



**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 6 25 10 - 0

E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG

TRACERGASMESSUNGEN AN EINER GEFLÜGELMASTANLAGE

Auftraggeber: Ingenieurbüro Janicke
Gesellschaft für Umweltphysik
Hermann-Hoch-Weg 1
88662 Überlingen

Dr.-Ing. W. Bächlin

Unter Mitarbeit von:

Dr.-Ing. W. Theurer, Ingenieurbüro Theurer, Hanhofen

Mai 2014
Projekt 80122-14-16
Berichtsumfang 38 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG	2
3	VORGEHENSWEISE	3
4	DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN	5
4.1	Geflügelmastbetrieb.....	5
4.1.1	Standort der Anlage.....	5
4.1.2	Beschreibung der Anlage	5
4.1.3	Betriebszustand während der Tracergasmessungen	7
4.2	Meteorologische Bedingungen	7
4.3	Tracergasfreisetzung	9
4.4	Immissionsseitige Erfassung der Tracergaskonzentrationen.....	9
4.5	Analyse der Tracergasproben.....	15
5	ERGEBNISSE	17
5.1	Freisetzung Tracergas SF ₆	17
5.2	Immissionsseitige Messung	18
5.2.1	Ergebnisse Messung Vormittag.....	19
5.2.2	Ergebnisse Messung Nachmittag.....	22
5.3	Strömungssichtbarmachung der Abluft.....	26
ANHANG A: VOLUMENSTROM UND STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN IM ABLUFTKAMIN WÄHREND DER MESSUNGEN		30
ANHANG B: VERLAUF WINDGESCHWINDIGKEIT UND -RICHTUNG WÄHREND DER MESSPHASEN - 3-MINUTEN-MITTELWERTE.....		32
ANHANG C: EXEMPLARISCHE AUFNAHMEN MESSPUNKTE		36

1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines Projektes zur Ermittlung der Belastung durch Bioaerosole in der Umgebung von landwirtschaftlichen Anlagen durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU Bayern) wurden an einem Geflügelmastbetrieb Tracergasmessungen durchgeführt. Das umgebende Gelände dieser Anlage ist eben. Zum Zeitpunkt der Messungen befand sich auf den umliegenden Feldern noch kein nennenswerter Bewuchs.

Als Tracergas wurde SF₆ eingesetzt. Die Tracergasfreisetzung erfolgte über einen der Abluftschächte, an dem auch die Bioaerosolemissionsmessungen durchgeführt wurden. Die Tracergasimmissionsmessungen erfolgten an den Aufpunkten im Gelände, an denen auch die Bioaerosolkonzentrationen erfasst wurden.

Die begleitenden meteorologischen Messungen mittels Ultraschallanemometer wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt durchgeführt.

Gemessen wurden die Tracergaskonzentrationen an einem Messtag mit insgesamt 6 Messpunkten im Gelände. Ein Punkt wurde dabei im Sinne einer Hintergrundmessung in Luv des Geflügelmastbetriebs angeordnet. An 5 Positionen in Lee der Anlage wurden die Konzentrationen in der Messhöhe von ca. 1.5 m erfasst.

Die Tracergasmessungen wurden am 18.03.2014 zwischen 10:00 Uhr und 12:30 Uhr (Messung Vormittag) und zwischen 13:15 und 15:45 Uhr (Messung Nachmittag) durchgeführt. Die mittlere Windgeschwindigkeit während der Tracermessungen betrug bei der ersten Messreihe vormittags ca. 4.6 m/s bei einer mittleren Windrichtung aus Westsüdwest mit ca. 265 Grad, bei der zweiten Versuchsreihe nachmittags betrug die mittlere Windgeschwindigkeit ca. 7.2 m/s bei einer Anströmung aus Westsüdwest mit ca. 258 Grad.

Die Ergebnisse der Tracergasmessungen zeigen sowohl zeitlich als auch räumlich einen deutlichen Verlauf, der in Bezug zu den gemessenen Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten plausibel erscheint.

2 AUFGABENSTELLUNG

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU Bayern) führt ein Projekt zur Ermittlung der Belastung durch Bioaerosole in der Umgebung von landwirtschaftlichen Anlagen durch. Als zu betrachtender Betrieb wurde eine Masthähnchenanlage ausgewählt. Begleitend zu den Bioaerosolmessungen sollen Tracergasmessungen durchgeführt werden. Diese Leistung wurde durch das Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe erbracht.

Der Betrieb liegt außerhalb der Ortschaft. Der zu untersuchende Stall liegt in freiem Gelände, die nächste Bebauung ist ca. 350 m entfernt. Das umgebende Gelände ist nahezu eben.

Die Tracergasfreisetzung soll über den Abluftschacht erfolgen, an dem auch die Bioaerosol-emissionsmessungen durchgeführt werden. Die Tracergasimmissionsmessungen erfolgen an den Aufpunkten im Gelände, an denen auch die Bioaerosolkonzentrationen erfasst werden.

Die begleitenden meteorologischen Messungen mittels Ultraschallanemometer werden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt durchgeführt.

3 VORGEHENSWEISE

Vor Beginn der Messkampagne wurde die Vorgehensweise für die Tracergasmessungen mit dem Auftraggeber und Vertretern des LfU Bayern abgesprochen. Für die Durchführung der Feldmessungen wurden die Anforderungen bzgl. der meteorologischen Verhältnisse vorgegeben, die sich im Besonderen an den Anforderungen für die Bioaerosolmessungen orientierten. Die Festlegung des Messtermins in Abhängigkeit von den meteorologischen Verhältnissen erfolgte durch das Bayerische Landesamt für Umwelt.

Der Messumfang für die Tracergasmessungen betrug ein Messtag mit insgesamt 10 Messungen von je 30 Minuten verteilt auf zwei Messperioden mit je 6 Messpositionen im Gelände. Dabei befanden sich 5 Stationen in Lee und eine Station in Luv des Geflügelmastbetriebes.

Die Tracergasmessungen wurden in Zusammenarbeit mit Dr. Theurer, Ingenieurbüro Theurer, Hanhofen, durchgeführt.

Emissionseinrichtung

Es wurde ein Abluftkamin auf dem Stall durch das Bayerische Landesamt für Umwelt ausgewählt, an dem die Bioaerosolemissionsmessungen durchgeführt wurden. In diesem Abluftkamin wurde auch das Tracergas SF₆ freigesetzt. Die Geschwindigkeiten bzw. die Volumenströme im Abluftschacht wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt vermessen.

Die Freisetzung des Tracergases erfolgte nur über diesen einen Abluftschacht. Als Tracergas wurde SF₆ eingesetzt. SF₆ ist ein farbloses, geruchloses ungiftiges Gas. Seine Dichte beträgt bei 15°C und 1 bar 6.18 kg/m³. Die Freisetzungsmenge wurde über einen Durchflussmesser eingestellt und während der Messungen konstant gehalten.

An der Mündung des mit SF₆ beaufschlagten Abluftschachts wurden für Plausibilitätstests zeitgleich mit den Probenahmen im Gelände Proben mittels eines automatischen Probennehmers gezogen.

Immissionsmessungen

Die SF₆-Immissionen wurden an 6 Aufpunkten erfasst. Die Messorte orientierten sich an den Messpunkten der Bioaerosolmessungen. Die Luftproben wurden mittels automatischer Probennehmer erfasst. Diese wurden alle zeitgleich gestartet. Nach Abschluss der Messungen wurden aus jedem Probebeutel jeweils 2 Proben für die Analysen in 50-ml-Spritzen (siehe

Abb. 3.1) gezogen, wobei nur die A-Probe analysiert wurde. Sollten sich Auffälligkeiten bei den Ergebnissen zeigen, können zur Überprüfung der Analysen die entsprechenden B-Proben analysiert werden.

Auswertung

Die Ergebnisse der Tracermessungen werden als Tabellen und in Diagrammform dargestellt sowie auf Datenträger übergeben.



Abb. 3.1: Proben mit Einmalspritzen aus Beuteln gezogen

4 DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

4.1 Geflügelmastbetrieb

4.1.1 Standort der Anlage

Die Masthähnchenanlage befindet sich im Außenbereich (siehe **Abb. 4.1**). Das umgebende Gelände ist eben und besteht aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, die zum Zeitpunkt der Messungen noch keinen relevanten Bewuchs verzeichneten.



Abb. 4.1: Genordeter Lageplan der Masthähnchenanlage (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [<http://www.geodaten.bayern.de>])

4.1.2 Beschreibung der Anlage

Die Stallanlage ist im Lageplan in **Abb. 4.1** dargestellt. Der Stall ist in Westnordwest-Ostsüdost-Richtung ausgerichtet und wurde zum Zeitpunkt der Messungen aus nahezu westlicher Richtung (265 Grad bzw. 258 Grad) angeströmt. Es sind in dem Stall zum Zeitpunkt der Messungen ca. 35 500 Masthähnchen untergebracht. Es befinden sich insgesamt 6 Abluftkamine auf dem Stallgebäude. Das Tracergas wurde nur über den 2. Abluftkamin (Zählung erfolgt im Osten beginnend) freigesetzt, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben. **Abb. 4.2** zeigt einen Blick auf die in der Nähe des westlichen Giebels des Stalls angeordneten Abluftkamine. In **Abb. 4.3** ist der Stall mit Blick aus Südwest gezeigt.

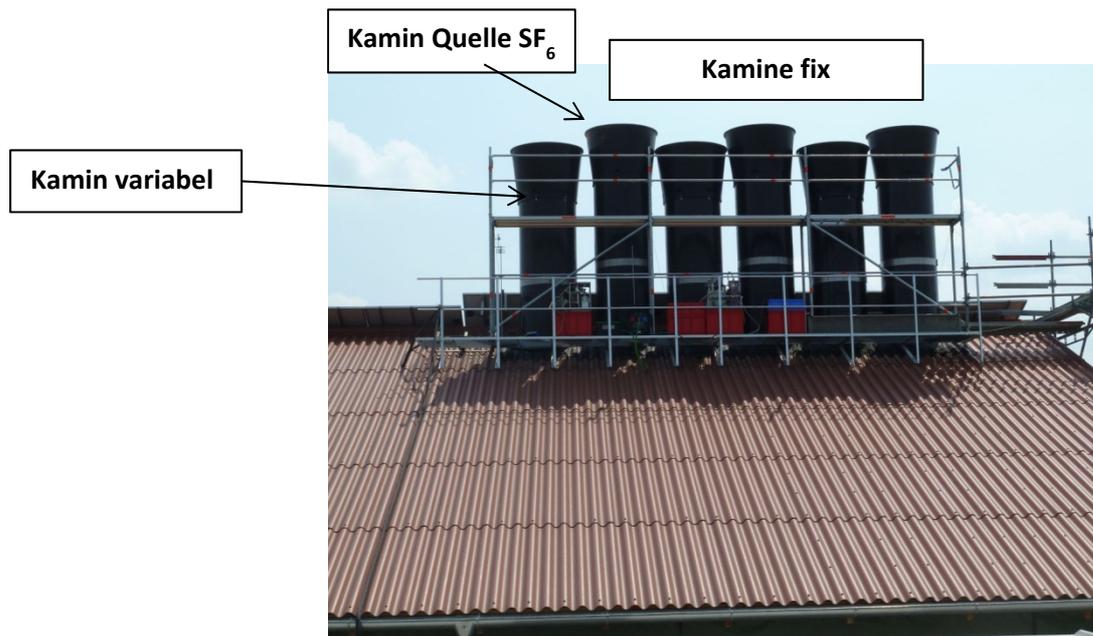


Abb. 4.2: Abluftkamine der Masthähnchenanlage mit einem variabel gesteuerten Abluftkamin und fünf nicht geregelten Abluftkaminen als Emissionsquellen (Blick aus Nord)



Abb. 4.3: Blick aus Südwest in Richtung Stall

4.1.3 Betriebszustand während der Tracergasmessungen

Alle Zeitangaben beziehen sich auf Mitteleuropäische Zeit (MEZ). Die Tracergasmessungen erfolgten am 18.03.2014 zwischen 10:00 Uhr und 12:30 Uhr und zwischen 13:15 Uhr und 15:45 Uhr. Während dieser Zeit wurden die Luftraten des Kamins, an dem das Tracergas eingeleitet wurde, nahezu konstant gehalten. Die Strömungsgeschwindigkeiten auf Höhe der SF₆-Zugabe im Abluftkamin und der Abluftvolumenstrom wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt vermessen, die mittleren Werte sind in **Tab. 4.1** aufgelistet, in Anhang A sind die gemessenen Halbstundenwerte dargestellt.

