

# Emissionsarmer Betrieb

Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolbenmotoren sind nach wie vor die wichtigste Technologie für die Verstromung von Biogas. Um die hierbei entstehenden Schadstoffemissionen auf ein Mindestmaß zu reduzieren, definiert die TA Luft entsprechende Emissionsgrenzwerte.



Installation eines Oxidationskatalysators im Abgastrakt eines Blockheizkraftwerks.

Die Emissionsgrenzwerte der TA Luft gelten für Biogasmotoranlagen mit einer Gesamt-Feuerungswärmeleistung ab 1 MW. Das Biogashandbuch Bayern enthält ergänzend Emissionswerte für Motoranlagen mit einer Gesamt-Feuerungswärmeleistung von unter 1 MW, die sich an den Grenzwerten der TA Luft anlehnen.

**Hintergrund:** sind mehrere Motoranlagen an einer Anlage vorhanden müssen die Feuerungswärmeleistungen addiert werden, d.h. die Gesamt-Feuerungswärmeleistung ist entscheidend. In der Praxis kommt es jedoch immer wieder zu einem Interessenskonflikt

zwischen dem Bestreben, einen möglichst hohen monetären Ertrag zu erwirtschaften, und der Vorgabe, die vorhandenen Grenzwerte einzuhalten. Deutschland ist verpflichtet, die Richtlinie (EU) 2015/2193 vom 25. November 2015 zur Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus mittelgroßen Feuerungsanlagen in die Luft (kurz: MCP-Richtlinie (Medium Combustion Plant)) bis Ende 2017 in nationales Recht umzusetzen. Die MCP-Richtlinie enthält gegenüber der bisherigen TA Luft <sup>1)</sup> strengere Grenzwerte für SO<sub>x</sub>, einen einheitlichen NO<sub>x</sub>-Grenzwert für Zündstrahl- und Gas-Otto-Motoren sowie Anforderungen an die Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte im realen Betrieb. Die Umsetzung der Anforderungen der MCP-Richtlinie und damit für Anlagen zur energetischen Biogasverwertung erfolgt zukünftig in einer eigenen Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Die Absenkung der Grenzwerte für Formaldehyd

und CO spielt hierbei eine wichtige Rolle. Zudem ist ein Grenzwert für die Gesamtkohlenwasserstoffemissionen im Gespräch. Auch die NO<sub>x</sub>-Grenzwerte und deren sichere Einhaltung stehen im Fokus.

## Wo liegt das Problem?

Biogas ist aufgrund des hohen Anteils an CO<sub>2</sub> von 40 bis 60 Vol. % (wird auch als Löschmittel eingesetzt) zum einen sehr klopfest (geringe Neigung zur Frühzündung) und weist zum anderen eine geringe Flammgeschwindigkeit im Verbrennungsraum auf. Die Verbrennung von Biogas kann daher unter sehr hohen Drücken erfolgen, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass die Energiedichte im Verbrennungsraum ausreichend hoch ist, da sonst die Effizienz der Verbrennung abnimmt. Bei einer optimalen und damit hoch effizienten Verbrennung wird dem Verbrennungsprozess so viel Sauerstoff (Luft) zugegeben, wie für die Oxidation (Verbrennung) der energiereichen Bestandteile (im Wesentlichen Methan) benötigt wird. Das Verhältnis zwischen tatsächlich zugeführtem und stöchiometrisch benötigtem Sauerstoff, der sogenannte Lambda-Wert ( $\lambda$ ), ist dann gleich 1,0. Je höher der Lambda-Wert, desto sauerstoffreicher aber auch ener-

Der vorliegende Artikel basiert auf der Fachinformation »Voraussetzung für einen emissionsarmen Betrieb biogasbetriebener BHKW« des Biogas Forum Bayern, die unter [www.biogas-forum-bayern.de](http://www.biogas-forum-bayern.de) kostenlos heruntergeladen werden kann:

**Autoren: Biogas Forum Bayern:** Volker Aschmann, Dr. Mathias Effenberger, Simon Tappen alle Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung sowie Gerald Ebertsch, Bayerisches Landesamt für Umwelt.

