

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin der Universität Göttingen
(Direktor: Prof. Dr. med. Dr. jur. O. SCHMIDT).

Postmortale p_{H} -Messungen an der Oberfläche und in der Tiefe tierischer Organe*.

Von

D. LORKE.

Mit 3 Textabbildungen.

Untersuchungen über die p_{H} -Veränderungen isolierter tierischer Organe ergaben wesentliche Unterschiede zwischen dem p_{H} der Oberfläche und dem inneren Organteile. Es erschien von Wert, diese überraschende Tatsache eingehender zu studieren, weil man eine Abhängigkeit des p_{H} -Wertes vom Luftsauerstoff und damit vom Redoxpotential vermuten kann.

Durch folgende Untersuchungen soll versucht werden, eine Erklärung für diese geschilderte Beobachtung zu finden. Die Aufgabe dieser Arbeit soll es sein: 1. die Abhängigkeit der p_{H} -Werte verschiedener Tiefenlagen von der Zeit zu prüfen, 2. zu ermitteln, in welcher Art und Weise das p_{H} von der Oberflächenentfernung abhängt, 3. die Ursachen dieser Abhängigkeiten zu untersuchen.

Literaturangaben über postmortale p_{H} -Unterschiede zwischen Oberfläche und Tiefe von Organen sind spärlich. In Mitteilungen über p_{H} -Untersuchungen an Geweben findet man hier und dort einige Hinweise. So stellte MAURICE DE LAET 1926¹ mit Farbstoffindikatoren fest, daß Blut derselben menschlichen Leiche, zur gleichen Zeit entnommen, im Körperinneren (Herz) eine andere Reaktion zeigte als in den oberflächlichen Gefäßen. Auch in Auszügen von oberflächlichen und tieferen Muskelschichten und äußeren und inneren Leber- und Milzabschnitten zeigte sich die gleiche Erscheinung wie im Blut. J. MICHALKA² erwähnt in seiner Arbeit nur kurz, daß die p_{H} -Werte an der Oberfläche schneller als in der Tiefe ansteigen. Bei der Prüfung von Fleisch auf Genußtauglichkeit stellte M. VOLOVIČ³ mit Hilfe von Farbstoffindikatoren und elektrometrischen Messungen mit dem Ionometer nach FREYE fest, daß das p_{H} in der Tiefe eines Muskels bis zu 0,5 Einheiten niedriger liegt als an der Oberfläche. Seine Untersuchungen erstreckten sich jedoch nur bis zu 5 Tagen nach der Schlachtung.

Um p_{H} -Messungen in jeder gewünschten Tiefe ausführen zu können, wurde das Gewebe durch eine Fleischmaschine gedreht. Parallel-

* Herrn Professor Dr. KARL REUTER zum 80. Geburtstage in Verehrung gewidmet.

versuche mit Gewebe im Stück, bei dem die Glaselektrode in einem Stichkanal in die Tiefe geschoben wurde, ergaben mit den Messungen an zerkleinertem Gewebe übereinstimmende p_H -Werte. Die exakte und bequeme Messung im Gewebebrei veranlaßte uns, alle späteren Messungen an Organen durchzuführen, die im Frischzustand zweimal durch die Fleischmaschine gedreht worden waren.

Der Organbrei von Leber, Muskulatur und Gehirn vom Pferd und in einem Fall Leber vom Rind wurde unter einem Abzug bei Zimmertemperatur sich selbst überlassen. Anfangs täglich und später in größeren Zeitabständen wurde die Wasserstoffionenkonzentration elektrometrisch mit Glaselektroden gemessen. Die Messungen erstreckten sich bis zu 3 Monaten nach der Schlachtung der Tiere.

Die p_H -Werte der Oberfläche wurden mit einer kugeligem Glaselektrode bestimmt, die in den einzelnen Tiefen mit einer spitzen Glaselektrode. An dieser waren in 0,5 cm Abstand Markierungen angebracht worden, so daß die Elektrode senkrecht zur Oberfläche in die gewünschten Tiefen gesteckt werden konnte.

Ergebnisse.

