

ZÜNDTEMPERATUREN IN ANDEREN OXIDATIONSMITTELN ALS LUFT

**Projekt – Zündtemperaturen brennbarer Flüssigkeiten
in Luft+N₂O-Gemischen**

Laufzeit: 01.09 2015 bis 30.09. 2017

Abschlussbericht

E. Brandes, W. Hirsch, Th. Stolz, PTB Braunschweig



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Forschungsbegleitkreis:

Gesa Gosda	COVESTRO AG, Leverkusen
Dr. Ute Hesener	COVESTRO AG, Leverkusen (ehemals DEKRA EXAM GmbH, Bochum)
Dr. Michael Beyer	PTB, Braunschweig
Dr. Wolfgang Borchers	BAYER AG, Leverkusen
Dr. Hans-Georg Burckhardt	BGRCI, Heidelberg
Dr. Jürgen Franke	Consilab Ges. für Anlagensicherheit mbH, Frankfurt
Dr. Markus Gödde	BASF SE, Ludwigshafen
Dr. Martin Gosewinkel	Inburex Consulting GmbH, Hamm
Dr. Joachim Herrmann	DGUV, Berlin
Dr. Lothar Neumeister	BGETEM, Nürnberg
Björn Poga	BGRCI, Heidelberg
Dr. Volkmar Schröder	BAM, Berlin
Dr. Klaus-Werner Stahmer	DGUV (IFA), St. Augustin
Dr. Thomas Zimmermann	Merck KGaA, Darmstadt

Die Verfasser danken der BGRCI für die finanzielle Unterstützung und den Mitgliedern des Forschungsbeirates für die fachliche Beratung und Begleitung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Experimentelles.....	1
2.1	Distickstoffmonoxid	1
2.2	Versuchsaufbau	2
2.3	Untersuchte Substanzen	3
3	Ergebnisse	4
3.1	Zündtemperaturen in reinem Distickstoffmonoxid	4
3.2	Zündversuche in Distickstoffmonoxid/Luft-Gemischen	4
3.2.1	Zündtemperaturen der untersuchten Kohlenwasserstoffe	5
3.2.2	Zündtemperaturen der untersuchten Aldehyde.....	6
3.2.3	Zündtemperaturen der untersuchten Ketone und Ester	7
3.2.4	Zündtemperatur von 1,4-Dioxan	7
4	Diskussion.....	8
5	Zusammenfassung.....	10
6	Literaturverzeichnis	11

1 EINLEITUNG

Viele chemische Verfahren, technische Prozesse oder Reinigungsvorgänge erfordern für ihre Durchführung erhöhte Temperaturen. Sind dabei explosionsfähige Gemische vorhanden oder können solche zumindest bei Betriebsstörungen entstehen, stellen vor allem heiße Oberflächen potentielle Zündquellen dar.

Unter Normalbedingungen ist die Zündquelle ‚heiße Oberfläche‘ charakterisiert durch die Zündtemperatur, bestimmt nach DIN 51794 [1], IEC 60079-20-1 [2], EN 14522 [3] und im außereuropäischen Raum bestimmt nach ASTM E 659 [4]. Die so bestimmte Zündtemperatur ist Grundlage für die Einteilung der brennbaren Gase und Flüssigkeiten und der explosionsgeschützten Geräte in Temperaturklassen.

Die auf diese Weise bestimmte Zündtemperatur gilt nur, wenn Luft das verwendete Oxydationsmittel ist. In der chemischen Industrie treten jedoch oft Gemische brennbarer Dämpfe mit anderen Oxydationsmitteln auf, die wesentlich andere Zündtemperaturen haben können. Für reinen Sauerstoff als Oxydationsmittel existieren bereits umfangreiche Daten [5, 6, 15].

In anderen Oxydationsmitteln als Luft oder Sauerstoff sind bislang nur wenige Zündtemperaturen bestimmt worden, so in Chlor von Gustin [7] und Dokter [8]. Für einige Substanzen wurden Zündtemperaturen in NO_2 von Furno u.a. [16] bestimmt, dagegen gibt es in der Literatur trotz seiner industriellen Bedeutung keine Werte für Zündtemperaturen in Distickstoffmonoxid (Lachgas, N_2O).

Ziel des vorliegenden Projektes ist es daher, eine Datenbasis zur Beurteilung der Zündgefahren von Brennstoff/Distickstoffmonoxid- bzw. Brennstoff/Distickstoffmonoxid/Luft-Gemischen durch heiße Oberflächen zu erhalten.

2 EXPERIMENTELLES

2.1 Distickstoffmonoxid

Bei Distickstoffmonoxid handelt es sich um ein bei Raumtemperatur farbloses Gas, das sowohl endotherm ($\Delta H_f = +82,1 \text{ kJ/mol}$) als auch endergonisch ist und daher prinzipiell unter starker Wärmeentwicklung in N_2 und O_2 zerfallen kann. Da bei diesem Zerfall Sauerstoff freigesetzt wird, handelt es sich gleichzeitig um ein starkes Oxidationsmittel. Dies wird in verschiedenen sicherheitstechnischen Kenngrößen reflektiert: So sind die Explosionsbereiche gegenüber Luft stark aufgeweitet [9, 10], der Umschlag in eine Detonation erfolgt leichter [17] und die Grenzspaltweiten sind deutlich niedriger [11]. Andererseits ist die Oxydationsmittelgrenzkonzentration für Distickstoffmonoxid bei Stickstoff als Inertgas höher als für Sauerstoff [11]. Nach Schröder [12] hat N_2O einen "Sauerstoffäquivalenzkoeffizienten" von 0,42 (gegenüber 0,209 für Luft).