<sup>1)</sup> Der aktuelle Grenzwert der TA Luft für SO<sub>2</sub> ist 310 mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub>. In der MCPD-Richtlinie ist für bestehende Motoren ein Grenzwert von 60 mg/m<sup>3</sup> bei 15 % O<sub>2</sub>, entspricht 160 mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub> bzw. für neue Motoren 40 mg/m<sup>3</sup> bei 15 % O<sub>2</sub>, entspricht ca. 107 mg/m<sup>3</sup> bei 5 % O<sub>2</sub>.

gieärmer ist die Verbrennung. Bei einem Lambda-Wert um 1,0 entstehen bei der Verbrennung sehr hohe Temperaturen und in Verbindung mit dem Stickstoffgehalt in der Luft hohe Stickstoffoxidemissionen (NO<sub>x</sub>). In der Automobilindustrie werden bei Ottomotoren diese Schadgase sowie Kohlenwasserstoffverbindungen und Kohlenmonoxid (CO) mithilfe von Katalysatoren (3-Wege-Katalysator) aus dem Abgas weitgehend eliminiert. Biogasmotoren werden zur NO<sub>x</sub>-Minderung üblicherweise mit einem überstöchiometrischen («mageren») Luftgemisch betrieben. Um nun einen möglichst effizienten Verbrennungsprozess (niedriges Lambda) zu erzielen, müssten die bei der Verbrennung entstandenen Stickstoffoxide außermotorisch bzw. abgasseitig entfernt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen werden biogasbetriebene BHKW derzeit im Magerbetrieb gefahren, da hier der hohe Luftüberschuss für eine kältere Verbrennung und damit geringe Stickstoffoxidemissionen sorgt und so die derzeitigen Emissionswerte der TA Luft auch ohne sekundäre Abgasbehandlung eingehalten werden können. Dabei müssen allerdings häufig elektrische Wirkungsgradverluste in Kauf genommen werden.

## Unvollständige Verbrennung?

Durch den hohen Luftanteil im Verbrennungsgemisch kommt es allerdings zu einer weiteren Verminderung der Flammgeschwindigkeit. Dies führt unter anderem zu einer unvollständigen Verbrennung und damit zu einem erhöhten Ausstoß an Kohlenwasserstoffen, darunter auch Formaldehyd (HCHO). Formaldehyd ist zwischenzeitlich als karzinogen eingestuft. Deshalb kommt der Minderung der Emissionen dieses Stoffes besondere Bedeutung zu. Die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat deshalb im Vorgriff zur Anpassung der TA Luft Vollzugempfehlungen für Formaldehyd veröffentlicht, mit denen u.a. die Emissionsbegrenzungen für Formaldehyd bei Zündstrahl und Magergasmotoren, die mit Biogas betrieben werden, wie folgt verschärft wurden:

- Neuanlagen, die nach dem Inkrafttreten der Vollzugempfehlung errichtet wurden:
  - **30 mg/m<sup>3</sup>** mit Verschärfung auf **20 mg/m<sup>3</sup>** ab dem 01.01.2020
- Altanlagen:
  - Biogasmotoranlagen, die Emissionswerte über 40 mg/m<sup>3</sup> aufweisen, sollen einen Emissionswert von **30 mg/m<sup>3</sup>** spätestens ab dem 05.02.2018 einhalten;
  - Biogasmotoranlagen, die Emissionswerte unter 40 mg/m<sup>3</sup> aufweisen, sollen einen Emissionswert von **30 mg/m<sup>3</sup>** spätestens ab dem 05.02.2019 einhalten;
  - Biogasmotoranlagen, die den »Luftreinhaltebonus« gemäß EEG 2009 erhalten, müssen ab dem 01.07.2018 einen Emissionswert unter 20 mg/m<sup>3</sup> bei gleichzeitiger Einhaltung der genehmigten Emissionsgrenzwerte für NO<sub>x</sub> und CO im Dauerbetrieb nachweisen, um weiterhin Anspruch auf 1 ct/kWh zu haben.

