

# ÜBER DIE MEDIZINISCHE BEDEUTUNG DER KOHLENSÄURE.

## Zusammenhänge von Ultraviolettbestrahlung und Kohlensäurewirkung.

Von Prof. Dr Hans HANDOVSKY,  
Gent.

Es gehört zu den reizvollsten aber auch schwierigsten Aufgaben der Balneologie, sich mit der Wirkung von Stoffen und Bedingungen zu beschäftigen, die unsere alltägliche Umgebung ausmachen. Einer der interessantesten und auch therapeutisch wichtigsten dieser Stoffe ist die **Kohlensäure**.

Es kann hier nicht zu meiner Aufgabe gehören über die kosmische Bedeutung der Kohlensäure viel zu sagen. Wir wissen, daß die Pflanzen sie direkt zum Aufbau lebenden Materials verwenden können, und in sehr großem Ausmaße auch verwenden. Der größte Kohlensäurespeicher und -regulator ist das Meer, im Meer sind schätzungsweise 60 000 Billionen kg. vorhanden, in der Atmosphäre 2 100 Billionen kg. Wir Menschen haben die Ehre uns an dem Vorgang der Regeneration der Kohlensäure zu beteiligen, indem die ganze Menschheit im Jahre etwa 0.5 Billionen kg. produziert. Verwesung und vulkanische Ausbrüche sind jedoch die hauptsächlichen Neuproduzenten dieses eminent wichtigen Stoffes.

Auch über die **physiologische** Bedeutung der Kohlensäure kann ich nur das Nötigste anführen. Bei den höheren Lebewesen, mit denen wir uns hier ausschließlich beschäftigen, ist die Kohlensäure das letzte Oxydationsprodukt **jeder** Zellatmung; sie kommt also in allen Zellen vor, gelangt ins Blut und wird durch die Lungen ausgeatmet. Die hauptsächlichste Bedeutung der Kohlensäure liegt in der Anregung der Atmung. Daß sie den wichtigsten Reiz für das Atemzentrum darstellt, ist seit langem bekannt. Aus den Untersuchungen von **Heymans, Bouckaert und Dautrebande** aus jüngerer Zeit wissen wir, daß außer dieser direkten Wirkung der Kohlensäure auf das Atemzentrum, noch eine reflektorische Wirkung auf dieses Zentrum ausgeübt wird, daß die sensiblen Nervenendigungen

des Sinusnerven von **Hering** für Kohlensäureunterschiede im Blut sehr empfindlich sind. Auch das Vasomotoren- und Vaguszentrum werden direkt oder reflektorisch durch die Kohlensäure angeregt. Dadurch wirkt die Kohlensäure auch auf den Kreislauf ein. Aber sie hat auch eine direkte Wirkung auf die Reizerzeugung des Herzens und zu ihren wichtigsten therapeutischen Effekten, von denen wir noch sprechen müssen, gehört die erweiternde Wirkung die sie auf die **Blutkapillaren** ausübt. So wirkt die Kohlensäure auf die verschiedensten Bestandteile des Kreislaufsystems. Aber damit ist ihre Wirkung nicht erschöpft, erwähnen wir z.B. noch die Anregung der Magenresorption und der Darmperistaltik, worauf ja die hygienische Bedeutung des Trinkens von Champagner beruht. **H. H. Meyer und Pick** nehmen sogar an — und wohl mit Recht —, daß der normale Kohlensäuregehalt der Gewebe, der etwa 6 % einer Atmosphäre beträgt, für die normale Erregbarkeit derselben wesentlich ist, eine geringe Erhöhung des Kohlensäuregehaltes bringt eine Erhöhung, eine geringe Abnahme, eine Verminderung der Erregbarkeit mit sich. Wir können diese allgemeine Wirkung der Kohlensäure verstehen, wenn wir bedenken, daß sie in allen Zellen gebildet wird und daß sie überdies leicht in die Zellen eindringt, ihr Diffusionskoeffizient ist 40 mal größer als der des Sauerstoffs.

