

Franz Bukatsch

Über die Wirkung der natürlichen Radioaktivität der Gasteiner Quellen auf Wundbakterien

ISBN 978-3-662-31312-1 ISBN 978-3-662-31517-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-31517-0

Über die Wirkung der natürlichen Radioaktivität der Gasteiner Quellen auf Wundbakterien.

Von Franz Bukatsch.

Aus der Lehrkanzel für bakteriologische Hygiene der tierärztlichen Hochschule, Wien. (Vorstand Prof. Dr. H. DAVID) und dem Forschungsinstitut Gastein. (Mitteilung Nr. 121).

a) *Einleitung*: Ausgehend von der lange bekannten Erfahrung der Ärzte des Gasteiner Tales, daß unter dem Einfluß der Gasteiner Thermalbäder selbst hartnäckige, schwer heilbare Wunden verschiedener Ursache in überraschend kurzer Zeit glatt abheilen, wurde in der vorliegenden Arbeit die Feststellung versucht, ob sich ein unmittelbarer Einfluß der Gasteiner Thermen auf die Bakterienflora von Wunden ergibt.

Da es sich in den Berichten¹ vielfach um Heilerfolge „an alten Schäden“ handelt, ist wohl anzunehmen, daß diese Wunden allerlei Mikroorganismen des Eiters, vor allem Bac. proteus, ferner Strepto- und Staphylokokken beherbergten. Keime dieser Art wurden auch für unsere Versuche herangezogen.

Bei Untersuchung der Wirkung des Gasteiner Thermalwassers ist neben seiner Radioaktivität auch sein Gehalt an eigenartigen gelösten Stoffen zu berücksichtigen. Finden sich doch darin manche sonst in Quellen recht selten vorkommende Elemente wie: Rubidium, Cäsium, Lithium, Strontium, Titan, Spuren von Edelmetallen, ferner Bor, Fluor, Arsen u. a. Namentlich durch das Vorhandensein der letztgenannten Stoffe in immerhin

¹ Gute Zusammenstellung der Literatur in: O. GERKE, Gasteiner Badebüchlein. Wien 1936. — An historischer Literatur wären noch zu erwähnen: PARACELsus 1566, MUCHAR 1834, KIENE 1847, SNETIwY 1852, HÖNIGsBERG 1857, PRÖLL 1862.

beachtlicher Menge (4 mg Bor und 2 mg Fluor pro Liter) war ein direkter Einfluß auf die Bakterienentwicklung nicht ausgeschlossen.

Diese Überlegung ließ eine Teilung unserer Versuche in 2 Gruppen geboten erscheinen: in die Untersuchung der chemischen Wirkungen der Salzbestandteile des Gasteiner Thermalwassers und in die Prüfung des Einflusses seiner Radioaktivität. Für diese Einteilung sprach aber auch ein rein praktischer Grund: die Radioaktivität der Gasteiner Thermen beruht vorwiegend auf ihrem Gehalt an Radiumemanation (*Radon*). Diese stellt ein im Wasser verhältnismäßig wenig lösliches Gas dar, das bei der notwendigen Hitzesterilisation der mit Gasteiner Wasser bereiteten Nährböden praktisch vollkommen in die Luft entweicht. Schon aus diesem Grunde war es einfacher, die gewünschten Radonmengen nachträglich dem Substrat beizufügen. Dies geschah in einfacher Weise dadurch, daß mit Hilfe eines sterilisierbaren, emanierenden Radiumpräparates bekannter Stärke in physiologischer Kochsalzlösung Radonlösungen hergestellt und diese dann in abgestufter Menge den Nährböden zugesetzt wurden. Durch verschiedene Dosierungen ließ sich derart im Versuch die Radonwirkung auch klarer herausstellen. Als Grundlagen dienten aber immer die Werte, wie sie natürlicherweise in den Thermen auftreten, d. h. etwa 20–120 Millimikrocurie/Liter ($m\mu C/l$).

Durch die Untersuchung der chemischen und radioaktiven Wirkung auf die Mikroben selbst ist nun die Heilwirkung der Therme keineswegs erschöpfend erklärbar, zumal ja ein solcher direkter Einfluß vor allem nur an den oberflächennahen Körperschichten, d. h. unmittelbar an der mit dem Wasser in Berührung stehenden Wundfläche stattfinden kann. Die radioaktive Alphastrahlung, die bei Radon in erster Linie in Frage kommt, vermag nur eine Schicht von etwa 0,1 mm im normalen lebenden Gewebe zu durchsetzen; für krankhaft veränderte Zellverbände kann aber die Durchlässigkeit nach den Angaben von HERČIK¹ unter Umständen auch steigen.

Sehr wahrscheinlich beruht die wundheilende Wirkung der Gasteiner Kur in erster Linie auf einer Hebung des Allgemeinbefindens, die dem Körper eine erhöhte Bildung von Bakterienabwehrstoffen ermöglicht. Anhaltspunkte dafür gibt u. a. die Arbeit von PFANNENSTIEL², der die bactericide Kraft des Blutes geschwächter Kaninchen durch eine „Kur“ mit „staatl. Fachinger“ Mineralwasser fast auf das Doppelte steigern konnte. Unsere Arbeit löst also bestenfalls ein Teilproblem der eingangs erwähnten Frage und sollte auch nur ein Glied in der Kette der mannigfachen Arbeiten des Gasteiner Institutes darstellen, das ja die Ergründung der Gasteiner Heilfaktoren von den verschiedensten Richtungen der Naturwissenschaften her zur Aufgabe hat.

