

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

Autor(en): **Stettbacher, Alfred**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Protar**

Band (Jahr): **10 (1944)**

Heft 7

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-363044>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

bleme aufmerksam macht, die weiterer Beachtung wert sind, so ist ihr Zweck erreicht. Gerüchte, Falschnachrichten, Irrtümer werden auch weiterhin neben der öffentlichen Meinung der Aertschaft 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 diétothérapeutiques. 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.*: 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 Steffbacher

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 Phosphorpenoxydrauch 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 andererseits zusammengestellt.

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

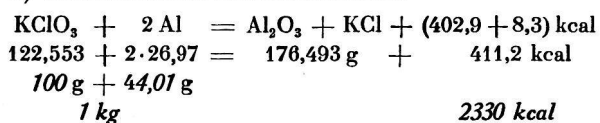
An erster Stelle ist hier das immer noch unübertroffene Thermit zu nennen, das als feuerflüssige Masse auch die schwerst entflammbaren Gegenstände sofort zündet, wenn es mit ihnen in Berührung kommt.

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.

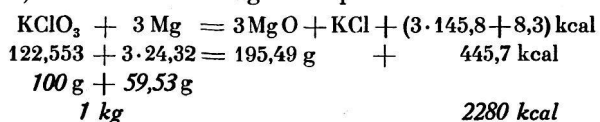


verflüchtigte Lösungsmittel als Gas-Luftgemisch eine zusätzliche, oft noch grössere Sprengwirkung hervorbringt (überraschendes *Feuerlegen der Guerillas* mit Kurzfrist zum gesicherten Abzug, sofern nicht von *chemischen Stundenzündern* Gebrauch gemacht wird).

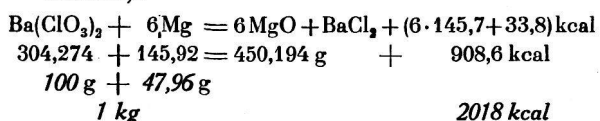
a) Kaliumchlorat-Aluminiumstaub:



b) Kaliumchlorat-Magnesiumpulver:



c) Bariumchlorat-Magnesiumpulver (für grüne Lichter):

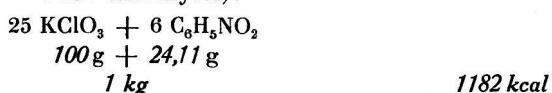


d) Kaliumchlorat-roter Phosphor (Armstrongsche Mischung):



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):



f) Kaliumchlorat-Schwefel:



g) Kaliumchlorat-Kohle (Russ):



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<sup>1)</sup> mit Normal-(Glas)-Objektiv und der Lochkamera gezeigt habe.

Die vorgenannten Perchlorat- und Chloratgemenge sind auf «ideale» Verbrennung berechnet

<sup>1)</sup> Nitrocellulose, Dezember 1942, S. 225—229.

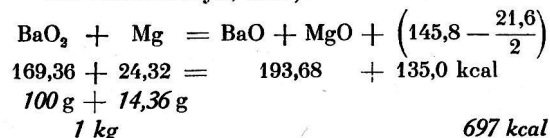
und setzen sich — in Bruchteilsekunden — meist unter Verpuffung oder gar Explosion um, wenn sie in losem oder nur schwach gepresstem (handgestopftem) Zustande angewandt werden. Zur Verlängerung der Brenn- und Leuchtzeit ist daher nicht nur eine starke Verdichtung, sondern auch ein verfestigendes Bindemittel, 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 *Bariumsuperoxyd*,  $\text{BaO}_2$ , *grünes* und von *Strontiumsuperoxyd*,  $\text{SrO}_2$ , *rotes* Licht geben. Ihre Wärmebildung ist natürlich bedeutend geringer, aber infolge der festglühenden Verbrennungsprodukte verhältnismässig konzentriert.

