



Ist Lachgas eine sichere Alternative?



=



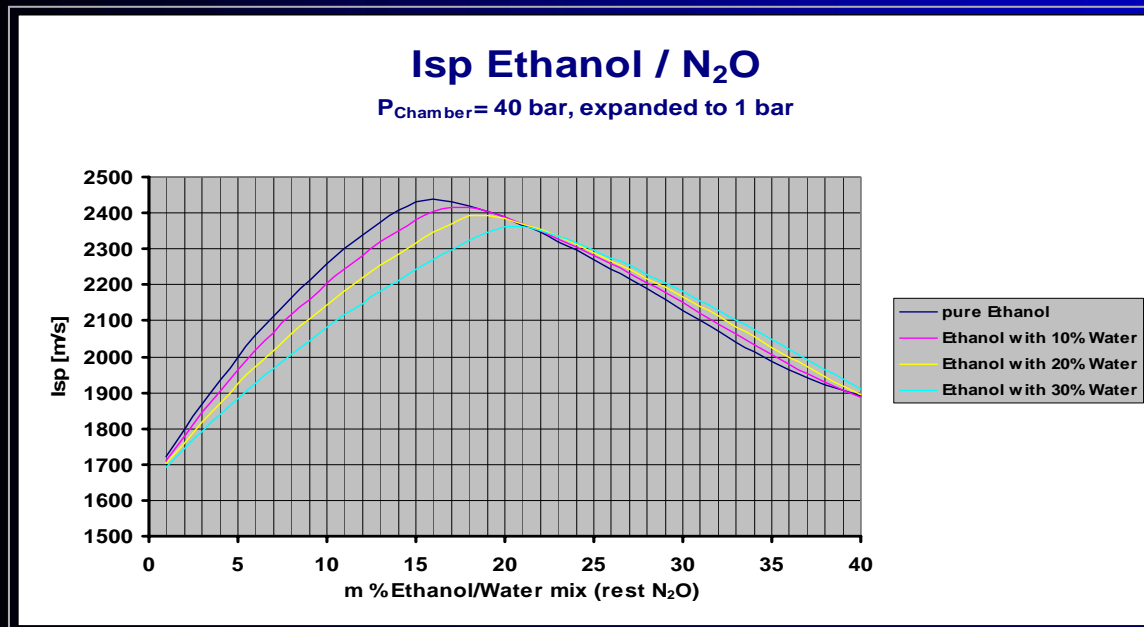
??



N₂O für Raketenantriebe

Vorteile



- Rel. gut verfügbar (Auto-Tuning, Gas-Händler)
- Selbstbedrückend (Dampfdruck bei 20°C ist ~50.1 bar)
- Ungiftig, reaktionsträge → rel. sicheres Handling (Generell sicher???)
- Zusätzl. Energie aus Decomposition (als Monopropellant: ISP von 170 s)
- Spez. Impuls ändert nur wenig bei Änderung des O/F





N₂O für Raketenantriebe

Nachteile

- Hohe Drücke (Unnötig für Amateur). Nur in Druckbehälter lagerbar (ansonsten nur unterkühlt möglich). Endtanken meist nicht möglich: Verlust
- niedrige Dichte (Flüssigphase: 750 kg/m³ bei 20°C), sehr schlechter Dichte-ISP
- Teuer (>20x teurer als LOX)
- Nur moderate Leistung
- starke Abhängigkeit des Drucks von der Temp. (an heißen Tagen sogar überkritisch!)
- Treibhausgas
- Durchsatz schwierig messbar da zweiphasige Strömung
- Rel. Grosser Massenanteil in Gasphase und daher meist unbrauchbar.
- Monopropellant (wie H₂O₂ oder Hydrazin. Risiko einer Kettenreaktion, siehe weitere Folien) 
- Gesättigtes Fluid (kleinste Druck- und Temperaturänderungen → Sieden → Kavitation → implodierende Blasen) 

Vorfälle

Explosion bei Scaled Composites (Erbauer von SS1 & 2)

- 3 Tote
- cold flow Test eines Hybrid Antriebs (ohne Grain und ohne Verbrennung!)
- Starke Verbrennungen der Opfer (→ zersetztes N_2O , also nicht nur reine Druckenergie)
- Auslöser noch unbekannt. Evt. Druckschläge (water hammering) durch Kavitation in Verbindung mit organischen Verunreinigungen.