b) *Methodik*: Während für die Versuche mit verschiedenen Radongaben die Flüchtigkeit dieses Gases zur möglichsten Vermeidung von Verlusten das Arbeiten mit großen Oberflächen erschwerte und die Bouillonkultur in hoher Flüssigkeitsschichte erheischte, konnte zur Prüfung der Salzwirkung das Thermalwasser außer zu Fleischbrühe auch zu festen Agarböden für Schrägröhrchen und Platten verarbeitet werden. Als Kontrolle dienten stets gleiche, aber mit Wiener Hochquellwasser bereitete Substrate. Zur Verdeutlichung der chemischen Wirkung der im Thermalwasser gelösten Stoffe — hier kurz „Salzwirkung“ genannt — erwies es sich schon in früheren Versuchen als tunlich, auch durch Eindampfen konzentriertes Thermalwasser in die Versuche einzubeziehen. Der Kürze halber werden in der Folge nachstehende Bezeichnungen verwendet: L = Wiener Hochleitungswasser; T = Gasteiner Thermalwasser (durch Sterilisation radonfrei); 5 T = 5fach konzentriertes Thermalwasser (durch Eindampfen radonfrei).

Die Untersuchung der Wirkung beschränkte sich auf die Feststellung der *Vermehrungsfähigkeit* der Keime (auf festem Nährboden an Hand der Dicke des gebildeten Bakterienbelages, in flüssigem Medium mit Hilfe der Messung der durch das Bakterienwachstum entstehenden Trübung). Als Trübungsmesser wurde, wie schon an anderem Orte be-

¹ F. HERČIK, *Radiologica* 2, 200 (1938).

² W. PFANNENSTIEL, *Münch. med. Wschr.* 1933, 1090.

schrieben¹, ein Tauchstift-Duboscq-Colorimeter der Firma Hellige, Freiburg i. Br., adaptiert (Abb. 1).

Der Vergleich erfolgte in durchfallendem Licht durch jeweilige Feststellung der Schichtdicke der zu prüfenden Bakterienaufschwemmung, welche die gleiche Lichtabsorption verursachte wie eine Vergleichsmattscheibe „M“. Um den Einfluß der Eigenfarbe der Bouillon, die ja auch von der Schichtdicke abhängt, auszuschalten, befand sich über der Mattscheibe eine Küvette mit klarer steriler Nährlösung, deren Schichtdicke mit derjenigen der Bakterienprobe übereingestimmt wurde. Es wurde auf Gleichheit der beiden Gesichtsfeldhälften des Apparates eingestellt. Je geringer die Bakterienvermehrung, desto geringer die Trübung und desto dickere Schichten der Bakterienaufschwemmung waren zur Kompensation der Lichtabsorption der Mattscheibe notwendig. Somit ergibt der Reziprokwert der Schichtdicke ein Maß der Bakterienentwicklung. (Die größte im Apparat erzielbare Schicht von 40 mm, gebrochen durch die jeweils abgelesene Schichtdicke in Millimeter ergibt zunächst die „relative Keimdichte“; die Meßergebnisse wurden sodann stets in Prozenten der Dichte der Kontrolle ausgedrückt.)

Zu unseren Versuchen wurden nachstehende Bakterienstämme aus der Sammlung der Lehrkanzel für bakteriologische Hygiene an der Tierärztlichen Hochschule in Wien verwendet:

- Streptococcus 11 (eitriges Nasensekret, Pferd),
- Streptococcus „M“ (Absceß, Mensch),
- Staphylococcus 1 (Acne, Hund),
- Bact. proteus 1 (Osteomyelitis, Mensch),
- Bact. coli 9 (Pyometra, Katze).

Von der Stammkultur auf Agar wurden einige Ösen in steriler physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt, geschüttelt und von der gleichmäßigen Suspension je eine Öse auf Schrägagar in Röhren ausgestrichen bzw. genau abgemessenen Mengen (0,2 ccm = 0,1 Öse) zu je 100 ccm Bouillon in Röhren zugesetzt bzw. auf Platten verteilt. Als Nährboden diente in Regel gewöhnliche Fleischbrühe (evtl. mit 2% Agarzusatz), die mit den einzelnen Wasserarten bereitet wurde oder entsprechende Radonzusätze erhielt. Nach der Impfung wurde bei 37° bebrütet und zu bestimmten Zeiten beobachtet.

c) *Versuche über die chemische Wirkung der in den Thermen gelösten Stoffen.* Die Versuchsanstellung wurde zunächst orientierend in verschiedener Weise abgeändert: so wurden je 0,2 ccm² einer Suspension von Streptococcus 11 auf Levinthal-Agar-Platten verteilt und nach 2 stündigem Aufenthalt im Brutraum zur Auftrocknung der Aufschwemmung mit sterilem L, T und 5 T vorsichtig abgespült. So wurde versucht, dadurch, daß das Wasser verhältnismäßig kurze Zeit auf die bereits auf dem bluthaltigen Substrat befindliche Keime einwirken konnte, in grober Annäherung die Verhältnisse der Wundbehandlung im Gasteiner Thermalbad nachzubilden. Auf den Blutgehalt des Substrates wurde deswegen Wert gelegt, da die Bluteiweißkörper evtl. oligodynamisch wirkende Stoffe des Wassers binden und so die bactericide Wirkung herabsetzen konnten³.

Die Beobachtung der Platten nach einem Tag bei 37° im Brutraum ließ überraschenderweise eine schwache Förderung der Keimentwicklung in der mit T übergossenen Schale gegenüber L erkennen, während auf der mit 5 T behandelten Platte die Entwicklung der Kolonien zurückgeblieben war. Nach einer Woche hatten sich aber die Unterschiede vollkommen ausgeglichen.

