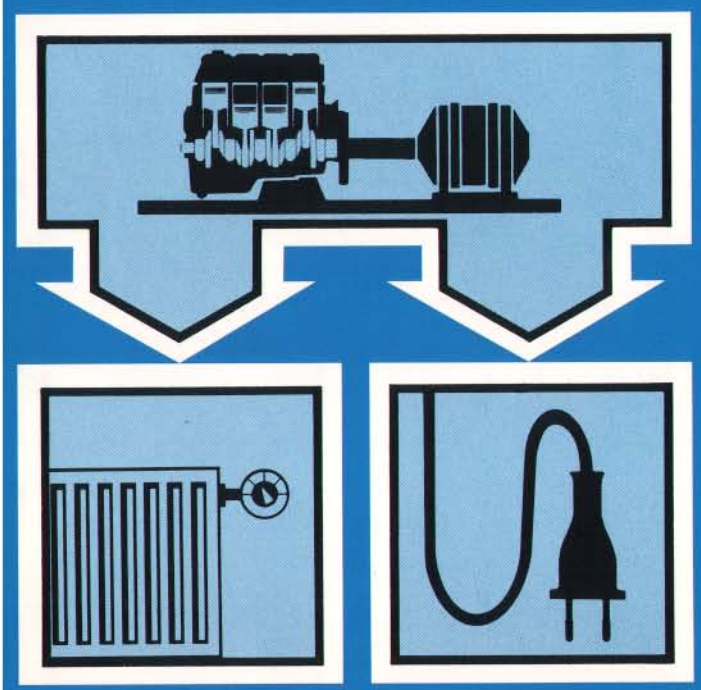
ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E. V.

BHKW und Methanzahl



Einfluß der Gasbeschaffenheit auf den Motorbetrieb

Inhalt

Vorwort	1
Die Bedeutung der Methanzahl für den Gasmotor	3
Zeitweilige Änderung der Gasbeschaffenheit bei der Erdgasversorgung	4
Auswirkungen der Zumischung von Flüssiggas/Luft	5
Motorische Randbedingungen und Methanzahlbedarf	6
Lösungsansätze zur Ausregelung der Beschaffenheitsänderung	8
Literaturhinweise	10
Anhang: Nomogramme für verschiedene Grundgase und Zumischungen	11
ASUE-Veröffentlichungen	23

Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft für
sparsamen und umweltfreundlichen
Energieverbrauch e.V. (ASUE)
Heidenkampsweg 101
2000 Hamburg 1
Telefon (040) 234509

Vertrieb:

Verlag
Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 100304
2000 Hamburg 1
Telefax (040) 2366-3361

BHKW und Methanzahl –
Einfluß der Gasbeschaffenheit auf
den Motorbetrieb
Bestell-Nr. 051092
Schutzgebühr 3,50 DM

Vorwort

Die zunehmende Akzeptanz von gasmotorgetriebenen Anlagen (insbesondere Blockheizkraftwerken) hat zu einem verstärkten Informationsbedürfnis über die Einsatzmöglichkeiten dieser Technik bei den potentiellen Betreibern und auch bei den Gasversorgungsunternehmen geführt. Die Fragen des Motorbetriebes bei bestehenden Anlagen und die Auswahl bzw. Auslegung zukünftiger Motorenaggregate sind nicht zuletzt abhängig von der Beschaffenheit des zur Verteilung kommenden Brenngases.

In der öffentlichen Gasversorgung wird heute fast ausschließlich Erdgas verwendet. Es stammt aus folgenden Quellen (alte Bundesländer, 1991):

GUS	ca. 29 %
Niederlande	ca. 33 %
Norwegen	ca. 14 %
Dänemark	ca. 1 %
Bundesrepublik Deutschland	ca. 23 %

Erdgas besteht im wesentlichen aus Methan, Ethan, Propan und Butan, aus Spuren höherer Kohlenwasserstoffe und aus den inerten Komponenten Stickstoff und Kohlendioxid. Durchschnittsanalysen sind in **Bild 1** (siehe Seite 2) dargestellt. Aktuelle Werte können im Einzelfall beim örtlichen Gasversorgungsunternehmen in Erfahrung gebracht werden.

Zur Spitzengasdeckung werden von örtlichen Gasversorgungsunternehmen dem Erdgas Flüssiggas bzw. Flüssiggas / Luft-Gemische zugemischt. Dieses Vorgehen beeinflußt naturgemäß die Gasbeschaffenheit.

Die Anforderungen an die Beschaffenheit der Brenngase der öffentlichen Gasversorgung sind im DVGW-Arbeitsblatt G 260, Teil I und II, beschrieben. Gemäß Teil II sind Flüssiggas / Luft-Zumischungen zum Grundgas möglich, die mit erheblichen Auswirkungen auf die motorische Verbrennung (Merthanzahlverringerung) verbunden sind.

Die vorliegende Veröffentlichung informiert über die Bedeutung der Methanzahl der Brenngase und beschreibt die Auswirkungen der Zumischung von Flüssiggas / Luft auf das Motorbetriebsverhalten. Weiterhin werden Lösungsansätze zur Ausregelung von Änderungen in der Gasbeschaffenheit aufgezeigt.

		Einheit	Nordsee Erdgas H	Verbund-Gas H	GUS-Erdgas H	Holland-Erdgas L	Verbund-Erdgas L
Analysenwerte							
CO_2		Vol.-%	1,53	1,18	0,08	1,27	1,22
N_2		Vol.-%	1,10	4,48	0,81	10,64	10,01
O_2		Vol.-%	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
H_2		Vol.-%	0,00	0,06	0,00	0,00	0,31
CO		Vol.-%	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
CH_4		Vol.-%	86,54	87,74	98,31	83,35	84,40
C_2H_6		Vol.-%	8,02	4,86	0,50	3,71	3,14
C_2H_4		Vol.-%	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,01
C_3H_8		Vol.-%	2,06	1,21	0,19	0,70	0,61
C_4H_{10}		Vol.-%	0,60	0,35	0,08	0,22	0,19
C_5H_{12}		Vol.-%	0,10	0,07	0,02	0,06	0,04
C_6H_{14}		Vol.-%	0,05	0,04	0,01	0,05	0,04
C_7H_{16}		Vol.-%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C_8H_{18}		Vol.-%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C_6H_6		Vol.-%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kennwerte							
Brennwert	$H_{o,n}$	kWh/m³	11,99	11,16	11,07	10,26	10,23
Heizwert	$H_{u,n}$	kWh/m³	10,85	10,09	9,98	9,27	9,24
Dichte	ϱ_n	kg/m³	0,835	0,812	0,731	0,830	0,818
Relative Dichte (Luft = 1)		—	0,646	0,628	0,565	0,642	0,633
Wobbe-Index	W_o	kWh/m³	14,91	14,08	14,72	12,81	12,86
Wobbe-Index	W_u	kWh/m³	13,50	12,73	13,27	11,57	11,61
Luftbedarf	L_o	m³/m³	10,34	9,63	9,54	8,85	8,82
Spezifischer Luftbedarf bezogen auf $H_{u,n}$	$L_{o,s}$	m³/kWh	0,953	0,955	0,956	0,995	0,955
Abgas (f)	V_f	m³/m³	11,29	10,56	10,43	9,78	9,74
Abgas (tr)	V_{tr}	m³/m³	9,31	8,69	8,55	8,05	8,02
Abgaszusammensetzung (f)							
CO_2 (max.)		Vol.-%	10,02	9,84	9,59	9,74	9,71
H_2O		Vol.-%	17,52	17,66	18,05	17,62	17,68
N_2		Vol.-%	72,46	72,50	72,36	72,64	72,61
Abgaszusammensetzung (tr)							
CO_2 (max.)		Vol.-%	12,14	11,95	11,70	11,82	11,80
N_2		Vol.-%	87,86	88,05	88,30	88,18	88,20
Maximale laminare Flammengeschwindigkeit		m/s	0,43	0,43	0,43	0,41	0,41
Max. Flammentemperatur mit Luft (mit Dissoziation)		°C	1955	1950	1951	1941	1941
Zündtemperatur		°C	640	640	640	640	640
Methanzahl		—	72	81	95	86	88

Bild 1: Erdgas-Durchschnittswerte (1991)

Die Bedeutung der Methanzahl für den Gasmotor

Bei der motorischen Verbrennung müssen gasförmige Brennstoffe bestimmte Anforderungen erfüllen, wie ausreichender (konstanter) Energieinhalt (Gemischheizwert) und hohe Klopffestigkeit.

Eine zu niedrige Klopffestigkeit des Gases führt zu klopfender Verbrennung. Beim Klopfen tritt im noch unverbrannten Gas/Luft-Gemisch Selbstzündung auf. Infolge örtlicher Druckunterschiede entstehen hochfrequente Gasschwingungen, die sich dem Verbrennungsdruck überlagern. Dabei nimmt der Wärmeübergang vom Gas auf die Brennraumwände stark zu und die thermische Belastung dieser Bauteile steigt. Bei klopfender Verbrennung können gravierende Schäden am Motor (z. B. Kolbenfresser) auftreten.

Die bestimmende Größe zur Beurteilung der Klopffestigkeit von Brenngasen ist die **Methanzahl (MZ).** Sie ist mit der Oktanzahl für Benzinbetrieb vergleichbar und gibt das prozentuale Methan-Volumenverhältnis einer Methan/Wasserstoff-Mischung an, die in einem Prüfmotor unter definierten Randbedingungen dieselbe Klopfstärke aufweist wie das zu untersuchende Gas. Wenn z. B. Erdgas H eine Methanzahl von 85 aufweist, so heißt das, daß unter bestimmten motorischen Bedingungen dieses Erdgas die gleiche Klopfstärke aufweist wie ein Gemisch aus 85 % Methan und 15 % Wasserstoff.

Zur Ermittlung des Methanzahlbedarfes eines Gasmotors wird das **Methanzahlangebot (MZA)** durch die Zugabe von Wasserstoff zum Methan soweit verändert, bis es dem **Methanzahlbedarf (MZB)** des Motors entspricht.

Zur Gewährleistung eines sicheren Motorbetriebes muß das Methanzahlangebot immer größer oder mindestens gleich dem Methanzahlbedarf des Motors sein.

Zeitweilige Änderung der Gasbeschaffenheit bei der Erdgasversorgung

Die Anforderungen an die Beschaffenheit der Brenngase der öffentlichen Gasversorgung sind im DVGW-Arbeitsblatt G 260 (Teil I und II) beschrieben.
Bild 2 zeigt brenntechnische Kenndaten der Gase der 2. Gasfamilie mit den Erdgasen der Gruppen L und H. Zur Vermeidung von Versorgungsengpässen ist für die Gase der 2. Gasfamilie ein begrenztes Abweichen von den in Teil I festgelegten Kennwerten zulässig. Die zulässigen Abweichungen beim Einsatz von Zusatzgasen werden in der G 260; Teil II, behandelt. Neben der Überschreitung der relativen Dichte ist in bestimmten Fällen eine zeitlich begrenzte Unterschreitung des oberen Wobbe-Index ($W_{O,N}$) möglich (bei Gasen der Gruppe H bis auf $W_{O,N}$ = 12,0 kWh/m³ und bei Gasen der Gruppe L bis $W_{O,N}$ = 10,0 kWh/m³. Gemäß G 260, Teil II haben die Gasversorgungsunternehmen somit die Möglichkeit, dem Grundgas erhebliche Flüssiggas- bzw. Flüssiggas/Luft-Anteile beizumischen.

