

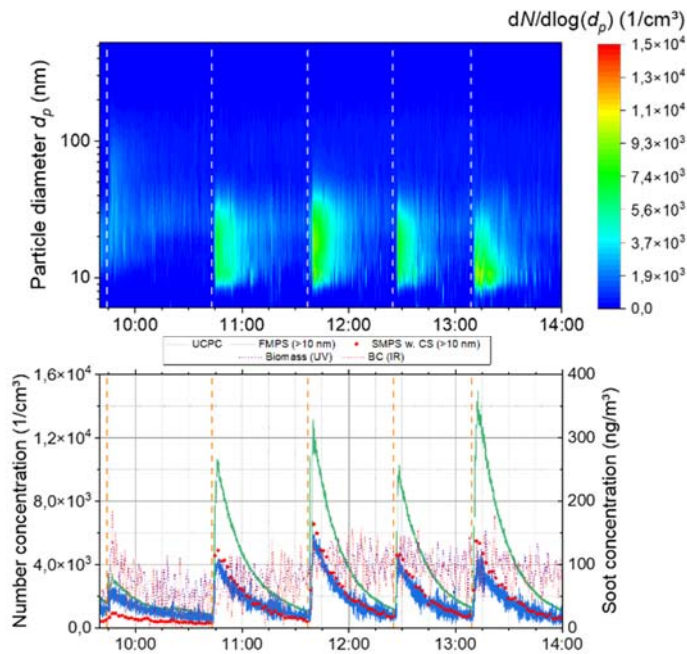
## **Untersuchung der Freisetzung partikulärer und gasförmiger Luftschadstoffe aus Kaminöfen in den Innenraum (PAGALUKA)**

Holzbeheizte Kaminöfen erfreuen sich seit geraumer Zeit großer Beliebtheit. Der Betrieb von Kaminöfen gilt dabei als weitgehend klimaneutral, sofern sichergestellt ist, dass abgeerntete Bäume nachhaltig und mindestens gleichwertig wieder aufgeforstet werden. Während die Schornsteinemissionen von Kaminöfen mittlerweile intensiv untersucht wurden und bereits verschiedene Maßnahmen zur Emissionsminderung verfügbar sind, standen die Emissionen aus Kaminöfen in den Innenraum bisher nicht im Fokus der Forschung. Aus diesem Grund hat IUTA gemeinsam mit der Firma skantherm GmbH in Oelde das durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderte Projekt PAGALUKA gestartet, in dem die Freisetzung von gas- und partikelförmigen Luftschadstoffen in den Innenraum untersucht werden soll. Der Projektstart war am 01. Januar 2023 und in ersten Messkampagnen an einem freistehenden 6 kW Ofen in einer eigens hierfür hergerichteten Messkammer bei skantherm konnten bereits wichtige Erkenntnisse zur Schadstoffemission gewonnen werden. Hierbei kamen u. a. ein Kondensationspartikelzähler (CPC) zur Bestimmung der gesamten Anzahlkonzentration von Partikeln  $> 2,5$  nm, eine Kombination aus einem Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) und einem optischen Aerosolspektrometer (OAS) zur Messung der Anzahlgrößenverteilung von Partikeln mit Größen zwischen  $5,6$  nm und  $> 10$   $\mu$ m sowie ein Aethalometer zur Bestimmung der Rußkonzentration aus Biomasse und als schwarzen Kohlenstoff (BC) eingesetzt. Darüber hinaus wurden Partikel auf Filtern für die nachfolgende chemische Analyse sowie der Bestimmung des ROS-Bildungspotenzials eingesetzt. Eine mögliche Freisetzung gasförmiger Schadstoffe wurde durch Sammlung auf Tenax für die anschließende Analyse per Thermodesorptions-Gaschromatographie/Massenspektrometrie (TD-GC/MS) gewährleistet.