Vorfälle 2

Explosion N₂O Tankwagen in Eindhoven [1]

- Tankwagen mit 7.5 Tonnen unterkühltem N₂O (rel. tiefer Druck)
- Resultat der Untersuchungen: Nicht vorgekühlte Kreiselpumpe lief heiss und startete Decomposition des Lachgases. N₂O bei > 5.7 bar und einer Zündquelle kann sich in einer explosionsartigen Kettenreaktion zersetzen [2]. Zurückzünden in Tank.



Vorfälle 3

Explosion N₂O Hybrid-Triebwerk (Flashback) [3]

- Zu kleines Δp über Injektor →
Verbrennungsinstabilitäten
→ Zurückdrücken von
Verbrennungsgasen in Lachgastank
- Anschliessende Decomposition des
Lachgases
- Film (Danke an Troy Prideaux)





Vorfälle 4

Explosion N₂O/Alkohol Triebwerk (Flashback) [4]

- Designfehler des Injektors führte zur Kontamination der N₂O Kanäle mit Alkohol. „Water hammering“ im N₂O zündete dann das Gemisch und zerstörte Ventile und Injektor.

Film (Besten Dank an Henrik Schulz von DARK)



Potentielle Gefahren

- N_2O wird i.d.R. im Sattedampf-Gebiet genutzt: 2-Phasenströmung mit hohem Potential zu Wasserschlag (water hammering) → adiabate Kompression von Kavitationsblasen → "Dieselzündung" speziell bei Verunreinigungen und an brennbaren Oberflächen (Dichtungen, Leitungen, CFK-Tanks etc.)



Implodierende Dampfblase mit Jet (bis zu 100000 bar am Boden des Jets und Temperaturen von mehreren tausend K !)

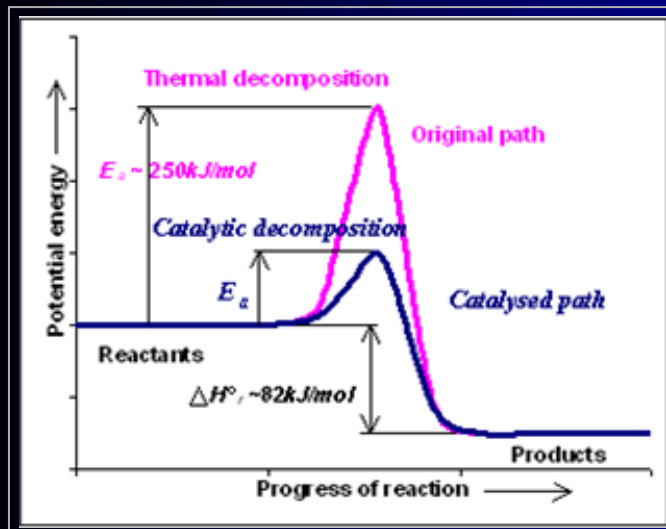
$\frac{p_G}{p_N}$ [-]	$p_{i \max} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$T_{i \max} [K]$
0,1	1,3	610
0,05	7,2	990
0,01	405	3140
0,005	2290	5160

Potentielle Gefahren

N₂O ist ein Monopropellant (wie H₂O₂ oder Hydrazin)!

- Je nach Randbedingungen entsteht bei der Decomposition mehr Energie als nötig ist um die Zersetzungstemperatur zu erreichen → Kettenreaktion

$$\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 82 \text{ kJ/mol}$$
- Vor allem die Dampfphase kann bei Drücken > 5.7 bar in eine Detonation übergehen wenn organische Verunreinigungen anwesend sind!
- Katalysatoren können kritische Temp. bis auf 250 °C senken (Z.B. Kupfer und seine Oxide)





Potentielle Gefahren

- Sehr gute Löslichkeit in Ölen, Fetten und sonstigen Kohlenwasserstoffen wie Kunststoffe etc. (Das ist der Grund weshalb es in Rahmbläsern verwendet wird!). Auch feste Kunststoffe wie HTPB oder GFK/CFK können sich bei längerer Exposition damit sättigen und dabei zu hochexplosiven Stoffen mutieren.
- Statische Aufladung des Fluids beim Einspritzen in die Brennkammer. In Kombination mit obigen Punkt kann dies laut diverser Quellen bereits zur Zündung kommen.
- Vereisen von Ventilen und Entlüftungsbohrungen
- Unbekannter Voodoo [5]:

d. Anomalies

One disturbing observation during the gaseous test program was the rather frequent (about 10 percent of the tests) occurrence of unexplained events in two categories, spontaneous ignitions and spontaneous temperature rises. In the first category, sudden temperature and pressure spikes were sometimes observed while N_2O was being vented from the pipe. These anomalies generally occurred at low-pressure conditions where steady-state decomposition cannot be sustained. The other category consisted of unusual increases in pipe wall temperatures (by 20 to 50°F) during filling operations without any sudden pressure rise or other indication of a decomposition reaction. Both of these anomalies remain unexplained.



