



Theresa Evert

erwarb 2020 die Fachhochschulreife am Friedrich-Gymnasium in Altenburg. Direkt im Anschluss entschied sie sich für das Duale Studium in der Vertiefungsrichtung Umwelttechnik an der Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie in Riesa, welches sie im September 2023 mit der folgend beschriebenen Bachelorthesis erfolgreich abschloss. Praxispartner war die Müller-BBM Industry Solutions GmbH in Dresden-Langebrück. Aktuell (2024) ist sie dort, neben ihrem berufs begleitenden Diplomstudium, als Messingenieurin für Luftreinhalteung beschäftigt.

Kontakt: everttheresa@gmail.com



Dipl.-Ing. (BA) Ines Wehner

Nach dem Abitur am Gymnasium Riesa-Weida Studium an der Berufsakademie Sachsen in der Studienrichtung Technischer Umweltschutz (1996-1999) und Abschluss als Diplom-Ingenieurin (BA), seit 1999 Laboringenieurin und seit 2009 Laborleiterin an der Staatlichen Studienakademie Riesa im Studiengang Labor- und Verfahrenstechnik.

Arbeits- und Forschungsschwerpunkte: Allgemeine sowie anorganische und organische Chemie, Analytische Trennmethode, Element- und Umweltanalytik, Instrumentelle Analytik, Umweltmesstechnik, Fermentation, Arbeitsschutz, Strahlenschutz, Forschung & Entwicklung

Kontakt: ines.wehner@ba-sachsen.de

Überprüfung des Wirkungsgrades eines Nasselektrofilters im Abgas eines Holzspänetrockners im Hinblick auf die organischen Bestandteile

Theresa Evert/Ines Wehner

Abstract

Im Herstellungsprozess von Holzfaserplatten entstehen Emissionen, die überwacht und gemessen werden müssen. Neben Staub treten flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen (engl. volatile organic carbon, VOC) auf, die teilweise grenzwertbehaftet sind und daher mithilfe von Abgasreinigungstechniken reduziert werden sollen. Zu dieser Technik gehört unter anderem ein Nasselektrofilter (engl. wet electrostatic precipitator, WESP), der im Fokus dieser Untersuchung liegt. Bei bereits vollzogenen Emissionsmessungen im Reingas der Anlage wurden immer wieder hohe Gesamtkohlenstoffwerte (engl. total volatile organic carbon, TVOC) ermittelt, als deren Hauptbestandteile sog. Terpene festgestellt wurden. Da diese bisher nur im Roh- und Reingas betrachtet wurden, sollten die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit auf die im Nasselektrofilter anfallenden Matrices (Wasser und Schlamm) ausgeweitet werden. Ziel sollte es sein herauszufinden, ob und in welchem Ausmaß es hierbei zu einer Anreicherung der Terpene kommt. Im Falle einer zu verzeichnenden Anreicherung

The fiberboard manufacturing process generates emissions that must be monitored and measured. In addition to dust, volatile hydrocarbon compounds (VOCs) are produced, which are subject to regulatory limits and should be reduced by means of abatement techniques. This technology includes a wet electrostatic precipitator (WESP), which is the focus of this study. Previous emission measurements in the plant's clean gas have repeatedly shown high levels of total volatile organic carbon (TVOC). The main components are terpenes. So far, these have only been measured in the raw and clean gas. In the context of this work, the investigations were extended to the matrices produced in the WESP (water and sludge). The aim was to find out if and to what extent the terpenes accumulate in the water or sludge of the WESP. In case of accumulation, the emission measurements should be investigated. Otherwise, if there is no significant accumulation, the high terpene levels found in the clean gas would seem plausible. Furthermore, the effectiveness of the WESP with res-

müsste eine Prüfung der Abgasuntersuchungen vorgenommen werden. Kommt es andernfalls zu keiner signifikanten Anreicherung, würden die hohen ermittelten Terpenwerte im Reingas plausibel erscheinen. Des Weiteren wäre die Wirkungsweise des WESP in Bezug auf die betrachteten Parameter in Frage zu stellen.

Im Zuge der Analysen konnte eine Anreicherung weder im Schlamm noch im Wasser nachgewiesen werden. Der WESP reduziert deutlich den Faser- bzw. Staubgehalt im Abgas, jedoch nicht die organischen Bestandteile wie bspw. die Terpene. Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit liefern wichtige Grundlagen und Anhaltspunkte für eine weitere Erforschung des Themas.

Abkürzungen

BlmSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
CE	capillary electrophoresis (Kapillarelektrophorese)
FID	Flammenionisationsdetektor
HS-GC-MS	Headspace-Gaschromatographie-Massenspektrometrie
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TVOC	total volatile organic carbon (gesamte flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen)
VOC	volatile organic carbon (flüchtiger organischer Kohlenstoff)
WESP	wet electrostatic precipitator (Nasselektrofilter)

Einleitung

Ausgangspunkt für die in dieser Arbeit betrachtete Thematik ist die Holzbearbeitungsindustrie zur Herstellung von Holzfasertafeln. Auf Grund von Emissionen im Herstellungsprozess müssen Produktionsanlagen Anforderungen erfüllen, u. a. regelmäßige Messwerte erheben und Grenzwerte nach BlmSchV (Bundes-Immissionsschutz-Verordnung) und TA-Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) einhalten. Um entstehende Emissionen möglichst gering zu halten, werden neben einer kontinuierlichen Überwachung häufig integrierte oder nachgeschaltete Minderungsstechniken eingesetzt.

