP-16S-Sequenz-V01-endfassung7-2006.pdf>.
- [6] Schubert, S., Wieser, A.: MALDI-TOF-MS in der mikrobiologischen Diagnostik; *BIOspektrum* 07 (2010), 760–762.
- [7] VDI 4253 Blatt 6-Vorentwurf: Kriterien zur Qualifizierung und Quantifizierung von Bakterien in Bioaerosolen mittels molekularbiologischer Methoden; in Bearbeitung.
- [8] VDI 4253 Blatt 4: 2013-02 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft; Bestimmung der Gesamtzellzahl mittels Fluoreszenzanalyse nach Anfärbung mit DAPI.
- [9] Gärtner, A., Gessner, A., Martin, E., Jäckel, U.: Emissionsmessungen von Mikroorganismen aus Hähnchenmastanlagen – Aktuelle Messergebnisse und vergleichende Untersuchungen von drei verschiedenen Ställen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 71 (2011) Nr. 9, 362–366.
- [10] Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz 9450; BIA Arbeitsmappe 28. Lfg. IV/02.
- [11] DIN EN 14031: Arbeitsplatzatmosphäre - Bestimmung von luftgetragenen Endotoxinen. Deutsche Fassung EN 14031:2003.
- [12] Loverock, B., Simon, B., Burgenson, A. et al.: A recombinant factor C procedure for the detection of Gram negative bacterial endotoxin. *Pharmacopeial Forum* 36 (2010), 321–329.
- [13] <http://www.lonza.com/pyrogene>.
- [14] Grallert, H., Leopoldseder, S., Schütt, M., Kurze, P., Buchberger, B.: Eine neuartige und tierschonende Methode zur Endotoxin-Bestimmung; *BIOspektrum* 07 (2011), 788–790.
- [15] Heindel, T., Streib, R., Botzenhart, K.: Effect of ozone on airborne microorganisms. *Zbl. Hygien.* 194 (1993), 464–480.
- [16] Cox, C. S.: Stability of airborne Microbes and allergens. In: *Bioaerosols Handbook*, C. S. Cox and C. M. Wathes (Hrsg.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA (1995), 77–99.
- [17] Tang J. W.: The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *J. R. Soc. Interface* 6 (2009) Suppl 6, 737–746.

- [18] *Müller, W., Wieser, P.*: Dust and microbial emissions from animal production. In: Animal production and environmental health. World animal science, B6; Elsevier science Publishers B.V., Amsterdam, Niederlande (1987), 47–89.
- [19] *Potts, M.*: Desiccation tolerance of prokaryotes. Microbiol. Rev. 58 (1994), 4, 755–805.
- [20] *Webb, S. J.*: Bound water in biological integrity. Charles C. Thomas, Springfield, Ill (1965).
- [21] *Müller, W., Gröning, K.*: The tenacity of airborne bacteria. 2nd communication: Experimental investigations carried out for determining the kill constant β_{biol} for cocci. Zbl. Bakt. Hyg. 173 (1981), 180–187.
- [22] *Seedorf, J., Hartung, J.*: Stäube und Mikroorganismen in der Tierhaltung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), KTBL-Schrift 393. Darmstadt (2002).
- [23] *Böhm, R., Martens, W., Bittighofer, P. M.*: Aktuelle Bewertung der Luftkeimbelastung in Abfallbehandlungsanlagen. Abfall-Wirtschaft, Neues aus Forschung und Praxis, M.I.C. BAEZA-Verlag, Witzenhausen (1998).
- [24] *Platz, S.*: Menge und Ausbreitung von aus Geflügelställen emittierten Bakterien und die durch sie verursachte Kontamination der Umwelt. Berl. Tierärztl. Wschr. 92 (1979), 297–301.

5 Stallbelüftung und Emissionen

5.1 Stallbelüftung

Der überwiegende Anteil der in Deutschland als Nutztiere gehaltenen Schweine und Hühner lebt in wärmegeämmten, zwangsbelüfteten Ställen. Die Belüftung der Ställe erfolgt über Ventilatoren, die mit Hilfe von Klimacomputern geregelt werden, um ein für das Wohlbefinden der Tiere förderliches Stallklima einzustellen und aufrecht zu erhalten. Die mit gas- und partikelförmigen Schadstoffen belastete Abluft wird über Kamine/Kamingruppen in die Atmosphäre geleitet. Ställe mit freier Belüftung existieren in wenigen Fällen im Bereich der Hähnenmast. In der Putenmast sind frei belüftete Ställe mit einem Luftaustausch über großflächige Öffnungen in den Seitenwänden (Querlüftung) die gängige Haltungsform. Dabei kann der Querschnitt der Öffnungen z. B. durch Jalousien oder Windschutznetze verändert werden. Im Bereich der Rinderhaltung werden bevorzugt Außenklimaställe gebaut, d. h. die Tiere werden in Gebäuden mit freier Lüftung gehalten.

5.2 Emissionsmessungen

Emissionsmessungen werden durchgeführt, um Grenzwerte zu überprüfen, Fragestellungen in Bezug auf das Emissionsverhalten von Anlagen zu untersuchen oder um Minderungsverfahren zu bewerten. Da für Bioaerosole an Tierhaltungsanlagen bisher keine Emissionsgrenzwerte festgelegt und standardisierte Mess- und Analysenverfahren erst vor einigen Jahren beschrieben worden sind, erfolgten Emissionsmessungen bis dato im Wesentlichen mit dem Ziel, eine Datengrundlage für die Ermittlung von Emissionsfaktoren zu erarbeiten. Dazu wurden die Messungen der Bioaerosole ausschließlich an geführten Quellen zwangsbelüfteter Ställe durchgeführt. Emissionen frei belüfteter Ställe lassen sich messtechnisch nur sehr schwer und mit großen Unsicherheiten erfassen, da der Volumenstrom nicht direkt ermittelt werden kann. Aus diesem Grund wurde auf derartige Messungen bisher verzichtet.

5.3 Emissionsmessverfahren

Für die messtechnische Bestimmung der Bioaerosol-Emissionen aus zwangsbelüfteten Tierhaltungsanlagen müssen sowohl die Bioaerosol-Konzentration in der Abluft als auch der Gesamtvolumenstrom der Anlage ermittelt werden. Zur Konzentrationsmessung erfolgt zunächst eine Probenahme aus einem Teilstrom der Abluft, bei der die Bioaerosole nach einem standardisierten Verfahren mithilfe eines Impingers in einer Sammelflüssigkeit abgeschieden und angereichert werden [1]. Die Probenahmesonde und das Einlassrohr des Impingers werden nach der Probenahme gespült, so dass dort impaktierte grobe Partikel der Probe zugeführt werden. Anschließend werden die Proben in einem mikrobiologischen Labor durch Kultivierung der Mikroorganismen oder mit Hilfe molekularbiologischer Methoden (siehe Kap. 4) weitergehend untersucht. Hierdurch lassen sich qualitative und quantitative Aussagen zum Vorkommen und zur Zusammensetzung der Bioaerosole treffen.

Zur Bestimmung des Gesamtvolumenstroms einer Anlage müssen die Abluftgeschwindigkeiten aller in Betrieb befindlichen Ventilatoren sowie Ablufttemperatur, Druck und Feuchte gemessen werden. Des Weiteren müssen die Flächen im Messquerschnitt der einzelnen Kamine bekannt sein.

Da die Bioaerosol-Konzentration und der Gesamtvolumenstrom im Haltungszeitraum starken Schwankungen unterliegen können, ist für repräsentative Messungen der Bioaerosol-Emissionen aus Tierhaltungsanlagen häufig ein hoher Stichprobenumfang erforderlich. Aussagekräftige und vergleichbare Messergebnisse können nur erhalten werden, wenn das Ziel der Messungen im Vorfeld dezidiert beschrieben wird und standardisierte Vorgehensweisen bei allen Mess- und Analysenschritten gewählt werden. Diese Voraussetzungen sind bei älteren Untersuchungen nicht gegeben, da die Standardisierung von Mess- und Analyseverfahren, wie erwähnt, erst in den letzten Jahren erfolgt ist.

5.4 Emissionskonzentrationen von Leitparametern

Tabelle 3 zeigt beispielhaft die mittleren Konzentrationen von Leitparametern sowie der Gesamtbakterienzahl, gemessen in der Abluft verschiedener Tierhaltungsanlagen.

Tabelle 3: Emissionskonzentrationen in der Abluft verschiedener Tierhaltungsanlagen; n.n. = nicht nachweisbar; n.e. = nicht ermittelt; (a) = starke Abhängigkeit vom Mastverlauf; (b) = Nachweis nur aus Anreicherungskultur; c = nur sporadisch ermittelt und nicht quantifizierbar.

Leitparameter	Emissionskonzentration [KBE/m ³]				
	Tierhaltungsanlage				
	Masthähnchen [2]	Legehennen [5]	Putenmast [5]	Schweinemast [3]	Sauenzucht [4]
Gesamtzahl Bakterien (36 °C)	10 ⁵ – 10 ⁸ (a)	1,5 *10 ⁶	2,7 *10 ⁶	8 *10 ⁵	4 *10 ⁵
<i>Staphylococcus</i> spp.	10 ⁵ – 10 ⁸ (a)	1,3 *10 ⁶	8,3 *10 ⁵	2 *10 ⁵	8 *10 ⁴
<i>Staphylococcus aureus</i>	n.n.	5,5*10 ¹	7,4*10 ¹	n.e.	(c)
<i>Enterococcus</i>	10 ⁴ – 10 ⁵	1,0*10 ⁴	6,4*10 ⁴	2*10 ⁴	2 *10 ³
<i>Enterobacteriaceae</i>	(c)	4,5*10 ¹ (b)	4,0*10 ² (b)	n.n. oder (c)	n.e.

Es wird deutlich, dass die höchsten Konzentrationen an Gesamtbakterien und Staphylokokken bei der Masthähnchenhaltung, gefolgt von der Legehennen- und Mastputenhaltung auftreten, während bei der Schweinehaltung das Konzentrationsniveau insgesamt niedriger ist (Tabelle 3). Intestinale Enterokokken sind stets in mindestens einer Größenordnung geringeren Konzentration als Staphylokokken vorhanden. *Staphylococcus aureus* und Enterobakterien liegen, sofern nachweisbar, nur in sehr geringen Konzentrationen vor.

5.5 Emissionen (Frachten) von Leitparametern

In den letzten Jahren wurden insbesondere in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Bayern und Sachsen Messprogramme durchgeführt, um Daten für eine Beschreibung der Bioaerosol-Emissionen aus Tierhaltungsanlagen zu ermitteln [2–5]. Für Masthähnchen und Mastschweine wurden aus den Messergebnissen Emissionsfaktoren für die in der VDI 4250 Blatt 3 [6] aufgeführten Leitparameter Staphylokokken und Enterokokken abgeleitet [7,8]. Dagegen konnten für Lege- und Junghennen für diese Parameter jeweils nur vorläufige Konventionswerte festgelegt werden, da die zur Verfügung stehende Datengrundlage mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Der Sachstand bei der Putenhaltung ist ähnlich. Auf Grundlage von ersten Untersuchungen in Sachsen an einem Putenmaststall werden in der VDI 4255 Blatt 3 [7] vorläufige Konventionswerte für die spezifischen Emissionen von Staphylokokken, Enterokokken, Gesamtbakterien und Gesamtpilzen aufgeführt. In sehr geringem Umfang wurden durch Voranreicherung der Bakterien in der Sammelflüssigkeit auch die als Leitparameter für Tierhaltungsanlagen festgelegten Enterobakterien detektiert. Alle anderen Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass Enterobakterien durch Kultivierung nicht nachgewiesen werden können. Als typische Darmbakterien scheinen sie in der Luft schnell abzusterben (siehe Kap.2.2).

Nach vorliegendem Kenntnisstand wurden bisher an Anlagen zur Rinderhaltung keine Emissionsuntersuchungen mit standardisierten Messverfahren vorgenommen. Ältere Messungen im Innenraum von Ställen lassen jedoch vermuten, dass die Bioaerosol-Emissionen aus Rinderställen niedriger sind, als aus Anlagen zur Schweine- oder Geflügelhaltung [9].

Die in den VDI-Richtlinien 4255 Blatt 3 [7] für die Geflügelhaltung und Blatt 4E [8] für die Schweinehaltung festgelegten Emissionsfaktoren sind zur Übersicht in den Tabellen 4 und 5 dargestellt. Durch Multiplikation der entsprechenden Emissionsfaktoren mit der Anzahl der Tierplätze lassen sich die für eine Immissionsprognose erforderlichen Emissionen berechnen. Da üblicherweise die Anzahl der Tierplätze bei der Geflügelhaltung deutlich höher ist als bei der Schweinehaltung, gehen von Geflügelhaltungsanlagen höhere Emissionen aus.