Distickstoffmonoxid ist jedoch im Vergleich zu anderen Stickoxiden wenig reaktiv. Unter Umgebungsbedingungen neigt es auch in Anwesenheit starker Zündquellen

nicht zum Zerfall [17], erst oberhalb von 575°C [13] setzt die Dissoziation zu N_2 und O_2 ein, die dann auch explosionsartig verlaufen kann. Es ist somit nicht selbstverständlich, dass bei niedrigeren Temperaturen der enthaltene Sauerstoff für die Selbstzündung eines Brennstoff/[Luft]/Distickstoffmonoxid-Gemisches zur Verfügung steht.

Für die Versuche wurde N_2O mit einer Reinheit von 99,5 % verwendet.

2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau (Abb. 1) erfolgte in Anlehnung an die in EN 14522 [3] beschriebene Apparatur. Die Normapparatur wurde erweitert um

- ein fast bis zum Boden des Erlenmeyerkolbens reichendes Rohr ($\varnothing = 3 \text{ mm}$) um den Erlenmeyerkolben mit dem jeweiligen Oxidator effektiv zu spülen;
- einen konischen Aufsatz, der den Durchmesser der Halsöffnung auf 10 mm verengte, um den Austausch des jeweiligen Oxidators im Erlenmeyerkolben mit der Umgebungsluft zu minimieren,
- ein zusätzliches Thermoelement im Innern des Kolbens, um Informationen über deutliche Temperaturanstiege aufgrund von Reaktionen ohne Lichtemission zu erhalten.

Das N_2O /Luft-Gemisch (Oxidator) wird mittels zweier Massenströmungsregler (Messunsicherheit: 0,5 %) hergestellt und über das bis zum Boden des Erlenmeyerkolbens reichende Rohr in das Zündgefäß geleitet. Die Strömungsgeschwindigkeit betrug dabei 2,3 l/min - 3 l/min.

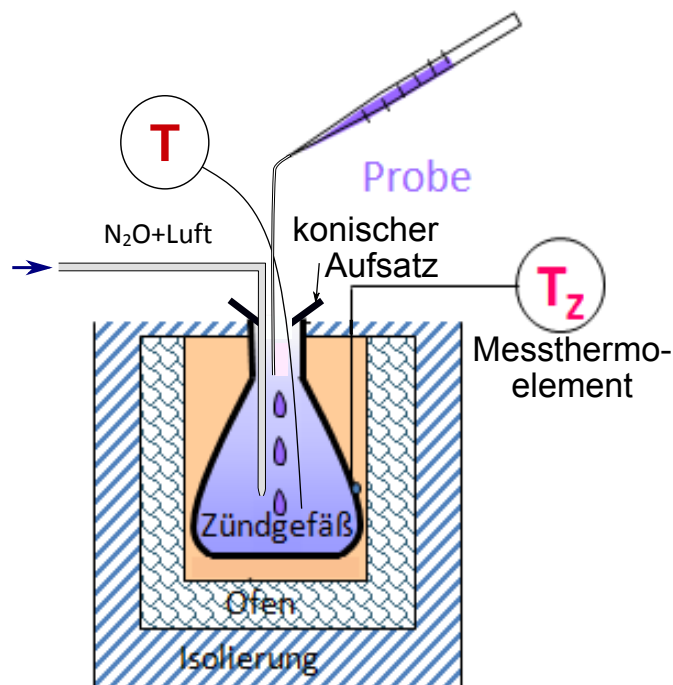


Abb. 1: Versuchsaufbau für die Zündtemperaturbestimmung in Distickstoffmonoxid bzw. Distickstoffmonoxid/Luft-Gemischen

Zu Beginn jedes Versuches wurde der Kolben zunächst mindestens mit dem 7-fachen seines Volumens mit dem gewünschten Oxidationsmittel (N_2O oder N_2O /Luft-Gemisch) gespült. Nachdem sich die Temperatur im Kolben wieder stabilisiert hatte

(nach ca. 20s) wurde die Probe in Portionen in den Erlenmeyerkolben dosiert Die Temperaturanzeige des Messthermoelements unmittelbar vor Beginn der Probenzugabe wurde als Versuchstemperatur gewertet.

Bei Nichtzündung durchlief die durch das Thermoelement im Kolbeninnern angezeigte Temperatur gewöhnlich ein flaches Maximum, danach konnte der Versuch beendet werden. Zündungen waren stets heftig und besonders bei höheren Distickstoffmonoxid-Gehalten von einem oft sehr lauten Knall begleitet. (Dadurch erübrigte sich eine Beobachtung des Kolbeninnern über einen Spiegel). Temperatur und dosierte Menge wurden solange verändert, bis die niedrigste Temperatur gefunden war, bei der eine Zündung beobachtet wurde.

