

14. Verwaltungslehrgang Vorarlberg

Projekt Räucheranlage

Messung des Rauchgasstromes (CO, org. C, Geruch)

Arzbacher David, Burtscher Michael

Abteilung Luftreinhaltung, Umweltinstitut

2019





Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Steckbriefe	3
1.1 Ing. Arzbacher David, BSc	3
1.2 Ing. Burtscher Michael, BSc	3
2 Kurzzusammenfassung	4
2.1 Erkenntnisse und Ergebnisse	4
3 Einleitung	5
4 Theorie	5
4.1 Raucherzeuger bei Räucheranlagen	5
5 Messtechnik	7
5.1.1 Erfassung typischer Verbrennungsparameter	7
5.1.2 Erfassung flüchtiger organischer Verbindungen mit dem Flammenionisationsdetektor (FID)	7
5.1.3 Erfassung Abgasrandparameter	7
5.1.4 Olfaktometrie	8
6 Beschreibung der Anlage	9
6.1 Räucheranlage	9
6.2 R&I Schema mit Messpunkten	10
6.3 Betriebsstunden Rauchgasreinigung und Aktivkoks	11
6.4 Kosten der Anlage.....	11
7 Messung	12
7.1 Messtag 1: Anlagenprüfung sowie Abscheidegrad Messungen.....	12
7.2 Messtag 2: FID und Geruchsmessung.....	15
8 Resümee und Schlussfolgerungen	18
9 Literaturverzeichnis / Referenzen	19



1 Steckbriefe

1.1 Ing. Arzbacher David, BSc

Dienststelle: Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit

Abteilung: Luftreinhaltung

Fachbereich: Emission



Hauptaufgaben: Organisation, Konzeption und Durchführung von Emissionsmessungen, Qualitätssicherung von Emissionsmessungen sowie diesbezüglicher Datenerhebungen. Sachverständigentätigkeiten im Bereich Feuerungsanlagen und lösemittelverarbeitende Betriebe.

1.2 Ing. Burtscher Michael, BSc

Dienststelle: Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit

Abteilung: Luftreinhaltung

Fachbereich: Sachverständiger



Hauptaufgaben: Erstellen von lufthygienischen Amtsgutachten im Rahmen gewerberechtllicher, baurechtllicher Verfahren. Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung angeordneter Schutz- und Sanierungsmaßnahmen, Anlassbezogene Kontrolle bzw. Überprüfungen vor Ort.



2 Kurzzusammenfassung

Ziel dieses Projektes ist die Untersuchung der Emissionen (Luftschadstoffe, Geruch) einer Räucherammer.

Dabei wurde eine Räucherammer gewählt, welche eine Abgasnachbehandlung für die emittierten Rohgase installiert hatte.

Es wurden die lufthygienisch relevanten Emissionen der abgegebenen Roh- sowie Reingasfracht untersucht.

Um die Funktion der Abgasnachbehandlung zu bestimmen, ist das unbehandelte Rauchgas (Rohgas) sowie das durch die Abgasnachbehandlung geführte Rauchgas (Reingas) überprüft worden.

Die im Projekt untersuchte Räucheranlage ist mit Rauchgasnachbehandlung über einen Elektrofilter und Aktivkohleeinheit (mit Feinkoks) ausgestattet.

Zur Bestimmung des Abscheidegrades (org. C) wird mit einem Flammenionisationsdetektor Roh- und Reingas gemessen. Über eine Geruchsmessung (Olfaktrometrie) soll ebenfalls der Abscheidegrad der Geruchseinheiten bestimmt werden.

2.1 Erkenntnisse und Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse der FID Messung entsprechen den Erwartungen an eine Rauchgasnachbehandlung für eine Räucherammer. Es wurde bezüglich FID Signal ein Abscheidegrad von durchschnittlich 58 Prozent erzielt.

Die Geruchsabscheiderate ist nach Einschätzung mit der konzipierten Rauchgasnachbehandlung im unteren Bereich des Möglichen angesiedelt. Dabei wurde eine Minderung von ca. 30% erreicht.

Diesbezüglich kann jedoch mit Aktivkohle anstatt Aktivkoks wahrscheinlich noch optimiert werden. Dies wäre aber mit entsprechenden Kosten, aufgrund des Preisunterschiedes von Aktivkohle bzw. Aktivkoks, verbunden.

Gesamthaft betrachtet, kann die Rauchgasnachbehandlung jedoch eine entsprechende Minderungswirkung von org. C bzw. Geruch erzielen, welche als ausreichend erscheint.



3 Einleitung

Dieses Thema wurde von uns gewählt, um einen beispielhaften Einblick in fachübergreifende Zusammenarbeit innerhalb unserer Abteilung Luftreinhaltung des Instituts für Umwelt und Lebensmittelsicherheit Vorarlberg zu gewähren.

Beteiligt sind dabei die Fachbereiche Emission und Sachverständige Luftreinhaltung.

Ziel der Arbeit ist die Überprüfung der Wirkung der Abgasnachbehandlung einer Räucherammer. Dabei wurden die emittierten Luftschadstoffe und Geruchseinheiten erhoben.

