

Dihydro-bisapomethyl-isobrucin.

Bei der Hydrolyse des Bromids von $C_{21}H_{23}O_3N_2Br$ wurde nur wieder das Ausgangssalz isoliert. Deshalb verwandelte man dieses durch wiederholtes Erhitzen mit 20 Tln. $n/2$ - $HClO_4$ in das Perchlorat. Dieses wohl noch nicht oder nicht mehr einheitliche Salz hielt man in 100 Tln. Wasser 2 Stdn. auf 100° , dampfte dann auf 50 Tle. ein und ließ auskristallisieren. Von 2 g kamen 0.8 g. Das Filtrat engte man auf 15 Tle. ein und fällte mit 2-n. $HClO_4$ 0.9 g glänzende, meist 4-seitige Tafeln und Blättchen. Man behandelte sie wiederholt ebenso, bis die Lösungen kein HBr mehr enthielten. Die zunächst nicht oder wenig hydrolysierte Menge (0.8 g) lieferte ebenso weitere Ausbeuten an den Tafeln.

Verlust bei $100^\circ/15$ mm: 3.84, 3.95 %. Ber. für $1H_2O$ 3.7 %.

$C_{21}H_{24}O_4N_2$, $HClO_4$ (468.5). Ber. C 53.8, H 5.34. Gef. C 53.84, H 5.52.

Das Salz ist isomer mit dem aus Dihydrobrucin über das rote Chinon mit Schwefliger Säure erhaltenen Stoff⁹⁾.

Triacetyl-Derivat: 0.2 g Perchlorat erhitzte man mit 4 ccm Acetanhydrid je $1/2$ Stde. ohne und mit 0.1 g Acetat auf 100° , dunstete im Exsiccator ein und rieb den festen Rückstand mit Perchlorsäure an: 0.22 g, die aus etwa 20 ccm Wasser von 100° in feinen Nadeln kamen. $HClO_4$ fällte dann nur noch wenig. Schmp. $216-220^\circ$ (Vak.) nach schwachem Sintern bei 160° , wasserfrei $218-220^\circ$ (Vak.) ohne Sintern bei 160° . In Eisessig ziemlich löslich.

Verlust bei $100^\circ/15$ mm: 5.5 %. Ber. für $2H_2O$ 5.7 %.

$C_{27}H_{30}O_7N_2$, $HClO_4$ (594.5). Ber. C 54.48, H 5.22, $(C_2H_3O)_3$ 21.7.
Gef. .. 54.24, 54.12, .. 5.6, 5.34, .. 22.1.

208. Alfred Stock: Chemische Beiträge zur Kenntnis der Quecksilbervergiftung.

[Aus d. Laborat. Stock, Berlin-Dahlem.]

(Eingegangen am 26. Oktober 1942.)

Der Anregung des Hrn. Präsidenten, anlässlich des 75-jährigen Bestehens der Deutschen Chemischen Gesellschaft den Berichten einen Beitrag zu geben, entspreche ich mit Freuden. Es soll ein Zeichen meiner unverminderten Anhänglichkeit an unsere Gesellschaft sein, der ich seit mehr als 45 Jahren angehöre und der als Vorstandsmitglied und in bewegter Zeit als Präsident zu dienen mir eine besondere Genugtuung war. Zu meinem Bedauern konnte ich in den letzten Jahren an ihren Veranstaltungen aus gesundheitlichen Gründen nur selten teilnehmen.

Diese meine wohl letzte „Berichte“-Mitteilung — 133 gingen ihr voraus — macht die chemischen Fachgenossen mit Untersuchungen bekannt, die mich abseits meiner hauptsächlichen, der Chemie des Bors gewidmeten wissenschaftlichen Arbeit seit langem beschäftigen und deren Ergebnisse in anderen, meist medizinischen Zeitschriften veröffentlicht wurden. Sie betreffen die schleichende Form der Quecksilbervergiftung, wie sie bei

⁹⁾ Journ. chem. Soc. London **1930**, 177; B. **71**, 2028 [1938].