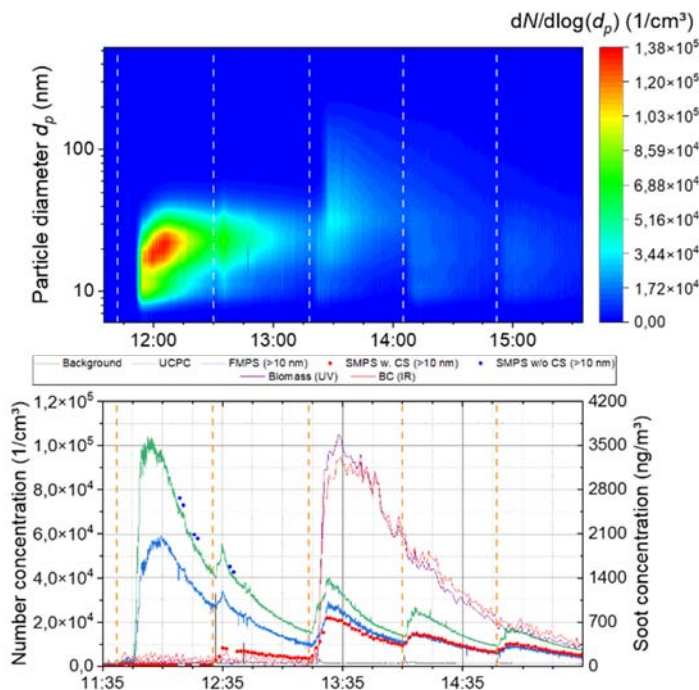
Die Ergebnisse zeigen, dass bei ordnungsgemäßem Betrieb eines Kaminofens eine direkte Freisetzung von Partikeln aus dem Brennraum nicht nachweisbar ist. Allerdings kann es wenige Minuten nach dem Nachlegen von Holz zur Partikelneubildung durch Nukleation kommen. Diese ist anhand der hohen Anzahlkonzentrationen sehr kleiner Partikel (ca.  $10$  nm) deutlich erkennbar. Erhöhte Rußkonzentrationen als eindeutiger Marker für Partikelemissionen aus der Brennkammer konnten jedoch nicht festgestellt werden. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse eines typischen Versuchsdurchlaufs mit fünf Abbränden bei vollständig ordnungsgemäßer Bedienung des Kaminofens.

Es wird vermutet, dass die gasförmigen Vorläufersubstanzen für die Nukleation während des Nachlegens aus dem Brennraum entweichen. Durch Verwendung eines Catalytic Stripper konnte gezeigt werden, dass diese neugebildeten Partikel nahezu vollständig volatil sind. Die Partikelneubildung war insbesondere dann sehr stark ausgeprägt, wenn die Scheibe des Ofens zuvor mit Glasreiniger oder einem anderen Reinigungsmittel gereinigt wurde, da sich dann beim Aufheizen des Ofen Rückstände des Reinigers verflüchtigen. Während im regulären Betrieb die Anzahlkonzentration in der Messkammer auf max. ca.  $15.000$   $1/\text{cm}^3$  stieg, lag die max. Konzentration nach der Reinigung der Scheibe bei etwa  $100.000$   $1/\text{cm}^3$ . Allerdings konnte auch in diesem Fall kein Ruß festgestellt werden und die Partikel waren nahezu ausschließlich volatil (siehe Abbildung 2). Während dieses Versuchsdurchlaufs kam es allerdings während des Holznachlegens gegen 13:20 Uhr tatsächlich zu einer Partikelfreisetzung aus dem

Brennraum, die an den gestiegenen Rußkonzentrationen ersichtlich ist. Diese Freisetzung ist darauf zurückzuführen, dass es während der Versuchsdurchführung draußen stürmisch war und es daher zu einem Überdruck im Kamin kam, sodass das Rauchgas nicht abgeführt wurde.