In Abb. 1 ist das gemessene p_H der einzelnen Tiefen in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Alle Kurven verbinden die einzelnen p_H -Werte gleicher Tiefe. Man könnte sie *p_H -Tiefenlinien* nennen. Um die Abbildung übersichtlicher zu gestalten, sind nur die gemessenen p_H -Werte der Oberfläche, in 1 cm, 2 cm, 3,5 cm und 5 cm Tiefe eingezeichnet worden, obwohl das p_H in Abständen von 0,5 cm bis maximal 9 cm tief bestimmt wurde. Die p_H -Werte in Entfernungen über 5 cm von der Oberfläche unterschieden sich nur unwesentlich. Im allgemeinen lag das p_H nicht einmal 0,05 Einheiten niedriger. Die größten p_H -Unterschiede zwischen 5 und 8 cm Tiefe betragen 0,2 Einheiten. Demnach kann man, ohne einen großen Fehler zu begehen, die p_H -Werte in 5 cm Tiefe auch tieferen Abschnitten zuordnen. Aus diesem Grunde sind die Oberflächenkurve und die in 5 cm Tiefe, entsprechend dem p_H im Inneren eines Organs, durch größere Breite hervorgehoben. Die Kurve ist vom ersten Meßpunkt bis zu p_H 7,3 zur Zeit des Todes gestrichelt verlängert worden. Das kann man vertreten, da Untersuchungen von FRUNDER⁴ am lebenden, ungereizten Gewebe und eigene Messungen durchschnittlich p_H -Werte von 7,3 ergeben haben.

Aus der Abb. 1 ist zu entnehmen, daß im Anschluß an den steilen p_H -Abfall kurz nach dem Tode die ersten p_H -Differenzen zwischen der Oberfläche und den Tiefenschichten von Organen auftreten, dann sehr schnell zunehmen und etwa zwischen dem 5. und 10. Tage post mortem ein Maximum erreichen. Nach einer kurzen Dauer etwa gleicher p_H -Differenzen werden die p_H -Unterschiede über Wochen geringer. Bei allen unseren Versuchen, die sich bis zu 3 Monaten hinzogen, wurden jedoch stets im Inneren der Organe niedrigere p_H -Werte als an der Oberfläche gemessen.

Bei Untersuchungen über die postmortale p_H-Veränderung der Oberfläche tierischer Organe⁵ habe ich 3 Phasen abgrenzen können: 1. der steile p_H-Abfall kurz nach dem Tode — 2. der folgende p_H-Anstieg über den Neutralpunkt hinaus bis zu p_H-Werten um 9 — 3. die langsame p_H-Abnahme innerhalb des alkalischen Bereiches.

Diese Phasen sind an der Oberflächenkurve (Abb. 1) gut erkennbar. Ebenfalls an den p_H-Werten in 1 cm Tiefe sind diese 3 Phasen deutlich festzustellen, wenn auch die Absolutwerte der beiden letzten Phasen

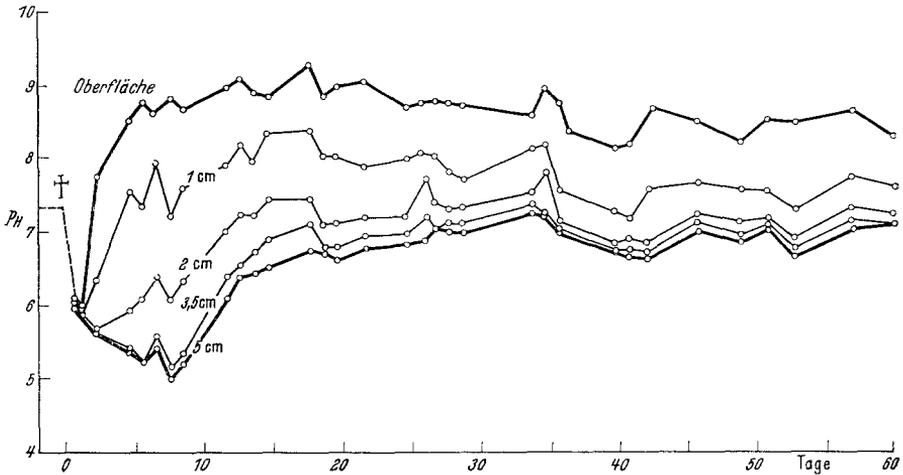


Abb. 1. Postmortaler p_H-Verlauf in den verschiedenen Tiefen eines Pferdemuskel.
(Ordinate: p_H-Wert; Abszisse: Zeit in Tagen.)