Nun wurden in Anlehnung an die Methode zur Prüfung von Desinfektionsmitteln je 0,2 ccm Streptokokkensuspension² in sterile, aus L, T und 5 T bereitete physiologische Kochsalzlösung ohne Gegenwart von Eiweiß eingebracht und nach 20stündiger Bebrütung bei 37° gleiche Probemengen auf Levinthal-Agar-Platten zur Bestimmung der Keimzahl ausgestrichen. Nach 1 Woche wies die Platte mit den Keimen aus L etwa 14 Kolonien auf, dagegen die Platte mit der Probe aus T 50 (!) aus 5 T

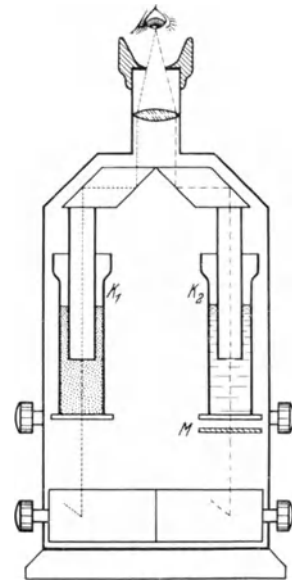


Abb. 1. Schema der Anordnung zur Messung der „relat. Keimdichte“ mit dem Colorimeter System DUBOSQ (Hellige, Freiburg i. B.). K_1 = Küvette mit Bakterien suspension. K_2 = Küvette mit klarer Nährlösung. M = Mattscheibe.

¹ F. BUKATSCH, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. I **145**, 259 (1936). — ² Entsprechend etwa 0,1 Öse. — ³ M. NEISSER u. F. EICHBAUM, Erg. hyg. Bakter. **13** (1932).

20 Kolonien pro Quadratcentimeter. Wir haben es hier also offenbar mit keiner Hemmung, sondern eher mit einer Förderung des Bakterienwachstums durch die Salze des Gasteiner Thermalwassers zu tun.

In den folgenden Versuchen wurden die Keime einer Dauereinwirkung der Wässer insofern ausgesetzt, als die Wässer direkt zur Nährbodenbereitung verwendet wurden. Die so bereitete Bouillon ergab in den Versuchen mit Streptococcus M., ferner mit Staphylococcus I und Bac. proteus I, nicht immer gleichsinnige Resultate. Deshalb wurden die Versuche mehrfach wiederholt, aber auch hier traten häufig Förderungen durch das Thermalwasser auf. Es seien nur einige Beispiele aus Trübungsmessungen angeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1.

Ver- suchs- reihe	Stamm	Zeit der Bestimmung	Relative Keimdichte (in Klammer in % des Wertes in L) aus Bouillonkulturen in:		
			L	T	5 T
11	Bac. proteus I . . .	nach 24 Stunden	2,52 (100%)	2,70 (108%)	2,28 (91%)
		„ 70 „	6,25 (100%)	7,00 (103%)	3,10 (60%)
12	Streptococcus M . .	„ 24 „	3,00 (100%)	3,10 (103%)	3,29 (109%)
		„ 70 „	6,67 (100%)	7,00 (105%)	7,30 (110%)
14	Staphylococcus I . .	„ 9 „	1,92 (100%)	2,06 (107%)	2,00 (104%)
		„ 30 „	5,8 (100%)	5,7 (98%)	5,4 (93%)

Eine deutliche Förderung durch die mineralischen Bestandteile des Thermalwassers zeigt Streptococcus M; bei Proteus wirkt 5 T besonders nach längerer Zeit bereits hemmend, während im T. ebenfalls eine leichte Förderung vorhanden ist. Staphylococcus zeigt nur zu Beginn der Entwicklung eine Förderung durch T und 5 T, die Keimzahl bleibt später hinter der Kontrolle (L) zurück.

Auf festen Nährböden waren die Ergebnisse ziemlich einheitlich: es gediehen die Bakterien auf T stets ebenso gut, oft auch besser als auf L. Auf 5 T war eine Förderung meist unverkennbar, wie aus den folgenden Abb. 2, 3 und 4 hervorgeht; dies ist besonders für Bac. proteus auffallend, der im flüssigen Medium durch 5 T bereits gehemmt erscheint (vgl. Tabelle 1); hier wird vielleicht durch den Agarzusatz die schädliche Wirkung aufgehoben bzw. gebunden.

Die Ergebnisse dieser Versuche weisen darauf hin, daß die *mineralischen* Bestandteile des Gasteiner Thermalwassers für sich allein keine unmittelbare Hemmung, sondern eher eine Förderung der Wundbakterienflora hervorrufen können.

d) *Versuche über die radioaktive Einwirkung* (des Gasteiner Thermalwassers): Untersuchungen über den Einfluß von Radiumstrahlen auf Mikroben reichen fast bis in die Zeit der Entdeckung radioaktiver Stoffe zurück; auch über die Wirkung von Radiumemanation im besonderen, die uns ja hier vorwiegend interessiert, liegt eine stattliche Anzahl von Befunden vor¹. Von den neueren Arbeiten seien nur folgende erwähnt, die sich mit der Wirkung radioaktiver Strahlen auf Eitererreger befassen:

