

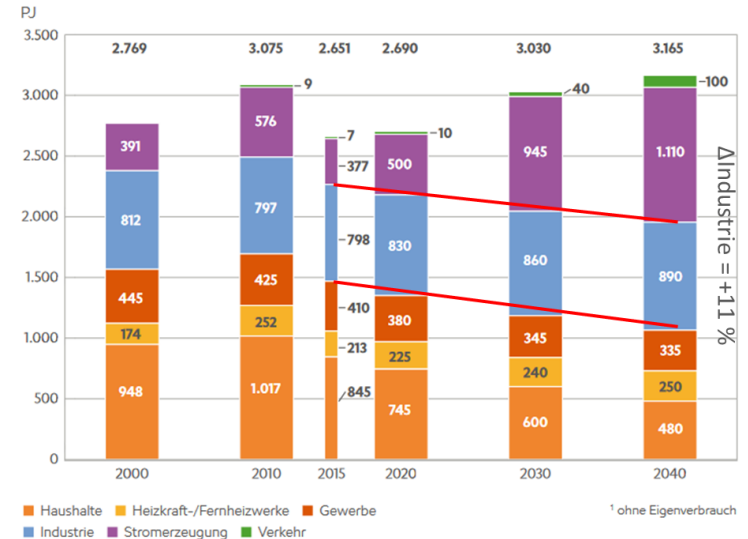


Was kommt nach der Umstellung von L- auf H-Gas?

Gasbeschaffenheitsschwankungen und
Wasserstoff - Hintergründe, Auswirkungen,
Lösungen

Dr. Anne Giese
Bonn, 10.04.2019

- Erdgas ist der einzige Energieträger, der in fast **allen Endverbrauchssektoren** mit **großen Marktanteilen** vertreten ist.
- Global wird die Bedeutung von Erdgas weiter zunehmen, meist auf Kosten der Kohle in der Stromerzeugung. Auch in Deutschland geht man vom Anstieg des Erdgasverbrauchs in den **Industrie- und Kraftwerkssektoren** aus, während die Bedeutung in Haushalt und Gewerbe abnehmen wird.
- Aber: der Energieträger **Erdgas** wird sich **verändern**. Veränderungen am Markt, das **Wegfallen** klassischer **Gasbezugsquellen**, aber auch „**neue**“ **Gase** bringen neue Herausforderungen mit sich ... insbesondere für empfindliche Endverbraucher in Thermoprozesstechnik, Chemie-Industrie und Kraftwerkstechnik.



Source: Energieprognose Deutschland 2016 – 2040, ExxonMobil, 2016

Typische verteilte Erdgase in Deutschland

| Erdgas-Durchschnittswerte 2006 | | | | | | | |
|--|--|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Benennung Analysewerte | | Nordsee- Erdgas H | Misch- Erdgas H | Russ.- Erdgas H | Holland- Erdgas L | Verbund- Erdgas L | Weser/ Ems- Erdgas L |
| CO ₂ | Vol.-% | 1,91 | 1,96 | 0,09 | 1,71 | 1,74 | 2,55 |
| | Mol.-% | 1,92 | 1,97 | 0,09 | 1,72 | 1,75 | 2,56 |
| N ₂ | Vol.-% | 0,93 | 2,65 | 0,83 | 10,11 | 9,21 | 8,71 |
| | Mol.-% | 0,92 | 2,64 | 0,83 | 10,09 | 9,19 | 8,69 |
| O ₂ | Vol.-% | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| | Mol.-% | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| CH ₄ | Vol.-% | 86,25 | 87,50 | 97,63 | 83,08 | 85,46 | 88,08 |
| | Mol.-% | 86,22 | 87,43 | 97,61 | 83,04 | 85,43 | 88,08 |
| C ₂ H ₆ | Vol.-% | 8,56 | 6,80 | 1,00 | 3,97 | 2,91 | 0,61 |
| | Mol.-% | 8,61 | 6,85 | 1,01 | 4,00 | 2,93 | 0,61 |
| C ₃ H ₈ | Vol.-% | 1,89 | 0,90 | 0,32 | 0,81 | 0,47 | 0,04 |
| | Mol.-% | 1,91 | 0,92 | 0,33 | 0,82 | 0,48 | 0,04 |
| C ₄ H ₁₀ | Vol.-% | 0,39 | 0,16 | 0,11 | 0,22 | 0,15 | 0,01 |
| | Mol.-% | 0,39 | 0,16 | 0,11 | 0,22 | 0,15 | 0,02 |
| C ₅ H ₁₂ | Vol.-% | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,03 | <0,01 |
| | Mol.-% | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,03 | <0,01 |
| C ₆₊ | Vol.-% | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,03 | <0,01 |
| | Mol.-% | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | <0,01 |
| | | | | | | | |
| Brennwert H _{s,n} | kWh/m ³ _N | 11,905 | 11,332 | 11,135 | 10,322 | 10,241 | 9,880 |
| Heizwert H _{i,n} | kWh/m ³ _N | 10,766 | 10,237 | 10,040 | 9,320 | 9,241 | 8,906 |
| Wärmeverhältnis H _f /H _n | - | 0,9043 | 0,9034 | 0,9017 | 0,9029 | 0,9024 | 0,9014 |
| Normdichte ρ | kg/m ³ _N | 0,83363 | 0,8150 | 0,7362 | 0,8357 | 0,8178 | 0,8006 |
| Dichteverhältnis (Luft = 1) | - | 0,6448 | 0,630 | 0,569 | 0,646 | 0,632 | 0,619 |
| Wobbe-Index W _{s,n} | kWh/m ³ _N | 14,826 | 14,277 | 14,762 | 12,842 | 12,882 | 12,588 |
| Wobbe-Index W _{i,n} | kWh/m ³ _N | 13,329 | 12,897 | 13,310 | 11,596 | 11,624 | 11,320 |
| Methanzahl (+/- 2) MZ | - | 75 | 82 | 91 | 86 | 90 | 102 |
| min Luftbedarf L _{min} | m ³ _N /m ³ _N | 10,33 | 9,77 | 9,6 | 8,9 | 8,83 | 8,52 |

Der wesentliche chemische Unterschied zwischen L- und H-Gasen ist der **weitaus höhere Anteil an Stickstoff (N₂)** in L-Gasen. Daraus ergeben sich die in der Regel niedrigeren Heiz- bzw. Brennwerte, minimaleren O₂-/Luft-Bedarfe und geringeren Wobbe-Indices bei L-Gasen.

$$\Delta_{\text{L-H-Gas}} \text{ ca. } + 10 - 15 \%$$

$$\Delta_{\text{L-H-Gas}} \text{ ca. } + 10 - 15 \%$$

$$\Delta_{\text{L-H-Gas}} \text{ ca. } + 10 - 15 \%$$

Erdgas H - Hintergründe

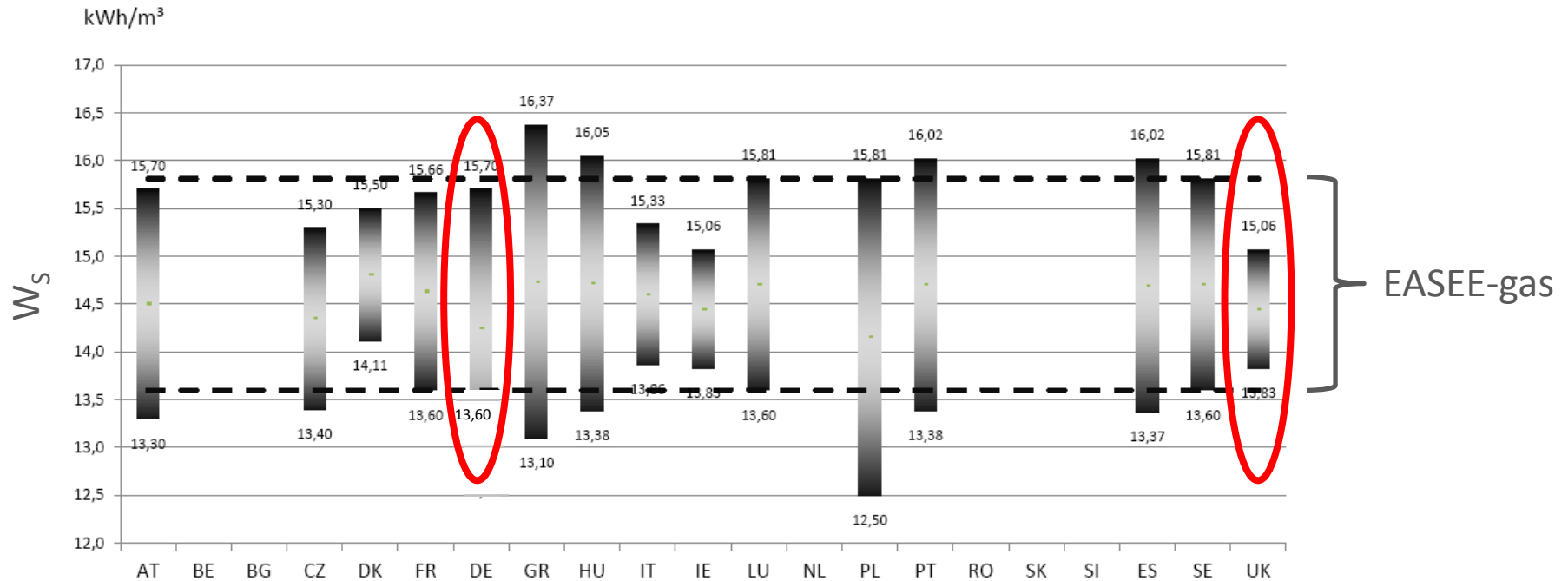


- Die Gasmärkte in D und EU sind in Bewegung:
 - Liberalisierung des Marktes (“**unbundling**”), kürzere Lieferverträge
 - EU H-Gas-Harmonisierung (**EN 16726**)
 - Rückgang von L-Gas (“**Marktraumumstellung**”)
 - Mehr Importe (Russland, Naher Osten, **LNG**)
 - Neue Gase: **Biogas**, **LNG**, evtl. **H₂** aus **power-to-gas** in naher Zukunft

- Viele dieser Entwicklungen sind für den Endverbraucher durchaus vorteilhaft:
 - Mehr **Wettbewerb** am Markt
 - **Diversifikation** der Quellen, erhöhte Versorgungssicherheit
 - **Einbindung erneuerbarer Energien** in die Gas-Infrastruktur

- Aber: es werden verstärkt erhebliche **Schwankungen lokaler Erdgasbeschaffenheiten** auftreten. Für viele Regionen in der EU ist das eine neue Erfahrung!