Datum	Messzeit	Mittlerer Abluftvolumenstrom (trocken, normiert 273.15 K, 1013.25 hPa) in m ³ /h	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit in m/s
18.03.2014	10:00 bis 12:30 Uhr	21 260	10.4
18.03.2014	13:15 bis 15:45 Uhr	21 500	10.6

Tab. 4.1: Mittlere Volumenströme und mittlere Strömungsgeschwindigkeiten während der beiden Messphasen

Hinweis: Die Strömungsgeschwindigkeiten in **Tab. 4.1** beziehen sich auf die Höhe der SF₆-Zugabe im Abluftkamin. Am Austritt ist die Geschwindigkeit aufgrund des aufgesetzten Diffusors niedriger (siehe **Abb. 4.5**).

4.2 Meteorologische Bedingungen

Zur Erfassung der meteorologischen Bedingungen während des Experimentes wurden Messungen mit einem Ultraschallanemometer in 10 m Höhe (bezogen auf Grundkante Stall) durch das Bayerische Landesamt für Umwelt durchgeführt. Die erfassten Zeitreihen liegen dort vor, in Anhang B sind die Daten während der Zeitintervalle der Tracergasmessungen als 3-Min.-Mittelwerte aufgelistet. In **Tab. 4.2** und **Tab. 4.3** sind die 30-Minuten-Mittelwerte tabellarisch, in **Abb. 4.4** sind die Messwerte graphisch für die beiden Messphasen dargestellt.

Zeitraum	Windrichtung in Grad	Windgeschwindigkeit in m/s
10:00-10:30	257	4.5
10:30-11:00	253	4.6
11:00-11:30	278	4.6
11:30-12:00	272	4.9
12:00-12:30	265	4.5
Mittelwert	265	4.6

Tab. 4.2: Windrichtung und Windgeschwindigkeit während des ersten Messzeitraums am 18.03.2014 (Messung Vormittag)

Die mittlere Windgeschwindigkeit während der Tracergasmessungen lag am Vormittag bei ca. 4.6 m/s bei einer mittleren Windrichtung aus nahezu West von ca. 265 Grad. Am Nachmittag nahm die Windgeschwindigkeit deutlich zu. Sie betrug im Mittel über den Messzeitraum ca. 7.2 m/s bei einer mittleren Anströmrichtung von 258 Grad.

Zeitraum	Windrichtung in Grad	Windgeschwindigkeit in m/s
13:15-13:45	263	6.8
13:45-14:15	257	7.8
14:15-14:45	259	7.2
14:45-15:15	258	6.9
15:15-15:45	251	7.6
Mittelwert	258	7.3

Tab. 4.3: Windrichtung und Windgeschwindigkeit während des zweiten Messzeitraums am 18.03.2014 (Messung Nachmittag)

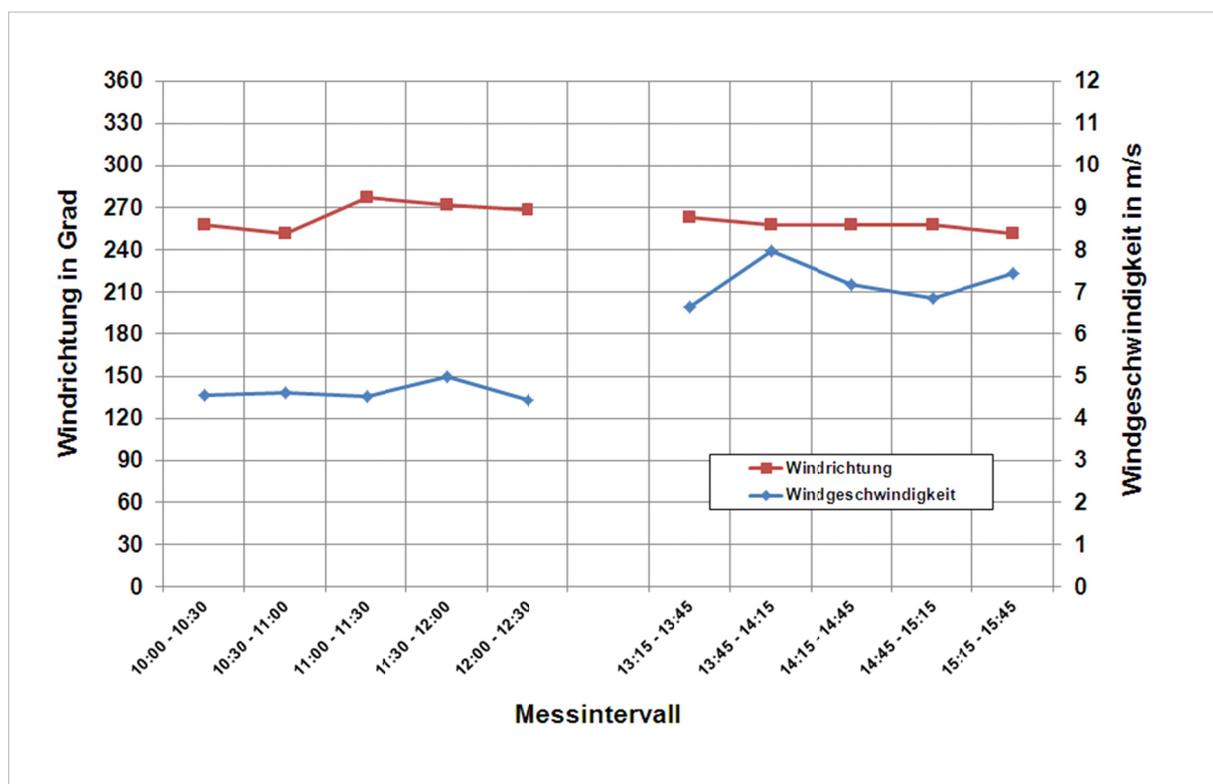


Abb. 4.4: Windrichtung und Windgeschwindigkeit während der Messungen am 18.03.2014 (30-Minuten-Mittelwerte)

4.3 Tracergasfreisetzung

Das Tracergas wurde in den gleichen Abluftschacht eingeleitet, in dem auch die Emissionsmessungen der Bioaerosole erfolgten (siehe **Abb. 4.2**). Der Durchmesser des kreisrunden Abluftschachtes beträgt innen 0.92 m.

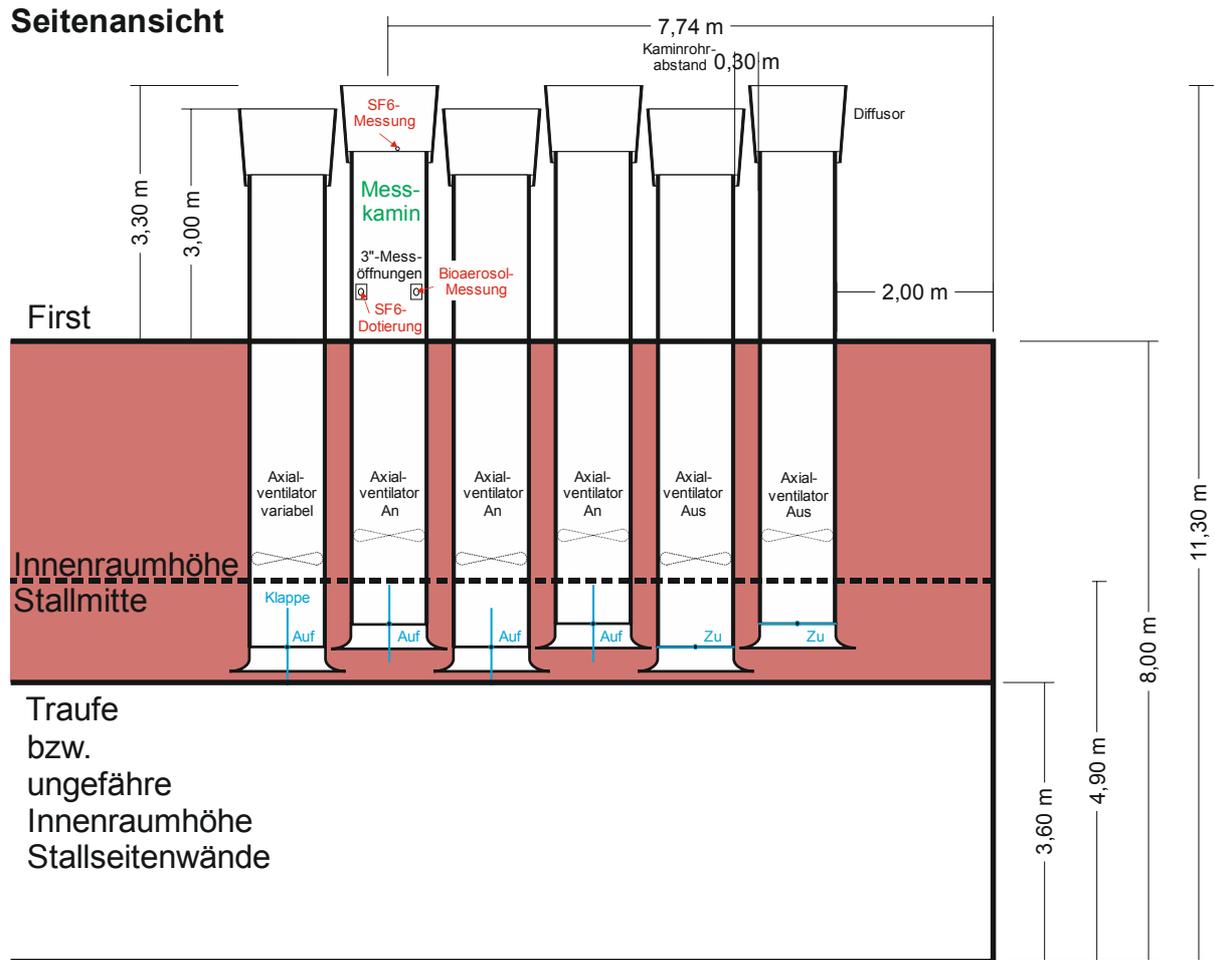
Das Tracergas SF₆ wurde einer auf dem Gerüst deponierten Gasflasche entnommen. Über einen Durchflussmesser wurde das Tracergas kontrolliert in den oben beschriebenen Abluftschacht eingeleitet. Die Einleitung erfolgte ca. 2.7 m unterhalb des Austrittsquerschnitts. Der Austrittsquerschnitt liegt ca. 11.3 m über dem Boden und ca. 3.3 m über dem First.

Da die immissionsseitigen Tracergaskonzentrationen bei sonst konstanten Randbedingungen direkt proportional von der Emissionsstärke abhängen, wurde die Tracergasfreisetzung kontinuierlich durch einen Mitarbeiter kontrolliert. Zusätzlich wurden zur Kontrolle ca. 1 m unterhalb der Schachtmündung Proben gezogen und analysiert. Als weitere zusätzliche Kontrolle wurde die SF₆-Flasche vor und nach dem Experiment gewogen und aus der Differenz die freigesetzte SF₆-Menge überprüft.

Die Freisetzungsquelle und die Absaugvorrichtung wurden direkt in den Abluftschacht eingebaut. In **Abb. 4.5** sind die Abmessungen der Abluftkamine in einer Seitenansicht und einer Draufsicht dargestellt. **Abb. 4.6** zeigt ein Bild der Quelleinrichtung außerhalb des Schachtes, **Abb. 4.7** zeigt eine Detailaufnahme der Quelleinrichtung mit einer Freisetzungsöffnung. Die Quelle wurde so eingebaut, dass die Freisetzungsöffnungen in Strömungsrichtung eingebaut waren, um Verstopfung durch austretende Partikel zu vermeiden. **Abb. 4.8** zeigt einen Blick von oben in den Abluftschacht. Die eingebaute Quelle ist zu erkennen sowie auch die eingebaute Absaugvorrichtung zur Überprüfung der SF₆-Emissionen im Kamin.

4.4 Immissionsseitige Erfassung der Tracergaskonzentrationen

An einer Messstelle in Luv und an 5 Messstellen in Lee des Stalls wurden Luftproben mittels automatischen Probennehmern gesammelt. Die Mittelungszeit betrug 30 min. Die Tracergasfreisetzung wurde am Messtag ca. 30 Minuten vor Messbeginn gestartet. Der Vorlauf der Tracergasfreisetzung gegenüber der Erfassung der Immissionen ist notwendig, damit sich das Tracergas bereits ausreichend in der Umgebung der Anlage verteilt hat.