Tabelle 4: Emissionsfaktoren für Geflügelhaltungsanlagen in KBE je Tierplatz und Sekunde [7]; n.e.=nicht ermittelt.

Leitparameter	Emissionsfaktor [KBE/(TP*s)]			
	Geflügelhaltungsanlage			
	Masthähnchen	Legehennen Voliere	Legehennen Bodenhaltung	Junghennen Voliere
Gesamtzahl Bakterien (36 °C)	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	n.e.
<i>Staphylococcus</i> spp.	$7 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$
<i>Enterococcus</i>	$2 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^1$

Tabelle 5: Emissionsfaktoren für Schweinehaltungsanlagen in KBE je Tierplatz und Sekunde [8].

Leitparameter	Emissionsfaktor [KBE/(TP*s)]	
	Schweinehaltungsanlage	
	Schweinemast	Ferkelaufzucht
<i>Staphylococcus</i> spp.	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$
<i>Enterococcus</i>	$3 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^0$

5.6 Antibiotika resistente Bakterien

Aufgrund der Aktualität des Themas wurde in den Jahren 2012 bis 2015 vom LANUV NRW, in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), die Abluft von Hähnchen- und Schweinemastanlagen auf Antibiotika resistente Bakterien untersucht. Für die Hähnchenmast wurde über die Kultivierung und Identifizierung von Reinkulturen nur an einem der acht ausgewählten Ställe MRSA nachgewiesen [10,11]. Damit decken sich die Ergebnisse mit den bisher vorliegenden Aussagen über eine geringe Prävalenz von MRSA in Hähnchenmastställen bzw. untersuchten Herden [4,12]. Antibiotika resistente *Enterococcus faecalis*-Stämme traten in allen Ställen in geringer Konzentration auf, unabhängig davon

ob eine Antibiotikabehandlung während der Mast erfolgte. ESBL-bildende Enterobakterien konnten nicht nachgewiesen werden.

Bei der Mastschweinehaltung wurde in der Abluft von fünf der zehn untersuchten Ställe MRSA festgestellt [13]. Die abgeschätzten Emissionskonzentrationen von 10^3 KBE/m³ liegen in einer Größenordnung, die von anderen Autoren bei Messungen in den Ställen oder in der Abluft beobachtet wurden und sind daher als plausibel einzustufen [14–17]. An zwei Ställen wurden resistente *Enterococcus faecalis*-Stämme festgestellt, allerdings lediglich in sehr geringen Konzentrationen. Erythromycin resistente *Streptococcus* spp. und ESBL-bildende *Enterobacteriaceae* konnten über deren Kultivierung in den Abluftproben nicht nachgewiesen werden.

5.7 Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft

Über einen Großteil der Bakterien aus Tierhaltungsanlagen liegen noch keine Erkenntnisse vor, da ihre Anzucht unter Laborbedingungen bisher noch nicht gelungen ist [13]. Molekularbiologische Untersuchungen der Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft anhand einer 16S-rRNS-Genanalyse bestätigen, dass es sich bei den in der Abluft von Tierhaltungsanlagen vorhandenen Bakterien um komplexe Gemische handelt. In den Emissionen aus Hähnchenmastställen treten neben der Gattung *Staphylococcus* regelmäßig auch Bakterien der Gattungen *Brevibacterium*, *Lactobacillus* und *Jeotgalicoccus* auf [11]. Unter den Bakterien der Gattung *Staphylococcus* wurden nach Auswertung der 16S-rRNS-Genanalysen vorwiegend apathogene, koagulasenegative Arten wie *S. arlettae*, *S. cohnii* und *S. lentus* der Risikogruppe 1³ identifiziert. Daneben traten zu geringeren Anteilen und zum Teil auch nur in einzelnen Proben auch Arten der Risikogruppe 2⁴ auf, wie z. B. *S. saprophyticus* und *S. epidermidis* [18].

Aktuelle Untersuchungen in Sachsen belegen, dass auch in Emissionen aus Legehennen- und Putenmastanlagen Bakterien der Gattung *Staphylococcus* dominieren [7]. Der Anteil von *Staphylococcus* spp. in der Risikogruppe 2 war bei der Legehennenhaltung mit 0 und 4 % sehr gering, während bei der Putenmast ein Anteil von bis zu 27 % ermittelt wurde. Darüber hinaus wird auch der ebenfalls in Risikogruppe 2 eingestufte *Aerococcus viridans* häufig in größeren Anteilen im Bioaerosol aus Geflügelhaltungen nachgewiesen [7].

In der Abluft von Schweinemastställen dominieren *Chlostridium*, *Lactobacillus* und *Terrisporobacter*, während *Staphylococcus* quantitativ nur in geringen Anteilen vorkommt, obwohl diese Bakteriengattung regelmäßig von Kulturmedien isoliert wird. Aufgrund der detektierten

³ Einstufung nach TRBA 466 (Arbeitsschutz): Biostoffe, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit hervorrufen.

⁴ Biostoffe, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen könnten; eine Verbreitung in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.

16S rRNS-Gensequenzen ist davon auszugehen, dass auch Bakterien der Risikogruppe 2 vorhanden sind.

Es gibt keine Hinweise darauf, dass Bakterien der Risikogruppe 3⁵ in der Abluft von Hähnchen- und Schweinemastanlagen auftreten.

5.8 Endotoxine

Zur Emissionsmessung von Endotoxinen liegt bisher kein standardisiertes Verfahren vor (siehe auch Kap. 4.2). In jüngster Vergangenheit wurden Messungen an einer Sauenzuchtanlage und einer Mastschweinanlage unter Verwendung des Emissionsimpingers und anschließender Analyse mit dem LAL-Test vorgenommen [17]. Hierbei wurden Emissionskonzentrationen im Bereich von 50 bis 400 EU/m³ bzw. 170 bis 340 EU/m³ festgestellt. Das LANUV ermittelte im Rohgas einer Hähnchenmastanlage Konzentrationen von $3 \cdot 10^3$ EU/m³ (Median) [19]. Werte in vergleichbarer Größenordnung erhielten auch andere Autoren [20,21] bei Messungen im Innenraum von Ställen zur Geflügelhaltung. Hier wurden die Probenahmen mit Filtern durchgeführt.

5.9 Partikelgrößenverteilung

Die Partikelgrößenverteilung in der Abluft ist ein wichtiger Eingangsparameter für die Immissionsprognose. Aus massenbezogenen Emissionsmessungen ist bekannt, dass es sich bei dem aus Anlagen zur Geflügelhaltung freigesetzten Staub etwa zur Hälfte um Partikel der PM₁₀-Fraktion handelt. Partikel der PM_{2,5}-Fraktion wurden mit einem deutlich geringeren Anteil von etwa 15 % ermittelt [22]. Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in der Abluft von Anlagen zur Lege- und Junghennenhaltung ergaben für PM₁₀ jeweils einen Anteil von rund 50 % und für PM_{2,5} von knapp 25 % am Gesamtstaub [23]. Hinz ermittelte den PM₁₀-Anteil in einer Untersuchung an zwei Broilerställen mit geringem Stichprobenumfang mit 40 % [24]. Vergleichbare Ergebnisse liegen aus dem Bereich der Mastschweinehaltung vor, bei denen der PM₁₀-Anteil mit 50 % und der PM_{2,5}-Anteil mit 25 % bestimmt wurde [25].

Über die quantitative Verteilung der Bioaerosole in diesen Partikelfractionen gibt es bisher nur wenige Erkenntnisse aus Messungen im Innenraum von Ställen [26]. In der VDI 4251 Blatt 3 [27] wird daher empfohlen, bei der anlagenbezogenen Ausbreitungsmodellierung im Regelfall von Partikeln der PM_{2,5}-Fraktion auszugehen, was einer sehr konservativen Prognose entspricht (siehe Kap. 7). Eine konservative Prognose bedeutet, dass die Immissionskonzentration eher überschätzt wird.

Um die Partikelgrößenverteilung in den Bioaerosol-Emissionen zu untersuchen, hat das LANUV Vorabscheider für die Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} berechnet, konzipiert und herstellen

⁵ Biostoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen können; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, doch ist normalerweise eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.

lassen. Damit lassen sich die Anzahlkonzentrationen von Bioaerosolen in diesen Fraktionen bestimmen und mit der Anzahlkonzentration aller gesammelten Bakterien in der Abluft vergleichen. Erste Messungen an einer Hähnchenmastanlage ergaben, dass die Anzahlkonzentration von Bakterien in der Partikelfraktion PM_{2,5} um etwa eine Größenordnung geringer war als bei zeitgleicher Messung ohne Vorabscheider. Somit ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil der emittierten Bakterien in den gröberen Partikelfractionen vorliegt. Zur Validierung dieser vorläufigen Ergebnisse sind weitere Messungen erforderlich, die das LANUV derzeit durchführt.

5.10 Emissionen aus Tiertransportern und während der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

Zu Emissionen von Bioaerosolen aus Tiertransportern liegt eine Veröffentlichung aus den Vereinigten Staaten vor [28]. Aus der Arbeit geht hervor, dass in unmittelbarer Nähe (Abstand ca. 15 m) von offenen, mit Masthähnchen beladenen Tiertransportern die Konzentration an Gesamtbakterien gegenüber der üblichen Hintergrundkonzentration um etwa eine Größenordnung erhöht war. Weiterhin konnten aus Anreicherungskulturen, d. h. lediglich in sehr geringen Mengen, Isolate Antibiotika resistenter *Enterococcus* spp. nachgewiesen werden. Eine umfangreiche Literaturrecherche des LANUV im Jahr 2015 brachte zu diesem Thema keine weiteren Erkenntnisse hervor.

Über Art und Höhe der Bioaerosol-Emissionen während der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, wie z. B. Gülle, sind bis dato nur wenige Informationen verfügbar. Darüber hinaus ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Studien oftmals nicht gegeben, da die Probenahmen und Analysen auf sehr unterschiedliche Art und Weise durchgeführt worden sind [29]. Boutin et al. (1988) untersuchten die Bioaerosol-Belastung im Zusammenhang mit der Ausbringung von Schweine- und Rindergülle [30]. Die Belastung der Luft war v. a. von der Konzentration der Bakterien in der Gülle und von der Ausbringungstechnik (Projektionshöhe, Tröpfchengröße) abhängig. Die Gesamtbakterienzahl, ermittelt im Lee durch Aussetzen von Petri-Schalen, lag in 120 bis 150 m Entfernung von der Quelle bei vergleichsweise niedrigen 400 bis 2.300 KBE/m³, unabhängig von der Applikationsmethode. Mit Zunahme des Abstandes von der Quelle nahm die Bakterienkonzentration kontinuierlich ab. Pathogene Bakterien wie *Salmonella*, *Staphylococcus* und *Klebsiella pneumoniae* wurden nicht nachgewiesen. Die von Boutin et al. verwendete Messmethode entspricht allerdings nicht dem derzeitigen Stand der Technik, da das Luftvolumen nicht definiert wurde.

5.11 Literatur

- [1] VDI 4257 Blatt 2: 2011-09 Bioaerosole und biologische Agenzien; Emissionsmessungen; Probenahme von Bioaerosolen und Abscheidung in Flüssigkeiten.
- [2] Gärtner, A., Gessner, A., Martin, E., Jäckel, U.: Emissionsmessungen von Mikroorganismen aus Hähnchenmastanlagen – Aktuelle Messergebnisse und vergleichende Untersuchungen von drei verschiedenen Ställen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71 (2011) Nr. 9, 362–366.

