

Reale Emissionen aus Pelletkesseln

Die Lastzyklus-Methode

von SABINE FELDMIEIER, CLAUDIA SCHÖN und DR. HANS HARTMANN: **Das Heizen mit Holz liegt im Trend. Automatisch beschickte Pelletkessel bieten einen vergleichbaren Komfort wie Gas- oder Ölkessel, jedoch wird bei der Verbrennung von Pellets ein nachwachsender Rohstoff eingesetzt. Unter konstanten Betriebsbedingungen fallen die gemessenen Luftschadstoffemissionen bei Pelletkesseln teilweise sehr gering aus. Diese niedrigen Emissionen werden im realen Betrieb bei einigen Kesseln nicht erreicht, was sich bei der Anwendung der neu entwickelten Lastzyklus-Methode zeigt.**

Hochwertige Biomassekessel werden aktuell gefördert, um den Anteil der regenerativen Energieträger im Wärmebereich zu steigern. Derzeit sind bereits circa 382 000 Pelletkessel mit einer Leistung von unter 50 kW in Deutschland in Betrieb [1]. Jedoch stellt sich die Frage: wie sauber sind diese Biomassekessel, vor allem die Pelletkessel, im realen Betrieb? Hierzu wurde eine praxisnahe Prüfmethode zur Beurteilung der Effizienz und des realitätsnahen Emissionsverhaltens von Pelletkesseln entwickelt und über das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 22038918) im Rahmen des Forschungsprojekts „CycleTest“ gefördert.

Die bisherigen Typenprüfungen an Pelletkesseln nach EN 303-5 [2] berücksichtigen nur konstante Zustände eines Teillast- oder eines Nennlastbetriebs unter Verwendung eines Brennstoffs, auf welchen der Pelletkessel optimal eingestellt ist. Dies spiegelt jedoch nicht den realen Betrieb eines Pelletkessels in einem typischen Benutzeralltag wider, denn es werden weder der Kaltstart noch der Lastwechsel oder der Ausbrand eines Kessels messtechnisch erfasst. Auch kann so ein taktender, das heißt ein Ein-Aus-Betrieb eines Kessels bei einer niedrigen Leistungsanforderung mit der bisherigen Typenprüfmethode nicht beurteilt werden. Somit war es das Ziel, eine Messmethode zu

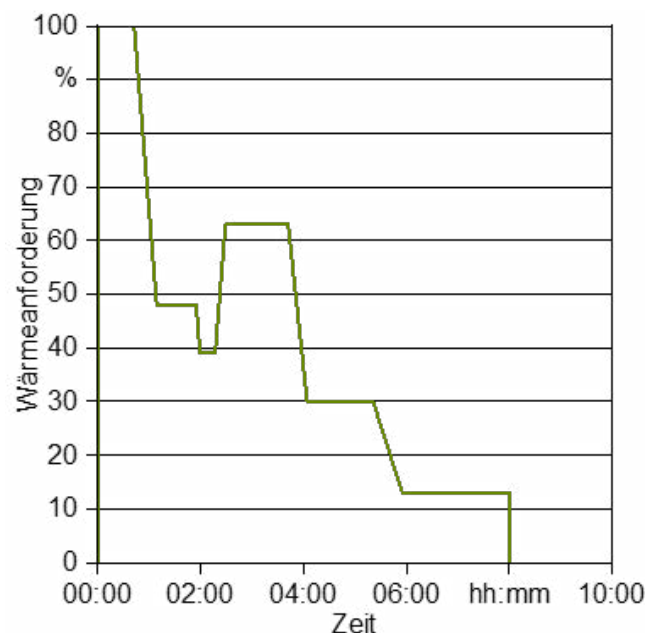
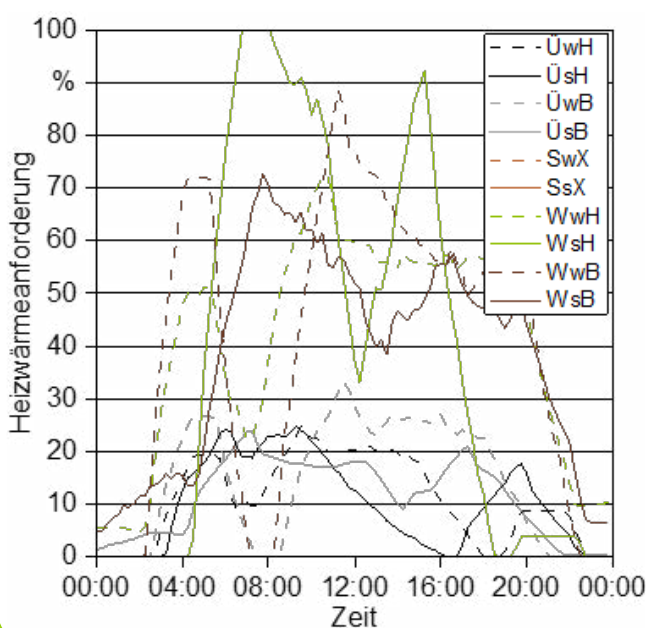