Die Versuche mit N_2O +Luft-Gemischen als Oxidator waren auf Temperaturen unterhalb von ca. $590^\circ C$ beschränkt, um Verfälschungen durch einen eventuellen Selbstzerfall des N_2O zu vermeiden. (Aus früheren Versuchsreihen war bekannt, dass reines N_2O im Erlenmeyerkolben bei $600^\circ C$ noch nicht zum Selbstzerfall angeregt wird).

2.3 Untersuchte Substanzen

Bei den untersuchten Substanzen handelt es sich um exemplarische Vertreter verschiedener Substanzgruppen:

Kohlenwasserstoffe: n-Heptan, Octen-1, 2,4,4-Trimethylpenten-1, o-Xylen;
Aldehyde: n-Pentanal, n-Hexanal, n-Octanal, n-Decanal;
Ether: 1,4-Dioxan;
Ester: n-Butylacetat,
Ketone: Aceton, Pentanon-2, Heptanon-2, Octanon-2.

Aufgrund der Neigung des N_2O zum Selbstzerfall (T_{zer} . ca. $575^\circ C$) wurden sie nach folgenden Kriterien ausgewählt:

1. Substanzen mit hohen Zündtemperaturen ($T_{zer} - T_z < 200$ K):
Aceton (T_z : $530^\circ C$), 2,4,4-Trimethylpenten-1 (T_z : $415^\circ C$), o-Xylen (T_z : $530^\circ C$);
2. Substanzen mit niedriger Zündtemperatur: n-Pentanal (T_z : $205^\circ C$):
n-Hexanal (T_z : $195^\circ C$), n-Octanal (T_z : $200^\circ C$), n-Decanal (T_z : $195^\circ C$),
n-Heptan (T_z : $220^\circ C$), Octen-1 (T_z : $240^\circ C$);
3. Möglichkeit zu systematischen Messreihen wenn auch nur in geringem Umfang (Aldehyde, Ketone);
4. Substanzen mit großer Differenz (≥ 80 K) zwischen der Normzündtemperatur und der Kaltflammentemperatur bestimmt in der Normapparatur:
n-Butylacetat (T_z : $390^\circ C$, T_{KF} $290^\circ C$), Heptanon-2 (T_z : $305^\circ C$, T_{KF} $223^\circ C$),
1,4-Dioxan (T_z : $375^\circ C$, T_{KF} $232^\circ C$).

3 ERGEBNISSE

3.1 Zündtemperaturen in reinem Distickstoffmonoxid

Es wurde zunächst versucht, Zündtemperaturen in reinem Distickstoffmonoxid zu bestimmen. Für alle untersuchten Substanzen lag die Zündtemperatur nicht nur nicht tiefer als in Luft, es wurde vielmehr bei Temperaturen bis 590°C **in keinem Falle** eine Zündung beobachtet. Brennstoff/N₂O-Gemische sind offenbar unterhalb der Zersetzungstemperatur von N₂O nicht selbstentzündungsfähig. Daher wurden bei den weiteren Versuchen N₂O/Luft-Gemische unterschiedlicher quantitativer Zusammensetzung als Oxidator eingesetzt.

3.2 Zündversuche in Distickstoffmonoxid/Luft-Gemischen

In Gemischen aus Luft und Distickstoffmonoxid konnten bei allen untersuchten Brennstoffen Zündungen beobachtet werden.

Die Ergebnisse sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Zündtemperaturen $T_{z,\phi NO_2}$ in N₂O+Luft-Gemischen unterschiedlicher Zusammensetzung

N ₂ O-Anteil im Oxidator Vol.%	0	10	20	25	30	40	50	60	70	80
	$T_{z,\phi NO_2}$ °C									
n-Heptan	220	260	326	418	430	462	500	530		
2,4,4,- Trimethylpenten-1	415	400			460		520	559		
Octen-1	240	264	267		310	384	448	489	534	
o-Xylen		499		516	529		571			
1,4-Dioxan	375	359		387	406	400	423	439	466	511
n-Pentanal	205	215		218	244		299		492	
n-Hexanal	195	213	219		331	394	475	515	558	
n-Octanal	200	215	218		238	336	471	526	559	
n-Decanal	195	207	364		379	409	450	490	526	556
Aceton	530	563	571							
Pentanon-2		467	485			535	534	556	583	
Heptanon-2	305	427	464		489	546				
Octanon-2		344			433		486	514	547	574
n-Butylacetat	390	413			455		495		557	578

Die Zündtemperaturen lagen stets höher als die Zündtemperatur der betreffenden Substanz in Luft und stiegen mit zunehmendem N₂O-Anteil im N₂O+Luft-Gemisch

monoton an¹. Bei Distickstoffmonoxid-Anteilen zwischen 20 Vol.% und 80 Vol.% lagen sie so hoch (560°C - 585°C), dass auf Messungen bei noch höheren N₂O-Anteilen verzichtet wurde.