	Teil I		Teil II	
	L	H	L	H
Wobbe-Index $W_{O,N}$ kWh/m³	10,5 – 13,0	12,8 – 15,7	(10,0) 11,2 – 13,0	(12,0) 12,8 – 15,7
Brennwert $H_{O,N}$ kWh/m³	8,4 – 13,1	8,4 – 13,1	8,4 – 13,1	8,4 – 13,1
rel. Dichte d	0,55 – 0,7	0,55 – 0,7	0,55 – 0,95	0,55 – 0,95

Bild 2: Brenntechnische Kenndaten der 2. Gasfamilie nach G 260, Teil I und II

Warum Flüssiggas/Luft-Zumischung?

Für eine effiziente Gasversorgung ist die optimale Auslastung der Versorgungseinrichtungen ein wichtiges Ziel. Dies wird am besten durch eine möglichst gleichmäßige Nachfragecharakteristik gewährleistet. Dem steht auf der Gasanwenderseite eine verschiedenen Einflüssen (z. B. Temperaturverlauf, konjunkturelle Rahmenbedingungen) unterworfene Abnahmecharakteristik gegenüber, die sowohl tages- und wochenzyklischen als auch jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist.
Zum Ausgleich der Unterschiede zwischen der Abnahmecharakteristik der Verbraucher und der angestrebten gleichmäßigen Auslastung der Gasversorgungseinrichtungen setzen Gasversorgungsunternehmen verschiedene Techniken ein. Neben der Nutzung des Rohrnetzes zur zeitweiligen Speicherung von Erdgas (Netzatmung) kommen Untertagespeicher (Kavernen- und Porenspeicher) sowie Gasbehälter zum Einsatz.
In Ergänzung zu den Untertagespeichern, welche für den Jahresausgleich geeignet sind, lassen sich Gasbehälter für den Tages- und Wochenausgleich einsetzen. Neben einer Speicherung von Erdgas – i.d.R. hochdruckseitig – bietet sich aus Platz- und Kostengründen die Lagerung von Flüssiggasen (Propan, Butan) an. Diese Flüssiggase werden unter Beimischung von Luft dem Erdgas zur Spitzendeckung zugemischt. Die Zumischung erfolgt zunächst in der Form, daß der Brennwert des Gasgemisches konstant gehalten wird. Ab einer gewissen Grenze wird so zugemischt, daß die Wärmebelastung der Gasverbrauchseinrichtung unverändert bleibt (konstanter Wobbe-Index).
Solche Anlagen zur Spitzengasdeckung können von Ortsgasversorgungsunternehmen wirtschaftlich betrieben werden. Dadurch kann das Gasversorgungsunternehmen den Verkaufspreis des Erdgases attraktiv gestalten.

Auswirkungen der Zumischung von Flüssiggas / Luft auf das Motorbetriebsverhalten

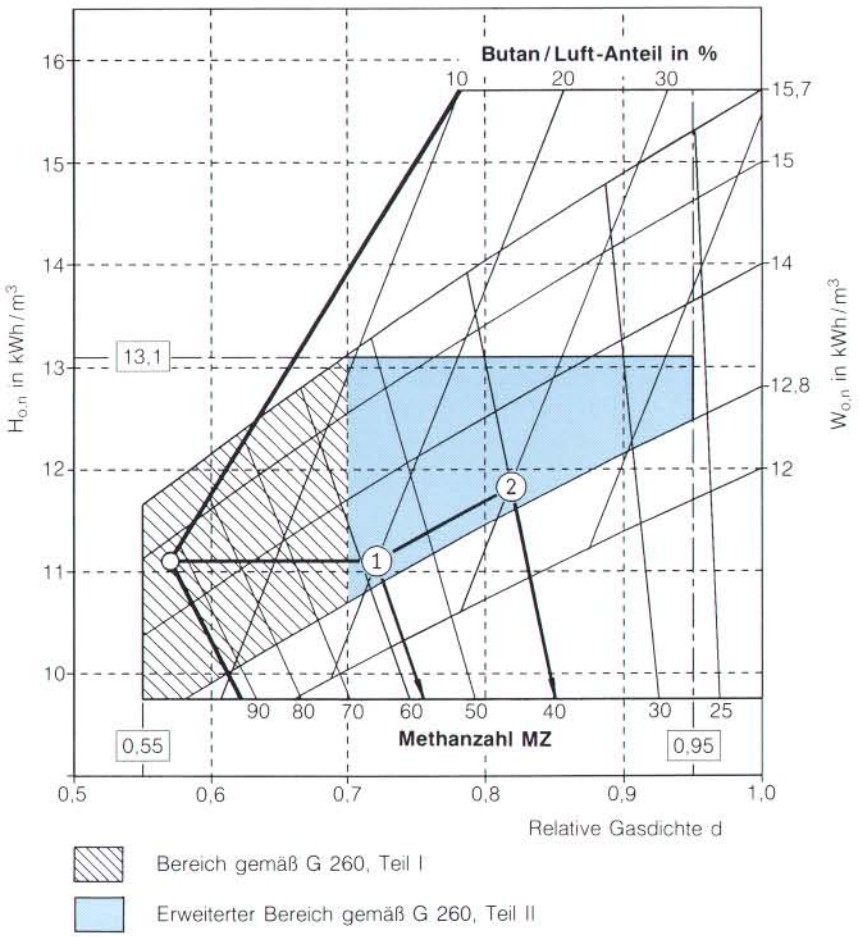


Bild 3: Änderung der Gaskennwerte bei Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS)

Um die Auswirkungen der möglichen Zumischungen insbesondere von Flüssiggas zum Erdgas zu verdeutlichen, werden die wesentlichen Abhängigkeiten in Nomogrammen dargestellt.

Der Aufbau soll an einem Beispiel erläutert werden (**Bild 3**). In dem Grunddiagramm sind der Brennwert $H_{O,N}$ in kWh/m³ über der relativen Gasdichte d sowie Linien konstanter Wobbeindices $W_{O,N}$ in kWh/m³ aufgetragen. Dieser Grunddarstellung sind Linien mit konstanter Butan / Luft-Zumischung und die für ausgewählte Gemische bestimmten Kurven konstanter Methanzahl überlagert.

Beispiele:

1. Bei brennwertgleicher Zumischung von 20 % Butan / Luft ergibt sich eine Methanzahlverringerung von 95 auf etwa 58 Einheiten.
   (Die relative Dichte steigt von 0,57 auf 0,72.
   Der Wobbeindex geht von 14,7 auf rund 13,1 kWh / m³ zurück.
   Der Luftbedarf – nicht im Diagramm dargestellt – bleibt bei brennwertgleicher Zumischung nahezu konstant.)
2. Bei brennwertgleicher Zumischung von 20 % Butan / Luft und anschließender wobbewertgleicher Zumischung von 10 % Butan / Luft ergibt sich eine Methanzahlverringerung von 95 auf etwa 40 Einheiten.
   (Die relative Dichte liegt bereits bei 0,82 und der Brennwert steigt von 11,1 auf rund 11,8 kWh/m³.
   Der Luftbedarf steigt wie der Brennwert um rd. 6 % von 9,55 auf etwa 10,15 m³/m³.)

Die vorgenannten Zumischungen erhöhen die Klopfgefahr und haben je nach Betriebsweise auch Einfluß auf die Schadstoffemissionen und die Laufruhe des Motors.

Das tatsächliche Gefährdungspotential durch Klopfen hängt von der Konstruktion, Einstellung und Betriebsweise des Motors ab. Da eine allgemein gültige Aussage über die Auswirkungen einer Methanzahländerung auf den Motorbetrieb aufgrund der vielen Einflußgrößen nicht möglich ist, sollte im jeweiligen Fall mit dem Motorhersteller Kontakt aufgenommen werden.

Motorische Randbedingungen und Methanzahlbedarf

In der Praxis ist es notwendig, neben der Methanzahl des Erdgases auch den Methanzahlbedarf des Gasmotors zu kennen. Eine grobe Klassierung hinsichtlich des Methanzahlbedarfs der marktgängigen Erdgas-Otto-Motoren kann gemäß **Bild 4** vorgenommen werden.

Bohrung (mm)	bis 150	150 – 180	größer 180	bis 150	170 – 180	größer 180
Verdichtungsverhältnis	12 – 12,5	11 – 12	10	9 – 10/12	10 – 11	8,7/11
Luftverhältnis	stöch.	stöch.	stöch.	mager	mager	mager
Drehzahl (l/min)	1.500	1.500	1.000	1.500	1.500	1.000
p_{ME} (bar)	6,8 – 8,1	6,6 – 7,2	7,12 – 7,8	11,1 – 11,7	10,7 – 11,3	9,5 – 11
Wirkungsgrad (%)	33 – 34,5	34,3 – 34,7	34 – 35,7	34,4 – 37,2	35	35/38
Methanzahlbedarf	>80	>70	>70	>60 – 70/80	>70	>60/70

Bild 4: Bandbreite der am Markt angebotenen Erdgas-Otto-Motoren

Diesel/Gas-Motoren (Zündstrahlmotoren) haben aufgrund ihres hohen Verdichtungsverhältnisses einen Methanzahlbedarf von 70 bis 80 Einheiten.

Für den Flüssiggasbetrieb werden Motoren mit einem niedrigeren Methanzahlbedarf angeboten. Da sie gegenüber Erdgas-Motoren auslegungsbedingt erhebliche Wirkungsgrad- und CO_2-Nachteile aufweisen, sind sie für den Einsatz in Gebieten, in denen nur zeitweise Flüssiggas/Luft zum Erdgas zugemischt wird, allerdings nicht geeignet.

Der Methanzahlbedarf bzw. die Klopffestigkeit des Motors wird von konstruktiven und betrieblichen Faktoren beeinflußt.

Klopffeste Motoren weisen folgende konstruktive Merkmale auf:

- niedriges Verdichtungsverhältnis,
- kompakte Brennraumgeometrie,
- optimierter Ladungswechsel,
- keine heißen Stellen am Ende des Flammenweges.

Ein niedrig verdichteter Motor hat natürlich Nachteile hinsichtlich der erreichbaren effektiven Wirkungsgrade. Es ist daher energetisch, ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar, den Motor bereits konstruktiv auf die niedrigste zu erwartende Methanzahl auszulegen.

Der Gasmotor sollte so ausgelegt sein, daß die Anpassung ggf. durch eine Veränderung der Motoreinstellung erreicht werden kann. Die Möglichkeiten zur Verringerung der Klopfneigung und ihre qualitativen Auswirkungen sind in **Bild 5** dargestellt.