Abbildung 1: Wärmebedarfskurven nach VDI 4655:2019 (links) sowie das daraus proportional abgeleitete Standardlastprofil (rechts)
 Jahreszeiten: W__ = Winter, Ü__ = Übergang, S__ = Sommer; Wochentag: _w_ = Werktag, _s_ = Sonntag; Wetter: __H = heiter, __B = bewölkt

entwickeln, welche die dynamischen Veränderungen am Kessel berücksichtigt und so das reale Ganzjahresverhalten eines Kessels innerhalb eines einzigen Prüftages beschreiben kann.

Worauf beruht die Lastzyklus-Methode?

Basierend auf den Wärmebedarfskurven der VDI 4655:2019 [3] wurde unter Berücksichtigung unterschiedlicher Jahreszeiten, Wetterbedingungen und Wochentage (siehe Abbildung 1, links) ein Standardlastprofil mit einer Dauer von acht Stunden entwickelt. Damit kann die Charakteristik der Wärmeanforderung an einen Biomassekessel während eines Jahres verkürzt an einem Versuchstag nachgebildet werden. Durch die Vorgabe dieser dynamischen Wärmebedarfskurve (siehe Abbildung 1, rechts) anstelle einzelner konstanter Laststufen muss die Kesselsteuerung autonom das Betriebsverhalten des Kessels regeln.

Abhängig von der Variabilität seiner Kesselsteuerung und seiner thermischen Trägheit agiert jeder automatisch beschickte Biomassekessel unterschiedlich auf den angeforderten Wärmebedarf. Da Zündphase, Lastwechsel und Ausbrand integrale Bestandteile des Kesselbetriebs nach der Lastzyklus-Methode sind, wird bei der dynamischen Messung das reale Verhalten der Feuerungen in der Praxis nahezu ideal und vollständig abgebildet.

Nach der Entwicklung des Ablaufs einer Lastzyklusprüfung erfolgte die Erprobung der Machbarkeit für diverse Kesseltypen und eine Methodenoptimierung. Außerdem wurden sämtliche Anforderungen für den Versuchsaufbau und den Versuchsablauf festgelegt. Das beinhaltet u. a. die erforderliche Messtechnik und deren Genauigkeit, Eigenschaften des Prüfbrennstoffs sowie die Entwicklung einer einheitlichen Auswertungsmethode, bei der auch die Qualität der Messdaten anhand unterschiedlicher Kriterien (z. B. Toleranzen bei der gemessenen Kohlenstoff-Bilanz) überprüft wird. Für eine korrekte Energiebilanz ist es dabei unter anderem wichtig, dass der auf der Plattformwaage stehende Kessel vor dem Start auf eine Referenztemperatur vorgeheizt und nach Abschluss aller Messungen ebenfalls

Parameter, Einheit	Holzpellets
Wassergehalt, %, ar	7,0
Aschegehalt, %, d	0,34
Schüttdichte, kg/m ³ , ar	688
Heizwert, kJ/kg, d	18 843
Kohlenstoffgehalt, %, d	50,5
Wasserstoffgehalt, %, d	6,3
Stickstoffgehalt, %, d	0,07
Kaliumgehalt, mg/kg, d	417

Tabelle: Eigenschaften der verwendeten Holzpellets der Klasse ENplus A1, d – trocken, ar – im Anlieferungszustand

wieder auf die gleiche Referenztemperatur aufgeheizt bzw. abgekühlt wird.

Welche Pelletkessel kamen zum Einsatz?

