

Standzeiten von Oxidationskatalysatoren

Emissionsminderung bei Holzgasmotoren kleiner Leistung



Abb. 1: Generator eines Holzgasmotors der Fa. Spanner Re²

1 Einleitung

Die Technik zur Erzeugung und motorischen Nutzung von Holzgas ist eigentlich lange bekannt. Bis in die frühen 1950er Jahre waren in Deutschland etliche mit Holzgas betriebene Kleinlastwagen im Einsatz bis die Verfügbarkeit von Öl und Gas die Holzgasmotoren verdrängte.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz hat dieser Technik zu einer Renaissance verholfen. Es machte die Stromerzeugung aus Biomasse besonders in kleinen Anlagen attraktiv. Allerdings wurde der Technologiebonus im EEG 2012 für Holzgasanlagen abgeschafft, obwohl die Stromerzeugung mit dem Brennstoff Holz von Wind und Sonne unabhängig ist und einen Beitrag zum Ausgleich des schwankenden Stromangebots durch erneuerbare Energien liefert.

Die ehemalige Nachkriegstechnik hat in den vergangenen Jahren eine lebhaftere Entwicklung erfahren, um sie an heutige Erfordernisse und Ansprüche anzupassen. Nach Auskunft des Fördervereins Erneuerbare Energien e.V. sind derzeit in Deutschland ca. 500 Holzgasmotoren in Betrieb, von denen 300 im letzten Jahr 2012 dazu gekommen sind (Bräkow, 2013).

Bei den meisten Vergaser-Anlagen handelt es sich um Gleichstromvergaser, in denen die Holzhackschnitzel von oben dem Vergaser zugeführt werden. Während der Brennstoff nach unten rutscht, erfolgen Trocknung und Pyrolyse. Im mittleren Teil des Vergasers sind Lufteinlässe eingerichtet, im unteren Teil wird das entstehende Holzgas abgezogen. Während im mittleren Vergaserbereich eine Oxidation des Brennstoffs erfolgt und hohe Temperaturen entstehen, kommt es im unteren Bereich durch Luftmangel zur Reduktion von Kohlendioxid und Wasser, wobei Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff und Methan gebildet werden und die Temperatur im Vergaser um mehrere hundert Grad abfällt (Schmoeckel, 2009).

Darüber hinaus enthält das Holzgas jedoch weitere Komponenten. Damit das Gas im Motor keine Schäden verursacht, müssen die schwerflüchtigen und staubförmig oder kondensiert vorliegenden Teerbestandteile zuvor entfernt werden. Hierfür haben sich filternde Gasreinigungsverfahren durchgesetzt, mit denen eine effektive Abscheidung erreicht wird. Die abgeschiedenen Rückstände können hohe Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen aufweisen (E. Reichle, 2010). Wenn sie nicht anlagenintern verwertet werden können, muss der Entsorgungsweg mit der zuständigen Behörde abgestimmt werden.

Die Produktgasaufbereitung hat neben der Reinigungsfunktion aber auch die Erhöhung der Energiedichte (volumenbezogen) zum Ziel. Hierfür wird das am Vergaseraustritt etwa 600 °C heiße Gas auf unter 100 °C vor Motoreintritt abgekühlt.

Leichtflüchtige Teerbestandteile passieren jedoch die Reinigungseinrichtung und sind nach der Behandlung noch im Produktgas enthalten. Eine aus Sicht der Luftreinhaltung besonders kritische Verbindung ist das krebserzeugende Benzol. Es kann als Leitkomponente für die leichtflüchtigen Teerbestandteile herangezogen werden.

Wichtigste Ursache für die Emissionen von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid (CO) im Motorabgas ist der sog. Motorschlupf: Bestandteile des Holzgases gelangen unverbrannt durch den Motor in das Abgas. Ursachen sind Ventilüberschneidung und hoher Zylinderinnendruck (M. Bauer, 2008), der in den vergangenen Jahren der motortechnischen Entwicklung eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrads ermöglichte. Der Schlupf beträgt nach Angaben in der Literatur etwa 0,7 – 1,5 % (H. Timmerer, 2005).

Die Emissionen an Benzol im Motorabgas erreichen so Konzentrationswerte von 10 bis 30 mg/m³ (Schmoeckel, 2009). Zur Abgasreinigung werden deshalb Oxidationskatalysatoren eingesetzt. Wie die Erfahrungen der letzten zwei bis drei Jahre gezeigt haben, können bei richtiger Auslegung der Katalysatoren auch der in der TA Luft für den Einsatz sonstiger Gase in Motoren genannte Kohlenmonoxid-Emissionswert von 300 mg/m³ sowie der Benzol-Emissionswert von 1 mg/m³ eingehalten werden (Stadtwerke Rosenheim, Egeler, 2013), (Abb2).