- [3] Gärtner, A., Gessner, A., Knust S.: Ermittlung der Emissionen von Mikroorganismen aus Schweinemastanlagen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 11/12, 505–510.
- [4] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen; Endbericht Teil 1 zum Forschungsvorhaben P 2110 (2015).
- [5] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen: Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen, Bericht zum Sachstand; Abschlussbericht 2016.
- [6] VDI 4250 Blatt 3: 2016-08 Bioaerosole und biologische Agenzien; Anlagenbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter und grundlegende Beurteilungswerte.
- [7] VDI 4255 Blatt 3: 2016-12 Bioaerosole und biologische Agenzien; Emissionsfaktoren für Geflügelhaltung.
- [8] VDI 4255 Blatt 4 E: 2016-4 Bioaerosole und biologische Agenzien; Emissionsfaktoren für Schweinehaltung.
- [9] Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Holden, V. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., and Wathes, C. M.: Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in northern Europe. J. Agric. Eng. Res., 70 (1998), 1, 97–109.
- [10] Gärtner, A., Gessner, A., Martin, E., Jäckel, U.: Emissionen aus der Hähnchenmast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz – Teil 1: Konzept und methodisches Vorgehen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 73 (2013) Nr. 9, 372–374.
- [11] Gärtner, A., Gessner, A., Martin, E., Jäckel, U.: Emissionen aus der Hähnchenmast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz – Teil 2: Ergebnisse. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 9, 377–383.
- [12] <http://www.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-Methicillin-resistenten-staphylococcus-aureus-mrsa.pdf>.
- [13] Gärtner, A., Gessner, A., Gromöller, S., Klug, K., Knust, S., Jäckel, U.: Emissionen aus der Schweinemast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 76 (2016) Nr. 1/2, 31–36.
- [14] Masclaux, F. G., Sakwinska, O., Charrière, N., Semaani, E., Oppliger, A.: Concentration of Airborne *Staphylococcus* (MRSA and MSSA), Total Bacteria, and Endotoxins in Pig Farms. Ann. Occup. Hyg. 57 (2013), 5, 550–557.
- [15] Schulz, J., Friese, A., Klees, S., Tenhagen, B.-A., Fetsch, A., Rösler, U., Hartung, J.: Longitudinal Study of the Contamination of Air and of Soil Surfaces in the Vicinity of

- Pig Barns by Livestock-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. Appl. Environ. Microbiol. 78 (2012), 16, 5666–5671.
- [16] Frieze, A., Schulz, J., Hoehle, L., Fetsch A., Tenhagen, B.-A., Hartung, J., Roesler, U.: Occurrence of MRSA in air and housing environment of pig barns. Veterinary Microbiology 158 (2012), 129–135.
- [17] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen. Endbericht Teil 2 zum Forschungsvorhaben P2110 (2015).
- [18] Schneider, D., Jäckel, U., Gärtner, A., Dieterich, F.: Taxonomische Charakterisierung luftgetragener Bakterien der Familie *Staphylococcaceae* in Emissionen von Hähnchenmastanlagen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 75 (2015) Nr. 9, 340–346.
- [19] Interner Messbericht des LANUV (2011).
- [20] Oppliger, A., Charrière, N., Droz, P. O., Rinsoz, T.: Exposure to Bioaerosols in Poultry Houses at Different Stages of Fattening; Use of Real-time PCR for Airborne Bacterial Quantification. Ann. Occup. Hyg. 52 (2008), 5, 405–412.
- [21] Saleh, M.: Untersuchungen der Luftqualität in verschiedenen Systeme der Geflügelhaltung mit besonderer Berücksichtigung von Staub und Luftkeimen; PhD-These; Tierärztliche Hochschule Hannover (2006).
- [22] Gärtner, A., Gessner, A.: Ermittlung der Gesamtstaubemissionen und der Feinstaubanteile aus Hähnchenmastanlagen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71 (2011) Nr. 9, 362–366.
- [23] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Intensivtierhaltung: Umweltrelevante Emissionen und Immissionen (Feinstaub - PM₁₀, PM_{2,5}, NH₃, N₂O, CH₄, NMVOC, Keime, Pilze, Endotoxine). Endbericht zum Forschungsvorhaben, März 2011.
- [24] Hinz, T.: Messung luftgetragener Partikel in und aus der Geflügelhaltung. Landtechnik 60 (2005) Nr. 2, 100–101.
- [25] Interner Messbericht des LANUV (2011).
- [26] Clauß, M.: Particle size distribution of airborne microorganisms in the environment – a review. Landbauforsch, Appl. Agric. Forestry. Res. (2015), DOI: 10.3220/LBF1444216736000.
- [27] VDI 4251 Blatt 3: 2015-08 Bioaerosole und biologische Agenzien; Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen.
- [28] Rule, A. M., Evans, S. L., Silbergeld, E. K.: “Food animal transport: A potential source of community exposures to health hazards from industrial farming (CAFOs)” Journal of Infection and Public Health 1 (2008), 33–39.

- [29] *Dungan, R. S.*: BOARD-INVITED REVIEW: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. *J. Anim. Sci.* 88 (2014), 3693–3706.
- [30] *Boutin, P., Torre, M., Serceau, R., Rideau, P.-J.*: Atmospheric bacterial contamination from landspreading of animal wastes: Evaluation of the respiratory risk for people nearby. *J. Agric. Eng. Res.* 39 (1988), 149–160.

6 Immissionen

6.1 Allgemeines

Sowohl für die Ermittlung der Hintergrundbelastung als auch für anlagenbezogene Erhebungen gibt es VDI-Richtlinien [1,2]. Da Messungen von sehr aufwändig sind, wurden bisher nur verhältnismäßig wenige Messungen durchgeführt. Die meisten dieser Untersuchungen fanden in der Umgebung von Anlagen zur Geflügelhaltung statt. Allen bislang durchgeführten Erhebungen ist gemeinsam, dass es sich um Stichprobenmessungen handelt. Da die Ergebnisse der Messungen sowohl von der Quellstärke, die starken Schwankungen unterliegen kann, als auch von vielen weiteren Parametern wie Meteorologie, Abstand zur Anlage, Nähe zur Abluftfahne etc. beeinflusst werden, können solche Stichprobenmessungen nur einen ersten Anhaltspunkt für die Belastung am Messort liefern.

Das nachfolgende Kapitel soll eine Zusammenfassung über die gewonnenen Erkenntnisse für die Durchführung von Immissionsmessungen liefern und eine Übersicht über die in den letzten Jahren ermittelten Ergebnisse für Immissionsmessungen aus verschiedenen Bundesländern geben.

6.1.1 Messverfahren

Die Standardverfahren für die Kultivierung und den Nachweis von Mikroorganismen sind in den VDI-Richtlinien 4253, Blatt 2 und Blatt 3 beschrieben (vgl. Kapitel 4) [3,4]. Die Probenahme von Bakterien wird gemäß VDI 4252, Blatt 3 mit AGI 30-Impingern mit physiologischer Kochsalzlösung als Sammelflüssigkeit durchgeführt [5]. Der AGI30-Impinger sammelt vor allem Feinstaub und unterscheidet sich somit in seiner physikalischen Sammeleffizienz⁶ von dem in Kap. 5.3 beschriebenen Emissionsimpinger. Partikel mit einer Korngröße > 30 µm werden mit dem AGI30-Impinger nur zu sehr kleinen Anteilen erfasst. Nach der Probenahme steht lediglich ein begrenztes Volumen an Sammelflüssigkeit zur Verfügung, d. h. bereits bei der Projektplanung muss genau bedacht werden, wie viele Bakteriengattungen bzw. -arten bestimmt werden sollen. Die Bestimmung von wenigen Parametern in vielen Verdünnungsstufen ist im Allgemeinen vorzuziehen, um abgesicherte Ergebnisse zu erhalten.

6.1.2 Messplanung

6.1.2.1 Anlagenbezogene Messungen

Bei der Planung anlagenbezogener Immissionsmessungen müssen das Emissionsverhalten der Anlage, die Meteorologie, aber auch die vor Ort gegebenen Möglichkeiten zur Aufstellung von Messgeräten berücksichtigt werden.

Vor Beginn der Messungen sollte anhand einer Wetterprognose sichergestellt sein, dass der Wind möglichst gleichmäßig aus einer Richtung weht, so dass es möglich ist, Messpunkte

⁶ Fähigkeit eines Probenahmegerätes, in der Luft suspendierte Partikel einer bestimmten Größe zu sammeln.

sowohl im Luv als auch im Lee der Anlage zu realisieren. Während der Messung sollte niederschlags- und frostfreies Wetter vorherrschen.

Zur Ermittlung der Hintergrundkonzentration werden im Messzeitraum mindestens an einem Punkt im Luv der Anlage Probenahmen durchgeführt. Durch Messungen im Lee wird der Einfluss der Anlage auf die Bakterienkonzentrationen erfasst. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, möglichst mehrere Messpunkte (mindestens drei) in etwa gleichem Abstand im Lee der Anlage festzulegen, um auch bei Schwankungen der Windrichtung auswertbare Ergebnisse zu erhalten. Aus der Differenz der Bakterienkonzentration im Luv und Lee lässt sich der Einfluss der Anlage auf die Bioaerosolbelastung abschätzen. Wenn es Geländebedingungen und apparative Ausstattung zulassen, können Lee-Messungen, wie in VDI 4251, Blatt 1 beschrieben [2], auch in mehreren Abständen zur Anlage durchgeführt werden (Fahnenmessung). In der Praxis ist dies allerdings, wie u. a. Messberichte aus Sachsen bestätigen, in der Regel nicht möglich.

6.1.2.2 Hintergrundmessungen

Zur Beurteilung der Hintergrundkonzentration der Bioaerosole in einem Gebiet sind gemäß VDI 4251, Blatt 2 [1] mindestens zwölf Messungen innerhalb eines Jahres durchzuführen. Befinden sich Emittenten in der näheren Umgebung, muss deren Einfluss ebenfalls durch die Messungen erfasst werden.

6.2 Bisherige Messergebnisse

Wie bereits erwähnt, wurden bisher nur sehr wenige Immissionsmessungen von Bioaerosolen vorgenommen. Im Folgenden sind die Ergebnisse der in den letzten Jahren durchgeführten Erhebungen in der Umgebung von Anlagen zur Geflügelhaltung in Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen zusammengefasst. Insgesamt wurden hier bislang lediglich höhere Konzentrationen an Gesamtbakterien sowie Staphylokokken nachgewiesen. Diese Konzentrationen lagen dabei stets in derselben Größenordnung. Aufgrund der deutlich niedrigeren Konzentrationen im Luv der Anlage (meist unterhalb der Nachweisgrenze) können Staphylokokken als Leitparameter für die Beobachtung von Bioaerosolen in der Umgebung von Geflügelhaltungsanlagen angesehen werden. In **Tabelle 6** sind deshalb ausschließlich die gemessenen Konzentrationen von Staphylokokken aufgeführt.

Tabelle 6: Übersicht über Immissionsmessungen (Staphylokokken), durchgeführt in der Umgebung von Geflügelhaltungsanlagen in Bayern, Niedersachsen, NRW und Sachsen

Land	Art der Anlage	Zeitraum	Ergebnis	Anmerkung
Bayern [6]	Hähnchenmast, 40.000 Tiere	Oktober 2012 bis Oktober 2015	6. bis 8. Mastwoche: 200 m Entfernung: 120 bis 20.000 KBE/m ³ 400 m Entfernung: < 100 bis 6.000 KBE/m ³	Ausbreitungsrechnung und Messwerte stimmen nur in wenigen Fällen in der Größenordnung überein.
Niedersachsen [7]	Hähnchenmast, 31.000 Tiere	November 2002 bis September 2003	4. und 5. Mastwoche: 120 m Entfernung: 2.500 bis 40.000 KBE/m ³ 300 bis 500 m Entfernung: 300 bis 6.000 KBE/m ³	Abnahme der Staphylokokken-Konzentration exponentiell. Für Gesamtbakterien Störung durch andere Anlagen. Probenahme mit AGI 30-Impingern, gefüllt mit Glycerin/Phosphatpuffer, anschließend Zentrifugation zur Anreicherung der Bakterien. Nährmedium für Gesamtbakterium: Blutagar, (Oxoid Ltd.). Nährmedium für Staphylokokken: Mannit-Kochsalz-Agar (Oxoid Ltd.).
NRW	Hähnchenmast, 160.000 Tiere	2012 bis 2014; Oktober 2015	5. bis 6. Mastwoche: 200 m Entfernung: 0 bis 20.000 KBE/m ³ 200 m Entfernung: 1.500 bis 71.000 KBE/m ³	Interner Bericht
Sachsen [8]	Legehennen, 15.000 Tiere	2013 bis 2015	150 m: 2.300 KBE/m ³ 250 m: 100 KBE/m ³ 350 m: 31 KBE/m ³ 500 m: 11 KBE/m ³	Probenahme mit Impaktoren.
Sachsen [8]	Puten, 1.700 Tiere	2013 bis 2015	150 m: 1.300 KBE/m ³ 250 m: 630 KBE/m ³ 350 m: 130 KBE/m ³ 500 m: 250 KBE/m ³	Probenahme mit Impaktoren.

6.3 Einschätzung der Messergebnisse und Empfehlungen für weitere Untersuchungen

Tabelle 6 zeigt, dass die Staphylokokken-Konzentrationen sogar innerhalb einzelner Untersuchungen stark schwanken. Ein Vergleich der Untersuchungen untereinander ist aufgrund der Diversität der betrachteten Anlagen als kritisch zu beurteilen. Dies belegt, wie eingangs beschrieben, den Stichprobencharakter der einzelnen Untersuchungen. Eine systematische Interpretation der Werte ist folglich nicht möglich. Bei den Messungen aus Sachsen und Niedersachsen ist zudem zu berücksichtigen, dass nicht nach den einschlägigen VDI-Richtlinien gearbeitet wurde.

Die oben beschriebenen Messergebnisse stellen die Bakterienkonzentration in der Umgebung eines Hähnchenmastbetriebs als Tageswerte dar.

