Zeitschrift: Protar

Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes

Band: 10 (1944)

Heft: 7

Artikel: Ueber die durch Brandbomben entstehende Wärme und die Erstickungsgefahr infolge Sauerstoffentzuges der Luft

Autor: Stettbacher, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-363044

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

bleme aufmerksam macht, die weiterer Beachtung wert sind, so ist ihr Zweck erreicht. Gerüchte, Falschnachrichten, Irrtümer werden auch weiterhin neben der öffentlichen Meinung der Aerzteschaft zirkulieren; aber all dem die Spitze abzubrechen und die Wahrheit entgegenzuhalten, das möchten wir mit unserem bescheidenen Beitrag bezwecken.

Bibliographie.

[24] *Tecoz R. M.:* Problèmes alimentaires actuels. Praxis, Nr. 1, 5—8 (1943).

[25] *Mouriquand G.:* Synergies diétothérapiques. Les vitamines, l'équilibre alimentaire et les diétotoxiques. Journal Médical Français 1938, Nr. 12, 432 bis 434.

[26] *Bickel G.:* La sulfanilamide et ses dérivés en thérapeutique. Verlag Payot & Cie., Lausanne 1940, 157 S.

[27] *Knoll W.* und *Arnold A.:* (s. Nr. 1).

[28] *Staub W.:* Die pharmakologische Beeinflussung der psychischen und physischen Leistungsfähigkeit in Sport und Armee. Verlag Hans Huber, Bern 1943, S. 169—177.

[29] *Schönholzer G.:* Die Frage des Doping. Sammlung der Referate, gehalten am sportärztlichen Zentralkurs 1937 in Bern, Verlag Hans Huber, 1938, S. 171—193.

[30] *Demole M.:* Les dangers de la Pervitine. J. trimestr. d. Officiers Suisses du Service de Santé, 1942, Nr. 3, S. 82—88.

[31] *Demole V.:* Médecine sportive et «Doping». Contrôle médico-sportif et fatigue, Verlag F. Rouge & Cie. S. A., Lausanne, 1941, S. 183—202.

[32] *Böje Ove:* Le doping: Etude sur les moyens utilisés pour accroître le rendement physique en matière de sport. Bulletin de l'organisation d'hygiène de la S. d. N. 1939, Nr. 3, 472—505.

[33] *Bickel G.:* Action pharmacologique et applications thérapeutiques de quelques dérivés de l'adrénaline. Praxis, Nr. 18, 325—330 (1943); Nr. 19, 348 bis 352 (1943).

Ueber die durch Brandbomben entstehende Wärme und die Erstickungsgefahr infolge Sauerstoffentzuges der Luft

Von **Dr. Alfred Stettbacher**

Heute, wo das Feuer der Brandbomben fast Tag und Nacht vom Himmel fällt und immer mehr Städte verwüstet, dürfte es im fünften Kriegsjahre nicht unangebracht sein, sich zu dem obgenannten Doppelthema einmal zu äussern. Hört man doch sowohl über die entstehenden Verbrennungswärmen und Temperaturen, als auch über den Sauerstoffverbrauch entflammter Brandsätze in geschlossenen Räumen die widersprechendsten Meinungen. So wird dem Phosphor — meist rein gefühlsmässig, ohne jede Begründung — eine riesige Hitzeentwicklung und dementsprechend hohe Verbrennungstemperatur zugeschrieben, und ein Feuerwehr-Fachmann äusserte sich anlässlich einer Brand- und Löschdemonstration kurzerhand wie folgt: Neben dem schweren, lungenverätzenden Phosphorpentoxydrauch halte ich den *Sauerstoffentzug* in der Nähe des Brandherdes für besonders *gefährlich,* weil die Luftatemgrenze von 15 % Sauerstoff rasch unterschritten und ein Löscher in diesem Raum bald ohnmächtig zu Boden torkeln wird. (Keiner der Umstehenden vermochte diesen schlagfertig vorgebrachten Behauptungen etwas entgegenzuhalten, auch der Verfasser nicht, weil ihm mangels eigener Berechnungen ein Urteil versagt blieb.) Noch drastischer hinsichtlich des Sauerstoffschwundes urteilte ein Augenzeuge in einem Bericht über die Bombardierung Hamburgs: Im Gebiet des Flächenbrandes entsteht eine orkanartige Luftbewegung und damit ein elementarer Wettbewerb um den Luftsauerstoff. Dabei behält ein Brand von dieser Ausdehnung natürlich die Oberhand gegenüber dem Atemluftbedarf der Menschen in einer solchen Hölle. Der Brand reisst die letzten Sauerstoffreste aus allen Räumen, Unterständen und Kellern, ebenso auch verzehrt er den Sauerstoff in der sturmartig zwischen den Häuserreihen dahinfegenden Strassenluft. In den *Schutzräumen* entsteht daher bald *Atemnot,* gefolgt von unerträglicher *Hitze,* so dass beim Endalarm dann die *Kräfte fehlen,* aus der meist noch mit Trümmern verbarrikadierten Todeskammer zu fliehen.

Auf Grund eindeutiger *thermochemischer Berechnungen* mit Hilfe der *Verbrennungsgleichungen* seien nun nachstehend die mit den verschiedenen *Brandsätzen* maximal erzielbaren *Wärmemengen* einerseits und — in Verbindung mit den physikalischen Gasgesetzen — die bei der *Verbrennung an freier Luft* sich ergebenden *Sauerstoffverbrauchszahlen* anderseits zusammengestellt.

I. Brandsätze der eigentlichen Brandbomben, wie sie im Massenabwurf nach wie vor zu Zehntausenden gestreut werden.

An erster Stelle ist hier das immer noch unübertroffene *Thermit* zu nennen, das als feuerflüssige Masse auch die schwerst entflammbaren Gegenstände sofort zündet, wenn es mit ihnen in Berührung kommt.