Wobbe-Index-Bereiche in der EU (H-Gas)

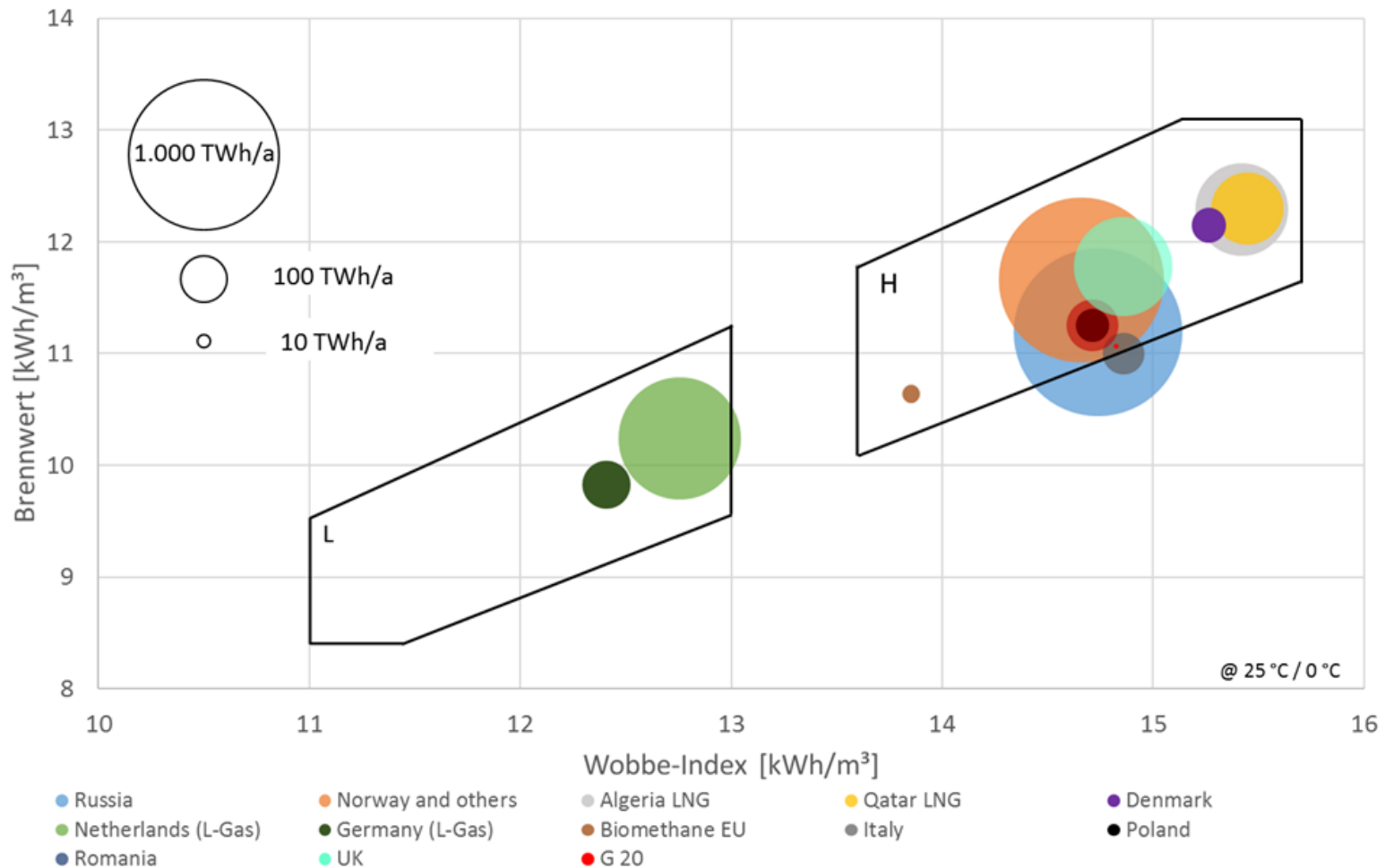


Different national Wobbe index ranges [kWh/m³ (@ 0°C, 101.325 kPa)] for high calorific natural gas; range defined by EASEE-gas denoted by dashed lines (Comparability has been achieved by adjustment of Wobbe Indices to normal conditions.)

Quelle: Pustisek, A. und Karasz, M.: „Harmonization of Rules to Support Turkey's Key Role in South-East European Natural Gas”, E-World Energy and Water Turkey, Istanbul, Turkey. 2013.

@25 °C / 0 °C

Europäische Gasbezugsquellen in den Grenzen der G 260



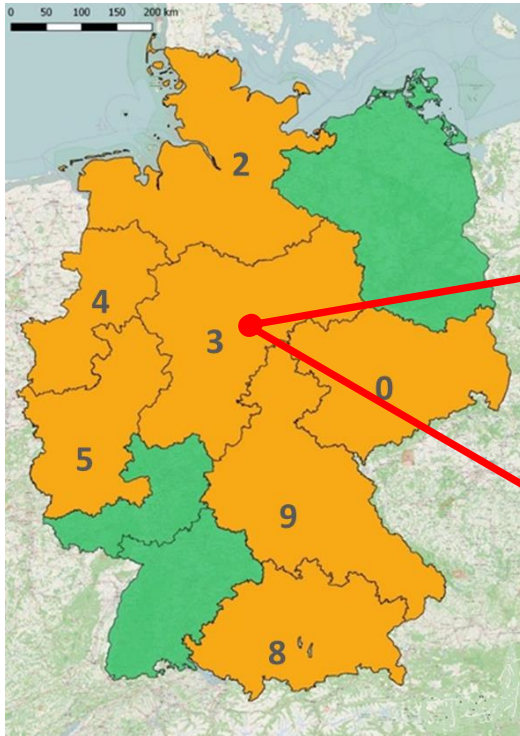
Daten für Gasbeschaffheiten: DVGW G260, EN 437, U.S. DoE, ENTSG

Daten für Bezugsmengen: Eurogas 2015

Gasbeschaffheitsgrenzen nach DVGW G260

Erdgas H - Gasbeschaffenheitsschwankungen



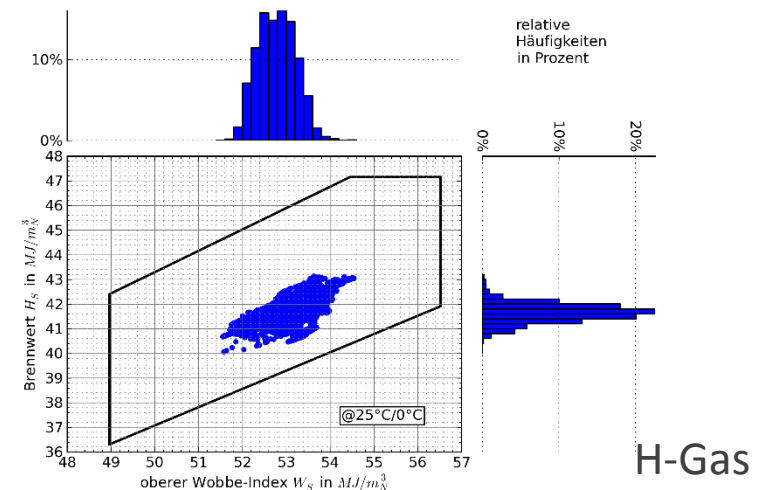
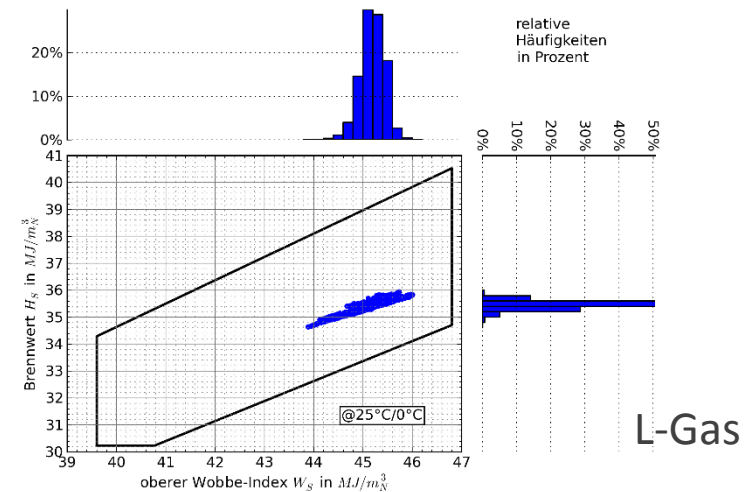