In der vorliegenden Anlage kamen dabei zwei Zyklone sowie ein Nasselektrofilter zum Einsatz, die vorwiegend zur Reinigung der Trocknerabgase eingesetzt werden. Bei zuvor durchgeführten Emissionsmessungen wurden dabei Messwerte ermittelt, welche die Wirksamkeit der Abgasreinigungseinrichtung nicht abschließend darstellen konnten. Enorme Schwankungen der Messwerte sowie die Überschreitung von Grenzwerten des Parameters Gesamtkohlenstoff stellten die größten Herausforderungen dar. Um die Werte des Gesamtkohlenstoffs zu bewerten, müssen die Kohlenstoffquellen des Ausgangsmaterials betrachtet werden. Dabei fallen sog. Terpene in den Fokus, welche hier nahezu 80 % des Gesamtkohlenstoffwertes ausmachen und wesentlicher Betrachtungspunkt dieser Arbeit sind.

pect to the parameters considered should be questioned.

During the analyses, no accumulation of terpenes could be detected in the sludge or in the water. The WESP significantly reduces the fiber or dust content in the flue gas, but not the organic components such as terpenes. The results of this study provide an important basis for further research on this topic.

Motivation

Ziel und Hauptschwerpunkt der Arbeit sollte die Entwicklung einer geeigneten Methode zur Quantifizierung der Terpene im Schlamm und Wasser des WESP (engl. wet electrostatic precipitator) sein. Mittels verschiedener Schlamm- und Wasserproben, welche parallel zu den Emissionsmessungen an der Anlage entnommen wurden, konnte eine Analysemethoden an der HS-GC-MS (Headspace-Gaschromatographie-Massenspektrometrie) ausgearbeitet werden, um enthaltene Terpene qualitativ und quantitativ bestimmen zu können. Mit diesen Analysen sollen erste Aussagen zu einer Bilanzierung der Terpene sowie dem Wirkungsgrad des WESP bezüglich dieser vorgenommen werden.

Terpene

Der Begriff „Terpene“ leitet sich vom „Terpentin“, dem sog. Kieferharz ab und wurde bereits 1863 von A. Kekulé eingeführt. Insgesamt gibt es über 8.000 bekannte Terpene und weitere 30.000 verwandte Terpenoide, welche eine wichtige Rolle in verschiedenen biologischen Prozessen wie der Photosynthese, Zellmembranbildung, Hormonproduktion oder der Abwehr von Krankheitserregern spielen. [7]

Terpene sind Naturstoffe, die weitgehend von Pflanzen, aber auch von Pilzen, Bakterien oder Insekten hergestellt werden und zählen zu den sekundären Pflanzenstoffen. Diese sind zwar nicht überlebens-

notwendig für die Pflanze, trotzdem erfüllen sie wichtige biologische Funktionen. Der Schutz vor Fressfeinden durch unangenehme Gerüche oder bitteren Geschmack oder die Funktion als Signalstoffe zur Anziehung von Bestäubern sind typische Beispiele für diese Verbindungen. Als typische Duft- und Geschmacksstoffe sind sie wichtiger Bestandteil ätherischer Öle. [8]

Chemisch gesehen sind Terpene einfache organische, flüchtige Kohlenwasserstoffverbindungen, die sich auf Isopreneinheiten zurückführen lassen. Synthetisiert werden Terpene über den sog. Mevalonatbiosyntheseweg, welcher in den Plastiden und dem endoplasmatischen Retikulum von Pflanzenzellen stattfindet. Dabei werden Isopreneinheiten, die aus 2-Methylbutan-Einheiten bzw. fünf Kohlenstoffatomen (C5-Einheiten) bestehen, zu Terpenen zusammengesetzt. [6]

Im zur Herstellung von Faserplatten verwendeten Holz – hier vorwiegend von Kiefern – sind eine Vielzahl verschiedener Terpene enthalten, darunter beispielsweise α - und β -Pinen, D-Limonene und β -Caryophyllene. Während des Trocknungsprozesses der Holzspäne und -fasern kommt es zur Freisetzung eines großen Teils der in den Holzzellen gebundenen Terpene. Die Terpenverbindungen zählen zum Parameter Gesamtkohlenstoff bzw. dem TVOC (engl. total volatile organic carbon), welcher in vielen Produktionsanlagen einzuhaltenden Grenzwerten unterliegt und mittels Emissionsmessungen bestimmt wird [9].