längerem Aufenthalt in schwach Hg-Dampf-haltiger Luft auftritt. Nur von dieser, in der Sprache der Mediziner „leichtesten“, vor unseren Arbeiten auch in Arztkreisen kaum bekannten chronischen Vergiftung ist im folgenden die Rede¹⁾. Meine Mitarbeiter und ich erfuhren sie am eigenen Leibe, als wir bei unseren Hochvakuumapparaturen viel Hg benutzten und damit, wie wir leider zu spät erkannten, nicht vorsichtig genug umgingen. Hg ist ein besonders tückisches Gift, nicht nur weil es an sich schon in um mehrere Zehnerpotenzen kleineren Mengen die Gesundheit schädigt, als es andere schwere Metallgifte (z. B. Pb, Tl) tun, sondern vor allem, weil es flüchtig und flüchtig ist. Gelegentliches Verschütten läßt sich bei seiner Handhabung nicht vermeiden; Hg-Dampf mischt sich, schwer nachweisbar, der Luft bei. Zwar beläuft sich der Dampfdruck des Hg bei Zimmertemperatur nur auf etwa $\frac{1}{1000}$ mm entsprechend 15 mg Hg/cbm Luft; doch schon 10—20 γ Hg/cbm führen auf die Dauer zu Vergiftungserscheinungen. Diese sind zunächst nervös-psychisch (Benommenheit, Kopfschmerz, Niedergeschlagenheit, Arbeitsunlust, Gedächtnishemmungen); später treten äußere Störungen hinzu (Katarrhe, Speichelfluß, Mund- und Zahnfleischentzündungen, vermehrter Harndrang, Durchfälle usw.), alles wenig eindeutige Symptome, die die Diagnose der Vergiftung erschweren. Auch bei uns wurde sie erst nach jahrelangem Bestehen durch einen glücklichen Zufall erkannt. Daraus ergaben sich dann die Arbeiten, über die hier berichtet wird. Sie hatten zwei Ziele: alle, die mit Hg zu tun haben, vor den Gefahren zu warnen, ihnen die Widerwärtigkeiten zu ersparen, die wir durchgemacht haben, und das Wesen der Vergiftung, die Wirkungsweise des Hg im Organismus zu erforschen.

Dem ersten dieser Ziele sind wir leider weniger nahe gekommen als dem zweiten. Trotz unserer oft und an den verschiedensten Stellen ausgesprochenen eindringlichen Mahnungen ist die Gefährlichkeit des Hg in den weiten Kreisen der Wissenschaft und der Industrie, die sich des ja auch durch so viele gute Eigenschaften ausgezeichneten Metalles bedienen und bedienen müssen, noch immer nicht genügend bekannt und beachtet. Mit hinreichender Vorsicht läßt sich auch beim Umgehen mit viel Hg eine Vergiftung vermeiden. Hat sie eingesetzt, so steigert sich die Empfindlichkeit gegenüber geringsten Spuren des Giftes (1 γ Hg/cbm Luft und noch darunter) so, daß der Aufenthalt in älteren chemischen oder physikalischen Laboratorien mit ihrer oft erheblich stärker Hg-haltigen Luft zur Qual werden kann. Ich selbst mußte aus diesem Grunde die eigentliche chemische Laboratoriumsarbeit zu meinem Bedauern frühzeitiger (1936) aufgeben, als ich es wünschte. Erfreulicherweise war damals unser Vorstoß in die Chemie des Bors so weit gediehen, daß er ein abgerundetes Bild der chemischen Fähigkeiten dieses Nachbarn des Kohlenstoffs im Periodischen System gab: an Vielseitigkeit ein Gegenstück zur organischen Chemie, doch in das Laboratorium gebannt, weil dem Bor die Harmonie der Affinitäten fehlt, die den Kohlenstoff vor allen Elementen auszeichnet, und es sich, wenigstens auf unserer sauerstoff- und wasserreichen Erde, mit dem Auftreten als Borsäure und Borat begnügen muß. Seitdem habe ich mich mit der Beschränkung, welche Gesundheit

¹⁾ Im übrigen sei verwiesen auf E. W. Baader u. E. Holstein, „Das Quecksilber, seine Gewinnung, technische Verwendung und Giftwirkung, mit eingehender Darstellung der gewerblichen Quecksilbervergiftung, nebst Therapie und Prophylaxe“, Berlin 1933.

und Zeitverhältnisse auferlegten, nur noch mit den Fragen der Hg-Vergiftung beschäftigt.