Dies bestätigen auch Messungen an den Holzgasmotorenanlagen der Herstellerfirmen Burkhard GmbH (z. B. Messbericht Nr. 110361 der LGA Immissions- und Arbeitsschutz GmbH v. 26.08.2011) und Holzenergie Wegscheid GmbH (z. B. Messbericht Nr. 130210 der LGA Immissions- und Arbeitsschutz GmbH v. 27.03.2013).

Oxidationskatalysatoren unterliegen allerdings Alterungsprozessen, weshalb die Wirksamkeit in Abhängigkeit der Abgasbeschaffenheit und mit der Betriebsdauer nachlässt. Viele Genehmigungsbehörden fordern daher, die Katalysatorfunktion regelmäßig überprüfen zu lassen. Mit geringem Aufwand ist dies zum Beispiel durch Messung der Kohlenmonoxidkonzentration vor und nach Katalysator möglich. Die

Messungen werden bei Anlagen, die nicht nach Bundes-Immissionsschutzrecht genehmigungsbedürftig sind, in der Regel vom Schornsteinfeger durchgeführt.

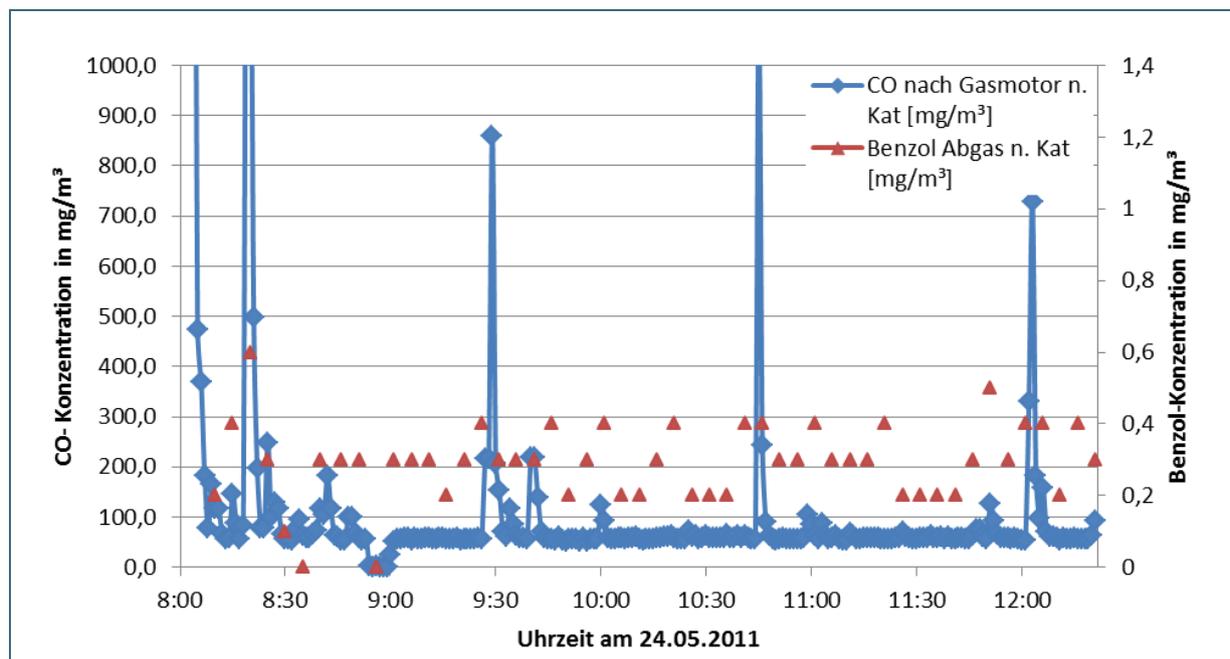


Abb. 2: Messergebnisse am Prüfstand der Stadtwerke Rosenheim am 24.05.2011 im Abgas des Holzgas BHKW der Fa. Spanner Re² GmbH

(Bemerkung: Die Konzentrationsspitzen der CO Werte ergeben sich aus Abschaltungen wegen Netzstörung und damit verbundenen Rohgasanteilen im Abgas)

Um Erfahrungen über die Standzeit der Katalysatoren zu gewinnen, hat das LfU in Zusammenarbeit mit der Fa. Spanner Re² mit Sitz in Neufahrn, Niederbayern ein Untersuchungsprojekt in Angriff genommen, in dessen Rahmen vergleichende Emissionsmessungen und Brennstoffuntersuchungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt wurden und dessen erste Ergebnisse nachfolgend vorgestellt werden sollen. Die Untersuchungen sollen fortgeführt werden.