Das „schadstoffbeladene“ Rohgas aus dem Holzspänetrockner wird dabei über verschiedene Minderungstechniken gereinigt. Zunächst kommt es in Zyklonen zu einer Vorabscheidung grober Fasern, welche schließlich der Produktion der Faserplatten dienen. Feinere, leichtere Partikel sowie das restliche Abgas gelangen über den inneren aufwärtssteigenden Sekundärwirbel in einen nachgeschalteten Nasselektrofilter. Da aus diesem die in dieser Arbeit untersuchten Proben stammen, soll hier eine kurze Beschreibung der Funktionsweise erfolgen.

Nasselektrofilter

Dort wo Aerosol-Feststoff-Gemische mit relativ hohem Wirkungsgrad abgeschieden werden sollen, werden Nasselektrofilter eingesetzt.

Im Nasselektrofilter wird die Temperatur des Abgases gesenkt, Dämpfe werden absorbiert und Partikel und Tröpfchen abgeschieden. Häufige Anwendung findet er daher bei der Abscheidung von Feinstäuben, Säurenebel, Aerosolen und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Die folgende Abbildung 1 veranschaulicht den Aufbau eines Nasselektrofilters. [2]

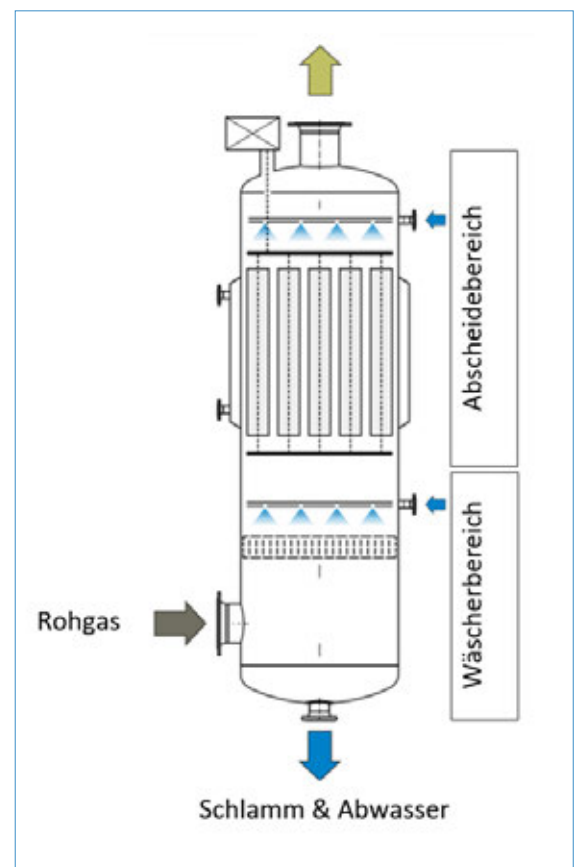


Abbildung 1: Darstellung eines Nasselektrofilters [3]

Das von Zyklonen vorgereinigte Abgas aus dem Trockner gelangt von unten in den Nasselektrofilter (Rohgas), wo es zunächst den Wäscherbereich durchläuft. Dabei kommt es zu einer turbulenten Durchmischung des Gasstroms mit feinen Wassertröpfchen, wodurch das belastete Gas bis zum Sättigungspunkt abgekühlt und von Partikeln $> 2 \mu\text{m}$ befreit wird. Staub und gasförmige Verbindungen können so im Wäscherbereich in die flüssige Phase übergehen. [2]

Das Rohgas strömt anschließend in den darüberliegenden Abscheidebereich des Elektrofilters. Als Abscheidefläche weisen Nasselektrofilter vertikal angeordnete Rohre auf, in deren Zentrum Sprühelektroden (Kathoden) in koaxialer Richtung verlaufen. Mit Anlegen einer negativen Hochspannung (je nach Anlage 20... 80 kV) an die Elektroden wird ein elektrisches Feld zur Rohrwandung hin ausgebildet. Durch Anhaften von Elektronen wird eine elektrische Aufladung und damit Ionisierung der Aerosole und Staubpartikel

bewirkt (siehe Abb. 2). Die negativ geladenen Teilchen, wie Partikel oder Tröpfchen wandern entlang der elektrischen Feldlinien zur positiv geladenen Rohrwandung bzw. Niederschlags- oder Sprühelektrode (Anode) und werden abgeschieden. Durch periodische Feldspülungen wird dabei die Reinhaltung der Niederschlags- und Sprühelektroden gewährleistet. [11]

Durch integrierte Sedimentationseinbauten in den Wassersammelbehältern wird das Sedimentieren der im Wasser enthaltenen Feststoffe ermöglicht und diese können als Schlamm über Zentralschleusen ausgetragen werden [12]. Dabei gibt es zwei Stellen, an denen Schlamm als Abfall anfällt, zum einen am Trommelsieb und zum anderen bei der Flotation. Die Abbildung 3 dient der Veranschaulichung der untersuchten Schlammproben aus dem Nasselektrofilter. Betrachtet wurden dabei die beiden oben genannten Schlämme zu vier verschiedenen Probenahmezeiten über den Messtag verteilt.