Zusätzlich haben sich die Messverpflichtungen verschärft. Zukünftig müssen an allen genehmigungsbedürftigen Biogasmotoranlagen unabhängig von der Gewährung des For-



**Schäffer**

**EFFIZIENZ STEIGERN!**  
8620 T: Der neue Teleradlader mit enormer Ausstattungsvielfalt

Werkvertretung:  
Markus Albrecht | Tel. 0160 96222390

[WWW.SCHAEFFER.DE](http://WWW.SCHAEFFER.DE)

Die führende  
Landwirtschafts-  
zeitung im Allgäu



**Osterrieder**  
EIN PARTNER, AUF DEN VERLASS IST!

Behälter bis zu: **38m<sup>Ø</sup>**

- Güllegruben
- Biogasbehälter
- Fahrsilos
- Stahlbetonsilos
- Stallunterbauten

**Osterrieder Bau GmbH, Silo- und Betonbau**  
Markgrafstraße 25 · 87772 Pfaffenhausen  
T. 08265/911872-0 · [www.osterrieder-bau.de](http://www.osterrieder-bau.de)



Die Lösung für eine bessere  
Verbrennung im Gasmotor:  
**Carbon Cleaner**  
Tel. 09633/92344-0  
[www.green-energy-zintl.de](http://www.green-energy-zintl.de)

## Wir machen Ihr Biogas CLEAN und COOL!

Individuelle Anlagen von Züblin Umwelttechnik  
zur Reinigung und Kühlung von Biogas

- **CarbonEx** Aktivkohlefilter zur Feinentschwefelung von Biogas
- **GasCon** Gaskühlmodul zur Kühlung von Biogas
- **BioSulfidEx** zur biologischen Entschwefelung von Biogas

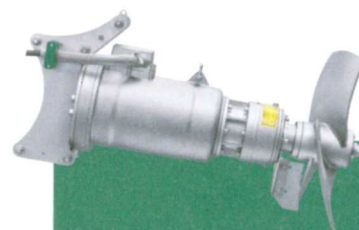
**NEU!** **BioBF** Kostengünstiges System zur biologischen Vorentschwefelung



**ZÜBLIN**

**Züblin Umwelttechnik GmbH**  
Otto-Dürr-Str. 13, 70435 Stuttgart, Tel. +49 711 8202-0

[umwelttechnik@zueblin.de](mailto:umwelttechnik@zueblin.de)  
[zueblin-umwelttechnik.com](http://zueblin-umwelttechnik.com)



**suma**  
[www.suma.de](http://www.suma.de)

Unsere Rührwerke setzen Festes in Bewegung:  
Erst Ihr Substrat, dann Ihr Denken über  
Funktionalität, Zukunft und Nachhaltigkeit.

**ANDERE RÜHREN - WIR LÖSEN.**

maldehydbonus nach EEG jährlich wiederkehrende Einzelmessungen von Formaldehyd, Stickstoffoxiden und Kohlenmonoxid durch eine nach § 29 b BImSchG bekannt gegebene Stelle durchgeführt werden. Diese Vorgaben der LAI werden derzeit in Bayern von den zuständigen Kreisverwaltungsbehörden umgesetzt.

Die neuen Formaldehydemissionsbegrenzungen können durch den Einsatz von geeigneten Oxidationskatalysatoren sicher eingehalten werden. Für die Zerstörung von Formaldehyd müssen diese speziell dotiert sein. Deshalb steigen aufgrund der strengeren Grenzwerte die technischen Anforderungen an die Oxidationskatalysatoren.

## Schadstoffemissionen minimieren

In der Praxis wird die Motoreinstellung oft primär unter dem Gesichtspunkt der Effizienz vorgenommen, ohne die Abgasemissionen in den unmittelbaren Fokus zu stellen. Werden die Emissionsgrenzwerte in der Folge nicht mehr eingehalten, handelt es sich um einen nicht mehr zulässigen Betrieb der Anlage. Häufig führen bereits unfachmännisch durchgeführte Änderungen bei der Motoreinstellung (z.B. Verstellung Zündzeitpunkt, Lambda-Wert etc.) oder an der Abgasreinigung zu unzulässigen Emissionen. Daraus ergibt sich die Frage, was notwendig ist, um eine effektive Verstromung bei gleichzeitig geringen Emissionen zu erreichen. Im Folgenden werden hierzu einige Fakten und Hinweise zusammengefasst.