Es wurde hierbei mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) der emittierte org. Kohlenstoff festgestellt und über Geruchsproben die emittierten Geruchseinheiten analysiert.

Dabei können beide Fachbereiche übergreifend und vernetzt zusammenarbeiten.

4 Theorie

4.1 Raucherzeuger bei Räucheranlagen

Es gibt grundlegend drei Verfahren um den Rauch in einer industriellen Räucherammer zu erzeugen:

- Besprühen mit Rauch-Kondensat „Clean Smoke“ (Emissionslos)
- Reibrauch (wenig Emission, geschlossenes System)
- Glimmrauch (hohe Emission, offenes System)

Clean Smoke (Besprühen mit Rauchkondensat):

Erzeugung des Rauches in einer externen Anlage in welcher der Rauch direkt kondensiert und aufbereitet/gefildert wird. Das Kondensat wird dann auf die Räucherware gesprüht → somit emissionslos am Standort.



Reibrauch:

Mit Friktionsrauch/Reibrauch kann aufgrund seiner Eigenschaften und einer entsprechenden technischen Ausrüstung der Anlage abrauchfrei, also fast emissionslos - ohne Nachreinigung - geräuchert werden. Dies ist aufgrund eines geschlossenen Systems welches einen „Wäscher“ im technischen Sinne verfügt möglich. Dabei wird der Rauch bevor er in die Umgebung austritt niedergeschlagen mittels Wasser.

Schritte Räuchern mit Reibrauch:

1. Trocknen
2. Räuchern (Kammer komplett geschlossen, keine Emissionen)
3. Weiter Räuchern ohne Raucherzeuger
4. Rauch wird niedergeschlagen mit Wasser (Brühen oder intern niederschlagen des Restrauchs über eine Wasserdüse/Dampf) somit fast emissionslos

Glimmrauch:

In der untersuchten Räucheranlage wurde ein Glimmraucherzeuger verwendet. Beim Glimmraucherzeuger wird unter Frischluftzufuhr aus Buchenholz-Hackspänen Rauch erzeugt. Auf der Schwelplatte ist ein elektrischer Heizstab zur Vorzündung des Räuchermaterials angebracht und ein Rauchmaterialvorschub regelt die Rauchdichte in einstellbaren Takten. Der Rauch gelangt dann über eine Rohrleitung in die Räucherkammer, in der der Rauch durch ein besonderes Saug-Umluft-Abluft-System der Turbomat-Anlage gleichmäßig und konzentriert in kurzer Zeit auf die Räucherware aufgebracht wird. Die konzentrierte Raucherzeugung nach dem „Ratiosystem“ ermöglicht es, die Abluftmenge beim Räuchern mit dem Glimmraucherzeuger zu begrenzen.

Der für die Holzverglimmung benötigte Sauerstoff bzw. Luftbedarf wird als Frischluft ständig dem Raucherzeuger zugeführt. Die in gleichem Maße anfallende Räucherabluft wird über Dach abgeführt. Die Zuführung wird über Saugbetrieb (Unterdruck) sichergestellt.

Beim Räuchern mit Glimmrauch muss aus Gründen der Unfallsicherheit, der Schwellluft Verdünnungsluft im Verhältnis 1:20 zugesetzt werden (kein geschlossenes System). Dadurch ergibt sich zwangsläufig ein Abrauchstrom, der nachgereinigt werden muss, bevor er in die Atmosphäre eintreten kann [1].

5 Messtechnik

Zum Messeinsatz kamen Messgeräte bzw. Messmittel die auf folgenden Messprinzipien beruhen.

5.1.1 Erfassung typischer Verbrennungsparameter

Tragbarer Gasanalysator:

Dieser verfügt über einfache elektrochemische Sensoren von moderater Genauigkeit. Das Gerät ist dafür sehr klein und sehr schnell einsatzbereit. Die Sensoren funktionieren wie galvanische Zellen welche vom Messgas durchströmt werden. Wie in Mortimer's „Chemie Basiswissen“ nachzulesen, kann bei galvanischen Zellen die elektromotorische Kraft (EMK) zwischen zweier Halbzellen (Anode und Kathode) in Form einer elektrischen Spannung gemessen werden [2].

Diese Kraft ist proportional der Konzentration des durchströmenden Gases.

5.1.2 Erfassung flüchtiger organischer Verbindungen mit dem Flammenionisationsdetektor (FID)

Wie in der entsprechenden einzuhaltenden Norm EN 12619:2013 beschrieben, beruht das Messprinzip des FID darauf, dass organisch gebundenen Kohlenstoffatome in einer Wasserstoffflamme ionisiert werden, wobei der dabei resultierende Ionisationsstrom von der Anzahl der Kohlenstoffatome der Verbindung, von der Form der Bindung sowie von den Bindungspartnern abhängt [3].