1920 erschien von CLUZET und Mitarbeitern² ein Bericht, der sich mit der bactericiden Wirkung von Radiumstrahlen auf *B. pyocyaneus* befaßt; danach erfahren nur *frisch* beimpfte Bouillonkulturen eine deutliche Hemmung. Es handelte sich bloß um die Wirkung von Beta- und Gammastrahlen eines starken (50 mg), in Platin gekapselten Radiumpräparates. ANGERER, PAULI und REDWITZ (1925)³ bestrahlten Staphylokokkeneiter sowie damit frisch infizierte Wunden an Kaninchen mit den den Betastrahlen vergleichbaren Kathodenstrahlen und fanden bei hohen Dosen Vernichtung der Virulenz der Keime bei einem wirksamen Eindringen der Strahlen bis zu 0,1 mm Gewebstiefe. EBERT und PERETZ (1931)⁴ tauchten radonhaltige Glascapillaren (1,5—21 Millicurie [mC]) in Staphylokokken-Coli- und Proteussuspensionen und ließen die das Glas durchsetzende Beta- und Gammastrahlung der Zerfallsprodukte der Radiumemanation auf die dünne, an der Außenwand der Capillare haftende Schicht der Bakterienaufschwemmung wirken⁵. Unter diesem energischen Einfluß starben die Keime in 3 bis höchstens 20 Stunden ab. STERLING-OKUNIEWSKI und KAWECKI⁶ berichten im gleichen Jahr über unmittelbaren Radoneinfluß auf Streptokokken, Coli usw.; hier kam auch die Alphastrahlung des Radons zur

¹ Ältere Literatur s. STOKLASA u. J. PENKAVA, Biologie des Radiums, S. 185. Berlin 1932. —

² CLUZET, ROCHAIX et KOFMAN, C. r. Soc. Biol. Paris **83**, 1043 (1920). — ³ C. v. ANGERER, W. E. PAULI u. E. v. REDWITZ, Dtsch. Z. Chir. **193** (1925). — ⁴ B. P. EBERT u. L. H. PERETZ, Zbl. Bakter. I Orig. **121** (1931). — ⁵ Die Alphastrahlen werden durch die Glaswand absorbiert. — ⁶ STERLING-OKUNIEWSKI u. T. KAWECKI, Bull. int. Akad. Sci. Pol., cl. med. **416** (1931).

Wirkung, da die 4—6 mC enthaltenden Radoncapillaren in der Nährbouillon zerquetscht wurden. Dies bewirkte bei den Keimen in 80—100% der Fälle einen vollständigen Verlust der Vermehrungsfähigkeit.

Interessant ist an der 1934 erschienenen Arbeit von SPENCER¹, daß ein deutlicher Einfluß der radioaktiven Strahlen nur anfangs, nach 6 Stunden, an den Mikroben feststellbar war; nach 24 Stunden hatten sich die Unterschiede bereits ausgeglichen. Dieser Umstand sowie die obenerwähnten Ergebnisse CLUZETS ließen auch für unsere Versuche erwarten, daß im Falle irgendeiner Wirkung diese an jungen Kulturen und schon nach kurzer Zeit am deutlichsten auftreten mußte.

Trotz der übereinstimmenden Ergebnisse obenerwählter Arbeiten war in unseren Versuchen von vornherein eine deutliche Wirkung der radioaktiven Strahlen durchaus nicht sicher, da es sich in unserem Falle um ganz unverhältnismäßig (etwa 4—6 Zehnerpotenzen) kleinere Aktivitäten, wie sie dem Gehalt des Gasteiner Thermalwassers entsprechen, handelte. Selbst die „geringen“ Radondosen in SCHROETTERS Versuchen², welche Virulenzabschwächung und Teilungshemmung bei Kokken und anderen Mikroben ergaben,

Staphylo „L“ Staphylo „T“ Staphylo „5T“

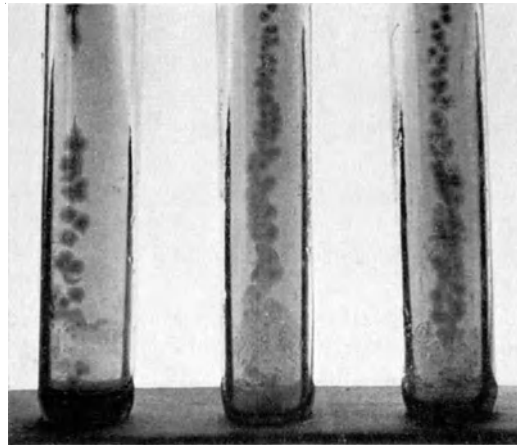


Abb. 2. Entwicklung von „*Staphylococcus I*“ nach 1 Woche Kultur bei 37° auf Bouillonagar, bereitet mit: „L“ = Wiener Leitungstrinkwasser; „T“ = Gasteiner Mischthermalwasser; „5 T“ = 5fach konz. Mischthermalwasser.

Proteus „L“ Proteus „T“ Proteus „5 T“

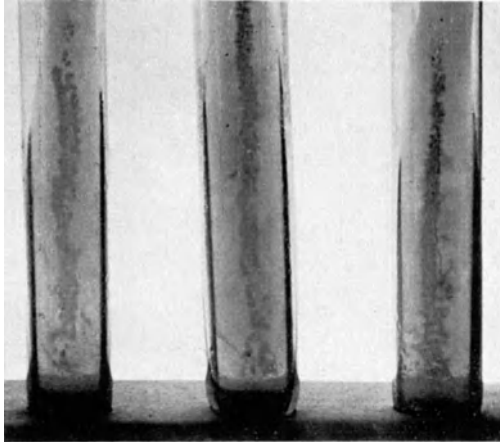


Abb. 3. Entwicklung von „*Bac. proteus I*“ unter den bei Abb. 2 angeführten Bedingungen.