hier viel niedriger liegen. Der Maximalwert liegt bei 8,39 und damit um 0,87 p_H tiefer als an der Oberfläche. Mit zunehmender Tiefe ändert sich die Form der p_H-Zeitkurve. Das p_H-Minimum rückt tiefer (teilweise unterhalb von p_H 5,0), ist langdauernder, der folgende p_H-Anstieg ist nicht so steil. (Steilster Anstieg der Oberfläche = 0,68 p_H je Tag zwischen dem 2. und dem 6. Tage; in 5 cm Tiefe größter Anstieg 0,28 p_H je Tag zwischen dem 8. und dem 13. Tage.) Während zwischen dem 15. und dem 35. Tage an der Oberfläche die höchsten p_H-Werte erreicht werden (in Abb. 1 am 18. Tage) und danach das p_H langsam, aber kontinuierlich und deutlich abnimmt, steigen in 5 cm Tiefe die p_H-Werte langsam und kontinuierlich an und scheinen sich einem Endwert zu nähern, der um den Neutralpunkt liegen dürfte. Den 3 an der Oberfläche gefundenen Phasen kann man in 5 cm Tiefe 3 entsprechende Phasen gegenüberstellen: 1. der steile p_H-Abfall kurz nach dem Tode — mit der Oberfläche übereinstimmend, jedoch mit einem späteren und auch tiefer liegenden p_H-Minimum — 2. der folgende, zur Oberfläche weniger steile und weniger starke p_H-Anstieg bis zu Werten um 6,5 —

3. die langsame p_H -Zunahme bis zu einem Endwert, der etwa um p_H 7 zu liegen scheint.

Die Phasen der Oberfläche unterscheiden sich von denen der Tiefe nicht nur in der Höhe der p_H -Werte, sondern auch in ihrer Zeitdauer.

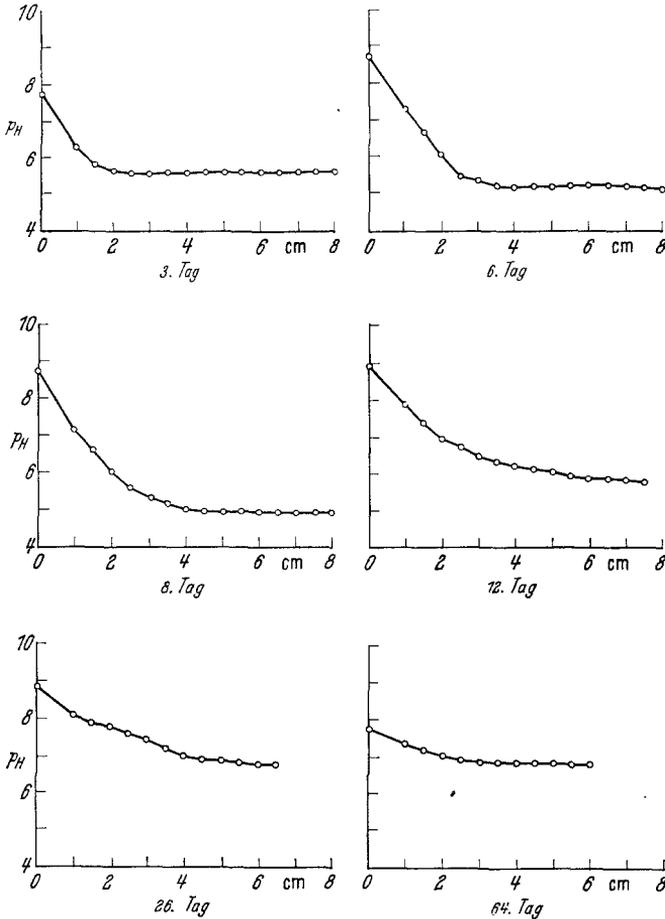


Abb. 2. Postmortales p_H -Gefälle von der Oberfläche zur Tiefe an verschiedenen Tagen bei einem Pferdemuskel. (Ordinate: p_H -Wert; Abszisse: Entfernung von der Oberfläche in Zentimeter.)

In der Tiefe dauert die abfallende Phase länger, an der Oberfläche die Phase des p_H -Anstiegs. Daraus ergeben sich unterschiedliche Intervalle, in denen — mit Ausnahme des ersten, kleinen Zeitabschnittes kurz nach dem Tode — ein p_H -Gefälle von der Oberfläche zur Tiefe besteht. Dabei nimmt das p_H nicht geradlinig ab, sondern man findet in unterschiedlichen Tiefen unterschiedliche p_H -Abnahme. Von der Art dieses p_H -Gefälles in den verschiedenen Zeitabschnitten erhält man am besten

einen Eindruck, wenn man die p_H-Werte gleicher Zeiten in Abhängigkeit von der Oberflächenentfernung aufträgt (Abb. 2).

In den ersten Stunden post mortem zeigt sich, wie auch aus Abb. 1 zu entnehmen ist, in allen Gewebeschichten ein gleichartiger Prozeß, der überall zu einer schnellen und deutlichen p_H-Abnahme führt. Die p_H-Differenz zwischen der Oberfläche und der Tiefe ist etwa gleich Null ($\Delta p_{\text{H}} = 0$). Man könnte diesen Abschnitt den der *fehlenden p_H-Differenzen* nennen (1. Tag in Abb. 2).

