

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

3303

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297611

Ueber das Holz

als Baumaterial des Wasserbaues

von Dr. h. c. h. H. v. S. v. S.

des Holzes und seine Durcheinander-

verhältnisse

Fritz Richter



XXX.

713

Z. d. L.

Ueber das Holz als Baumaterial des Wasserbaues

insbesondere

über die Höhenlage der Fäulnisgrenze
des Holzes und seine Dauerhaftigkeit
unter verschiedenen Verhältnissen.

Von

Fritz Richter

aus Hamburg.

Von der Herzoglichen Technischen Hochschule

Carolo-Wilhelmina

zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation.

Referent: Geheimer Hofrat Professor Max Möller.

Korreferent: Geheimer Hofrat Professor Dr.-Ing. Rudolf Schöttler.

Eingereicht am 21. Juni 1910.



HANNOVER.

Druck von Stridde & Seewöster.

1911.

Handwritten:
F. 16
67
XX X
713

BIBLIOTEKA PAŃSTWOWA
KRAKÓW

II 3303

Akc. Nr. 3328/49

MEINEM LIEBEN FREUNDE

HERRN GERHARD TRINKS

IN SANTOS
GEWIDMET.

Inhaltsübersicht.

Benutzte Literatur	Seite 8
------------------------------	---------

ERSTES KAPITEL.

Einleitung.

1. Zweck und Umfang der Abhandlung	Seite 9
--	---------

ZWEITES KAPITEL.

Allgemeines über das Bauholz.

2. Das Holz als Baumaterial des Wasserbaues	Seite 10
3. Die für den Wasserbau in Betracht kommenden deutschen Holzarten und ihre hauptsächlichlichen Eigenschaften	„ 11

DRITTES KAPITEL.

Betrachtungen über den Fäulnisvorgang am lebenden und am toten Holz.

4. Die am Bauholz im Wasserbau auftretenden Fäulnisprozesse	Seite 12
5. Über Fäulnisercheinungen am lebenden Holz	„ 13
6. Über die Entstehung der Fäulnisprozesse	„ 15
7. Die Fäulnisercheinungen am Bauholz:	
1. Die Weißfäule	„ 15
2. Die Naß- oder Rotfäule	„ 16
8. Natürlicher Schutz des Holzes gegen die Fäulnis	„ 18

VIERTES KAPITEL.

**Die vorgefundenen Ergebnisse aus den Versuchen
des Herrn Geheimen Hofrates Professor Möller.**

9. Vorbemerkungen über die Zwecke der vorliegenden Arbeit und der Möllerschen Versuchsstrecke	Seite 18
10. Das verwandte Holzmaterial	„ 19
11. Zurichtung und Einsetzung der Pfähle für die Versuchsstrecke	„ 20
12. Versuchsergebnisse:	
1. Pfähle ohne Beton	„ 21
2. Pfähle mit Betonmantel	„ 22
13. Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz	„ 23
14. Verhalten des Holzes in luftiger Lage	„ 24
15. Schlussergebnis	„ 24

FÜNFTES KAPITEL.

**Zustand der nach 13 Jahren von dem Verfasser
aus dem Boden entfernten Versuchspfähle von
Geheimrat Möller.**

16. Vorbemerkungen:	
1. Die noch vorhandenen Versuchspfähle	Seite 24
2. Zustand der Versuchsstrecke	„ 25
17. Pfähle ohne Beton	„ 26
18. Pfähle mit Betonmantel:	
1. Der Riß im Betonmantel, seine Entstehung und sein Verlauf	„ 27
2. Die Beschaffenheit der Pfähle	„ 28

SECHSTES KAPITEL.

**Die mit den Pfählen angestellten Biegungs- und
Druckversuche und deren Ergebnisse.**

19. Die Versuchsmaschine	Seite 30
20. Die Biegungsversuche der Tabelle I	„ 33
21. Die Druckversuche der Tabelle II.	„ 37

22. Die Ergebnisse der Biegungs- und Druckversuche:	
1. Pfähle mit Betonmantel	Seite 37
2. Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz	„ 43
3. Vergleich der Pfahlstrecken β der Pfähle mit und ohne Betonmantel	„ 44
4. Kiefernholz mit Carbolineum getränkt; Mitteilungen über in Swinemünde angestellte Versuche mit Kiefernholz	„ 46
5. Verhalten des Holzes in luftiger Lage	„ 47
6. Allgemeines über die Druckversuche	„ 47
7. Die Zerstörungerscheinungen an den Druckkörpern	„ 50
8. Schlußergebnis	„ 53

SIEBENTES KAPITEL.

**Die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes
nach gesammelten Mitteilungen Deutscher Wasserbau-
behörden.**

22. Allgemeines über die hier wiedergegebenen Mitteilungen	Seite 54
23. Die Fäulnisgrenze im Ebbe- und Flutgebiet der Nordsee	„ 56
24. Die Fäulnisgrenze bei ständig gleichbleibendem Wasserspiegel	„ 58
25. Die Fäulnisgrenze bei Wasserbauten in der Ostsee	„ 59
26. Die Fäulnisgrenze bei Holzbauwerken in Flussläufen	„ 60

ACHTES KAPITEL.

**Die Dauerhaftigkeit des Holzes unter verschiedenen
Verhältnissen.**

27. Allgemeines über die die Dauerhaftigkeit des Holzes beein- flussenden äußeren Umstände	Seite 64
28. Beispiele für besonders hohe Dauerhaftigkeit des Holzes bei seiner technischen Verwertung	„ 68
29. Die Lebensdauer der Hölzer bei ihrer Verwendung im Wasser- bauunter verschiedenen Verhältnissen.	
1. Die aus den Versuchen in Kapitel 4 und 5 sich ergebende Lebensdauer der Versuchspfähle	„ 70
2. Die Lebensdauer der Hölzer nach Angaben Deutscher Wasserbaubehörden	„ 71
30. Über das Auftreten des Bohrwurmes an der Deutschen Nord- seeküste	„ 73

Benutzte Literatur.

- Möller, Grundriß des Wasserbaues I, (Verlag Hirzel, Leipzig).
Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Wasserbau III,
2, 1, 3. Auflage (Verlag Engelmann, Leipzig).
- Mayer, Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial,
aus der Sammlung Handbuch der chemischen Technologie
(Verlag Vieweg und Sohn, Braunschweig).
- Nördlinger, Die technischen Eigenschaften der Hölzer (Cotta-
scher Verlag, Stuttgart).

ERSTES KAPITEL.

Einleitung.