Mehrfachbindungen als auch Heteroatome im Analyt-Molekül sind maßgeblich für das Ionisationsverhalten (und somit das Detektorsignal) verantwortlich. Deshalb werden anorganische Kohlenstoffe (wie zbsp. CO) kaum detektiert.

Somit werden aber auch gewisse org. Moleküle (zbsp Aceton) weniger empfindlich detektiert, es braucht daher ein Empfindlichkeitsparameter: Responsefaktor.

Vergleich bzw. Kalibrierung durch Propan als Prüfgas bekannter Konzentration. Brenngas und Brennluft orgC-frei! (Brennluft wird durch 400°C Pt-Katalysator geführt).

5.1.3 Erfassung Abgasrandparameter

Prantl'sche Staurohr: Kombination einer Pitot-Sonde mit statischer Drucksonde; Sowohl der Staudruck des strömenden Medium (Pitot-Sonde) als auch der statische Druck liegen gegenüberliegend an einer Membran. Die Auslenkung der Membran ist ein Maß für den Differenzdruck und somit auch für die Strömungsgeschwindigkeit. Die Membran ist meist als kapazitiver Sensor ausgeführt.

5.1.4 Olfaktometrie

Olfaktometrie beschreibt die Messung von Geruch. Gerüche werden vom Menschen durch ihre Intensität sowie Geruchsqualität wahrgenommen.

Um Geruch qualifizieren bzw. quantifizieren zu können ist eine Geruchsmessung notwendig.

Für eine Geruchsmessung wird bei dem Geruchsemittenten direkt eine Probe des zu untersuchenden Geruchsstromes genommen. Die geltende Norm bezüglich Geruchsmessung ist dabei die EN 13725 [4].

Für die Probennahme ist ein Luftdichter sowie Geruchsneutraler Beutel über Vakuumbehältnis zu befüllen. Damit die Probenahme nicht mit verunreinigter Abluft der Probenpumpe kontaminiert wird, wird dies indirekt über ein Vakuum in dem Behältnis befüllt. Somit kann eine Verunreinigung der Probe weitestgehend ausgeschlossen werden.

Die Bestimmung der Geruchsquantität (Geruchseinheiten) sowie Geruchsqualität (Hedonik) erfolgt nach Stand der Technik über das menschliche Sinnesorgan Nase. Diesbezüglich ist nach wie vor die menschliche Nase das geeignete Messinstrument.

Um ein Messergebnis zu erzielen, welches auch reproduzierbar ist, werden die Prüfer (welche für die Geruchsbestimmung herangezogen werden) geeicht. Dies erfolgt mit einer geringen Menge an n-Butanol. Es werden $123\mu\text{g}$ n-Butanol in einem m^3 Neutralluft (Luft welche geruchlich nicht belastet ist) verdampft. Dieses Gemisch entspricht sodann einer Geruchseinheit/ m^3 (GE/ m^3). Prüfer welche dies gerade noch riechen können, sind somit für eine hedonische Bewertung von Geruch geeignet.

Die Bewertung der Quantität der Geruchseinheit wird dann an einem sogenannten Olfaktometer festgestellt. Ein Olfaktometer besitzt Verdünnungsstufen im Bereich von 2^{13} . Die Verdünnung erfolgt ebenfalls mit Neutralluft welche geruchlich unbelastet ist.

Der Probebeutel wird am Olfaktometer angeschlossen und mit Neutralluft gemischt. Die Prüfer beurteilen dann die Geruchseinheiten auf Basis der Verdünnungsreihen, bis kein Geruch mehr festgestellt wird. Somit kann dann auf Basis der Verdünnungsreihe auf die Geruchseinheiten im Beutel zurückgerechnet werden. Die Verdünnungsschritte erfolgen in der Regel um den Faktor 2.

Mit den nun festgestellten Geruchseinheiten die gemessen wurden kann mit dem emittierten Abluftvolumenstrom, Temperatur sowie Druck auf die emittierten Geruchseinheiten der Anlage zurückgerechnet werden.

6 Beschreibung der Anlage

6.1 Räucheranlage

Die untersuchte Räucheranlage wird zum Trocknen, Räuchern, Kochen und Klimatisieren eingesetzt. Rohe Wurstware wird direkt in die Räucherkammer gegeben, wird gekocht, getrocknet und geräuchert und kommt als fertiges Produkt heraus. Es wird somit die „rohe“ Ware in die Räucherkammer gegeben und das fertige Produkt entnommen.

Art des Raucherzeugers: Bei der untersuchten Anlage war ein **Glimmraucherzeuger** in Betrieb. Dadurch, dass dies ein offenes System darstellt und somit mit hohen Emissionen zu rechnen ist, wurde hier eine Rauchgasnachbehandlung installiert.