Während das p_H der Tiefe weiterhin fällt, sinkt das der Oberfläche nur noch sehr langsam, erreicht einen Minimalwert und steigt dann sehr

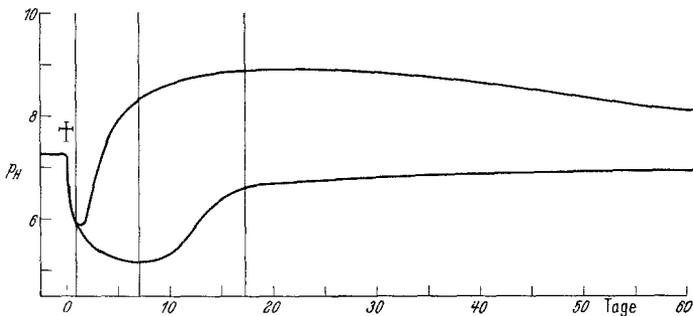


Abb. 3. Idealisierter, postmortaler p_H-Verlauf an der Oberfläche und im Inneren tierischer Muskulatur. (Ordinate: p_H-Wert; Abszisse: Zeit in Tagen.)

schnell an. Zu Beginn dieses Zeitabschnittes stellen sich zwischen der Oberfläche und den inneren Teilen von Organen die ersten p_H-Differenzen ein (3. Tag $\Delta p_{\text{H}} = 2,10$), die dann zunehmen (5. Tag $\Delta p_{\text{H}} = 3,15$; 6. Tag $\Delta p_{\text{H}} = 3,63$) und sehr schnell maximal werden (8. Tag $\Delta p_{\text{H}} = 3,79$). Der stärkste p_H-Abfall liegt in den obersten Gewebeschichten. Es ist die Zeit der *beginnenden und maximal werdenden p_H-Differenzen* (2. bis etwa 8. Tag).

Im 3. Abschnitt (12. Tag) steigen die p_H-Werte der Oberfläche und die der Tiefe gemeinsam an. Der steilere Anstieg in der Tiefe verändert die p_H-Unterschiede geringfügig. Es ist dies das Stadium der *wenig abnehmenden p_H-Differenzen bei allgemein ansteigendem p_H-Niveau*.

Durch den p_H-Abfall der Oberfläche und den weiteren langsamen p_H-Anstieg in der Tiefe verkleinern sich die p_H-Unterschiede weiterhin. Dieser Teil (etwa ab 20. Tag) ist durch *abnehmende p_H-Differenzen* gekennzeichnet.

Die Abb. 3 stellt den p_H-Verlauf an der Oberfläche und in Tiefen über 5 cm bei einem Muskel idealisiert dar. In ihr sind die 4 beschriebenen Abschnitte unterschiedlicher p_H-Differenzen durch senkrechte Linien abgetrennt.

In den oberflächlichen und in den tieferen Schichten tierischen Gewebes finden sich also nach dem Tode verschiedene p_H -Werte. Dies läßt auf unterschiedliche postmortale Abbauvorgänge schließen. An der Oberfläche müssen andere Bedingungen als in der Tiefe vorhanden sein: 1. Flüchtige, p_H -bestimmende Stoffe werden von der Oberfläche entweichen, 2. die oberflächennahen Gewebeteile können mit dem Luftsauerstoff Reaktionen eingehen.

Hierin sind wohl die Ursachen für die Stadien unterschiedlicher p_H -Differenzen zu sehen.

Das fallende p_H der letzten Phase an der Oberfläche darf man vielleicht auf eine Abnahme flüchtiger, alkalischer Stoffe, wie Amine und Ammoniak, zurückführen, die während dieser Zeit in größerer Menge entweichen, als sie durch weiteren Eiweißzerfall nachgebildet werden. In der Tiefe können die Stoffe sich nicht verflüchtigen. Die Anreicherung dieser alkalischen Produkte hat den langsamen p_H -Anstieg zur Folge, der während der 3. Phase im Gewebeinneren stets gemessen wurde. Auf diese Art ist die langsame Abnahme der p_H -Differenzen von der Oberfläche zur Tiefe in diesem letzten Abschnitt postmortaler p_H -Veränderungen zu erklären.