**Gasaufbereitung:** Für den emissionsarmen Betrieb von Biogasmotoranlagen ist im Hinblick auf die dauerhafte Funktion des zur Formaldehydminderung notwendigen Betriebes eines Oxidationskatalysators eine geeignete Biogasentschwefelung notwendig. Grundsätzlich sind deshalb die Spezifikationen des Katalysatorherstellers, des Motorenherstellers und des Öllieferanten an die Abgasbeschaffenheit und Biogasaufbereitung bei der Auswahl einer geeigneten Entschwefelungstechnik zu berücksichtigen.

Die in der Regel an jeder Biogasanlage durchgeführte Entschwefelung und

Trocknung des Biogases mittels biologischer oder chemischer Verfahren sowie aktiver oder passiver Kühlung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Höhe der Emissionen. Der Schwefelanteil im  $H_2S$  wandelt sich bei der Verbrennung in Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) um und kann außerdem Probleme bei der Einhaltung des  $SO_2$ -Grenzwertes (derzeit  $310 \text{ mg m}^{-3}$ )<sup>1</sup> verursachen. Auch deshalb ist die Entschwefelung des Biogases von großer Bedeutung. Darüber hinaus verursachen  $H_2S$  bzw.  $SO_2$  Korrosionsprobleme im Motor und Abgaswärmetauscher und führen zu einer schnelleren Versäuerung des Motoröls. Im Oxidationskatalysator wird zudem teilweise Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid oxidiert, was die Korrosionsprobleme verschärfen kann.

Außerdem ist auf eine ausreichende Entfeuchtung des Biogases bis zum Beginn der Gasdruckregelstrecke für einen effizienten Betrieb des BHKW zu achten. In Verbindung mit Schwefeloxiden bilden sich schweflige Säure bzw. Schwefelsäure, die zur Korrosion von Anlagenteilen führen können. Zur Entfeuchtung des Biogases werden in der Praxis entweder im Boden verlegte Kühlstrecken, eine aktive Kühlung oder eine Kombination beider Verfahren verwendet. Bei im Boden verlegten Kühlstrecken ist auf eine ausreichende Länge und eine funktionierende Wasserentnahme zu achten. Fehlerhafte Ausführungen führen oft zu Wassertaschenbildung in der Gasleitung bzw. zu einer ungenügenden Entfeuchtungsleistung, vor allem im Sommer. Die aktive Kühlung kann bei richtiger Dimensionierung sehr gute Entfeuchtungsergebnisse bringen, jedoch ist hierfür auch ein gewisser Stromverbrauch mit einzukalkulieren. Auch sollte nach der aktiven Kühlung eine Beruhigungsstrecke vorgesehen werden, damit sich Schwebstoffe und Restfeuchte im Gas absetzen können. Alternativ kann auch eine Gaserwärmung zur Trocknung des Gases geprüft werden. Prinzipiell soll vor der Gasdruckregelstrecke die relative Gasfeuchte unter 80 % betragen und keine Taupunktunterschreitung erreicht werden.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Flexibilisierung der Stromproduk-

**In aller Kürze:**

- Neue Grenzwerte der LAI für Formaldehyd beachten
- Schadstoffemissionen am BHKW-Motor prüfen
- Der Betrieb eines ausreichend ausgelegten Oxidationskatalysators ist notwendig
- Aktive Kühlung und Entschwefelung im Biogas
- Die dauerhafte Einhaltung der Emissionsgrenzwerte sicherstellen

tion mit mehreren täglichen Starts und Stopps kommt der richtigen Gasaufbereitung eine immer größere Bedeutung zu. In diesem Fall sollten eine aktive Gastrocknung (Kühlung oder/und Erwärmung) und eine Feinentschwefelung des Biogases standardmäßig verbaut sein.

## BHKW-Einstellung und Wartung:

Durch geeignete Einstellung des Motors und eine regelmäßige und fachkundige Wartung des BHKW lassen sich die Emissionswerte erheblich beeinflussen. Dies haben Untersuchungen an der LfL gezeigt. Dringend zu berücksichtigen ist, dass Einstellung und Wartung des BHKW nur von fachkundigen Personen bzw. vom Serviceteam des Herstellers vorgenommen werden sollten und im Anschluss das Emissionsverhalten überprüft und dokumentiert wird.