Die aus den nachstehenden Gemengen resultierenden *Verbrennungswärmen* werden durchweg als *Differenz* der *Oxydationswärmen* von den gebildeten Verbrennungsprodukten (H_2O, CO_2, P_2O_5, Al_2O_3, MgO ...) und der oder den *Bildungswärmen* des sauerstoffabgebenden, oxydierenden Anteils (Fe_2O_3, $KClO_4$, BaO_2 ...) erhalten.

1. *Thermite.*

a) Eisenoxyd-Thermit:

$Fe_2O_3 + 2\,Al = Al_2O_3 + 2\,Fe + (402{,}9 - 195{,}1)$ kcal
159,70 53,94 213,64 g + 207,8 kcal
74,75 % + 25,25 %
100 g + *33,79* g
1 kg *973 kcal*

b) Hammerschlag-Thermit:

$3\,Fe_3O_4 + 8\,Al = 4\,Al_2O_3 + 9\,Fe$
$+ (4 \cdot 402{,}9 - 3 \cdot 265{,}2)$ kcal
$3 \cdot 231{,}55 + 8 \cdot 26{,}97 = 910{,}41$ g + 816,0 kcal
76,30 % 23,70 %
100 g *31,06* g
1 kg *896 kcal*

Im Thermit der Brandbomben sind gewöhnlich beide Eisenoxyde in wechselnden Mengen enthalten, so dass kaum über 950 kcal/kg Wärme entwickelt werden — ein auffällig kleiner Betrag im Vergleich zu den stärksten Sprengstoffen mit 1600 oder gar Perchlorat-Brand-Leuchtgemengen mit 2400—2700 kcal/kg. Die immer wieder bewunderte Schmelzhitze des Thermits erklärt sich aus der *gaslosen* Umsetzung, wodurch die entstandene Glut innerhalb einer kleinen, flüssig-beweglichen Feuermasse konzentriert zur Wirkung kommt, während die fast dreimal so grossen Wärmebeträge der Perchloratgemenge durch das verdampfende Alkalichlorid räumlich weit stärker verteilt werden und die Zerstörungen deshalb weniger örtlich sichtbar sind.

Es verdient noch, hervorgehoben zu werden, dass nach den neuern Bestimmungen die *Thermit-Temperatur* nicht die «feuerwehr-läufigen» 3000, sondern nur *2400* ° erreicht.

Die *grösste Wärmeentwicklung* liefern die brennbaren Stoffe im Gemenge mit *Perchloratsalzen.* Am geeignetsten hierzu ist das wasserfrei kristallisierende, nicht wasseranziehende *Kaliumperchlorat,* während das thermisch günstigere Natriumperchlorat stets wasserhaltig erhalten wird und vor Gebrauch mühsam entwässert werden muss.

Da Perchloratmischungen nicht nur in Brandbomben (als Anfeuerungssatz), sondern auch in vielen andern Brand- und Leuchtsätzen vorkommen und beständiger, weniger handhabungsgefährlich als die entsprechenden Chloratmischungen sind, seien sie etwas ausführlicher behandelt.

Das Aluminium wird dabei meist als *Aluminiumbronze* in Gestalt feinsten Staubes (zwischen 1/100 und 1/1000 mm Durchmesser), das *Magnesium* viel gröber als — zwischen den Fingerspitzen fühlbares — Pulver angewandt. Ungeachtet der vielleicht 1000mal kleineren Kornmasse verbrennen die Aluminiumbronzen träger und langsamer mit Perchlorat als die Magnesiumpulvergemenge, welche leicht zur Explosion neigen und die schnellsten «Blitzlichter» ergeben.

Die im folgenden berechneten Verbrennungswärmen stellen stets die *maximal erreichbare Kalorienzahl* dar.

2. *Gemenge mit Perchloraten.*

a) Kaliumperchlorat-Aluminiumstaub:

$3\,KClO_4 + 8\,Al = 4\,Al_2O_3 + 3\,KCl$
$+ (4 \cdot 402{,}9 - 3 \cdot 10{,}2)$ kcal
$3 \cdot 138{,}553 + 8 \cdot 26{,}97 = 631{,}419$ g + 1581 kcal
100 g + *51,91* g
1 kg *2504 kcal*

b) Kaliumperchlorat-Magnesiumpulver:

$KClO_4 + 4\,Mg = 4\,MgO + 4\,KCl$
$+ (4 \cdot 145{,}5 - 10{,}2)$ kcal
$138{,}553 + 4 \cdot 24{,}32 = 235{,}883$ g + 573 kcal
100 g + *70,21* g
1 kg *2429 kcal*
(knallendes Blitzlicht)

c) Natriumperchlorat-Aluminiumstaub:

$3\,NaClO + 8\,Al = 4\,Al_2O_3 + 3\,NaCl$
$+ (4 \cdot 402{,}9 - 3 \cdot 2{,}5)$ kcal
$3 \cdot 122{,}454 + 8 \cdot 26{,}97 = 583{,}122$ g + 1604,1 kcal
100 g + *58,73* g
1 kg *2751 kcal*

d) Kaliumperchlorat-roter Phosphor:

$5\,KClO_4 + 8\,P_{rot} = 4\,P_2O_5 + 5\,KCl$
$+ (4 \cdot 360 - 5 \cdot 10{,}2)$ kcal
$5 \cdot 138{,}553 + 8 \cdot 30{,}98 = 940{,}605$ g + 1389 kcal
100 g + *35,77* g
1 kg *1477 kcal*

e) Kaliumperchlorat-Schwefel (rhombisch):

$KClO_4 + 2\,S = 2\,SO_2 + KCl + (2 \cdot 70{,}94 - 10{,}2)$ kcal
$138{,}553 + 2 \cdot 32{,}06 = 186{,}673$ g + 131,68 kcal
100 g + *52,32* g
1 kg *705 kcal*

f) Kaliumperchlorat-Kohlenstoff (Russ):

$KClO_4 + 2\,C = 2\,CO_2 + KCl + (2 \cdot 96{,}0 - 10{,}2)$ kcal
$138{,}553 + 2 \cdot 12{,}01 = 162{,}573$ g + 181,8 kcal
100 g + *17,34* g
1 kg *1118 kcal*

Die Zusammenstellung zeigt, dass die Leichtmetalle Aluminium und Magnesium weit energiereichere Gemische ergeben als Phosphor, Kohlenstoff oder gar Schwefel mit bloss 700 kcal/kg.

