Masterarbeit

Kontinuierliche Bestimmung der Partikelemissionen bei der Scheitholzfeuerung durch KI-basierte Auswertung von Temperaturen und Gaskonzentrationen

Eugen Kirschmann, M.Sc.

Zusammenfassung

Die Verbrennung von Holz leistet einen relevanten Beitrag zur Wärmeversorgung, ist jedoch mit dem Ausstoß von Feinstaub und gasförmigen Schadstoffen verbunden. Da direkt am Ofen durchgeführte Partikelmessungen (z.B. mit einem schnell arbeitenden Aerosol-Partikelgrößenmessgerät auf Basis der differentiellen elektrischen Mobilitätsanalyse, wie dem DMS500 von Cambustion) äußerst zeit- und kostenintensiv sowie nicht für den dauerhaften Alltagsbetrieb geeignet sind, fehlt es an praktikablen On-Board-Diagnosesystemen. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, einen datengetriebenen Ansatz zu entwickeln, der aufwändige Messverfahren durch einfache, robuste Basissensoren und Machine-Learning-Verfahren (KI) substituiert, um den zeitlichen Verlauf der Partikelemissionen kontinuierlich und echtzeitfähig abzubilden.

Die Rohdaten wurden an einer typischen Scheitholzfeuerung in den Betriebsphasen Nachlegen, Anfeuern und Ausbrand erfasst. Dabei wurde die Sensorik auf fünf fundamentale Betriebsgrößen (Temperaturen an drei Stellen, Sauerstoffgehalt und Kohlenmonoxid-Konzentration) reduziert. Die Vorhersage der Aerosolemission erfolgte über das Automated-Machine-Learning-Framework AutoGluon, welches kategoriale Zustandsphasen und numerische Sensordaten in gestackten Ensembles (z.B. Gradient Boosted Trees, neuronale Netze) verarbeitet.

Die Untersuchungen bewiesen, dass komplexe physikalische Messverfahren durch eine Software-Sensorik (Virtual Sensing) substituiert werden können. Zwar lässt sich der Partikeldurchmesser (CMD) isoliert nur bedingt vorhersagen, der für die Umweltbelastung relevantere kombinierte Zielwert AMC × CMD (mit der modalen Aerosolkonzentration AMC) wird jedoch über die Zeitreihe hinweg sehr gut abgebildet.

Das entwickelte KI-Modell ist nicht auf teure Laboranalytik beschränkt, sondern kann mit handelsüblichen, dauerhaft am Kaminofen betreibbaren Sensoren realisiert werden. Dies eröffnet künftig die Möglichkeit, bedarfsgesteuerte Regelungssysteme (z.B. intelligente Luftzufuhr, adaptive Filter oder Edge Computing) auf Basis von Echtzeit-Emissionsprognosen zu entwickeln, um Holzfeuerungen aktiv sauberer zu betreiben.

Kontakt:
Prof. Dr.-Ing. Ralf Moos
Telefon: +49 921 55 7401
E-Mail: funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de