Draufsicht

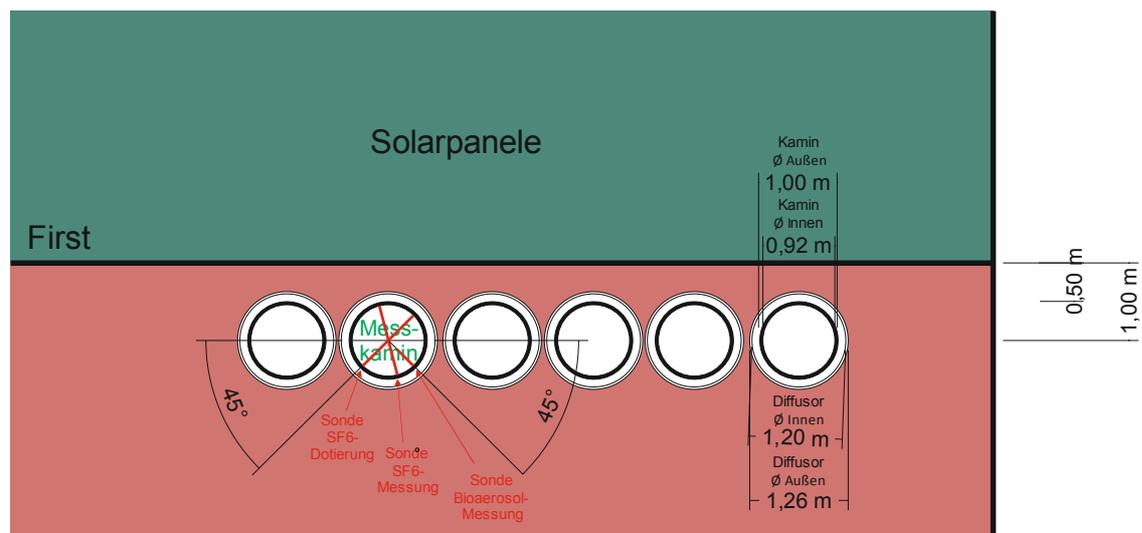


Abb. 4.5: Seitenansicht und Draufsicht der Abluftkamine (Abb. erhalten vom LfU Bayern)



Abb. 4.6: Ansicht der Emissionsquelle SF₆ außerhalb des Schachts



Abb. 4.7: Ansicht Emissionsquelle SF₆ - Detailaufnahme

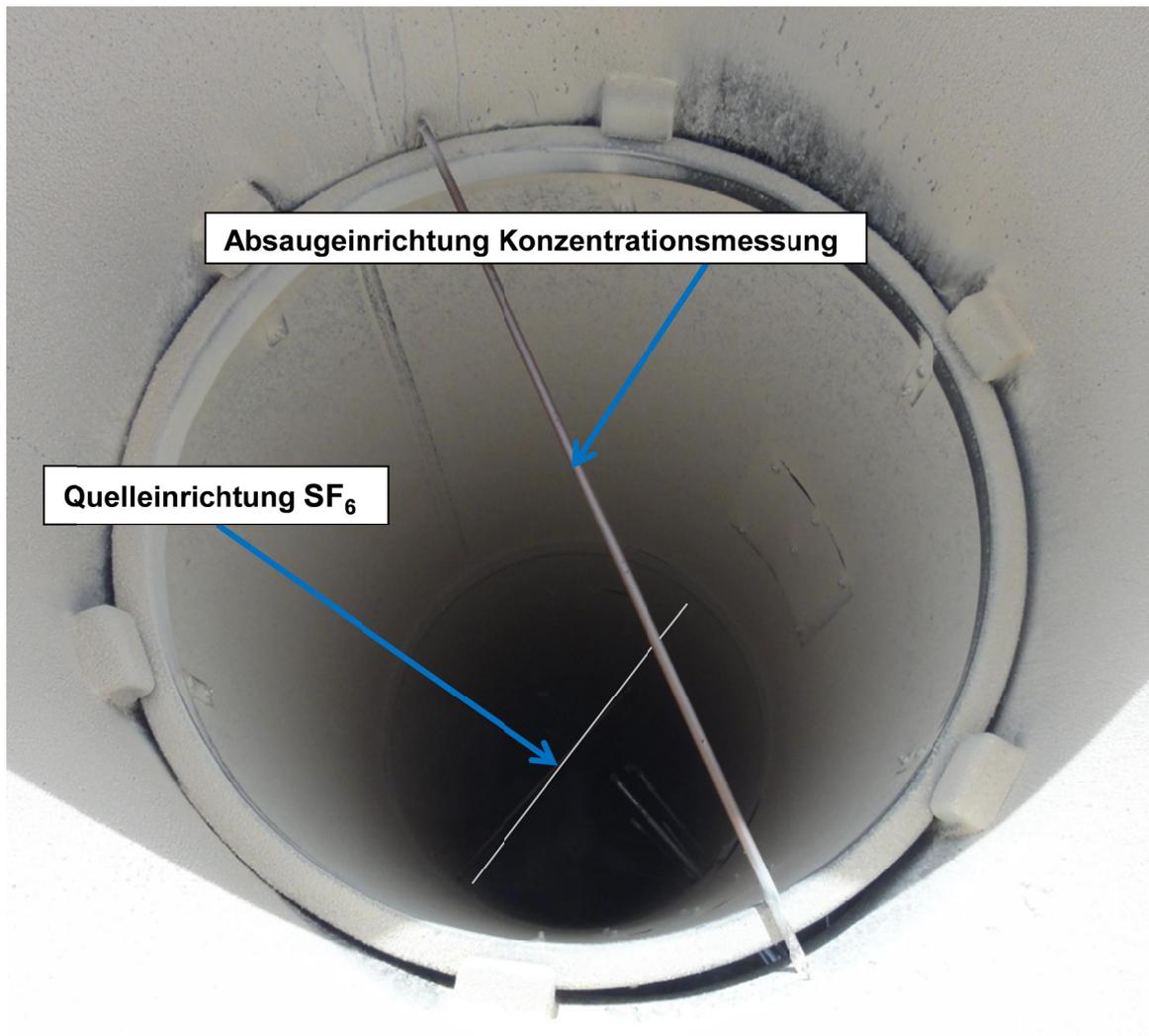
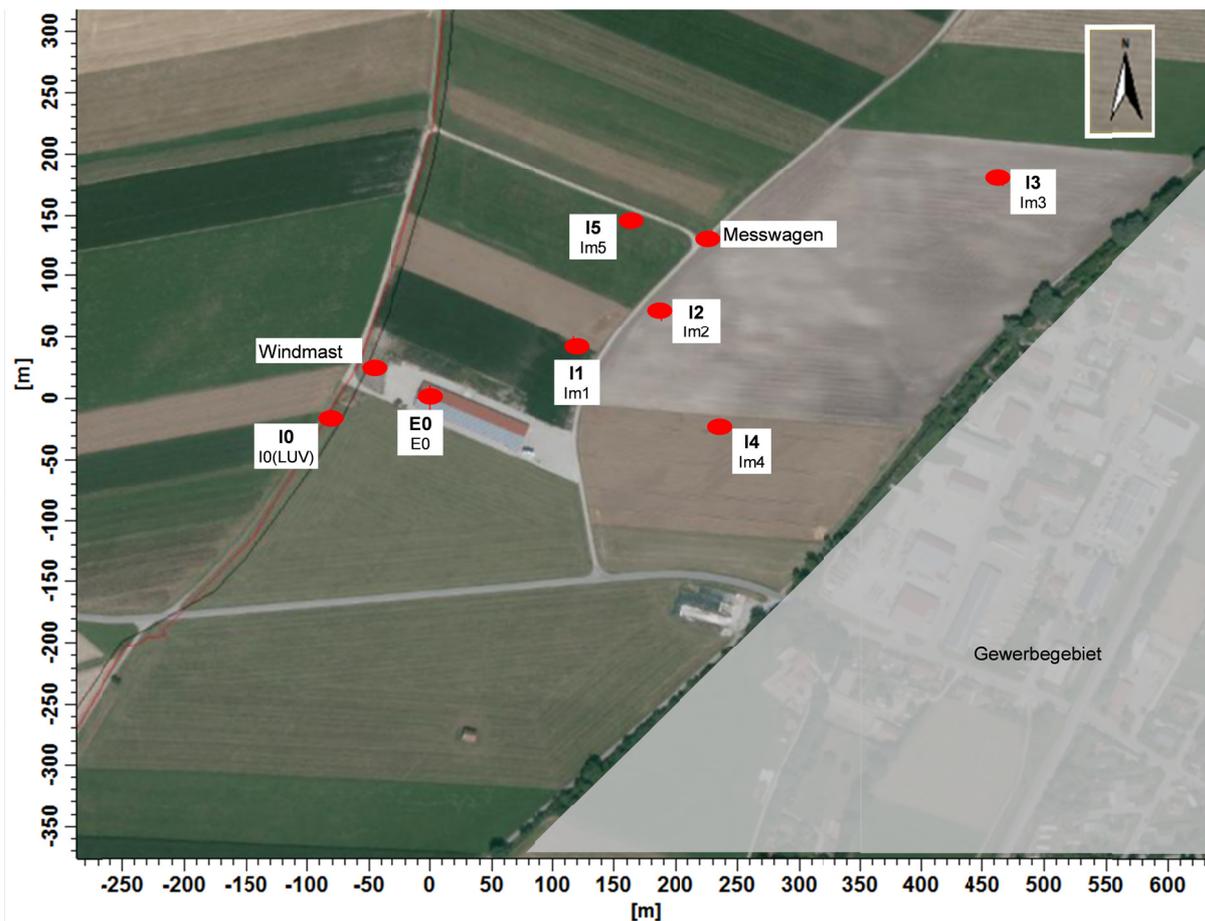


Abb. 4.8: Emissionsquelle SF₆ eingebaut in den Abluftschacht – Blick von oben

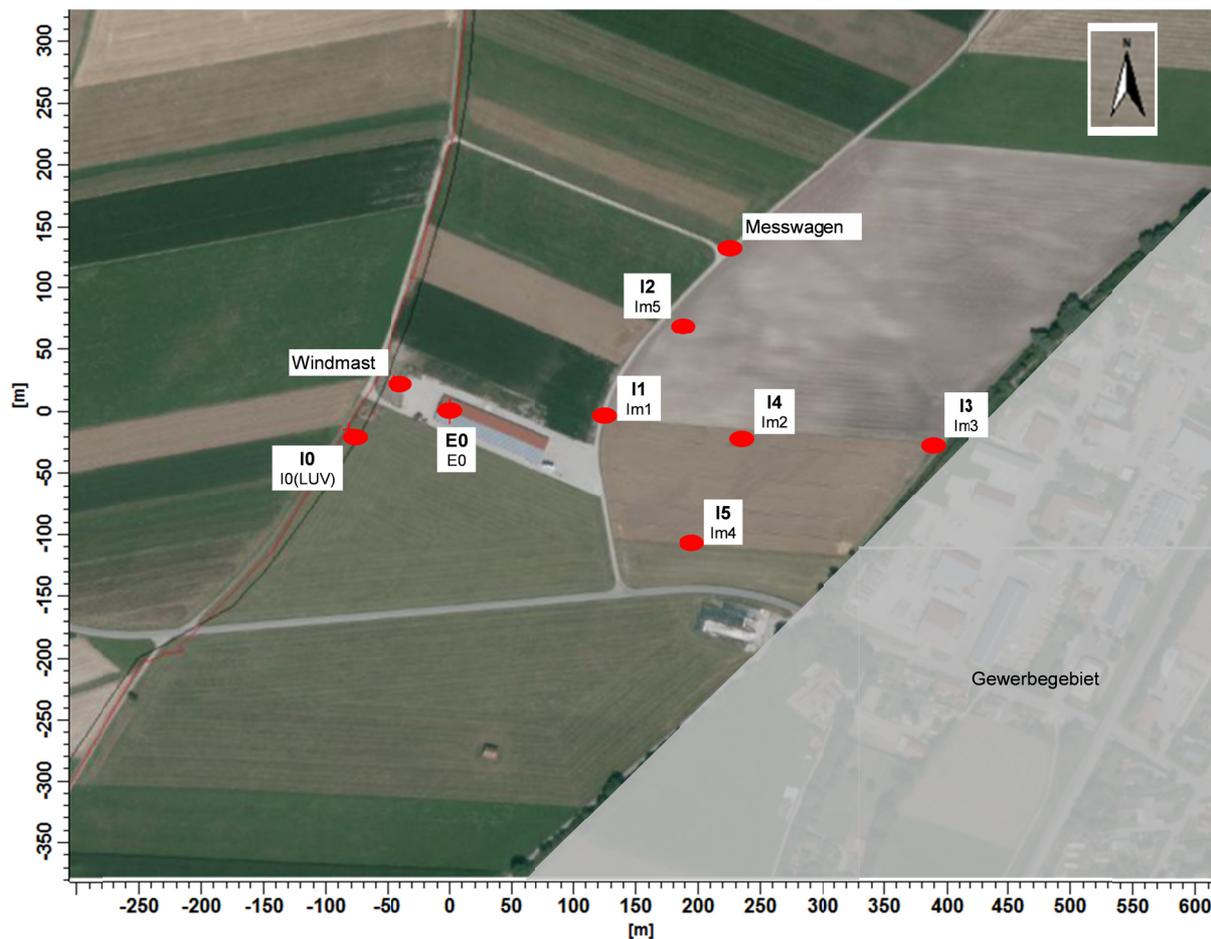
Die Messpositionen und die jeweiligen Koordinaten sind für die beiden Messreihen am Mess- tag in den **Abb. 4.9** und **Abb. 4.10** dargestellt. Die Messungen wurden am 18.03.2014 zwi- schen 10:00 Uhr und 12:30 Uhr und von 13:15 Uhr bis 15:45 Uhr durchgeführt.