1. Zweck und Umfang der Abhandlung.

Im Gegensatz zu der Verwendung des Holzes im Häuserbau und in der Architektur, wo es ohne Bedenken auch in Fällen Verwendung finden kann, die eine lange Lebensdauer des Holzes voraussetzen, erweist sich die Verwendung des Holzes als Baumaterial des Wasserbaues nur dann als opportun, wenn einer Erneuerung des Bauwerkes nach verhältnismäßig kurzer Zeit keine schwerwiegenden Bedenken entgegenstehen, und trotz der Kosten einer baldigen gänzlichen oder teilweisen Erneuerung des Bauwerkes eine wesentliche Ersparnis der Errichtung massiver Bauwerke gegenüber nachweisbar ist. Die Lebensdauer der Holzbauwerke, welche durch die am Holz auftretenden Fäulnisprozesse begrenzt ist, hängt dabei vor allem von der Beschaffenheit des verwandten Materials und den äußeren Umständen ab, in denen sich das Bauwerk befindet.

Die vorliegende Arbeit behandelt einige Versuche, die an Holzpfehlen vorgenommen sind, welche bis zu 13 Jahre lang sich im Boden befunden haben und entweder ungeschützt gestanden haben oder auf verschiedene Weise gegen die äußeren Verwitterung und Fäulnis bedingenden Angriffe geschützt waren. Die betreffenden Versuche bilden nur einen Teil von umfangreichen, wissenschaftlichen Versuchen, die von dem Herrn Geheimen Hofrat Professor Möller zu Braunschweig an Baumaterialien zwecks Erforschung und Demonstrierung ihrer Brauchbarkeit als Baumaterialien des Wasserbaues angestellt wurden; es gelangt hier nur derjenige Teil zur Veröffentlichung, welcher sich mit dem Holz als Baumaterial des Wasserbaues befaßt.

Der erste Abschnitt dieser Versuchsreihe wurde von Professor Möller nach fünfjähriger Versuchsdauer abgeschlossen. Die nach 13 Jahren an Hand des vorhandenen Versuchsmaterials noch weiterhin gelieferten Ergebnisse haben sich aus selbstständigen Untersuchungen des Verfassers ergeben. Besonderer Wert ist auf eine eingehende Untersuchung von einigen Pfählen gelegt worden, die sich 13 Jahre lang in einem Betonmantel befunden hatten. Die Arbeit befaßt sich außerdem noch mit erläuternden Betrachtungen über den Fäulnisvorgang am lebenden und am toten Holz, mit der Wiedergabe und sinngemäßen Zusammenfassung von dem Verfasser auf Anfrage übermittelten Angaben deutscher Wasserbaubehörden über beobachtete Höhenlage der Fäulnisgrenze und Lebensdauer des Holzes im Wasserbau sowie mit einigen Beispielen für die Dauerhaftigkeit des Holzes unter verschiedenen Verhältnissen.

ZWEITES KAPITEL.

Allgemeines über das Bauholz.

2. Das Holz als Baumaterial des Wasserbaues.

Trotz der vielfachen Verwendung von Stein und Eisen bei den modernen Ingenieurbauten hat das Holz seine Nützlichkeit und Verwendbarkeit als Baustoff nicht eingebüßt, denn der Verbrauch an Bauholz hat bislang nicht abgenommen. Erscheint die Beliebtheit des Holzes als Baumaterial für die Zwecke der Architektur und des Hochbaues wegen seiner Leichtigkeit, seiner verhältnismäßig großen Lebensdauer, seiner Billigkeit und seiner leichten Bearbeitbarkeit auch nicht sehr verwunderlich, so ist es doch immerhin bemerkenswert, daß es sich auch auf dem Gebiete des Wasserbaues als Baustoff zu halten vermocht hat, trotzdem seine vegetabilische Natur sich hier oft als wenig widerstandsfähig gegen äußere Angriffe erwiesen hat. Die Gründe dafür, daß das Holz nichtsdestoweniger seinen Platz unter den Baumaterialien des Wasserbaues hat behaupten können, liegen vor allem in der größeren Billigkeit und Leichtigkeit einer Holzkonstruktion gegenüber massiven

Konstruktionen, wie auch darin, daß durch sachgemäße Anordnung und sorgfältige Ausführung von hölzernen Wasserbauwerken ihre Lebensdauer erhöht werden kann, zumal diese bei den Teilen dieser Bauwerke, die dauernd gänzlich unter Wasser liegen, schon an und für sich eine bedeutende ist.

Über die Verwendung des Holzes im Wasserbau führt das Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3. Aufl. III, 2, 1 auf Seite 307 das Nachfolgende an: «. . . Beim Wasserbau wird das Holz verwendet in Gestalt von Buschholz und Stammholz. . . . Das Stammholz, das eigentliche Bauholz, wird als Rundholz, Kantholz und Schnittholz verbraucht. Dabei handelt es sich um Gattungen, die häufig und daher wohlfeil, leicht an die Baustelle zu bringen und mit geringst möglichem Arbeitsaufwand in gebrauchsfertige Stücke oder Bauteile zu verwandeln sind. Beim Flußbau insbesondere verlangt man, daß das Holz in mäßig großen Stücken zu haben, weich zu bearbeiten und zu nageln, leidlich steif und insektensicher sei, aber auch den verderblichen Einflüssen, welchen es gerade hier ausgesetzt werden muß, widerstehe, wohingegen es auf große Härte, Festigkeit, Zähigkeit, oder darauf, ob die Hölzer nach der Verwendung schwinden, weniger anzukommen pflegt.»

3. Die für den Wasserbau in Betracht kommenden deutschen Holzarten und ihre hauptsächlichlichen Eigenschaften.

Es eignen sich demnach nicht alle in Deutschland vorhandenen Holzarten für die Verwendung im Wasserbau. Während die Nadelhölzer fast durchweg als für diesen Zweck durchaus geeignet und in hohem Maße brauchbar bezeichnet werden müssen, vermag von den Laubhölzern nur eine geringe Anzahl einigermaßen den Anforderungen zu genügen, welche der Wasserbau an seine Materialien stellt. Die Nadelhölzer, die für den Wasserbau am geeignetsten sind (Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, 3. Aufl. III., 2, 1, Seite 309), sind die Kiefer oder Föhre (*Pinus sylvestris*), die Rottanne oder Fichte (*Abies excelsa*), die Weiß- oder Edeltanne (*Abies pectinata*) und die Lärche (*Larix europaea*), während von den Laubhölzern vor allem die Eiche (*Quercus pendunculata*), die Rotbuche (*Fagus*