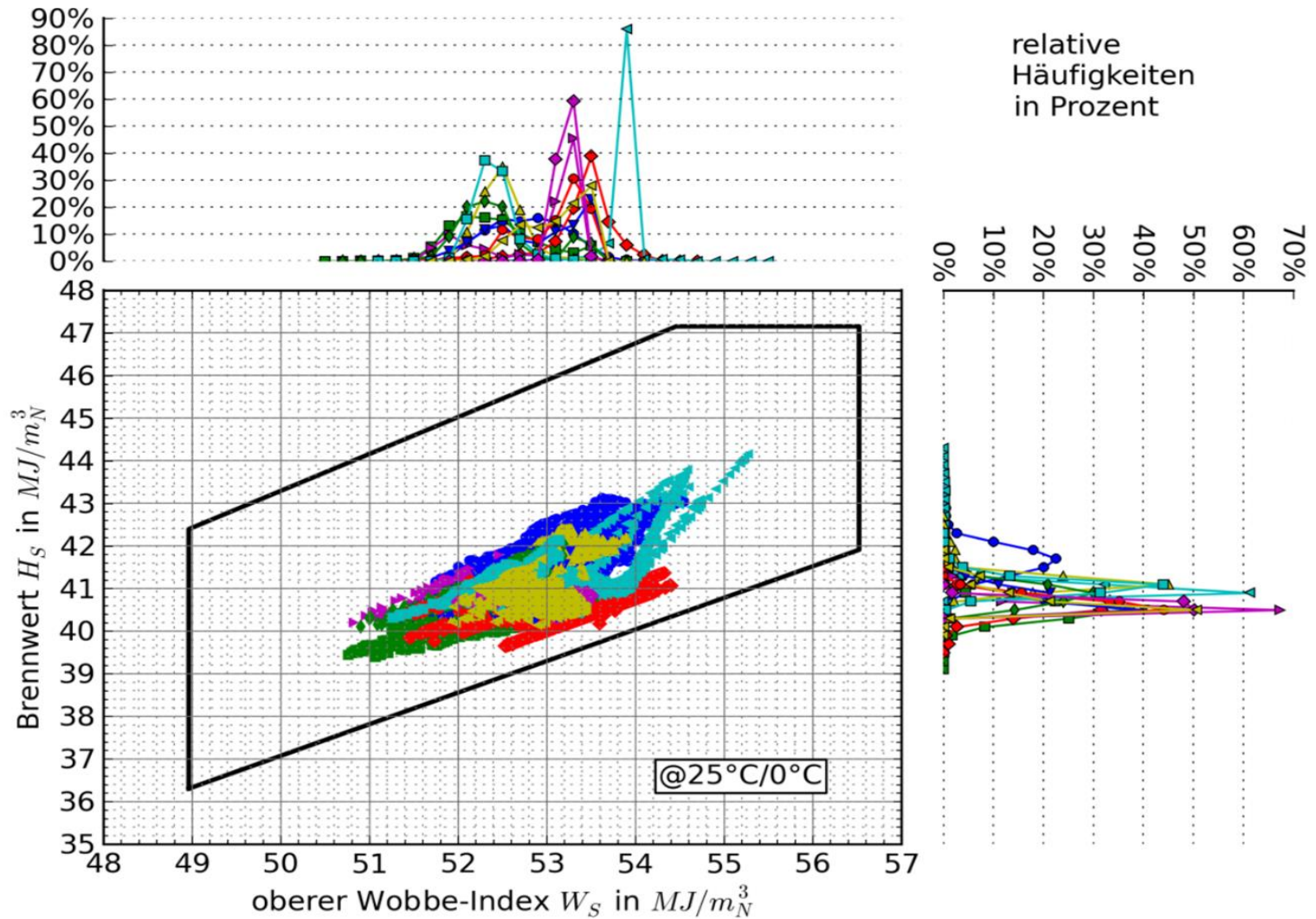
13 Standorte mit 15 verschiedenen Messgeräten
(vom Kalorimeter bis zum GC)

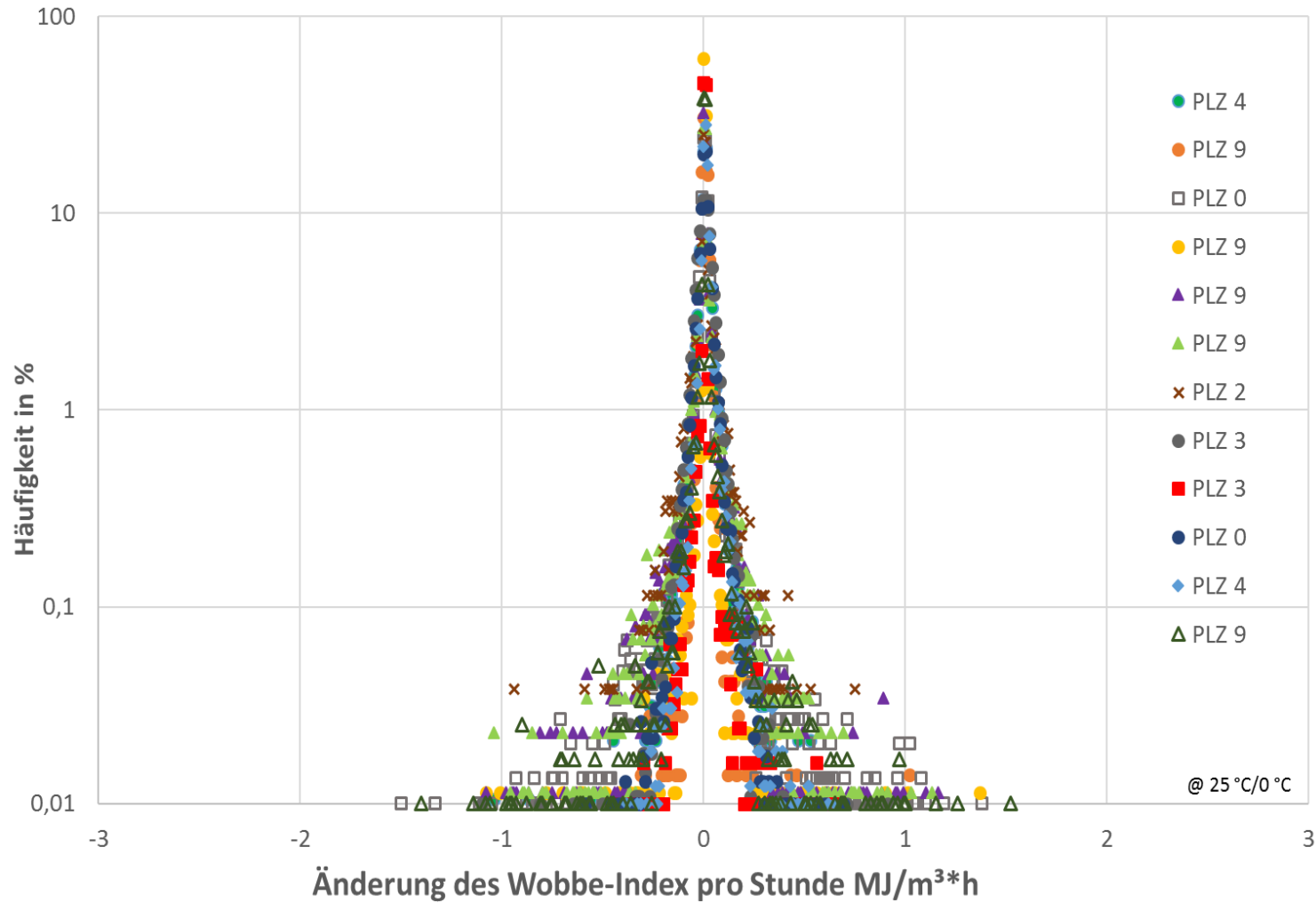
Davon:

- 9 Standorte im H-Gas-Gebiet
- 3 Standorte im L-Gas-Gebiet
- 1 Standort mit Umstellung L- auf H-Gas