Die Standorte der Luftprobensammler waren identisch mit denen für die Bioaerosolmessun- gen und wurden von Seiten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt vorgegeben. Die Messhöhe betrug jeweils ca. 1.5 m. Aufnahmen einzelner Messpunkte sind exemplarisch im Anhang C dargestellt.



Messpunkt	Kennung LfU	Entfernung [ca. m zum Kamin]
I0	I0 (LUV)	78
I1	Im1	125
I2	Im2	200
I3	Im3	500
I4	Im4	223
I5	Im5	224
E0 Emissionsschwerpunkt		

Abb. 4.9: Lage der Messpunkte am 18.03.2014 für Messung Vormittag
 (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [http://www.geodaten.bayern.de])



Messpunkt	Kennung LfU	Entfernung [ca. m zum Kamin]
I0	I0 (LUV)	78
I1	Im1	124
I2	Im5	200
I3	Im3	387
I4	Im2	223
I5	Im4	222
E0 Emissionsschwerpunkt		

Abb. 4.10: Lage der Messpunkte am 18.03.2014 für Messung Nachmittag
 (Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [http://www.geodaten.bayern.de])

4.5 Analyse der Tracergasproben

Die Tracergasproben wurden von der Fa. TracerTech, Immenstaad analysiert. Hierzu wurde ein Gaschromatograph mit Electron Capture Detector (Typ AUTOTRAC 101, Hersteller Laurus Applied Technology, Inc., Escondido, USA) verwendet. Dieser wurde zuvor mit Eichgaskonzentrationen kalibriert.

In **Abb. 4.11** ist die Kalibrierkurve dargestellt. Im Bereich der vorliegenden Konzentrationswerte zwischen 0 ppt und max. 11 ppb betrug die Abweichung der Messwerte von der Kalibrierkurve max. 3.02 %, wobei die Genauigkeit des Kalibriergases bei <5% für Eichgaskonzentrationen < 500 ppt und < 2 % > 500 ppt liegt.

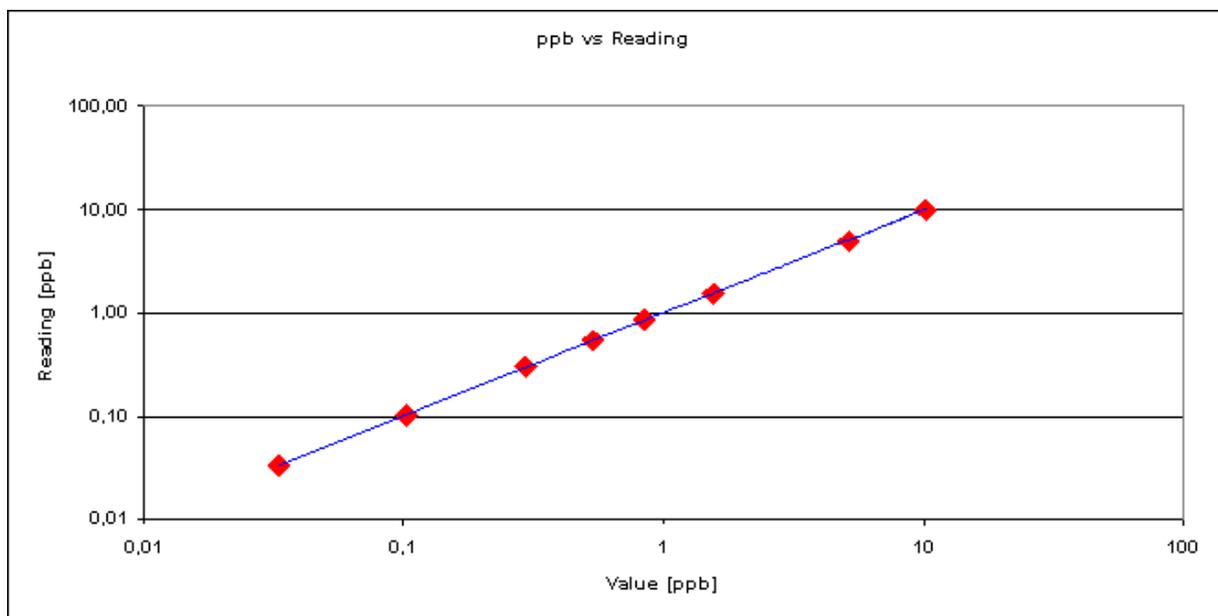


Abb. 4.11: Kalibrierkurve mit Eichgaskonzentrationen

Da die Auswertesoftware des Autotrac 101 die Kalibrierung über zwei Geraden nach dem kleinsten Fehlerquadrat anpasst, sind die Abweichungen sowohl positiv als auch negativ. Eine Verbesserung der Genauigkeit lässt sich dadurch erreichen, dass jeder Messwert nochmals zwischen den tatsächlich gemessenen Eichgaswerten rechnerisch interpoliert wird, womit der Approximationsfehler dann Null ist und lediglich die Ungenauigkeit der Eichgaskonzentration bestehen bleibt. Diese Korrektur wurde bei den Messwerten hier durchgeführt.

Die Emissionskonzentrationen liegen weit oberhalb der Sättigungsgrenze des Gaschromatographen. Deswegen wurden die Probenahmespritzen so weit verdünnt, dass sie im Mess-

bereich des Autotracer 101, d.h. < 100 ppb lagen. Hierzu wurde eine Menge von 10 ml in eine leere Spritze umgefüllt und mit Außenluft auf 60 ml aufgefüllt. Hierdurch ergibt sich eine Verdünnung vom Faktor 6. Nach etwas Zeit zur Vermischung des Gases innerhalb der Spritze wurden hiervon wiederum 10 ml Gas in eine zweite leere Spritze umgefüllt usw., bis dass die Originalemissionskonzentration um einen Faktor $6 \times 6 \times 6 = 216$ verdünnt war, d.h. es waren 3 Verdünnungsschritte notwendig. Die Genauigkeit dieses Verfahrens liegt bei $< \pm 2.5 \%$ je Verdünnungsschritt, d.h die Gesamtmessunsicherheit bzgl. Verdünnung liegt bei max. 7.5 %.

5 ERGEBNISSE

5.1 Freisetzung Tracergas SF₆

Das Tracergas SF₆ wurde über einen Durchflussmesser kontrolliert freigesetzt. Der Durchfluss wurde auf 191,3 l/h eingestellt. Die tatsächlich erfassten Durchflusswerte sind in **Tab. 5.1** tabellarisch und in **Abb. 5.1** grafisch dargestellt. Die Freisetzungsmenge des Tracergases war während des Messzeitraums konstant.

Zeit	Anzeige Durchflussmesser [mm]	Durchfluss [l/h]
09:30	104	191,3
09:45	104	191,3
10:00	103	189,3
10:15	104	191,3
10:30	103	189,3
10:45	104	191,3
11:00	104	191,3
11:15	104	191,3
11:30	104	191,3
11:45	103	189,3
12:00	103	189,3
12:15	104	191,3
12:30	104	191,3
13:00	104	191,3
13:15	104	191,3
13:30	104	191,3
13:45	104	191,3
14:00	104	191,3
14:15	103	189,3
14:30	104	191,3
14:45	104	191,3
15:00	103	189,3
15:15	102	187,3
15:30	104	191,3
15:45	104	191,3

Tab. 5.1: Anzeige und Durchfluss SF₆ am 18.03.2014

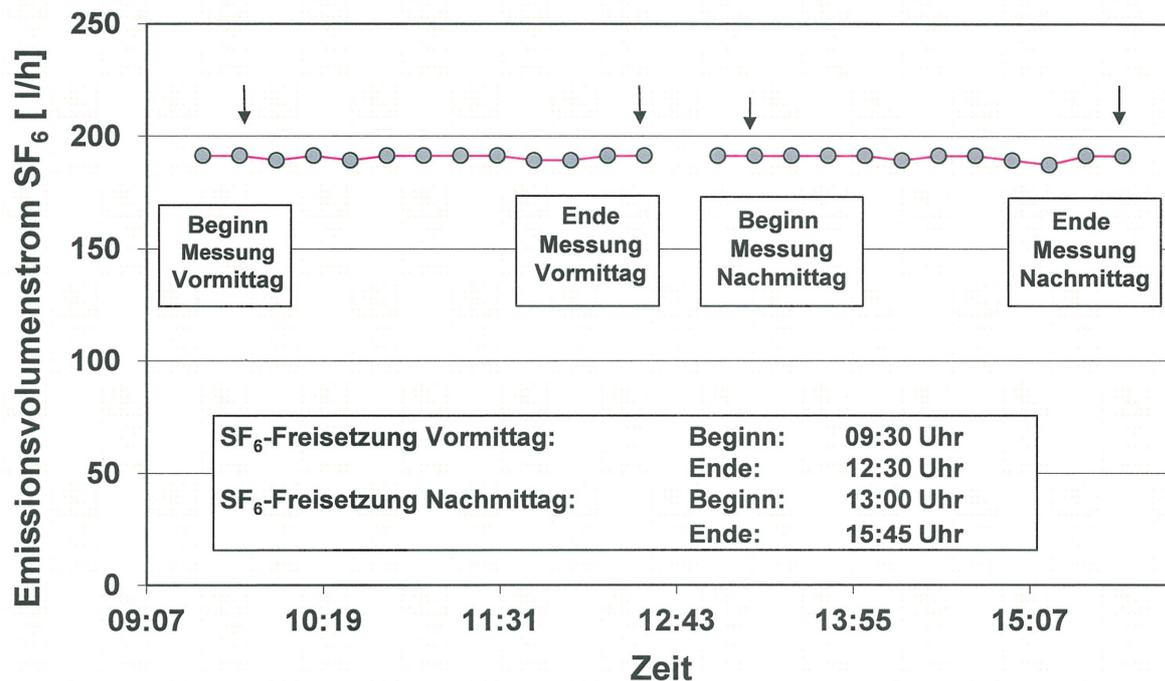


Abb. 5.1: Verlauf Emissionsvolumenstrom SF₆

Wie in Kap. 4 beschrieben, wurden im Sinne der Qualitätssicherung Plausibilitätstests durchgeführt durch Konzentrationsmessungen ca. 1 m unterhalb der Oberkante des Lüftungsschachtes sowie Gewichtsbestimmung der SF₆-Flasche. Es ergaben sich keine Widersprüche.

5.2 Immissionsseitige Messung

Nach Auswertung der Konzentrationsmessungen wurden auch hier Plausibilitätsbetrachtungen durchgeführt. Dabei wurden die gemessenen Konzentrationen in Abhängigkeit von der Windrichtung betrachtet. Die Messungen zeigten keine Ausreißer, die Ergebnisse waren plausibel. Die Winddaten am Messtag sind als 3-Minutenwerte in **Abb. 5.2** dargestellt.

Am Messtag wurden an jeweils insgesamt 6 Aufpunkten die Tracergaskonzentrationen gemessen. Die Aufpunkte waren identisch mit den Aufpunkten der Bioaerosolmessungen.