Die dringlichste Aufgabe war, ein zuverlässiges Verfahren zur Bestimmung der hier in Betracht kommenden kleinen Hg-Mengen (bis zu 0.01γ und noch darunter) zu finden. Sie ließ sich durch Ausbau eines von I. Bodnár und E. Szép gewiesenen „dokimastischen“ Weges lösen, nachdem anfangs verwendete colorimetrische Methoden versagt hatten. Das Hg wird in die Form einer HgCl_2 -Lösung gebracht, elektrolytisch auf einem Cu-Drähtchen abgeschieden, von diesem abdestilliert und als Kügelchen ausgemessen, was selbst bei 0.001γ Hg und mit einem bescheidenen Mikroskop keine Schwierigkeiten macht. Im übrigen aber erfordert die Analyse viel Umsicht und Übung, zumal wenn es sich um größere Mengen organischen Materials handelt, das zunächst mit $\text{KClO}_3\text{--HCl}$ „aufgeschlossen“ werden muß. Es gibt zahlreiche Fehlerquellen, vor allem wegen des Hg-Gehaltes der Reagenzien und der Laboratoriumsluft, aber auch wegen des merkwürdigen Verhaltens des HgCl_2 in wäßr. Lösung, auf deren Oberfläche sich ein molekularer HgCl_2 -Film bildet und HgCl_2 abdunstet.

Dieses Analysenverfahren war der Schlüssel zu den weiteren Untersuchungen. Hg-Bestimmungen in verschiedensten organischen, mineralischen und technischen Stoffen zeigten auch das Hg als „allgegenwärtiges“ Element, im allgemeinen mit der Größenordnung 10^{-8} — 10^{-7} , d. h. 1 — 10γ Hg/100 g. In manchen Dingen ist der Hg-Gehalt erheblich höher, so in tierischen Nieren, in Fischen, Tonschiefern, Kohlen, im Kaminruß (bis $3 \text{ mg Hg}/100 \text{ g}^1$), im Straßenstaub und in vielen Reagenzien. Beispielsweise fanden wir in einzelnen Proben „Salzsäure für forensische Zwecke“ etwa 500γ Hg/1000 ccm, was sich dadurch erklärt, daß der zur Herstellung des HCl verwendete Wasserstoff der Amalgam-NaCl-Elektrolyse entstammte. Auch in allen natürlichen Wässern, Regenwasser eingeschlossen, und in der atmosphärischen Luft läßt sich Hg nachweisen. Der Mensch nimmt bei unserer üblichen Ernährung täglich etwa 10γ Hg zu sich. Ob diese Spuren Hg eine physiologische Rolle spielen, steht dahin. Bei der bekannten ungeheuren katalytischen Wirksamkeit des Elementes wäre es durchaus möglich.

Im Regelfall scheidet der Mensch täglich etwa ebensoviel Hg aus, wie er sich mit der Nahrung einverleibt, davon im Harn 0.1 — 1γ . Bei Anwendung Hg-haltiger Heilmittel, bei Trägern von Amalgam-Zahnfüllungen, bei beruflicher Berührung mit Hg kann es viel mehr sein (bis zu mehreren $\text{mg Hg}/1000 \text{ ccm}$). Der Hg-Gehalt des Harns bildet eine wertvolle Stütze für die Diagnose der Hg-Vergiftung; allein ist er selten entscheidend, wie sich aus den weiteren Darlegungen ergibt.

Unsere Untersuchungen über das Wesen der Hg-Vergiftung, die im folgenden nur in ihren Umrissen geschildert werden können²⁾, gründen sich auf Beobachtungen, die wir an uns selbst machten, auf Hunderte von Vergiftungsfällen, die uns bekannt wurden, auf Tierversuche und vor allem auf zahlreiche Analysen von menschlichem Leichenmaterial.

Vorausgeschickt seien einige Bemerkungen klinischer Art.

Hg, das in den Organismus als Dampf durch die Nase gelangt, wirkt ungleich stärker und schädlicher, als wenn es durch die Verdauungswege

²⁾ Die ausführliche Veröffentlichung mit den Versuchszahlen wird später an anderer Stelle erfolgen.

oder auch unmittelbar in die Blutbahn eingeführt wird. Einen überzeugenden Beweis für den Unterschied lieferten Versuche mit Meerschweinchen, von denen die einen Hg-haltiger Luft ausgesetzt, die anderen mit Hg-haltigen Rüben gefüttert wurden, so daß die aufgenommenen Hg-Mengen übereinstimmten. Während die ersten Tiere schon schwer krank waren und nicht mehr fraßen, zeigten die anderen nicht die geringste Störung ihres Wohlbefindens. Der menschliche Organismus verhält sich gegenüber dem auf den verschiedenen Wegen eingeführten Hg ebenso.