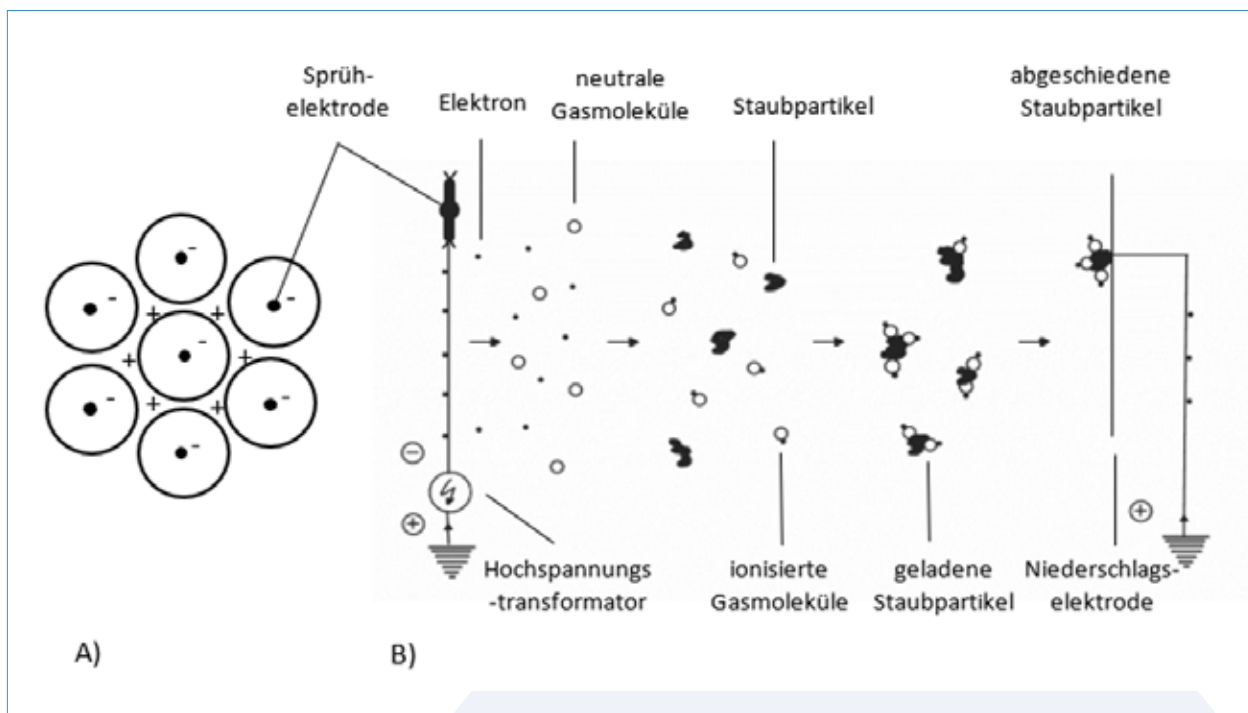


Abbildung 2: Wirkungsweise Nasselektrofilter

- A) Draufblick auf Rohrbündel im Abscheidebereich des WESP;
 B) Darstellung des Abscheideprinzips (in Anlehnung an [4])

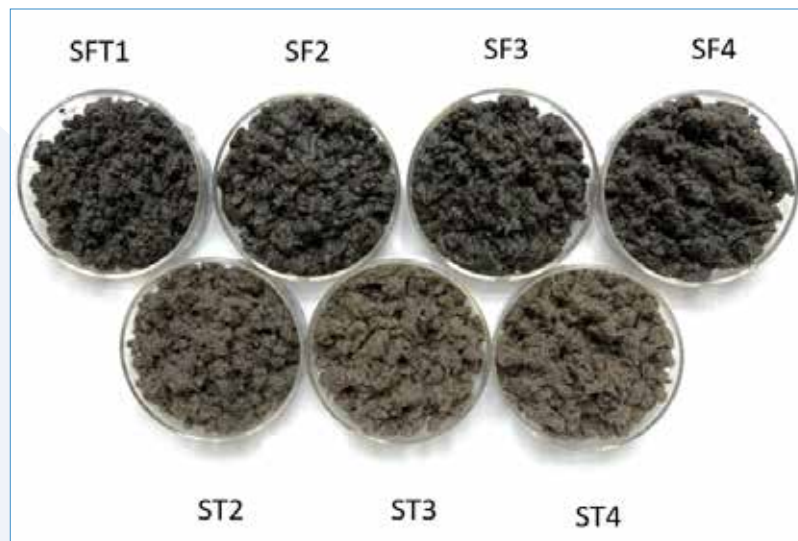


Abbildung 3: Schlammproben des Nasselektrofilters

SF... Schlamm aus der Flotation; ST... Schlamm aus dem Trommelsieb; SFT... Mischprobe

Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Überprüfung der Effizienz der Abreinigung von Terpenen als TVOC aus dem Abgas mittels Nasselektrofilter. Bekannt ist hierbei, dass dieser zwar eine abscheidende Funktion, insbesondere für Stäube, mit sich bringt, jedoch nicht für alle im Abgas enthaltenen Komponenten ein Minderungseffekt erzielt werden kann. Im Zuge dessen ist von Interesse, in welchen Größenbereichen sich der Austrag der organischen Stoffe, insbesondere Terpene, in Medien wie Schlamm und Wasser aus dem Nasselektrofilter befindet.