2 Untersuchung zur Standzeit von Oxidationskatalysatoren im Motorabgas

2.1 Anlagenauswahl

Alle in dem Untersuchungsprojekt untersuchten Holzvergaseranlagen haben eine elektrische Leistung von 30 kW_{el}. Sie zählen zu den nicht immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen, da die hierfür einschlägige Kapazitätsschwelle (Produktionskapazität an Stoffen entsprechend einem Energieäquivalent von 1 MW) deutlich unterschritten wird. Für das Untersuchungsprojekt wurden 6 Betreiber ausgewählt, deren Anlagenkonfiguration dem neueren Lieferstandard entspricht. Die zu erwartenden Anlagenlaufzeiten sollten nicht unter dem Durchschnitt liegen, weshalb Betreiber ausgewählt wurden, die die Herstellervorgaben zum max. Feuchtegehalt des Brennstoffs konsequent beachten. Bei zu hohem Feuchtegehalte im Brennstoff sinkt der Energiegehalt unter einen kritischen Wert.

Alle Anlagen verfügen über ein BHKW gleicher Bauart. Die thermische Leistung beträgt 68 kW, die elektrische Leistung 30 kW, Brennstoff ist Holzgas. Die Abgasanlagen sind mit Oxidationskatalysatoren der Hersteller A bzw. B ausgestattet.

In der Version des Katalysators „A optimiert“ wurde der Edelmetallanteil der Beschichtung erhöht. Zusätzlich wurde analog der Ausstattung für die Anwendung bei Biogasanwendungen das „WashCoat“ (aktive Oberfläche des Katalysators) optimiert, um die Schwefeloxidation zu minimieren.

Anlage 67 wurde ab Februar 2013 auf Wunsch des Betreibers aus dem Untersuchungsprogramm genommen, da er den mit den Untersuchungen verbundenen Mehraufwand nicht mehr tragen wollte.

In Tabelle 1 ist die Konfiguration der untersuchten Anlagen gegenübergestellt.

Tab. 1: Konfigurationen der untersuchten Anlagen

Anlagennummer	Inbetriebnahme	Wärmenutzung	Hackschnitzelherkunft	Art der Hackschnitzel	Katalysator nach Projektbeginn
71	Dez 11	Haus, Kuhstall, Hackschnitzel-trocknung	eigener Wald, Zukauf	Mischung: keine bestimmte Sorte	B
67	Mrz 12	Produktions-halle & Trocknung	Zukauf	Mischung, Tanne	B
36	Dez 10	Stallung und andere Gebäude	Zukauf	Mischung	A optimiert
51	Aug 11	Wohnhaus, Trocknung (Hopfen)	eigener Wald	Mischung: Buche, Fichte, Kiefer	A optimiert
26	Sep 10	Trocknung, zwei 6-Familien-Häuser	Zukauf	Mischung	B
24	Aug 08	Käserei, Trocknung (Heu, Getreide, Hackschnitzel), Haus, Gastraum, Küche	eigener Wald 20%, Zukauf 80 %	Mischung, hoher Pappelanteil	A

2.2 Methodik

Der Untersuchungszeitraum lag zwischen Oktober 2012 und Juli 2013. An jeder Anlage wurden in diesem Zeitraum sieben Mal Emissionsmessungen durchgeführt und Brennstoff-Stichproben genommen.

Zu Projektbeginn wurden zunächst die Abscheideleistungen der angetroffenen Katalysatoren durch Messungen der CO-Konzentrationen vor und nach Katalysator ermittelt und anschließend jeweils drei Anlagen mit neuwertigen Katalysatoren der Firma A bzw. B ausgestattet. Die Kosten für den Austausch (ca. 1000 bis 2000 € einschließlich Einbau) wurden von den Herstellern übernommen.

Die Lage der Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden, ist in Abbildung 3 dargestellt.