Und doch ist es erstaunlich, daß eine chemisch akut so inerte Substanz so stark biologisch wirksam ist. Ich glaube, daß der größte Teil ihrer Wirkung indirekt ist. Die Kohlensäure verdankt ihre Wirksamkeit im wesentlichen drei Eigenschaften : 1. In Wasser löst sie sich zu einer Säure, die Salze bilden kann; durch stärkere Säuren ausgetrieben, bildet sie wieder das neutrale Gas  $\text{CO}_2$ . Sie ist somit ein wesentlicher Regulator der Wasserstoffionenkonzentration (pH) und der ionenverteilung im Blut; 2. Sie ist sehr lipoidlöslich und dringt daher schnell, schneller als die meisten übrigen Säuren, in die Zellen ein und insbesondere in die lipoidreichen Zellen des Nervensystems; 3. Sie kann sich mit den Eiweißkörpern zu Karbaminsäuren verbinden und auf diese Weise untätig, als eine Art Reserve, in den Zellen gestapelt werden. Nehmen wir noch ihre Beziehung zum Licht vorweg, auf der ja die photosynthetischen Vorgänge in der Pflanze beruhen, dann können wir sagen, daß eine Reihe ihrer biologisch wichtigen Qualitäten auch an der kosmischen Bedeutung der Kohlensäure beteiligt sind.

Nun zur **therapeutischen** Bedeutung! Diese beruht zum kleineren Teil auf der Wirkung **eingatmeter** Kohlensäure. Einatmen von etwa 5 % Kohlensäure in Sauerstoff hat **Y. Henderson** bei Narkosekoma oder anderen komatösen Zuständen empfohlen und mit Erfolg angewendet. Durch Einatmenlassen von Sauerstoff mit Kohlensäurezusätzen bis zu 40 % erzielte man bei stuporösen Dementen nicht nur eine Erregung des Atemzentrums, sondern auch vorübergehende Wachzustände dieser Kranken. Einatmen von 5-8 % Kohlensäure vermag eine Zunahme des gesunkenen Minutenvolumens des Herzens im Schock hervorzurufen. (**Van Esveld.**)

Aber die hauptsächliche therapeutische Bedeutung der Kohlensäure beruht auf ihrer **Einwirkung auf die Haut**. Die Wirkungen des kühlen Kohlensäurebades — also unter Ausschaltung von Temperatureinflüssen — wurde von **Liljestrand und Magnus** in Selbstversuchen untersucht: sie fanden eine sensible Reizung der Haut, eine Rötung der Haut, die auf einer lokalen Erweiterung der Blutgefäßkapillaren beruht, eine Anregung der Atmung, eine Steigerung der Reizbarkeit, eine Verminderung der Kohlensäurespannung der Alveolarluft. Da wir durch **Hediger** wissen, daß Kohlensäure in kleinen Mengen in die Haut eindringt, müssen wir annehmen, daß die intensiven über die Haut wirkenden Effekte des kühlen Kohlensäurebades auf diesen kleinen Mengen resorbierter Kohlensäure beruht.

In diesem Zusammenhang möchte ich heute Ihre Aufmerksamkeit auf eine andere wichtige therapeutische Wirkung lenken, deren Angriffspunkt gleichfalls die menschliche Haut ist, deren Mechanismus man nicht kennt und die ich als Kohlensäurewirkung auffassen möchte, auf die therapeutische Wirkung der **ultravioletten Strahlen**.

Die ultravioletten Strahlen sind der wichtigste Faktor der Heilwirkung des Aufenthaltes an der See u.zw. besonders an den kühlen nördlichen Seen. Wir sprechen hier von den ultravioletten Strahlen der Sonne, die uns erreichen und von denen die mit der Wellenlänge von etw 3 000 Å am wirksamsten sind, das sind die kürzesten Wellenlängen, die uns erreichen. Die künstlichen Höhensonnen produzieren ja noch kürzere, aber diese sind physiologisch weniger wirksam. Wir sprechen ferner hier nicht von den Wirkungen der intensiven Bestrahlung, die zu anatomischen Veränderungen und schließlich zur Nekrotisierung der Haut führt. Wir sprechen von dem

Einfluß der Sonnen- und Himmelsstrahlung vor dem Auftreten des Lichterythems. Diese wirkungen wurden von **Kestner, Permöller und Plaut** eingehend untersucht. Sie beobachteten folgende Wirkungen : Erhöhung der Reizbarkeit des Atemzentrums, Anregung und Vertiefung der Atmung, Verminderung der alveolären Kohlensäurespannung, dadurch Verbesserung der Sauerstoffflage, Steigerung des Stoffwechsels. Schon lange vorher hat bereits **Finsen** darauf hingewiesen, daß die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes den Tonus der Gefäßkapillaren herab etzen. Diese Wirkungen kommen insbesondere zustande, wenn Wärmewirkungen ausgeschaltet sind, also an den nördlichen Seen, z.B. an der windreichen belgischen Küste.