In den VDI-Richtlinien 4251 Blatt 1 und Blatt 2 [2,1] werden nur Einzelmessungen der Bakterienkonzentration in Außenluft beschrieben, die Ermittlung eines Jahresmittelwerts wird dort nicht erwähnt, obwohl dieser zur Einschätzung der Wirkung von Bioaerosolen wichtig ist. Es wird daher empfohlen, in den VDI-Richtlinien 4251 Blatt 1 und Blatt 2 Anforderungen an die Ermittlung eines Jahresmittelwerts der Bakterienkonzentration zu beschreiben.

6.4 Immissionsmessungen im Umfeld von Schweinehaltungsanlagen

Neben den Untersuchungen an Geflügelhaltungsanlagen sind in den letzten Jahren national und international auch einzelne Studien hinsichtlich der Immissionen im Umfeld von Schweinehaltungsanlagen durchgeführt worden. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Untersuchungen unter Verwendung unterschiedlicher Probenahme- und Analysemethoden erfolgt sind, die in der Regel nicht den in den VDI-Richtlinien 4253 und 4252, jeweils Blatt 3 [4,5] beschriebenen Methoden entsprachen. Darüber hinaus erfolgten die Messungen an verschiedenen Schweinehaltungsanlagen mit unterschiedlichen Belüftungssystemen, so dass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben ist.

Köllner und Heller (2006) beobachteten im Lee einer repräsentativen Schweinemastanlage im Norden von NRW in 50, 75, 100, 200 und 270 m Entfernung zur Anlage Staphylokokken-Konzentrationen von 62, 78, 52, 12 und 3 KBE/m³ [9]. Immissionsmessungen mit dem AGI 30-Impinger an verschiedenen Schweinehaltungsanlagen (frei belüftete, offene Systeme) in den USA ergaben im Lee in 150 m Abstand zu den Anlagen eine erhöhte Gesamtbakterienzahl im Vergleich zu den im Luv gemessenen Werten [10]. In einem Teil der Proben konnten durch Kultivierung *Clostridium perfringens*-Sporen nachgewiesen werden. Diese Bakterienart wurde auch bei den Untersuchungen des LANUV in der Abluft von Mastschweinehaltungsanlagen molekularbiologisch detektiert [11]. Green et al. (2006) stellten in 150 m Entfernung eines Stalles zur Ferkelproduktion Gesamtbakterienzahlen von 208 KBE/m³ fest [12]. Gibbs et al. (2004) beobachteten im Lee zweier Mastschweineställe im Abstand von 25 m zu den Anlagen Gesamtbakterienzahlen von $3,4 \cdot 10^3$ KBE/m³ [13]. Die Staphylokokken-Konzentrationen wurden in den letztgenannten Untersuchungen nicht erfasst.

Es ist festzuhalten, dass die Bakterienkonzentration in der Luft in allen Untersuchungen mit zunehmendem Abstand zur Anlage deutlich abnahm. In einigen Studien lag bereits die Gesamtbakterienzahl im Lee in 150 m Entfernung zur Anlage unterhalb des LAI-Orientierungswertes für Staphylokokken (240 KBE/m^3 als Jahresmittelwert), so dass zu vermuten ist, dass der Orientierungswert in 350 m Entfernung von Mastschweinehaltungsanlagen eingehalten wird.

6.5 Literatur

- [1] VDI 4251 Blatt 2: 2014-07 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Ermittlung gebietstypischer Hintergrundkonzentrationen.
- [2] VDI 4251 Blatt 1: 2007-02 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Planung von anlagenbezogenen Immissionsmessungen (Fahnenmessungen), Beuth Verlag Berlin, 2007.
- [3] VDI 4253 Blatt 2: 2004-06 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Aktive Probenahme von Bioaerosolen Verfahren zum kulturellen Nachweis der Schimmelkonzentrationen in der Luft - Abscheidung von luftgetragenen Schimmelpilzen auf Gelatine.
- [4] VDI 4253 Blatt 3: 2008-08 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Verfahren zum quantitativen kulturellen Nachweis von Bakterien in Außenluft – Verfahren nach Abscheidung in Flüssigkeiten.
- [5] VDI 4252 Blatt 3: 2008-08 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft, Aktive Probenahme von Aerosolen – Abscheidung von luftgetragenen Bakterien mit Impingern nach dem Prinzip der kritischen Düse.
- [6] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen; Endbericht Teil 1 zum Forschungsvorhaben P 2110 (2015).
- [7] Schulz, J., Seedorf, J., Formosa, H. L., Hartung, J., Schütz, A.: Gesundheitliche Bewertung von Bioaerosolen aus Anlagen in der Intensivtierhaltung, Teilprojekt A, Erfassung und Modellierung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Geflügelställen Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, März 2005.
- [8] Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen: Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen, Bericht zum Sachstand; Abschlussbericht 2016.
- [9] Köllner, B. und Heller, D.: Bioaerosolimmissionen im Umfeld eines Schweinemastbetriebes. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 66 (2006) Nr. 9, 349–354.
- [10] Ko, G. P., Simmons, O. D., Likirdopulos, C. A., Worley-Davis, L., Williams, M., Sobsey, M. D.: Investigation of bioaerosols released from swine farms using conventional and alternative waste treatment and management technologies. Environ. Sci. Technol. 42 (2008), 23, 8849–8857.

- [11] *Gärtner, A., Gessner, A., Gromöller, S., Klug, K., Knust, S., Jäckel, U.:* Emissionen aus der Schweinemast – Untersuchungen zur Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft und Antibiotikaresistenz Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 76 (2016) Nr. 1/2, 31–36.
- [12] *Green, C. F., Gibbs, S. G., Tarwater, P. M., Mota, L. C., Scarpino, P. V.:* Bacterial plume emanating from the air surrounding swine confinement operations. J. Occup. Environ. Hyg. 3 (2006), 1, 9–15.
- [13] *Gibbs, S.G., Green, C.F., Tarwater, P.M., Scarpino, P.V.:* Airborne antibiotic resistant and nonresistant bacteria and fungi recovered from two swine herd confined animal feeding operations. J. Occup. Environ. Hyg. 1 (2004), 11, 699–706.

7 Ausbreitungsrechnung

7.1 Allgemeines

Immissionskonzentrationen können nicht nur gemessen, sondern auch auf Basis von Ausbreitungsrechnungen prognostiziert werden. Dies ist immer dann erforderlich, wenn die Bioaerosolbelastung im Rahmen von Neu- oder Änderungsgenehmigungen bestimmt werden soll. Für die Ausbreitungsrechnung sind neben der Bioaerosolfracht weitere Eingabedaten erforderlich, die zum Teil Gegenstand aktueller Untersuchungen sind.

Die Ausbreitung von Bioaerosolen mit der Luft (Transmission) wird in erster Linie vom mittleren Wind, der atmosphärischen Turbulenz und (bei schweren Partikeln) dem Absinken aufgrund der Schwerkraft bestimmt. Weitere Faktoren sind Deposition als Senke und möglicherweise Wiederaufwirbelung als Quelle. Sowohl Absinken als auch Deposition hängen von der Masse bzw. dem aerodynamischen Durchmesser der Partikel ab [1]. Für eine realistische Simulation der Ausbreitung von Bioaerosolen sind daher Informationen über die Größenverteilung notwendig.

7.2 Durchgeführte Untersuchungen

Die VDI 4251 Blatt 3 [2] gibt als konservativen Ansatz vor, solange keine anderen Erkenntnisse vorliegen, Bioaerosole als Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $PM_{2,5}$ zu betrachten. Ausbreitungsrechnungen des LANUV für Tierhaltungsanlagen mit bis zu 4.000 Mastschweinen und bis zu 200.000 Masthähnchen haben unter Berücksichtigung dieser Vorgaben [2] für Masthähnchen Immissionen bzw. Transportstrecken ergeben, die deutlich zu hoch erscheinen. Während für die Leitparameter Staphylokokken und Enterokokken nach diesen Ausbreitungsrechnungen die Bioaerosol-Immissionen in 350 m Abstand von Mastschweinehaltungsanlagen in der Regel unter 240 KBE/m³ liegen, wird dieser Wert bei den Masthähnchen (Leitparameter Staphylokokken) in Hauptwindrichtung von der Quelle aus erst in Entfernungen von etwa 2 km und mehr unterschritten.

In einem an einer Hähnchenmastanlage in Bayern durchgeführten Forschungsprojekt wurden an fünf Tagen zu verschiedenen Jahreszeiten gemessene und berechnete Bioaerosol-Immissionen miteinander verglichen [3]. Es zeigten sich überwiegend starke Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Bioaerosol-Immissionsbelastungen, bei denen die Simulation in der Regel die gemessene Immissionskonzentration deutlich überschätzt. Die Abweichungen betragen bei einer Entfernung von ca. 500 m von der Anlage bis zu mehrere Größenordnungen, z. B. gemessene Werte Größenordnung 10^2 , modellierte Werte Größenordnung 10^4 [3]. An einem Messtag wurden zusätzlich zu den Bioaerosolmessungen Tracer-gasexperimente mit Schwefelhexafluorid (SF_6) durchgeführt. Diese ergaben eine gute Übereinstimmung zwischen Messungen und Modell, so dass die Unterschiede nicht auf generelle Modellannahmen zurückzuführen sind.

Für die großen Diskrepanzen zwischen Messung und Modellierung kommt eine Reihe von Gründen in Betracht. Neben der vermutlich zu konservativ angesetzten Partikelgröße (siehe auch Kap. 5.9), ist es denkbar, dass Bioaerosole während des Transports nicht inert sind, sondern sich in der Masse ändern (z. B. durch Austrocknen), auseinanderbrechen oder sich

aneinander anlagern. Damit verändern sich die physikalischen Eigenschaften der Partikel und das Ausbreitungsverhalten. Außerdem können sich beim Transport durch den Einfluss meteorologischer Parameter die biologischen Eigenschaften der Mikroorganismen im Bioaerosol ändern, wodurch auch deren Kultivierbarkeit beeinträchtigt werden kann (siehe auch Kap. 2.2). Die bisher vorliegenden wenigen Messungen aus NRW und Bayern zeigen keine eindeutige Korrelation zwischen Einflussgrößen wie z. B. Wind, Temperatur, Luftfeuchte und der gemessenen Staphylokokken-Konzentration. Die Untersuchungen in Bayern geben allerdings Hinweise darauf, dass die UVB-Strahlung einen Einfluss auf die Tenazität der Mikroorganismen hat [3]. Für eine abschließende Aussage ist jedoch das vorliegende Datenkollektiv zu gering. Einflussfaktoren und ihre möglichen Auswirkungen sowie der derzeitige Kenntnisstand sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Einflussfaktoren in der Ausbreitungsrechnung und ihre möglichen Auswirkungen sowie der derzeitige Kenntnisstand.

Einflussfaktoren	Auswirkung in der Ausbreitungsrechnung	Derzeitiger Kenntnisstand
Korngröße	Je größer die Partikel, desto schneller nimmt die Immissionskonzentration im Abstand zur Quelle ab.	Zur Partikelgrößenverteilung werden derzeit Untersuchungen im LANUV durchgeführt (siehe Kap. 5.9).
Dichte der biologischen Partikel	Je größer die Dichte der Partikel, desto schneller nimmt die Immissionskonzentration ab.	Keine speziellen Untersuchungen zu biologischen Partikeln aus Tierhaltung bekannt.
Unterschiede Emissionen in Aktiv- und Ruhephase der Tiere	Geringere Emissionen in der Ruhephase führen zu geringeren Immissionskonzentrationen.	Hierzu sind keine Untersuchungen bekannt.
Tenazität	Absterben der Bakterien führt zu einer geringeren Anzahl an koloniebildenden Einheiten, nicht jedoch der Partikelzahl.	Hierzu besteht noch großer Untersuchungsbedarf (siehe auch Kap. 2.2).
Sonstige Umwandlungsprozesse, die Eigenschaften, wie Anzahl und Größe, der biologischen Partikel ändern.	Variabel. Keine eindeutige Aussage möglich.	Nicht bekannt.
Modellparametrisierungen	Die Modellparametrisierungen wirken sich gleichermaßen auf die Ausbreitung von Bioaerosolen und anderen Partikeln und Gasen aus. Eine Auflistung aller Modellparametrisierungen sprengt hier den Rahmen. Ein möglicher Effekt ist die Darstellung von Gebäudeumströmungen, die im Nahbereich der Gebäude starke Auswirkungen auf die Immissionskonzentration haben.	Das Ausbreitungsmodell nach TA Luft ist umfangreich validiert und verifiziert. Untersuchungen zum Einfluss von Gebäudeumströmungen bei einer Tierhaltungsanlage wurden seitens des LANUV durchgeführt.

Derzeit führt das LANUV Untersuchungen zur Modellierung der Ausbreitung von Bioaerosolen an einem Masthähnchenbetrieb auf Basis von Messdaten durch. Ziel ist es, die Eignung des in der VDI 4251 Blatt 3 festgelegten Vorgehens zur Durchführung der Ausbreitungsrechnung von Bioaerosolen zu überprüfen.