Zur Messung der Abgaswerte wurde folgendes Messgerät verwendet:

- CO-Messung: AFRISO EUROLYZER STe; SNr. 02-42-03841

Die gemessenen CO-Konzentrationswerte werden vom Messgerät als ppm ausgegeben, wobei ein ppm einer Massenkonzentration von etwa 1,2 mg/m³ bei Normbedingungen (ohne Umrechnung auf einen Sauerstoffbezugswert) entspricht. Die Messgenauigkeit des Messgeräts beim Vergleich mit Prüfgas ist mit < 5 ppm bzw. < 5 % des Messwertes angegeben. Aufgrund des Wasserstoffgehaltes im Messgas beträgt die tatsächliche Messunsicherheit jedoch bis zu 20 %.

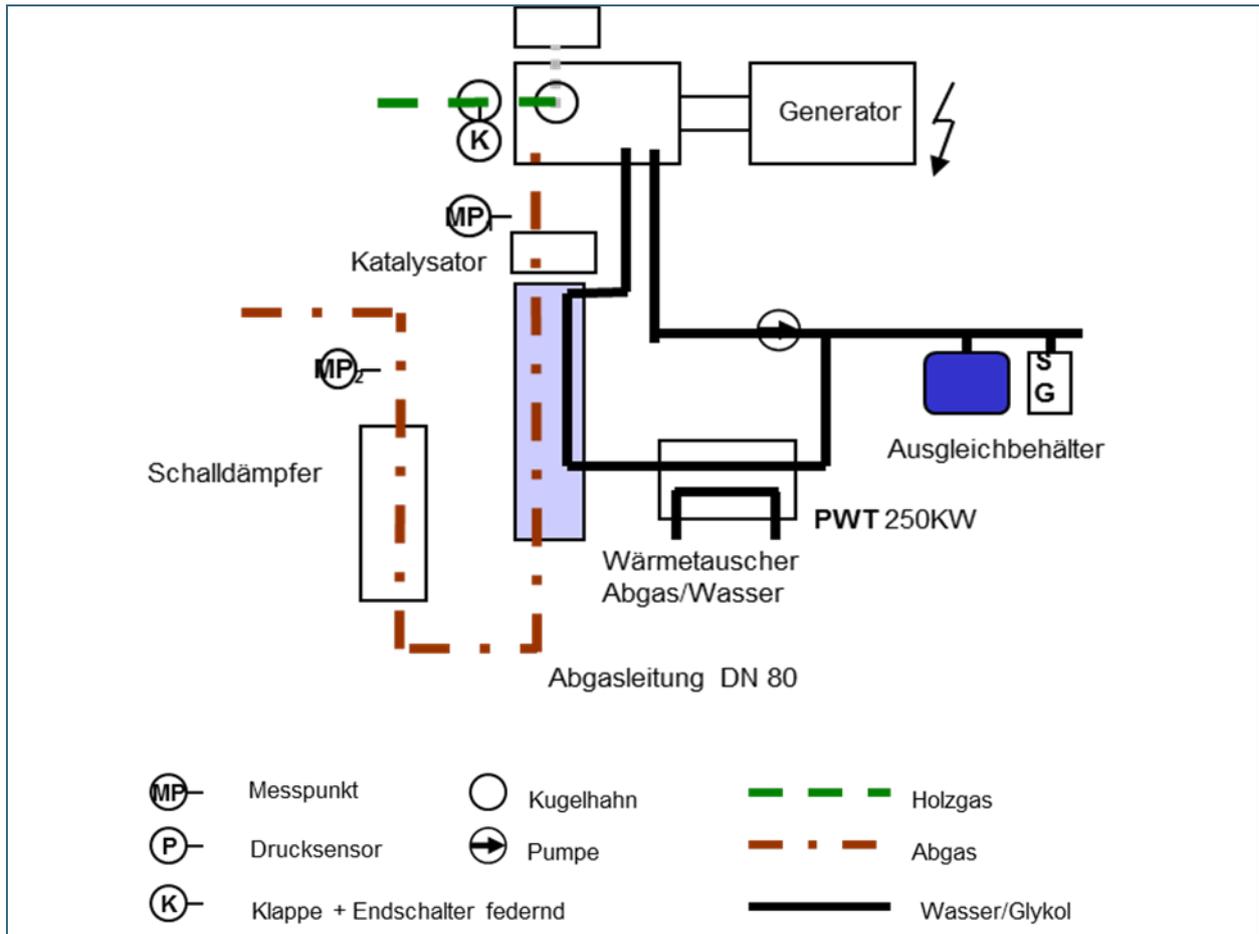


Abb. 3: Lage der Probenahmestellen;