3. *Gemenge mit Chloraten:*

Auch diese dienen der *militärischen Brandstiftung;* einige der Gemische entzünden sich in Berührung mit konzentrierter *Schwefelsäure* und werden als Offensiv- und Defensivmittel im Felde gebraucht (Molotow-Cocktail).

Kaliumchloratgemische mit brennbaren Stoffen sind *empfindlicher, entzündlicher* als solche mit Perchlorat; am *gefährlichsten* ist die Mischung d) mit *rotem Phosphor* (Armstrongsche Mischung), welche schon bei leichtem Druck explodiert, seit ihrem Bekanntwerden vor 100 Jahren immer wieder zu Unfällen geführt hat und nur unter Zuhilfenahme eines flüssigen, leicht verdunstenden Mischmittels, wie Alkohol, Azeton, Aether, hergestellt werden darf. Nach fertigem Abdunsten hinterbleibt dann eine rote Explosivmasse, die am besten nicht mehr berührt wird *(Hinterhaltsminen* in verlassenen Stellungen). Wird das Chlorat mit einer Lösung von *gelbem Phosphor in Schwefelkohlenstoff* durchtränkt, tritt nach dem Abdunsten von selbst Explosion ein, wobei das im Raum

verflüchtigte Lösungsmittel als Gas-Luftgemisch eine zusätzliche, oft noch grössere Sprengwirkung hervorbringt (überraschendes *Feuerlegen der Guerillas* mit Kurzfrist zum gesicherten Abzug, sofern nicht von *chemischen Stundenzündern* Gebrauch gemacht wird).

a) Kaliumchlorat-Aluminiumstaub:

$$KClO_3 + 2\,Al = Al_2O_3 + KCl + (402{,}9 + 8{,}3)\ \text{kcal}$$
$$122{,}553 + 2 \cdot 26{,}97 = 176{,}493\ \text{g} + 411{,}2\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 44{,}01\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 2330\ \text{kcal}$$

b) Kaliumchlorat-Magnesiumpulver:

$$KClO_3 + 3\,Mg = 3\,MgO + KCl + (3 \cdot 145{,}8 + 8{,}3)\ \text{kcal}$$
$$122{,}553 + 3 \cdot 24{,}32 = 195{,}49\ \text{g} + 445{,}7\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 59{,}53\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 2280\ \text{kcal}$$

c) Bariumchlorat-Magnesiumpulver (für grüne Lichter):

$$Ba(ClO_3)_2 + 6\,Mg = 6\,MgO + BaCl_2 + (6 \cdot 145{,}7 + 33{,}8)\ \text{kcal}$$
$$304{,}274 + 145{,}92 = 450{,}194\ \text{g} + 908{,}6\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 47{,}96\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 2018\ \text{kcal}$$

d) Kaliumchlorat-roter Phosphor (Armstrongsche Mischung):

$$5\,KClO_3 + 6\,P_{rot}$$
$$100\ \text{g} + 30{,}33$$
$$1\ \text{kg} \qquad 1417\ \text{kcal}$$

Dies Gemenge entflammt und *explodiert* schon durch den kleinsten *Tropfen Schwefelsäure;* kaum weniger entzündlich durch Schwefelsäure erweist sich der folgende *russische Cocktail* aus

e) Kaliumchlorat-Nitrobenzol (flüssig), (Nitrotoluol oder Nitroxylol):

$$25\,KClO_3 + 6\,C_6H_5NO_2$$
$$100\ \text{g} + 24{,}11\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 1182\ \text{kcal}$$

f) Kaliumchlorat-Schwefel:

$$2\,KClO_3 + 3\,S$$
$$100\ \text{g} + 39{,}24\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 672\ \text{kcal}$$

g) Kaliumchlorat-Kohle (Russ):

$$2\,KClO_3 + 3\,C$$
$$100\ \text{g} + 14{,}70\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 1083\ \text{kcal}$$

Die gefährlicheren, wenn auch billigeren Kaliumchlorat-Brandgemenge entwickeln also geringere Wärmebeträge als die entsprechenden Kaliumperchloratgemenge. Auch reicht ihre Leuchtkraft (schwebende Leuchtbomben, «Christbäume»), nicht ganz an die *Lichtstärke* der Perchloratsätze heran, da die zusätzliche *endotherme* Bindungsenergie des Chloratsauerstoffs gegen die grössere Sauerstoffkonzentration im Perchlorat nicht aufzukommen vermag, wie ich durch vergleichende *photographische* Aufnahmen[1]) mit Normal-(Glas)-Objektiv und der Lochkamera gezeigt habe.

Die vorgenannten Perchlorat- und Chloratgemenge sind auf «ideale» Verbrennung berechnet und setzen sich — in Bruchteilsekunden — meist unter Verpuffung oder gar Explosion um, wenn sie in losem oder nur schwach gepresstem (handgestopftem) Zustande angewandt werden. Zur Verlängerung der Brenn- und Leuchtzeit ist daher nicht nur eine starke Verdichtung, sondern auch ein verfestigendes Bindemittel, wie Harz, Dextrin oder Wachsparaffin (zur Verstopfung der zahllosen Luftporen als Feuerausbreitungskanäle!), nebst einem Ueberschuss des Brennmittels Magnesiumpulver oder Aluminiumbronze erforderlich. In dieser oder ähnlicher Form z. B. begegnet man den Entzündungssätzen für Thermit in Stabbrandbomben.