Maßnahme	Verringerung der Klopfneigung (+ + groß/ + gering)
1. Spätverstellung des Zündzeitpunktes bzw. des Zündölförderbeginns	+ +
2. Verringerung der Motorbelastung bzw. Aufladung	+ +
3. Erhöhung der Luftzahl	+ +
4. Abgasrückführung	+
5. Verringerung des Gemischdrucks und der -temperatur	+ +
6. Verringerung der Bauteiltemperaturen (Absenken der Kühlwassertemperatur)	+
7. Wassereinspritzung	+ +

Bild 5: Maßnahmen zur Verringerung der Klopfneigung von Motoren durch Veränderung von Betriebsparametern

Die für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Maßnahme oder Maßnahmenkombination ist vom Motor und seiner Betriebsweise abhängig. In bestimmten Fällen ist eine Veränderung der Motoreinstellung nur unter besonderen Vorkehrungen oder Vereinbarungen möglich (Insel- bzw. Notstrombetrieb, Verdichterantrieb).

Zündzeitpunktveränderung und Leistungsreduzierung sind aus Sicht der Betreiber wirksame Maßnahmen bei sinkendem Methanzahlangebot (siehe **Bild 6**).

Eine Veränderung der Motoreinstellung ist in Absprache mit dem Hersteller durchzuführen.

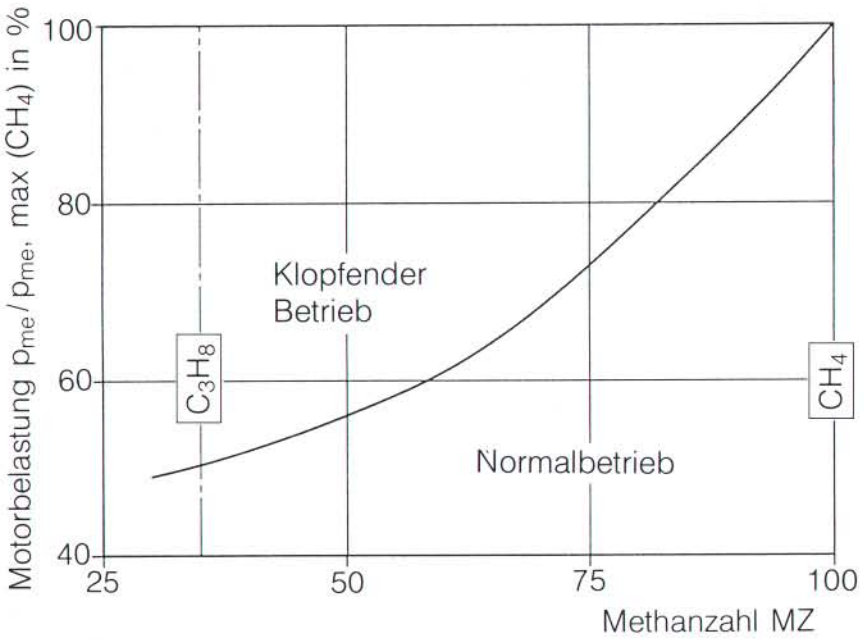


Bild 6: Motorbelastung in Abhängigkeit von der Methanzahl

Lösungsansätze zur Ausregelung der Beschaffenheitsänderung

Die Maßnahmen zur vorbeugenden und dauerhaften Einstellung des Motorbetriebes an sich ändernde Gasbeschaffenheiten wirken sich nachteilig auf Leistung und Wirkungsgrad aus. Daher besteht die Forderung nach einer ereignisorientierten Anpassung des Methanzahlbedarfes an das aktuelle Methanzahlangebot.

Voraussetzung für eine kontinuierliche Anpassung ist eine möglichst verzögerungsfreie Erfassung von Änderungen des Methanzahlangebotes (Beschaffenheit des Brenngases) bzw. des Methanzahlbedarfes (Klopfgrenze des Motors). In Betracht kommen entweder motornah angeordnete Gassensoren, die Beschaffenheitsänderungen direkt im Brenngas erfassen, oder Klopfsensoren, die Unregelmäßigkeiten, d. h. hochfrequente Schwingungen im Verbrennungsablauf sofort registrieren.

Die Entwicklung von Gassensoren wird derzeit intensiv vorangetrieben. Vielversprechende Ergebnisse werden mit Sensoren nach dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip erreicht. Sie liefern unter bestimmten Vorgaben (Grundgas, Propan/- oder Butan/Luft-Zumischung) ein methanzahlanaloges Meßsignal entsprechend der Gasbeschaffenheitsänderung.

Die Gassensoren werden seit Anfang 1992 in verschiedenen Versorgungsgebieten erfolgreich erprobt. Der Feldtest wird über die Zumischperiode 1992/93 fortgesetzt und kann bei Bedarf erweitert werden.

Die Steuerung des Motorbetriebes mit Hilfe eines Gassensors gewährleistet genau wie die Klopfregelung einen sicheren Motorbetrieb. Außerdem können die Auswirkungen der Flüssiggas-Luft-Zumischung auf die Schadstoffemissionen weitgehend kompensiert werden. Aus Sicherheitsgründen muß allerdings ein Abstand zur Klopfgrenze mit entsprechenden Wirkungsgradeinbußen eingehalten werden.

Motorregelungen auf Basis von Klopfsensoren sind im Automobilsektor Stand der Technik. Im Bereich der Stationär-Motoren wird diese Technik nur vereinzelt eingesetzt. Eine auf den jeweiligen Motor abgestimmte Klopfregelung gewährleistet bei Flüssiggas-Luft-Zumischungen einen sicheren Motorbetrieb. Bei plötzlichen Gasbeschaffenheitsänderungen kann allerdings ein kurzzeitiges „hartes" Klopfen nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden. Die Einhaltung der Schadstoff-Grenzwerte (TA Luft) ist nur bei Lambda-1-Betrieb gesichert. Bei Magermotoren können Grenzwertüberschreitungen auftreten.

Die günstigste Lösung ist eine Gasmotoren-Regelung, die den Klopf- und den Gassensor beinhaltet. Eine entsprechende nachrüstbare Regeleinheit wird in **Bild 7** (Konzeption der Gasmotoren-Regelung) gezeigt. Der Prototyp konnte bereits fertiggestellt und auf dem Prüfstand getestet werden. Bei erfolgreichem Verlauf der vorgesehenen Felderprobung in der Zumischperiode 1992/93 wird das System ab Mitte 1993 am Markt verfügbar sein.

In der Übergangszeit besteht die Möglichkeit, in dringenden Fällen zur Vermeidung von Schäden Gassensoren im Rahmen des erweiterten Feldtestes einzusetzen. Mit Hilfe der Sensoren kann der Motorbetrieb in Absprache mit den Herstellern manuell oder ggf. automatisch (Zündzeitpunkt- bzw. Leistungsänderung in Abhängigkeit von dem Sensorsignal) an die Gasbeschaffenheit angepaßt werden. Motoren, die auslegungsbedingt bei höheren Zumischraten nicht mehr durch betriebliche Maßnahmen angepaßt werden können, sollten vorübergehend abgeschaltet werden.

Bei Diesel-Gasmotoren kann nach Ausschöpfung der Anpassungsmöglichkeiten auch eine Umschaltung in den Heizölbetrieb erfolgen.

Bei Bedarf kann zur Klärung von Detailfragen mit der Ruhrgas AG, Abt. Steuerung/Entwicklungsprojekte, Kontakt aufgenommen werden.

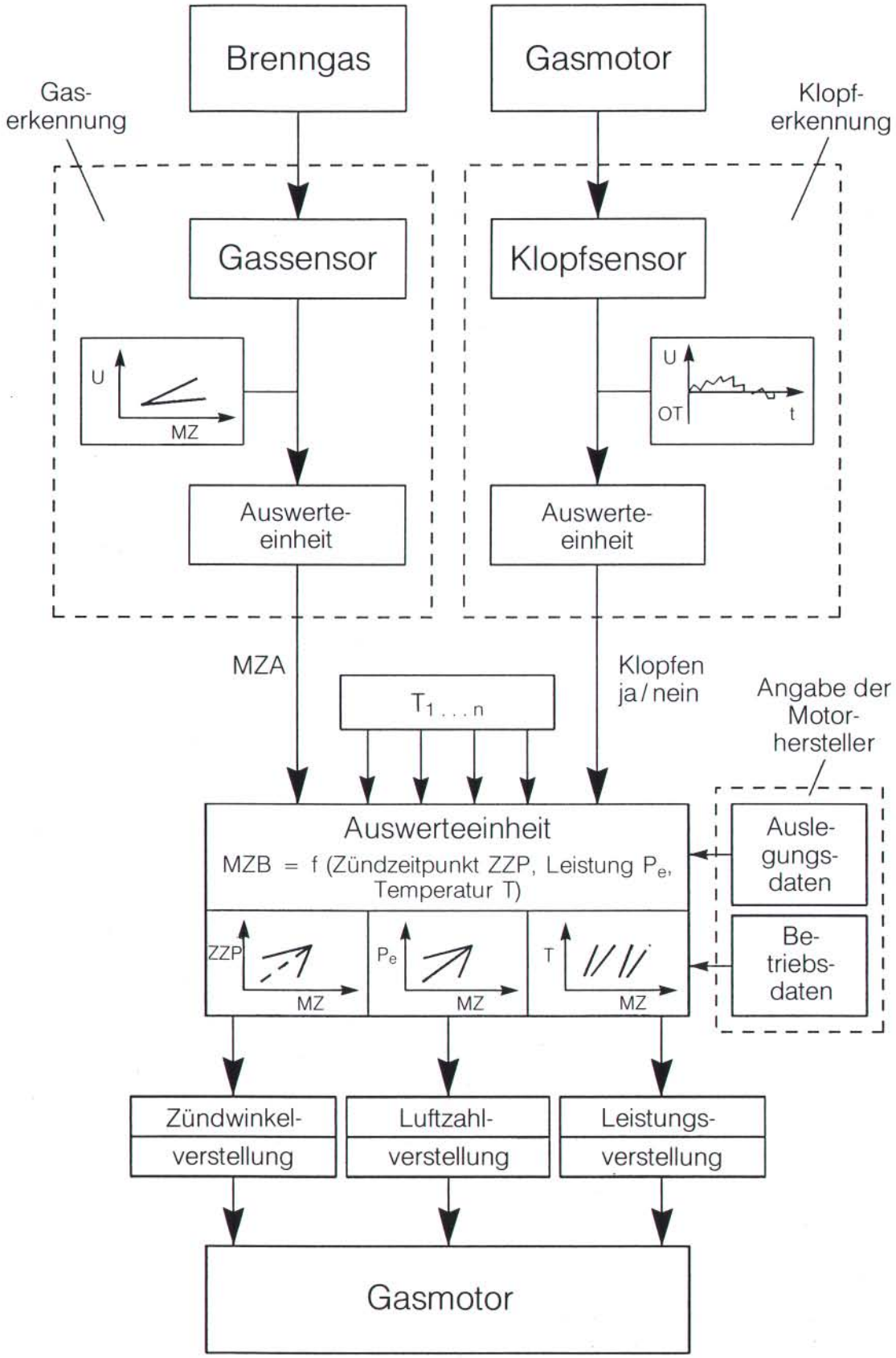


Bild 7: Konzeption der Gasmotoren-Regelung

Literaturhinweise

DVGW-Arbeitsblatt G 260/I: Gasbeschaffenheit (1983)

DVGW-Arbeitsblatt G 260/II: Ergänzungsregeln für Gase der 2. Gasfamilie (1989).