Auf eine Betrachtung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Emissionsmessungen im Roh- und Reingas wird in diesem Artikel verzichtet. Der Fokus liegt auf den labortechnisch betrachteten Aspekten zur Untersuchung der festen und flüssigen Matrix aus dem Nasselektrofilter.

HS-GC-MS

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit stellte sich nach zahlreichen Vorversuchen die Headspace-Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Kopplung (HS-GC-MS) als geeignete Analyseverfahren für die enthaltenen und hauptsächlich betrachteten Terpene heraus. Headspace steht für Dampfraum. Die Probe (fest oder flüssig) wird in einem Glasgefäß für definierte Zeit bei definierter Temperatur erwärmt. Dabei gehen die Analyten (Terpene) in den Gasraum des Gefäßes über und werden aus diesem in das Analysegerät injiziert. [1]

Zur Untersuchung der Schlämme aus dem Nasselektrofilter wurde dabei auf das Standardadditionsverfahren zurückgegriffen. Hierbei werden verschiedene Level bekannter Konzentrationen eines Standards in Zugabe zur untersuchenden Probe analysiert und zum Erstellen einer Kalibriergerade genutzt (siehe Abb. 4). Level 0 entspricht dabei der Probe ohne Zugabe. Durch eine Verlängerung der Geraden bis zum Schnittpunkt mit der Abszisse lässt sich so die Probenkonzentration ermitteln.

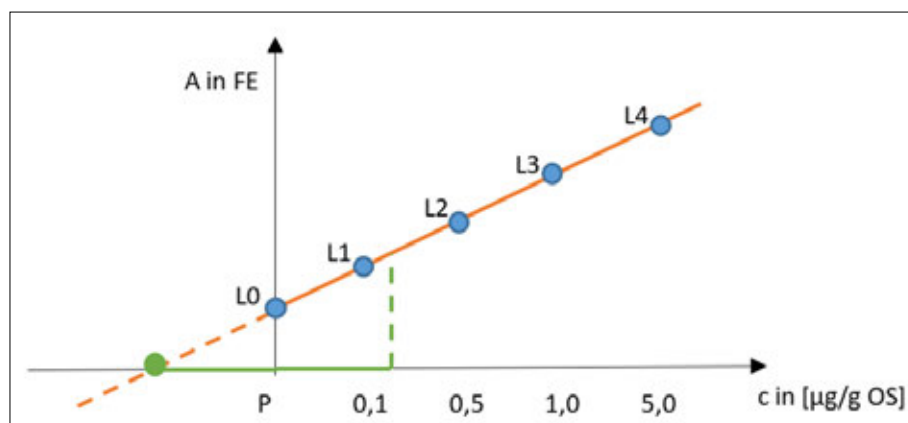


Abbildung 4: Darstellung des Standardadditions-Verfahrens

A... Peakfläche in Flächeneinheiten (FE); LX... Level; P... Probe; c... Konzentration in $[\mu\text{g/g}]$ Originalsubstanz (OS) (in Anlehnung an [13])

Mittels dieses Verfahrens ließen sich zu erwartende Matrixeffekte der verschiedenen Proben vermeiden. Zudem wurde so eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Für eine qualitative und quantitative Analyse wurden zu je 1,000 g Probe 50 µl verschieden konzentrierte Standards (0,1 µg/g, 0,5 µg/g, 1 µg/g, 5 µg/g) zugegeben. Bei der Stammlösung handelt es sich um einen Terpenmix des Herstellers Restek mit 19 Analyten (2500 µg/ml). Zudem erfolgte eine Dreifachbestimmung pro Probe und Konzentrationsstufe.

Kapillarelektrophorese

Als weiterer aufgetretener Gesichtspunkt stellte sich die Frage nach dem Einfluss einer Spannungseinwirkung auf die Terpene. Als mögliche Ursache für erhöhte Gesamtkohlenstoffwerte wurde vermutet, dass der Nasselektrofilter durch eine Spannungseinwirkung von 30-80 kV Molekülverbindungen ändern oder in kürzere Ketten spalten könnte. Diese könnten vom Messgerät zur Ermittlung des Gesamtkohlenstoffs, einem Flammenionisationsdetektor (FID), besser detektiert werden.

Für einen grundlegenden Versuch, ob das Anlegen einer Spannung einen Einfluss auf die Terpenkonzentrationen hat, kam die Kapillarelektrophorese (engl. Capillary electrophoresis, CE) zum Einsatz.