sylvatica), die Erle (*Alnus glutinosa*) und die Ulme (*Ulmus campestris*) in Betracht kommen. Von den Nadelhölzern gilt durchweg, daß sie ihres Harzgehaltes wegen, von dessen konservierender Wirkung weiter unten noch die Rede sein wird, sich unter Wasser gut halten, während sie, wechselnder Trockenheit und Nässe ausgesetzt, jedoch recht vergänglich sind, mit der Einschränkung allerdings, daß sich das Holz bei wiederholt sich vollziehender völliger Austrocknung lange gesund erhält. Als Beispiel sei hier eine Kranstrebe erwähnt, die so angebracht war, daß auch ihre Endigungen völlig austrocknen konnten; diese hielt sich im Freien über 20 Jahre lang gesund, wie dem Verfasser von einem Augenzeugen mitgeteilt wurde. Als ein großer Vorzug der Nadelhölzer muß außerdem ihre Insekten-sicherheit bezeichnet werden, wie auch ihre geraden Fasern und ihre regelmäßig gestalteten Stämme von großem Vorteil sind, da sie die Herstellung langer Stücke ermöglichen, die Zug oder Biegung aushalten, oder zu Verkleidungen dienen können. Was die Laubhölzer anbetrifft, so sind diese in ihren Eigenschaften keineswegs so uniform wie die Nadelhölzer. Als gutes, hervorragend festes Baumaterial bekannt ist das Eichenholz, wenngleich es an Insekten-sicherheit und Beständigkeit bei Wechsel von Nässe und Trockenheit wie alle Laubhölzer zu wünschen übrig läßt. Das Buchenholz erweist sich im allgemeinen ebenfalls unter Wasser als dauerhaft, ebenso das Erlen- und Ulmenholz; es erstreckt sich der Fäulnisvorgang bei diesen Hölzern jedoch oft auch unter den niedrigsten Wasserstand hinunter.

DRITTES KAPITEL.

Betrachtungen über den Fäulnisvorgang am lebenden und am toten Holz.

4. Die am Bauholz im Wasserbau auftretenden Fäulnisprozesse.

Falls nicht äußere Einflüsse, wie Eisgang, Beschädigungen durch den Schiffsverkehr und dergl., zu der vorzeitigen Vernichtung eines Holzbauwerkes im Wasserbau führen, so ist seine Lebensdauer durch die Fäulnisprozesse begrenzt, welche

die freiliegenden Teile des Bauwerks ergreifen und in verhältnismäßig kurzer Zeit vernichten. Vollständig unter Wasser liegende Konstruktionsteile bleiben dabei meist von diesen Erscheinungen verschont, selbst wenn sie in ihren freistehenden Partien von der Fäulnis befallen sind. Es steht sogar fest, daß ständig unter Wasser befindliches Holz im Laufe der Zeit beträchtlich an Widerstandsfähigkeit gegen Fäulnisangriffe gewinnt, indem schädliche Proteinstoffe ausgewaschen werden, und zugleich durch Ablagerung von mineralischen Bestandteilen in den Hohlräumen des Holzes eine Art von Verkieselung des Holzkörpers platzgreift. (Dr. Adolf Mayer, Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial, Seite 87.) Naturgemäß haben hier Fäulnisprozesse, wie sie am lebenden Baum und am freistehenden Bauholz auftreten, keinen Raum mehr.

Man unterscheidet unter den Fäulnisprozessen die Weiß- oder Trockenfäule, auch als Vermoderung bezeichnet, und die Naßfäule, auch Rotfäule oder einfach »Fäulnis« genannt. Die vielfach noch angeführte sog. Humifizierung des Holzes hat mit der Fäulnis sehr große Ähnlichkeit, wird auch bei entsprechender Temperaturerhöhung sofort von dieser verdrängt. Charakteristisch für sämtliche Fäulnisprozesse ist die als Folgeerscheinung auftretende vollständige Lockerung des innern Zusammenhalts der Holzfasern sowie eine tiefgreifende chemische Veränderung der Holzmasse, die sinnfällig durch bedeutenden Gewichtsverlust und vollständige Änderung der Naturfarbe in die Erscheinung tritt.

5. Über Fäulniserkrankungen am lebenden Holz.

Fäulniserkrankungen können das Holz in allen Stadien befallen, die es bis zu seiner Verwendung als Bauholz in lebendem oder totem Zustande durchmacht: ist es bis zu seiner Verwertung in der Technik gesund geblieben, so fällt es auch dann in den allermeisten Fällen noch den Fäulnisprozessen zum Opfer. Als Beispiel für Fäulniserkrankungen, wie sie mit Leichtigkeit das Holz befallen können, bevor es noch technischen Zwecken gedient hat, mögen die in den Abbildungen 1 und 2 wiedergegebenen Holzproben dienen. Die Abbildung 1 zeigt ein Holzbrett, an dessen einer Seite ein Längsspalt sichtbar ist, der auf Hirschfraß zurückzuführen ist. Die Rinde

des Holzes ist nach dieser Oberflächenverletzung allmählig über die Wunde gewachsen. Da jedoch für die an diese Stelle von dem lebenden Baum geschafften Säfte eine ihrer Menge entsprechende Weiterführung nach oben nicht geschaffen werden konnte, denn durch die Wunde des Baumes war das nach oben führende Röhrensystem vernichtet worden, so war die Feuchtigkeit nach unten in das Bauminnere gesickert und hatte hier einen Fäulnisherd erzeugt, der in Form eines nach unten gerichteten Keiles auf der Abbildung sichtbar ist. In der Abbildung 2 ist ein Holzbalken wiedergegeben, der auf seiner ganzen Oberfläche mit tiefen Rissen bedeckt ist, in denen Fäulnisprozesse bereits ihre zerstörende Wirksamkeit begonnen haben. Der Balken ist so, wie er auf der Abbildung



Abb. 1.

wiedergegeben ist, noch nicht bei Bauten verwendet worden, vielmehr sind diese Zerstörungserscheinungen darauf zurückzuführen, daß der Balken während seiner Lager-