Einige BHKW-Hersteller haben mittlerweile standardmäßig ihre Motoren mit Motorsteuerungen zur automatischen Reduktion der  $NO_x$ -Gehalte während des Betriebes realisiert. Durch diese Maßnahmen können sich z.B. bei hohen Lambdazahlen teilweise jedoch die Kohlenwasserstoffemissionen in Form von Methan (»Methanschlupf«) und Formaldehyd erhöhen.

Bei der Verbrennung können im Motor Tot- bzw. Kaltraumzonen auftreten, in denen die Verbrennung nicht vollständig erfolgt und Formaldehyd als Zwischenprodukt nicht weiter oxidiert wird. Untersuchungen von Bauer und Wachtmeister 2008 haben den Feuer-

steg (Raum zwischen Kolbenboden und erstem Abstreifring) als möglichen Entstehungsort von Formaldehyd lokalisiert.

In Messungen des LfU vor 2009, also bevor durch den »Luftreinhaltungsbonus« des EEG ein finanzieller Anreiz für die Reduzierung der Formaldehyd-emission auf  $40 \text{ mg/m}^3$  geschaffen wurde, wurden erhöhte Formaldehyd-emissionen besonders bei größeren Gas-Otto-Motoren neuerer Bauart mit hohem elektrischen Wirkungsgrad festgestellt. In diesen Fällen wurde selbst der alte Grenzwert nach TA Luft 2002 von  $60 \text{ mg/m}^3$  Formaldehyd ohne nachgeschaltete Abgasreinigung nicht eingehalten. Bei den vor 2009 gemessenen Zündstrahlmotoren traten Formaldehydkonzentrationen im Abgas von über  $60 \text{ mg/m}^3$  deutlich häufiger auf als bei Gas-Otto-Motoren, und zwar vor allem bei Motoren älterer Bauart. Nach 2009 wurden in den überwiegenden Fällen bei Gas-Otto-Motoren und in allen Fällen bei Zündstrahlmotoren Formaldehydwerte von weniger als  $40 \text{ mg/m}^3$  gemessen.

Bei Motoren, die allein durch innermotorische Maßnahmen die Anforderungen an die Emissionsbegrenzungen einhalten, müssen in der Regel Abstriche beim elektrischen Wirkungsgrad in Kauf genommen werden. Aufgrund der Verschärfung bei der Begrenzung der Formaldehydemission ist es in der Regel jedoch nicht mehr möglich, die neuen Grenzwerte ohne Betrieb eines ausreichend ausgelegten Oxidationskatalysators einzuhalten.

Messungen in der Praxis zeigten, dass durch eine Generalüberholung (in diesem Fall nach 33 000 Betriebsstunden) der elektrische Wirkungsgrad auf den Ausgangswert zurückgebracht werden konnte.

#### Verschiedene Motoreinstellungen und Abgascharakteristiken im Vergleich:

Wie bereits zuvor beschrieben, beeinflusst u.a. die Lambda-Einstellung die Höhe der Emissionswerte für verschiedene Schadgase. In Vor-Ort-Messungen an verschiedenen mit Biogas betriebenen Verbrennungsmotoren konnten zwei grundlegende Charakteristiken unterschieden werden:

- Hoch verdichtende Motoren im sehr mageren Bereich mit hohen THC-Konzentrationen (überwiegend Methan sowie Formaldehyd) bei gleichzeitig niedrigen  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen im Abgas und
- Motoren mit weniger magerem Gemisch und hohen  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen bei gleichzeitig geringen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Abgas. Durch die ggf. zu erwartenden Verschärfungen bei den Emissionsgrenzwerten für  $\text{NO}_x$  und Gesamt-Kohlenstoff wird der Spielraum für die Motortechnik weiter eingeengt.

#### Abgasnachbehandlung

Mittlerweile existieren immer effizientere BHKW-Modelle, welche in Verbindung mit einer Abgasnachbehandlung die Vorgaben der TA Luft erfüllen.