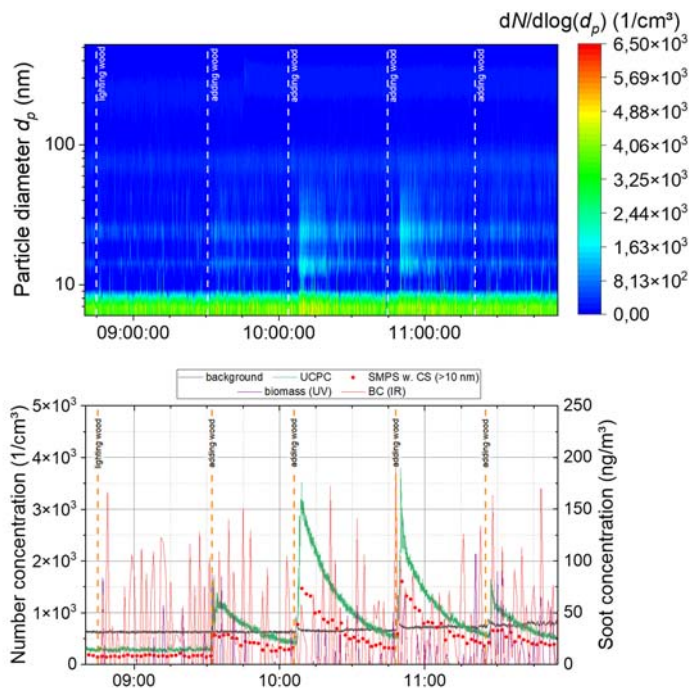


**Abb. 1:** Ergebnisse während einer Messung bei ordnungsgemäßem Betrieb des Kaminofens; oben: Anzahlgrößenverteilung als Kontourdiagramm, unten: Zeitreihen der unterschiedlichen Partikelkonzentrationen; gestrichelte Linien geben die Zeitpunkte des Anzündens bzw. Holznachlegens wieder.



**Abb. 2:** Anzahlgrößenverteilung (oben) und verschiedene Partikelkonzentrationsmaße (unten) nach vorheriger Reinigung der Glasscheibe.

Bei den Untersuchungen wurde auch überprüft, inwieweit ein im Kamin installiertes Absauggebläse, ein sogenannter Exhauster, die Schadstofffreisetzung verringern kann. Exhauster werden typischerweise eingesetzt, um den Kamineffekt beim Anzünden oder bei ungünstigen Wetterlagen zu verstärken. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz des Exhausters während des Nachlegens von Holz den Unterdruck im Kamin soweit erhöht, dass die Emission der gasförmigen Vorläufersubstanzen für die Nukleation weitgehend unterbunden werden kann, sodass es später zu keiner ausgeprägten Partikelneubildung kommt und die Partikelkonzentrationen im Raum maximal etwa  $3.800 \text{ 1/cm}^3$  erreichen (Abbildung 3), was in der Größenordnung typischer Konzentrationen in der Außenluft liegt.



**Abb. 3:** Anzahlgrößenverteilung (oben) und verschiedene Partikelkonzentrationen (unten) bei Verwendung des Exhausters.

Die bisher durchgeführten Messungen zeigen zudem, dass die Verwendung eines Abgaskatalysators zur Minderung der Emissionen in die Außenluft keinen merklichen Einfluss auf die Emissionen in den Innenraum hat.

Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit der Einsatz eines Raumlufthereinigers die Innenraumluftqualität bei Betrieb eines Kaminofens verbessern kann. So konnte gezeigt werden, dass ein Raumlufthereiniger zwar die Spitzenkonzentrationen bei Einsetzen der Nukleation oder bei einem etwaigen Entweichen von Partikeln aus der Brennkammer kaum beeinflusst. Allerdings sorgt der Luftreiniger für eine wesentlich schnellere anschließende Reduktion der Konzentration, sodass die Exposition der Nutzer des Raums deutlich reduziert wird. Zu Vergleichszwecken wurden zudem Messungen beim Abbrand einer Kerze sowie eines Teelichts durchgeführt. In beiden Fällen überstiegen die Partikelkonzentrationen im Raum deutlich selbst die höchsten durch den Kaminofen erzeugten Konzentrationen. Während die durch das Teelicht generierten Partikel fast vollständig volatil waren, erzeugte die Kerze eine sehr hohe Konzentration an Ruß, die um einen Faktor von etwa 20 höher lagen als durch die durch Fehlbedienung des Ofens hervorgerufenen Konzentrationen.

In den folgenden Projektschritten sollen nun noch weitere Kaminöfen unterschiedlicher Bauart sowie die Verwendung verschiedener Holzarten untersucht werden. Schließlich

münden die Erkenntnisse des Forschungsprojekts in die Formulierung von Handlungsanweisungen für einen möglichst emissionsarmen Betrieb von Kaminöfen sowie in Konstruktionsempfehlungen für Kaminöfen mit geringer Emission von Luftschadstoffen in den Innenraum.

*Förderhinweis:*

*Das Projekt PAGALUKA wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen des Förderaufrufs „Saubere Verbrennung von festen Biobrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen (KFA) mit sehr geringen Schadstoffemissionen“ im Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe gefördert und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe administrativ begleitet.*

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.