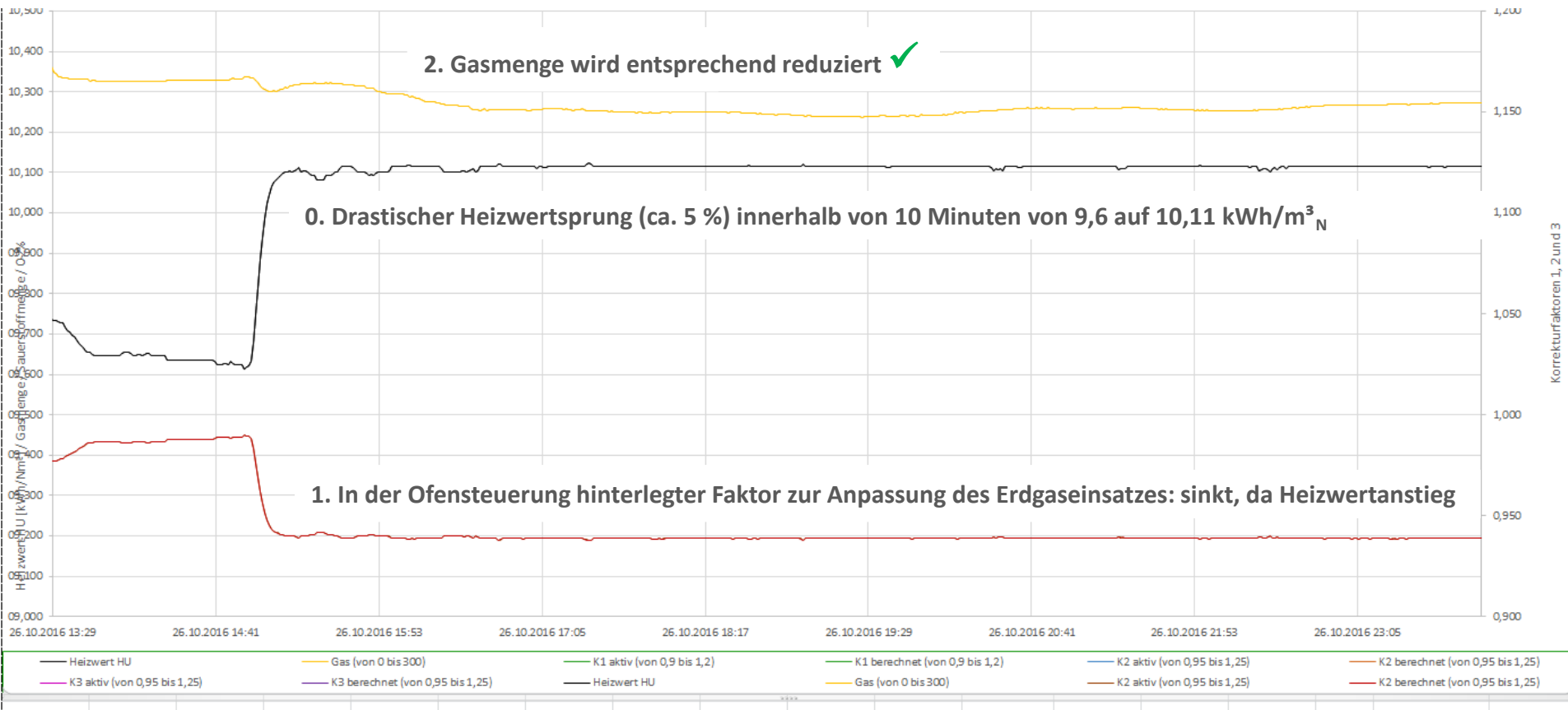
2 Standorte im PLZ-Gebiet 3



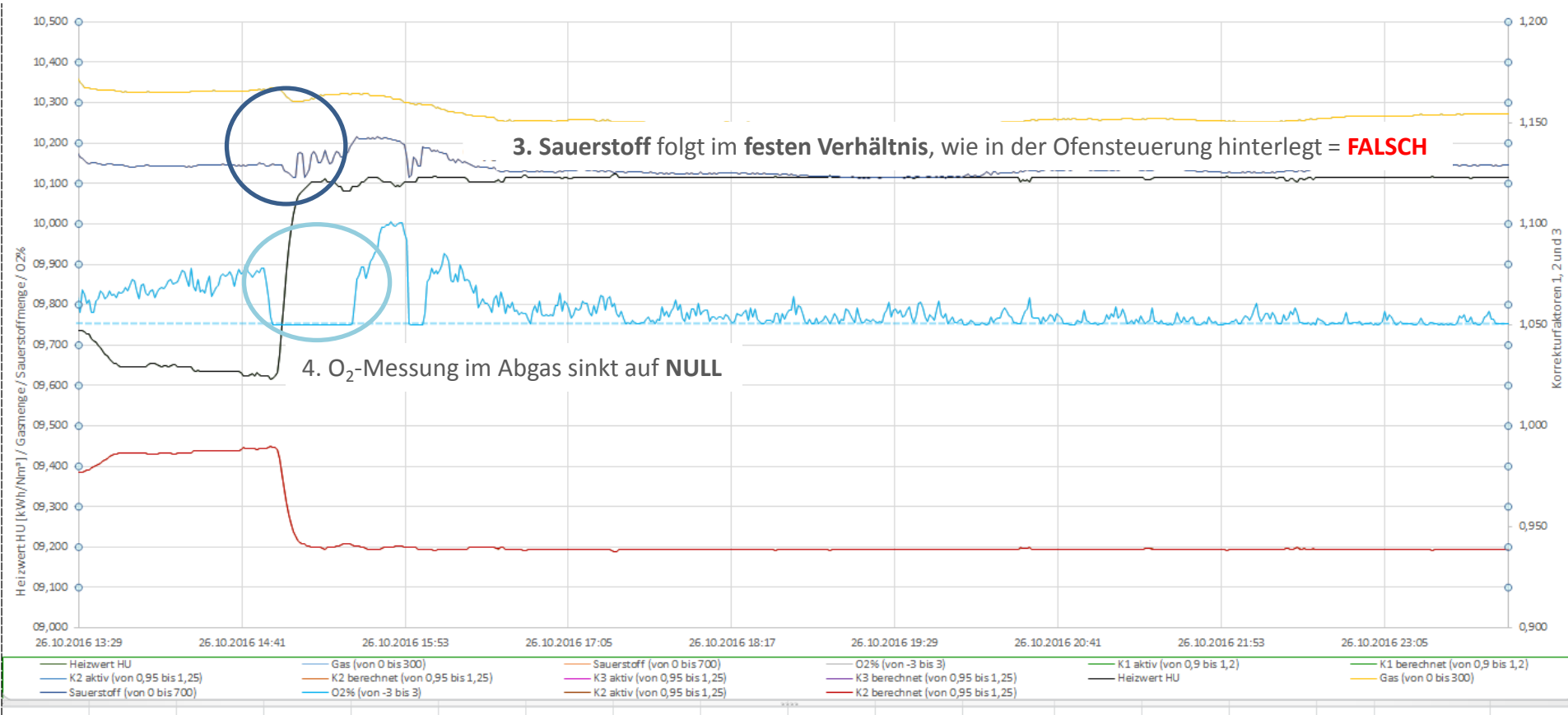




Beispiel 1

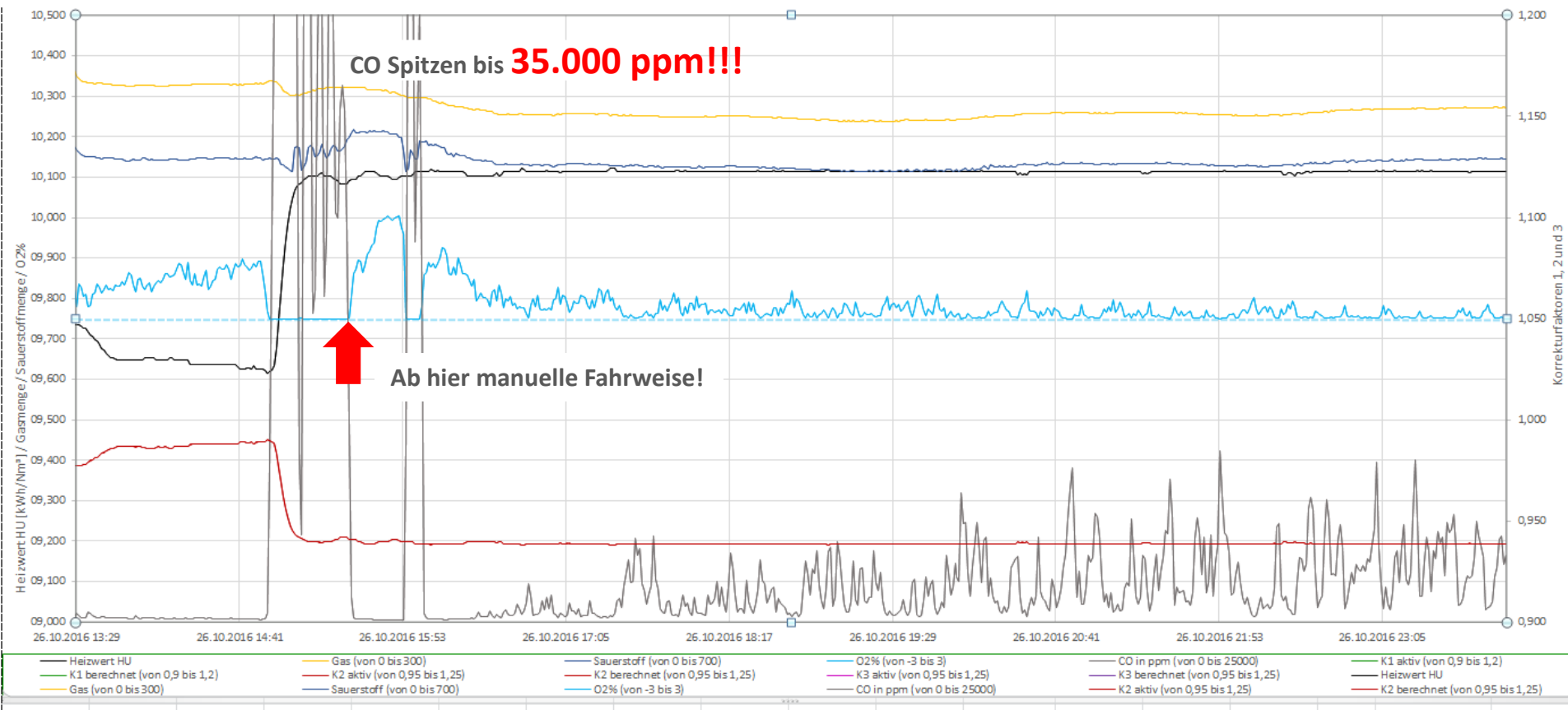


Quelle: Vortrag Herr Hemmann auf 2. Projekttreffen, GasqualitaetGlas in Lünen, 24.11.2016



Quelle: Vortrag Herr Hemmann auf 2. Projekttreffen, GasqualitaetGlas in Lünen, 24.11.2016

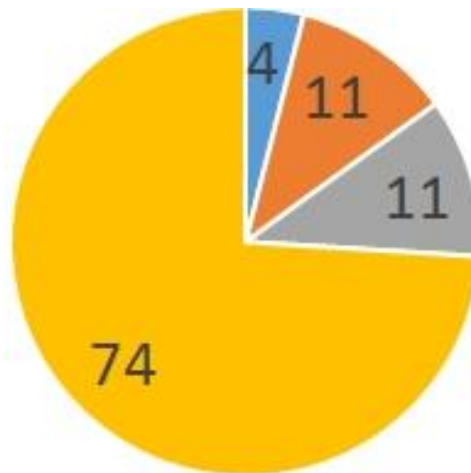
Quelle: Vortrag Herr Hemmann auf 2. Projekttreffen, GasqualitaetGlas in Lünen, 24.11.2016



Neben der **Erfassung** der **Gasbeschaffenheit**, ist eine **Anpassung** der **Ofenregelung** notwendig, separate **Regelung** von **Luft-** und **Gasmenge**, **KEINE Verhältnisregelung**

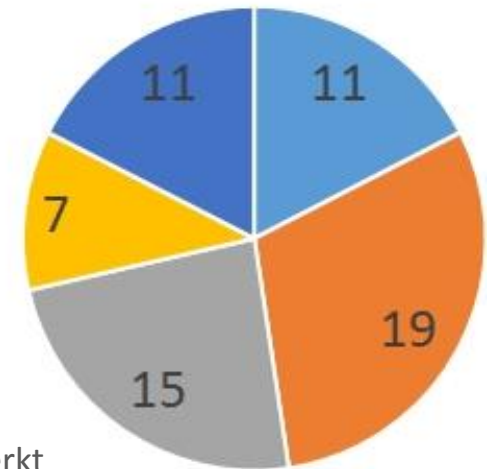
48 % der befragten Anlagenbetreiber geben an, dass sie in den letzten Jahren signifikant schwankende Gasbeschaffenheiten ($> \pm 3\%$ einer relevanten Größe) erlebt haben („Hauptstudie Gasbeschaffenheit – Phase 1“, DVGW, 2016).