Im Rahmen der Untersuchungen und der Methodenentwicklung kamen acht Pelletkessel verschiedener Hersteller zum Einsatz. Dabei waren die Kessel 01, 02 und 03 mit Brennwertechnik ausgestattet, während die anderen Kessel keinen Abgaskondensationsbetrieb ermöglichten. Die Nennwärmeleistung betrug dabei zwischen 14 und 17 kW und Kessel 08 hatte einen elektrostatischen Staubabscheider zur Verringerung der Staubemissionen integriert. Die Brennstoffzufuhr erfolgte entweder über einen Abwurf, von unten

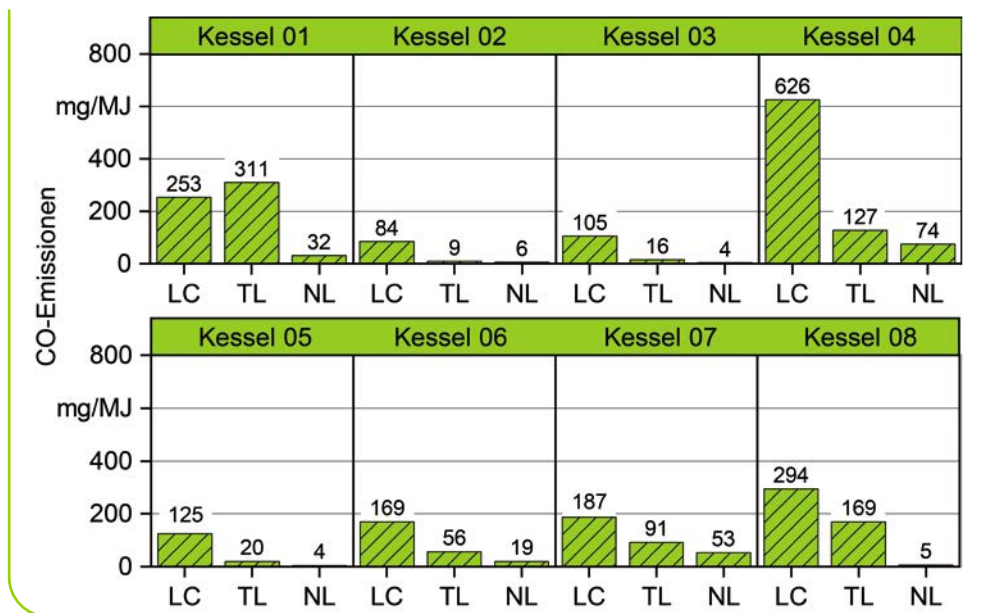


Abbildung 2: Kohlenmonoxid-Emissionen während des Betriebs von acht verschiedenen Pelletkesseln LC – Lastzyklus-Methode, TL – Typenprüfung nachgestellt bei Teillast, NL – Typenprüfung nachgestellt bei Nennlast