Für die erste Teiluntersuchung wurden Daten von Immissionsmessungen des LANUV aus den Jahren 2013 und 2014 herangezogen [4]. Da in diesem Projekt keine zeitgleichen Emissionsmessungen durchgeführt wurden, wurden die Emissionen anhand der in VDI 4255 Blatt 3 [5] festgelegten mittleren Emissionsfaktoren angesetzt. Die Ausbreitungs-

rechnungen wurden mit dem im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [6] zu verwendenden Modell durchgeführt. Zusätzlich erfolgten Sensitivitätsuntersuchungen mit komplexeren Ansätzen zur Gebäudeberücksichtigung. Diese Frage wird im Rahmen von Genehmigungsverfahren häufig thematisiert. Außerdem wurden die modellierten Immissionen mit gemessenen Werten verglichen. Erste Ergebnisse liegen vor. Sie zeigen, dass die Variationen der Messergebnisse größer sind als die Unterschiede zwischen den Modellansätzen. Dies bedeutet, dass der wesentlich höhere Aufwand durch Verwendung eines prognostischen Ansatzes in diesem Fall nicht gerechtfertigt erscheint. Im Mittel über die betrachteten Messtage überschätzten die Modellergebnisse die Messwerte vor allem für Gesamtbakterien und Staphylokokken um zwei bis drei Größenordnungen, was die in Bayern erhaltenen Ergebnisse bestätigt.

Erste Sensitivitätsstudien des LANUV mit **hypothetischen** Ansätzen haben gezeigt, dass sowohl für Mastschweine als auch für Masthähnchen die Berücksichtigung einer Korngrößenverteilung, unterschiedlicher Emissionen bei Hell-/ Dunkelphasen und einer Absterberate zu einer merkbaren Verringerung der modellierten Immissionskonzentration von Staphylokokken und damit zu deren Reichweite beitragen können.

Im Oktober 2015 hat das LANUV an dem Hähnchenmastbetrieb zeitgleich Emissions- und Immissionsmessungen durchgeführt. Für dieses Messszenario werden derzeit ebenfalls Vergleichsrechnungen durchgeführt und ausgewertet.

7.3 Literatur

- [1] VDI 3782 Blatt 5: 2006-04 Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Depositionsparameter.
- [2] VDI 4251 Blatt 3: 2015-08 Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und Viren in der Außenluft - Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von Bioaerosolen.
- [3] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen; Endbericht Teil 1 zum Forschungsvorhaben P 2110 (2015).
- [4] Zielvereinbarungen 2014: Messungen von Bioaerosolen in der Außenluft. Im Umfeld einer Geflügelmastanlage, T. Schuck und D. Gladtko, 06.08.2015.
- [5] VDI 4255 Blatt 3: 2016-12 Bioaerosole und biologische Agenzien - Emissionsfaktoren für Geflügelhaltung.
- [6] Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 55 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist.

8 Gesundheitliche Wirkungen

8.1 Mögliche Erkrankungen

Bioaerosole können eine Reihe von gesundheitlichen Wirkungen auslösen. Diese lassen sich unter die Oberbegriffe Infektionen, Allergien und toxische Effekte einordnen. Eine ausführliche Darstellung der gesundheitlichen Risiken durch Bioaerosole wurde von Mücke und Lemmen (2008) vorgenommen [1]. Zu den gesundheitlichen Beeinträchtigungen der im Umfeld von Anlagen lebenden Personen liegen nur wenige Erkenntnisse aus umweltepidemiologischen Studien vor. In diesen wurde bei gegenüber bioaerosol-exponierten Personen im Vergleich zu nicht belasteten Personen eine erhöhte Häufigkeit insbesondere für Schleimhautirritationen, chronisch-obstruktive Lungenerkrankungen (COPD), Asthma, Lungenentzündung, Q-Fieber sowie Infektionen bei Vorgeschiedigten (Asthma, COPD) beobachtet. Neben diesen schädlichen Effekten wurden auch schützende Effekte (insbesondere geringere Häufigkeit von Atopien und Allergien) festgestellt [2–12, 31]. Aus den vorliegenden Erkenntnissen ergeben sich Hinweise für eine Verknüpfung zwischen einem erhöhten Erkrankungsrisiko der Anwohner und Anwohnerinnen und Bioaerosolen. Diese reichen aber nicht aus, um einen ursächlichen Zusammenhang abschließend belegen zu können. Auch die Etablierung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Bioaerosolen und gesundheitlichen Wirkungen war bislang nicht möglich. Dies wurde auch durch das Projekt GABi (Gesundheitsbasierte Ableitungswerte Bioaerosole) bestätigt. Hier wurde der Frage nachgegangen, ob für Bioaerosole eine Ableitung von gesundheitsbezogenen Beurteilungswerten möglich ist [13]. Im Ergebnis wurde von den Autoren festgestellt, dass keine der bisher veröffentlichten Humanstudien geeignete Dosis-Wirkungs-Beziehungen enthält und insgesamt die Kriterien zur Ableitung gesundheitsbezogener Beurteilungswerte nicht erfüllt werden. Insgesamt bleibt aber festzuhalten, dass Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen grundsätzlich geeignet sind gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorzurufen. Dem wurde durch die Erarbeitung von entsprechenden Regelungen zur gesundheitlichen Bewertung Rechnung getragen (siehe Kapitel 10).

8.2 Antibiotika resistente Mikroorganismen

8.2.1 Methicillin resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA)

MRSA sind Bakterien, die beim Menschen unter anderem Wundinfektionen und Entzündungen der Atemwege hervorrufen können und gegen sogenannte Beta-Laktam-Antibiotika (Penicilline und Cephalosporine) resistent sind. Diese Antibiotika wirken bei der Behandlung einer Infektion mit MRSA nicht mehr, d. h. sie können den Infektionsverursacher nicht abtöten. In der Vergangenheit trat der Keim vor allem in Krankenhäusern auf, wo er von Mensch zu Mensch übertragen wird. In den vergangenen Jahren wurden vermehrt Fälle registriert, in denen sich Menschen außerhalb von Krankenhäusern infiziert haben [14].

Hinsichtlich der möglichen gesundheitlichen Wirkungen durch Bioaerosole stehen derzeit vor allem die mit der Nutztierhaltung assoziierten MRSA (Ia-MRSA) im Mittelpunkt. Dies insbesondere deshalb, weil bei landwirtschaftlichen Nutztieren vermehrt MRSA festgestellt worden sind [15]. In der Öffentlichkeit wird daher die Frage gestellt, inwieweit Tiere die Quelle für Kolonisation oder Infektionen durch solche multiresistente Erreger beim Menschen sein kön-

nen, z. B. durch direkten Tierkontakt, Lebensmittel tierischen Ursprungs, Abluft aus Tierställen oder Gülle [15]. Die Mehrzahl (> 90 %) der bei Nutztieren und in Lebensmitteln nachgewiesenen MRSA (= la-MRSA) gehört der klonalen Linie CC398 an. Seltener werden die Linien CC9, CC5 und CC97 nachgewiesen [15].

In Deutschland sind derzeit etwa 1,5 % der Menschen in der Allgemeinbevölkerung nasal durch MRSA besiedelt. Bei Patienten, die bei der Krankenhausaufnahme untersucht wurden, liegt diese Prävalenz regional und lokal unterschiedlich zwischen 1,5 bis 2,5 %, punktuell bei 1,5 bis 9 % [15]. Seit dem 1. Juli 2009 besteht eine Meldepflicht für labordiagnostische Nachweise von MRSA in Serum oder Liquor. Für 2015 wurden 3591 gemeldete Fälle (invasiver MRSA-Infektionen) übermittelt, was einer Inzidenz von 4,4 Fällen pro 100.000 Einwohner entspricht [17]. Die Inzidenz im Jahr 2015 ist im Vergleich zum Vorjahr gesunken. 2014 wurden 3841 Fälle gemeldet, was einer Inzidenz von 4,8 Fällen pro 100.000 Einwohner entspricht [16]. Es wurden 2015 238 Todesfälle (7,0 % von 3450 Patienten mit entsprechenden Angaben) berichtet, welche als direkte Folge einer invasiven MRSA-Infektion eingeordnet wurden. Die Angaben zur Letalität sind aber mit Vorbehalt zu bewerten. Da die Patienten häufig an anderen Grunderkrankungen leiden, ist es für den behandelnden Arzt nicht immer eindeutig abzugrenzen, ob der Patient an oder mit der MRSA-Infektion verstorben ist [17].

Das Auftreten und die Verbreitung von mit der Nutztierhaltung assoziierten MRSA in Deutschland werden derzeit intensiv untersucht und diskutiert. An allen an das Nationale Referenzzentrum (NRZ) Staphylokokken eingesandten MRSA-Proben aus dem gesamten Bundesgebiet betrug der Anteil von CC398 3,3 % in 2013 (102 von 3056) und 3,5 % (105 von 3010) in 2014. Unter den MRSA-Einsendungen an das NRZ mit Angaben klinischer Indikationen lag der Anteil von MRSA-CC398 in 2013 bei 2,7 % und in 2014 bei 2,4 %. Hauptsächlich wurden diese aus Haut- und Weichgewebeeinfektionen erhalten, in vier Fällen aus Sepsis und in neun Fällen aus Pneumonien [16].

La-MRSA-CC398 treten seit geraumer Zeit verstärkt als nasale Besiedler und Infektionserreger bei Menschen in Regionen mit hoher Nutztierdichte auf. In diesen Gebieten (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen) werden derzeit bei den in Krankenhäusern ermittelten nasalen MRSA-Besiedlungen bis zu 30 % MRSA-CC398 gefunden [15].

Aus einer Besiedlung kann eine Infektion erfolgen. Während MRSA-CC398 etwa 2 % aller MRSA repräsentieren, die bei menschlichen MRSA-Infektionen in Deutschland bei Krankenhaus-Patienten festgestellt werden [18], ist dieser Anteil in Regionen mit hoher Nutztierhaltungsdichte höher. Dort sind MRSA-CC398 für ca. 10 % der MRSA-Infektionen beim Menschen verantwortlich [15]. Im Detail machten la-MRSA bis zu 14 % der MRSA, die bei Menschen mit tiefen Atemwegsinfektionen gefunden wurden, sowie 11 % bei tiefen Wundinfektionen und 8 % bei Blutstrominfektionen aus [18].

MRSA-CC398 erweisen sich zunehmend als ein wichtiger Erreger von Krankenhausinfektionen. So stieg in einer Region mit einer hohen Dichte an Schweinemastanlagen der Anteil aller aus oberflächlichen Wundinfektionen detektierten la-MRSA von 2008 bis 2011 von 7 auf 10 % [19].

Auch bei Landwirten wurde ein häufiges Vorkommen von mit der Tierhaltung verknüpften MRSA festgestellt. Bei 77 bis 86 % der beruflich exponierten Landwirte (Schweinehalter), die in MRSA-positiven Anlagen tätig sind, liegt eine nasale Besiedlung mit MRSA-CC398 vor [20]. So konnte in einer Studie beispielsweise bei 86 % aller untersuchten Landwirte eine Besiedlung mit MRSA-CC398 festgestellt werden, wohingegen Familienmitglieder mit Kontakt zu Landwirten nur zu 4,3 % eine entsprechende Besiedlung aufwiesen. Demnach lässt sich für diese Personengruppe ein deutlich geringeres Vorkommen von MRSA-CC398 erkennen als für Landwirte selbst [21]. Allerdings liegt der Anteil von mit MRSA-CC398 besiedelten Familienmitgliedern höher als der in der Allgemeinbevölkerung.

Eine Untersuchung in einer Region in Niedersachsen mit einer hohen Nutztierhaltungsdichte zeigte, dass eine Besiedlung mit MRSA-CC398 bei 1 % aller untersuchten Personen ohne berufsbedingten Nutztierkontakt, jedoch mit Wohnsitz in Nachbarschaft zu Mastanlagen, nachgewiesen werden konnte [22]. Eine Verbreitung innerhalb der Bevölkerung im ländlichen Raum erfolgte bislang offenbar selten, wie eine Untersuchung an Schülern einer Zentralschule sowie Bewohnern zweier Alten- und Pflegeheime ergab [23].

Laut Idelevich (2016) findet eine Weiterverbreitung von MRSA-CC398 in der Allgemeinbevölkerung aber durchaus statt. Bislang habe dies allerdings nicht zu einer belegten Veränderung in der Gesamtprävalenz von MRSA in der Bevölkerung geführt. Es kam jedoch zu einer geografischen Ausbreitung von la-MRSA auch außerhalb von Gebieten mit hoher Nutztierhaltung (Schweine). Wichtig sei aber auch festzuhalten, dass die Mehrzahl der MRSA-Infektionen beim Menschen heutzutage noch immer durch krankenhaussassoziierte MRSA hervorgerufen wird [15].