Ruhiger und langsamer, weil *gaslos* abbrennend — das bei den Perchlorat- und Chloratsätzen entstehende Kaliumchlorid verdampft bei 1415° und wirkt als Gas — verhalten sich die *Superoxyd*-Sätze, die bei Anwendung von *Barium*superoxyd, BaO_2, *grünes* und von *Strontium*superoxyd, SrO_2, *rotes* Licht geben. Ihre Wärmebildung ist natürlich bedeutend geringer, aber infolge der festglühenden Verbrennungsprodukte verhältnismässig konzentriert.

Die Superoxydgemenge lassen *zwei* chemische Umsetzungen voraussehen, die innerhalb eines ziemlich weiten Spielraumes fast auf das gleiche Energieniveau führen.

4. *Gemenge mit Superoxyden.*

a) Bariumsuperoxyd-Magnesiumpulver (reduziert auf Bariumoxyd, BaO):

$$BaO_2 + Mg = BaO + MgO + \left(145{,}8 - \frac{21{,}6}{2}\right)$$
$$169{,}36 + 24{,}32 = 193{,}68 + 135{,}0\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 14{,}36\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 697\ \text{kcal}$$

b) Bariumsuperoxyd-Magnesiumpulver (reduziert auf Bariummetall, Ba):

$$BaO_2 + 2\,Mg = Ba + 2\,MgO + (2 \cdot 145{,}8 - 144{,}2)$$
$$169{,}36 + 48{,}64 = 218{,}0 + 147{,}4\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 28{,}72\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 676\ \text{kcal}$$

c) Bariumsuperoxyd-Aluminiumbronze (reduziert auf BaO):

$$3\,BaO_2 + 2\,Al = 3\,BaO + Al_2O_3 + \left(402{,}9 - 3 \cdot \frac{21{,}6}{2}\right)$$
$$508{,}08 + 59{,}94 = 568{,}02 + 370{,}5\ \text{kcal}$$
$$100\ \text{g} + 10{,}62\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 651\ \text{kcnl}$$

d) Bariumsuperoxyd-Aluminiumbronze (reduziert auf Ba):

$$3\,BaO_2 + 4\,Al = 3\,Ba + 2\,Al_2O_3 + (2 \cdot 402{,}9 - 3 \cdot 144{,}2)$$
$$100\ \text{g} + 21{,}23\ \text{g}$$
$$1\ \text{kg} \qquad 606\ \text{kcal}$$

Der Energieabfall der Gemenge mit den doppelten Mengen Leichtmetall ist von untergeordneter Bedeutung und zählt um so weniger, als das gebildete Bariummetall an der Luft gleich wieder zu Bariumoxyd verbrennt, wobei die Kaloriendifferenz weit überkompensiert wird, da ein Grammatom Barium (= 137,36 g) bei der Oxydierung 66,7 kcal erzeugt (REMY).

[1]) Nitrocellulose, Dezember 1942, S. 225—229.

II. Die Wärmeentwicklung der einzelnen Brandelemente, erzeugt durch die Verbrennung an freier Luft (Q_p).

Aus den folgenden Gleichungen wird nicht nur die *Wärme*, sondern gleichzeitig auch aus dem erforderlichen Sauerstoff die zur restlosen Verbrennung benötigte *Luftmenge* berechnet.

1. *Phosphor, weiss.*

$2\,P + 2\,^1/_2\,O_2 = P_2O_5 + 370$ kcal *1 kg liefert*
$2 \cdot 30{,}98 + 80 = 141{,}96$ g *Oxydationswärme*
1 kg + 1,2911 = 2,2911 kg Phosphor, weiss, 5972 kcal

2. *Phosphor, rot.*

$2\,P + 2\,^1/_2\,O_2 = P_2O_5 + 360$ kcal
1 kg + 1,2911 kg = 2,2911 kg Phosphor, rot 5810 kcal

3. *Schwefel, kristallisiert (rhombisch).*

$S + O_2 = SO_2 + 70{,}94$ kcal
$32{,}06 + 32 = 64{,}06$
1 kg + 0,9981 kg = 1,9981 kg Schwefel, 3213 kcal

4. *Kohlenstoff (Russ).*

$C + O_2 = CO_2 + 96{,}0$ kcal
$12{,}01 + 32 = 44{,}01$ g
1 kg + 2,6644 kg = 3,6644 kg Kohlenstoffruss 7793 kcal

5. *Magnesium (Pulver).*

$Mg + {}^1/_2\,O_2 = MgO + 145{,}8$ kcal
$24{,}32 + 16 = 40{,}32$ g
1 kg + 0,6579 kg = 1,6579 kg Magnesium 5995 kcal

6. *Aluminium (Staub, Pulver, Griess).*

$2\,Al + 1\,^1/_2\,O_2 = Al_2O_3 + 402{,}9$ kcal
$2 \cdot 26{,}97 + 48 = 101{,}94$ g
1 kg + 0,8899 kg = 1,8899 kg Aluminium 7470 kcal

7. *Schwefelkohlenstoff (flüssig).*

$CS_2 + 3\,O_2 = CO_2 + 2\,SO_2 + 258$ kcal
$76{,}13 + 96 = 172{,}13$ g
1 kg + 1,261 kg = 2,2910 kg
Schwefelkohlenstoff 3389 kcal

8. *Benzin (Heptan, S. P. 98°).*

$C_7H_{16} + 11\,O_2 = 7\,CO_2 + 8\,H_2O$ (flüssig)
$100{,}198 + 352 = 452{,}198$ g
1 kg + 3,513 kg = 4,513 kg
Benzin (Dichte 0,7) 11000 kcal
Benziz 1 Liter 7700 kcal