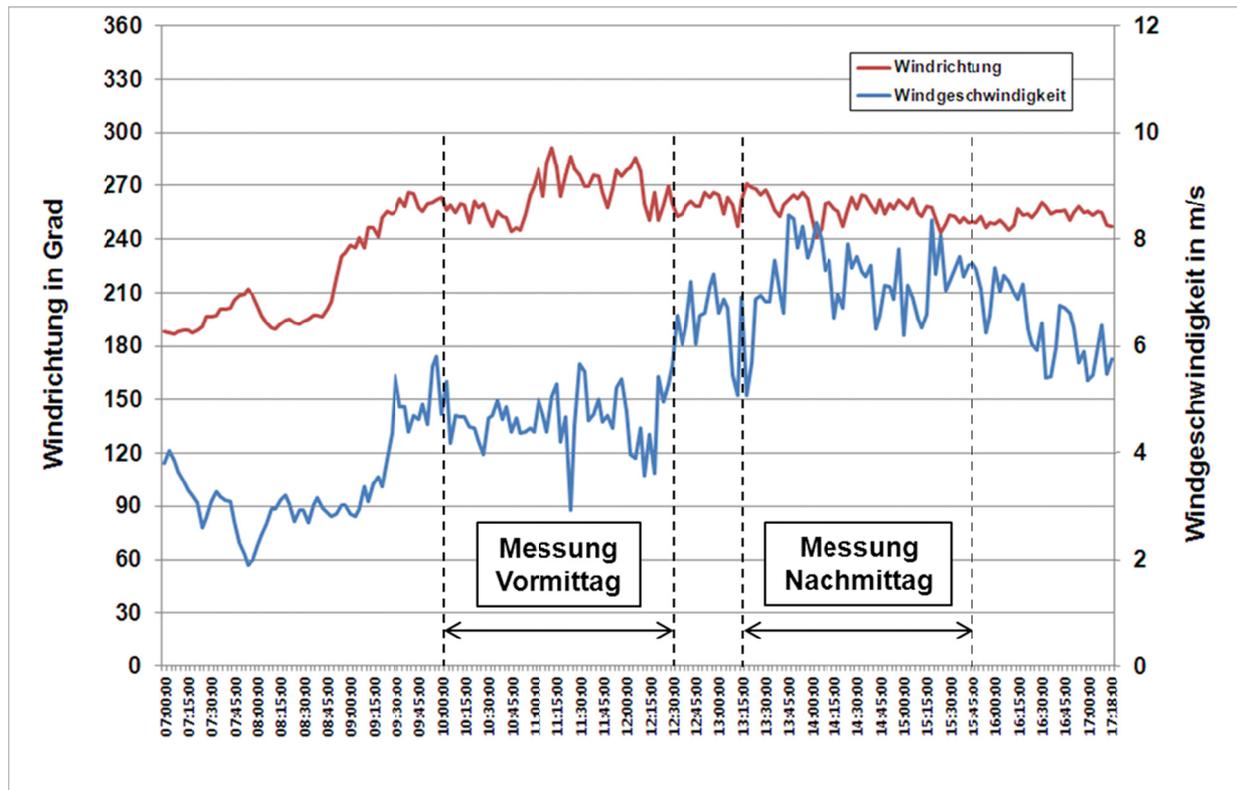


Abb. 5.2: 3-Minutenwerte der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit am 18.03.2014

5.2.1 Ergebnisse Messung Vormittag

Die Ergebnisse für die 6 Messpunkte sind für die Messung Vormittag zusammenfassend in **Tab. 5.2** aufgelistet. Korrigierte Konzentration bedeutet, dass die gemessenen SF₆-Konzentrationen durch die SF₆-Konzentrationen der Luv-Messung korrigiert wurden.

In **Abb. 5.3** sind die mit den Werten der Luvmessung korrigierten Konzentrationsverläufe dargestellt. Im oberen Bild sind die Werte in der Einheit ppb, im unteren Bild in der Einheit µg/m³ angegeben. Mit aufgenommen in die Abbildung sind auch die in den entsprechenden Messintervallen gemessenen Windrichtungen. Die Windrichtung der Messungen Vormittag schwankte zwischen 251 Grad und 277 Grad. Die Windgeschwindigkeit im 30-Minuten-Mittel schwankte zwischen 4.4 m/s und 5.0 m/s (siehe **Tab. 4.2**). In **Abb. 5.4** sind die über die gesamte Messung Vormittag gemittelten Konzentrationen flächenhaft dargestellt.

Die höchsten Konzentrationswerte wurden am Messpunkt I1 gemessen. Einen ähnlichen Verlauf wie am Messpunkt I1 zeigt auch der Messpunkt I2, wobei die gemessenen Konzentrationen nahezu halbiert sind. Auch am weitest entfernten Punkt I3 wurden, wenn auch sehr niedrige SF₆-Konzentrationen erfasst. In den Messintervallen 11:00 Uhr bis 11:30 Uhr und 11:30 Uhr bis 12:00 Uhr drehte die Windrichtung stärker nach West mit 277 Grad und 271 Grad, die gemessenen Konzentrationen an den Punkten I1 und I2 waren in diesen Interval-

len sehr niedrig. Einen etwas anderen Verlauf zeigen die Konzentrationen am Messpunkt I4. Hier wurden bei allen fünf Messintervallen SF₆-Konzentrationen registriert. Am Messpunkt I5 wurden sehr niedrige Konzentrationen nahe der Hintergrundkonzentration erfasst.

Messpunkt	I0	I1	I2	I3	I4	I5
Entfernung Kamin in m	78	125	200	500	223	224
Zeitraum	Konzentration in ppb					
10.00-10.30	0,026	4,291	1,708	0,119	4,872	0,006
10.30-11.00	0,028	14,519	6,518	0,529	3,261	0,014
11.00-11.30	0,012	0,176	0,064	0,024	1,623	0,084
11.30-12.00	0,006	0,084	0,000	0,025	1,996	0,017
12.00-12.30	0,026	3,901	1,382	0,098	1,967	0,000
Zeitraum	Konzentration in µg/m³					
10.00-10.30	0,161	26,517	10,556	0,734	30,110	0,037
10.30-11.00	0,174	89,729	40,281	3,270	20,152	0,087
11.00-11.30	0,073	1,087	0,396	0,147	10,032	0,517
11.30-12.00	0,037	0,521	0,000	0,152	12,335	0,106
12.00-12.30	0,161	24,107	8,544	0,604	12,155	0,000
Zeitraum	Korrigierte Konzentration in ppb					
10.00-10.30	0,000	4,265	1,682	0,093	4,846	0,000
10.30-11.00	0,000	14,491	6,490	0,501	3,233	0,000
11.00-11.30	0,000	0,164	0,052	0,012	1,611	0,072
11.30-12.00	0,000	0,078	0,000	0,019	1,990	0,011
12.00-12.30	0,000	3,875	1,356	0,072	1,941	0,000
Zeitraum	Korrigierte Konzentration in µg/m³					
10.00-10.30	0,000	26,356	10,395	0,574	29,949	0,000
10.30-11.00	0,000	89,554	40,107	3,096	19,978	0,000
11.00-11.30	0,000	1,014	0,323	0,074	9,959	0,444
11.30-12.00	0,000	0,484	0,000	0,114	12,297	0,069
12.00-12.30	0,000	23,946	8,383	0,443	11,994	0,000

Tab. 5.2: Absolut gemessene und korrigierte Konzentrationen an den Aufpunkten für Messung Vormittag in ppb und µg/m³

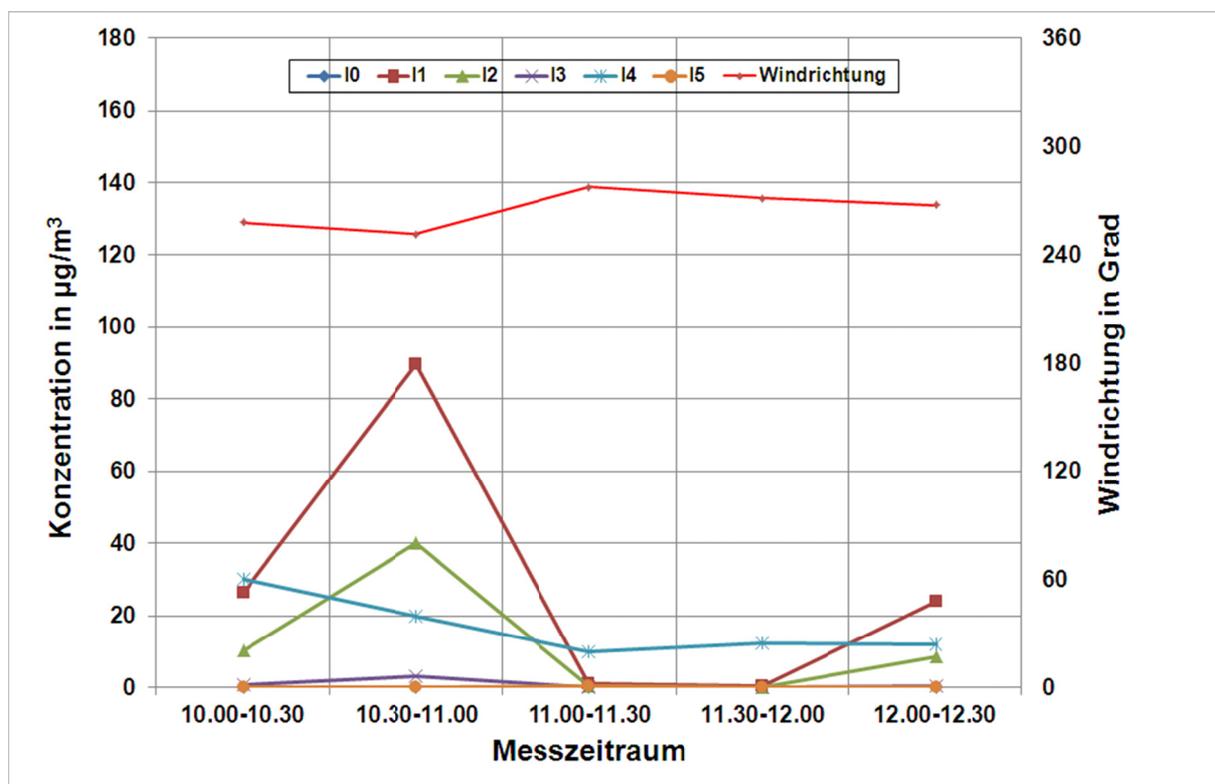
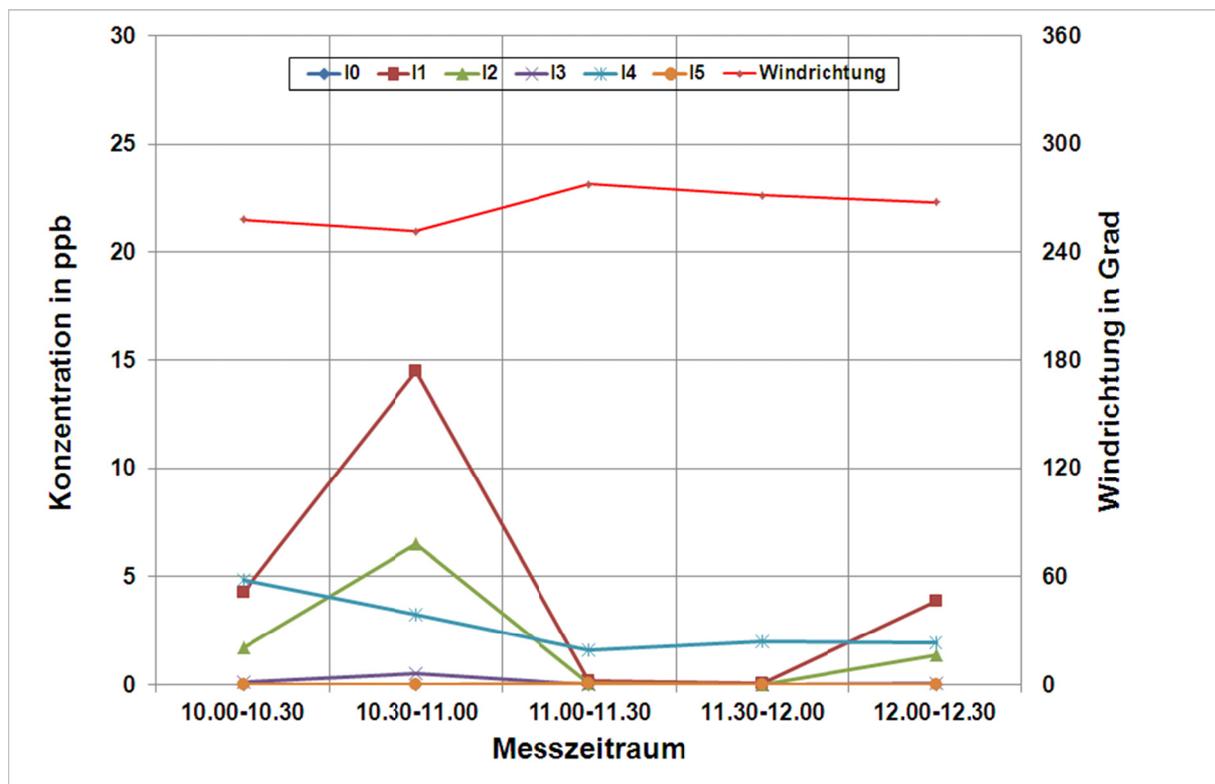