Beispiele für ein Heißrauchprogramm („Wienerle“):

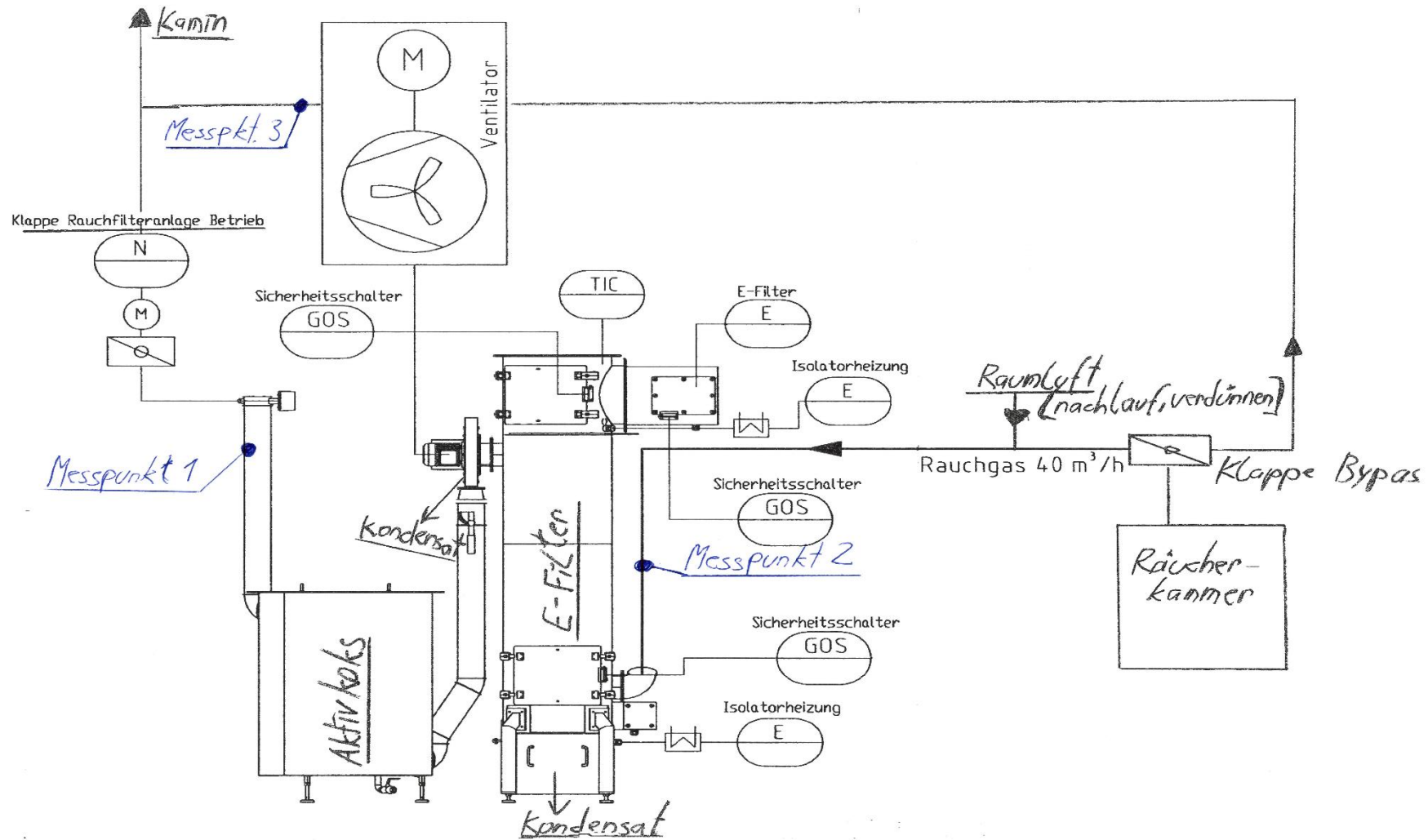
<u>Zeit in Minuten</u>	<u>Vorgang</u>	<u>Temperatur in Celsius</u>
10	Kochen	50
10	Wärmen	50
7	Trocknen	55
6	Rauch	55
5	Absaugen	55
20	Trocknen	55
9	Rauch	55
5	Absaugen	55
2	Trocknen	78
35	Kochen	78

Raucherzeugung Material:

Für die Raucherzeugung wurden bei dieser Anlage spezielle „Holzchips“ (fertige Mischung für Räucheranlagen) verwendet (größtenteils aus Buchenholz).

Verbrauch: 100 - 200 g Holzchips für „Wienerle“-Programm

6.2 R&I Schema mit Messpunkten



6.3 Betriebsstunden Rauchgasreinigung und Aktivkoks

Die Rauchgasnachbehandlungsanlage war zum Zeitpunkt der Messung ca. 1 Jahr in Betrieb.

Bei dem Schaltschrank für den E-Filter war ein Betriebsstundenzähler angebracht, welcher 930 Betriebsstunden aufwies. Die Betriebsstunden ergeben sich aus folgenden Schritten im Räucherprogramm: Rauch + Absaugen und ca. 10 min Nachlaufzeit.

Die Aktivkokseinheit wurde vor ca. 1,5 Monaten gewechselt (somit ca. 120 Betriebsstunden des Aktivkoks).

Laut dem Hersteller (Gramiller) soll eine Charge Aktivkoks ca. 1500 - 2000 Betriebsstunden verwendbar sein.