Die Zusammenstellung zeigt, dass, vom Schwefel und Schwefelkohlenstoff abgesehen, die in den Brandbomben vorkommenden Grundstoffe rangmässig dieselben Wärmemengen entwickeln, und dass auch das häufig benutzte Benzin zufolge seiner geringen Dichte mit 7700 kcal je Liter keine Ausnahme macht. Die bei der Verbrennung an der Luft erreichten *Temperaturen* dürften beim Phosphor — den «kalten» Schwefel wiederum ausgenommen — durchaus in der Mittellinie und sicherlich tiefer als beim Kohlenstoff, Benzin und gar den Leichtmetallen liegen, weil das Oxydationsprodukt Phosphorpentoxyd (vgl. vorstehende Zusammenstellung) nicht nur in einem relativ grösseren, d. h. wärmeverdünnenden Anteil gebildet wird, sondern auch gleichzeitig durch die Aufnahme von Wasserdampf aus der Luft — ungeachtet der Absorptionswärme — eine weitere Verflachung der Temperaturkurve gegeben ist. Jedenfalls bleiben die Hitzegrade weit unter den 2000° der Knallgasflamme, und selbst bei den Leichtmetallen Magnesium und Aluminium wird kaum in der engsten Umsetzungszone die etwas höhere Temperatur des Azetylensauerstoffbrenners übertroffen werden. (Die ausser Vergleich stehenden *Detonationstemperaturen* von 4000—5000° gründen sich auf einen potenzierten Verbrennungsvorgang, der in Augenblickskürze ohne Strahlungsverluste — adiabatisch — verläuft.)

III. Die Zusammensetzung der Atemluft und der durch die Verbrennung bewirkte Sauerstoffentzug.

Trockne Luft auf Meereshöhe bei 0° und 760 mm Quecksilbersäule hat die Zusammensetzung:

	Sauerstoff	Stickstoff	Kohlendioxyd	Argon und Edelgase
Gewichts%	23,20	75,47	0,046	1,28
Volum%	21,00	78,03	0,03	0,933

1 m³ Luft wiegt 1,2932 kg bei 0° und 760 mm und enthält $1293{,}2 \cdot 0{,}2320 = 300$ *g Sauerstoff* oder 210 l O_2. Dem Verbrauch von:

1 Volumen O_2 entsprechen demnach $\frac{100}{21{,}00} = 4{,}762$ Volumen Luft;

1 Gewichtsteil O_2 entsprechen demnach $\frac{100}{23{,}20} = 4{,}310$ Gewichtsteile Luft.

Nach den vorstehenden Verbrennungsgleichungen wird die zur Verbrennung von 1 kg Brandmasse erforderliche Raummenge Luft in m³ erhalten, wenn man die stöchimetrisch benötigte Sauerstoffmenge in kg durch die im m³ Luft enthaltenen 0,3000 kg Sauerstoff dividiert:

			m³ Luft von 0° und 760 mm
1 kg *Phosphor*	erfordert	1,2911 / 0,3000	= 4,30
1 kg *Schwefel*	„	0,9981 / 0,3	= 3,33
1 kg *Kohle*	„	2,6644 / 0,3	= 8,88
1 kg *Magnesium*	„	0,6579 / 0,3	= 2,19
1 kg *Aluminium*	„	0,8899 / 0,3	= 2,96
1 kg *Schwefelkohlenstoff*	„	1,261 / 0,3	= 4,20
1 kg *Benzin* (Heptan)	„	3,513 / 0,3	= 11,71

Aus diesen Luftverbrauchszahlen können wir die Sauerstoffgehaltsverminderung in einem Zimmerraum leicht berechnen.

In einem *Zimmer* von der überdurchschnittlichen Grösse $5 \times 6 \times 2{,}5 = 75$ *m³* Inhalt werde *1 kg Phosphor* verbrannt. Dabei wird der Sauerstoff aus 4,3 m³ Luft verbraucht, so dass im Raume 70,7 m³ Normalluft von 21 Volumprozent Sauerstoff zurückbleiben. Unter der Annahme, dass das verschwundene Gasvolumen durch die Wärmeausdehnung der Zimmerluft ausgeglichen werde, berechnet sich der Sauerstoffgehalt der Zimmerluft jetzt zu $70{,}7 \cdot 21{,}0/75 = 19{,}8$ *Vol.%*, was einer — gegen alle Erwartung — auffällig kleinen Verminderung entspricht; wird doch eine Atemluft erst dann schädigend, besser *gefährlich*, wenn sie nur noch *15 Vol.% Sauerstoff* oder darunter enthält.

Für *Benzin*, das meist die Hauptmasse der Phosphorbrandbombenfüllungen ausmacht und

ungewöhnlich viel Luftsauerstoff verbraucht — nämlich 11,71 m³ je kg —, stellt sich die Sauerstoffgehaltsverminderung im selben Raum auf $(75 - 11{,}71) \cdot 21/75 = 17{,}7$ *Vol.%*, also beträchtlich tiefer. Ein weiterer Abfall wäre in der Nähe des Brandherdes durch die grössere Wärmeausdehnung und dementsprechende Verdünnung der Luft zu erwarten, etwa auf Grund folgender Ueberlegungen:

Benzin		Sauerstoff		Kohlendioxyd		Wasser
C_7H_{16}	+	$11\ O_2$	=	$7\ CO_2$	+	$8\ H_2O$
100,2 g	+	$11 \cdot 22{,}415$ L		$7 \cdot 22{,}415$ L		(flüssig)
		= 246,6 L		156,9 L		
1 kg	+	*2461 L*		*1566 L*	+	*895 L Untervolumen*

Nach der Verbrennung von 1 kg Benzin sind demnach der Zimmerluft 2461 l Sauerstoff entzogen und daraus 1566 l Kohlendioxyd nebst grösstenteils flüssigem Wasser gebildet worden, so dass die 75 m³ Luft um die Differenz von 895 l vermindert sind. Dieses *Untervolumen* besteht in Wirklichkeit jedoch nicht, da die hohe Verbrennungswärme von 11'000 kcal wahrscheinlich eine überkompensierende Ausdehnung der Kohlensäure samt der angrenzenden Luft bewirkt. Nehmen wir mit der gebildeten Kohlensäure von 1566 l nebst Wasserdampf und Luft rund 3000 l Gas an, die durch die Verbrennungswärme vorübergehend ausgedehnt werden. Wie weit eine solche Ausdehnung und damit *Verdünnung* der bereits auf 17,7 Volum% Sauerstoff reduzierten Luft gehen kann, sei an der folgenden Ueberschlagsrechnung dargetan.