Abb. 5.3: Konzentrationsverlauf am 18.03.2014 bei der Messung Vormittag
oben: Angaben in ppb; unten: Angaben in µg/m³

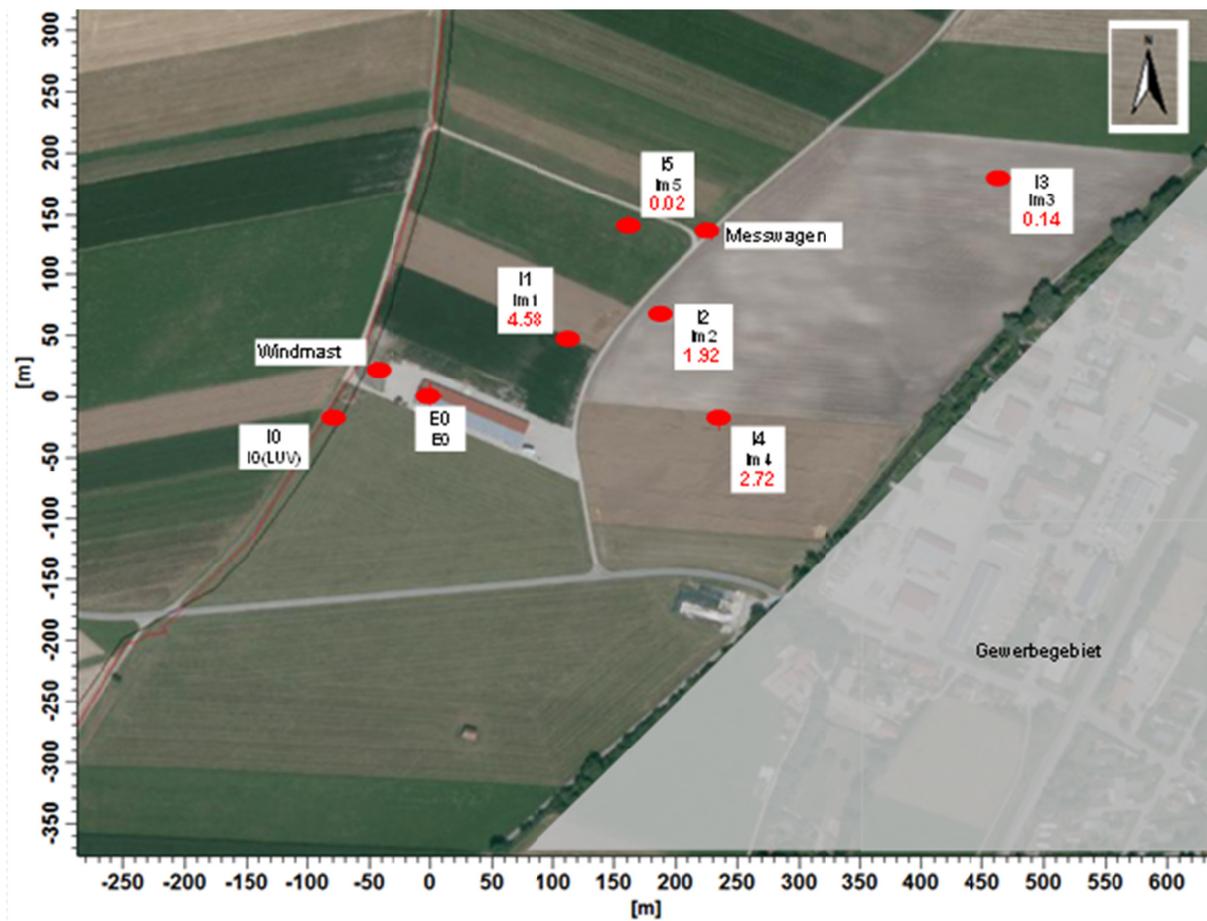


Abb. 5.4: Gemessene, korrigierte mittlere SF₆-Konzentrationen in ppb am 18.03.2014
Messung Vormittag
(Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [<http://www.geodaten.bayern.de>])

5.2.2 Ergebnisse Messung Nachmittag

Die Ergebnisse für die 6 Messpunkte sind für den Nachmittag zusammenfassend in **Tab. 5.3** aufgelistet. **Abb. 5.5** zeigt die gemessenen korrigierten SF₆-Konzentrationen für die Messung Nachmittag. In **Abb. 5.6** sind die gemittelten Konzentrationen für die Messung Nachmittag flächenhaft dargestellt. Die Messpunkte wurden aufgrund der Winddrehung etwas versetzt, die Lage der Punkte ist in **Abb. 4.10** dargestellt. Der Wind drehte gegenüber der ersten Messphase leicht Richtung Südwest mit im Mittel 258 Grad über die gesamte zweite Messphase (Schwankungen der 30-min Werte zwischen 252 und 263 Grad). Die Windgeschwindigkeit war in der zweiten Messphase deutlich höher mit 30-Minuten-Werten zwischen 6.6 m/s und 8.0 m/s.

Messpunkt	I0	I1	I2	I3	I4	I5
Entfernung Kamin in m	78	124	200	387	223	222
Zeitraum	Konzentration in ppb					
13.15-13.45	0,034	22,843	0,634	1,651	7,051	0,045
13.45-14.15	0,025	25,704	0,999	1,614	6,383	0,017
14.15-14.45	0,015	12,771	0,896	0,730	5,081	0,024
14.45-15.15	0,014	14,965	0,705	0,644	5,694	0,023
15.15-15.45	0,022	10,926	1,986	0,234	3,879	0,017
Zeitraum	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
13.15-13.45	0.210	141,172	3,918	10,206	43,576	0,279
13.45-14.15	0,152	158,851	6,174	9,974	39,448	0,106
14.15-14.45	0,092	78,925	5,535	4,514	31,400	0,147
14.45-15.15	0,087	92,481	4,355	3,979	35,190	0,143
15.15-15.45	0,134	67,524	12,274	1,447	23,970	0,106
Zeitraum	Korrigierte Konzentration in ppb					
13.15-13.45	0,000	22,809	0,600	1,617	7,017	0,011
13.45-14.15	0,000	25,679	0,975	1,589	6,359	0,000
14.15-14.45	0,000	12,756	0,881	0,715	5,066	0,009
14.45-15.15	0,000	14,950	0,690	0,630	5,680	0,009
15.15-15.45	0,000	10,905	1,965	0,213	3,857	0,000
Zeitraum	Korrigierte Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
13.15-13.45	0,000	140,962	3,708	9,996	43,366	0,069
13.45-14.15	0,000	158,699	6,022	9,822	39,296	0,000
14.15-14.45	0,000	78,833	5,443	4,421	31,308	0,055
14.45-15.15	0,000	92,394	4,267	3,891	35,103	0,055
15.15-15.45	0,000	67,391	12,141	1,314	23,837	0,000

Tab. 5.3: Absolut gemessene und korrigierte Konzentrationen an den Aufpunkten für Messung Nachmittag in ppb und $\mu\text{g}/\text{m}^3$

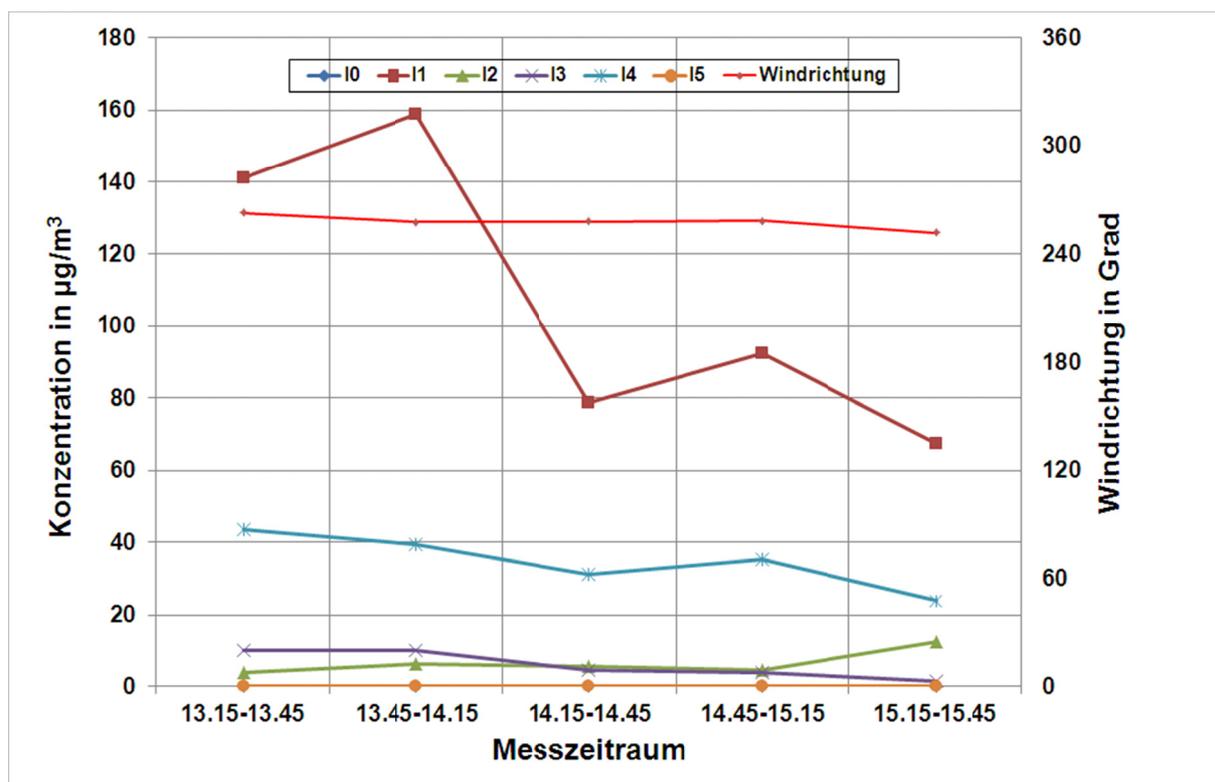
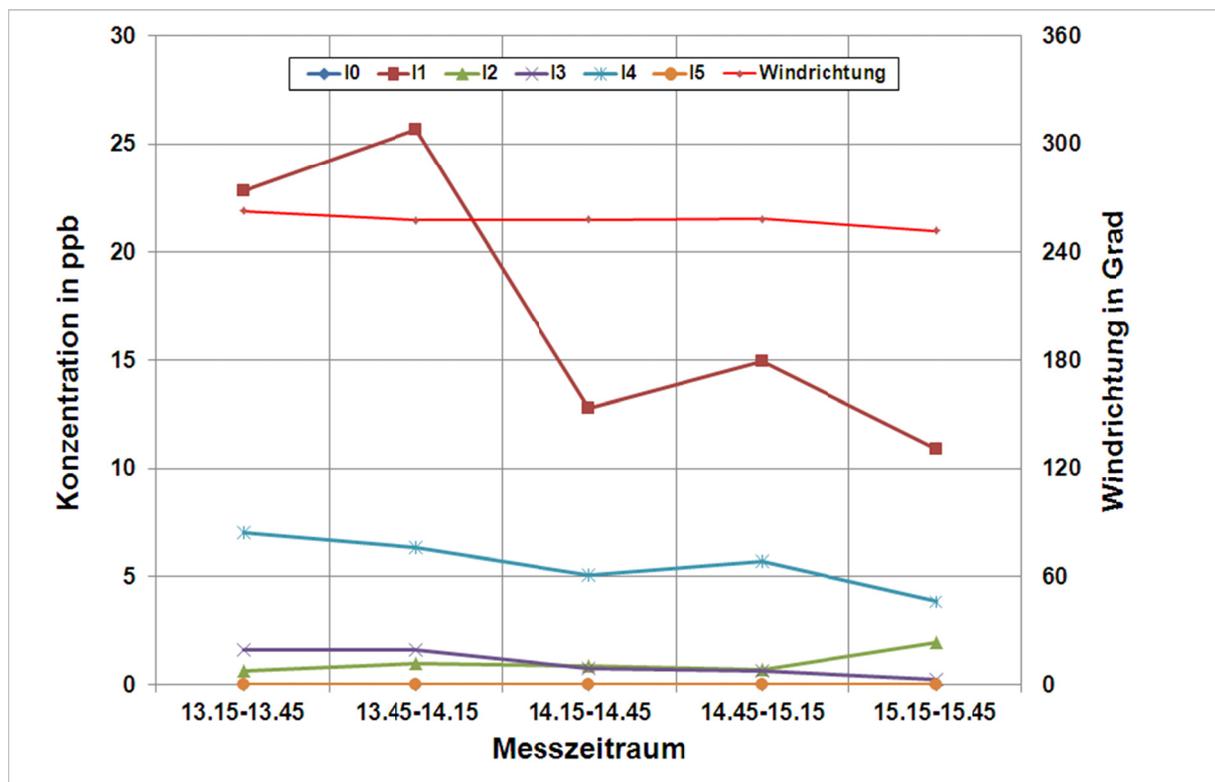