Die Hg-Vergiftung entwickelt sich auch bei dauerndem Aufenthalt in (schwächer) Hg-haltiger Luft nur langsam, im Laufe von Wochen, Monaten oder Jahren³⁾. Der Harn kann schon viel Hg enthalten, ohne daß sie sich bemerkbar macht. Nach Eintreten der Hg-Überempfindlichkeit aber ruft der kleinste Hg-Gehalt der Luft schon in einer Stunde oder noch eher die eigentümliche Benommenheit hervor.

Als Behandlung der Hg-Vergiftung hat sich nur die Unterbindung jeder neuen Zuführung von Hg bewährt. Die vielfach vorgeschlagenen Mittel, die im Körper befindliches Hg unschädlich machen sollen, sind nach unseren Erfahrungen wirkungslos. Nach Aufhören der Hg-Aufnahme klingen die Beschwerden nur äußerst langsam ab. Höherer Hg-Gehalt des Harns geht ebenfalls nur ganz allmählich, im Laufe von Monaten, zurück. Darum zeigt die Harnanalyse, ob in nicht zu lange zurückliegender Zeit eine ungewöhnliche Hg-Aufnahme stattgefunden hat.

Der eingeatmete Hg-Dampf wird größtenteils schon in der Nase und den übrigen oberen Luftwegen gebunden. Der Rest bleibt in der Lunge; die aus ihr wieder ausgeatmete Luft ist so gut wie Hg-frei. In Nase und Rachen stellen sich bei langer Hg-Wirkung Schleimhautschwellungen und Katarrhe ein. Die glatte Aufnahme des Hg erklärt sich dadurch, daß Hg-Dampf in Berührung mit Luft und Wasser, besonders schnell bei Gegenwart von Blut zu HgO oder Hg-Chlorid oxydiert wird. Bekanntlich leicht entstehende Verbindungen mit Proteinen besorgen dann wohl durch die Blut- und Lymphbahnen die Verbreitung des Hg im Organismus. Das Blutserum enthält dabei mehr Hg als die festen Blutbestandteile. Die Lymphflüssigkeit, die an sich der Analyse unzugänglich ist, gleicht in ihrer chemischen Zusammensetzung dem Blutserum und wird sich auch gegenüber dem Hg ähnlich verhalten. Die normale Hg-Menge im Blut beträgt wenige $\frac{1}{10} \gamma/100 \text{ g}$. Sie steigt bei Hg-Schmierkuren nur bis auf etwa 25 γ und erreicht eine ähnliche Höhe z. B. bei Injektion des Diuretikums Salyrgan, gelegentlich auch bei Arbeitern Hg verwendender Betriebe. Auch dann bleiben die insgesamt im Blut kreisenden Hg-Mengen sehr klein (bei 20 γ Hg/100 g nur etwa 1 mg).

Nach Aufhören der Hg-Zuführung (Beendigung der Schmierkur; in 24 Stdn. nach einer Salyrgan-Injektion) fällt der Hg-Gehalt des Blutes schnell und nähert sich wieder dem normalen. Es sind hauptsächlich die Nieren, die das Hg den Körperflüssigkeiten so rasch entziehen, es speichern, hartnäckig festhalten und nur ganz allmählich mit dem Harn wieder ausscheiden. Eine geringere und weniger dauerhafte Anreicherung erfolgt auch in der Leber, nicht in den übrigen großen Organen, Herz, Milz usw. Bezeichnend für die Hg-Speicherung in der Niere waren Versuche mit Meerschweinchen: Bei Tieren, die mit Hg-Dampf behandelt und danach 3 Wochen

³⁾ Nähert sich der Hg-Gehalt der Sättigung, so erfolgen schwere akute Vergiftungen.

in Hg-freier Luft gehalten worden waren, enthielten die Nieren noch 6-mal mehr Hg als der ganze übrige Körperrest. Beim Menschen liegen die Verhältnisse ähnlich. Auch bei ihm reichert sich das Hg vor allem in den Nieren an. Diese werden bei stärkeren Hg-Vergiftungen geschädigt, so daß es zu Anurie, Urämie u. dergl. kommen kann. Endet eine Hg-Vergiftung mit dem Tode, was bei den heutigen Fortschritten der Gewerbehygiene kaum noch vorkommt, so ist meist die Störung der Nierenarbeit die unmittelbare Ursache.

Aber auch an gewissen anderen Stellen des Organismus sammelt sich das Hg an. Physiologisch belanglos ist dies in den Haaren, Finger- und Fußnägeln und in der Oberhaut, die sämtlich normalerweise einen erheblich höheren Hg-Gehalt haben als z. B. die Muskeln. Das Hg wird dort offenbar vom cystinhaltigen Keratin als unschädliches HgS gebunden, so wie es bei der Wolle geschieht⁴⁾.