- täglich
- wöchentlich
- monatlich
- manchmal / weniger als monatlich



Häufigkeit von signifikanten Gasbeschaffenheitsschwankungen [%]

- Temp.-Fluktuationen / Probleme mit Temp
- Unerwünschte Veränderungen der Prozessparameter
- Veränderungen der Produktqualität
- Erhöhter Aufwand für Brennerjustage
- Keine Konsequenzen bemerkt

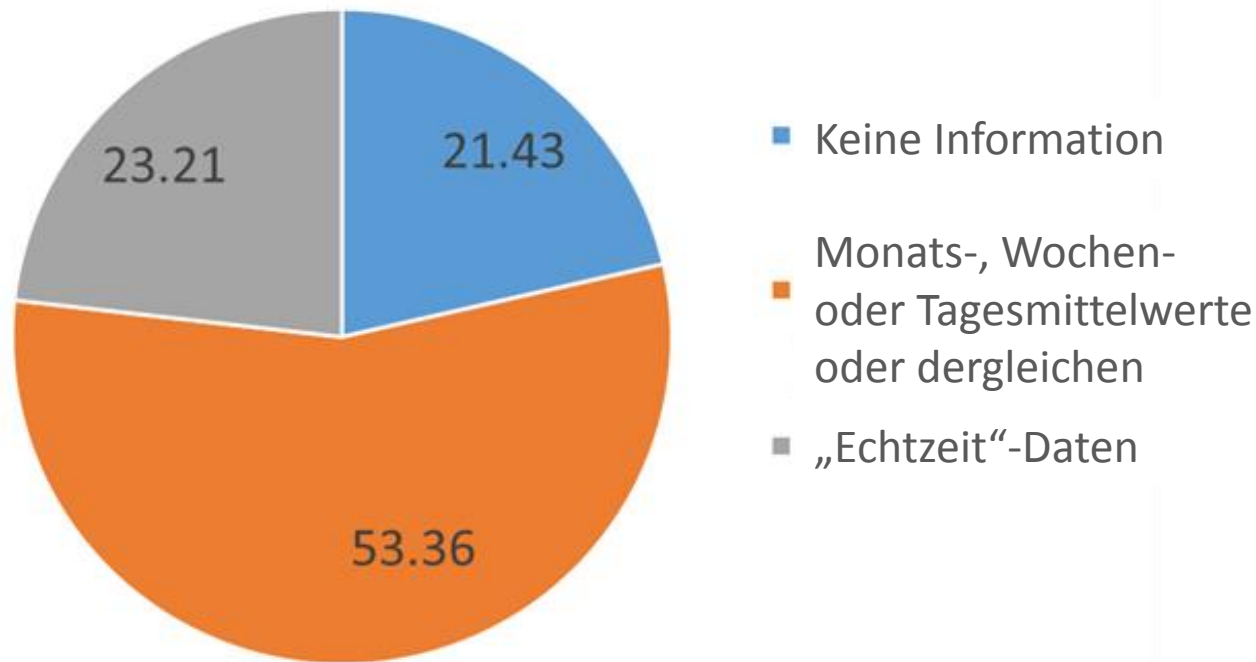


Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsschwankungen [%] (Top 5)

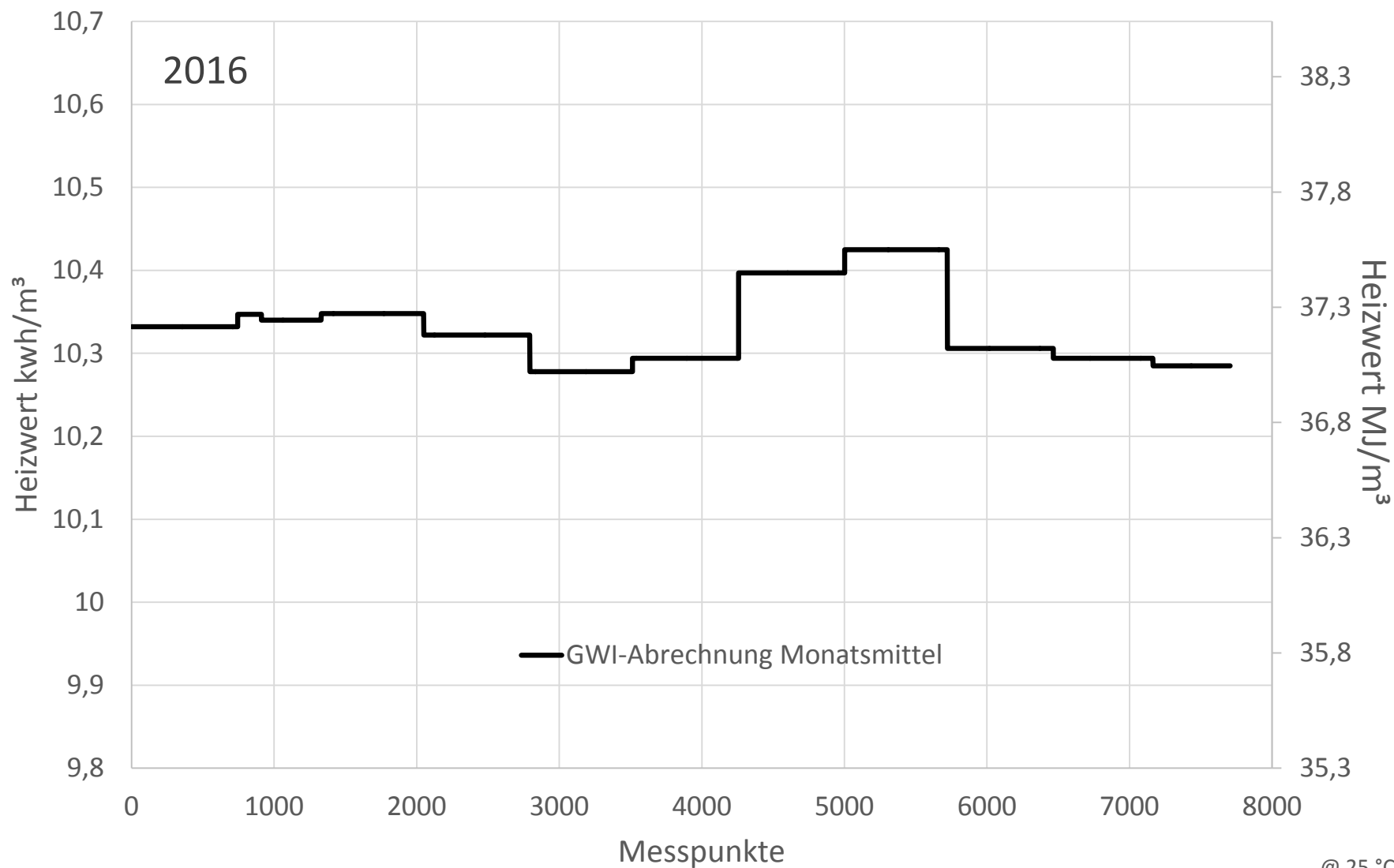
Je nach Anwendung können die Auswirkungen von schwankenden Gasbeschaffenheiten sehr unterschiedlich ausfallen. Vorhersagen sind nicht immer einfach.

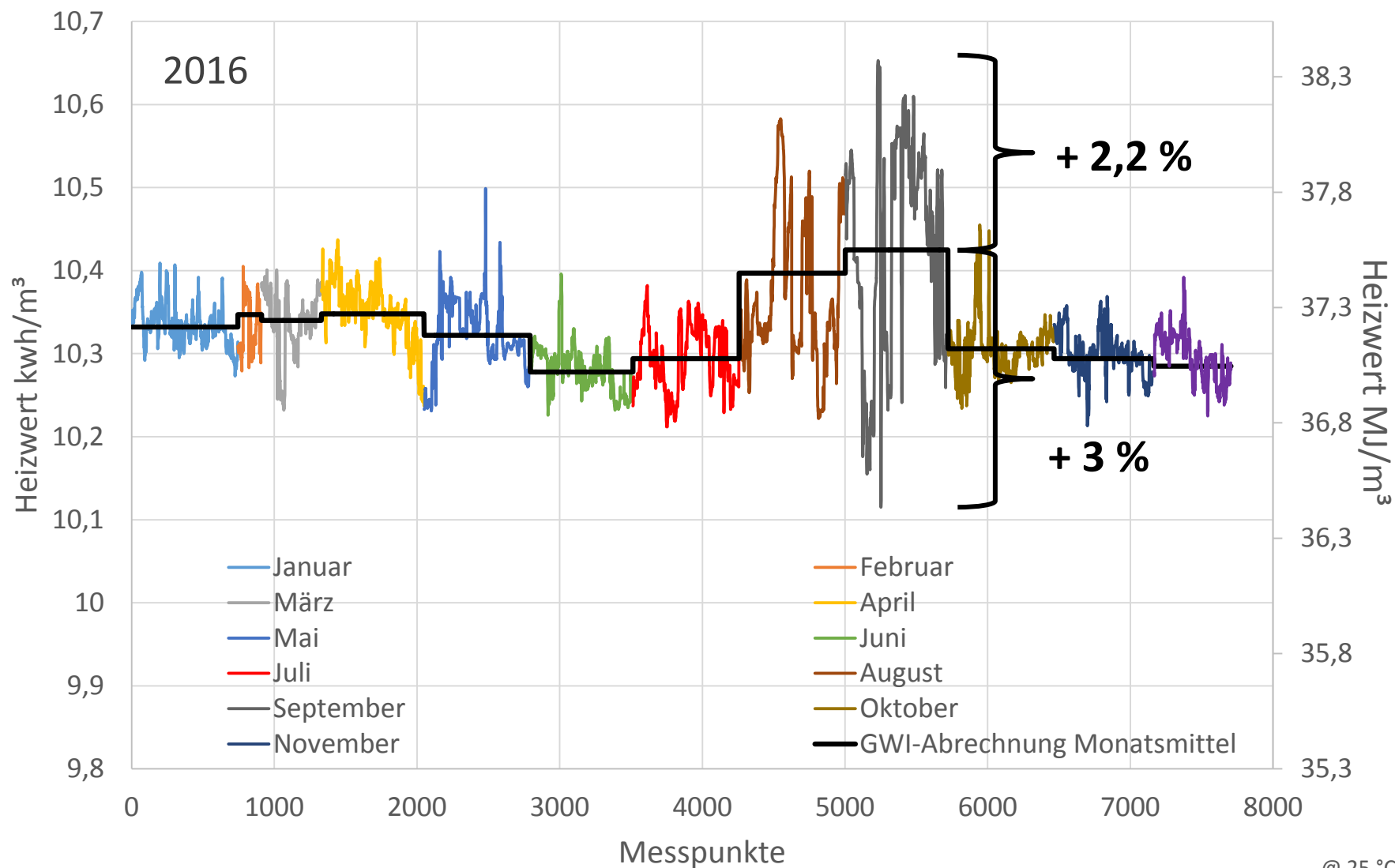
Frage (an Industriekunden):

In welcher Form haben Sie Zugriff auf Gasbeschaffungsdaten?