MP1: Messung Rohgas im Katalysatorgehäuse; Maße: ca. 20 x 20 x 20 cm, Messtiefe: ca. 5 cm

MP2: Messung Reingas in Abgasleitung DN80, Messtiefe: ca. 4 cm, gerade Einlaufstrecke: ca. 4 m

Zum Messablauf macht die Fa. Spanner Re² folgende Angaben:

Ablauf Abgasmessung bei Kunden

- Prüfen, ob Anlage auf Betriebstemperatur ist und ob eine Auffälligkeit vorliegt (Temperaturen, Drücke)
- Zählerstand BHKW, Leistung, Lambdaspannung aufschreiben
- Messgeräte für Messungen bereit machen. Warten bis Geräte betriebsbereit
- Messung vor Katalysator im Katalysatorgehäuse, Messtiefe ca.5 cm (Kernstrom), beobachten der Werte, notieren der Minimal- und Maximalwerte, Messdauer ca. 5 - 10 Minuten, Messung des Drucks
- Messung nach Katalysator (Messstelle ist nicht einheitlich an allen BHKWs), Messtiefe ca. halber Rohrquerschnitt der Abgasleitung, beobachten der Werte, Notieren der Minimal- und Maximalwerte, Messdauer ca. 5 - 10 Minuten, Messung des Druckes

Diese Messungen wurden mehrfach wiederholt, um die Bandbreite der Minimal- und Maximalwerte zu erhalten.

Aus den nacheinander ermittelten Roh- und Reingaswerten (Zeitversatz von 10 min) wurden die jeweiligen Abscheidegrade ermittelt.

Hackschnitzelproben

Die Proben wurden direkt aus den Hackschnitzelbunkern entnommen, mit denen die Holz-Kraft-Anlagen versorgt werden. Es wurden je Bunker ca. 2 Liter entnommen, die sich aus bis zu 5 unterschiedlichen Entnahmestellen zusammensetzen. Die Proben wurden in luftdichten Beuteln gelagert.

Die Analyse der Brennstoffproben erfolgte im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes zur Brennstoffqualität von Hackschnitzeln, bei dem die Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), das Technologie- und Förderzentrum und das Landesamt für Umwelt (LfU) Brennstoffuntersuchungen durchführen (LWF, 2013). Die Analysen zur Elementarzusammensetzung der Proben erfolgten in mehreren Schritten in den Laboren der LWF und des LfU.

3 Ergebnisse und Bewertung

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der an den 6 Anlagen im Untersuchungszeitraum gemessenen CO- und Sauerstoff (O₂) - Gehalte sowie Reinigungsleistungen zusammengestellt.

Tab. 2: Mittlere CO- und O₂-Gehalte sowie Reinigungsleistungen im Untersuchungszeitraum

Anlage	Untersuchungszeitraum (Betriebsstunden)	CO, Rohgas [ppm]	CO, Reingas [ppm]	O ₂ , Reingas [Vol.-%]	Reinigungsleistung in (%)	Katalysator
24	4760	1575	10	3,9	99,4	A
71	6069	1895	50	3,8	97,5	B
67	1436	1495	39	1,3	97,4	B
51	5711	2461	126	1,1	95	A optimiert
26	6050	2190	144	0,7	93	B
36	5765	1219	581	4,0	52	A optimiert

Die höchsten Reinigungsleistungen wurden an der Anlage 24 gemessen. Im Untersuchungszeitraum (4760 Betriebsstunden) lag die gemessene Reinigungsleistung zwischen 99 und fast 100 %. Allerdings konnte diese Anlage wegen der verspäteten Aufnahme in das Untersuchungsprogramm nur in einem etwas verkürzten Zeitraum begleitet werden. Die im Reingas der Anlagen 51 und 26 gemessenen niedrigen O₂-Gehalte könnten ggf. für eine vollständige Umsetzung im Katalysator nicht ausreichend gewesen sein.

Tab. 2 und Abb. 4 zeigen die einzelnen, im Untersuchungszeitraum (9 Monate) gemessenen Katalysator-Reinigungsleistungen für Kohlenmonoxid in Abhängigkeit der Betriebsstunden. Dargestellt sind die am Messtermin ermittelten niedrigsten und höchsten Reinigungsleistungen. Die Reinigungsleistung des Katalysators von Anlage 36 fällt deutlich ab im Vergleich zu den anderen Anlagen (siehe hierzu Abschnitt 3.1).