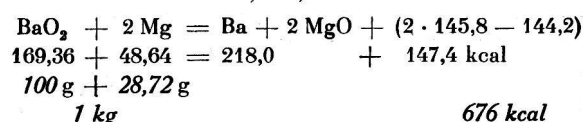
Die Superoxydgemenge lassen *zwei* chemische Umsetzungen voraussehen, die innerhalb eines ziemlich weiten Spielraumes fast auf das gleiche Energieniveau führen.

#### 4. Gemenge mit Superoxyden.

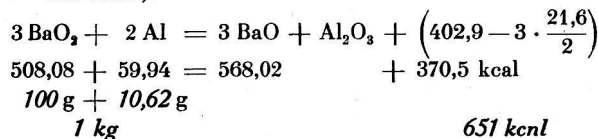
a) Bariumsuperoxyd-Magnesiumpulver (reduziert auf Bariumoxyd,  $\text{BaO}$ ):



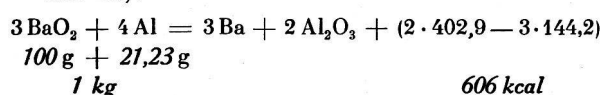
b) Bariumsuperoxyd-Magnesiumpulver (reduziert auf Bariummetall, Ba):



c) Bariumsuperoxyd-Aluminiumbronze (reduziert auf  $\text{BaO}$ ):



d) Bariumsuperoxyd-Aluminiumbronze (reduziert auf Ba):

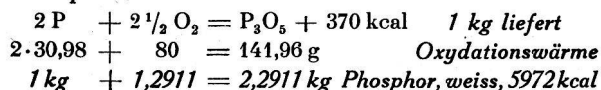


Der Energieabfall der Gemenge mit den doppelten Mengen Leichtmetall ist von untergeordneter Bedeutung und zählt um so weniger, als das gebildete Bariummetall an der Luft gleich wieder zu Bariumoxyd verbrennt, wobei die Kaloriedifferenz weit überkompensiert wird, da ein Grammatom Barium (= 137,36 g) bei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

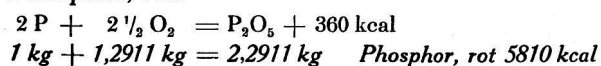
## II. Die Wärmeentwicklung der einzelnen Brandelemente, erzeugt durch die Verbrennung an freier Luft ( $Q_p$ ).

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

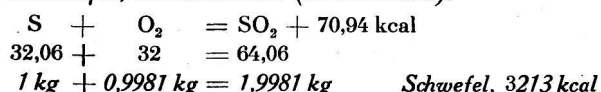
### 1. Phosphor, weiss.



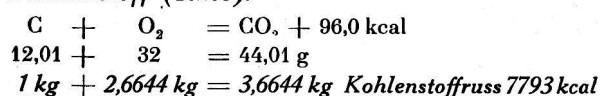
### 2. Phosphor, rot.



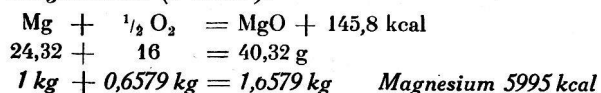
### 3. Schwefel, kristallisiert (rhombisch).



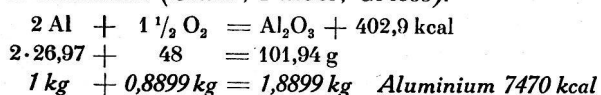
### 4. Kohlenstoff (Russ).



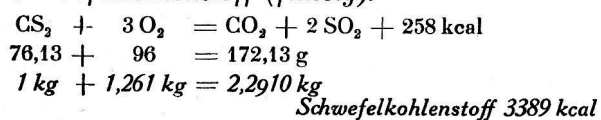
### 5. Magnesium (Pulver).