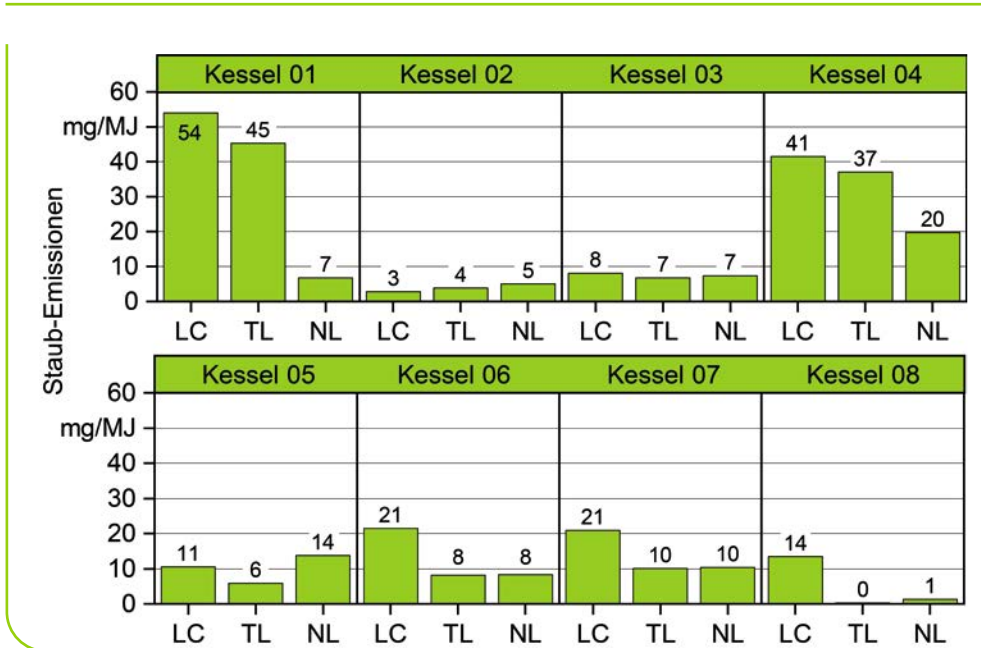


Abbildung 3: Staubemissionen während des Betriebs von acht verschiedenen Pelletkesseln
 LC – Lastzyklus-Methode, TL – Typenprüfung nachgestellt bei Teillast, NL – Typenprüfung nachgestellt bei Nennlast

oder mit seitlichem Einschub der Pellets, so dass eine große Bandbreite derzeit verfügbarer Technologien vertreten war. Alle Pelletkessel waren mit einem ausreichend großen Vorratsbehälter ausgestattet.

Für alle Messungen kamen Holzpellets der Klasse ENplus A1 zum Einsatz, welche im Vorfeld homogenisiert wurden, um Brennstoffeinflüsse auf die Emissionen ausschließen zu

MJ, *Abbildung 2*. Zum Teil deutlich höhere CO-Emissionen wurden während des Teillastbetriebs bei circa 30 Prozent Kesselleistung ermittelt. Die höchsten CO-Emissionen traten fast immer im Lastzyklus auf (außer Kessel 01). Das liegt vor allem an der Berücksichtigung des Kesselstarts, der Leistungsveränderung, aber auch an den erforderlichen Neustarts während dieser achtstündigen Messung. Diese Ergebnisse spiegeln das reale Kesselverhalten wider.

Die Staubemissionen waren während des stationären Nennlastbetriebs gleich hoch oder etwas höher als im Teillastbetrieb und lagen zwischen 1 und 20 mg/MJ, *Abbildung 3*. Bei Kessel 01 und Kessel 04 waren die Staubemissionen während des Teillastbetriebs auffällig hoch. Im Gegensatz dazu hatte Kessel 05 bei Nennlast signifikant höhere Staubemissionen als bei Teillast. Wegen des integrierten elektrostatischen Staubabscheiders bei Kessel 08 sind dessen Staubemissionen sehr niedrig. Während des Betriebs nach

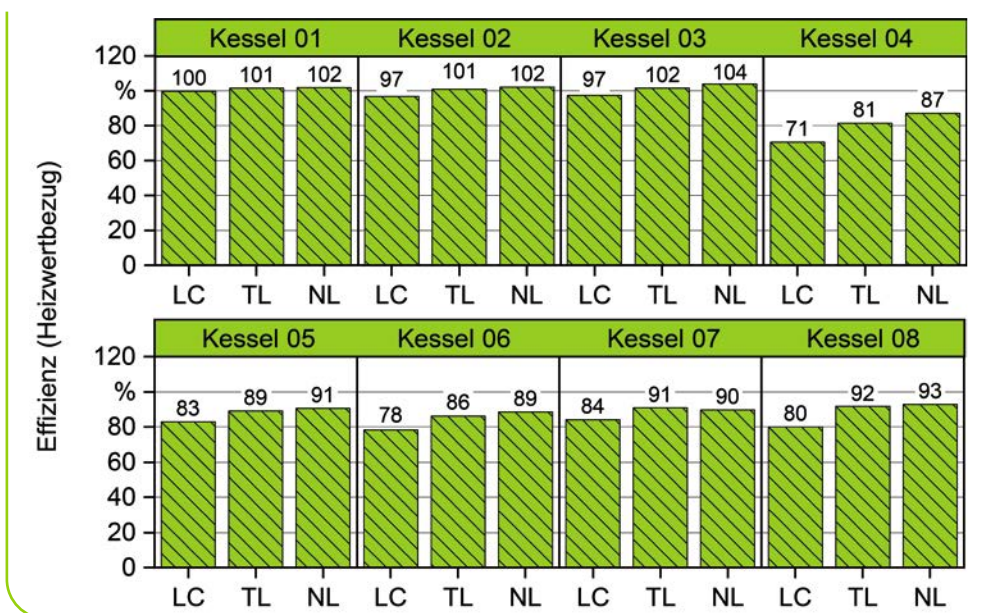


Abbildung 4: Effizienz während des Betriebs von acht verschiedenen Pelletkesseln
 LC – Lastzyklus-Methode, TL – Typenprüfung nachgestellt bei Teillast, NL – Typenprüfung nachgestellt bei Nennlast