In dem Aktivkoksbehälter sind ca. 150 kg an Aktivkoks gefüllt.

Der Aktivkoks musste vorher gewechselt werden, da der E-Filter eine Fehlfunktion aufwies (Überschlag, war länger unbemerkt außer Betrieb).

6.4 Kosten der Anlage

Die Kosten der Rauchgasnachbehandlungsanlage belaufen sich auf ca. 25.000 €.

Somit kostet die Rauchgasnachbehandlungsanlage ungefähr gleich viel wie die Räucheranlage.

Eine Charge Aktivkoks kostet ca. 500 € (150 kg). Mit einer Charge soll laut Angaben des Vertriebes der Rauchgasnachbehandlung die Abscheidewirkung für 1500 Betriebsstunden gegeben sein.

7 Messung

7.1 Messtag 1: Anlagenprüfung sowie Abscheidegrad Messungen

Ziel der Messung:

Am ersten Messtag wurde sich zuerst mit der Anlage vertraut gemacht, die Anlage für weitere Messungen auf Dichtheit überprüft (Bypassklappe) sowie Messungen zum Abscheidegrad für Kohlenmonoxid sowie org.C gemacht.

Messaufbau:

Messpunkt 1 (MP1) = Reingas

Messpunkt 2 (MP2) = Rohgas

Messpunkt 3 (MP3) = Zum Testen der Bypassklappe (siehe hierzu auch das R&I Schema)

Messablauf:

Alle Messungen wurden während des Programmes „Wienerle“ (Heißräuchern) durchgeführt.

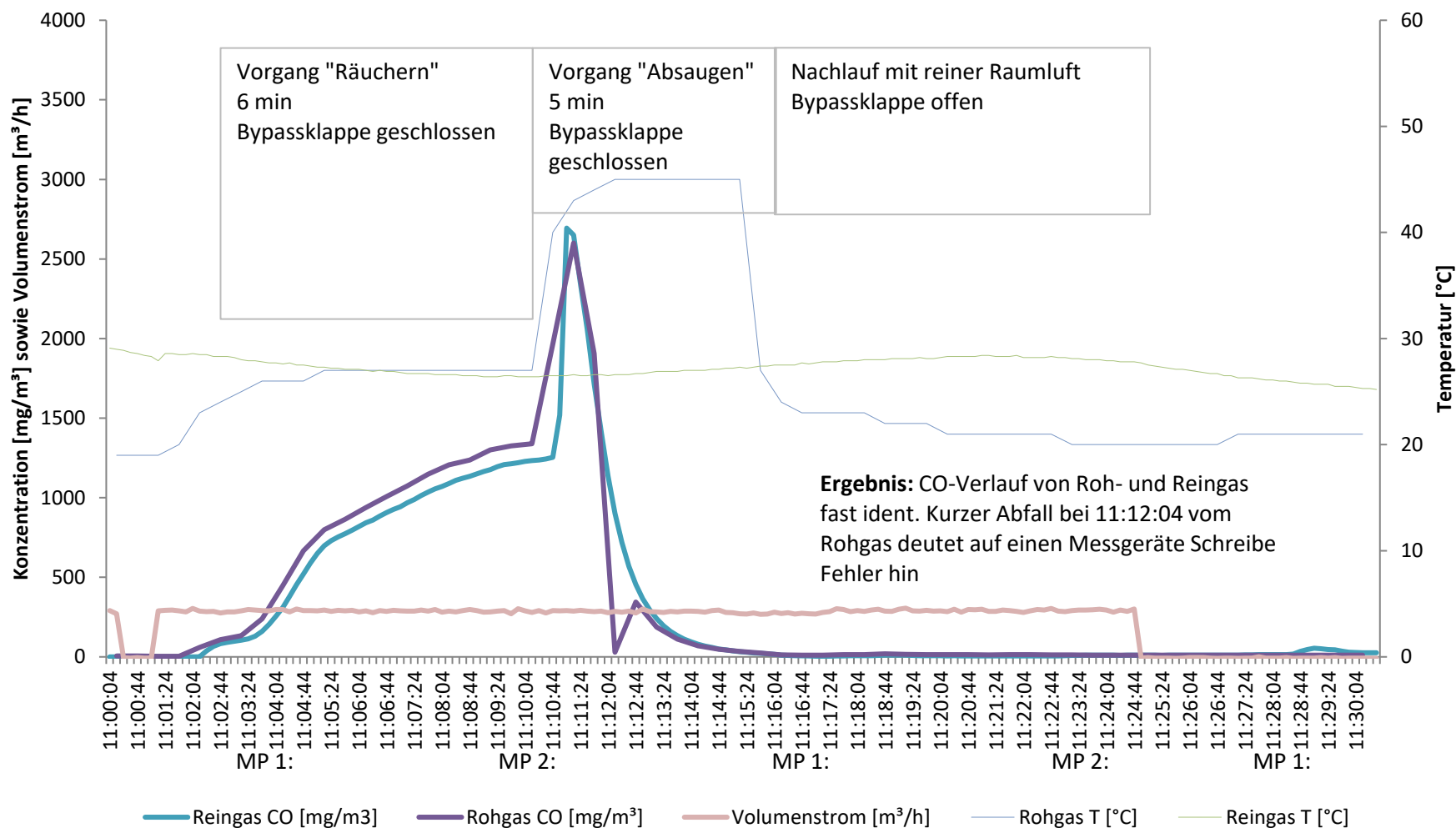
Um den Abscheidegrad der Anlage zu bestimmen (Reingas/Rohgas), wurde vor dem E-Filter (Rohgas, Messpunkt MP2) und nach der Aktivkokseinheit (Reingas, Messpunkt MP1) parallel gemessen.