Physiologisch bedeutungsvoll dagegen ist, daß es sich auch in Drüsen der inneren Sekretion, besonders in der Hypophyse ähnlich anreichert wie in den Nieren. Auch die Bulbi olfactorii, die „Riechlappen“, die Nase und Gehirn verbinden, sind eine Hg-Ablagerungsstätte. Die Hypophyse, die an der Hirnbasis liegende „Hirnanhangsdrüse“, hat trotz ihrer Kleinheit — sie wiegt nur etwa 1 g — eine überragende Wichtigkeit für den Organismus, indem sie andere Drüsen, z. B. die Schilddrüse und die Geschlechtsdrüsen, und deren Hormonerzeugung steuert, den Wasserhaushalt des Körpers regelt usw. Wird, was mehr als wahrscheinlich ist, die Arbeit der Hypophyse durch stärkere Hg-Einwirkung ebenso geschädigt wie die der Nieren, die ja auch Drüsen (mit äußerer Sekretion) sind, so erklären sich zwanglos alle Erscheinungen der chronischen Hg-Dampfvergiftung, nicht nur nervösischen, sondern auch derartige wie die Störung der Harnabscheidung.

Nicht immer ist hoher Hg-Gehalt der Nieren mit einem solchen der Hypophyse verbunden. Manchmal fanden wir viel Hg in jenen und wenig in dieser, manchmal umgekehrt. Die Hg-Aufnahme aus dem allgemeinen Kreislauf erfolgt ersichtlich in den Nieren viel leichter und rascher als in der Hypophyse, die spätere Hg-Abgabe bei der Hypophyse noch langsamer als bei den Nieren. Beobachtungen an größeren Tieren (Hunden) und bei gewissen, noch nicht abgeschlossenen Versuchen am lebenden Menschen sprechen dafür, daß der Hypophyse (und den ihr benachbarten Gehirnteilen) eingeatmetes Hg über Nase, Bulbi olfactorii und Lymphbahnen unmittelbar zugeführt wird. Damit erklärt sich die sonst rätselhafte schnelle Wirkung von Hg-Spuren bei Hg-Überempfindlichkeit als eine Reizung der besonders anfällig gewordenen Hypophyse. Auf dem Umweg über den allgemeinen Kreislauf können die hier oft nur in Bruchteilen eines γ aufgenommenen Hg-Mengen unmöglich so stark und so schnell wirken. Hg-Dampf, der unter Ausschaltung der Nase durch den Mund in die Lungen eingeatmet wird, löst dergleichen Beschwerden nicht aus.

Unsere Untersuchungen wurden dadurch erschwert, daß bei den Analysen des Leichenmaterials Unregelmäßigkeiten auftraten, unerwartet hoher Hg-Gehalt in allen Teilen oder in einzelnen Organen, ohne daß der Ursprung des Hg festzustellen war. Die betreffenden Personen mußten früher mit

⁴⁾ Vergl. E. Elöd, H. Nowotny u. H. Zahn, B. 74, 1759 [1941].

Hg-haltigen Heilmitteln behandelt oder sonst mit Hg in Berührung gekommen sein, z. B. in Räumen, in denen Hg-Thermometer zerbrochen waren, oder dergl. Es bedurfte deshalb sehr zahlreicher Analysen — etwa 100 Leichen wurden bisher untersucht —, um die besprochenen Einsichten zu gewinnen. Auch der durchschnittliche „normale“ Hg-Gehalt im menschlichen Organismus, d. h. bei Personen, die kein anderes Hg aufgenommen haben als mit der Nahrung, ließ sich nur aus langen „statistischen“ Analysenreihen ableiten. Er beläuft sich auf etwa $\frac{1}{2} \gamma$ Hg (in 100 g) im Muskel, 2γ im Gehirn (mit nur kleiner Streuung der Einzelwerte), 10γ in Nieren und Hypophyse (mit stärkerer Streuung).

Auch hier sei allen gedankt, die uns mit Geldmitteln oder Material geholfen haben, insbesondere der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Schering A.-G. und den Medizinern Hrn. Prof. Auler und Hrn. Prof. Rößle nebst Mitarbeitern, sowie den HHrn. Dr. Blos und Dr. Seitz.