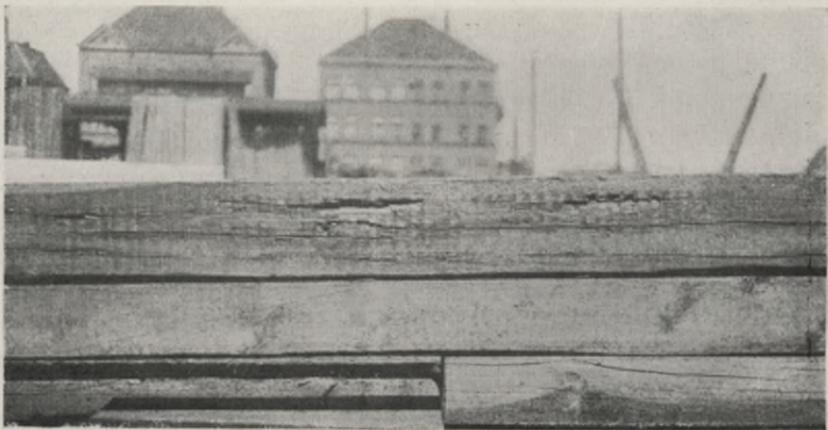


Abb. 2.

zeit auf feuchtem Waldboden starkem Sonnenschein ausgesetzt war, ohne daß für diese nachteiligen äußern Umstände ein Ausgleich durch häufigeres Wenden des Balkens geschaffen worden war. Infolge der einseitigen Austrocknung des Balkens sind dann diese großen Risse entstanden, die ihrerseits der Fäulnis ermöglichten, auf dem Balken festen Fuß zu fassen.

6. Über die Entstehung der Fäulnisprozesse.

Über die eigentliche Ursache d. h. über den oder die Krankheitserreger, welche die Fäulnis in das lebende sowohl wie in das tote Holz hineintragen, ist man sich nicht klar. Man nimmt mit Sicherheit an, daß es sich entweder um ein sich stets wieder von neuem erzeugendes chemisches Ferment handelt oder um das Auftreten von zerstörenden Mikroorganismen, bei denen die Neuerzeugung selbstverständlich ist (Meyer, Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial, Seite 90); für die Vermoderung oder Weißfäule kommen außerdem noch Parasiten in der Gestalt kryptogamer Pilze in Betracht, die große Ähnlichkeit haben mit dem Erzeuger des Hausschwammes (*merulius lacrymans*), der selbst für Wasserbauten jedoch kein Interesse hat. Begünstigt wird der Zerstörungsvorgang jedenfalls durch erhöhte Temperatur, durch die Anwesenheit von Wasser sowie durch das Vorhandensein von proteïnartigen organischen Stoffen wie sie im jüngern Holz, vor allem im Splint, stets reichlich vorhanden sind.

7. Die Fäulnisercheinungen am Bauholz.

1. Die Weißfäule.

Die Weißfäule tritt dementsprechend an Orten ein, die dem Holz nicht gestatten, diejenigen Mengen von Feuchtigkeit, die es noch in sich hat, durch Verdunstung abzugeben, oder auch, wenn das Holz bei nicht zu niedriger Temperatur häufig angefeuchtet wird, ohne zwischendurch völlig austrocknen zu können. Es muß hierbei besonders darauf hingewiesen werden, daß die Weißfäule nur bei Anwesenheit von Luft einzutreten vermag, denn der atmosphärische Sauerstoff hat hervorragenden Anteil an den bei der Vermoderung erfolgenden chemischen Umsetzungen. Dieser Fäulnisprozeß kennzeichnet sich also als ein Oxydationsvorgang, für den die Umwandlung der den Holzkörper bildenden Kohlehydrate in spezifisch bedeutend leichtere organische Substanzen unter Absonderung von Kohlensäure und Wasserdampf charakteristisch ist. Das Holz nimmt eine helle, meist schneeweiße Färbung an und erhält eine vollständig zerreibliche Beschaffenheit, die es technisch völlig unbrauchbar macht.

Erwähnenswert ist bei der Vermoderung ebenso wie bei der eigentlichen »Fäulnis« des Holzes, die hier als »Naßfäule« bezeichnet werden soll, daß die Erkrankung des Holzkörpers an einem oder mehreren Punkten beginnt und sich von diesen gleichmäßig über das betreffende Holzstück ausbreitet, dabei aber auch auf anliegende Konstruktionsteile überzugreifen vermag, wodurch diese ihrerseits von der betreffenden Fäulniserscheinung infiziert werden. Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit ist es belanglos, ob es sich bei der weitem Ausbreitung der Fäulnisprozesse um ein wirksames chemisches Ferment handelt, oder ob diese Vorgänge, die mit der vollständigen Unbrauchbarkeit des befallenen Materials enden, auf den Stoffwechsel und die Vermehrung niederer Formen oder auf die Verbreitung von parasitären Pilzen über den Holzkörper zurückzuführen sind; es erübrigt sich daher, auf diesen Punkt näher einzugehen. Erwähnenswert ist an dieser Stelle eine Tatsache, auf die Mayer auf Seite 86 seines wiederholt angezogenen Werkes hinweist, daß nämlich an der Ausdehnung des Fäulnisprozesses auf noch gesund erscheinende Holzteile die große Wasserkapazität, die allem faulen Holz eigen ist, einen hervorragenden Anteil hat, indem durch die sich mitteilende Feuchtigkeit ein wichtiger Faktor für das Zustandekommen der Zersetzungserscheinungen creiert wird.

2. Die Naß- oder Rotfäule.

Für die Naßfäule ist die von Mayer so sehr betonte Wasserkapazität des faulenden Holzes ohne Frage von besonders großer Bedeutung, da diese Holzkrankheit, wie schon der Name verrät, nur bei Anwesenheit von größeren Mengen Wasser zu entstehen vermag. Begünstigend wirken auch hier eine gewisse Höhe der Temperatur und die Anwesenheit von proteinartigen organischen Substanzen. Als Beispiel möge der folgende Fall dienen, der im Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1906, Seite 23, mitgeteilt wurde, und auf den der Verfasser von Herrn Königl. Baurat Hahn zu Frankfurt am Main aufmerksam gemacht wurde: »Zerstörung von Hölzern in weitem Maße ist an den Toren der Schleuse in Frankfurt am Main bei ihrer Auswechslung, allerdings nach 17jährigem Bestehen, festgestellt worden. An den Toren zeigten sich äußerlich auffallende Spuren einer Zerstörung nicht. Wende-