Christoph, K.; Cartellieri, W.; Pfeifer, U.: Bewertung der Klopffestigkeit von Kraftgasen mittels der Methanzahl und deren praktische Anwendung bei Gasmotoren MTZ 33 (1972) Nr. 10.

Dübel, M.; Schmillen, K.; Wackertapp, H.: Influence of gas composition on the knocking behaviour of spark-ignited gas engines; International Gas Research Conference, London, 1983.

Hedden, K.; Heike, Th.; Sander, J.; Schaile, W.: Flüssiggas/Luft-Zumischung zu Erdgas der Gruppe H, Auswirkung auf Gasgeräte, Grenzen der Zumischung. DVGW-Schriftenreihe, Gas Nr. 37.

Heike, Th. u. Schaile, W.: Verhalten von Gasgeräten bei Betrieb mit Gasen am Rande und jenseits der Grenzen nach DVGW-G 260, gwf-Gas/Erdgas 129 (1988) Nr. 10/11, S. 545/557.

Rau, B.: Probleme beim Einsatz von Gasen unterschiedlicher Qualität in Gasmotoren, gwf-Gas/Erdgas, Heft 3 (1982).

Schollmeyer, H.-J.; Wackertapp, H.: Gasbeschaffenheit und Gasmotoren. Sonderdruck aus gwf – Gas/Erdgas 132 (1991), Heft 2, S. 66–71.

Van Rossum, G.J.: Proceedings of the Congress of "Gas Quality-Specification and Measurement of Physical and Chemical Properties of Natural Gas", Groningen, The Netherlands, 22 – 25 April 1986.

Anhang: Nomogramme für verschiedene Grundgase und Zumischungen

Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS) 12

Propan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS) 13

95 % Propan / 5 % Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS) 14

Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (Nordsee) 15

Propan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (Nordsee) 16

Butan / Luft-Zumischung zum Verbundgas H 17

Propan / Luft-Zumischung zum Verbundgas H 18

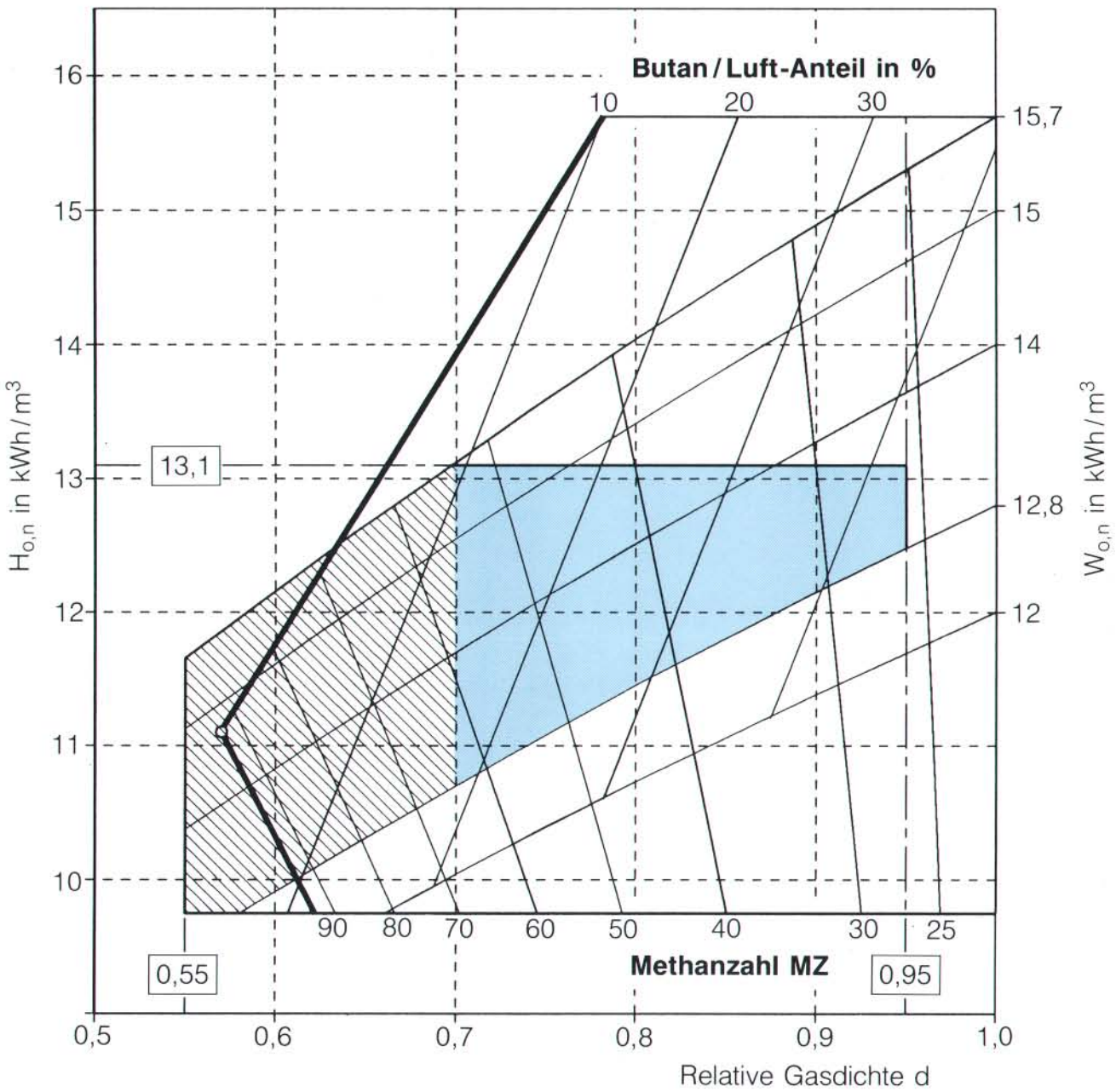
Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas L (Niederlande) 19

Propan / Luft-Zumischung zum Erdgas L (Niederlande) 20

Butan / Luft-Zumischung zum Verbundgas L 21

Propan / Luft-Zumischung zum Verbundgas L 22

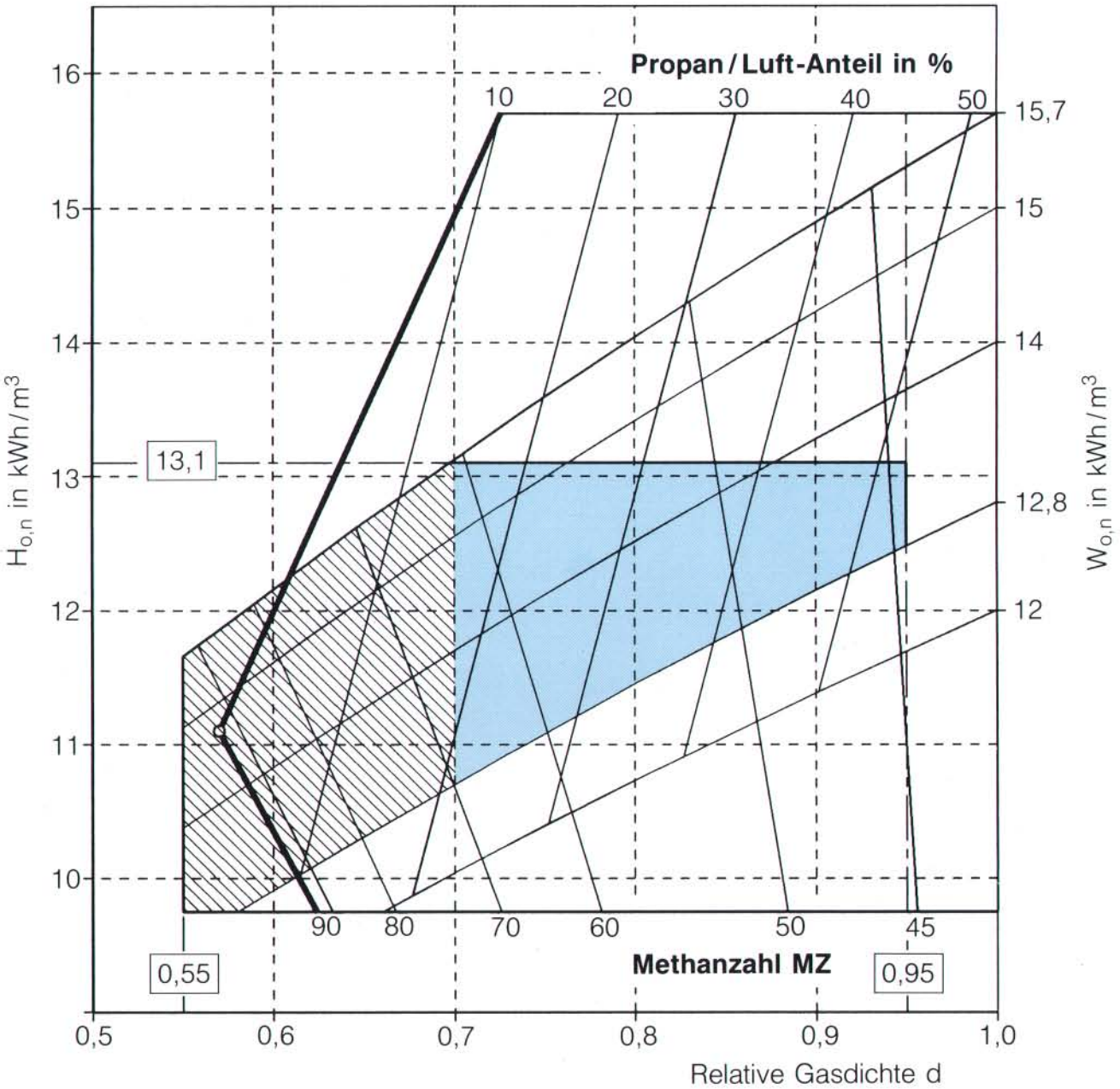
Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