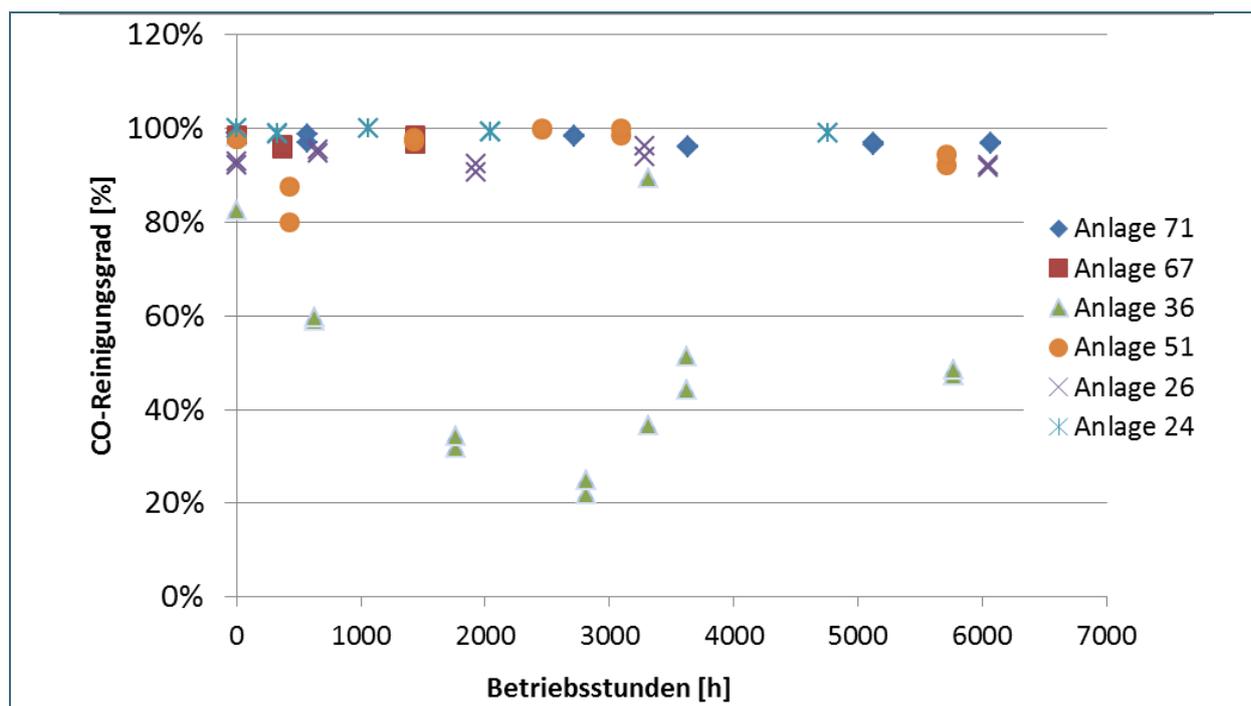


Abb. 4: Abgasreinigungsleistung der untersuchten Katalysatoren in Abhängigkeit der Betriebsstunden im Untersuchungszeitraum

Im Diagramm ist zwar erkennbar, dass mit zunehmender Betriebsdauer die Reinigungsleistung absinkt, allerdings ist die Leistungsabnahme geringer als zunächst erwartet. Nach knapp einem Jahr scheinen die Katalysatoren noch eine Reinigungsfunktion von über 90 % zu erfüllen.

Zum Vergleich wurden zu Beginn des Untersuchungsprogramms vor Erneuerung der Katalysatoren, die zuvor eingebauten Katalysatoren überprüft. Diese Messergebnisse lassen aber erkennen, dass nach 15.000 Betriebsstunden gute Reinigungsleistungen von über 90 % eher nicht mehr zu erwarten sind (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: CO- und O-Gehalte sowie Reinigungsleistungen vor Erneuerung der Katalysatoren

Anlage	Stand des Betriebsstundenzählers zu Beginn des Untersuchungsprogramms	CO, Rohgas [ppm]	CO, Reingas [ppm]	O ₂ , Reingas [Vol.-%]	Reinigungsleistung in (%)
26	14961	2030	331	0	84
36	12258	1288	444	2,5	66
24	10212	-	-	-	-
51	7780	1982	1978	2,8	0
71	6388	1930	1991	2,69	0
67	2849	1508	32	4,3	98

Der Katalysator kann seine Reinigungsfunktion aber auch schon im ersten Jahr völlig verloren haben (Anlagen 51 und 71).