Diese o. g. Erkenntnisse zum Vorkommen von la-MRSA geben Anlass für eine erhöhte Aufmerksamkeit im Hinblick auf eine mögliche Belastung der Allgemeinbevölkerung. Eine Übertragung von la-MRSA über die Luft und eine anschließende nasale Kolonisation mit dauerhafter Besiedlung der AnwohnerInnen erscheinen prinzipiell möglich, dürften nach aktuellem Kenntnisstand aber nur vergleichsweise selten auftreten. Derzeit gibt es keinen Nachweis, dass (Ab-)Luft aus Tierhaltungsanlagen zu einer Häufung von Besiedlungen und Infektionen von Menschen durch Antibiotika resistente Bakterien in der Umgebung von Tierhaltungsanlagen führt. Bislang wird der direkte Tierkontakt als der bedeutsame Expositionspfad angesehen [24].

Bisher gibt es keinen Nachweis, dass das Wohnen in der Umgebung von Tierhaltungsanlagen bedingt durch den Austrag von antibiotikaresistenten Bakterien über die Abluft aus Ställen ein höheres Gesundheitsrisiko für die Allgemeinbevölkerung birgt als an anderen Wohnorten [24,25].

Ob die Ausbringung von Dünger aus Tierhaltungsanlagen und die hierin enthaltenen (Antibiotika resistenten) Mikroorganismen zu einem erhöhten gesundheitlichen Risiko der im Umfeld lebenden Personen führen, wird derzeit ebenfalls thematisiert. So ist nach Jahne et al. (2015) die Ausbringung von Wirtschaftsdünger aus der Milchwirtschaft mit einem erhöhten Risiko für gastrointestinale Infektionen verbunden. Während bei der Ausbringung das Risiko am Feldrand 1:2700 betrug, nahm dieses mit zunehmender Entfernung ab und betrug in 100

Metern 1:13.000 und in 1000 Metern 1:200.000 [26]. Insgesamt gibt es derzeit aber keinen Nachweis, dass die Ausbringung von Wirtschaftsdünger aus Tierhaltungsanlagen zu unmittelbaren gesundheitlichen Auswirkungen für den Menschen durch Antibiotika resistente Bakterien in der Umgebung von Tierhaltungsanlagen führt [24].

8.2.2 ESBL-bildende Enterobakterien

Hinsichtlich der Frage, inwieweit die Nutztierhaltung eine Quelle für Kolonisation und Infektionen durch multiresistente Erreger beim Menschen sein kann, werden neben den MRSA zunehmend die ESBL-bildenden Enterobakterien (ESBL-E) thematisiert. ESBL steht für „Extended-Spektrum Beta-Laktamasen“ und bezeichnet Enzyme, die ein breites Spektrum von Beta-Laktam-Antibiotika verändern und damit unwirksam machen. Bakterien, die diese Enzyme produzieren, werden dadurch unempfindlich (resistent) gegenüber wichtigen Wirkstoffen wie Aminopenicillinen und Cephalosporinen [27].

Die intestinale Kolonisation mit ESBL-E betrifft in Deutschland 3,5 bis 6,8 % der Menschen in der Allgemeinbevölkerung, bei Patienten in Einrichtungen des Gesundheitswesens ist diese Prävalenz höher. Es gibt einen deutlichen Zuwachs von ESBL-E-Kolonisationen in der Allgemeinbevölkerung und bei klinischen Isolaten [15].

Eine Infektion kann über kontaminierte Lebensmittel sowie nach direktem Kontakt zwischen Mitarbeiter im tierhaltenden Betrieb und Nutztier erfolgen. Auch eine Übertragung von Mensch zu Mensch ist möglich. Dies tritt vor allem in Krankenhäusern und anderen Einrichtungen des Gesundheitswesens auf. Welchen Anteil die verschiedenen Infektionswege an den Erkrankungsfällen des Menschen haben, wird derzeit erforscht. Die Übertragungswege sind komplex [27]. Bis heute wird davon ausgegangen, dass sich ESBL-tragende Mikroorganismen wie andere Erreger von Magen-Darm-Infektionen verhalten, so dass insbesondere die orale Aufnahme der entscheidende Aufnahmeweg ist [28].

ESBL-bildende Bakterien haben zunehmend eine bedeutende Rolle als Erreger sogenannter nosokomialer, also im Krankenhaus erworbener, Infektionen eingenommen. Die meisten Bakterien, die ESBL bilden, sind harmlose Darmbewohner („Kommensale“), die keine Erkrankungen verursachen. Es gibt aber auch solche, die beim Menschen Erkrankungen verursachen können, z. B. Salmonellen, Klebsiellen oder enterohämorrhagische *Escherichia coli* (EHEC). Einige dieser Bakterien führen insbesondere bei Risikogruppen wie Kleinkindern, Schwangeren, älteren Menschen und Menschen mit geschwächter Immunabwehr zu Erkrankungen. Müssen Erkrankungen antibiotisch behandelt werden, kann ein Behandlungserfolg aufgrund der Resistenz der Erreger erschwert werden [27].

Hinweise, wonach ESBL-bildende Bakterien aus Tierhaltungsanlagen bei im Umfeld lebenden Personen zu einer erhöhten Häufigkeit von Besiedlungen oder Infektionen geführt haben, liegen nach Kenntnisstand nicht vor.

Die zoonotische Komponente bei ESBL-E-Besiedlungen und –Infektionen des Menschen lässt sich derzeit aufgrund unzureichenden Grundwissens nicht zuverlässig quantifizieren [15].

8.3 Endotoxine

Endotoxine können eine Reihe von gesundheitsschädlichen Effekten verursachen. Dies haben vor allem Untersuchungen an Arbeitsplätzen u. a. in der Landwirtschaft gezeigt. Kurzfristige Endotoxininhalationen können Husten, Beeinträchtigungen der Lungenfunktion, Fieber und grippeähnliche Symptome verursachen. Langandauernde Belastungen können zur chronischen Bronchitis führen. Der Gesundheitsrat der Niederlande sieht Bedarf für einen Beurteilungswert zur Bewertung der möglichen Wirkungen von Endotoxinen in der Außenluft auf die im Umfeld von Tierhaltungsanlagen lebende Bevölkerung. Bei der Ableitung eines solchen Wertes ging dieser von dem für Arbeitsplätze empfohlenen Wert von 90 EU/m³ aus, welcher sich auf Kurz- und Langzeiteinwirkungen durch Endotoxine bezieht. Zur Berücksichtigung der Intraspeziesvariabilität (Übertragung ArbeitnehmerInnen auf Allgemeinbevölkerung) wird ein Anpassungsfaktor von 3 angesetzt. Damit würde sich laut Gesundheitsrat der Niederlande ein gesundheitsbasierter Grenzwert für die Allgemeinbevölkerung von 30 EU/m³⁷ ergeben [29]. Allerdings liegt bislang für Endotoxine in der Außenluft kein standardisiertes Messverfahren vor. Nach VDI 4250 Blatt 3 können für Messparameter, für die bisher keine standardisierten Messverfahren vorliegen, keine Beurteilungswerte angegeben werden [30].

8.4 Literatur

- [1] *Mücke, W. und Lemmen, C.:* Bioaerosole und Gesundheit – Wirkungen biologischer Luftinhaltsstoffe und praktische Konsequenzen. ecomed Medizin (2008).
- [2] *Radon, K.:* Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens – Niedersächsische Lungenstudie (NiLS). München: Klinikum der Universität München (2004).
- [3] *Hoopmann, M. et al.:* Atemwegserkrankungen und Allergien bei Einschulungskindern in einer ländlichen Region (AABEL), Teilprojekt B des Untersuchungsprogramms „Gesundheitliche Bewertung von Bioaerosolen aus der Intensivtierhaltung“, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover (2004).
- [4] *Heederik, D. J. J. und Ijzermans, C. J.:* www.nivel.nl/pdf/Rapport-Intensieve-Veehouderij.pdf (2011).
- [5] *Smit, L. A. M., Hooiveld, M., Sman-de Beer, F. van der, Opstal-van Winden, A. W. J., Beekhuizen, J., Wouters, I. M., Yzermans, J., Heederik, D.:* Air pollution from livestock farms, and asthma, allergic rhinitis and COPD among neighbouring residents. *Occupational and Environmental Medicine* 71 (2014), 2, 134–140.
- [6] *Keller, K. H. und Ball, R. W.:* A Retrospective Study of Diarrheal and Respiratory Illness Incidence Rates in Milford, Utah 1992-1998. Salt Lake City, Utah: Bureau of Epidemiology, Utah Department of Health, 2000.

⁷ Endotoxin unit; Einheit für den Endotoxingehalt.

- [7] *Merchant, J. A. et al.*: Asthma and farm exposures in a cohort of rural Iowa children. *Environmental Health Perspectives* 113 (2005), 3, 350–356.
- [8] *Mirabelli, C. et al.*: Asthma symptoms among adolescents who attend public schools that are located near confined swine feeding operations. *Pediatrics* 118 (2006), 1, e66–e75.
- [9] Schinasi, L. et al.: Air pollution, lung function, and physical symptoms in communities near concentrated swine feeding operations. *Epidemiology* 22 (2011), 1, 208–215.
- [10] *Sigurdarson, S. T. und Kline, J. N.*: School proximity to concentrated animal feeding operations and prevalence of asthma in students. *Chest* 129 (2006), 6, 1486–1491.
- [11] *Thu, K. et al.*: A control study of the physical and mental health of residents living near a large-scale swine operation. *J. Agric. Safety Health* 3 (1997), 13–26.
- [12] *Wing, S. und Wolf, S.*: Intensive livestock operations, health, and quality of life among eastern North Carolina residents. *Environmental health perspectives* 108 (2000), 3, 233–238.
- [13] *Herr, C. et al.*: Ableitung gesundheitsbasierter Beurteilungswerte für luftgetragene Mikroorganismen (Bioaerosole), in: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL - Bioaerosole in der Landwirtschaft - Bedeutung für Mensch und Umwelt, VDI-Expertenforum 30.9/1.10. 2014, Berlin, KRdL-Schriftenreihe 48 (2014), 117.
- [14] Bundesamt für Risikobewertung (BfR): Fragen und Antworten zu Methicillin resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA). Aktualisierte FAQ vom 18. November 2014, Berlin, 2014.
- [15] *Idelevich, E. A. et al.*: Antibiotika resistente Erreger in Deutschland – Die Rolle von nicht nosokomialen Ansteckungsquellen. *Bundesgesundheitsblatt* 2016, 59, 113–123.
- [16] Robert-Koch-Institut (RKI): Epidemiologisches Bulletin, Eigenschaften, Häufigkeit und Verbreitung von MRSA in Deutschland – Update 2013/14, 3. August 2015, Nr. 31, Berlin, 2015.
- [17] Robert-Koch-Institut (RKI): Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2015, Berlin, 2016.
- [18] <http://medvetstaph.-net>.
- [19] *Köck, R. et al.*: Livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) as causes of human infection and colonization in Germany. *PLoSOne* 8 (2013), 2, e55040.
- [20] *Cuny, C. und Witte, W.*: Bedeutung von LA-MRSA und ESBL-bildenden *Enterobacteriaceae* bei Masttieren für den Menschen.

- http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Antibiotikaresistenz/LA_MRSA_und_ESBL.html;jsessionid=3E55C1C57B3707A16BC4B976DCFB99C7.2.
- [21] Cuny, C. et al.: Auftreten von MRSA CC398 bei Landwirten (LW) mit Exposition zu MRSA besiedelten Schweinen und deren Familienangehörigen. PLoSOne (2009), 8, e6800.
- [22] Bisdorff, B. et al.: MRSA ST398 in livestock farmers and neighbouring residents in a rural area in Germany. Epidemiol. Infect. 140 (2012), 1800–1808.
- [23] Cuny, C. et al.: Nasal colonization of humans with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) CC398 with and without exposure to pigs. PLoSOne 4 (2009a), 8, e6800.
- [24] Ministerium für Klimaschutz Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Kernaussagen zum internen Fachgespräch „Keime aus Tierhaltungs- und Biogasanlagen - Auswirkungen auf menschliche Gesundheit und Umwelt“ am 8.4.2014, Düsseldorf, Stand 24.9.2015. https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/fachgespraech_gesundheit_kernaussagen.pdf.
- [25] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) (Herausgeber): Keime und Antibiotika/Resistenzen aus der Tierhaltung und ihre Folgen für die menschliche Gesundheit. Dokumentation, 4.7.2014, NH Hotel, Düsseldorf City-Nord, www.umwelt.nrw.de.
- [26] Jahne, M. A. et al.: Emission and dispersion of bioaerosols from Dairy manure application sites: Human health risk assessment. Environ. Sci. Technol. 49 (2015), 9842–9849.
- [27] Bundesamt für Risikobewertung (BfR): Fragen und Antworten zu ESBL- und/oder AmpC-bildenden antibiotikaresistenten Keimen. Aktualisierte FAQ des BfR vom 19. Januar 2015, Berlin, 2015.
- [28] Bundesamt für Risikobewertung (BfR): ESBL-bildende Bakterien in Lebensmitteln und deren Übertragbarkeit auf den Menschen. Stellungnahme Nr. 002/2012 vom 5. Dezember 2011, Berlin, 2011.
- [29] Health Council of the Netherlands. Health risks associated with livestock farms. The Hague. Health Council of the Netherlands (2012); publication no. 2012/27 E.
- [30] VDI 4250 Blatt 3: 2016-08 Bioaerosole und biologische Agenzien; Anlagenbezogene, umweltmedizinisch relevante Messparameter und grundlegende Beurteilungswerte. Berlin: Beuth Verlag
- [31] Maassen, K. et al.: Veehouderij en gezondheid omwonenden. Livestock farming and the health of local residents. Rijksinstituut voor Volksgezondheid. RIVM Rapport 2016-0058.