Coli „L“ Coli „T“ Coli „5 T“

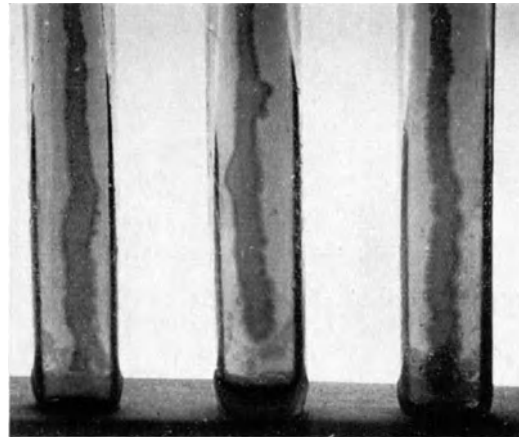


Abb. 4. Entwicklung von „*Bact. coli 9*“ unter den bei Abb. 2 angeführten Bedingungen.

waren um rund 3 Zehnerpotenzen höher (5—250 Mikrocurie/l). Meines Wissens liegt über Radonwirkung an Eitererregern mit vergleichbaren Dosen nur eine Arbeit vor: HEIN³ fügte den Nährböden das Präparat „Radiovagan“ in Mengen bei, die einigen tausendstel Mikrogramm Radiumelement entsprachen. 0,01 μ g Radium ergaben noch keine Wirkung auf Staphylokokken und Coli, während bei 2 μ g bereits Entwicklungshemmungen einsetzten⁴.

¹ R. R. SPENCER, Publ. Health Rep. 1934. — ² H. v. SCHROETTER, Zbl. Bakt. I Orig. 104 (1927). — ³ F. K. HEIN, Radiol. Rdsch. 2 (1934). — ⁴ Untersuchungen an *B. prodigiosus* s. bei KALMANN, Wien. klin. Wschr. 1906, Nr 22.

Die in der Folge beschriebenen Versuche mit stufenweisen Radonzusätzen wurden derart ausgeführt, daß in mit je 5 ccm doppelt konzentrierter Fleischbouillon beschickte Proberöhrchen steigende Mengen steriler Radonlösung in physiologischer aus T bereiteter Kochsalzlösung zugefügt wurden, z. B. 0, 0,01, 0,05, 0,1, 0,5 ccm. Sodann wurde jedes Röhrchen mit steriler physiologischer aus T bereiteter Kochsalzlösung auf genau 10 ccm Flüssigkeitsinhalt aufgefüllt. Der Verschuß bestand in möglichst dichtgedrehten Wattestopfen, wodurch etwa 10 ccm Luftraum über der Flüssigkeit in den Röhrchen abgeschlossen wurden. Für gleiche Volumina wässriger Lösung und Luft stellt sich nach dem OSTWALDSchen Verteilungsgesetz allmählich ein Gleichgewicht zwischen der Radonmenge in der flüssigen und gasförmigen Phase ein: für 37° (Brutschranktemperatur) verteilt sich die Radiumemanation zwischen Nährlösung und Luft etwa im Verhältnis 1 : 6. Es befindet sich schließlich nur mehr rund $\frac{1}{7}$ der zugeführten Radonmenge in der Nährlösung. Dieser Gleichgewichtswert ist in den folgenden Tabellen zuerst angeführt, darunter in Klammer der Ausgangswert. Aus jedem Röhrchen wurden in der Regel zu verschiedenen Zeiten Proben entnommen und auf ihre Trübung¹ untersucht. Das gründliche Aufschütteln vor der Probeentnahme mit darauffolgender Lüftung des Stopfens brachte zwangsläufig Radonverluste mit sich. Ferner muß der natürliche, mit der Strahlenausendung einhergehende Zerfall der Radiumemanation in rund $3\frac{1}{2}$ Tagen auf den halben Wert berücksichtigt werden. Somit wurde das Hauptgewicht auf die erste Messung gelegt, welche, je nach der Schnelligkeit der Entwicklung der Keime, entweder 6—8 Stunden oder spätestens 22—24 Stunden nach der Beimpfung erfolgte. Es wurden auch höhere und niedrigere Radongaben, als sie der Radioaktivität der Gasteiner Thermen entsprechen, auf ihre Wirkung geprüft; in den Tabellen sind aber die Ergebnisse bei jenen Radonkonzentrationen unserer Versuche, die im Gleichgewichts- oder Ausgangswert innerhalb der Grenzwerte der Radioaktivität des Gasteiner Thermalwassers, d. i. zwischen etwa 20—120 m μ C/l liegen, durch Fettdruck hervorgehoben. Aus Tabelle 2 ist der Einfluß von Radon in gleichen und höheren Mengen als im Gasteiner Thermalwasser ersichtlich; Tabelle 3

Tabelle 2. Versuchsreihe 13.

Stamm	Zeit der Bestimmung	Relative Keimdichte (daneben in Prozenten, bezogen auf die radonfreie Kontrolle) in Bouillon von Radongehalt in m μ C/l:					
		0 (Kontrolle)	5,7 (40)	28,6 (200)	142,9 (1000)	285,8 (2000)	1428,6 (10000)
B. Coli 9 .	nach 8 Std.	2,10 (100%)	2,02 (97%)	1,92 (91%)	1,87 (89%)	1,83 (87%)	1,78 (85%)
	„ 24 „	4,45 (100%)	4,36 (98%)	3,85 (87%)	3,75 (84%)	3,85 (87%)	3,58 (80%)
Staphylo 1	„ 24 „	3,85 (100%)	1,93 (50%)	1,79 (47%)	1,78 (46%)	1,45 (38%)	1,54 (40%)
	„ 72 „	8,7 (100%)	6,00 (69%)	5,50 (64%)	3,43 (38%)	3,2 (37%)	2,96 (34%)

Tabelle 3. Versuchsreihe 19.