Empfehlungen

- Δp über Injektor > 10 bar. Schriller Ton bei Hybrids (sog. Screaming) ist meist ein Anzeichen von Verbrennungsinstabilitäten und zuwenig Δp). Auch wenn das zu Lasten Kammerdruck und daher Performance geht
- Nur Flüssigphase benutzen
- Bei Hybriden: Grain nicht lange Lachgas aussetzen (keine Sättigung der Oberfläche). Venting und Dumpen über Öffnungen ausserhalb des Brennräume
- Tank usw. erden
- KEINE brennbaren Materialien für Dichtungen, Leitungen (auch Füllleitungen!) und Tanks (KEINE reinen GFK/CFK Tanks... nur mit Metall-Liner). Metalle (INOX, Alu), PTFE, PCTFE oder diverse Silicone sind ok (Viton, FKM, FPM sind chemisch kompatibel, schwellen aber stark auf). Kupferverbindungen vermeiden. Nur kompatible Schmiermittel wie CRYTOX verwenden. Im Zweifelsfall Lieferant fragen!
- Einbau von Deflagrationsbremsen (meist reicht ein grosser Sinterfilter) in Leitungen, Berstscheiben für Tank. Tanks hydrotesten $> 100-150$ bar.
- Dichte von N_2O ändert stark (da nahe am kritischen Punkt) mit der Temperatur. Daher Tank nicht ganz füllen: 13-15% Tankleerraum vorsehen für eine allfällige Temperaturerhöhung von $15^\circ C$ auf $25^\circ C$ (Restvolumen dann noch ca. 1%) [6],[7]



Empfehlungen

- Füllen und Entleeren ferngesteuert. Tanks und Leitungen erden.
- Aufpassen nach misslungener Zündung. Mit N_2O gesättigtes Grain oder sonstiger Treibstoff kann explosiv sein.
- Um Blasenbildung und somit Kavitation zu vermeiden: Unterkühltes N_2O verwenden und mit N_2 oder Helium bedrücken.
- LOX verwenden ;-)





Fazit

Raketentreibstoffe sind hochenergetisch (deshalb verwendet man sie ja) und daher immer potentiell gefährlich! Wie jeder Oxidator hat Lachgas seine Vor- und Nachteile. Aber auch Lachgas kann mit entsprechenden Vorkehrungen beim Design und Handling sicher sein. Das setzt aber voraus, dass man sich der Gefahren bewusst ist und mit allem rechnet. Das gilt ganz generell, also auch für LOX, H_2O_2 , N_2O_4 , Salpetersäure etc.



Quellen

1. "Nitrous Oxide Trailer Rupture, July 2, 2001" Präsentation von Konrad Munke, Linde Gas AG
2. "Untersuchungen von Zerfallsfähigkeit von Disticksoffoxid", Forschungsbericht 89, Bundesanstalt für Materialprüfung BAM, 1983
3. Bilder und Film von Troy Prideaux
4. Film Henrik Schulz DARK, <http://www.dark.dk/>
5. "Investigations of Decomposition Characteristics of gaseous and liquid Nitrous Oxide" by G.W. Rhodes, AD-784 802, Air Force Weapons Laboratory, Kirtland Airforce Base, 1974
6. "Calculation and Verification of Filling Ratios for Liquified Gases DTRS56-02-X-0049" NIST and DOT
7. <http://www.aspirespace.org.uk/> (technical papers)

Sonstige:

- Catalytic Ignition of Nitrous Oxide With Propane/Propylene Mixtures for Rocket Motors, AIAA 2005-3919
- Catalytic Decomposition of Nitrous Oxide for Spacecraft Propulsion, ADA 392935



Fragen ?



Contact and further info's:
WWW.SPL.CH