In der *Phase beginnender Eiweißzerstörung*⁵ werden die ersten p_H -Differenzen zwischen der Oberfläche und den tieferen Organteilen gemessen. Man kann also annehmen, daß diese Verschiedenheit der Wasserstoffionenkonzentration durch unterschiedlichen oder unterschiedlich schnellen Abbau des Eiweißes zu alkalischen Produkten hervorgerufen wird.

Für die Entstehung alkalischer Produkte ist der wesentliche Teil der Proteolyse die Zerstörung der Aminosäuren. Nach der Lehrbuchmeinung können sie dekarboxyliert, sowie reduktiv, wie oxydativ als hydrolytisch desaminiert werden. Entsprechend dem jeweils herrschenden Redoxpotential muß der oxydative Abbau an der Oberfläche, der reduktive in der Tiefe vor sich gehen^{6, 7}.

Würden bei diesen unterschiedlichen Abbauvorgängen gleiche Mengen alkalischer Stoffe entstehen, so könnten keine p_H -Differenzen gefunden werden. Der von uns stets beobachtete p_H -Abfall zum Inneren der Organe kann dadurch erklärt werden, daß die Zerlegung der Eiweißkörper zu alkalischen Endprodukten in sauerstoffhaltiger Umgebung anders und intensiver vor sich geht als bei der negativen Redoxlage faulender, luftabgeschlossener Gewebeteile.

Somit ist es möglich, die sich bildenden p_H -Unterschiede zwischen Oberfläche und Tiefe von Organen auf den unterschiedlichen oder unterschiedlich schnellen Abbau des Eiweißes unter aeroben und anaeroben Bedingungen zurückzuführen. Die langsame Abnahme der p_H -Differenzen etwa vom 20. Tage ab kann durch Entweichen flüchtiger, alkalischer Stoffe von der Oberfläche erklärt werden.

Zusammenfassung.

Bei Zimmertemperatur wurde die Wasserstoffionenkonzentration im Leber-, Muskel- und Gehirnbrei elektrometrisch mit Glaselektroden bis 9 cm tief gemessen. Von 5 cm ab ist nur noch eine geringe Änderung der Wasserstoffionenkonzentration zu beobachten, so daß die in 5 cm Tiefe gemessenen p_H-Werte auch für tiefere Organabschnitte gelten.

Den 3 an der Organoberfläche gefundenen Phasen kann man in 5 cm Tiefe 3 entsprechende Phasen gegenüberstellen: 1. Der steile p_H-Abfall kurz nach dem Tode — mit der Oberfläche übereinstimmend, jedoch mit einem späteren und auch tiefer liegenden p_H-Minimum — 2. der folgende, zur Oberfläche weniger steile und weniger starke p_H-Anstieg bis zu Werten um p_H 6,5 — 3. die langsame p_H-Zunahme (entgegen der p_H-Abnahme an der Oberfläche) bis zu einem Endwert, der etwa um p_H 7 zu liegen scheint.

Der unterschiedliche Verlauf der Wasserstoffionenkonzentration an der Oberfläche und in tieferen Schichten bedingt ein p_H-Gefälle von der Oberfläche zum Inneren von Organen. Die p_H-Differenzen nehmen anfangs zu, erreichen um den 8. Tag ein Maximum ($\Delta = 3,5$ bis 4,0 p_H-Einheiten) und verringern sich in den folgenden Wochen deutlich.

Diese p_H-Differenzen werden als der Ausdruck eines unterschiedlichen und vielleicht auch unterschiedlich schnellen Abbaus der Eiweißkörper angesehen. An der sauerstoffreichen Oberfläche, also bei positiver Redoxlage, findet ein aerober Abbau mit der Bildung großer Mengen alkalischer Produkte statt; in den sauerstoffarmen, tieferen Gewebeschichten herrschen reduzierende Stoffe vor, der anaerobe Abbau des Eiweißes führt zu geringeren Mengen alkalischer Substanzen.

Literatur.

¹ LAET, MAURICE DE: Ann. Méd. lég. etc. **6**, 497 (1926). — ² MICHALKA, J.: Z. Fleisch- u. Milchhyg. **52**, 165 (1942). — ³ VOLOVI, M.: Z. Fleisch- u. Milchhyg. **52**, 15 (1942). — ⁴ FRUNDER, HORST: Die Wasserstoffionenkonzentration im Gewebe lebender Tiere. Jena: Gustav Fischer 1951. — ⁵ LORKE, DIETRICH: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **42**, 167 (1953). — ⁶ SCHMIDT, OTTO: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **37**, 20 (1943). — ⁷ SCHMIDT, OTTO: Zbl. Path. **87**, 257 (1951).

Dr. D. LORKE, Göttingen,
Institut für gerichtliche Medizin der Universität.