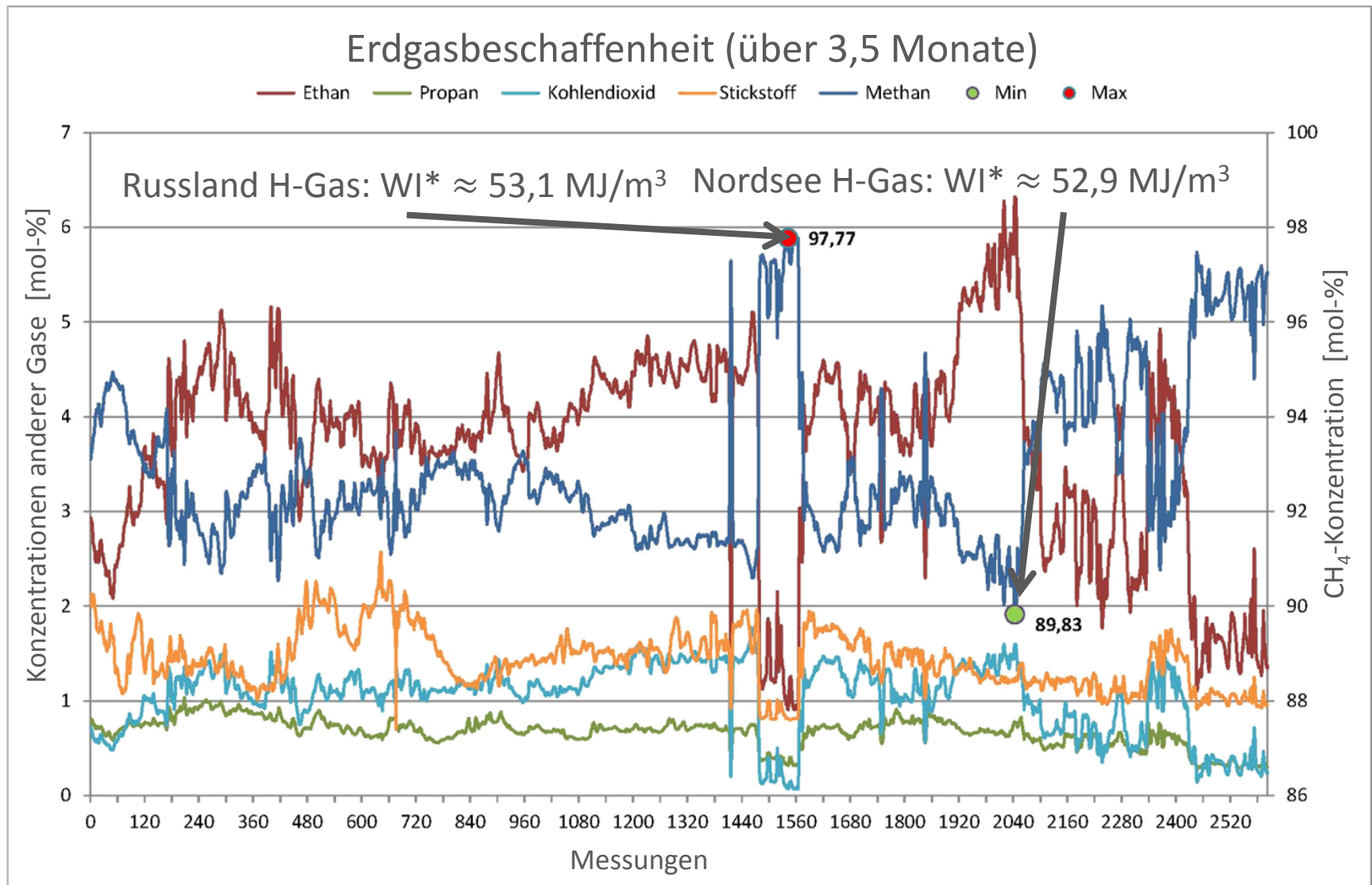


Die Mehrheit der Teilnehmer der Umfrage hat **keinen** Zugriff auf Informationen zur **aktuellen lokalen Gasbeschaffenheit**.





Beispiel 2



Referenzzustand:

Russland-Gas H
($P = 200 \text{ kW}$, $\lambda = 1,1$)

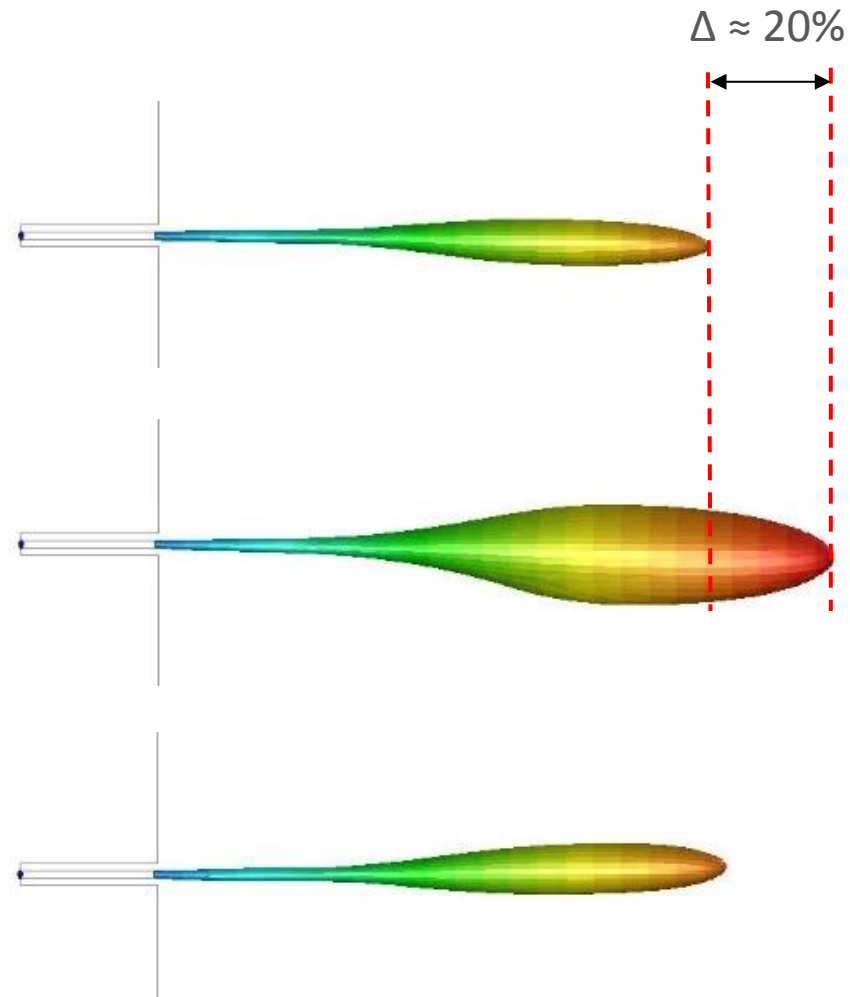
$\Delta W_s = 0,4 \%$
 $\Delta H_i = 4 \%$

Keine Regelung:

Nordsee-Gas H
Volumenströme konstant
($P = 208 \text{ kW}$, $\lambda = 1,056$)
 $\uparrow 4 \%$ $\downarrow 4 \%$

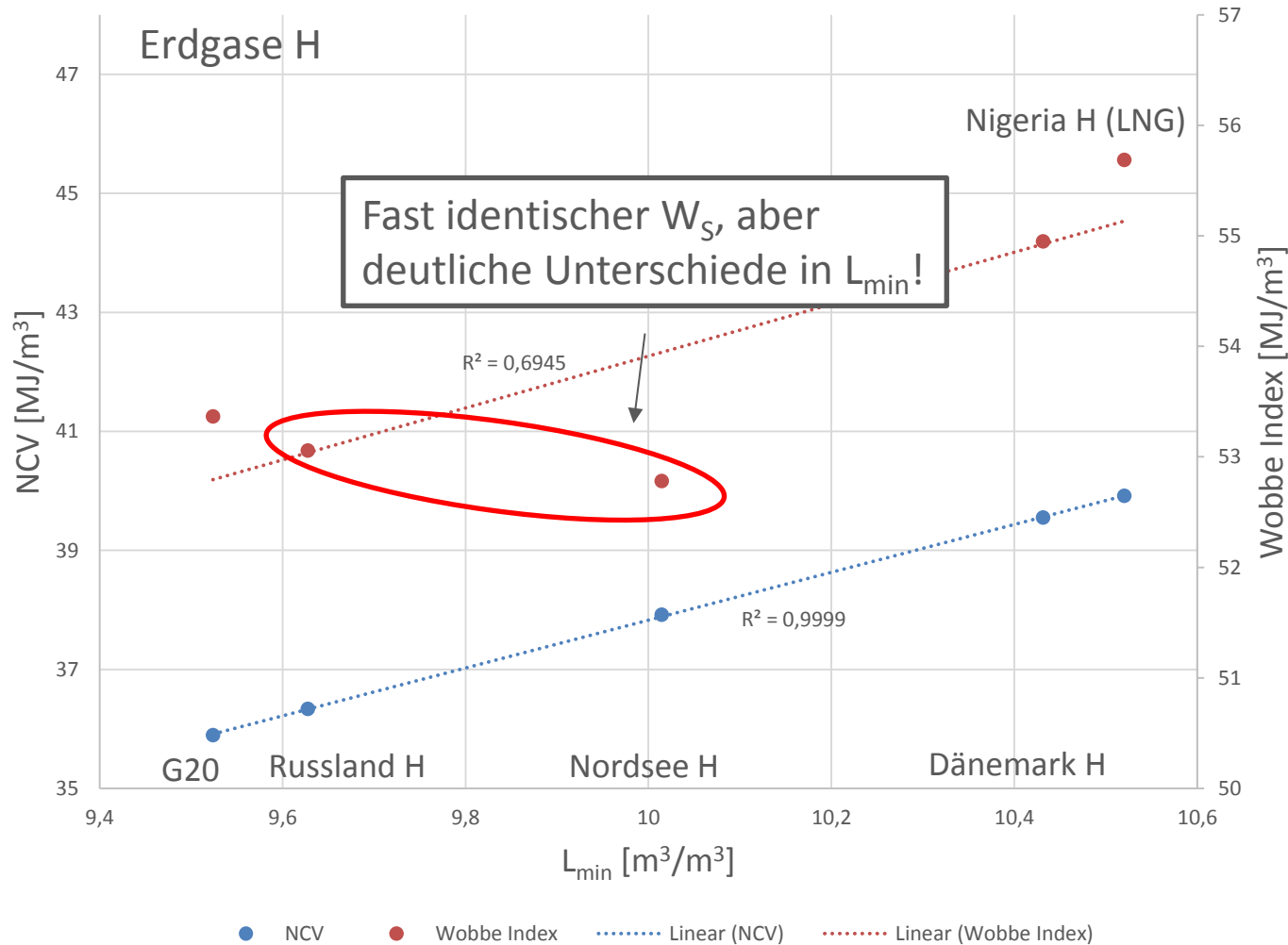
Regelung von Leistung und Luftzahl :

Nordsee-Gas H
($P = 200 \text{ kW}$, $\lambda = 1,1$)
Luft- und Gasvolumenströme angepasst,
Voraussetzung: Gasbeschaffenheitsmessung **vor Ort**
und entsprechende Regelungstechnik.