Stamm	Zeit der Bestimmung	Relative Keimdichte (daneben in Prozenten, bezogen auf die radonfreie Kontrolle) in Bouillon von Radongehalt in m μ C/l:			
		0 (Kontrolle)	1,4 (10)	14,3 (100)	142,9 (1000)
B. Coli	nach 22 Std.	3,18 (100%)	3,08 (97%)	2,68 (81%)	2,58 (78%)
Streptococcus 11	„ 22 „	1,84 (100%)	1,80 (98%)	1,79 (97%)	1,75 (95%)
B. proteus 1 . . .	„ 22 „	2,64 (100%)	2,33 (89%)	2,46 (93%)	2,42 (92%)
Staphylococcus 1	„ 22 „	4,00 (100%)	3,84 (96%)	3,65 (91%)	3,57 (89%)

¹ Bei der Anwendung schwacher Radioaktivität war zwar das Ausflocken der Kolloide aus der Nährlösung infolge elektrischer Entladung, wie sie für starke Radiumwirkung in mehreren Arbeiten von FERNAU und WO. PAULI [Kolloid-Z. **36** (1922)], ferner von E. EPSTEIN [Kolloid-Z. **81** (1937)] beschrieben wurde, nicht wahrscheinlich. Immerhin wurden Blindproben mit verschiedenen Radonzusätzen zur Bouillon bei 37° gehalten; es traten aber praktisch keine Trübungen auf, mit Ausnahme eines Falles, bei dem diese aber durch bakterielle Infektion zu erklären war.

Tabelle 4. Versuchsreihe 18.

Stamm	Zeit der Bestimmung	Relative Keimdichte (daneben in Prozenten, bezogen auf die radonfreie Kontrolle) in Bouillon von Radongehalt in $m\mu C/l$:					
		0 (Kontrolle)	0,3 (2)	1,4 (10)	2,9 (20)	14,3 (100)	28,6 (200)
B. proteus 1 .	nach 8 Std.	2,32(100%)	2,27 (98%)	2,18 (94%)	2,17 (94%)	2,15(93%)	2,10(91%)
Staphyloc. 1 .	„ 8 „	3,70(100%)	3,92(106%)	3,63 (97%)	3,45 (93%)	3,38(91%)	—
Streptoc. 11 .	„ 8 „	2,98(100%)	3,20(106%)	3,23(108%)	2,98(100%)	2,88(96%)	2,78(93%)

berücksichtigt außerdem auch geringere Radonmengen. In Tabelle 4 sind schließlich die Ergebnisse von Versuchen dargestellt, die speziell zur Prüfung ganz geringer Radioaktivitäten angesetzt wurden.

Während in den Versuchen des vorhergehenden Abschnittes in T meist eine Förderung der Vermehrung der Keime zu verzeichnen war (vgl. Tabelle 1), kann sich unter radioaktivem Einfluß eine solche Begünstigung der Bakterienentwicklung nur bei Radonzusätzen auswirken, die *unter* der Mindestradioaktivität der Gasteiner Thermen liegen (Tabelle 4). Radongaben, die dem Gehalt des Thermalwassers gleichkommen bzw. ihn übersteigen, hemmen in immerhin deutlicher Weise die Bakterienvermehrung (Tabelle 2, 3, 4).

Durch meine Abreise nach Gastein mußten die Wiener Versuchsreihen abgebrochen werden; dafür bot sich aber nun in Gastein selbst die willkommene Gelegenheit, den Einfluß frischen, unmittelbar der Quelle entnommenen Thermalwassers zu untersuchen.

Da zur Vermeidung von Radonverlusten eine Sterilisation durch Hitze kaum in Frage kam, wurden die Wasserproben unter möglichst aseptischen Bedingungen unmittelbar aus der Quellungsmündung entnommen und in sterile Glasstopfenflaschen luftblasenfrei gefüllt. Durch Volumsverminderung des Thermalwassers beim Abkühlen wurde etwas Luft in die Flaschen nachgesaugt. Der so entstehende Radonverlust aus den einzelnen Thermalwasserproben kann aber wohl als geringfügig außer acht gelassen werden. Es wurden absichtlich solche Thermalquellen für unsere Versuche ausgewählt, die bezüglich ihres Radongehaltes ziemlich weit auseinander liegen; denn so war am ehesten zu erwarten, daß sich der in Wien festgestellte Emanationseinfluß auch hier ausprägen werde.

Je 9 ccm der einzelnen Wasserproben wurden steril in Proberöhrchen abgefüllt, die 1 ccm sterile 10proz. Lösung von gleichen Gewichtsteilen Liebigs Fleischextrakt und Pepton Witte enthielten. Sodann wurden die Röhrchen gleichmäßig mit je 0,5 ccm Suspension (= etwa $\frac{1}{4}$ Öse) von aus Wien mitgebrachten Kulturen von Streptococcus 11 bzw. B. proteus 1 und Bact. coli 9 beschickt. Durch diese relativ dichte Einsaat wurde die bei der Keimarmut des Thermalwassers ohnehin geringe Gefahr des Aufkommens von Wasserbakterien unterdrückt.

Nach 12- bzw. 18stündigem Verweilen im Brutschrank bei 37° wurden Proben entnommen und in der oben geschilderten Art auf ihre Keimdichte untersucht. Die folgenden Tabellen 5, 6 und 7 bringen eine Zusammenstellung der erzielten Ergebnisse. Die Angaben über die Radioaktivität der einzelnen Quellen verdanke ich Herrn Kollegen Dr. E. RUSCHITZKA, der zur selben Zeit Proben zur Aktivitätsbestimmung entnahm. Da der Radongehalt im Laufe der Zeit bei den einzelnen Quellen einigermaßen schwankt, ist in jeder der Tabellen der jeweilige Radonwert besonders angeführt.

Im allgemeinen geht auch aus den Tabellen hervor, daß die keimhemmende Wirkung des frischen Thermalwassers um so deutlicher hervortritt, je radonhaltiger die betreffende Quelle ist. Eine *ideale* Abhängigkeit der Entwicklungshemmung der einzelnen Bakterienarten von der Radioaktivität der Wasserprobe ist schon deshalb nicht zu erwarten, da die chemische Zusammensetzung der einzelnen Thermen vermutlich etwas verschieden sein dürfte. (Bisher ist eine genaue Analyse nur von der Elisabethquelle durchgeführt. Die Analyse der übrigen Quellen wird derzeit vom Forschungsinstitut in Angriff genommen.)