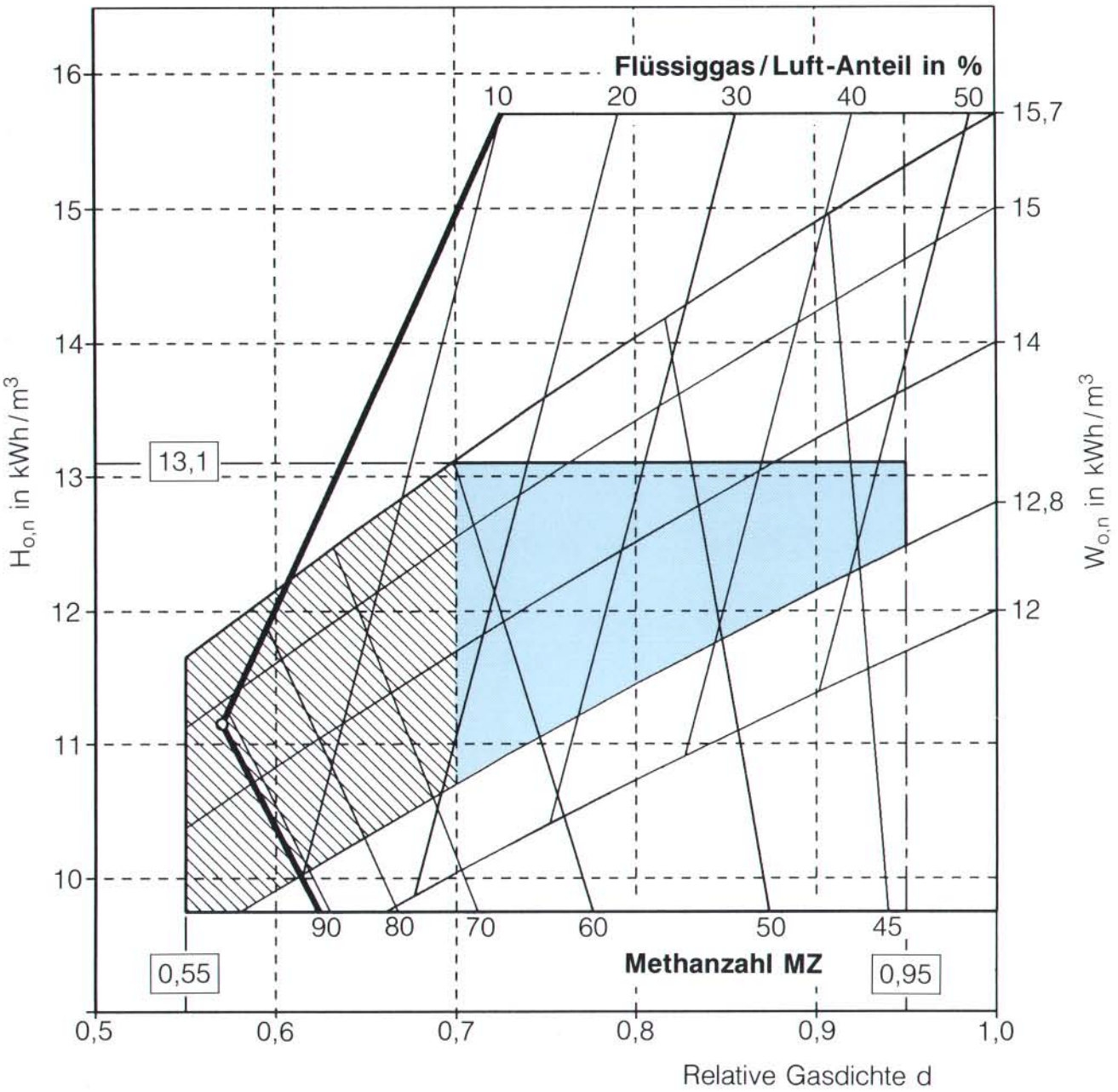
Propan/Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

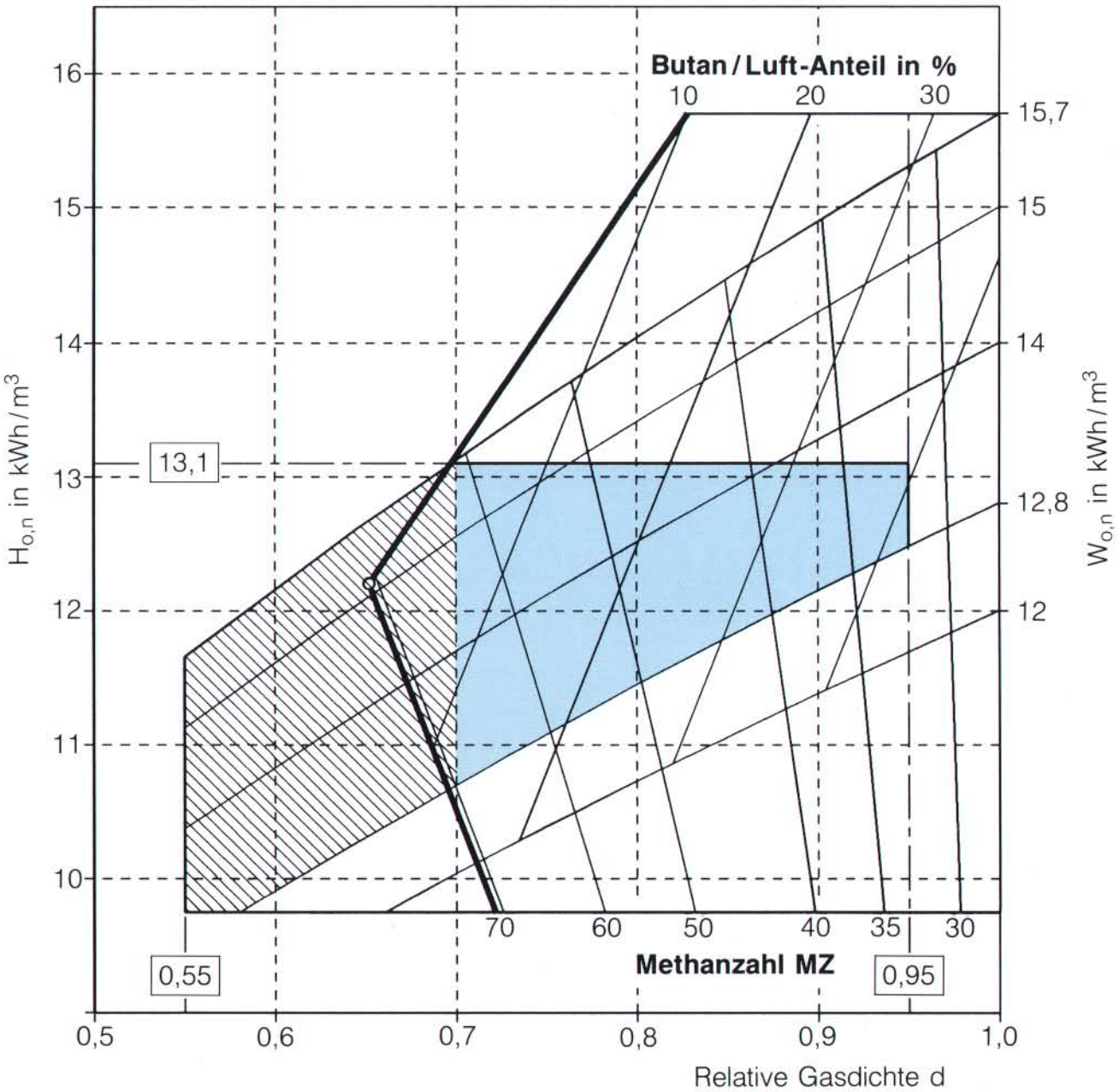
95 % Propan / 5 % Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (GUS)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

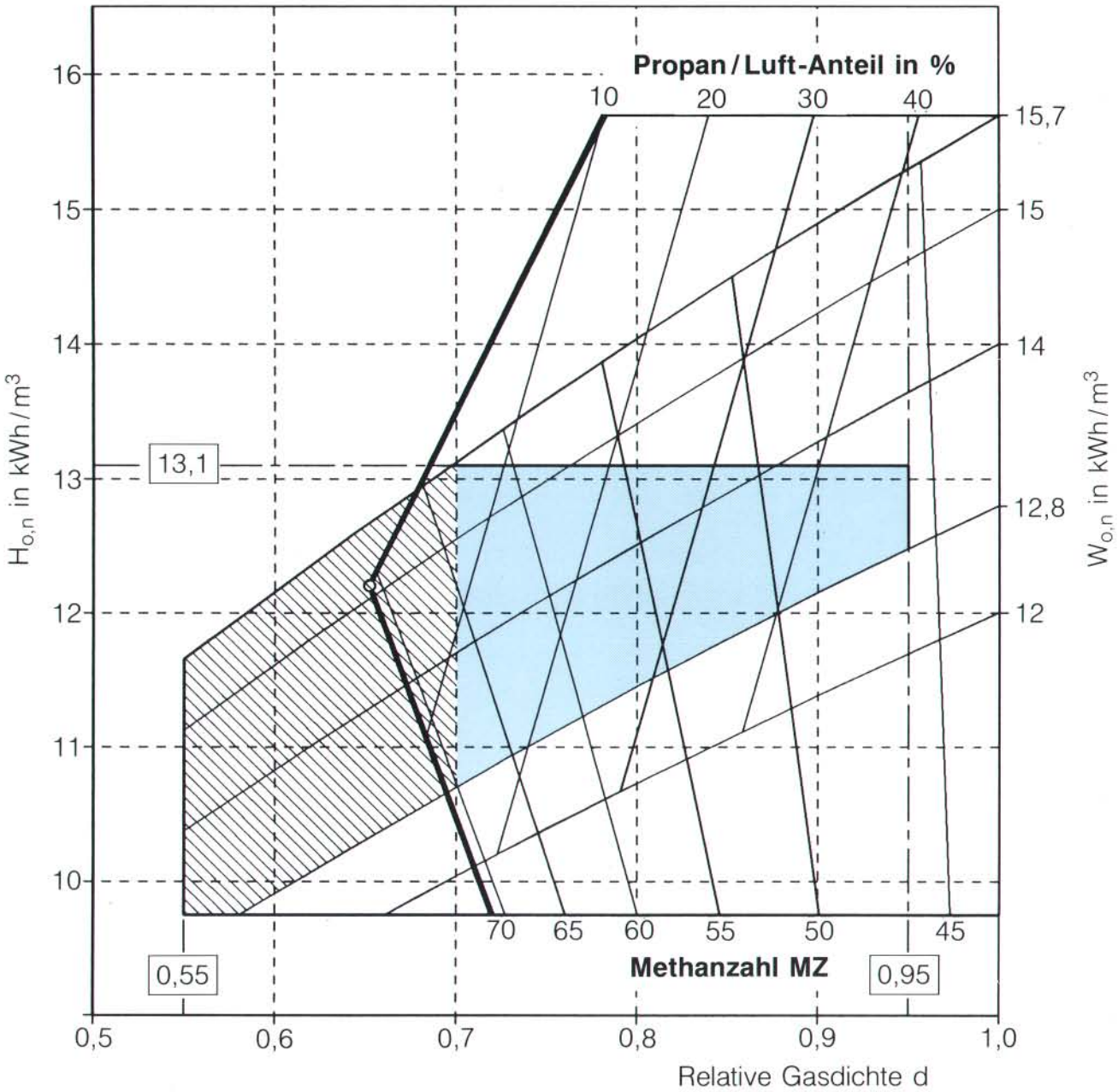
Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (Nordsee)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