Hierzu wurde zeitgleich mit zwei Kohlenmonoxid Messgeräte bzw. zeitgleich mit zwei org. C (FID) Messgeräte aufgezeichnet.

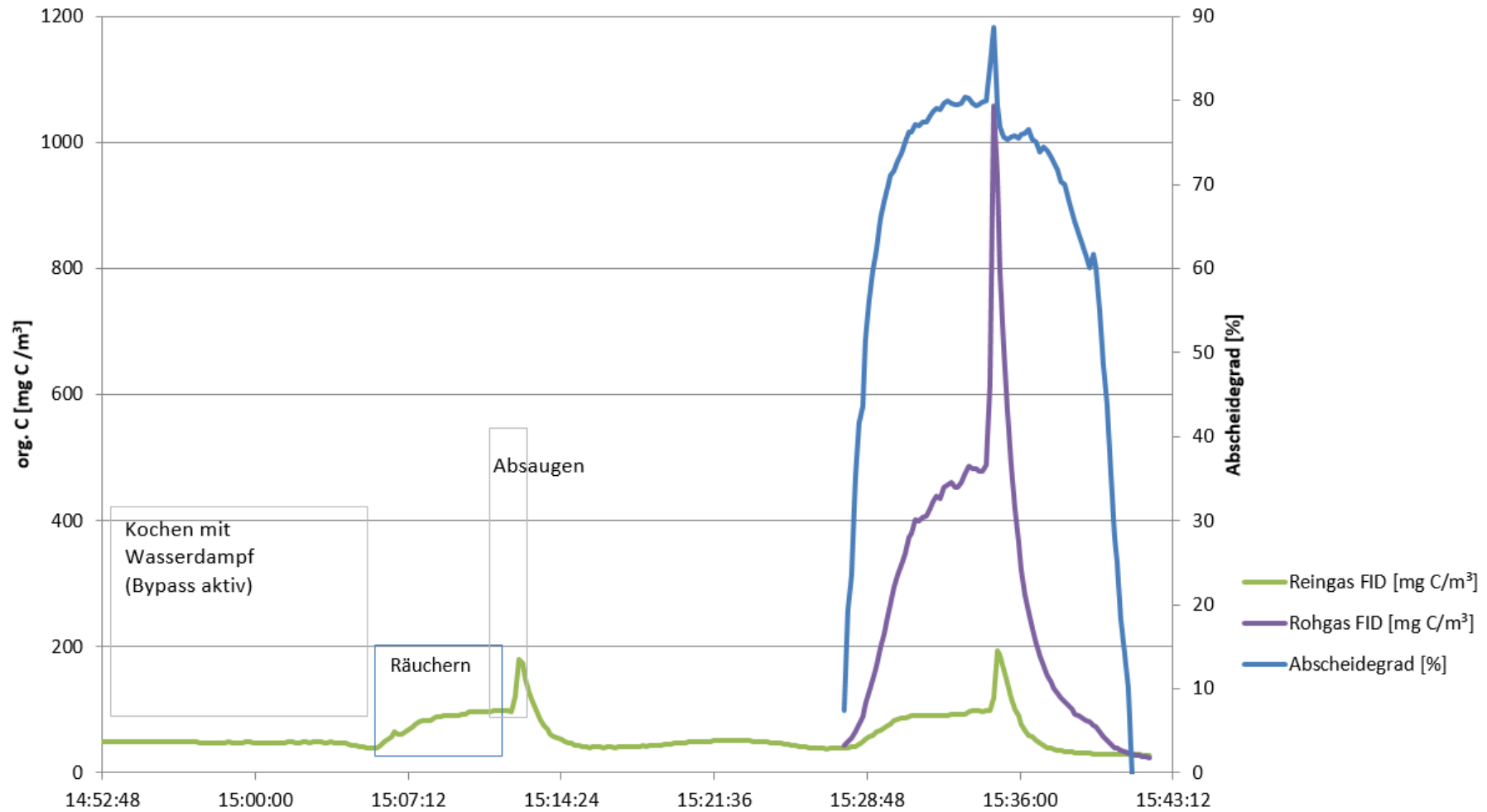
Für die Dichtheits-Überprüfung der Bypassklappe wurde ein CO-Messgerät fix am Messpunkt MP3 positioniert. Das zweite CO-Messgerät wurde sowohl auf die Rohgasseite (Messpunkt MP2) als auch während der Messung auf der Reingasseite (Messpunkt MP1) gegeben.