Ich darf Ihre Aufmerksamkeit darauflenken, daß diese therapeutischen Effekte dieselben sind, die wir beim kühlen Kohlensäurebad kennen gelernt haben. Die Analogien und Zusammenhänge gehen aber noch wesentlich weiter : So hat **Kroetz** nachgewiesen, daß Ultraviolettbestrahlung von Blutserum eine Säuerung desselben hervorruft. Eine Reihe von Forschern haben kolloidchemische Effekte der Bestrahlung nachgewiesen, so führt Bestrahlung von Eiweißlösungen zu einer Veränderung ihres Dispersitätsgrades, aber nicht zu ihrem Abbau (**Pauli**).

An Gewebsschnitten wurde Stoffwechselsteigerung unter dem Einfluß der Bestrahlung beschrieben. Ich selbst konnte in noch unveröffentlichten Versuchen nachweisen, daß im Reagensglas Schnitte von der Haut des Schweines, eines Tieres, dessen Haut sehr lichtempfindlich ist, tatsächlich vermehrte Kohlensäurebildung aufweisen, wenn sie bestrahlt wurden.

Wir sehen also über die längst bekannten photosynthetischen Vorgänge in der Pflanze hinaus — eine Reihe von Beziehungen und Ähnlichkeiten der biologischen Wirkungen von Ultraviolettstrahlen und Kohlensäure.

Eine Erklärung der Wirkung der Ultraviolettstrahlen über die Haut ist sehr schwierig. **Kestner** wies darauf hin, daß es schwierig ist, anzunehmen, daß es sich dabei um **Reflexe** handelt, denn, wie er sehr richtig sagt, wir müßten dann in unserer Haut, ebenso wie für Wärme, Kälte, Schmerz, Rezeptoren für ultraviolette Strahlen haben; solche sind uns aber unbekannt. **Kestner** u.M. nehmen an, daß die Ultrastrahlen die Luft zersetzen und daß dabei gebildete Substanzen die

Effekte hervorrufen, die man den Strahlen selbst zuschreibt. Diese Substanzen konnten aber von vielen Nachprüfern gefunden werden.

So ist diese Wirkung der Ultraviolettstrahlen zwar sichergestellt, aber ungeklärt. Es ist eigentlich erstaunlich, warum niemand an eine chemische Wirkung der Strahlen in der Haut selbst gedacht hat. Man sprach zwar gelegentlich von der Entstehung stark toxischer Substanzen in Geweben unter dem Einfluß der Bestrahlung, aber davon kann hier keine Rede sein. Und doch ist es eine der ältesten Erfahrungen der systematischen Photochemie, daß alle organischen Säuren unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlen decarboxyliert werden, d.h. bestrahlt man irgend eine organische Säure in reinem Zustand oder in wäßriger Lösung, dann entsteht immer Kohlensäure. Die oben erwähnten Versuche an isolierten Organen haben ergeben, daß Bestrahlung auch in diesen Kohlensäure entstehen läßt.

Diese Befunde, ferner die Analogien in den biologischen Wirkungen schwacher Bestrahlungen und der Wirkung kleiner Konzentrationen von Kohlensäure, wie sie im Kohlensäurebad in unsere Haut eindringen und daselbst ihre therapeutische Wirkung ausüben, scheinen mir ausreichend um die — freilich hypothetische — Annahme sehr wahrscheinlich zu machen, daß diese therapeutische Wirkung der Sonnen- und Himmelsstrahlen auf unsere Haut eine Kohlensäurewirkung ist.

Wenn wir also hier an der Küste, die ja besonders reich an ultravioletten Strahlen ist, ein ausgiebiges Luftbad nehmen, dann ist dieser Teil seiner therapeutischen Wirkung identisch mit der eines kühlen Kohlensäurebades.