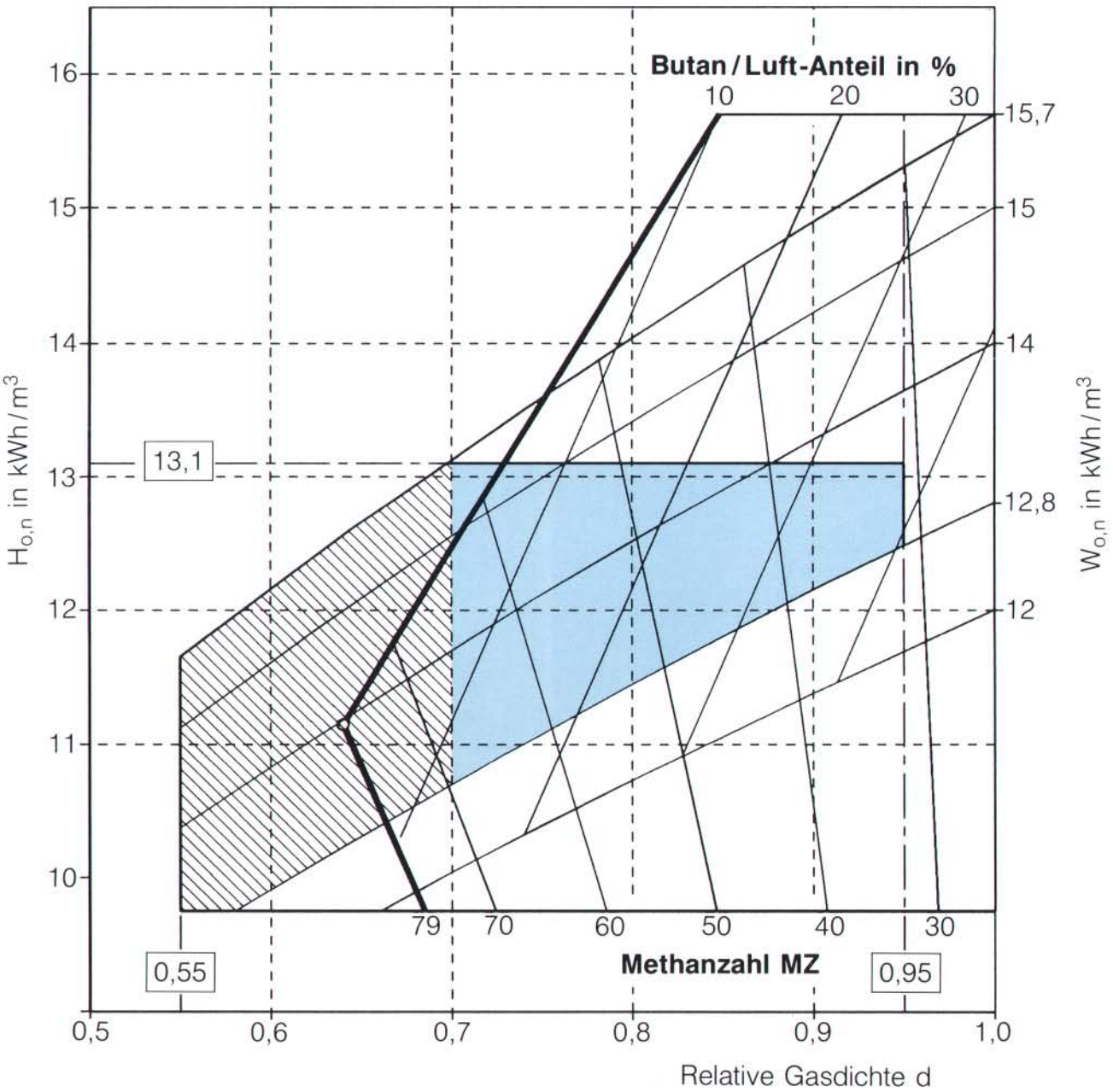
Propan / Luft-Zumischung zum Erdgas H (Nordsee)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

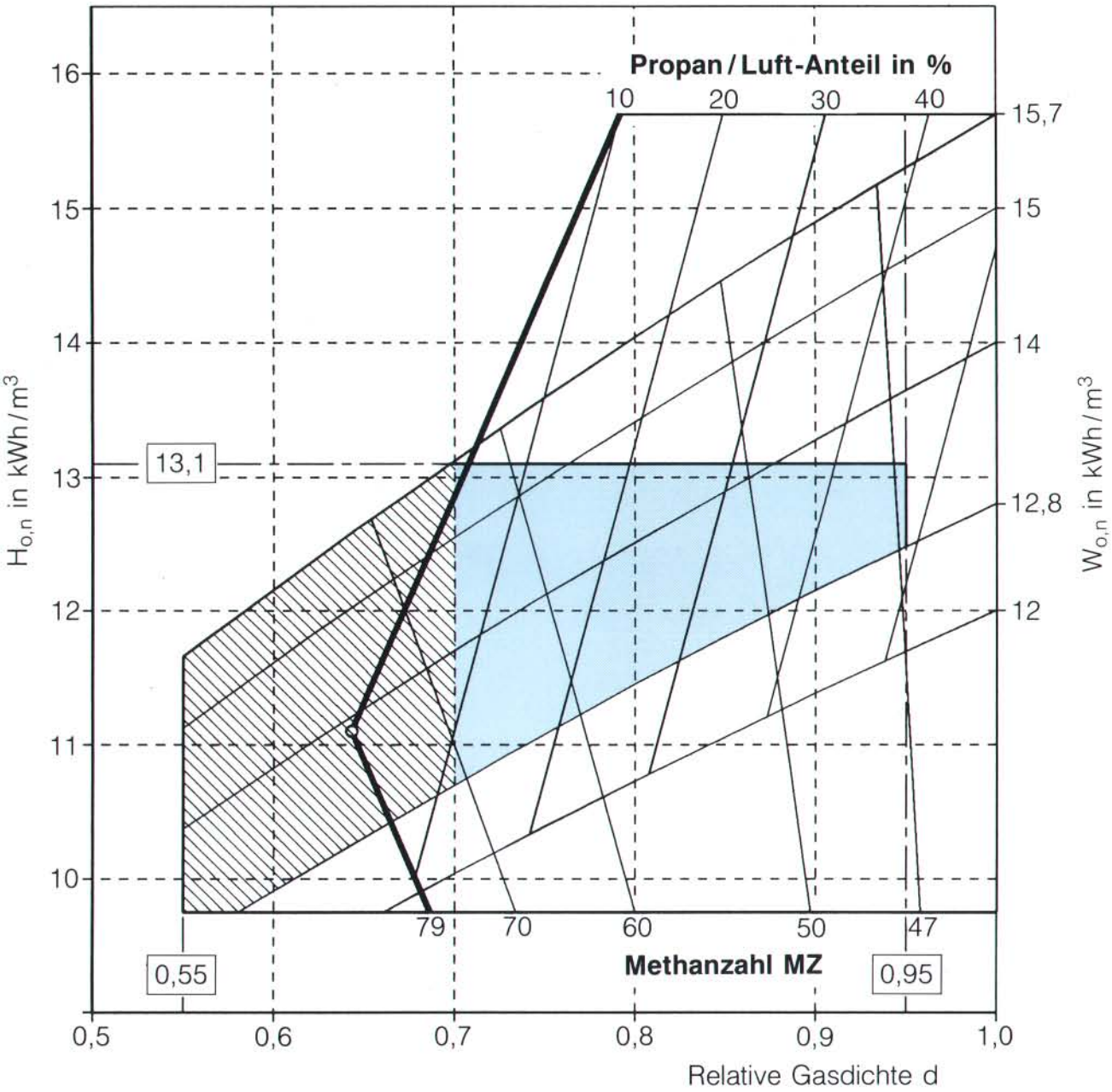
Butan / Luft-Zumischung zum Verbundgas H



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

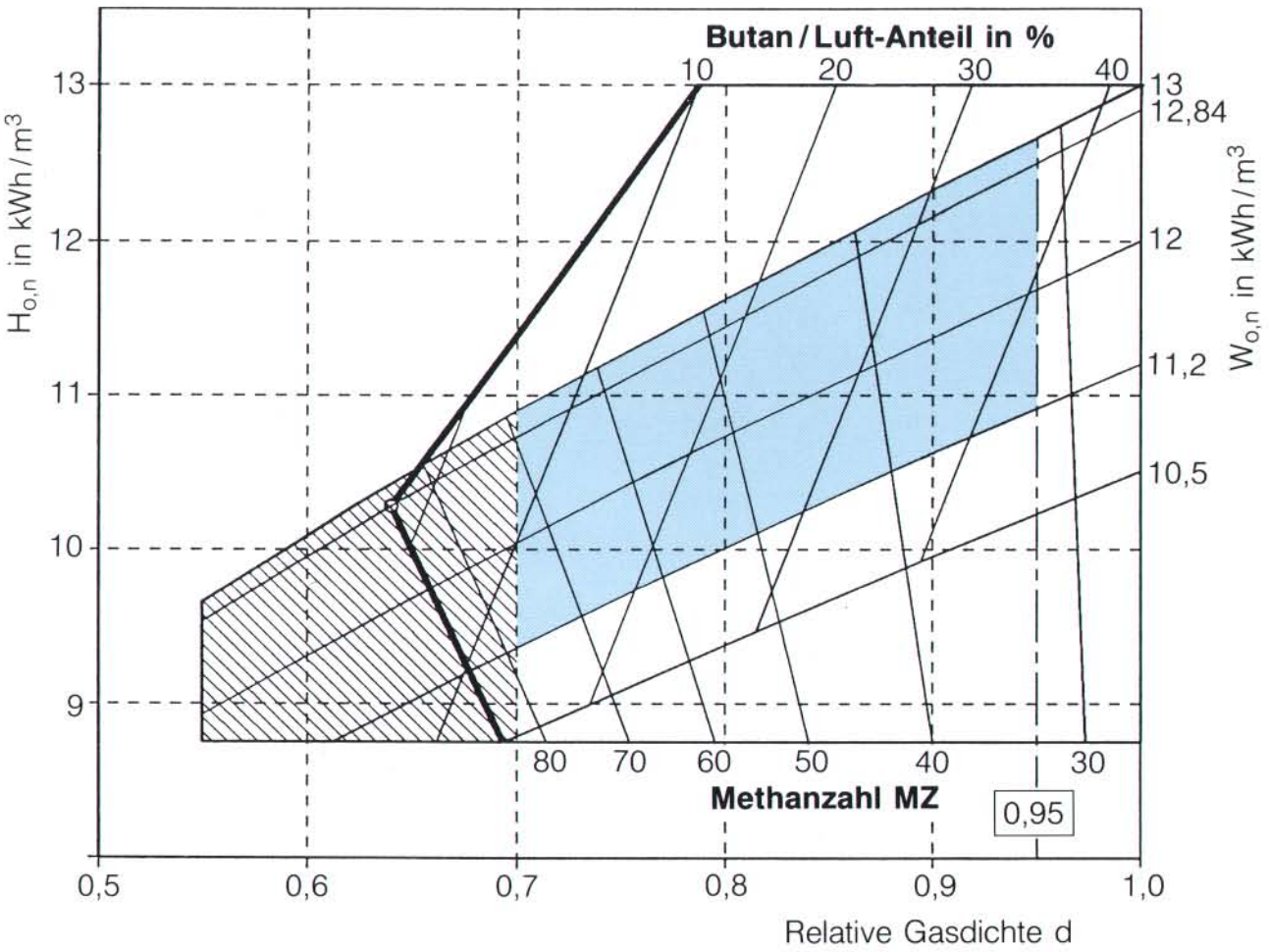
Propan / Luft-Zumischung zum Verbundgas H