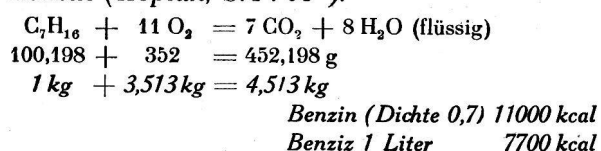
### 6. Aluminium (Staub, Pulver, Griess).



### 7. Schwefelkohlenstoff (flüssig).



### 8. Benzin (Heptan, S. P. 98°).



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 Azetylsauerstoffbrenners 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 m<sup>3</sup> Luft wiegt 1,2932 kg bei 0° und 760 mm und enthält 1293,2 · 0,2320 = 300 g Sauerstoff oder 210 l O<sub>2</sub>. Dem Verbrauch von:

1 Volumen O<sub>2</sub> entsprechen demnach  $\frac{100}{21,00} = 4,762$  Volumen Luft;

1 Gewichtsteil O<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup> erhalten, wenn man die stöchiometrisch benötigte Sauerstoffmenge in kg durch die im m<sup>3</sup> Luft enthaltenen 0,3000 kg Sauerstoff dividiert:

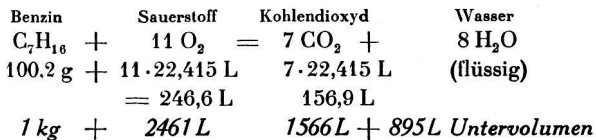
		m <sup>3</sup> Luft von 0° und 760 mm
1 kg Phosphor	erfordert 1,2911 / 0,3000	= 4,30
1 kg Schwefel	" 0,9981 / 0,3	= 3,33
1 kg Kohle	" 2,6644 / 0,3	= 8,88
1 kg Magnesium	" 0,6579 / 0,3	= 2,19
1 kg Aluminium	" 0,8899 / 0,3	= 2,96
1 kg Schwefelkohlenstoff	" 1,261 / 0,3	= 4,20
1 kg Benzin (Heptan)	" 3,513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

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

In einem Zimmer von der überdurchschnittlichen Grösse 5 × 6 × 2,5 = 75 m<sup>3</sup> Inhalt werde 1 kg Phosphor verbrannt. Dabei wird der Sauerstoff aus 4,3 m<sup>3</sup> Luft verbraucht, so dass im Raume 70,7 m<sup>3</sup> 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 · 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  $11,71 \text{ m}^3$  je  $\text{kg}$  —, stellt sich die Sauerstoffgehaltsverminderung im selben Raum auf  $(75 - 11,71) \cdot 21/75 = 17,7 \text{ Vol.}\%$ , 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:



Nach der Verbrennung von  $1 \text{ kg}$  Benzin sind demnach der Zimmerluft  $2461 \text{ l}$  Sauerstoff entzogen und daraus  $1566 \text{ l}$  Kohlendioxyd nebst grösstenteils flüssigem Wasser gebildet worden, so dass die  $75 \text{ m}^3$  Luft um die Differenz von  $895 \text{ l}$  vermindert sind. Dieses *Untervolumen* besteht in Wirklichkeit jedoch nicht, da die hohe Verbrennungswärme von  $11'000 \text{ kcal}$  wahrscheinlich eine überkompensierende Ausdehnung der Kohlensäure samt der angrenzenden Luft bewirkt. Nehmen wir mit der gebildeten Kohlensäure von  $1566 \text{ l}$  nebst Wasserdampf und Luft rund  $3000 \text{ l}$  Gas an, die durch die Verbrennungswärme vorübergehend ausgedehnt werden. Wie weit eine solche Ausdehnung und damit *Verdünnung* der bereits auf  $17,7 \text{ Volum}\%$  Sauerstoff reduzierten Luft gehen kann, sei an der folgenden Ueberschlagsrechnung dargetan.

Wenn in unserem  $75\text{-m}^3$ -Zimmer die  $1000 \text{ g}$  ( $= 1,4 \text{ l}$ ) 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  $17,7 \text{ Volum}\%$  unverändert enthält.