Mit zunehmendem N₂O-Anteil (und entsprechend dann niedrigen Anteilen an Luft) verringerte sich die für eine Zündung notwendige Menge des Brennstoffs. Laut Norm [1 - 3] ist der Brennstoff in Tropfen von ca. 25 µl zuzugeben. Diese Mindestmenge von 25 µl erwies sich bei hohen N₂O-Anteilen als zu hoch. Folglich wurden die brennbaren Komponenten in Tropfen von ca. 10 µl dosiert. Häufig wurde die Zündung bei der niedrigsten Temperatur bei Zugabe von nur einem Tropfen erzielt.

Die Zündungen waren stets heftiger als Zündungen in Luft unter sonst gleichen Bedingungen, wie das folgende Beispiel zeigt, und mit einem lauten Knall verbunden. Bei Distickstoffmonoxidanteilen über 50 Vol.% wurde häufig der konische Aufsatz des Erlenmeyerkolbens weggeschleudert.

Tab. 2: Vergleich der Heftigkeit der Zündung von Octen-1 bei 479° in Luft und Luft+N₂O

Dosierte Menge Octen-1	maximale Temperaturanstiegsgeschwindigkeit K/s
50 µl Octen-1 bei 479°C in Luft	76
50 µl Octen-1 bei 479°C in Luft+ N ₂ O (1+1)	110

3.2.1 Zündtemperaturen der untersuchten Kohlenwasserstoffe

In Abb. 2 ist die Abhängigkeit der Zündtemperatur der untersuchten Kohlenwasserstoffe vom Distickstoffmonoxidanteil im N₂O+Luft-Gemisch dargestellt.

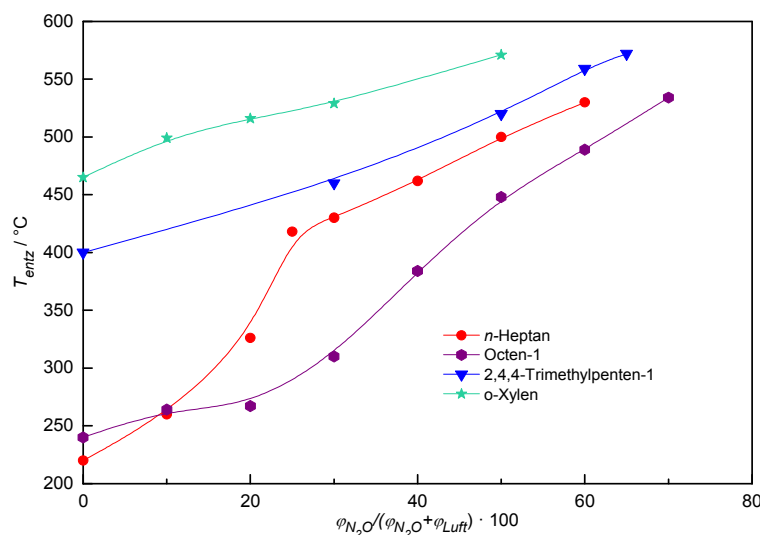


Abb. 2: Abhängigkeit der Zündtemperatur T_{entz} der untersuchten Kohlenwasserstoffe vom N₂O-Anteil im Oxidator

¹ Einzige Ausnahme: Dioxan-1,4 bei 10% N₂O-Gehalt

Bei niedrigen N_2O -Anteilen ist der Anstieg der Zündtemperatur bei Substanzen mit niedriger Normzündtemperatur (z.B. n-Heptan) stärker als bei Substanzen, die bereits eine hohe Normzündtemperatur aufweisen (z.B. o-Xylen). Sobald die Zündtemperatur über ca. $400^\circ C$ liegt, steigt sie jedoch bei allen untersuchten Substanzen in ähnlichem Maße an (nahezu parallele Kurvenabschnitte, die näherungsweise linear verlaufen). Daher können für Substanzen mit niedriger Normzündtemperatur noch bei höheren N_2O -Anteilen im N_2O +Luft-Gemisch Zündtemperaturen bestimmt werden verglichen mit Substanzen mit hoher Normzündtemperatur.

3.2.2 Zündtemperaturen der untersuchten Aldehyde

Wegen ihrer niedrigen Normzündtemperaturen wurde die Substanzgruppe der Aldehyde systematischer untersucht.