Dieser Umstand kann natürlich die Vermehrungsgeschwindigkeit der Eitererreger mitbestimmen. Immerhin ist in großen Zügen die Radonabhängigkeit der Keimesentwicklung nicht zu verkennen, zum Teil sogar *deutlicher* als in den Wiener Versuchen, in denen künstlich dargestellte Radonlösung in ähnlichen Mengen radonfreiem Mischthermalwasser zugesetzt wurde. Die Ursache dieser Erscheinung wäre noch zu klären.

Tabelle 5. Entwicklung von Streptococcus 11 im Wasser verschiedener Gasteiner Thermen. Versuchsreihe 21.
(20. VI. 1938; Untersuchung 12 Stunden nach der Einsaat, 37°).

Art der Wasserprobe	Radongehalt in m μ C/1 (Anfangswert)	Relative Keimdichte (in Klammer in Prozenten des Wertes in gewöhnlichem Trinkwasser)
Badgasteiner Trinkwasser.	etwa 0,7	2,63 (100%)
Mischthermalwasser.	„ 22	2,35 (89%)
Doktorquelle.	47,3	2,32 (88%)
Grabenbäckerquelle.	63,4	2,38 (90%)
Elisabeth-Hauptquelle.	63,6	2,38 (90%)
Sophienquelle.	94,0	2,20 (84%)
Rechte Reissacherquelle.	94,6	2,05 (78%)
Fledermausquelle.	122,4	1,93 (74%)

Tabelle 6. Entwicklung von Streptococcus 11 und Bact. coli 9 im Wasser verschiedener Gasteiner Thermalquellen.
(27. VI. 1938; Versuchsreihe 22, Untersuchung 18 Stunden nach Beimpfung, 37°).

Art der Wasserprobe	Radongehalt in m μ C/1 (Anfangswert)	Relative Keimdichte (in Klammer in Prozenten des Wertes in gew. Trinkwasser)	
		Streptococcus 11	Bact. coli 9
Badgasteiner Trinkwasser.	etwa 0,7	2,86 (100%)	5,49 (100%)
Mischthermalwasser.	etwa 22	2,33 (82%)	2,96 (54%)
Doktorquelle.	48,0	2,30 (81%)	2,78 (51%)
Grabenbäckerquelle.	59,7	2,08 (72%)	2,77 (50%)
Elisabeth-Hauptquelle.	62,6	2,18 (76%)	2,40 (44%)
Sophienquelle.	91,0	1,92 (66%)	2,05 (37%)
Rechte Reissacherquelle.	95,7 ¹	2,17 (76%) ¹	2,10 (38%) ¹
Fledermausquelle.	118,8	2,00 (69%)	2,35 (43%)

Tabelle 7. Entwicklung von Streptococcus 11, Bac. proteus 1 und Bact. coli 9 im Wasser verschiedener Gasteiner Thermen.
(18. VII. 1938; Untersuchung 18 Stunden nach Einsaat, 37° Brutschranktemperatur).

Art der Wasserprobe	Radongehalt in m μ C/1 (Anfangswert)	Relative Keimdichte (in Klammer in Prozenten des Wertes in gewöhnlichem Trinkwasser)		
		Streptococcus 11	Bac. proteus 1	Bact. coli 9
Franzensquelle.	unter 0,2	4,08 (111%)	—	4,25 (112%)
Badgasteiner Trinkwasser.	etwa 0,7	3,63 (100%)	2,78 (100%)	3,92 (100%)
Mischthermalwasser.	„ 22	3,50 (96%)	2,30 (83%)	3,35 (88%)
Doktorquelle.	44,5	3,23 (89%)	1,85 (67%)	3,32 (87%)
Elisabeth-Hauptquelle.	66,6	3,20 (88%)	1,90 (68%)	3,16 (83%)
Sophienquelle.	92,4	2,94 (81%)	1,84 (65%)	2,81 (74%)
Rechte Reissacherquelle.	93,5 ¹	2,93 (81%)	1,72 (62%)	2,90 (76%) ¹
Fledermausquelle.	121,0	2,72 (75%)	1,63 (58%)	2,32 (61%)

¹ Die Aktivität unseres Versuchswassers war geringer als der hier angeführte Wert. Es wurden nämlich die Proben aus einer höheren, stagnierenden Schicht des Thermalwassers aus dem Vorratsbehälter entnommen. Dies kann, wie mir Dr. RUSCHITZKA nachträglich mitteilte, selbst bis zu 20% geringere Radongehalte bedeuten. Vielleicht erklärt sich so die in einigen Fällen beobachtete stärkere Entwicklung der Mikroben im Wasser dieser Quelle.

Daraus ergibt sich, daß auch die im Verhältnis zu den sonst in Versuchen üblichen hohen Dosen *sehr geringe* natürliche Strahlungsenergie der Gasteiner Quellen imstande ist, die Wundbakterienentwicklung hemmend zu beeinflussen. Diese unmittelbare Wirkung auf die Mikroben ist aber wohl doch zu schwach, um die überraschenden Wundheilungen durch die Gasteiner Badekur hinreichend zu klären; sehr wahrscheinlich geht mit der allgemeinen Kräftigung des Patienten eine Steigerung der Abwehrkräfte des Körpers Hand in Hand. Dies zu untersuchen, muß Gegenstand anderer Arbeiten bleiben. Abschließend läßt sich aber wohl sagen, daß im Falle eines direkten heilenden Einflusses der Gasteiner Thermen durch Zurückdrängung der Wundbakterienflora dieser vorwiegend der *Radioaktivität* der Quellen zukommt.

e) *Anhang.* Angeregt durch die Untersuchungen von ŘEŘABEK und HYKEŠ (1937)¹ über den Radoneinfluß auf die Lichtentwicklung von Bakterien wurden Versuche mit einem Leuchtbakterienstamm angestellt, der von toten Heringen abgezüchtet worden war.