Unsere bisherigen einschlägigen wesentlicheren Veröffentlichungen:

- 1) Die Gefährlichkeit des Hg-Dampfes, Ztschr. angew. Chem. **39**, 461 [1926].
- 2) (Mit R. Heller.) Die Bestimmung kleiner Hg-Mengen, Ztschr. angew. Chem. **39**, 466 [1926].
- 3) (Mit E. Pohland.) Kolorimetrische Bestimmung sehr kleiner Hg-Mengen, Ztschr. angew. Chem. **39**, 791 [1926].
- 4) Die Gefährlichkeit des Hg und der Amalgame, Ztschr. angew. Chem. **39**, 984 [1926].
- 5) (Mit W. Zimmermann.) Zur Bestimmung kleinster Hg-Mengen, Ztschr. angew. Chem. **41**, 547 [1928].
- 6) Die Gefährlichkeit des Hg und der Amalgam-Zahnfüllungen, Ztschr. angew. Chem. **41**, 663 [1928].
- 7) (Mit W. Zimmermann.) Über die Bestimmung kleinster Hg-Mengen, Ztschr. angew. Chem. **42**, 429 [1929].
- 8) Über das Umgehen mit Hg, Ztschr. angew. Chem. **42**, 999 [1929].
- 9) Zur Amalgamfrage, Zahnärztl. Rdsch. **38**, 1709 [1929].
- 10) (Mit W. Zimmermann.) Tierversuche über die Aufnahme von Hg aus Hg-haltiger Luft, Biochem. Ztschr. **216**, 243 [1929].
- 11) Das Vorkommen kleinster Hg-Mengen in Harn und Faeces, Klin. Wschr. **10**, 454 [1931].
- 12) (Mit H. Lux.) Die quantitative Bestimmung kleinster Hg-Mengen, Ztschr. angew. Chem. **44**, 200 [1931].
- 13) Die Bestimmung kleinster Hg-Mengen und ihre Bedeutung, Naturwiss. **19**, 499 [1931].
- 14) (Mit F. Gerstner u. H. Köhle.) Über die Oxydation des Hg durch Luft, Naturwiss. **20**, 954 [1932].
- 15) (Mit H. Lux, F. Cucuel u. H. Köhle.) Zur mikrometrischen Bestimmung kleinster Hg-Mengen, Angew. Chem. **46**, 62 [1933].
- 16) (Mit F. Cucuel u. H. Köhle.) Die Bestimmung kleinster Hg-Mengen in organischem Material, Angew. Chem. **46**, 187 [1933].
- 17) (Mit F. Cucuel.) Die Bestimmung des Hg-Gehaltes der Luft, B. **67**, 122 [1934].
- 18) Jodkohle als Schutz vor Hg-Dampf-Vergiftung, Angew. Chem. **47**, 64 [1934]; vergl. hierzu: K. E. Püttei u. M. Hirsch, Jodkohle als Filtermaterial für Atemschutzgeräte gegen Gefährdung durch Hg-Dampf, Angew. Chem. **47**, 184 [1934].
- 19) (Mit F. Cucuel, F. Gerstner, H. Köhle u. H. Lux.) Über Verdampfung, Löslichkeit und Oxydation des metallischen Hg, Ztschr. anorgan. allgem. Chem. **217**, 241 [1934].
- 20) (Mit F. Cucuel.) Die Verbreitung des Hg, Naturwiss. **22**, 390 [1934].
- 21) (Mit F. Cucuel.) Der Hg-Gehalt der menschlichen Ausscheidungen und des menschlichen Blutes, Angew. Chem. **47**, 621 [1934].
- 22) (Mit F. Cucuel.) Aufnahme und Verteilung des Hg im Organismus, Angew. Chem. **47**, 801 [1934].
- 23) Die Wirkung von Hg auf die oberen Luftwege, Naturwiss. **23**, 453 [1935].
- 24) Die chronische Hg- und Amalgamvergiftung, Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg. **7**, 388 [1936].
- 25) (Mit N. Neuenschwander-Lemmer.) Die mikroanalytische Bestimmung des Hg, B. **71**, 550 [1938].
- 26) Grenzschichtenerscheinungen und die mikroanalytische Hg-Bestimmung, B. **72**, 1844 [1939].
- 27) Der Hg-Gehalt des menschlichen Organismus, Biochem. Ztschr. **304**, 73 [1940].
- 28) Mehr Vorsicht mit Hg!, Ztschr. physik. Chem. [A] **189**, 63 [1941].
- 29) Zur mikroanalytischen Bestimmung des Hg, Mikrochem. **30**, 128 [1942].