Der Volumenstrom wurde bei den Messungen auf der Reingasseite (Messpunkt MP1) gemessen. Dieser weist konstant $\sim 290 \text{ m}^3/\text{h}$ auf und besteht zum größten Teil aus Raumluft (ca. 5:1). Im Programmpunkt „Absaugen“ der Räucheranlage wird der Lüfter der Räucherammer aktiviert ($\sim 40 \text{ m}^3/\text{h}$) welcher das Rauchgas in der Kammer über die Rauchgasnachbehandlung führt.

Rohgas und Reingas, CO Messung (RBR)



Rohgas und Reingas, orgC Messung (FID)



Fazit Messtag1:

Die Bypassklappe war ausreichend dicht und ließ eine Messung, um den Abscheidegrad zu beurteilen, zu. Wie zu erwarten war, ist ein Abscheiden von Kohlenmonoxid durch den Efilter + Aktivkoksfilter nicht gegeben. Bezüglich org.C war aber ein Abscheiden von bis zu 80% zu beobachten.

7.2 Messtag 2: FID und Geruchsmessung

Ziel der Messung:

Am zweiten Messtag soll eine FID Parallelmessung wie am ersten Tag aufgebaut werden. Zudem soll nun die Geruchsfracht während der FID Messung mittels Olfaktometrie bestimmt werden und mit der FID Messung verglichen werden.

Messaufbau:

Messpunkt 1 (MP1) = Reingas FID und Reingas Geruchsprobe

Messpunkt 2 (MP2) = Rohgas FID und Rohgas Geruchsprobe

Messablauf:

Die FID Messung wurde analog zu Messtag 1 getätigt.

Bei der Geruchsmessung wurden die Probenbeutel im Modus „Rauch“ und „Absaugen“ des Rauchprogramm „Wienerle Heißbräuchern“ parallel zur FID Messung gefüllt. Diese Messung wurde laut Norm (EN 13725) durchgeführt. Bezüglich Olfaktometrie wird auf Punkt 5.1.4 dieser Arbeit verwiesen.

Abscheidegrad FID Messung:

Messung	Messzeit	Rohgas orgC [mg/m ³]	Reingas orgC [mg/m ³]	Abscheidegrad [%]
Während	07.06.2018			
S1 (MP2)	10:13 – 10:18	1177	469	60
S2 (MP2)	10:28 – 10:33	1355	584	57
S3 (MP1)	10:44 – 10:49	1310	562	57
Gemittelt		1281	538	58

Die Geruchsmessung erzielte folgende Ergebnisse:

Messnummer	GE/m ³ Einzelwert	GE/m ³ Mittelwert	Messpunkt
S1 (MP2)	124'000	99'000	Rohgas vor der
S2 (MP2)	74'000		Abgasnachbehandlung
S3 (MP1)	66'000	68'000	Reingas nach der
S4 (MP1)	69'000		Abgasnachbehandlung

Zur Bestimmung der emittierten Geruchsfracht wurde mit dem vom Hersteller der Räucheranlage genannten Abluftstrom von ~300 m³/h die Geruchsfracht berechnet.