Zunächst wurde ein Schrägröhrchen mit Fischbouillongelatine gleichmäßig über die ganze Oberfläche mit Leuchtbakteriensuspension beimpft und sodann in der Mitte der freien gegenüberliegenden Glaswand des Proberöhrchens ein etwa 0,1 E.S.E. starkes Poloniumpräparat befestigt. Der Abstand

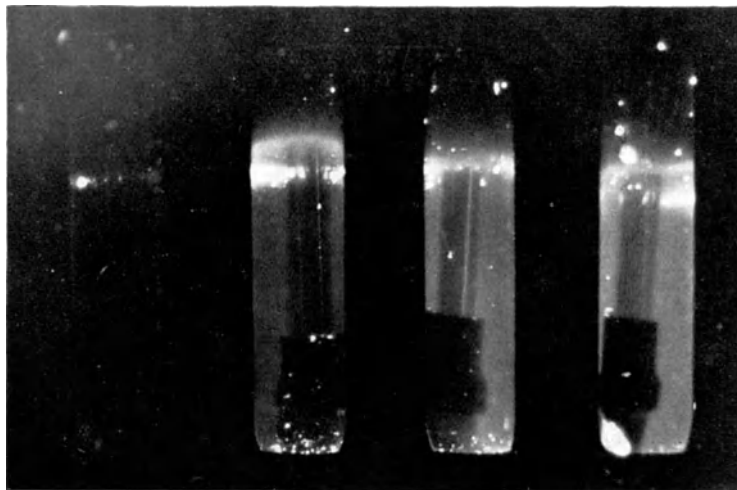


Abb. 5. Einfluß geringer Radonkonzentrationen auf die Lichtentwicklung von Bakterien. (Erklärung im Text.)

von der Nährbodenoberfläche betrug rund 1 cm. Das nach einigen Tagen ziemlich gleichmäßig leuchtende Bakterienfeld wies unterhalb des Präparates einen etwa 2 cm im Durchmesser haltenden nichtleuchtenden Hof auf, obwohl sich auch hier ein Bakterienrasen gebildet hatte. Die Herabsetzung der Lichtentwicklung bei nur geringer Wachstumshemmung stimmte gut zu den Ergebnissen der oben genannten Autoren, welche 1—5 mC Radon dem Nährboden direkt zufügten. Überimpfte Proben aus dem nichtleuchtenden Hof unserer Kultur zeigten wohl Wachstum, nie mehr aber eine Spur von Leuchten, während Proben aus den entfernteren Gebieten sich ganz normal entwickelten. Es scheint somit durch die intensive Alphastrahlung ein dauernder Verlust der Fähigkeit zur Lichtentwicklung verursacht worden zu sein.

Nun wurde versucht, ob sich auch ein Einfluß *kleinster* Radondosen auf das Leuchten geltend macht. Zu diesem Zweck wurden gleich beimpfte Röhrchen mit je 10 ccm Fischabkochung mit verschiedenen Radonzusätzen versehen, so daß 0, 200, 1000, 2000 und 10 000 $\mu\text{C}/\text{l}$ resultierten. Abb. 5 stellt das Ergebnis nach 1 Woche bei 15° dar: ganz rechts die radonfreie Kontrollkultur, fortschreitend nach links die Röhrchen mit 200, 1000 und, nicht mehr erkennbar, mit 2000 $\mu\text{C}/\text{l}$. (Die dunklen Flecke in der leuchtenden Bakteriensuspension rühren von Stückchen spanischen Rohres her, durch welche zur Aufrechterhaltung des Leuchtens während der Aufnahme Luft hindurchgeblasen wurde. Für die Durchführung dieser, sowie der übrigen photographischen Aufnahmen sei Herrn Prof. Dr. F. SCHEMNZY an dieser Stelle gedankt.)

Wie ersichtlich, üben auch noch sehr geringe Emanationsmengen eine Hemmungswirkung auf das Bakterienleuchten aus.

¹ J. ŘEŘABEK u. D. E. HYKEŠ, *Protoplasma* **28**, 360 (1937); vorher schon W. KÖRNICKE, *Ber. dtsh. bot. Ges.* **22**, 155 (1904).

f) *Zusammenfassung der Ergebnisse:* Es wurde der Einfluß des Gasteiner Thermalwassers auf die Entwicklung von Wundbakterien untersucht:

Die im Gasteiner Thermalwasser vorhandenen Mineralstoffe bewirken keine Hemmung der Entwicklung der Eitererreger (Staphylo-, Streptokokken, *B. proteus*, *Bact. coli*), wohl aber die natürliche Radioaktivität der Thermen, wenngleich diese auch sehr hinter den in der Therapie üblichen Dosen zurückbleibt.

Ähnlich wie bei den Leuchtbakterien die Lichtentwicklung stärker durch das Radon gehemmt wird als das Wachstum, wäre es denkbar, daß bei den Eitererregern verschiedene Lebensäußerungen, u. a. auch die Virulenz, strahlenempfindlicher sind als die Vermehrungsfähigkeit. Diesbezügliche Untersuchungen sowie Feststellungen, ob durch die Gasteiner Kur die Abwehrkräfte des Körpers gesteigert werden, bleiben Gegenstand weiterer Untersuchungen über das Wundheilungsproblem in Gastein.

Lehrkanzel für Bakteriologische Hygiene der Tierärztlichen Hochschule, Wien.