Abb. 5.5: Konzentrationsverlauf am 18.03.2014 bei der Messung Nachmittag
oben: Angaben in ppb; unten: Angaben in µg/m³

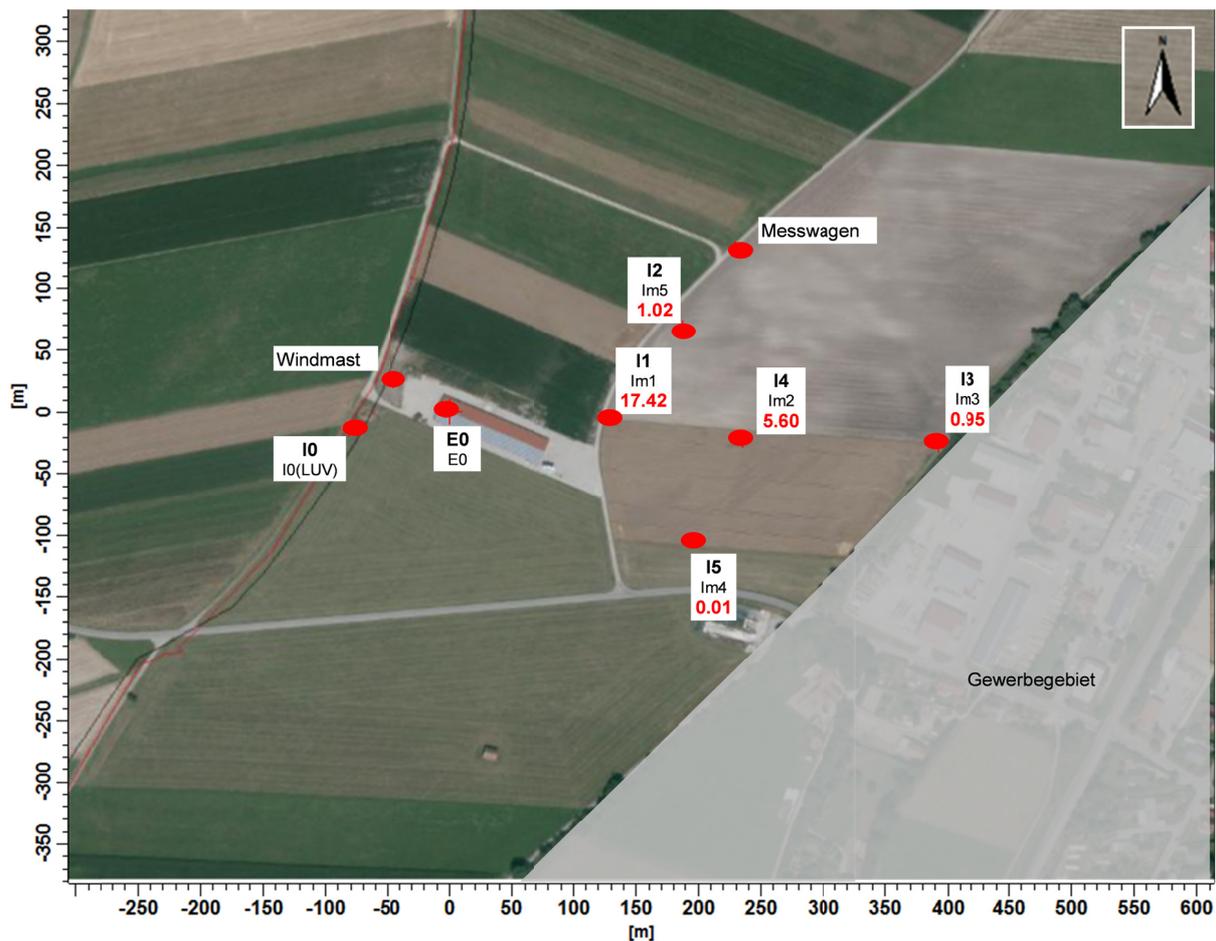


Abb. 5.6: Gemessene, korrigierte mittlere SF₆-Konzentrationen in ppb am 18.03.2014
Messung Nachmittag
(Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung [<http://www.geodaten.bayern.de>])

Auch in der zweiten Messreihe wurde der nächst gelegene, versetzte Messpunkt I1 am stärksten beaufschlagt, wobei die Messwerte mit der Zeit eine fallende Tendenz zeigen. Am Messpunkt I2 wurden niedrige SF₆-Konzentrationen registriert. Der in Windrichtung nach dem Messpunkt I1 platzierte Messpunkt I4 lieferte hinter dem Messpunkt I1 die zweithöchsten SF₆-Konzentrationen, gefolgt von Messpunkt I3, der ebenfalls in der Windrichtung lag. Die am Messpunkt I5 gemessenen SF₆-Konzentrationen lieferten die niedrigsten Konzentrationen, die vergleichbar mit den Hintergrundkonzentrationen waren. Die am quellenächsten Messpunkt gemessenen Konzentrationen sind deutlich höher als bei der Messung Vormittag, was durch die in Kap. 5.3 beschriebenen, bei den Rauchversuchen zu erkennenden Downwash-Effekte begründet sein kann.

Die Ergebnisse sind bezogen auf die Windverhältnisse plausibel und erklärbar. Die Windgeschwindigkeiten waren an diesem Tag, vor allen Dingen am Nachmittag mit 30-Minuten-

Mittelwerten bis 8.0 m/s in 10 m Höhe sehr hoch. Im Anschluss an die Konzentrationsmessungen wurde versucht, die Abluftströmung mittels Rauch sichtbar zu machen, die Beobachtungen sind im Kap. 5.3 beschrieben.

5.3 Strömungssichtbarmachung der Abluft

Im Anschluss an die Tracermessungen am 18.03.2014 wurde versucht, die Abluftströmung aus dem Kamin, aus dem die Tracerfreisetzung erfolgte, mittels Rauch sichtbar zu machen. Zur Rauchentwicklung wurden loses, weiß-graues Rauchpulver (Fabrikat COMET) und weiße Rauchpatronen (Fabrikat BJÖRNAX, Typ ÜBAX O bzw. V) verwendet. Beide Produkte bestehen aus einem Gemisch von Kaliumchlorat, Ammoniumchlorid und Hilfsstoffen und gelten bei der Verwendung im Freien lt. Sicherheitsdatenblättern als unbedenklich.

Aufgrund der Bewölkung waren die Kontraste bei den verfügbaren Rauchmengen nicht ausreichend, um den Verlauf der Rauch-/Abluffahne vor dem Hintergrund über längere Distanzen eindeutig zu verfolgen und festzuhalten.

Gegen 16 Uhr war die Windgeschwindigkeit mit ca. 7 m/s sehr hoch. Es zeigte sich keine nennenswerte Überhöhung der Abgasfahne. Die Fahne drehte vielmehr kurz nach dem Austritt aus dem Abluftkamin nach unten (siehe **Abb. 5.7** und **Abb. 5.8**) und bewegte sich parallel zum Gebäude in Dachhöheniveau. Die Beobachtung an den Abluftkaminen zeigte deutliche Downwash-Effekte, d.h. aufgrund der hohen Windgeschwindigkeit in Relation zur Austrittsgeschwindigkeit gelangte die Abluffahne in den Nachlaufsog der Kamine und des Stallgebäudes und wurde nach unten abgelenkt.



Abb. 5.7: Aufnahme der sichtbar gemachten Strömungsverhältnisse



Abb. 5.8: Aufnahme der sichtbar gemachten Strömungsverhältnisse

A N H A N G A
VOLUMENSTROM UND STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN IM ABLUFTKAMIN
WÄHREND DER MESSUNGEN

ANHANG A:
VOLUMENSTROM UND STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN IM ABLUFTKAMIN
WÄHREND DER MESSUNGEN

P2110_Ermittlung der Bioaerosolbelastung im Umfeld von Mastgeflügelanlagen

Messungen an der Masthähnchenanlage (von Ref 26,33) am 18.März 2014

18.März 2014 (MEZ) Austrittsquellen Quelle 2: Messkamin SF6	Volumenstrom im Messkamin auf Höhe der SF6-Dotierung / Bioaerosol- Messung trocken, normiert 273,15K 1013,25hPa (m³/h)	Strömungsgeschwindigkeiten im Messkamin auf Höhe der SF6-Dotierung / Bioaerosol- Messung Halbstunden-Mittelwert (m/s)
1.Messreihe_10:00Uhr bis 10:30Uhr	21.300	10,4
1.Messreihe_10:30Uhr bis 11:00Uhr	21.100	10,3
1.Messreihe_11:00Uhr bis 11:30Uhr	21.300	10,4
1.Messreihe_11:30Uhr bis 12:00Uhr	21.300	10,4
1.Messreihe_12:00Uhr bis 12:30Uhr	21.300	10,5
2.Messreihe_13:15Uhr bis 13:45Uhr	21.500	10,6
2.Messreihe_13:45Uhr bis 14:15Uhr	21.600	10,7
2.Messreihe_14:15Uhr bis 14:45Uhr	21.500	10,6
2.Messreihe_14:45Uhr bis 15:15Uhr	21.400	10,6
2.Messreihe_15:15Uhr bis 15:45Uhr	21.500	10,6