und Schlagsäule und Riegel des Tores bestanden aus Eichenholz. Die Wende- und Schlagsäulen waren in ihrem Innern von der Höhe des Unterwasserspiegels an einer weitgehenden Fäulnis anhetmgefallen.« Die Gründe für die eingetretenen Fäulniserscheinungen waren die nachfolgenden. An den Verbindungsstellen zwischen den Riegeln und Säulen war Wasser eingedrungen und infolge des Aufsaugevermögens des Holzes in der Faserrichtung empor gestiegen. Durch Teeranstrich, der die Poren des Holzes verstopft, sowie durch Blechkappen auf den Säulen war das Verdunsten des Wassers ausgeschlossen, sodaß das Holz ein Opfer der Fäulnis wurde. Es war hier also der Fall eingetreten, daß Holz sich bei nicht zu niedriger Temperatur an einem Ort befand, der dem Holz nicht gestattete, seine Feuchtigkeit durch Verdunstung abzugeben. — Es dürfte zweckmäßig sein, hier noch besonders darauf hinzuweisen, daß die Höhe der Temperatur tatsächlich eine bedeutende Rolle bei der Entstehung der Fäulnis spielt. So ist allgemein bekannt, daß Fäulnisprozesse jeder Art, nicht nur die am Holz auftretenden, durch sehr niedrige Temperatur vollständig inhibiert werden. Es sei hier nur an die konservierende Wirkung des Polareises erinnert, in welchem sich die Kadaver vorsintflutlicher Tiere Jahrtausende lang vollständig erhalten haben. Bekannt ist auch, daß in sehr kalten Gegenden, z. B. im Innern Sibiriens, Holz niemals durch Fäulnis angegriffen wird.

Der wesentliche Unterschied zwischen Fäulnis und Vermoderung liegt darin, daß der atmosphärische Sauerstoff keinen oder nur geringen Anteil an den chemischen Prozessen der Naßfäule hat, jedenfalls tritt diese mit Vorliebe unter Verhältnissen ein, die ein Mitwirken atmosphärischen Sauerstoffs ausschließen, wie z. B. in feuchter, von der Luft abgeschlossener Erde und in stehendem Sumpfwasser. Chemisch handelt es sich nach Meyer (Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial, Seite 88) um einen tiefgreifenden Spaltungsprozeß, der zur Absonderung von Sumpfgas oder dem Sumpfgas ähnlichen Kohlehydraten führt und als eine sekundäre Erscheinung die Entwicklung von Kohlensäure und Wasserdampf aufweist. Das Produkt der Zersetzung ist dunkel, rotbraun bis schwarz, gefärbt und hat seine feste Konsistenz und seine technische Nutzbarkeit vollständig eingebüßt.

8. Natürlicher Schutz des Holzes gegen die Fäulnis.

Besondere Betonung verdient an dieser Stelle die Tatsache, daß die Naßfäule bei Wasserbauten innerhalb einer größeren Menge frei umspülenden Wassers nicht einzutreten vermag; es tritt in diesem Falle wohl eine derartige Verdünnung der die Naßfäule bedingenden Substanzen ein, daß Zersetzungsprozesse keinen geeigneten Boden für ihre Ausdehnung finden. Dem Holzkörper ist übrigens auch in vielen Fällen von der Natur ein recht wirksamer Schutz gegen Fäulnisangriffe verliehen, so z. B. den Eichen durch ihren Gerbstoffgehalt und den Nadelhölzern durch ihren Harzgehalt. Die Gerbsäure geht mit dem für die Erhaltung des Holzes überaus nachteiligen, weil Fäulnis begünstigenden, protoplasmatischen Zellsaft des Holzkörpers unlösliche und daher ungefährliche Verbindungen ein, während der Harzgehalt der Nadelhölzer die der Holzfaser sonst eigentümliche, stark hygroskopische Beschaffenheit beseitigt. Dieser natürliche Schutz des Holzes behält allerdings nur dann seine Wirksamkeit, wenn das Holz nicht ständigem Wechsel von Nässe und Trockenheit ausgesetzt ist, ohne daß häufiger völlige Austrocknung einzutreten vermag.

VIERTES KAPITEL.

Die vorgefundenen Ergebnisse aus den Versuchen des Herrn Geheimen Hofrates Professor Möller.

9. Vorbemerkungen über die Zwecke der vorliegenden Arbeit und der Möllerschen Versuchsstrecke.

In dem eben erwähnten Fall wird die Lebensdauer eines Holzbauwerkes auch bei grossem Harz- oder Gerbstoffgehalt nur eine kurz bemessene sein. Meist liegen dabei die Verhältnisse so, daß das Holzbauwerk nur teilweise ständigem Wechsel von Nässe und Trockenheit ausgesetzt ist, daß also auch nur eine teilweise Zerstörung der hölzernen Konstruktionsteile durch die Fäulnis eintritt. Es ist die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, auf Grund von Versuchen und gesammelten Mitteilungen über die örtliche Lage dieser Fäulniserscheinungen

Näheres zu bringen, die hierbei auftretenden Nebenumstände einer eingehenden Erörterung zu unterziehen sowie über die Dauerhaftigkeit des Holzes unter verschiedenen Verhältnissen Erhebungen anzustellen.

Dem Verfasser stand für diese Zwecke eine Versuchsstrecke zur Verfügung, die von Herrn Geheimrat Möller bereits im April des Jahres 1897 an der Oker in Braunschweig angelegt war, um Studierenden der Technischen Hochschule in Braunschweig »das Verhalten von Baumaterialien bei Verwendung am Wasser gegenüber den äußeren eine Verwitterung und eine Fäulnis bedingenden Angriffen« zeigen zu können. Es verdient besondere Betonung, daß diese Versuche mit Mitteln angestellt wurden, welche das Herzogliche Staatsministerium durch eine außerordentliche Bewilligung für diesen

Zweck zur Verfügung gestellt hatte. Für die vorliegende Arbeit kommt nur derjenige Teil dieser umfangreichen wissenschaftlichen Versuche in Frage, der Aufschlüsse über das Verhalten des Holzes als Baumaterial des Wasserbaues gibt. Die verschiedenartige Einwirkung von Boden, Grundwasser und Witterung auf Holz, das entweder ungeschützt gelassen war oder mit Ölfarbe gestrichen bzw. mit Carbolineum getränkt wurde, sollte auf dieser Ver-

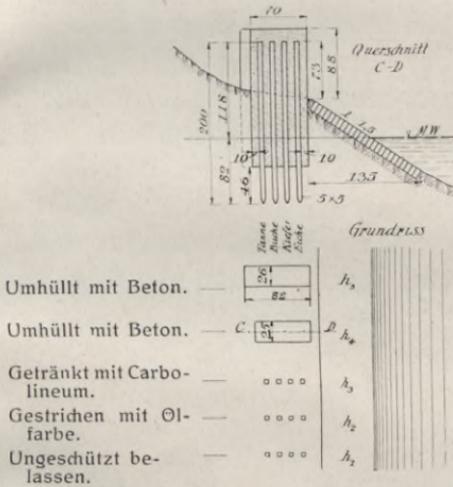


Abb. 3.

suchsstrecke demonstriert werden, desgleichen sollten Pfähle, die mit Beton bis unterhalb des Grundwasserspiegels umhüllt waren, einer eingehenden Prüfung unterzogen werden. Die Abbildung 3 zeigt einen Grundriß und einen Querschnitt desjenigen Teiles der Versuchsstrecke, in den die in Frage kommenden Versuchspfähle eingesetzt wurden.