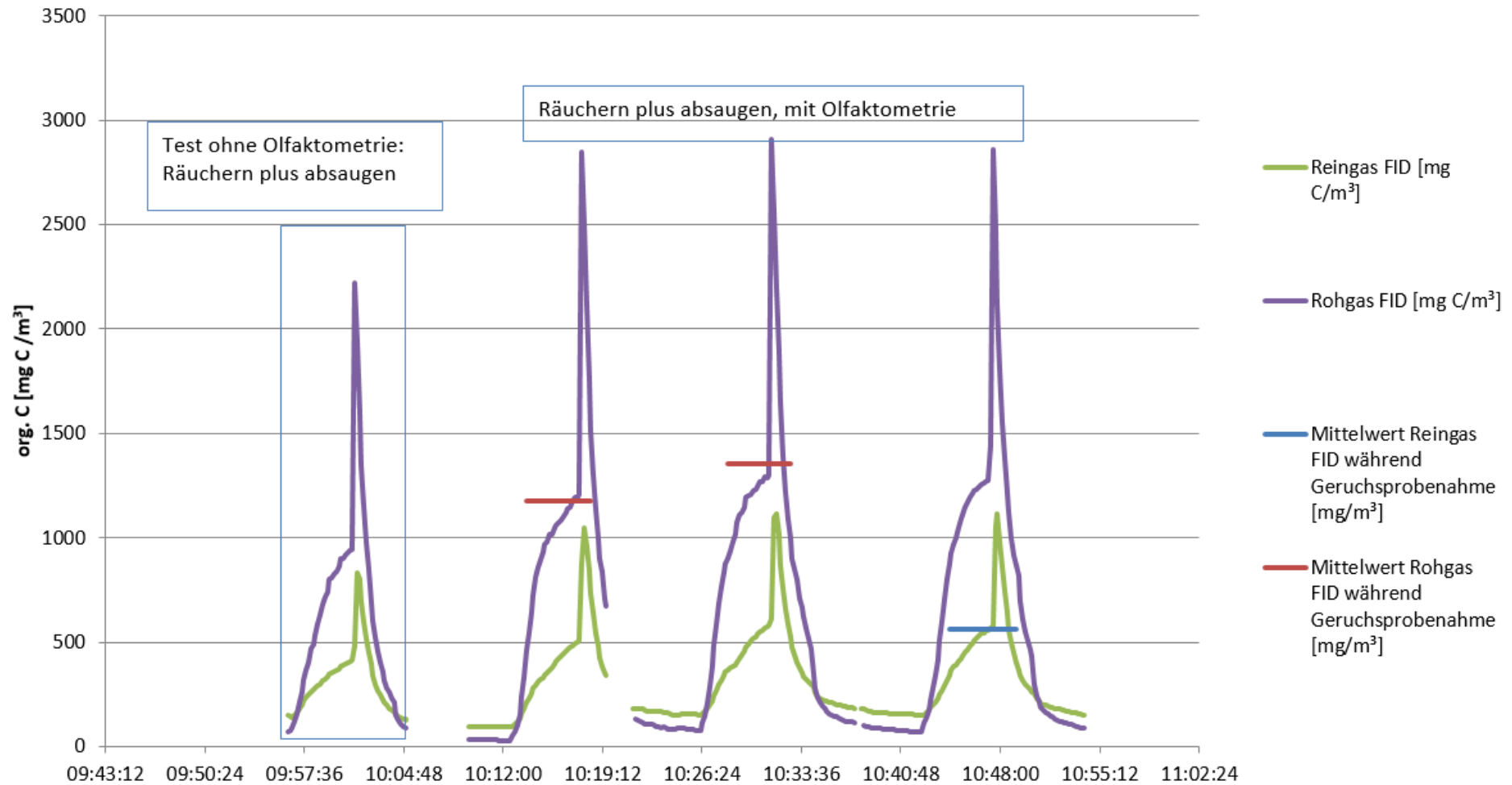
Die Geruchsfracht berechnet sich durch eine Multiplikation der Geruchseinheiten mit dem Abluftvolumenstrom.

Ergebnisse Geruchsfracht:

Rohgas vor der Abgasnachbehandlung: ~23 MGE/h

Reingas nach der Abgasnachbehandlung: ~16 MGE/h

FID Messung: Reingas, Rohgas





Fazit Messtag 2:

Der Abscheidegrad an org. C wurde während der Geruchsprobennahme, der Zeitraum mit den am höchsten zu erwartenden Emissionen (Absaugen der Anlage), bestimmt und betrug durchschnittlich 58%. Da in dieser Zeit der Volumenstrom konstant ist, trifft dies sowohl für die Konzentration als auch die Massenfracht zu.

Für die emittierte Geruchsfracht konnte eine Minderung von ca. 30 % bei der Anlage ermittelt werden.

8 Resümee und Schlussfolgerungen

Die Ziele der Arbeit konnten aus unsere Sicht wie erwünscht umgesetzt werden.

Diesbezüglich wurden die lufthygienisch relevanten Emissionen der Räucherammer (org. C sowie Geruchseinheiten) analysiert.

Die erzielten Ergebnisse der FID Messung entsprechen den Erwartungen an eine Rauchgasnachbehandlung für eine Räucherammer.

Die Geruchsabscheiderate ist nach Einschätzung mit der konzipierten Rauchgasnachbehandlung im unteren Bereich des Möglichen angesiedelt. Diesbezüglich kann jedoch mit Aktivkohle anstatt Aktivkoks wahrscheinlich noch optimiert werden. Dies wäre aber mit entsprechenden Kosten, aufgrund des Preisunterschiedes von Aktivkohle/Aktivkoks verbunden.

Gesamthaft betrachtet war es eine sehr interessante und abwechslungsreiche Aufgabe diese Anlage in lufthygienischer Hinsicht zu untersuchen.



9 Literaturverzeichnis / Referenzen

[1] Emissionen aus Räucheranlagen, die Einhaltung des Bundesemissionsschutzgesetzes, der TA-Luft und der VDI 2595 bzw. der evtl. abweichenden Vorschriften über Emissionen und Immissionen, H.Maurer + Söhne, 1986; Seite 2-12

[2] Charles E. Mortimer, Ulrich Müller; Das Basiswissen der Chemie, 10. Auflage, ISBN 978-3-13-484312-5; Kapitel Elektrochemie, Seite 512ff

[3] ÖNORM EN 12619, Austrian Standards Institute, Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs - Kontinuierliches Verfahren mit dem Flammenionisationsdetektor, 2013; Seite 6

[4] ÖNORM EN 13725, Austrian Standards Institute, Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchskonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsemissionsrate stationärer Quellen, 2019; Kapitel 5 und 6; Seite 26-36