3.1 Einfluss der Brennstoffqualität auf die Katalysatorstandzeit

Der Verlust der Katalysatorfunktion kann durch eine Vergiftung des Katalysators hervorgerufen werden, wie die Messergebnisse an der Anlage 36 zeigen (Abb. 4). Hier fällt die Reinigungsleistung innerhalb der ersten 3000 Betriebsstunden von 96 % auf einen Wert von 20 % ab.

Als typische Katalysatorgifte zählen u.a. Arsen, Quecksilber, Silizium, Phosphor und Schwefel. Passieren diese Stoffe die Gasaufbereitung und gelangen sie in das Abgas, belegen sie die aktiven Zentren des Katalysators, wodurch die gewünschte chemische Reaktion verhindert wird.

Während die Analysenergebnisse der an den übrigen Anlagen genommenen Hackschnitzelproben unauffällig waren, zeigte die Hackschnitzelprobe bei Anlage 36 extrem hohe Arsen-, Kupfer und Chrom-Gehalte sowie einen deutlich erhöhten Gehalt an Quecksilber. In Tabelle 4 sind die Analysenergebnisse den Maximalwerten der DIN 14961-4 "Anforderungen an Hackschnitzel aus naturbelassenem Holz" gegenübergestellt.

Tab. 4: Auswahl der Ergebnisse der Brennstoff- und Sedimentanalysen

Probenbezeichnung		Anlage 71	Anlage 51	Anlage 36	Maximalwerte nach DIN 14961-4	Sediment des Reinigungswassers
Parameter	Einheit	11	12	13		
As	mg/kg	0,1	0,8	154	1	8650
Ca	mg/kg	1593	-	953	-	14200
Cd	mg/kg	0,1	0,2	< 2	2	13
Cl	mg/kg	41	47	42	500	< 500
Cr	mg/kg	3,7	7,8	424	10	< 20
Cu	mg/kg	2	5	320	10	52
Hg	mg/kg	0,006	0,04	0,4	0,1	n.b.
K	mg/kg	940	-	320	-	< 1600
Ni	mg/kg	2	2	2	10	23
P	mg/kg	123	n.b.	89	-	46000
Pb	mg/kg	0,2	0,4	0,8	10	742
S	mg/kg	135	-	142	1000	7960
Si	mg/kg	760	760	430	-	< 20000
Zn	mg/kg	11	-	77	100	7980

Die in der Hackschnitzelprobe der Anlage 36 ermittelten Schwermetallgehalte weisen deutlich auf eine Behandlung mit einem anorganischen Holzschutzmittel hin (CKA-Salz, Kupfersalze mit Arsenverbindungen; Chromate), das im Außenbereich zum Schutz gegen Fäulnis und Pilzbefall eingesetzt wird.

3.2 Regenerierung eines Katalysators

Bei Anlage 36 wurde am 27.02.2013 der Katalysator nach der ersten Messung wie folgt gereinigt: Nach dem Ausbau wurde der Katalysator in einen Eimer mit Wasser gestellt und von beiden Seiten mehrmals durchgespült. Das Wasser verfärbte sich milchig weiß. Anschließend wurde der Katalysator mit Druckluft ausgeblasen und zum Trocknen stehen gelassen. Der Katalysator wurde wieder eingebaut.

Nach der Reinigung zeigten sich kurzzeitig wieder gute Abscheidegrade, welche aber in Folge der Versuche wieder deutlich schlechter wurden. Diese Methode ist damit keine geeignete Maßnahme zur nachhaltigen Regenerierung des Katalysators.

Vom Sediment des Reinigungswassers wurde eine Probe entnommen. Dazu wurde gewartet bis sich die weißen Partikel absetzen, dann wurde das überstehende Wasser abgeschüttet. Das restliche Wasser mit den Partikeln wurde aufgefangen und im Labor des LfU analysiert.

Die Analysenergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Im Sediment sind besonders hohe Gehalte an Calcium, Arsen, Zink, Phosphor und Schwefel erkennbar. Die Ursache dafür kann im Stoffeintrag durch Bestandteile des Brennstoffs oder des Motoröls liegen. Der Calcium- und der Zinkeintrag scheinen nur aus dem Motoröl plausibel zu sein, da diese Stoffe andernfalls im Filter des Gasaufbereitungssystems abgeschieden werden müssten. Zum Schutz von Katalysatoren für Dieselmotoren werden asche-, sulfat- und phosphatarme (SAPS-)Motoröle eingesetzt.