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

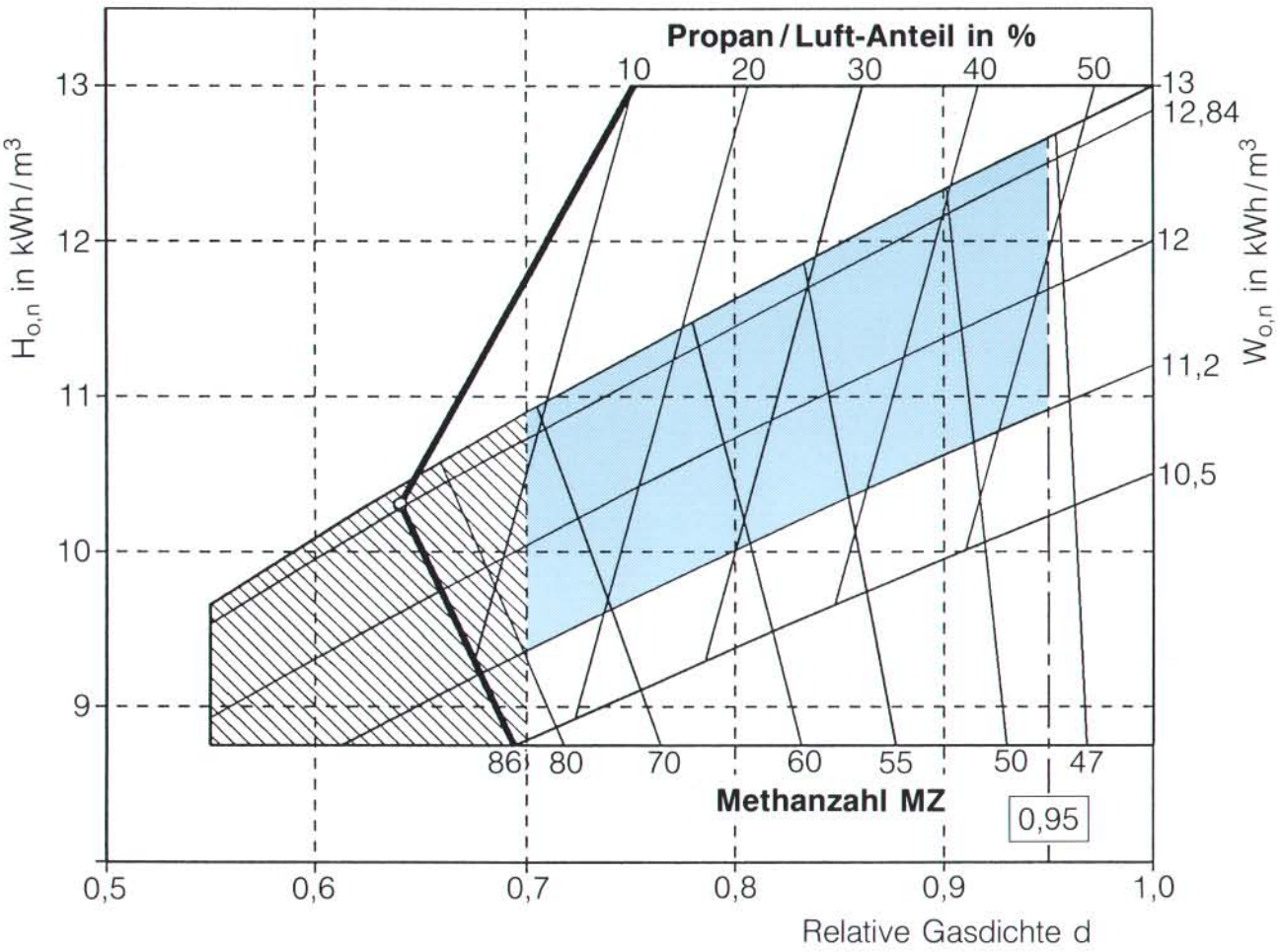
Butan / Luft-Zumischung zum Erdgas L (Niederlande)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

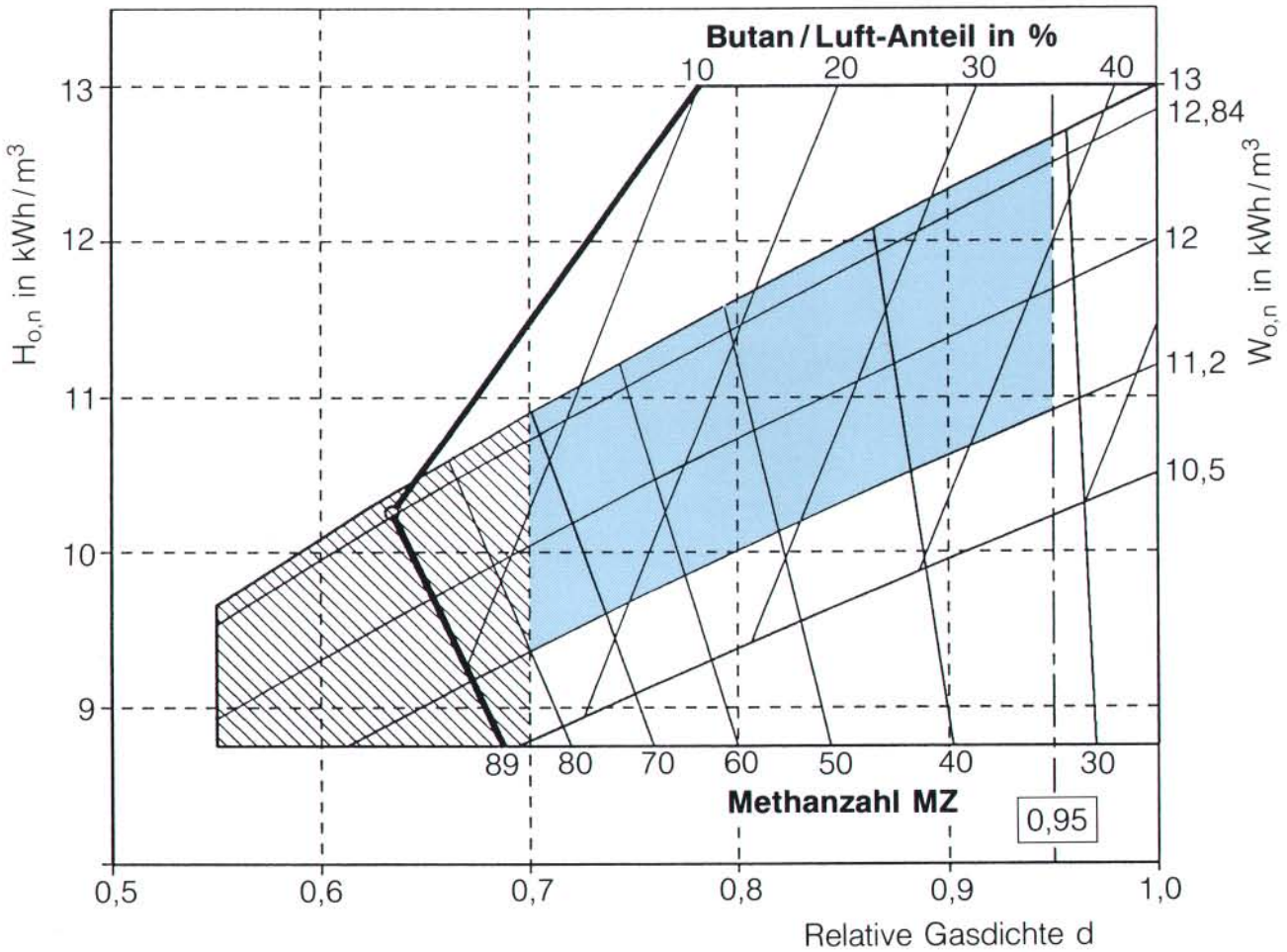
Propan / Luft-Zumischung zum Erdgas L (Niederlande)



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

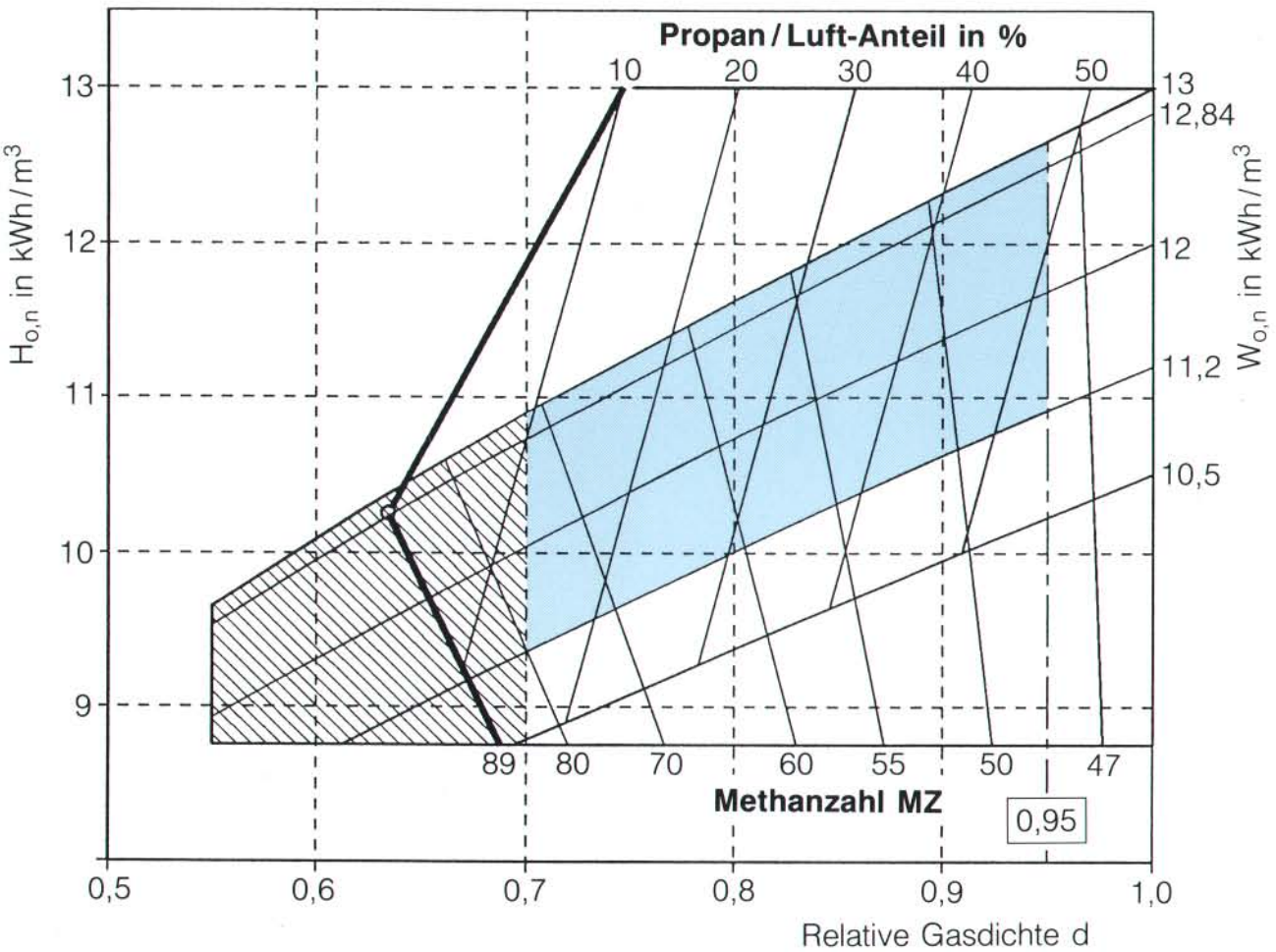
Butan / Luft-Zumischung zum Verbundgas L