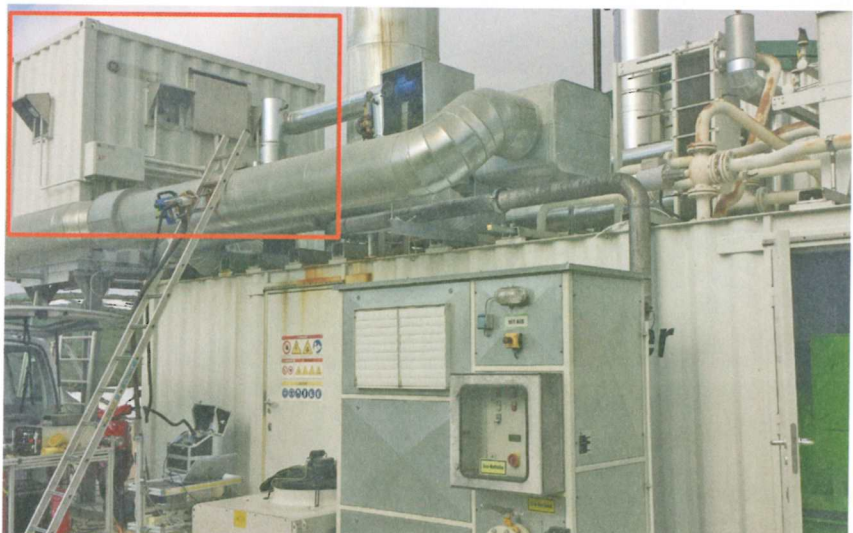
**Oxidationskatalysator (Oxi-Kat):** Der Oxidationskatalysator (kurz: Oxi-Kat) ist die am häufigsten eingesetzte Technologie, um Formaldehyd und Kohlenmonoxid (CO) aus dem Abgasstrom zu mindern. Die Entwicklung der Oxidationskatalysatoren ist in den letzten Jahren enorm vorangeschritten. Vor allem auf dem Gebiet der Haltbarkeit und Anfälligkeit gegenüber Schwefel sind mittlerweile deutliche Fortschritte erzielt worden. Dennoch ist eine wirksame Entschwefelung des Biogases vorzunehmen, um die Vergiftung des Katalysators und Korrosion im Abgas- und Wärmetauschersystem durch die

Bildung von  $\text{SO}_3$  bzw. von Schwefelsäure bei Taupunktunterschreitung zu vermeiden.

Zwischenzeitlich liegen von verschiedenen Anlagen in Bayern Erfahrungen beim Einsatz von nachgerüsteten Oxidationskatalysatoren vor. Nach Untersuchungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) lagen die Messergebnisse für die Formaldehydkonzentration im Abgas nach Einbau eines Oxidationskatalysators überwiegend im Bereich von 2 bis unter  $40 \text{ mg/m}^3$ . Gleichzeitig verminderten sich die CO-Emissionen der Motoren deutlich.

**Thermische Nachverbrennung:** Bei der thermischen Nachverbrennung in sogenannten Thermoreaktoren werden die Abgase auf einem hohen Temperaturniveau oxidiert. Dies ermöglicht eine sichere Einhaltung auch der neuen Formaldehyd- und der diskutierten Gesamt-C Emissionsgrenzwerte.

**SCR-Katalysator:** Eine interessante Alternative zur Stickstoffoxidreduktion stellt der sogenannte »SCR-Kat« (selective catalytic reduction/selektive katalytische Reduktion) dar. Im Pkw- und Lkw-Bereich wird dieses Verfahren unter dem Namen »Ad-Blue« bereits serienmäßig eingesetzt, um die Stickoxidemissionen von Dieselmotoren zu reduzieren. Hierbei wird zum Abgasstrom eine wässrige Harnstofflösung dosiert. Aus der Zersetzung von Harnstoff wird Ammoniak frei, welches Stickstoffdioxid zu Stickstoff und Wasserdampf reduziert.



BHKW-Container mit Abgas-Nachverbrennung (rote Markierung) während eines Messvorgangs.

Fotos: LfU