Wenn in unserem 75-m³-Zimmer die 1000 g (= 1,4 l) Benzin vielleicht nach 5 Minuten verbrannt sind, dann hat sich innerhalb dieser Zeit durch die aufsteigende Brenngasbewegung die Luft im ganzen Raum wohl nicht nur ziemlich gleichmässig erwärmt und gemischt, sondern auch ausgedehnt und verdünnt. Da die Wände mit Türen und Fenstern niemals dicht sind, ist ein Teil der Warmluft infolge Ueberdrucks ins Freie abgeflossen, während die im Zimmer verbliebene Hauptmenge durch die Volumvergrösserung leichter, d. h. absolut sauerstoffärmer geworden ist, obwohl sie nach wie vor ihre 17,7 Volum% unverändert enthält.

Von den 11'000 kcal gehen vielleicht 4/5 durch Strahlung (Erwärmung der Wände), Gasbewegung und Austritt ins Freie verloren. Angenommen, es verblieben zur Erwärmung und Ausdehnung der 75 m³ Luft rund 2000 kcal und die spezifische Wärme (c_p) betrage je Mol Gas (22,4 l) 7 cal, dann errechnet sich die *Temperaturerhöhung* zu $\frac{2000 \cdot 1000}{\frac{75000 \cdot 7}{22{,}4}} = 85^0$. Diese Zahl hat wegen der unsichern Faktoren, auf die sie sich gründet, nur wegleitenden Wert; sie kann allein im praktischen Versuch und am Thermometer ermittelt werden. Für 50° Temperatursteigerung resultierte eine 1,19fache Volumvermehrung $\frac{1 + 0{,}00376 \cdot 50}{1 + 0{,}00376 \cdot 0} =$ 1,188, was umgekehrt einer 1,19fachen Herabsetzung des absoluten Sauerstoffgehaltes der bereits auf 17,7 Volum% Sauerstoff gesunkenen Atemluft gleichkommt. Statt der ursprünglich 300 Gramm O_2 im m³, wären nur noch $\frac{300 \cdot 17{,}7}{21 \cdot 1{,}19} = 213$ Gramm Sauerstoff enthalten. Diesem Abfall von 100 auf 71 % steht zwar die noch grössere Sauerstoffdifferenz zwischen Luft von Meereshöhe und dem Jungfraujoch-Sphinx: 100 : 64,5 entgegen; nichtsdestoweniger ist die genannte *Höhenluft* mit absolut bloss 193,4 g Sauerstoff/m³ atembarer und erträglicher als die *Zimmerbrandluft* mit 213 g O_2/m³, weil jene das Normalverhältnis von 21 Volum% Sauerstoff, diese aber das unnatürliche von bloss 17,7 % aufweist.

Jedenfalls erhellt aus dem vorstehenden Rechenbeispiel, dass der *Luftsauerstoffgehalt inmitten ausgedehnter Brände* wahrscheinlich *unter die lebenerhaltende Grenze sinken kann,* und dass die Behauptung, die Luft würde im Höllenkessel der Grossbombardierungen unatembar werden, ernst zu nehmen ist. Erscheint doch ein Ausgleich durch die zuströmende Normalluft von aussen in Unterstandsräumen, die schon stundenlang im unentrinnbaren Brandkreis eines Grossquartiers liegen, nur noch teilweise möglich; vermutlich sind auch die Fälle nicht selten, wo die rasch ansteigende Hitze zur schnelleren Todesursache als die Sauerstoffunterbilanz wird. Meist aber wirken beide Momente zusammen, und wohl denen, die noch im erträglichen Temperaturstadium durch Sauerstoffmangel sachte auf Nimmererwachen betäubt werden. (Der Tod durch Sauerstoffmangel oder durch Kohlensäureüberschuss fällt physiologisch zwar unter den Begriff des «Erstickens»,[2]) erfolgt aber nicht schmerzhaft *konvulsivisch* [wie etwa beim Wasserschlucken oder dem Zustand des laufschrittmachenden Asthmatikers unter der Maske], sondern ohne Beklemmung über eine fast plötzlich einbrechende Ohnmacht und *Bewusstlosigkeit,* die bei Zufuhr frischer Luft rasch wieder schwindet. Denn die menschliche *Ausatmungsluft* mit 16,5 Vol. % Sauerstoff und 4,5 Vol. % Kohlendioxyd z. B. wirkt ja nicht eigentlich giftig, vielmehr *narkotisch,* betäubend, weil deren Sauerstoffgehalt im Blut nicht mehr zum lebenserhaltenden Energieumsatz hinreicht. In der Tat berichten alle, die schon im — sehr unachtsam! — verschlossenen *Sauerstoff-Kreislaufgerät* in der eigenen, kohlensäureangereicherten Atemluft bewusstlos geworden und wie ein Stück Holz umgefallen sind, dass sie nichts gemerkt oder vorausgefühlt hätten, ja dass ein solcher Tod, falls kein Ausweg mehr bliebe, jeder andern Wahlart vorzuziehen sei.)