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

Propan / Luft-Zumischung zum Verbundgas L



Bereich gemäß G 260, Teil I

Erweiterter Bereich gemäß G 260, Teil II

ASUE-Veröffentlichungen

Im folgenden werden ASUE-Publikationen vorgestellt, die wir als ergänzende Lektüre empfehlen. Die aufgeführten Titel können über den Verlag
Rationeller Erdgaseinsatz
Postfach 10 03 04
2000 Hamburg 1
Telefax (0 40) 23 66-33 61
bezogen werden.

Blockheizkraftwerke – Grundlagen
Die stetig steigende Anzahl von Blockheizkraftwerken belegt, daß nach wie vor ein großes Interesse an der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung besteht. Der Grundlagenband vermittelt Basiswissen über Blockheizkraftwerke, angefangen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über technische Fragen bis hin zu Umweltthemen.

Blockheizkraftwerke – Beispiele
In dieser Veröffentlichung werden insgesamt 13 beispielhafte BHKW-Anlagen vorgestellt. Die einzelnen Anlagen werden jeweils mit Bild, Text, Einsatzzweck sowie technischen und wirtschaftlichen Kenndaten übersichtlich und detailliert beschrieben.

BHKW in Krankenhäusern
Die Veröffentlichung zeigt die Einsatzmöglichkeiten für Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern auf. Neben den technischen Voraussetzungen und der Wirtschaftlichkeit werden die Möglichkeiten der Finanzierung dargestellt. Anhand ausgeführter Beispielanlagen werden typische Anwendungsfälle beschrieben.

Risiko-Management
Die Veröffentlichung gibt einen Überblick zum Thema Risikoanalyse und -abdekkung. Dabei sind die verschiedenen Versicherungstypen jeweils kurz beschrieben und anhand von praktischen Beispielen während Planung, Bau und Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage erläutert.

Genehmigungsverfahren für KWK-Anlagen
Bei der Planung von Gasturbinenanlagen zum Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK)-anlagen sind eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen zu berücksichtigen.
Um den verantwortlichen Planern und künftigen Betreibern die Übersicht zu erleichtern, sind die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften und Verordnungen in dieser Broschüre zusammengestellt. Dabei wird jedes Verfahren anhand eines Ablaufschemas erläutert.

Wärme macht Kälte
Absorptionskältemaschinen lassen sich energetisch und wirtschaftlich vorteilhaft mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Gasmotoren und Gasturbinen) kombinieren. Zudem werden in Absorptionskältemaschinen keine Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) eingesetzt. Die Veröffentlichung zeigt zehn typische Anwendungsfälle. Einleitend wird ein Überblick über die energetischen und technischen Charakteristika von Absorptionskältemaschinen gegeben.

BIO-LOGISCH
Die Broschüre zeigt die Möglichkeiten der Gasfassung und -aufbereitung zur Nutzung von Deponie- und Klärgas. Anhand von fünf Beispielen wird der Beitrag dargestellt, den diese Gase in Verbindung mit Erdgas zur Reduzierung der Umweltbelastung und zur Schonung der Energiereserven leisten können.

Stichwort „Entspannung"
Herkömmlicherweise wird die Druckdifferenz zwischen überregionalen und örtlichen Erdgasleitungssystemen durch Dorsselventile abgebaut. Durch Entspannungsmaschinen auf der Basis von Motoren, Turbinen oder Schrauben lassen sich diese Energiepotentiale sinnvoll nutzen, z. B. zur Stromerzeugung. In der Veröffentlichung werden zum einen die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Entspannungsanlagen dargestellt. Zum anderen werden sechs beispielhafte Anlagen aus der Praxis beschrieben.

Preis der deutschen Gaswirtschaft für rationellen Erdgaseinsatz 1992
In der Broschüre sind das 1992 preisgekrönte Blockheizkraftwerk zur Entsorgung lösemittelhaltiger Abluft sowie die mit einer Auszeichnung oder Anerkennung versehenen Anlagen anhand von Energieflußbildern sowie ausführlichen Texten beschrieben.

Gasturbinen-Kenndaten
Die aktualisierte Übersicht der Gasturbinen-Kenndaten enthält die wichtigsten Kenngrößen von mehr als 70 Gasturbinentypen. Weiterhin wird eine Übersicht der Anbieter von Gasturbinen-Aggregaten am deutschen Markt gegeben.

Gasturbinen – Beispiele
Diese Informationsbroschüre enthält Beschreibungen von exemplarisch ausgewählten Anlagen aus den verschiedenen Anwendungsbereichen, z. B. Industrie, Gewerbe, Kommune.

Gasturbinen – Betriebsmanagement
Für ein bestmögliches Betriebsmanagement von Gasturbinen bedarf es der systematischen Erfassung von Betriebsdaten, deren analytischer Zusammenfassung zu Kennzahlen und Auswertung. Die Broschüre „Betriebsmanagement" liefert das hierzu notwendige „Handwerkszeug". Die grundsätzliche Vorgehensweise wird dargestellt sowie beispielhaft erläutert. Durch klare Definitionen wird eine eindeutige Zuordnung von Vorkommnissen sichergestellt.

Gasturbinen – Zuluftfiltration
Durch Zuluftfiltration werden die Betriebskosten von Gasturbinen reduziert. In der Veröffentlichung werden ausgehend von einer Beschreibung der Einflüsse verschmutzter Verbrennungsluft auf den Betrieb von Gasturbinen die Grundlagen der Luftfilterung sowie Ausführungsformen von Luftfiltern dargestellt. Darüber hinaus werden praktische Hinweise zu Auslegung, Ausführung und Betrieb von Luftfilter-Anlagen gegeben.

Gasturbinen – Emissionsverhalten
Unter Berücksichtigung aller Emissionen, aber auch im Vergleich zur konventionellen Stromerzeugung stellen KWK-Anlagen mit Gasturbinen für die dezentrale Energieerzeugung eine Lösung dar, die Ökonomie und Ökologie auf einen vernünftigen Nenner bringt. Dies ist das Fazit der Veröffentlichung, in der im Alltagsbetrieb gemessene Emissionswerte von 13 typischen Gasturbinen-KWK-Anlagen dargestellt sind.

Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen
Der umfangreiche Band enthält die überarbeiteten Referate der internationalen ASUE-Fachtagung „Turbo-KWK 90 – Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen" vom Dezember 1990. Die Beiträge der insgesamt 16 Referenten geben einen Überblick über Einsatzbereiche, Erfahrungen und Entwicklungsperspektiven mit Gasturbinen in der Kraft-Wärme-Kopplung. Die Veröffentlichung ist als Band 13 der ASUE-Schriftenreihe im Vulkan-Verlag, Essen, erschienen.

Wärmelieferung
Wärmelieferung als Kern einer umfassenden Energiedienstleistung stellt eine sinnvolle Ergänzung zur konventionellen Energieversorgung dar. Neben der Beratung über rationelle Energienutzung gehören dazu Installation und Betrieb von Wärmeerzeugungsanlagen für Heizung und Warmwasser sowie die Abrechnung mit den Mietern. In der Broschüre werden die Grundlagen zur Vertrags- und Preisgestaltung sowie rechtliche und steuerliche Fragen behandelt. Darüber hinaus werden anhand von Beispielen die verschiedenen Wärmelieferungsmodelle vorgestellt. Praxishinweise mit einer Checkliste für die Vertragsgestaltung runden die Broschüre ab.

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH E.V.

Die 1977 gegründete Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) fördert die Weiterentwicklung und weitere Verbreitung sparsamer und umweltfreundlicher Technologien auf Erdgasbasis. Vorrangiges Ziel ist, solchen Techniken den Weg in die praktische Anwendung zu ebnen.

Aktivitäten

Fachtagungen

Veröffentlichungen

Preis der deutschen Gaswirtschaft

Arbeitskreise

Blockheizkraftwerke

Erdgas und Umwelt

Fachinformation Energiesparpraxis

Gasturbinentechnik

Gaswärmepumpen

Rationelle Haustechnik

Wärmelieferung

Mitgliedsunternehmen

Badische Gas- und Elektrizitätsversorgung AG, Lörrach

Bayerngas GmbH, München

Berliner Gaswerke (GASAG)

Dortmunder Stadtwerke AG

Erdgas Schwaben GmbH, Augsburg

Erdgas Südbayern GmbH, München

Erdgas-Verkaufs-Gesellschaft mbH, Münster

Erdgasversorgungsgesellschaft mbH (EVG), Leipzig

Ferngas Nordbayern GmbH, Bamberg

Ferngas Salzgitter GmbH

Gasanstalt Kaiserslautern AG

Gas-Union GmbH, Frankfurt

Gasversorgung Osthessen GmbH, Fulda

Gasversorgung Süddeutschland GmbH, Stuttgart

Gas-Versorgungsgesellschaft Filstal mbH, Göppingen

Gasversorgung Main-Kinzig GmbH, Gelnhausen

Gasversorgung Sachsen-Anhalt (GSA), Halle

Hamburger Gaswerke GmbH

Landesgasversorgung Niedersachsen AG, Sarstedt

Maingas AG, Frankfurt

Niederrheinische Gas- und Wasserwerke GmbH, Duisburg

Oberhessische Gasversorgung GmbH, Friedberg

Ruhrgas AG, Essen

Saar Ferngas AG, Saarbrücken

Stadtwerke Essen AG

Stadtwerke Paderborn GmbH

Südhessische Gas und Wasser AG, Darmstadt

Thyssengas GmbH, Duisburg

Verbundnetz Gas AG, Böhlitz-Ehrenberg

Westfälische Ferngas-AG, Dortmund

Das Papier dieser Broschüre ist nicht mit Chlor gebleicht.