Für erste Spannungsversuche wurde 1 ml eines 5 µg/ml konzentrierten Wasser-Terpen-Standards für 10 min mit dem Anlegen von 30 kV (maximal möglich) in der CE behandelt. Die positive Elektrode lag dafür am Eingang der Kapillare. Zur Vergleichbarkeit wurde je eine Probe vor und nach der Behandlung im HS-GC-MS analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Mittels HS-GC-MS wurde eine geeignete Methode ausgearbeitet, um Terpene in den Schlamm- und Wasserproben aus dem Nasselektrofilter sowohl qualitativ als auch quantitativ zu bestimmen. Eine Analyse der in den Proben enthaltenen Terpene beschränkte sich auf die im Standard beinhalteten Analyten, wie in Abbildung 5 dargestellt wurde.

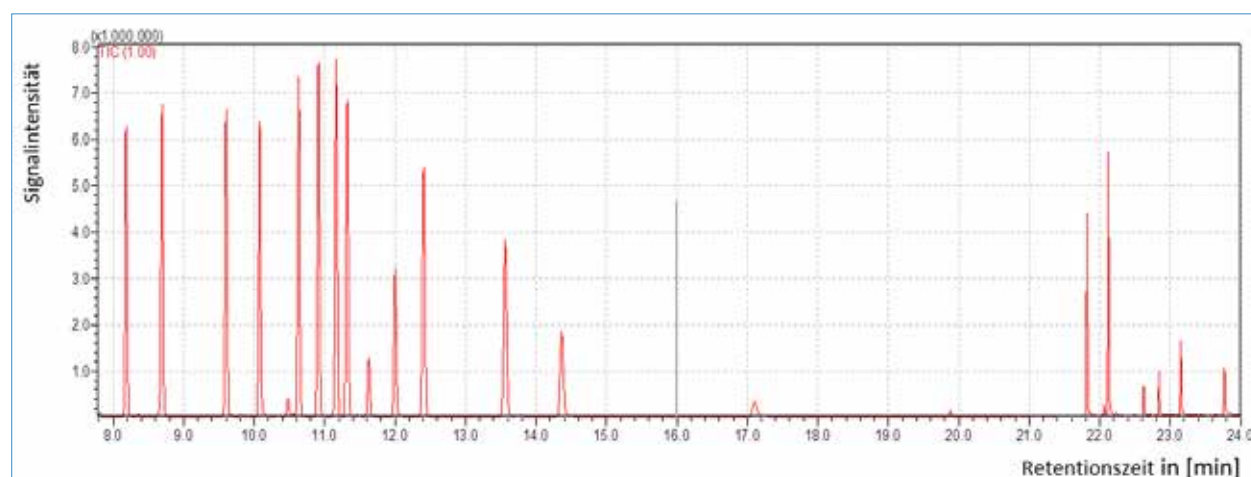


Abbildung 5: Aufnahme des Terpenmix-Standards (5 µg/ml)

α-Pinene (8,20 min); Camphene (8,71 min); (-)-β-Pinene (9,62 min); β-Myrcene (10,09 min); δ-3-Carene (10,65 min); α-Terpinene (10,93 min); p-Cymene (11,17 min); d-Limonene (11,33 min); Ocimene: 28 % cis-β-Ocimene (11,70 min), 72 % trans-β-Ocimene (12,01 min); γ-Terpinene (12,42 min); Terpinolene (13,57 min); Linalool (14,37 min); (-)-Isopulegol (17,01 min); Geraniol (19,90 min); β-Caryophyllene (21,88 min); α-Humulene (22,12 min); Nerolidol (22,80 min); (-)-Guaiol (23,10 min) (Guaiene), (-)-α-Bisabolol (23,75 min)

Nachgewiesen werden konnten dabei α-Pinene, Camphene, β-Pinene, β-Myrcene, 3-Carene, p-Cymene, D-Limonene, Terpinolene, β-Caryophyllene sowie α-Humulene. Alle wiesen je nach Probe schwankende und sehr niedrige Konzentrationen bis max. 4,5 µg/g auf. In den untersuchten Wasserproben konnten nicht mehr als 0,01 µg/ml an Terpenen nachgewiesen werden. Aus diesen Werten wird ersichtlich, dass es innerhalb dieser Matrices zu keiner wesentlichen Anreicherung der Verbindungen kam. Diese Aussage kommt hauptsächlich durch den

Vergleich zu den im Roh- und Reingas ermittelten Konzentrationen zustande (mittels Screening-Methode). Hierbei wurden Werte zwischen 5 und 400 mg/m³ an einzelnen Terpenen ermittelt. In Gegenüberstellung zu den Konzentrationen in der flüssigen und festen Matrix erscheinen diese um ein Vielfaches höher. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass es sich bei den Terpenen um hydrophobe und wasserdampfflüchtige Verbindungen handelt [10]. Somit wäre auch theoretisch der größte Teil im Abgas zu vermuten.