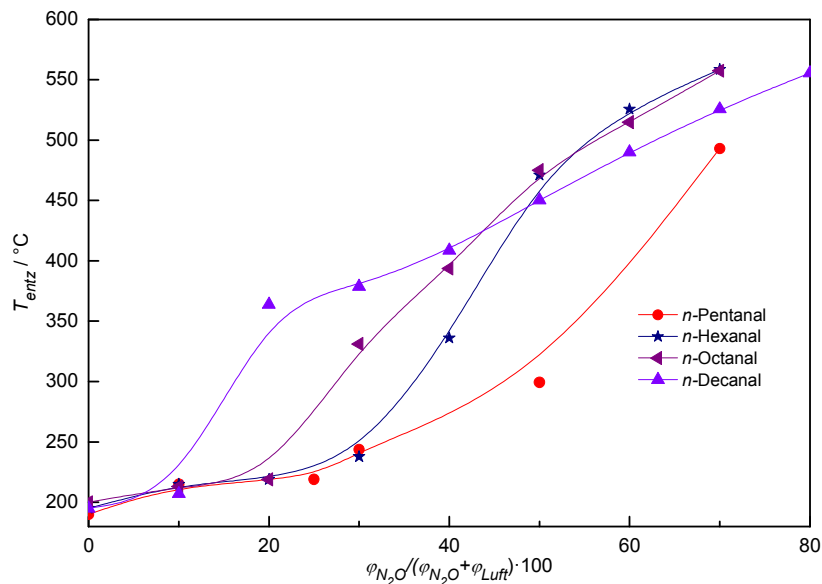


Abb. 3: Abhängigkeit der Zündtemperatur T_{entz} der untersuchten aliphatischen Aldehyde vom N_2O -Anteil im Oxidator

Die vier untersuchten Aldehyde besitzen nahezu identische Normzündtemperaturen zwischen $190^\circ C$ und $200^\circ C$, die mit zunehmendem Distickstoffmonoxidanteil im N_2O +Luft-Gemisch zunächst nur langsam ansteigen. Bei höheren N_2O -Anteilen kommt es dann jedoch zu einem stärkeren Anstieg der Zündtemperatur, bevor sie bei sehr hohen N_2O -Anteilen wieder weniger ansteigt. Der N_2O -Anteil, bei dem der starke Anstieg einsetzt, ist dabei substanzspezifisch und umso niedriger, je längerkettig der Aldehyd ist: Bei n-Decanal erfolgt der starke Anstieg zwischen 10 Vol.-% und 20 Vol.-% N_2O im N_2O +Luft-Gemisch, bei n-Pentanal setzt er bei 50 Vol.-% ein und ist bei 70 Vol.-% anscheinend noch nicht ganz abgeschlossen. Dadurch differieren die Zündtemperaturen der vier Substanzen bei 10 Vol.-% N_2O nur um 10 K und bei 70 Vol.-% N_2O um 50 K, im Bereich dazwischen jedoch um teilweise bis zu 170 K.

3.2.3 Zündtemperaturen der untersuchten Ketone und Ester

Untersucht wurden n-Butylacetat und drei Ketone mit Normzündtemperaturen zwischen 300°C und 450°C sowie Aceton, das eine hohe Zündtemperatur aufweist ($T_{z,Norm}$: 530°C). Aceton konnte deshalb nur bis zu einer N_2O -Konzentration im Oxidator von 20 Vol.-% untersucht werden.

Ein Gebiet mit einer besonders starken Distickstoffmonoxidabhängigkeit der Zündtemperatur ist hier nur bei den beiden relativ niedrig siedenden Substanzen Heptanon-2 und (andeutungsweise) Octanon-2 zu erkennen. Ansonsten sind die Anstiege nahezu linear.

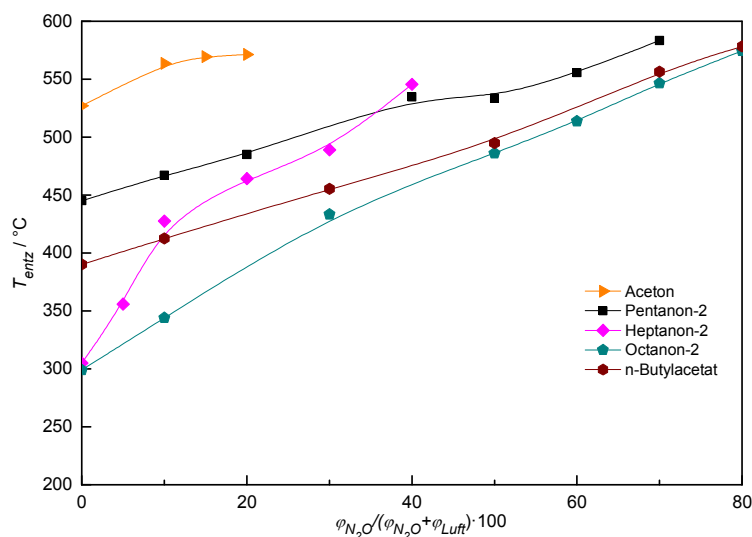


Abb. 4: Abhängigkeit der Zündtemperatur T_{entz} der untersuchten Ketone und Ester vom N_2O -Anteil im Oxidator

3.2.4 Zündtemperatur von 1,4-Dioxan

Bei 1,4-Dioxan wurde als Besonderheit bei einem N_2O -Anteil von 10 Vol.-% eine geringfügig unter der Normzündtemperatur liegende Zündtemperatur gemessen.