9 Technische Minderungsmaßnahmen

Für die Tierhaltung wurde in den letzten 15 Jahren eine Reihe von Abluftreinigungsanlagen für den Einsatz zur Minderung der Emissionen von Geruch, Ammoniak und Staub entwickelt, zunächst nur für die Schweinehaltung, später auch für die Masthähnchenhaltung. Anlass war die Notwendigkeit zur Verbesserung der Immissionssituation im Umfeld von Tierhaltungsanlagen zunächst insbesondere für Geruch und Ammoniak. Dazu wurden vor allem in Niedersachsen seit Anfang der 2000er Jahre vermehrt Abluftreinigungsanlagen gefordert, installiert und betrieben, während sie in NRW vorerst überwiegend im Einzelfall eingesetzt wurden. Abluftreinigungsanlagen als technische Maßnahme zur gezielten Emissionsminderung von Bioaerosolen sind bisher nicht gesondert entwickelt worden.

In Nordrhein-Westfalen besteht nach Maßgabe des Erlasses zu immissionsschutzrechtlichen Anforderungen an Tierhaltungsanlagen vom 19.2.13 [1] die Möglichkeit, den Nachweis der Eignung und Wirksamkeit von Abluftreinigungsanlagen in Genehmigungsverfahren sowohl durch Vorlage eines entsprechenden Gutachtens eines Sachverständigen sowie alternativ durch Vorlage einer Zertifizierung des DLG e.V. zu erbringen.

9.1 Abluftreinigungstechnik

Es gibt drei grundlegende Verfahrensarten, die zur Abluftreinigung von Tierhaltungsanlagen eingesetzt werden [2,3]. **Biofilter** sind technische Einrichtungen, bei denen die Abluft über ein organisches Material wie z. B. Wurzelholz oder Holzhackschnitzel geführt und gereinigt wird. Im Gegensatz dazu wird die Abluft bei den **Abluftwäschern** durch eine Waschflüssigkeit geleitet, die die Abluftinhaltsstoffe aufnehmen soll. Als Waschflüssigkeit kommen derzeit Wasser oder verdünnte Säuren (z. B. anorganische Säure, wie Schwefelsäure, zur pH-Wert-Regulierung) zum Einsatz. Bei der Verwendung von Säuren spricht man von Chemowäschern. Wird ausschließlich Wasser eingesetzt, werden die aufgenommenen Abluftinhaltsstoffe von den in der Waschflüssigkeit wachsenden Mikroorganismen abgebaut. Dann spricht man von einem „biologischen“ Abluftwäscher. Durch den Einbau von Füllkörperschüttungen oder Füllkörperpackungen wird die mit Flüssigkeit benetzte Oberfläche in der Abluftreinigungsanlage vergrößert. Auf diesen Flächen können und sollen sich ebenfalls Mikroorganismen ansiedeln. Dann handelt es sich um einen **Rieselbettreaktor**. Oftmals werden die drei einzelnen Verfahrensarten zu 2- oder 3-stufigen Anlagen kombiniert, je nachdem, welche Emissionsminderung erreicht werden soll.

Eignungsgeprüfte, ordnungsgemäß ausgelegte und betriebene Abluftreinigungsanlagen erreichen bei der Ammoniak- und Staubabscheidung einen Anlagenwirkungsgrad von mindestens 70 %. Die Geruchsstoffkonzentration im Reingas unterschreitet 300 GE/m³ (Geruchseinheiten pro Kubikmeter), wobei typische Stallgerüche reinluftseitig nicht wahrnehmbar sind.

Die Abluftreinigung in der Tierhaltung wurde ursprünglich für die Schweinehaltung entwickelt. Sie ist vom grundlegenden Prinzip her auch in der Geflügelhaltung einsetzbar, erfordert dort aber weitergehenden Aufwand. Die im Tierhaltungserlass NRW [4] geforderte und oben aufgeführte Bedingung zur Geruchsabscheidung kann derzeit bei Geflügel nicht eingehalten werden.

Für die Schweinehaltung gibt es deutlich mehr eignungsgeprüfte Abluftreinigungsanlagen als für die Geflügelhaltung, wobei für letztere die Geruchsminderung bisher nicht zertifiziert werden kann.

9.2 Abscheidung von Bioaerosolen

Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Minderung der Staubemission durch Abluftreinigungsanlagen auch eine Minderung der Bioaerosol-Emissionen erreicht wird. Das LANUV untersuchte in den Jahren 2013 und 2014 an einer Abluftreinigungsanlage einer Broiler-Elterntierhaltungsanlage die Minderung von Bioaerosol-Emissionen. Für Bakterien wurde bei diesen Messungen ein Abscheidegrad von ca. 90 % beobachtet. Diese Ergebnisse werden durch Beobachtungen, die im Rahmen des BioAluRein-Projektes und des Projektes „Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen“ getätigt wurden, gestützt [5–8]. Bei dem Einsatz von Abluftreinigungsanlagen kann daher, in Bezug auf Bioaerosole, eine Reinigungsleistung von einer Größenordnung bzw. ein Wirkungsgrad in Höhe von 90 % angenommen werden.

Bioaerosole wurden bisher als Prüfparameter für die Wirksamkeit von Abluftreinigungsanlagen nicht berücksichtigt. Seit Februar 2015 wurde z. B. der Prüfraum der DLG [9] erweitert. Dem Hersteller einer Abluftreinigungsanlage wird seitdem die Möglichkeit gegeben, optional Prüfungen auf die Minderung von Bioaerosolen mit festgelegten Mindestkriterien (Abscheidegrad von jeweils mindestens 70 % an Gesamtbakterienzahl, mesophilen Pilzen und/oder Leitparameter (z. B. Staphylokokken)) an seiner Anlage durchführen zu lassen. Allerdings gibt es bisher keinen Hersteller, der die Messergebnisse in seinem DLG-Prüfbericht veröffentlicht hat.

9.3 Literatur

- [1] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen. Erlass vom 19.2.2013, Düsseldorf.
- [2] KTBL-Schrift 451, Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen (2006) –Neufassung (auch nur Schweine) soll 2016 erscheinen.
- [3] VDI 4255 Blatt 2: 2009-12 Emissionsquellen und –minderungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung.
- [4] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen. Erlass vom 19.2.2013, Düsseldorf.
- [5] Bericht ans MKULNV Az.: 73.1400-Ge/541 –Sg vom 06.07.15.
- [6] Bericht ans MKULNV Az.: Az. 516_17_04_14/Sg vom 29.04.14.

- [7] Abschlussbericht des F&E-Vorhabens „Prüfung und Bewertung der biologischen Sicherheit von anerkannten Abluftreinigungsanlagen in der Nutztierhaltung“ 2807 UM003, 2013.
- [8] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Emissionsminderung durch Abgasreinigung in bayerischen Tierhaltungsanlagen. Endbericht Teil 2 zum Forschungsvorhaben P2110 (2015).
- [9] DLG-Prüfrahmen: Abluftreinigungssysteme für Tierhaltungsanlagen, Stand 02/2015, www.dlg.org.

10 Gesetzliche, untergesetzliche und sonstige Regelungen

In diesem Kapitel werden gesetzliche, untergesetzliche und sonstige Regelungen zu Bioaerosolen beschrieben. Im Mittelpunkt stehen hierbei Regelungen bzw. deren Teilbereiche, welche sich auf die gesundheitliche Bewertung von Bioaerosol-Immissionen beziehen. Eine Auflistung bzw. Beschreibung aller Regelungen zu den verschiedenen Themen hinsichtlich Bioaerosole (Emissionen, Immissionen, Ausbreitungsrechnung, Messungen usw.) erfolgt nicht.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Bioaerosole aus Tierhaltungsbetrieben grundsätzlich geeignet sind, nachteilig auf die Gesundheit der im Umfeld einer Anlage lebenden Personen einzuwirken. Ungeachtet der Schwierigkeiten bei der Quantifizierung des gesundheitlichen Risikos, ist eine Begrenzung der Bioaerosol-Belastung von Personen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen geboten.

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) 2002 [1] enthält allerdings keinen Immissionswert für Bioaerosole. Es wurden daher verschiedene Regelungen zur gesundheitlichen Bewertung von Bioaerosol-Immissionen wie die Richtlinie VDI 4250 Blatt 1 „Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) [2] sowie der „Leitfaden Bioaerosole“ der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) erarbeitet [3]. Diese Regelungen beziehen sich auf unterschiedliche Schutzniveaus. Während bei der Richtlinie VDI 4250 Blatt 1 die umweltmedizinische Vorsorge angesprochen wird, steht beim LAI-Leitfaden bei der Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes im Vordergrund. Diese Regelungen werden nachfolgend beschrieben.

10.1 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Nach Nr. 5.4.7.1 TA Luft [1] sind für Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Nutztieren die Möglichkeiten, die Emissionen an Keimen und Endotoxinen durch den Stand der Technik entsprechende Maßnahmen zu vermindern, zu prüfen.

Einen Immissionswert für Bioaerosole, mit welchem beantwortet werden kann, ob der Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit sichergestellt ist, enthält die TA Luft nicht. Eine Prüfung, ob durch Bioaerosole aus einer Anlage nach BImSchG schädliche Umwelteinwirkungen hervorgerufen werden, ist daher nach Nr. 4.8 TA Luft („Prüfung, soweit Immissionswerte nicht festgelegt sind, und in Sonderfällen“) vorzunehmen. Eine Sonderfallprüfung ist dann erforderlich, wenn hierzu hinreichende Anhaltspunkte vorliegen. Wie konkret bei der Anhaltspunkte- und Sonderfallprüfung vorgegangen werden kann, ist im LAI-Leitfaden Bioaerosole sowie in den Erlassen des MKULNV NRW beschrieben (siehe Kap. 10.2 und 10.3). Im Entwurf zur Novellierung der TA Luft sind Regelungen zur Ermittlung und gesundheitlichen Bewertung von Bioaerosol-Immissionen vorgesehen.

10.2 LAI-Leitfaden Bioaerosole

Mit dem Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden Bioaerosole) [3, 5] liegt eine standardisierte Methode zur Bewertung der möglichen Gefahren für die menschliche Gesundheit durch Bioaerosole im Rahmen von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren (Anhaltspunkte- und Sonderfallprüfung gemäß Nr. 4.8 TA Luft [1]) vor. Dieser dient zur Prüfung, ob von einer Anlage schädliche Umwelteinwirkungen durch Bioaerosole ausgehen und wann eine Sonderfallprüfung nach Nr. 4.8 TA Luft vorzunehmen ist. Bei Überschreitung der LAI-Orientierungswerte ist eine Sonderfallprüfung nach Nr. 4.8 TA Luft erforderlich. Für den Bereich Tierhaltung wurden Orientierungswerte für die Parameter Staphylokokken, *Staphylococcus aureus*, Enterokokken und Enterobakterien von jeweils 240 KBE/m³ festgesetzt. Ferner beschreibt der Leitfaden, wie eine solche Sonderfallprüfung durchzuführen ist. Demnach ist es als sehr kritisch zu werten, wenn ein Orientierungswert um den Faktor 2 bis 3, jedoch maximal ein Wert von 10³ KBE/m³, überschritten wird. Schädliche Umwelteinwirkungen können dann laut LAI-Leitfaden nicht mehr mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

10.3 Erlasse des MKULNV NRW

Mit Erlass des MKULNV NRW vom 25.6.2015 wurde der den „Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz“ (LAI) für den Vollzug eingeführt [6].