Eine Bilanzierung aller ermittelten organischen Stoffe (Gesamt-C, Formaldehyd, org. Säuren, Terpene) am WESP ergab eine durchschnittliche Reduzierung von nur 14 % (Vergleich Roh- & Reingas). Im Vergleich dazu eignete sich der WESP mit über 90 % Reinigungseffizienz für Stäube im Abgas sehr gut. Als wichtige Aussage kann hierbei festgehalten werden, dass sich der Nasselektrofilter im vorliegenden Fall im Wesentlichen nicht für eine signifikante Verringerung von VOC bzw. Terpenen eignet. Um eine Reduzierung des grenzwertbehafteten Gesamtkohlenstoffs zu erzielen, müssten dafür noch weitere Reinigungstechniken nachgeschaltet werden, wie z. B. der Einsatz von Aktivkohlefiltern oder einer Regenerativen Thermischen Oxidation, bei der die Abgase in unschädliche Bestandteile umgewandelt werden (CO₂ und Wasser).

Eine weitere, zu testende Möglichkeit wäre die Verringerung der Trocknertemperatur – mit steigender Trocknertemperatur nimmt der Ausstoß an Gesamt-C deutlich zu [5].

Der Versuch eine Spannungseinwirkung auf eine Standardlösung (1 ml, 5 µg/ml) mittels Kapillarelektrophorese zu simulieren, brachte folgende Beobachtung: Schon durch Einwirkung von 30 kV auf diese Lösung ließ sich eine Veränderung in den Peakhöhen erkennen. Die folgende Abbildung 6 präsentiert eine Gegenüberstellung des Standards vor (rot) und nach (blau) der Einwirkung von Spannung (vergrößerter Ausschnitt).

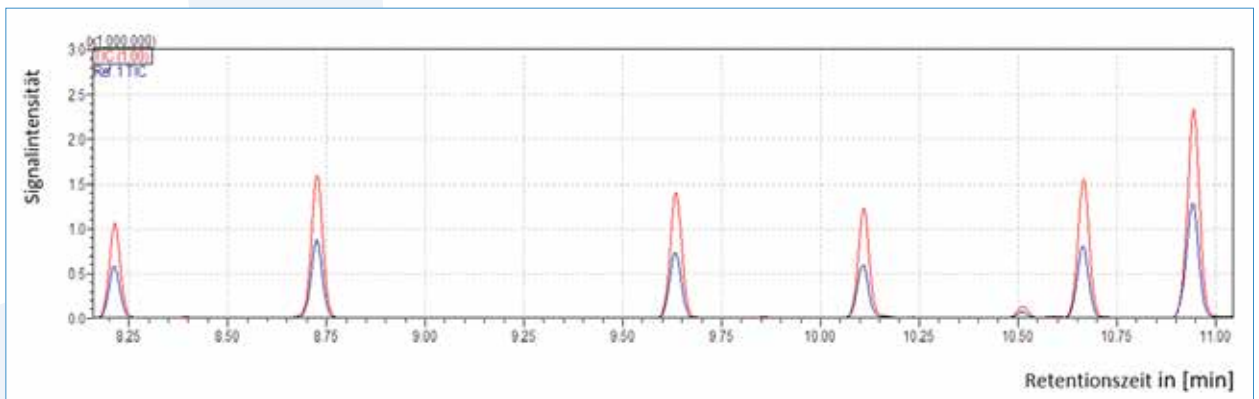


Abbildung 6: Vergleich Standard vor und nach Spannungseinwirkung an der CE (30 kV)

rot: vor Spannungseinwirkung; blau: nach Spannungseinwirkung (Ausschnitt: 8 – 11,2 min)

Deutlich zu erkennen ist, dass bei allen Peaks eine Flächenreduzierung nach der Spannungseinwirkung zu verzeichnen ist, was bedeutet, dass es zu einer Konzentrationsverringerung der Terpene in der Probe gekommen ist. Auf eine genaue Konzentrationsuntersuchung wurde aus Zeitgründen verzichtet. Angenommen werden könnte daher, dass sich ähnliche Phänomene auch im WESP abspielen könnten. Allein diese Beobachtung stellt die Beurteilung der Reinigungseffizienz des Nasselektrofilters in Frage, da die Beeinflussung und Wechselwirkung der einzelnen Komponenten zum bisherigen Zeitpunkt nicht klar sind.

Die Frage, die sich hierbei jedoch stellt, ist, wohin diese Terpendifferenzen wandern. Wurde durch die Spannungseinwirkung tatsächlich der Terpengehalt reduziert oder befinden sich diese eventuell an oder in der Gefäßwand des benutzten Probengefäßes? Was für Beobachtungen könnten unter WESP-Bedingungen mit 60-80 kV, einer Anpassung des Feuchtegehaltes oder Variation des pH-Wertes (Leitfähigkeit) usw. gemacht werden? Fragestellungen wie diese müssen also in umfangreicheren Aufbauversuchen erforscht werden und dienen als Ausblick für weitere Untersuchungen.