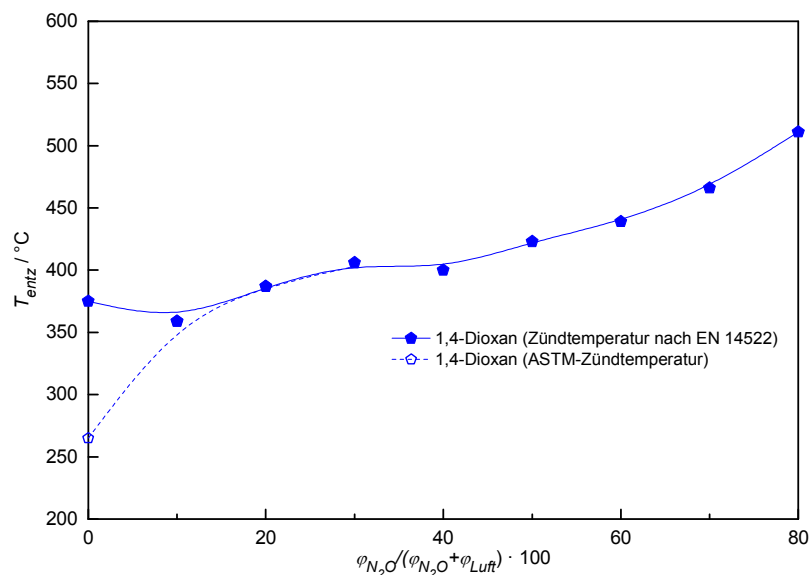


Abb. 5: Abhängigkeit der Zündtemperatur T_{entz} von 1,4-Dioxan vom N_2O -Anteil im Oxidator

Dies gilt aber nur, wenn man nicht die nach ASTM E 659 gemessene Zündtemperatur heranzieht (Abb. 5). Auch bei höheren Distickstoffmonoxidanteilen ist der Anstieg der Zündtemperatur vergleichsweise gering, so dass bei 80 Vol.-% N_2O im N_2O +Luft-Gemisch die Zündtemperatur erst auf $500^\circ C$ angestiegen ist.

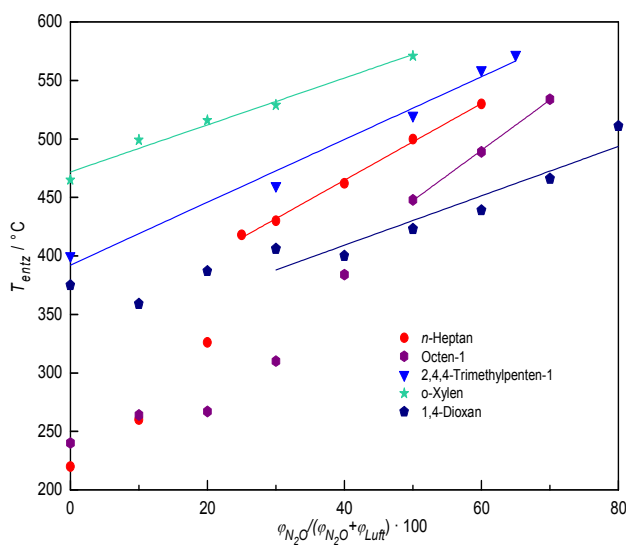
4 DISKUSSION

Auffälligstes Ergebnis der vorliegenden Versuche ist, dass

- in reinen N_2O keine Zündtemperatur unterhalb der Zersetzungstemperatur des N_2O (ca. $575^\circ C$) gefunden werden konnte,
- die Zündtemperatur in N_2O +Luft-Gemischen mit zunehmendem Distickstoffmonoxidanteil nicht abnimmt, sondern zunimmt.

Dies steht im Gegensatz zu anderen starken Oxydationsmitteln wie Sauerstoff oder Chlor, deren Zumischung zu Luft die Zündtemperatur entweder nicht verändert oder absenkt.

Der Anstieg der Zündtemperatur mit zunehmendem N_2O -Anteil verläuft jedoch nicht notwendigerweise linear. Bei Substanzen mit niedriger Normzündtemperatur gibt es stets einen Bereich, in dem die Zündtemperatur besonders stark ansteigt, während ihr Anstieg bei höheren oder niedrigeren N_2O -Anteilen geringer ist. Das obere Ende dieses Bereiches ist erreicht, sobald die Zündtemperatur auf ca. $400^\circ C$ angestiegen ist. Bei weiterer Erhöhung des N_2O -Anteiles steigt die Zündtemperatur nahezu linear mit $2\text{ K/Vol.}\% N_2O$ - $4\text{ K/Vol.}\% N_2O$ im N_2O +Luft-Gemisch. Substanzen, die bereits eine Normzündtemperatur von ca. $400^\circ C$ oder mehr aufweisen (Aceton, 2,4,4-Trimethylpenten-1, o-Xylen), zeigen über den gesamten untersuchten N_2O -Bereich ein nahezu lineares Verhalten mit der nahezu gleicher Temperaturabhängigkeit (Abb. 6, Abb. 7).