der Lastzyklus-Methode wurden für die Kessel 02 und 03 keine erhöhten Staubemissionen festgestellt, da diese offensichtlich sehr gut auf den eingesetzten Brennstoff eingestellt waren und über eine gute Verbrennungsregelung verfügten. Ansonsten wurde während der realen Messung überwiegend erhöhte Staubemissionen festgestellt.

Abschließend soll die Effizienz, d. h. der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad der Kessel während der verschiedenen Prüfmethoden beurteilt werden. Erwartungsgemäß lag diese Effizienz bei den drei Brennwertfeuerungen (Kessel 01, 02 und 03) in der Nähe von 100 Prozent bzw. im stationären Betrieb sogar bei über 100 Prozent, bezogen auf den unteren Heizwert des Pelletbrennstoffs, *siehe Abbildung 4*. Unter Nennlastbedingungen war die Effizienz im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten fast durchweg am höchsten, bei sehr geringen Unterschieden zur Teillastmessung. Im Lastzyklus zeigten aber vor allem die Kessel 04 und 08 einen klaren Abfall der Effizienz im Vergleich zur Nenn- und Teillast, hier war die Energieausbeute um 13 bis 16 Prozentpunkte niedriger.

Zusammenfassung

Es zeigt sich, dass die entwickelte Lastzyklus-Methode geeignet ist, um das Kesselbetriebsverhalten bei dynamischer Wärmeanforderung darzustellen, d. h. die Methode ermöglicht die realitätsnahe Bestimmung von Emissionen und Wirkungsgraden. Anhand der erarbeiteten Datenbasis bestehend aus Messungen an acht unterschiedlichen automatisch beschickten Pelletkesseln wird der praktische Nutzen der neuen zusätzlichen Prüfmethode für eine differenziertere Heizkesselbewertung im Vergleich zur aktuellen Prüfmethode gemäß DIN EN 303-5 offenbar, denn im realen Kesselbetrieb werden wie im Praxiseinsatz höhere Emissionen freigesetzt und der Wirkungsgrad sinkt. Bei der Entwicklung von Kesselregelungen kann die Lastzyklus-Methode eingesetzt werden, um das Optimierungspotenzial für den Einsatz der Feuerung in der Praxis zu identifizieren und um schon in der Kesselentwicklung die Regler für die Verbrennungs- und Leistungsregelung entsprechend parametrieren zu können. Dadurch sollten die Unterschiede zwischen Typenprüfungsergebnissen und praxisnahen Messungen langfristig sinken.

Infobox: Forschungspartner ...

... zur Entwicklung der neue Prüfmethode:

MARKUS SCHWARZ

BEST – BIOENERGY AND SUSTAINABLE TECHNOLOGIES,
WIESELBURG, ÖSTERREICH
markus.schwarz@best-research.eu

Literatur

- [1] DEUTSCHES PELLETTINSTITUT, Stand Februar 2022: <https://depi.de/p/Pelletfeuerungen-in-Deutschland-aqzgTdFJwz77hk1Vrr3kHy>
- [2] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2021): DIN EN 303-5: Heizkessel – Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nennwärmeleistung bis 500 kW – Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung; September 2021. Berlin: Beuth, 103 Seiten
- [3] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE VDI 4655-1 (2019): Referenzlastprofil von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen – Blatt 1, Düsseldorf, September 2019

SABINE FELDMEIER (OHNE BILD)

ehemals
TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM

CLAUDIA SCHÖN

DR. HANS HARTMANN
TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM
IM KOMPETENZZENTRUM FÜR
NACHWACHSENDE ROHSTOFFE
claudia.schoen@tfz.bayern.de
hans.hartmann@tfz.bayern.de