10. Das verwandte Holzmaterial.

Das zur Verwendung gelangende Holz war Eichen-, Kiefern-, Buchen- und Tannenholz. Es wurde gewöhnliches

vierkantiges Schnittholz verwandt, da für die Zwecke der Versuchsstrecke nur beschränkte Mittel zur Verfügung standen, so daß die Beschaffung von ausgesuchtem Material zu kostspielig erschien, während gegen die Verwendung von Rundpfählen aus jungem Holz die große Vergänglichkeit des Splints sprach, der bei jungem Holz bekanntlich besonders reichlich vorhanden und der Fäulnis in erhöhtem Maße zugänglich ist. Nach Rücksprache mit dem derzeitigen Lieferanten der Versuchshölzer stellte der Verfasser über die Arten der Versuchshölzer das nachfolgende fest. Die Tanne ist gewöhnliches österreichisches Weißtannenholz, wie es aus Böhmen in großen Mengen nach Deutschland importiert wird, nach dem Handbuch der Ingenieurwissenschaften III, 2, 1, 3. Aufl., Seite 310, gehört dies Holz der Spezies *Abies pectinata* an. Die Kiefer ist das in Deutschland vielfach vorkommende und speziell im Wasserbau oft verwandte Holz der Baumart *Pinus sylvestris*, die Buche ist gewöhnliches Rotbuchenholz (*Fagus sylvatica*) und die Eiche das Holz von *Quercus pendunculata*. Zur Zeit der Niederschrift dieser Abhandlung lagen die Versuchsergebnisse für einen Teil der Pfähle bereits vor. In Bezug auf die hierbei erzielten Resultate machen die von Geheimrat Möller geführten Protokolle nachfolgende Angaben, die im Interesse einer vollständigen und durchaus verständlichen Wiedergabe der betreffenden Versuche und ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse für die vorliegende Arbeit unentbehrlich sein dürften.

11. Zurichtung und Einsetzung der Pfähle für die Versuchsstrecke.

Im ganzen wurden 4×5 gleich 20 Pfähle 5×5 cm stark eingetrieben und zwar je 5 Stück Tanne, Buche, Kiefer und Eiche. Die Pfähle standen auf 82 cm im Grundwasser, auf 118 cm ragten sie aus demselben heraus. Der Boden bestand aus Sand mit wenig Humus. Die in Abbildung 3 mit h_1 bezeichnete erste Reihe der Pfähle blieb gänzlich ungeschützt, die zweite Reihe hatte einen Anstrich mit Leinölfirnis und nachfolgend mit grüner Chromölfarbe erhalten, die dritte Reihe war zweimal mit Carbolineum getränkt worden, die vierte und fünfte Reihe wurden mit Betonmauerwerk umgeben, ohne daß die Pfähle anderweitigen Schutz erhielten. Der Beton der

Ummantelung bestand vorwiegend aus groben Ziegelbrocken und aus Mörtel der Mischung 1 Teil Zement und 4 Teile Sand. Außer diesen so angeordneten 20 Pfählen wurden noch weitere 4 Pfähle im Innenraum des Gebäudes der Technischen Hochschule trocken aufbewahrt, wovon je einer Tanne, Buche, Kiefer und Eiche war.

12. Versuchsergebnisse.

1. Pfähle ohne Beton.

Aus den vorliegenden Protokollen gibt der Verfasser die Versuchsergebnisse in chronologischer Reihenfolge, wie folgt wieder.

Buche ohne Schutz. Am 14. Februar 1899, also nach 1 Jahr und 10 Monaten, war die ungeschützte Buche unmittelbar in Bodenhöhe und etwas darunter abgefault. Sie brach bei leichter Berührung. Das der trockenen Luft ausgesetzte Holzende von 5 cm über dem Boden aufwärts war gesund geblieben.

Tanne ohne Schutz. Am 7. Oktober 1899, also nach 2 Jahren und $5\frac{1}{2}$ Monaten seit Einrammung in den Boden, ist die Tanne ohne Schutz in Höhe der Bodenoberfläche abgefault.

Die Buche mit Carbolineum und die Buche mit Ölfarbe gestrichen brachen beide bei loser Berührung am 7. Oktober 1899 ab, also wie oben nach 2 Jahren und $5\frac{1}{2}$ Monaten Dauer.

Eiche ohne Schutz. Am 21. Oktober 1901, also nach 4 Jahren und 6 Monaten, bei leichter Berührung unmittelbar in Bodenoberfläche abgefault, ganz faul.

Eiche mit Carbolineum getränkt. Am 8. März 1902, also nach 4 Jahren und 10 Monaten bei leichter Berührung unmittelbar in Bodenoberfläche abgebrochen, ganz faul. Die Eiche verfiel schnell der Zerstörung; das Holz wird wahrscheinlich minderwertig gewesen sein.

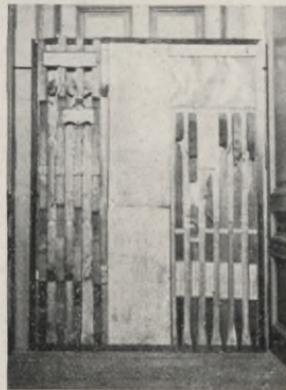


Abb. 4.

Nach fünf Jahren noch nicht abgebrochen aber geschwächt, sind Tanne mit Carbolineum getränkt und Tanne mit Ölfarbe gestrichen, Eiche mit Ölfarbe gestrichen und die 3 Kiefern-pfähle, auch der ungeschützte. Die 6 Versuchspfähle, welche die soeben angeführten Ergebnisse lieferten, wurden zusammen mit den nachfolgend erwähnten 4 Pfählen, die am 11. März 1902 von

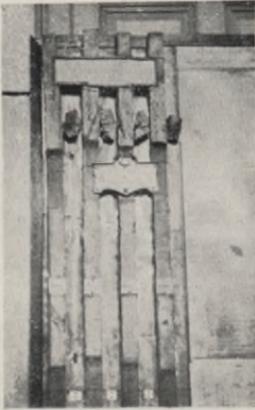


Abb. 5.