Test-Brenner

Heizwert vs. Wobbe-Index vs. L_{\min} : Erdgase H



@25 °C / 0 °C

Einschätzung verschiedener (industrieller) Endverbraucher

| Branche | | Prozess | | Effizienz | | | | Sicherheit (Emissionen + thermische Überlast) | | | | Produktqualität | | | |
|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|-------|---------|---------|---|-------|---------|---------|-----------------|-------|---------|---------|
| | | | | Schwankungsbreite Wobbe-Index / Heiz- oder Brennwert zum eingestellten Wert | | | | | | | | | | | |
| | | | | ± 2 % | ± 4 % | ± 5,5 % | ± 7,5 % | ± 2 % | ± 4 % | ± 5,5 % | ± 7,5 % | ± 2 % | ± 4 % | ± 5,5 % | ± 7,5 % |
| Wärme | Raum | Hellstrahler* | | | | | | | | | | | | | |
| | | Dunkelstrahler* | | | | | | | | | | | | | |
| | | Warmluftheizer* | | | | | | | | | | | | | |
| | Prozess | Heiz- und Dampfkessel | | | | | | | | | | | | | |
| | | direkte und indirekte Trocknung | | | | | | | | | | | | | |
| Energieversorgung | Gasturbinen | Diffusion Mode | | | | | | | | | | | | | |
| | | DLE Mode | | | | | | | | | | | | | |
| | Gasmotoren | | | | | | | | | | | | | | |
| Metallurgie | Vorwärmung (Metalle) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Thermochem. Wärmebehandlung | | | | | | | | | | | | | | |
| | Endogaserzeugung | | | | | | | | | | | | | | |
| | Verzinkungsprozesse | | | | | | | | | | | | | | |
| | Schmelzprozesse (NE-Metalle) | | | | | | | | | | | | | | |
| Keramik | Kalköfen, Kalzinierung von Tonerden | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ziegelfertigung | | | | | | | | | | | | | | |
| | Porzellanbrennen | | | | | | | | | | | | | | |
| Glas | Glasschmelzen (Behälterglas) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Glasschmelzen (Flachglas) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Glasschmelzen (Spezialglas) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Feeder und Kühlung (Tempem) | | | | | | | | | | | | | | |
| Chemie | Chemie-, Kunststoffindustrie | | | | | | | | | | | | | | |

Grundlage: keine
Kompensationsmaßnahmen

Hellstrahler*, Dunkelstrahler*, Wärmeluftheizer*:
"Produktqualität" bedeutet hier Raumwärmequalität

| | |
|--|-----------------------|
| | kein Handlungsbedarf |
| | z. T. Handlungsbedarf |
| | Handlungsbedarf |

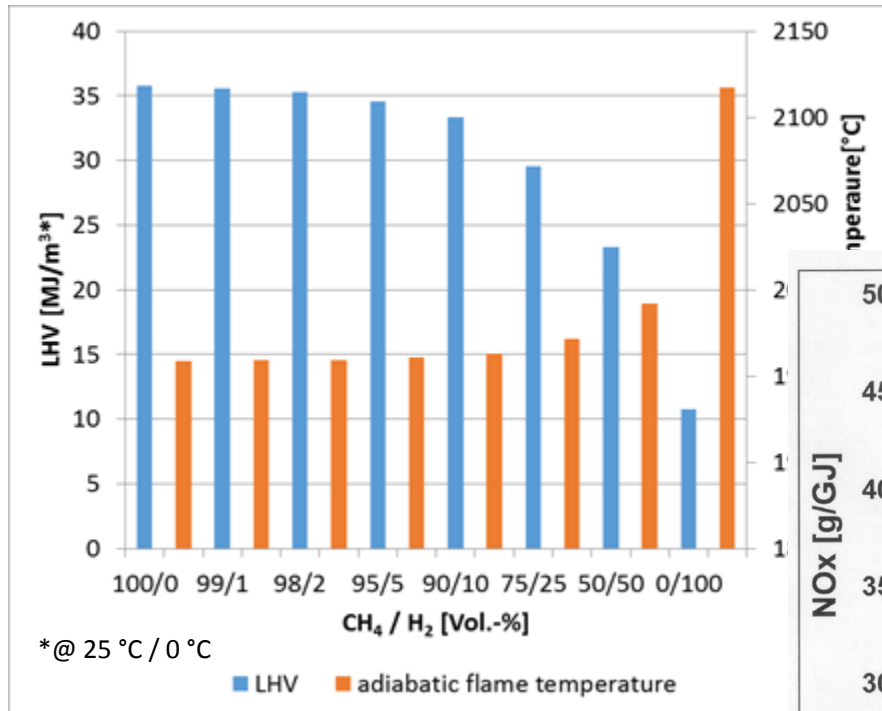
Wasserstoff – PtX



- Aber **welche Konsequenzen** haben die **Endverbraucher** zu erwarten, wenn **Power-to-Gas** im **großen Maßstab** umgesetzt wird?
- Wenn **Wasserstoff vor Ort** produziert und gespeichert wird, kann er **direkt** in Zeiten hoher Nachfrage z. B. in Gasturbinen oder Brennstoffzellen zur **Stromproduktion** genutzt werden ... **keine Auswirkungen** für die **Endverbraucher** von Erdgas.
- Wird **Wasserstoff** und **Kohlendioxid** in **Methan** umgewandelt, kann dieses **SNG** **direkt** in das **öffentliche Erdgasnetz** eingespeist werden ... dürfte **keine Auswirkungen** auf den Endverbraucher haben, höchstens durch die Schwankungen der lokalen Gasbeschaffheiten.
- Aber was, wenn der **Wasserstoff** **direkt** in das **Erdgasnetz** (bevorzugte Option der Gaswirtschaft) eingespeist wird?
Wie sind die **Auswirkungen** auf die **Betreiber** von **Thermoprozessanlagen** und Kraftwerken sowie die chemische Industrie, mit ihren teilweise **hochsensiblen Prozessen** und **Produkten**?

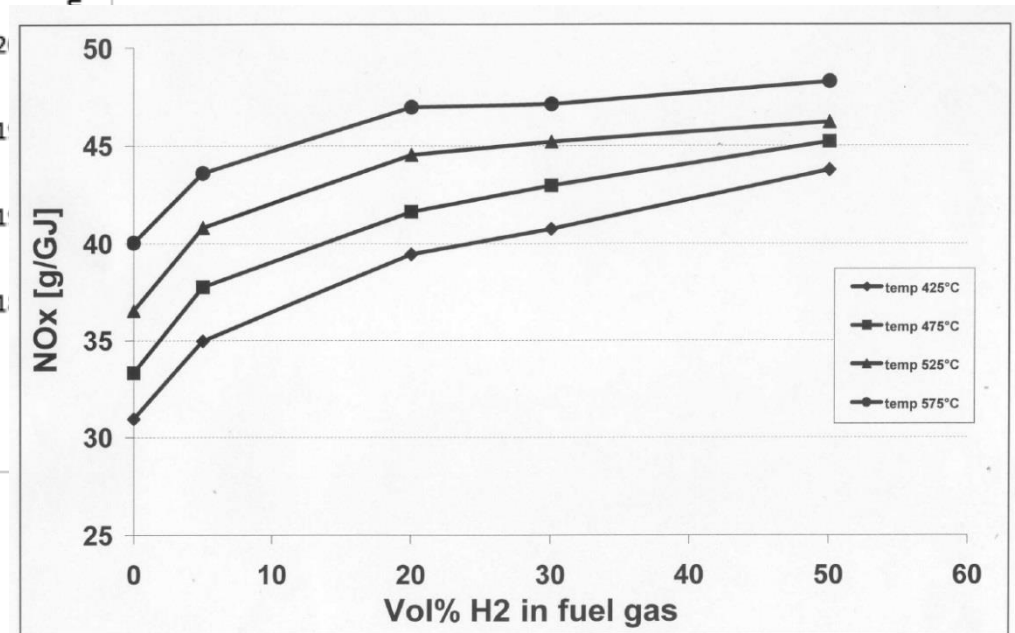
Auswirkungen von H₂ im Erdgas...

... auf die **Verbrennung**?



Source: GWI

... auf **Schadstoffemissionen**?



Source: Slim, B.K., Darneveil, H., van Dijk, G.H.J., Last, D., Pieters, G.T., Rotink, M.H., Overdiep, J.J., Levinsky, H.B., "Should we add hydrogen to the natural gas grid to reduce CO₂ emissions (Consequences for gas utilization equipment)", 23rd World Gas Conference, Amsterdam, The Netherlands, 2006

Szenario I:

Keine Regelung von **Luftzahl** und **Leistung**, d. h.

Volumenströme von **Gas** und **Luft** bleiben **konstant** („worst case“).

Szenario II:

Luftverhältnis konstant, aber **keine Leistungsregelung**, d. h. Volumenstrom **Gas** bleibt **konstant**, **Volumenstrom Luft** wird angepasst.