Lineare Abschnitte der Zündtemperaturabhängigkeit vom N_2O -Ateil im N_2O +Luft-Gemisch

Abb. 6: untersuchte Kohlenwasserstoffe

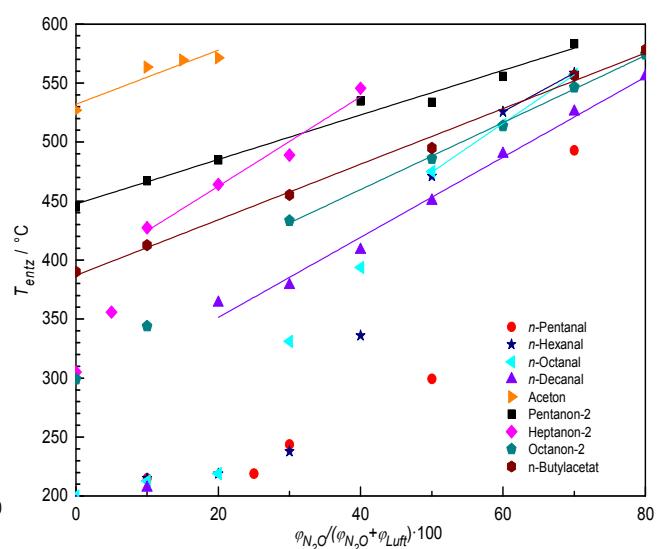
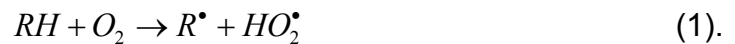


Abb. 7: untersuchten Aldehyde, Ketone und Ester

Brennstoff/Distickstoffmonoxid-Gemische sind in Bezug auf die meisten anderen sicherheitstechnischen Kenngrößen im Vergleich zu Brennstoff/Luft-Gemischen als kritischer einzuschätzen: So sind z. B. die Explosionsbereiche stark aufgeweitet [9, 10] und die Normspaltweite ist deutlich niedriger [11, 12]. In diesen Fällen erfolgt die Zündung des Brennstoff/N₂O-Gemisches jedoch extern durch elektrische Funken, die lokal sowohl den Brennstoff als auch das N₂O unter Radikalbildung zersetzen und damit die für eine Explosion notwendige Kettenverzweigungsreaktion in Gang setzen. Die dabei zusätzlich freiwerdende Bildungswärme des Distickstoffmonoxids begünstigt dann die Flammenfortpflanzung.

Hinsichtlich der Zündtemperatur verhält sich Distickstoffmonoxid im hier untersuchten Temperaturbereich im Gegensatz dazu zunächst wie ein Inertisierungsmittel. Die Zündung des Gemisches erfolgt ausschließlich aufgrund der Oxidationsreaktion mit dem Sauerstoff der Luft. Bei Temperaturen unter 600°C geschieht dies durch die Reaktion:



Inertgase wie z. B. Stickstoff erschweren diese Reaktion durch Verdünnung². Dies sollte auch für eine Substanz wie N₂O gelten, sofern dieses Molekül nicht in der Lage ist, eine mit Gl. (1) vergleichbare Reaktion einzuleiten. Die erhaltenen Untersuchungsergebnisse legen dies nahe. Wenn jedoch eine Reaktion nach (1) eingeleitet wird, führt offensichtlich die dabei freiwerdende Energie zum Zerfall des N₂O und damit zu einer erhöhten Heftigkeit der Explosion.

Eine notwendige Bedingung für die Selbstzündung in N₂O+Luft-Gemischen ist demzufolge, dass die Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) bei der betreffenden Temperatur nicht unterschritten wird. Eine Überprüfung dieser Annahme ist in Abb. 8 für *n*-Heptan gezeigt. Aufgrund der Ähnlichkeit der Wärmekapazitäten von CO₂ und N₂O wurde die SGK in Kohlendioxid zum Vergleich herangezogen. Isobutan als Brennstoff wurde gewählt, da hierfür SGKs in Brennstoff/Luft/CO₂-Gemischen bis 400°C bekannt sind [14] und anzunehmen ist, dass die Sauerstoffgrenzkonzentrationen von *n*-Heptan und Isobutan nicht stark differieren.

Nach dieser Abschätzung findet die Selbstzündung von *n*-Heptan in N₂O+Luft-Gemischen bei einem Sauerstoffanteil stets oberhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration statt; bei Sauerstoffkonzentrationen unterhalb von 8,4 Vol.-% (N₂O-Anteil mehr als 60 Vol.-%) konnte in Übereinstimmung mit den vorgenannten Überlegungen keine Zündung mehr beobachtet werden.

² Über eine Erhöhung der Zündtemperatur durch Inertgaszugabe gibt es bisher kaum Untersuchungen