Fazit

In dieser Arbeit wurde die Wirkungsweise eines Nasselektrofilters im Abgas eines Holzspänetrockners untersucht. Hauptfokus lag dabei auf der Betrachtung der organischen Stoffe, welche bei den Emissionsmessungen unter dem Parameter Gesamtkohlenstoff aufgenommen werden und häufig Grenzwerten unterliegen. Vermutlich größten Einfluss auf diese Messung zeigten im Holz enthaltene bzw. im Trocknungsprozess austretende Terpene. Neben durchgeführten Emissionsmessungen zu verschiedenen Parametern im Roh- und Reingas des Nasselektrofilters gelang es, eine Methode zur Identifizierung und Quantifizierung von Terpenen in Schlamm- und Wasserproben zu entwickeln. Die ermittelten Terpenkonzentrationen waren sehr gering und vernachlässigbar klein im Vergleich zu den ermittelten Konzentrationen im Abgas. Der verwendete Nasselektrofilter scheint sich also (unter den hier angewandten Bedingungen) nicht für eine signifikante Verringerung der Terpenkonzentrationen und damit zur Reduzierung der Gesamtkohlenstoffwerte zu eignen. Die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Spannungsversuche an der CE zeigten eine Beeinflussung der Konzentrationen durch Spannungseinwirkung. Hier lassen sich Folgeuntersuchungen ableiten, um den Wirkungsgrad des Nasselektrofilters optimieren zu können. Eine finale Einschätzung des Wirkungsgrades der Anlage konnte zum bisherigen Zeitpunkt noch nicht vorgenommen werden.

Die Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit liefern wichtige Grundlagen und Anhaltspunkte für eine weitere Erforschung des Themas. Ziel sollte es bei Folgeuntersuchungen sein herauszufinden, was mit den Terpenen unter den im Nasselektrofilter herrschenden Bedingungen passiert, wie diese optimal in den verschiedenen Matrices quantitativ erfasst sowie wie der Ausstoß dieser verringert werden kann.

Literatur

- [1] Agilent Technologies Inc.: Headspace Sampling Fundamentals; Headspace Sampling for GC – The Basics. [Online] Verfügbar unter: <https://www.agilent.com/en/product/gas-chromatography/gc-sample-preparation-introduction/what-is-headspace> (Zugriff am: 18.05.2023).
- [2] Alino Industrieservice GmbH (Hg.): Aerosolabscheider; Nass-Elektrofilter. [Online] Verfügbar unter: <https://www.alino-is.de/Nass-Elektrofilter.html> (Zugriff am: 17.05.2023).
- [3] Alino Industrieservice GmbH (Hg.): Nass-Elektrofilter (WESP) [Online] Verfügbar unter: https://www.alino-is.de/upload/pdf/ALINO-IS_Nass-Elektrofilter_-_WESP.pdf. (Zugriff am: 17.05.2023).
- [4] Alt, B. & Klüh, D., Gaderer, M.: Development of an online monitoring method for electrostatic precipitators on commercial biomass combustion plants. In: Biomass Conversion and Biorefinery 11:1965–1975. Springer, 24.12.2019. DOI: 11. 10.1007/s13399-019-00579-y.
- [5] Becker, M.; Mehlhorn, L.: Einfluß der Trocknungsbedingungen auf Emissionen bei der Holzspänetrocknung, 12.02.2016. DOI: 10.1007/s001070050073.
- [6] Brandt, A.: Was sind Terpene? [Online] Verfügbar unter: <https://www.gesundheitszentrale.eu/wiki/terpene> (Zugriff am: 27.04.2023).
- [7] Breitmaier, E.: Terpene; Aromen, Düfte, Pharmaka, Pheromone, 2. vollst. überarb. u. erw. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH, 2012.
- [8] Cornelius De Luca: Was sind Terpene? Und was hat das mit CBD zu tun?, 20.07.2021. [Online] Verfügbar unter: <https://cbd360.de/terpene/> (Zugriff am: 27.04.2023).
- [9] Die Bundesregierung: Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021; Punkt 5.4.6.3. [Online]. Verfügbar unter: https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm.
- [10] Marutzky, R.: Untersuchungen zum Terpenegehalt der Trocknungsgase von Holzspänetrocknern; Holz als Roh- und Werkstoff 36, 1978. DOI: 10.1007/BF02608286.
- [11] Meuer, F.: Sicheres Filtern von Schadstoffen; Komponenten für Nasselektrofilter. [Online] Verfügbar unter: <https://linings.steuer.de/de/produkte/nasselektrofilter.html> (Zugriff am: 15.05.2023).
- [12] Scheuch GmbH: Nasselektrofilter. [Online] Verfügbar unter: <https://scheuch-industrial-solutions.com/produkte-loesungen/abgasreinigung/nasselektrofilter/> (Zugriff am: 17.05.2023).
- [13] VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL): DIN 38402-51:2017-05 - Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 51: Kalibrierung von Analyseverfahren - Lineare Kalibrierfunktion (A 51), ICS 13.060.50: Beuth Verlag GmbH, 05.2017.