Szenario III:

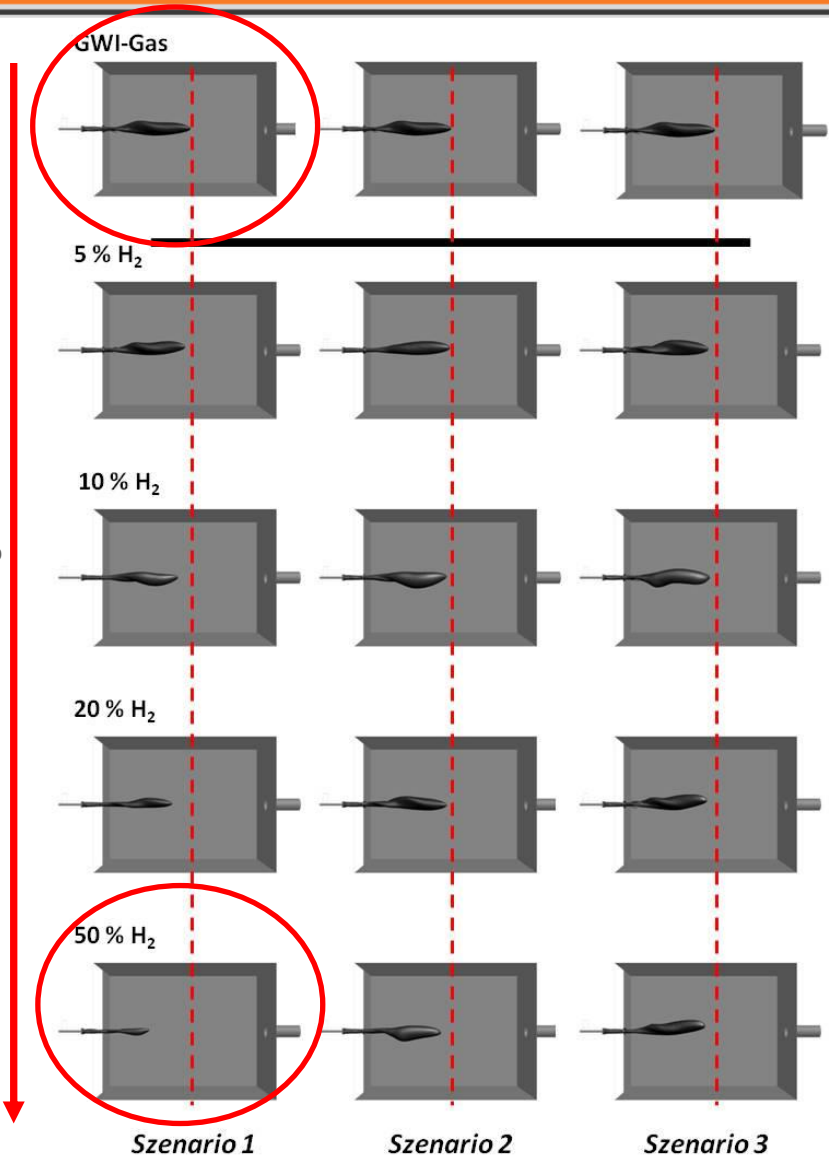
Luftzahl und Leistung konstant, d. h. Volumenstrom **Gas** und **Luft** werden **angepasst** („best case“)

ΔP ca. - 7,5 %

$\Delta \lambda$ ca. + 9 %

ΔP ca. - 35 %

$\Delta \lambda$ ca. + 61 %



Szenario I:

Keine Regelung von **Luftzahl** und **Leistung**, d. h.

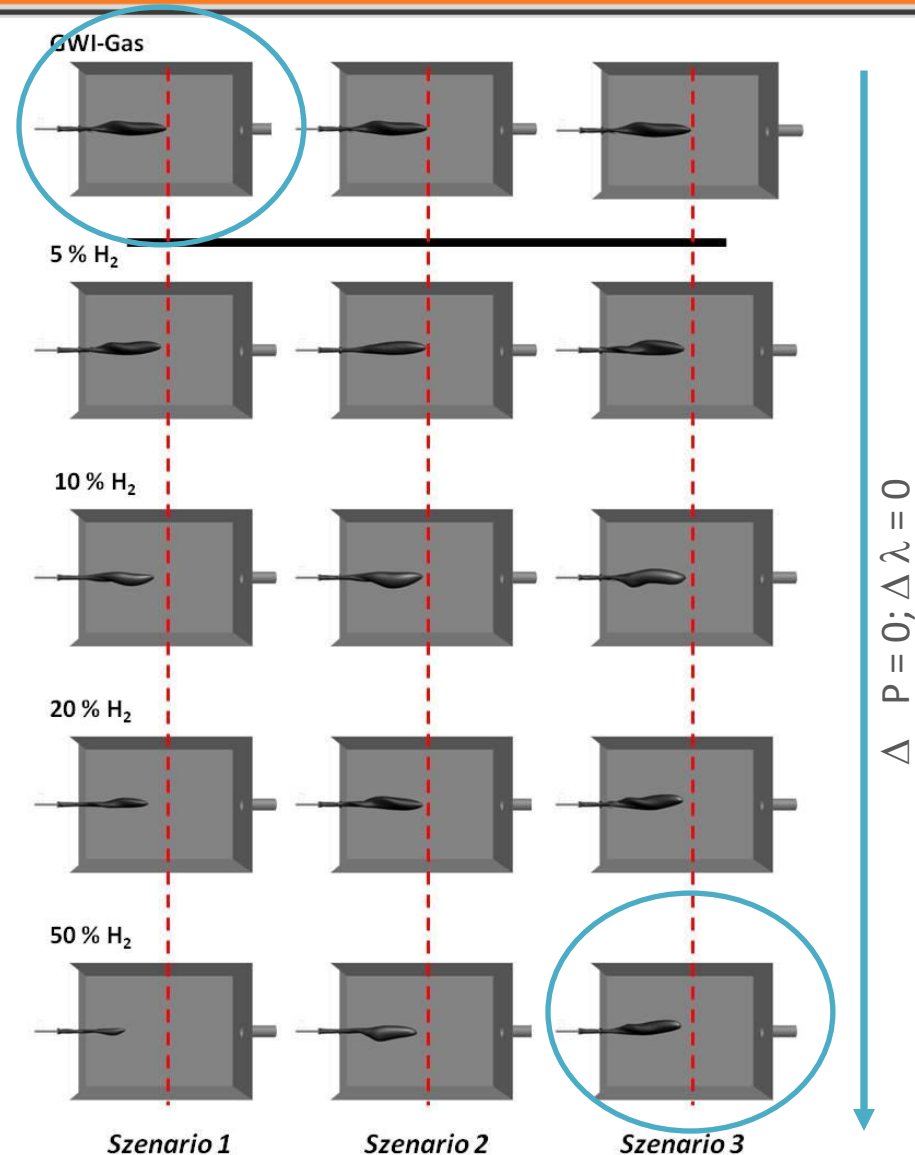
Volumenströme von **Gas** und **Luft** bleiben **konstant** („worst case“).

Szenario II:

Luftverhältnis konstant, aber **keine Leistungsregelung**, d. h. Volumenstrom **Gas** bleibt **konstant**, **Volumenstrom Luft** wird angepasst.

Szenario III:

Luftzahl und Leistung konstant, d. h. Volumenstrom **Gas** und **Luft** werden **angepasst** („best case“)



Lösung



Anwender

- Verschiedene Kompensationsmöglichkeiten sowohl auf der Anwender- als auch auf der Netzseite sind denkbar:
 - Stark überstöchiometrische Fahrweise – Effizienzverluste, u. U. höhere NO_x-Emissionen
 - Luftzahlregelung – z. B. Lambdasonde
 - Luftzahl- und Leistungsregelung – z. B. Lambdasonde, Gasbeschaffenheitsmessgerät, angepasste MSR-Technik, **KEINE** Verbundregelung, Gas und Luft müssen separat regelbar sein
 - Lokale Konditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgerät, Mischeinheit, Gase

Netz

- Regionale Netzkonditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgeräte, Mischeinheiten, Gase
- Nationale Netzkonditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgeräte, Mischeinheiten, Gase

Steigende Kosten

???

Anwender

- Verschiedene Kompensationsmöglichkeiten sowohl auf der Anwender- als auch auf der Netzseite sind denkbar:
 - Stark überstöchiometrische Fahrweise – Effizienzverluste, u. U. höhere NO_x-Emissionen
 - Luftzahlregelung – z. B. Lambdasonde
 - Luftzahl- und Leistungsregelung – z. B. Lambdasonde, Gasbeschaffenheitsmessgerät, angepasste MSR-Technik, **KEINE** Verbundregelung, Gas und Luft müssen separat regelbar sein
 - Lokale Konditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgerät, Mischeinheit, Gase

Netz

- Regionale Netzkonditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgeräte, Mischeinheiten, Gase
- Nationale Netzkonditionierung – Gasbeschaffenheitsmessgeräte, Mischeinheiten, Gase

Steigende Kosten

???

- Erdgas wird auch in Zukunft eine **wesentliche Rolle im Energie-Mix** spielen, sowohl global als auch in Deutschland und Europa.
- Endverbraucher, insbesondere in sensiblen Bereichen, müssen jedoch mit Veränderungen rechnen, wie etwa **neue Marktsituationen** (Liberalisierung und „unbundling“), **neue Gasbezugsquellen** (LNG ?) oder auch die verstärkte Einspeisung von **regenerativen Gasen** (Bio-Methan, Wasserstoff) in die Gasnetze.
- Eine Konsequenz können weitaus **stärkere lokale Fluktuationen** im angebotenen Erdgas sein, mit unter Umständen erheblichen Konsequenzen.
- Bessere **Mess- und Regelungstechnik** kann hier helfen, wird aber momentan nicht flächendeckend in Deutschland eingesetzt. **FuE** sind immer noch notwendig!

- Hauptstudie zur Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsschwankungen auf die Sektoren des Gasverbrauchs und deren Kompensation Phase 1 (Hauptstudie Gasbeschaffenheit)“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Abschlussbericht G1/01/15, 2016
- > [Hauptstudie Gasbeschaffenheit Phase I](#)
- Hauptstudie Gasbeschaffenheit, Phase II, Abschlussbericht über den DVGW zu beziehen
- Gasbeschaffenheitsschwankungen - Erarbeitung von Kompensationsstrategien für die Glasindustrie zur Optimierung der Energieeffizienz (GasqualitaetGlas), Abschlussbericht (03ET1296A-D), Dezember 2018
- > [GasqualitaetGlas](#)
- Untersuchung der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischung ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in thermoprozesstechnischen Anlagen (H2-Substitution)“, Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Essen, Ab-schlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt Nr. 18518 N, 2017
-> [H2-Substitution](#)



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Jörg Leicher
Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Hafenstraße 101
45356 Essen
Tel.: +49 (0) 201 3618 – 278
leicher@gwi-essen.de