*

Jedem alternden Angehörigen des Luftschutzes ist aus eigener Erfahrung bekannt, wie er bei Anstrengung, vor allem in feuchter Luft und bei Hitze und ganz besonders unter der «Maske» die

[2]) Vgl. Gasschutz Nr. 7, Juli 1936, Monatsbeilage der Schweiz. Techn. Zeitschrift (Erlebte Gasvergiftungen).

nachlassende Elastizität seiner Atmungsapparatur in irgendwelcher Form zu spüren bekommt. Ist er gar ein Asthmatiker und dazu noch von nervösem, erregbarem Temperament, wird er bald auch dem Sanitäter zu schaffen machen. Es dürfte daher nicht nur den Arzt, sondern ganz allgemein jeden Soldaten und Maskenträger interessieren, inwieweit die äusseren *atmosphärischen Bedingungen den Sauerstoffgehalt der Atemluft* und damit das *menschliche Befinden* zu beeinflussen vermögen. Und da meines Wissens in dieser Richtung bis jetzt keine Vergleichszahlen bekannt geworden sind, folge als Anhang noch die rechnerische Behandlung dieses Themas.

Es handelt sich also um die Feststellung, *wieviel Sauerstoff* unter den verschiedenen Bedingungen (Meereshöhe, Temperatur und Feuchtigkeit) jeweilen im *Kubikmeter* Atemluft enthalten ist.

Diese Berechnung erfolgt für trockene, wasserfreie Luft nach einer einfachen Formel, da sich ja das Verhältnis der Gase weder beim Ausdehnen, noch beim Zusammendrücken ändert. Wenn *1 m³ Luft* bei 0° und 760 mm Quecksilbersäule am Meeresniveau 1293 g wiegt und $1293 \cdot 0{,}232 = 300{,}0$ Gramm Sauerstoff enthält, dann dehnt er sich bei 20° und 720 mm (= 454 m Höhe, Lage unseres Mittellandes) auf $\frac{1\,(1+0{,}00367 \cdot 20)\,760}{720} = 1{,}13303\,\text{m}^3$ aus. 1 m³ Luft unter diesen Bedingungen wiegt daher $\frac{1293}{1{,}13303} = 1141$ g und es sind darin — bei prozentual unveränderter Zusammensetzung — bloss noch $1141 \cdot 0{,}232 = 264{,}7$ g Sauerstoff enthalten. In einer *einzigen Formel* ausgedrückt, erhält man das *Gewicht* der Luft in g/m³ bei t° und p mm Quecksilberdruck:

$$G = \frac{(1 + 0{,}00367 \cdot t)\,760}{1293 \cdot p}$$

Angewandt auf $t = 0°$ und $p = 490$ mm, entsprechend 3550 m Höhe *(Jungfraujoch-Sphinx)*: $\frac{1293 \cdot 490}{760} = 833{,}6$ g/m³ Luft mit $833{,}6 \cdot 0{,}232 = 193{,}4$ Gramm Sauerstoff.

Komplizierter wird die Rechnung bei Berücksichtigung des *Wasserdampfes*, der ja stets die Luft erfüllt und einen kleinen Teil des *Sauerstoffs verdrängt*. Als Beispiel diene *trockene Sommerluft* von 20° bei 720 mm Quecksilber (Höhe Zürichs, 454 m), enthaltend *6 g Wasser im m³*, was einer *relativen Feuchtigkeit* (da bei 20° maximal 17,3 g Wasser im m³ aufgenommen werden können, von

$$\frac{6 \cdot 100}{17{,}3} = 35\,\%$$ entspricht.

Da ein Mol verdampften (verdunsteten) Wassers bei 0° und 760 mm 22,415 l einnimmt, errechnet sich das *Volumen der 6 g dampfförmigen Wassers* bei 20° und 720 mm:

$$\frac{6 \cdot 22{,}415}{18{,}016} \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 20) \cdot \frac{760}{720} = 8{,}45 \text{ Lt.}$$

Im m³ Luft sind demnach $1000 - 8{,}45 = 991{,}55$ l Trockenluft und somit an reinem Sauerstoff (da wie bereits oben berechnet, 1000 l trockene Luft von 20° und 720 mm 264,7 g Sauerstoff enthalten) $264{,}7 \cdot 0{,}99155 = 262{,}46$ *g Sauerstoff* vorhanden.

Für *gesättigte Luft*, die bei 30° im Kubikmeter — sei es nun in Zürich oder auf dem Finsteraarhorn, da die absolute Feuchtigkeit vom Druck unabhängig ist — maximal stets 31,8 g Wasserdampf enthält, stellt sich die Rechnung:

$$\frac{31{,}8 \cdot 22{,}415}{18{,}016} \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot 30) \cdot \frac{760}{720}$$
$$= 46{,}36\,L \text{ Wasserdampf}$$

$1000 - 46{,}36 = 953{,}64$ l trockene Luft. Daraus erhält man durch Multiplikation: $0{,}95364 \cdot 264{,}7 = 252{,}44$ *g Sauerstoff* in einem m³ wasserdampfgesättigter Luft von 30° und 720 mm.

Handelt es sich um die *kritische Atemgrenze vom 15 Volum% Sauerstoff*, so findet man für einen bestimmten Druck — z. B. 720 mm, Zürich — die im Kubikmeter Trockenluft enthaltene Gewichtsmenge Sauerstoff gemäss der Proportion:

$$264{,}71 : 21 = x : 15, \quad x = 189{,}08 \text{ g } O_2.$$

Nach diesen Beispielen lässt sich zu jedem vorkommenden Fall die in einem Kubikmeter atmosphärischer Luft enthaltene Sauerstoffmenge nach Gewicht und Volumen berechnen und prozentisch vergleichen, wie die Zusammenstellung auf Seite 164 oben zeigt.