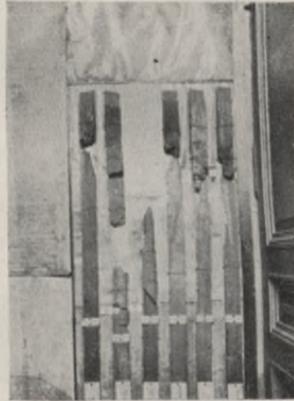


Abb. 6.

ihrem Betonmantel befreit wurden, zu Ausstellungs- und Unterrichtszwecken auf einer Holztafel befestigt, die vom Verfasser in den drei Abbildungen 4, 5 und 6 wiedergegeben ist.

2. Pfähle mit Betonmantel.

Das mit Beton umhüllte Holz zeigte annähernd ein Verhalten wie das Holz unter Wasser. Es war bis oben hin ganz naß; bei einem Druck mit der Hand zeigte sich austretendes Wasser. Auch in der Farbe entsprach es dem Holz unter Wasser; dunkler war das Eichenholz, das im nassen Zustand rötlich braun erscheint. Die Pfähle wurden einer Prüfung auf Bruchfestigkeit unterzogen.

Tanne. Während die ungeschützte Tanne im Boden jede Spur von Festigkeit im Zeitraum von 2 Jahren und $5\frac{1}{2}$ Monaten verloren hatte, sodaß sie bei leiser Berührung abbrach, zeigte die mit Beton umhüllte Tanne nach 5 Jahren noch eine Bruchfestigkeit von 256 kg/qcm.

Buche. Während die Buche in Berührung mit feuchtem Boden bis 20 cm Entfernung vom Grundwasser hinab im Zeitraum von 1 Jahr und 10 Monaten ganz kurzbrüchig geworden war und jede Spur von Festigkeit verloren hatte, sodaß das

Holz zu Pulver zerfiel, zeigte die mit Beton umhüllte Buche nach 5 Jahren noch lange Fasern und eine Bruchfestigkeit von 298 kg/qcm.

Kiefer. Die ungeschützte Kiefer zeigt nach Verlauf von 5 Jahren noch eine Bruchfestigkeit von 153,3 kg/qcm; *) die mit Beton umhüllte Kiefer wies nach Verlauf von 5 Jahren eine Bruchfestigkeit von 225,4 kg/qcm auf.

Eiche. Während die ungeschützte Eiche nach Verlauf von 4 Jahren und 6 Monaten im Boden gänzlich faul geworden war, sodaß sie ohne Widerstand abbrach, zeigte das im Beton steckende Ende nach Verlauf von 5 Jahren noch eine Bruchfestigkeit von 320 kg/qcm.

Im Betonmantel über Wasser ergab die Eiche die größte Festigkeit und zwar 320 kg/qcm, dann folgte die Buche mit 298 kg/qcm. Die Splitterungen der in den Abbildungen 4, 5 und 6 wiedergegebenen Versuchsstücke sind bei einer Bruchprobe entstanden. Die Hölzer sind zweimal eingespannt worden, einmal sind sie in einem Querschnitt 95 cm über Grundwasserstand und weiter 47 cm unter Grundwasserspiegel einer Prüfung unterzogen worden.

Unter Wasser erwies sich die Bruchfestigkeit bei der Buche um 6%, bei der Tanne um 25%, bei der Kiefer um 50% größer, bei der Eiche um 7% kleiner als im oberen vom Beton umhüllten Ende über Grundwasser. Das Ergebnis bei der Eiche ist wohl auf eine zufällig minder feste Stelle im Holzteil unter Wasser zurückzuführen.

13. Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz.

In Bezug auf die Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz ist noch darauf hinzuweisen, daß vollständig mit Wasser durchtränktes Holz, auch wenn es sich dauernd unter dem Grundwasserspiegel befunden hat, bei weitem nicht so bruchfest ist wie lufttrocknes Holz. Das nasse Holz ist weich, es besitzt auch recht geringe Festigkeit gegen Kräfte quer zur Faser.

Die Bruchfestigkeit von ganz aufgeweichtem Holz unter Grundwasserstand ging gegenüber ganz trockenem Holz zurück; bei der Buche um 70% auf 30%, bei der Tanne auf 70%, bei der Kiefer auf 45% und bei der Eiche auf 40%. Dabei

Anm. d. Verfassers: Hieraus geht hervor, daß die ungeschützte Kiefer seiner Zeit auch aus dem Boden entfernt wurde.

ist zu beachten, daß die Hölzer mehrfach Splint aufwiesen und unregelmäßigen Verlauf der Faser zeigten, sodaß diesen Zahlen kein allgemeingiltiger Wert beizumessen ist. Die größte Bruchfestigkeit zeigte die trockne, im Innenraum des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrte Buche und zwar 969 kg/qcm.

14. Verhalten des Holzes in luftiger Lage.

Holz in luftiger Lage, welches den Witterungseinflüssen voll ausgesetzt ist, mit fäulniserregender Substanz, wie z. B. Erde und angefeuchteter Sand, jedoch nicht in Berührung gelangt und zeitweise ganz austrocknen kann, hält sich auch ohne Schutz gesund; hier kann eine Ummantelung nicht nützen, sondern nur schaden.

15. Schlußergebnis.

Zu diesen Versuchsergebnissen fügt Geheimrat Möller noch als Schlußergebnis das Nachfolgende hinzu: «Es hat sich deutlich gezeigt, daß die Betonummantelung von Hölzern, unter der Bodenfläche, aber über Grundwasser verwendet, ein Anfaulen der Hölzer außerordentlich zurückhält. Ganz besonders hat sich dies gezeigt bei der Buche, der Tanne und der Eiche. Für die Kiefer, welche an sich dem Anfaulen einen größern Widerstand entgegenstellt, war die Versuchsdauer von 5 Jahren zu kurz. Das mitgeteilte Ergebnis der Untersuchung kann zumal bei Gründungen für die Wahl der zu treffenden Konstruktionsanordnung von Bedeutung sein.»

FÜNFTES KAPITEL.

Zustand der nach 13 Jahren von dem Verfasser aus dem Boden entfernten Versuchspfähle.