4 Fazit

Noch vor 10 Jahren war die Holzvergasung aus Sicht der Luftreinhaltung eine besonders problematische Technik. Einzelne Anlagen standen wegen ihrer Geruchs- und Benzolemissionen vor der Stilllegung. Vor allem bei nassen Produktgasaufbereitungsverfahren kam es durch Undichtigkeiten zu erheblichen Geruchsfreisetzungen. Ein instabiler Vergasungsprozess führte zu sehr hohen Benzolgehalten im Produktgas und aufgrund des Motorschlupfes und wegen der nicht ausreichend dimensionierten Katalysatoren auch im Motorabgas. Mittlerweile hat die Technik einiger Anlagenhersteller jedoch einen Stand erreicht, der einen weitgehend störungsfreien Anlagenbetrieb erlaubt und aus Sicht des Immissionsschutzes hinsichtlich der Emissionen an Gerüchen und Benzol akzeptabel ist. Voraussetzung ist jedoch, dass die Herstellervorgaben an die Brennstoffbeschaffenheit und die Wartung der Anlage konsequent beachtet werden und der Katalysator rechtzeitig vor Nachlassen seiner Wirkung ausgetauscht wird. Hierzu ist eine konsequente Funktionskontrolle des Katalysators erforderlich, die mit handelsüblichen CO-Handmessgeräten durch den Betreiber erfolgen kann. Eine jährliche Überprüfung durch den Schornsteinfeger ist vielfach mittlerweile übliche Praxis. Die Kosten für den Austausch des Katalysators betragen etwa 1000 - 2000 €.

Insbesondere ist zu beachten, dass der Einsatz behandelter Holzabfälle verboten ist, soweit er ohne eine entsprechende immissionsschutzrechtliche Genehmigung und Einhaltung der Vorgaben der Verordnung über die Verbrennung von Abfällen (17.BImSchV) erfolgt.

Bei der Gasaufbereitung anfallende Rückstände müssen in Abstimmung mit der zuständigen Behörde (z. B. Kreisverwaltungsbehörde) entsorgt werden.

Bislang stand die Minderung der Benzolemissionen im Vordergrund der Optimierungsmaßnahmen. Welche technischen Möglichkeiten zur Reduzierung der Emissionen an Stickstoffoxiden bei Holzgasmotoren kleiner Leistung bestehen und ob die in der TA Luft für genehmigungsbedürftige Anlagen genannten NO_x-Emissionswerte ohne gleichzeitige Erhöhung der Benzolemissionen erreichbar sind, soll in einem folgenden Forschungsprojekt in Angriff genommen werden. In jedem Fall werden die erreichbaren Emissionswerte davon abhängen, wie weit es gelingt, den Anteil stickstoffreicher Hackschnitzelbestandteile, wie Nadeln, Blätter und Rinde, zu reduzieren.

5 Literatur

- Bräkow, D. (Februar 2013). Come Back der Holzvergaser. *SBZ*.
- E. Reichle, G. S. (Juni 2010). Rückstände aus Holzvergasungsanlagen. *Müll und Abfall*, S. 118-126.
- H. Timmerer, F. L. (2005). *Anlagenmsicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen, Leitfaden für Betreiber, Hersteller und Behörden*. Wien: Institut für Wärmetechnik, TU Graz.
- LWF. (2013). *Optimale Bereitstellungs- und Lagerungsverfahren für Holzhackschnitzel*. Abgerufen am 27. August 2013 von <http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/betriebswirtschaft-forsttechnik/projekte/befristet/45245/>
- M. Bauer, G. W. (2008). *Untersuchung der Wirkzusammenhänge zur innermotorischen Beeinflussung der Foprmaldehydbildung und Darstellung der Einflussparameter*. Frankfurt: Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V.
- Schmoeckel, G. (2009). *Emissionen von Holzgasmotoren und Möglichkeiten zur Minderung*. Abgerufen am August 2013 von Bayer. Landesamt für Umwelt : http://www.lfu.bayern.de/energie/biogene_festbrennstoffe/doc/emissionen_von_holzgasmotoren.pdf
- Stadtwerke Rosenheim, Egeler. (2013). Messdaten aus Forschungsprogramm. *Untersuchungen an Holzgasmotoren*.

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bearbeitung:

Ref.21 / Gerhard Schmoeckel, Constanze Feistkorn

Bildnachweis:

Fa. Spanner Re², LfU

Stand:

August 2014

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.