Von den  $11'000 \text{ kcal}$  gehen vielleicht  $\frac{4}{5}$  durch Strahlung (Erwärmung der Wände), Gasbewegung und Austritt ins Freie verloren. Angenommen, es verblieben zur Erwärmung und Ausdehnung der  $75 \text{ m}^3$  Luft rund  $2000 \text{ kcal}$  und die spezifische Wärme ( $c_p$ ) betrage je Mol Gas ( $22,4 \text{ l}$ )  $7 \text{ cal}$ , dann errechnet sich die *Temperaturerhöhung* zu  $\frac{2000 \cdot 1000}{75000 \cdot 7} = 85^\circ$ . Diese Zahl hat wegen  $\frac{22,4}{75000 \cdot 7} = 85^\circ$ .

der unsichern Faktoren, auf die sie sich gründet, nur begleitenden Wert; sie kann allein im praktischen Versuch und am Thermometer ermittelt werden. Für  $50^\circ$  Temperatursteigerung resultierte eine  $1,19$ fache Volumvermehrung  $\frac{1 + 0,00376 \cdot 50}{1 + 0,00376 \cdot 0} =$

$1,188$ , was umgekehrt einer  $1,19$ fachen Herabsetzung des absoluten Sauerstoffgehaltes der bereits auf  $17,7 \text{ Volum}\%$  Sauerstoff gesunkenen Atemluft gleichkommt. Statt der ursprünglich  $300 \text{ Gramm O}_2$  im  $\text{m}^3$ , 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 Jungfrau-joch-Sphinx:  $100 : 64,5$  entgegen; nichtsdestoweniger ist die genannte *Höhenluft* mit absolut bloss  $193,4 \text{ g}$  Sauerstoff/ $\text{m}^3$  atembarer und erträglicher als die *Zimmerbrandluft* mit  $213 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ , weil jene das Normalverhältnis von  $21 \text{ Volum}\%$  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 lebenserhaltende Grenze sinken kann*, und dass die Behauptung, die Luft würde im Höllenkessel der Grossbombardierungen unatembarm 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»,<sup>2)</sup> erfolgt aber nicht schmerzhaft *konvulsivisch* [wie etwa beim Wasserschlucken oder dem Zustand des laufschrümmenden Asthmaticus 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  $16,5 \text{ Vol.}\%$  Sauerstoff und  $4,5 \text{ Vol.}\%$  Kohlendioxyd z. B. wirkt ja nicht eigentlich giftig, vielmehr *nar-kotisch*, 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, kohlen-säureangereicherten Atemluft bewusstlos geworden und wie ein Stück Holz umgefallen sind, dass sie nichts gemerkt oder vorausgeföhlt 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

<sup>2)</sup> 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  $1 \text{ m}^3$  Luft bei  $0^\circ$  und  $760 \text{ mm}$  Quecksilbersäule am Meeresebene  $1293 \text{ g}$  wiegt und  $1293 \cdot 0,232 = 300,0$  Gramm Sauerstoff enthält, dann dehnt er sich bei  $20^\circ$  und  $720 \text{ mm}$  (=  $454 \text{ m}$  Höhe, Lage unseres Mittellandes) auf  $\frac{1(1+0,00367 \cdot 20)760}{720} = 1,13303 \text{ m}^3$  aus.  $1 \text{ m}^3$  Luft unter diesen Bedingungen wiegt daher  $\frac{1293}{1,13303} = 1141 \text{ g}$  und es sind darin — bei prozentual unveränderter Zusammensetzung — bloss noch  $1141 \cdot 0,232 = 264,7 \text{ g}$  Sauerstoff enthalten. In einer *einzigsten Formel* ausgedrückt, erhält man das *Gewicht* der Luft in  $\text{g/m}^3$  bei  $t^\circ$  und  $p \text{ mm}$  Quecksilberdruck:

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

Angewandt auf  $t = 0^\circ$  und  $p = 490 \text{ mm}$ , entsprechend  $3550 \text{ m}$  Höhe (*Jungfraujoeh-Sphinx*):  $\frac{1293 \cdot 490}{760} = 833,6 \text{ g/m}^3$  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  $20^\circ$  bei  $720 \text{ mm}$  Quecksilber (Höhe Zürichs,  $454 \text{ m}$ ), enthaltend  $6 \text{ g}$  Wasser im  $\text{m}^3$ , was einer *relativen Feuchtigkeit* (da bei  $20^\circ$  maximal  $17,3 \text{ g}$  Wasser im  $\text{m}^3$  aufgenommen werden können, von

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

Da ein Mol verdampften (verdunsteten) Wassers bei  $0^\circ$  und  $760 \text{ mm}$   $22,415 \text{ l}$  einnimmt, errechnet sich das *Volumen* der  $6 \text{ g}$  dampfförmigen Wassers bei  $20^\circ$  und  $720 \text{ mm}$ :

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

Im  $\text{m}^3$  Luft sind demnach  $1000 - 8,45 = 991,55 \text{ l}$  Trockenluft und somit an reinem Sauerstoff (da wie bereits oben berechnet,  $1000 \text{ l}$  trockene Luft von  $20^\circ$  und  $720 \text{ mm}$   $264,7 \text{ g}$  Sauerstoff enthalten)  $264,7 \cdot 0,99155 = 262,46 \text{ g}$  Sauerstoff vorhanden.

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

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

$1000 - 46,36 = 953,64 \text{ l}$  trockene Luft. Daraus erhält man durch Multiplikation:  $0,95364 \cdot 264,7 = 252,44 \text{ g}$  Sauerstoff in einem  $\text{m}^3$  wasserdampfgesättigter Luft von  $30^\circ$  und  $720 \text{ mm}$ .

Handelt es sich um die *kritische Atemgrenze vom 15 Volum% Sauerstoff*, so findet man für einen bestimmten Druck — z. B.  $720 \text{ mm}$ , 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 Jungfraujoeh-Sphinx die entsprechenden Werte angeführt. Kann man doch noch in  $5500 \text{ m}$  Höhe mit halber Sauerstoffration ( $150 \text{ g } O_2/\text{m}^3$ ) selbst als angestrenzter Bergsteiger auskommen, obschon hier — absolut genommen — diese Sauerstoffmenge der  $15$ -Volumprozent-Atemgrenze am Jungfraujoeh ( $138 \text{ g } O_2/\text{m}^3$ ) schon bedenklich nahe gerückt ist, weil eben die physiologisch-natürlichen  $21$  Volumprozent und nicht die künstlich herabgesetzten, anomalen  $15$  Volumprozent Sauerstoff eingeatmet werden.

1 m <sup>3</sup> Luft bei			Volumen %	Sauerstoffgehalt in m <sup>3</sup>	Gewichts- verhältnis	
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 <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> (35%)	20,82	262,46 g	99,2	
20° und 720 mm	"	17,3g H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> , ges.	20,49	258,25 g	97,6	
30° und 720 mm	"	31,8g H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> , 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	Jungfrauoch- Sphinx 3550m	trocken	21,00	193,42 g	73,1	64,5
10° und 490 mm	"	4g H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> (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 jeweiligen erforderlich:

Meereshöhe	11,71 m <sup>3</sup> trockene Luft
Zürich, 454 m	12,36 m <sup>3</sup> trockene Luft
Engadin, 1815 m	14,59 m <sup>3</sup> trockene Luft
Jungfrauoch, 3550 m	18,16 m <sup>3</sup> trockene Luft
Halber Luftdruck, 5500 m	23,50 m <sup>3</sup> 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 côté 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<sup>1)</sup> 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),

<sup>1)</sup> D'après *Gas und Luftschutz*, Ausgabe B, octobre 1937, vol. 7, pages 260, 261.