A N H A N G B:
VERLAUF WINDGESCHWINDIGKEIT UND -RICHTUNG
WÄHREND DER MESSPHASEN -
3-MINUTEN-MITTELWERTE

ANHANG B:**VERLAUF WINDGESCHWINDIGKEIT UND -RICHTUNG WÄHREND DER MESSPHASEN - 3-MINUTEN-MITTELWERTE**

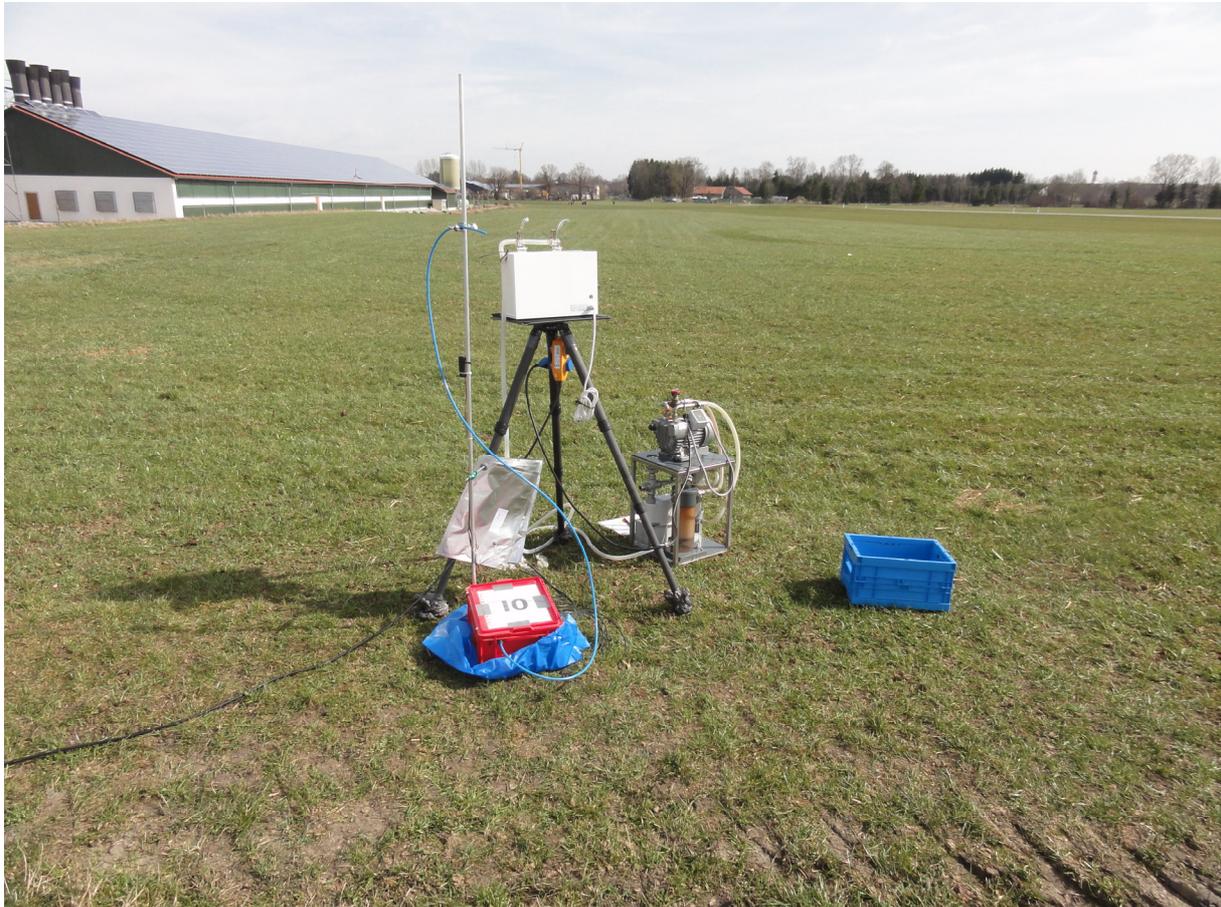
Datum	von	bis	Windgeschwindigkeit in m/s	Windrichtung in Grad
18.03.2014	09:27:00	09:30:00	5,5	256
18.03.2014	09:30:00	09:33:00	4,9	263
18.03.2014	09:33:00	09:36:00	4,9	259
18.03.2014	09:36:00	09:39:00	4,4	266
18.03.2014	09:39:00	09:42:00	4,7	266
18.03.2014	09:42:00	09:45:00	4,6	258
18.03.2014	09:45:00	09:48:00	4,9	256
18.03.2014	09:48:00	09:51:00	4,5	260
18.03.2014	09:51:00	09:54:00	5,6	261
18.03.2014	09:54:00	09:57:00	5,8	262
18.03.2014	09:57:00	10:00:00	4,7	263
18.03.2014	10:00:00	10:03:00	5,3	257
18.03.2014	10:03:00	10:06:00	4,2	259
18.03.2014	10:06:00	10:09:00	4,7	255
18.03.2014	10:09:00	10:12:00	4,7	260
18.03.2014	10:12:00	10:15:00	4,7	259
18.03.2014	10:15:00	10:18:00	4,5	249
18.03.2014	10:18:00	10:21:00	4,5	261
18.03.2014	10:21:00	10:24:00	4,2	258
18.03.2014	10:24:00	10:27:00	4,0	260
18.03.2014	10:27:00	10:30:00	4,7	251
18.03.2014	10:30:00	10:33:00	4,7	248
18.03.2014	10:33:00	10:36:00	5,0	256
18.03.2014	10:36:00	10:39:00	4,6	253
18.03.2014	10:39:00	10:42:00	4,9	252
18.03.2014	10:42:00	10:45:00	4,4	244
18.03.2014	10:45:00	10:48:00	4,7	247
18.03.2014	10:48:00	10:51:00	4,4	245
18.03.2014	10:51:00	10:54:00	4,4	254
18.03.2014	10:54:00	10:57:00	4,5	265
18.03.2014	10:57:00	11:00:00	4,4	270
18.03.2014	11:00:00	11:03:00	5,0	279
18.03.2014	11:03:00	11:06:00	4,7	264
18.03.2014	11:06:00	11:09:00	4,4	283
18.03.2014	11:09:00	11:12:00	5,1	292
18.03.2014	11:12:00	11:15:00	5,3	280
18.03.2014	11:15:00	11:18:00	4,2	264
18.03.2014	11:18:00	11:21:00	4,7	276
18.03.2014	11:21:00	11:24:00	2,9	286
18.03.2014	11:24:00	11:27:00	4,5	280
18.03.2014	11:27:00	11:30:00	5,7	276
18.03.2014	11:30:00	11:33:00	5,5	270
18.03.2014	11:33:00	11:36:00	4,6	270
18.03.2014	11:36:00	11:39:00	4,7	276
18.03.2014	11:39:00	11:42:00	5,0	275
18.03.2014	11:42:00	11:45:00	4,6	266
18.03.2014	11:45:00	11:48:00	4,7	258
18.03.2014	11:48:00	11:51:00	4,5	268
18.03.2014	11:51:00	11:54:00	5,2	279
18.03.2014	11:54:00	11:57:00	5,4	275

Datum	von	bis	Windgeschwindigkeit in m/s	Windrichtung in Grad
18.03.2014	11:57:00	12:00:00	4,8	279
18.03.2014	12:00:00	12:03:00	4,0	280
18.03.2014	12:03:00	12:06:00	3,9	286
18.03.2014	12:06:00	12:09:00	4,5	278
18.03.2014	12:09:00	12:12:00	3,6	260
18.03.2014	12:12:00	12:15:00	4,4	251
18.03.2014	12:15:00	12:18:00	3,6	266
18.03.2014	12:18:00	12:21:00	5,4	251
18.03.2014	12:21:00	12:24:00	5,0	259
18.03.2014	12:24:00	12:27:00	5,3	269
18.03.2014	12:27:00	12:30:00	5,7	260
18.03.2014	12:30:00	12:33:00	6,6	253
18.03.2014	12:33:00	12:36:00	6,0	255
18.03.2014	12:36:00	12:39:00	6,4	259
18.03.2014	12:39:00	12:42:00	7,2	261
18.03.2014	12:42:00	12:45:00	6,0	259
18.03.2014	12:45:00	12:48:00	6,6	259
18.03.2014	12:48:00	12:51:00	6,6	266
18.03.2014	12:51:00	12:54:00	7,1	263
18.03.2014	12:54:00	12:57:00	7,3	266
18.03.2014	12:57:00	13:00:00	6,6	265
18.03.2014	13:00:00	13:03:00	6,9	255
18.03.2014	13:03:00	13:06:00	6,7	263
18.03.2014	13:06:00	13:09:00	5,5	259
18.03.2014	13:09:00	13:12:00	5,1	247
18.03.2014	13:12:00	13:15:00	6,9	262
18.03.2014	13:15:00	13:18:00	5,1	271
18.03.2014	13:18:00	13:21:00	5,7	269
18.03.2014	13:21:00	13:24:00	6,9	268
18.03.2014	13:24:00	13:27:00	7,0	265
18.03.2014	13:27:00	13:30:00	6,8	268
18.03.2014	13:30:00	13:33:00	6,8	263
18.03.2014	13:33:00	13:36:00	7,6	256
18.03.2014	13:36:00	13:39:00	7,0	253
18.03.2014	13:39:00	13:42:00	6,6	259
18.03.2014	13:42:00	13:45:00	8,5	262
18.03.2014	13:45:00	13:48:00	8,4	265
18.03.2014	13:48:00	13:51:00	7,8	262
18.03.2014	13:51:00	13:54:00	8,3	266
18.03.2014	13:54:00	13:57:00	7,7	262
18.03.2014	13:57:00	14:00:00	7,9	253
18.03.2014	14:00:00	14:03:00	8,3	241
18.03.2014	14:03:00	14:06:00	8,0	246
18.03.2014	14:06:00	14:09:00	7,4	260
18.03.2014	14:09:00	14:12:00	7,6	260
18.03.2014	14:12:00	14:15:00	6,5	257
18.03.2014	14:15:00	14:18:00	7,0	256
18.03.2014	14:18:00	14:21:00	6,7	247
18.03.2014	14:21:00	14:24:00	7,9	257
18.03.2014	14:24:00	14:27:00	7,5	263
18.03.2014	14:27:00	14:30:00	7,7	257
18.03.2014	14:30:00	14:33:00	7,4	265
18.03.2014	14:33:00	14:36:00	7,3	264
18.03.2014	14:36:00	14:39:00	7,5	259
18.03.2014	14:39:00	14:42:00	6,3	255
18.03.2014	14:42:00	14:45:00	6,6	262

Datum	von	bis	Windgeschwindigkeit in m/s	Windrichtung in Grad
18.03.2014	14:45:00	14:48:00	7,1	255
18.03.2014	14:48:00	14:51:00	7,1	260
18.03.2014	14:51:00	14:54:00	6,9	257
18.03.2014	14:54:00	14:57:00	7,8	262
18.03.2014	14:57:00	15:00:00	6,2	259
18.03.2014	15:00:00	15:03:00	7,1	257
18.03.2014	15:03:00	15:06:00	6,9	263
18.03.2014	15:06:00	15:09:00	6,5	255
18.03.2014	15:09:00	15:12:00	6,4	253
18.03.2014	15:12:00	15:15:00	6,6	258
18.03.2014	15:15:00	15:18:00	8,4	258
18.03.2014	15:18:00	15:21:00	7,4	252
18.03.2014	15:21:00	15:24:00	8,1	244
18.03.2014	15:24:00	15:27:00	7,1	249
18.03.2014	15:27:00	15:30:00	7,2	254
18.03.2014	15:30:00	15:33:00	7,5	253
18.03.2014	15:33:00	15:36:00	7,7	250
18.03.2014	15:36:00	15:39:00	7,3	252
18.03.2014	15:39:00	15:42:00	7,5	249
18.03.2014	15:42:00	15:45:00	7,6	250

A N H A N G C:
EXEMPLARISCHE AUFNAHMEN EINZELNER MESSPUNKTE

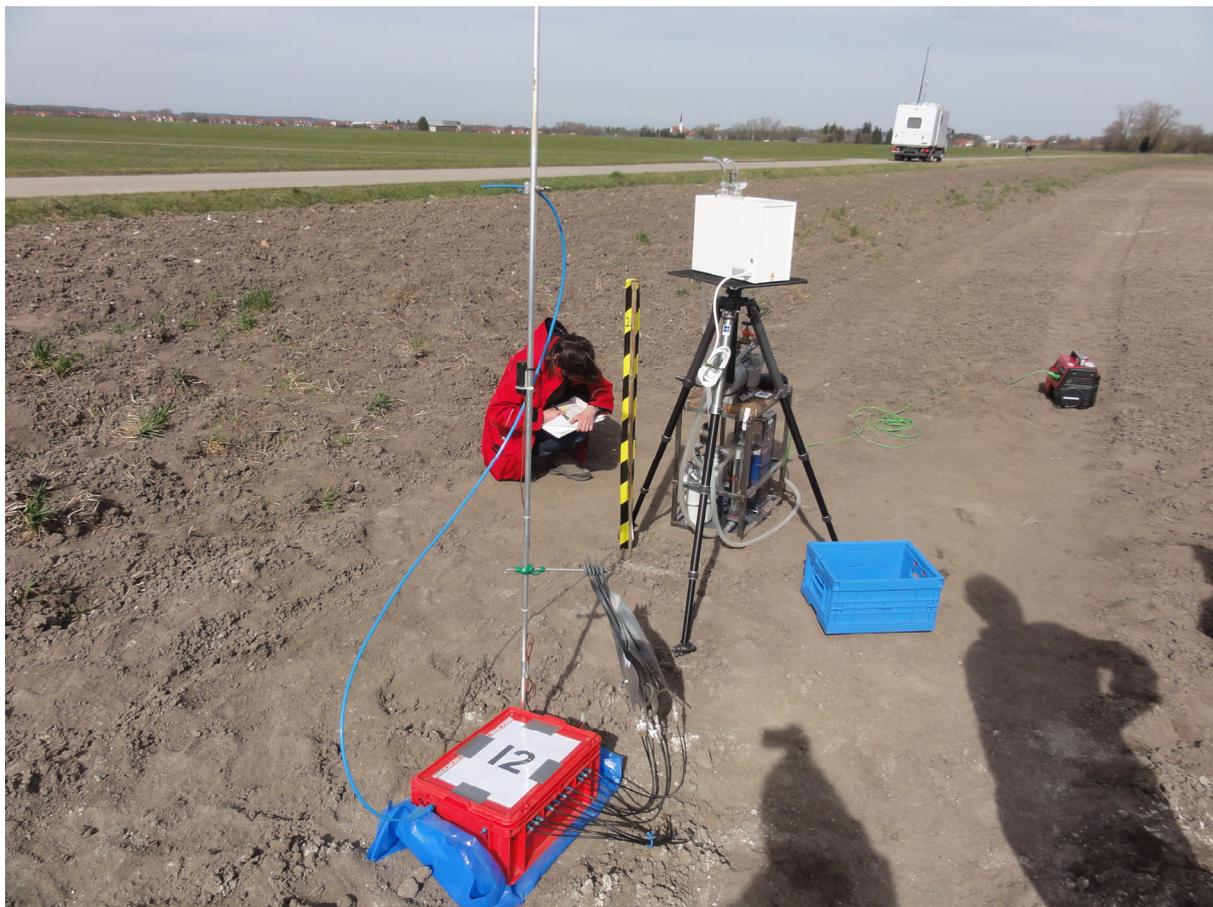
ANHANG C: EXEMPLARISCHE AUFNAHMEN EINZELNER MESSPUNKTE



Messpunkt 10 – Luvmessung Vormittag und Nachmittag



Messpunkt I1 Nachmittag



Messpunkt I2 Nachmittag