Vorab veröffentlichte das MKULNV NRW bereits am 19.2.2013 den Erlass „*Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen*“ [7], welcher Vorgaben zur Berücksichtigung der Bioaerosolproblematik in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren von Anlagen zur Haltung von Schweinen und Geflügel enthält. Nach Tierhaltungserlass emittieren Tierhaltungsbetriebe Bioaerosole, die grundsätzlich geeignet sein können, nachteilig auf die Gesundheit der benachbarten Anwohnerinnen und Anwohner einer Anlage einzuwirken. Gibt es hinreichende Gründe für die Annahme, dass Bioaerosol-Immissionen möglicherweise zu schädlichen Umwelteinwirkungen führen können, sind aus Gründen der Vorsorge nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG solche Risiken durch Emissionsbegrenzungen ggf. auch unter die Gefahrengrenze nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG zu minimieren.

Neben NRW haben verschiedene Länder wie z. B. Niedersachsen und Schleswig Holstein vergleichbare Erlasse veröffentlicht. Zur Umsetzung der o. g. NRW-Erlasse wurde den Vollzugsbehörden zusätzlich die Arbeitshilfe des LANUV vom 10.12.2015 zur Berücksichtigung der Bioaerosol-Thematik in Genehmigungsverfahren sowie ein Katalog zu Auslegungsfragen zur Verfügung gestellt [8, 9].

10.4 Richtlinie VDI 4250 Blatt 1

Nach Richtlinie VDI 4250 Blatt 1 „Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen“ ist eine gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte Immissionskonzentration umweltmedizinisch unerwünscht und sollte aus Vorsorgegründen verringert bzw. vermieden werden. Dieser Bewertungsansatz stellt eine umweltmedizinische Beurteilung von Bioaerosol-Immissionen und keine immissionsschutzrechtliche Beurteilung dar. Einen Bezug zum Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit weist dieser nicht auf. In der Richtlinie VDI 4250 Blatt 1 werden drei verschiedene Bewertungskriterien genannt: Hintergrundwert, Aufmerksamkeitswert und Bestimmungsgrenze [2].

10.5 Literatur

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBI S. 511).
- [2] VDI 4250 Blatt 1: 2014-08 Umweltmedizinische Bewertung von Bioaerosol-Immissionen; Wirkungen mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen (Risk assessment of source-related ambient air measurements in the scope of environmental health – Effects of bioaerosol pollution on human health).
- [3] Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen (Stand 31.1.2014), abrufbar unter: http://www.hlug.de/fileadmin/downloads/luft/Leitfaden-Bioaerosole_31-01-2014.pdf.
- [4] Bund-Länder-AG TA Luft; Entwurf zur Novellierung der TA Luft, Mai 2015.
- [5] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): Beratungsunterlage für die 131. Sitzung am 27. u. 28. April 2016 in Berlin. TOP 7.2: Bewertung von Bioaerosolen – Erfahrungsbericht.
- [6] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Leitfaden zur Ermittlung und Bewertung von Bioaerosol-Immissionen der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden Bioaerosole) vom 31.1.2014, Erlass vom 25.6.2015, Düsseldorf.
- [7] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen. Erlass vom 19.2.2013, Düsseldorf.
- [8] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW): Arbeitshilfe „Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen“ vom 10.12.2015.
- [9] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Auslegungsfragen zum Erlass vom 19.02.2013 „Immissionsschutzrechtliche Anforderung an Tierhaltungsanlagen“ vom 31.05.2013.

11 Zusammenhänge und Erkenntnisse

1. Bei der Haltung von Nutztieren in Ställen können hohe Konzentrationen an Bioaerosolen auftreten und über die Abluft in die Umgebung freigesetzt werden. Relevant sind hierbei emittierte Bakterien, während Schimmelpilze keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Schimmelpilze können in geringem Umfang auftreten, wenn Tiere auf Einstreu gehalten werden.
2. Viele Bakterien, die aus Tierhaltungsanlagen freigesetzt werden, sind noch unbekannt. Molekularbiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Großteil der auftretenden Bakterien bisher keiner Bakterienart oder Gattung zugeordnet werden kann, da es noch nicht gelungen ist, diese auf Nährböden zu kultivieren („uncultured“).
3. Die für die Kultivierung von Bakterien eingesetzten Nährmedien weisen in vielen Fällen nur eine eingeschränkte Selektivität auf. Dadurch können falsch positive Ergebnisse (Überbefunde) auftreten. Für eine Quantifizierung bestimmter Bakteriengattungen oder -arten sind daher eine weitergehende mikrobiologische und molekularbiologische Untersuchungen erforderlich. Eine hierfür praktikable Vorgehensweise wird derzeit standardisiert.
4. Über die Tenazität von Bakterien in Bioaerosolen gibt es insgesamt nur unzureichende Erkenntnisse und wenig konkrete Angaben. Es ist jedoch bekannt, dass Enterobakterien zwar in den Ausscheidungen von Tieren in hohen Konzentrationen vorhanden sind, in der Luft jedoch schnell absterben und damit nicht mehr kulturell nachweisbar sind. Dagegen scheinen Bakterien der Gattungen *Staphylococcus* und *Enterococcus* in Bioaerosolen weniger empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen zu sein.
5. Bei der Probenahme von Bioaerosol-Emissionen und –Immissionen mit den jeweils standardisierten Impingern gibt es einen methodischen Unterschied im Hinblick auf deren physikalische Sammeleffizienz. Während der Emissionsimpinger Partikel aller Korngrößen sammelt, werden bei der Probenahme mit dem Immissionsimpinger AGI 30 überwiegend Partikel $< 30 \mu\text{m}$ erfasst. Dies kann insbesondere in Anlagennähe bei Immissionsmessungen zu Minderbefunden führen.
6. Bioaerosole verdünnen sich nach ihrer Freisetzung aus Tierställen rasch um mehrere Zehnerpotenzen. Bakterienarten oder Gattungen, die in der Abluft nur in Konzentrationen von 10^4 KBE/ m^3 (wie z.B. intestinale Enterokokken) oder weniger durch Kultivierung nachweisbar sind, lassen sich in der Außenluft nicht mehr oder nur in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze nachweisen.
7. Nach vorliegendem Kenntnisstand wurden bei Rinderställen bisher keine Emissions- und Immissionsmessungen von Bioaerosolen mit standardisierten Messverfahren durchgeführt. Aufgrund von früheren Messungen im Innenraum von Ställen ist von einer eher geringen Bakterienbelastung auszugehen.
8. Vergleiche zwischen gemessenen und berechneten Immissionen von Bakterien der Gattung *Staphylococcus* haben in vielen Fällen eine starke Überschätzung der prognosti-

- zierten Konzentrationen ergeben. Bei der Immissionsprognose kann es zu einer Überschätzung der Bioaerosol-Konzentrationen kommen, wenn z. B. zu kleine Partikelgrößenklassen angesetzt werden und ein mögliches Absterbeverhalten von Mikroorganismen bei ihrer Transmission nicht berücksichtigt wird.
9. Jahresmittelwerte lassen sich auf Grundlage weniger Einzelmessungen nicht hinreichend genau abschätzen.
 10. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann durch Abluftreinigungsmaßnahmen die Bioaerosol-Konzentration um eine Größenordnung, d.h. um 90 % reduziert werden.
 11. Die Menge der bei Nutztieren eingesetzten Antibiotika ist rückläufig, wobei eine Zunahme bei Verabreichung von Präparaten der Wirkstoffklasse der Fluorchinolone zu beobachten ist. Ein verminderter Einsatz von Antibiotika führt langfristig zu geringeren Resistenzraten.
 12. In der Tierhaltung sind insbesondere la-MRSA verbreitet. La-MRSA können die Tiere eines Bestandes kolonisieren ohne Krankheitserscheinungen hervorzurufen und sind in Beständen mit und ohne Einsatz von Antibiotika nachweisbar. La-MRSA wird insbesondere in Schweine-, Mastkälber-, Jungmastrinder- und Mastputenhaltungen nachgewiesen, ESBL-bildende *E. coli* in Masthähnchen-, Schweine- und Mastrinderhaltungen. Der Eintrag in bisher nicht kolonisierte Bestände erfolgt durch Tier- und Personenverkehr.
 13. Bioaerosole aus Tierhaltungsanlagen sind geeignet gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorzurufen. Daher ist eine Begrenzung der Bioaerosol-Immissionsbelastung von Personen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen geboten.
 14. Es existieren verschiedene Regelungen zur gesundheitlichen Bewertung von Bioaerosol-Immissionen, welche auf unterschiedliche Schutzniveaus abzielen (VDI-Richtlinie 4250 Blatt 1: umweltmedizinische Vorsorge sowie LAI-Leitfaden Bioaerosole: Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit). Insbesondere der LAI-Leitfaden findet Anwendung in Genehmigungsverfahren. Die Eignung dieser Regelwerke muss sich in der praktischen Anwendung beweisen, ggf. sind Änderungen erforderlich.
 15. Die vorliegenden Erkenntnisse zu Antibiotika resistenten Bakterien wie la-MRSA geben Anlass für eine erhöhte Aufmerksamkeit im Hinblick auf eine mögliche Belastung der Allgemeinbevölkerung.
 16. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist direkter Tierkontakt Hauptübertragungsweg für eine Besiedlung mit la-MRSA.
 17. Es liegt kein Nachweis dafür vor, dass das Wohnen in der Umgebung von Tierhaltungsanlagen bedingt durch den Austrag von Antibiotika resistenten Bakterien wie la-MRSA über die Abluft aus Ställen ein höheres Gesundheitsrisiko für die Allgemeinbevölkerung birgt als an anderen Wohnorten.

18. Der Einfluss der Tierhaltung auf eine Besiedlung und Infektion des Menschen mit ESBL-bildenden Enterobakterien lässt sich derzeit aufgrund unzureichenden Grundwissens nicht bestimmen.
19. Endotoxine können gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen. Ein Beurteilungswert lässt sich aber nicht gesichert angeben, insbesondere da bislang ein standardisiertes Messverfahren für die Außenluft fehlt.

Spezielle Erkenntnisse für den Bereich der Geflügelhaltung (Masthähnchen, Mastputen, Legehennen)

20. Auf Grundlage eines kulturellen Nachweises dominieren in den Emissionen von Geflügelhaltungsanlagen Bakterien der Gattung *Staphylococcus*. Bei Hähnchenmast- und Legehennenanlagen handelt es sich dabei überwiegend um apathogene koagulasenegative *Staphylococcus* spp. (Risikogruppe 1 gem. Biostoffverordnung), wogegen bei der einzigen untersuchten Putenmastanlage bis zu 27 % *Staphylococcus* spp. der Risikogruppe 2.
21. Für den Bereich der Geflügelhaltung wurden Emissionsfaktoren, Konventionswerte oder vorläufige Konventionswerte für die Parameter *Staphylococcus* spp. und intestinale Enterokokken festgelegt.
22. Durch Messungen im Umfeld von Geflügelhaltungsanlagen wurde nachgewiesen, dass *Staphylococcus* spp. gegenüber der Hintergrundkonzentration in erhöhter Konzentration auftreten kann. *Staphylococcus* spp. ist daher als Leitparameter für die Beschreibung des Einflusses von Anlagen zur Geflügelhaltung geeignet.
23. *S. aureus* tritt in Einzelfällen und nur in geringen Konzentrationen in den Emissionen aus der Geflügelhaltung auf. Es ist daher plausibel, dass im Umfeld von Geflügelhaltungsanlagen *S. aureus* fast nie nachgewiesen wird.
24. MRSA tritt in Hähnchenmastbeständen und deren Emissionen nur sehr selten auf. Eine Übertragung auf Personen in der Umgebung von Hähnchenmastanlagen auf dem Luftpfad ist daher unwahrscheinlich. ESBL-bildende *E. coli* werden häufig im Kot von Masthähnchen nachgewiesen, jedoch nicht in der Abluft der Ställe. Von einer Übertragung auf Anwohner/innen auf dem Luftweg ist daher nicht auszugehen.

Spezielle Erkenntnisse für den Bereich der Schweinehaltung

25. Auch in der Abluft von Mastschweinehaltungen treten Bakterien der Gattung *Staphylococcus* und intestinale Enterokokken auf. Molekularbiologische Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass *Staphylococcus* spp. nicht die Hauptkomponente darstellt. Es dominieren in der Abluft von Schweinemastställen *Chlostridium*, *Lactobacillus* und *Teriaporobacter*. Auch MRSA wird regelmäßig bei Untersuchungen in Ställen und Emissionen festgestellt.
26. Zur Immissionsprognose wurden für *Staphylococcus* spp. und intestinale Enterokokken Emissionsfaktoren festgelegt.
27. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Emissionen kann der LAI-Orientierungswert (Jahresmittel 240 KBE/m³) für Staphylokokken im Abstand von 350 m von Schweinemastanlagen mit 4000 Tierplätzen in der Regel rechnerisch eingehalten werden. Die Messergebnisse der wenigen bisher durchgeführten Studien in Deutschland und den USA scheinen dies zu bestätigen.

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de