Was an diesen Zahlen zuerst überrascht, ist wohl die Tatsache, dass unsere anerkannt gute Luft der «Hochebene» bereits 12 % weniger Sauerstoff als auf Meereshöhe enthält. Dass bei sehr trockenem Sommerwetter mit 35 % relativer Feuchtigkeit der Atemsauerstoff gegenüber absolut trockener Luft nur um 0,8 Gewichtsprozent abfällt, hört der Gasoffizier sicherlich gern; weniger angenehm dagegen mag ihn der Rückgang von 100 auf 95,4 % bei sehr heissem Dunst- oder Regenwetter berühren. Wer im Hochgebirge Maskendienst tut oder sonst bepackt ist, wird bei klarer Luft oder auch nur in Gedanken sehnsüchtig nach dem Meer blicken, wo man mit jedem Zug 30 bis 40 % mehr Sauerstoff in die Lungen bekommt. Und um schliesslich zu zeigen, dass es bei der 15-Volumprozent-Sauerstoff-Atemgrenze weniger auf den absoluten Sauerstoffgehalt, als vielmehr auf das Verhältnis des Sauerstoffgases zum Stickstoffgas ankommt, wurden gleichzeitig für Zürich und die Jungfraujoch-Sphinx die entsprechenden Werte angeführt. Kann man doch noch in *5500 m Höhe mit halber Sauerstoffration* (150 g O_2/m³) selbst als angestrengter Bergsteiger auskommen, obschon hier — absolut genommen — diese Sauerstoffmenge der 15-Volumprozent-Atemgrenze am Jungfraujoch (138 g O_2/m³) schon bedenklich nahe gerückt ist, weil eben die physiologisch-natürlichen 21 Volumprozent und nicht die künstlich herabgesetzten, anomalen 15 Volumprozent Sauerstoff eingeatmet werden.

1 m³ Luft bei			*Volumen* %	*Sauerstoffgehalt* in m³	*Gewichtsverhältnis*	
0° und 760 mm	Meereshöhe	trocken	21,00	300,00 g	113,3	*100*
20° und 720 mm	Zürich 450 mm	"	21,00	264,71 g	*100*	88,2
20° und 720 mm	"	6g H_2O/m³ (35 %)	20,82	262,46 g	99,2	
20° und 720 mm	"	17,3g H_2O/m³, ges.	20,49	258,25 g	97,6	
30° und 720 mm	"	31,8g H_2O/m³, ges.	20,06	252,44 g	95,4	
30° und 720 mm	"	Atemgrenze	15,0	189,08 g	71,4	63,0
0° und 490 mm	Jungfraujoch-Sphinx 3550m	trocken	21,00	193,42 g	73,1	64,5
10° und 490 mm	"	4g H_2O/m³ (43,5 %)	20,83	191,85 g	72,5	64,0
10° und 490 mm	"	Atemgrenze	15,0	138,15 g	52,2	46,1

In verschiedenen Höhen sind dieselben Sauerstoffmengen (300 g) in den folgenden Volumen trockener Luft enthalten:

0° und 760 mm	*1000*	947,6
0° und 720 mm	1055,6	*1000*
0° und 610 mm	1245,9	1180,3
0° und 490 mm	1551,0	1469,4
0° und 378,7 mm	2007	1901

Zur Verbrennung von *1 kg Benzin* sind jeweilen erforderlich:

Meereshöhe	11,71 m³ trockene Luft
Zürich, 454 m	12,36 m³ trockene Luft
Engadin, 1815 m	14,59 m³ trockene Luft
Jungfraujoch, 3550 m	18,16 m³ trockene Luft
Halber Luftdruck, 5500 m	23,50 m³ trockene Luft

Die gleichen Volumverhältnisse gelten übrigens auch für die *Explosionsgasbildung*; denn dieselbe Bombenladung, die am Meere 1000 l Sprenggase entwickelt, setzte im Oberengadin deren 1246 in Freiheit!

Météorologie et Protection antiaérienne

Par le Lt. Cramer

La météorologie, d'après une définition courante — et, d'ailleurs, partiellement inexacte — est essentiellement l'art de prédire le temps qu'il fera. Conçue de cette manière, il est évident que cette science serait d'un immense secours pour le chef P. A.: prédire le temps, c'est prédire la possibilité ou la probabilité d'une attaque aérienne, chimique ou non; c'est la possibilité, pour le chef local, de préparer sa troupe à l'avance, pour une intervention ou, au contraire, de la mettre au repos, sans risque de surprises.

Par malheur, la solution du problème dépasse les moyens d'un chef local et n'est accessible — et, même, pas toujours — qu'à un service météorologique national, qui dispose d'un grand nombre d'observations faites, systématiquement, sur un territoire plus ou moins étendu.

Mais, à coté de cette météorologie générale, il en existe une autre, une petite météorologie locale qui peut être une aide puissante pour le chef local et qui s'occupe de ce qui se passe au niveau des rues et dans la tranche d'atmosphère habitée, c'est-à-dire jusqu'à une altitude de 5 à 10 mètres. Connaître d'avance la direction du vent dans cette région de l'atmosphère, c'est déterminer d'avance la direction dans laquelle un incendie a chance de s'étendre; c'est, en cas de guerre chimique, déterminer les zones qui risquent de se trouver exposées aux vapeurs toxiques; c'est déterminer d'avance les cheminements que devront emprunter les patrouilles de police, de neutralisation, etc.

On sait que, en atmosphère libre, au-dessus des toits, le vent n'est à peu près constant en vitesse et direction que s'il est relativement fort; tandis que s'il est faible, on observe toujours de grandes différences d'un point à un autre aussi bien dans sa vitesse que dans sa direction; or, ce sont précisément, pour des raisons connues, les temps de vent faible qui sont les plus favorables pour une attaque chimique. Au niveau des rues, la complication est encore plus grande: il n'est pas rare de voir le vent souffler, dans certaines rues, dans la direction directement opposée à celle qu'il a au-dessus des toits; ailleurs, on voit le vent souffler dans les deux directions opposées de part et d'autre de la chaussée.

Pour illustrer ces affirmations, nous empruntons [1]) les trois schémas suivants à une étude du major de police colonais Gaudlitz: Les fig. 1 et 2 montrent la situation anémométrique au dessus des toits de Cologne les 21 mai et 22 mai 1937 entre 1200 et 1210. On remarquera dans la fig. 1, que, malgré une insolation variable, mais par un vent assez fort (7,5 ms. à l'observatoire, point A),

[1]) D'après *Gas und Luftschutz*, Ausgabe B, octobre 1937, vol. 7, pages 260, 261.