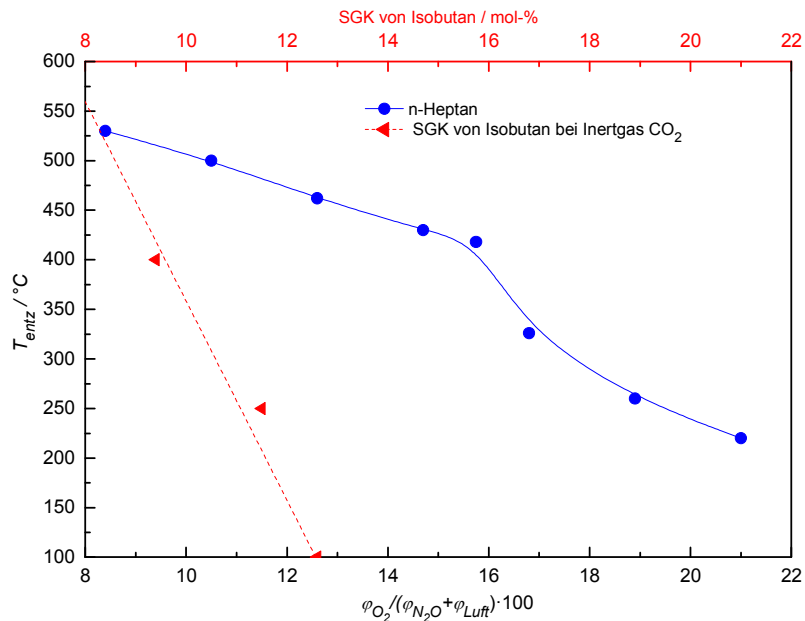


Abb. 8: Vergleich des Sauerstoffanteils in N_2O /Luft-Gemischen bei Selbstzündung von n-Heptan mit der Sauerstoffgrenzkonzentration von Isobutan/Luft für das Inertgas CO_2

5 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde von insgesamt zehn organischen Substanzen ihre jeweilige Zündtemperatur in Distickstoffmonoxid+Luft-Gemischen mit unterschiedlichem N_2O -Anteil bestimmt.

Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- In reinem Distickstoffmonoxid konnten keine Zündungen bis $590^\circ C$ beobachtet werden.
- Die Zündtemperatur aller untersuchten Substanzen steigt mit zunehmendem N_2O -Anteil an und erreicht spätestens bei einem Distickstoffmonoxidanteil im N_2O +Luft-Gemisch von 80 Vol.% nahezu $600^\circ C$.
- Mit zunehmendem N_2O -Anteil im Oxidator nimmt die Heftigkeit der Zündungen zu.
- Die Beobachtungen können erklärt werden durch die Annahme, daß die Initiierung der Zündung nur mit dem Sauerstoffanteil des N_2O +Luft-Gemisches erfolgt und das Distickstoffmonoxid erst in Folge dessen zum Selbstzerfall angeregt wird.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DIN 51794: Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen - Bestimmung der Zündtemperatur, 2003
- [2] IEC 60079: Explosive atmospheres part 20-1: Material Characteristics for Gas and Vapour Classification - Test Methods and Data; 2010
- [3] DIN EN 14522: Bestimmung der Zündtemperatur von Gasen und Dämpfen; 2003
- [4] ASTM E 659: Standard Test Method for Autoignition Temperature of Liquid Chemicals; 2005
- [5] BAM-Jahresberichte 1974 - 1977: Zündtemperaturen in Sauerstoff bei Normaldruck
- [6] P. Rettig: Zündtemperaturen brennbarer Flüssigkeiten in Sauerstoff; Bachelorarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 2012
- [7] J.L. Gustin: Safety of Chlorine Production and Chlorination Processes; Chem. Health Safety **12**(2005), 5
- [8] T. Dokter: Fire and Explosion Hazards of Chlorine-Containing Systems; J. Haz. Mat. **10**(1985), 73
- [9] Y. Koshiba, T. Takigawa, Y. Matsuoka, H. Ohtani: Explosion Characteristics of Flammable Organic Vapors in Nitrous Oxide Atmosphere; J. Haz. Mat. **183**(2010), 746
- [10] D. Conrad: Bestimmung der Explosionsgrenzen einiger Gase in Mischung mit Distickstoffoxid; BAM Jahresbericht **1986**, 92
- [11] T. Meye, E. Brandes, M. Höding, S. Busse: Safety Characteristics at Non-Atmospheric Conditions - Oxidizers other than Air; Proc. **9th** Int. Symp. Haz. Prev. Mitigation Ind. Expl., Cracow 2012
- [12] V. Schroeder, B. Machrodt and S. Dietlen: Determination of Oxidizing Ability of Gases and Gas Mixtures; in "Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygen-Enriched Atmospheres, 9th Vol.", ASTM STP 1395; T: A: Steinberg, H: D: Beeson and B:E: Newton, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa., **2000**
- [13] Linde AG: EG-Sicherheitsdatenblatt Distickstoffmonoxid, SDB Nr. **8330**, Version 1.3, 2009
- [14] J. Stickling: Experimentelle und theoretische Bestimmung des Inertgaseinflusses auf die Explosionsgrenzen organischer Verbindungen; Abschlußbericht d. Forschungsvorhabens **AiF 10144** d. Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen, Köln 1997
- [15] Datenbank CHEMSAFE, 2016
- [16] A.L. Furno, A.C. Imhof and J.M. Kuchta: Effect of Pressure and Oxidant Concentration on Autoignition Temperatures of Selected Combustibles in Various Oxygen and Nitrogen Tetroxide Atmospheres, J.Chem.Eng.Data **13**(1968), 243
- [17] Michal Gula: Explosionstechnische Charakterisierung chemisch instabiler Gase; Dissertation, TU Berlin 2010, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-2395>