16. Vorbemerkungen.

1. Die noch vorhandenen Versuchspfähle.

Von den für die Möllerschen Versuche in den Boden eingetriebenen Pfählen waren zu Anfang Mai des Jahres 1910 als dem Verfasser von Herrn Geheimrat Möller die weitere

Bearbeitung der Versuche überlassen wurde, noch an ihren ursprünglichen Standorten im Boden vorhanden von der Pfahlreihen h_2 und h_3 (mit Ölfarbe gestrichen bzw. mit Carbolineum getränkt) die Kiefern- und Tannenpfähle sowie die Pfahlreihe h_5 , die innerhalb eines Betonkörpers stand. Der ungeschützte Kiefernpfahl muß 5 Jahre nach Einrammung bereits aus dem Boden entfernt worden sein, da seine Bruchfestigkeit weiter oben mit 153,2 kg/qcm angegeben wird, er also offenbar zu Versuchszwecken Verwendung gefunden hat. Der Pfahl Eiche mit Ölfarbe gestrichen, der, nach den Angaben der Akten über die Versuche, vor acht Jahren noch gestanden hatte, wurde von dem Verfasser nicht mehr angetroffen.

2. Zustand der Versuchsstrecke.

Auf der Versuchsstrecke hatte sich während der 8 Jahre, die seit der Ausgrabung der damals aus dem Boden entfernten Versuchspfähle vergangen waren, eine üppige Vegetation ent-

wickelt, wie dies aus der photographischen Aufnahme der Abbildung 7 ersichtlich ist; der Boden war mit einer feuchten Laubschicht von 5 bis zu 10 cm Höhe bedeckt. Die Ausgrabung der freistehenden Pfähle sowie die Zerkümmernng des noch vorhandenen Betonklotzes zwecks Freilegung und Entfernung der in diesem eingeschlossenen Versuchspfähle wurde von dem Verfasser mit den erforderlichen Hilfskräften am 9. und 10. Mai des Jahres 1910 vorgenommen.



Abb. 7.

Der Wasserstand der Oker war an diesen beiden Tagen ein schwankender. Die Oker wird in dieser Gegend alljährlich einmal durch Öffnen der Schützen am Wendenwehr abgelassen, um den Anliegern die Ausbesserung des Uferschutzes u. dgl. zu ermöglichen. Am 9. Mai zwischen 10 und 11 Uhr vormittags ergab eine mit Lot und Wasserwage vorgenommene Messung, daß der Okerwasserspiegel 39,6 cm unter der Oberkante der Mauerwerksstrecke des Uferschutzes lag und zwar an der Stelle, wo ein Kreuz in den Stein eingeschlagen ist. Um den so gemessenen Wasserstand festzulegen, wurde derselbe durch

das Einschlagen eines Gasrohrendes ca. 5,90 m von dem Betonklotz h_5 in der Böschung des aus Beton hergestellten Uferschutzes festgelegt. Am Nachmittag desselben Tages um 2 Uhr 15 Min. war der Wasserstand der Oker um 8 cm gegen die Messung am Vormittag gesunken. Am folgenden Tage um $\frac{1}{2}$ 7 Uhr vormittags war der Wasserstand der Oker um mehrere Meter tiefer als am Tage vorher; eine genaue Messung wurde nicht vorgenommen.

17. Pfähle ohne Beton.

An der Stelle, wo früher der Pfahl Kiefer ohne Schutz gestanden haben mußte, wurde ein Pfahl, den der Verfasser mit fünf Kerben bezeichnete, heraus gezogen; dieser war bedeutend kürzer als die übrigen Versuchspfähle, hatte im übrigen aber die gleichen Querschnittsabmessungen. Späterhin wurde festgestellt, daß sich in den Akten über diese Versuche Angaben über die Zeit der Einsetzung dieses Pfahles, seine Präparierung usw. nichts befindet, so daß die an dem Pfahl gemachten Beobachtungen und ausgeführten Versuche für die Zwecke dieser Arbeit nicht verwendbar sind.

Die übrigen Pfähle befanden sich in dem nachfolgend beschriebenen Zustand.

Tanne mit Ölfarbe gestrichen. (Gezeichnet mit einer Kerbe.) Dieser Pfahl war bei Vornahme der Ausgrabung bereits infolge Fäulnis in Bodenhöhe abgebrochen; das Datum dieses Vorganges konnte nicht festgestellt werden. Das abgebrochene Stück hatte eine ungefähre Länge von 71,5 cm. Von der Bruchstelle aufwärts erstreckte sich die Fäulnis noch ca. 5 cm weit über den Pfahl. Das Kopfende des Pfahles zeigte ein 6 cm tiefes Loch, von welchem ausgehend das Innere des Pfahles, wie spätere Feststellungen ergaben, einer weitgehenden Fäulnis verfallen war; äußerlich trat dieses jedoch nicht in die Erscheinung, wurde vielmehr erst an Hand der später an dem Pfahl gemachten Versuche festgestellt. Unter der Bodenoberfläche traten an dem Pfahl starke Fäulniserscheinungen auf, die sich bis auf 20 cm unter den Grundwasserspiegel erstreckten; darunter war das Holz gesund geblieben.

Kiefer mit Ölfarbe gestrichen (Pfahlbezeichnung 2 Kerben). Dieser Pfahl war in Bodenhöhe bis 5 cm darunter

stark angefault, so daß er beim Herausnehmen an dieser Stelle zerbrach. Der im Boden steckende Teil des Pfahles war bis 5 cm unter Grundwasserspiegel der Fäulnis anheimgefallen, wenn gleich nicht in dem Umfange, daß er seine Festigkeit und seinen inneren Zusammenhang völlig verloren hätte. Das im Grundwasser befindliche untere Ende des Pfahles war gut erhalten.

Tanne mit Carbolineum getränkt (Pfahlbezeichnung 3 Kerben). Der Pfahl war in Bodenhöhe angefault, darüber jedoch durchaus gesund. Die Fäulnis reichte bis ca. 15 cm unter Grundwasserspiegel, ohne jedoch in ihrem Bereich zu einer völligen Lockerung des inneren Zusammenhalts des Holzes geführt zu haben. Das untere Ende des Pfahles, soweit es tiefer als 15 cm unter dem Wasserspiegel lag, erschien gesund.

Kiefer mit Carbolineum getränkt (Pfahlbezeichnung 4 Kerben). Die Kiefer war in Bodenhöhe leicht angefault, doch erstreckte sich die Fäulnis nur ca. 15 cm unter Bodenoberfläche, während die übrige im Boden befindliche Pfahlstrecke gesund erschien, wie auch naturgemäß der Teil, welcher im Grundwasser gestanden hatte.

18. Pfähle mit Betonmantel.

1. Der Riß im Betonmantel, seine Entstehung und sein Verlauf.

Die Ummantelung der Pfähle der Gruppe h₃ zeigte einen Riß der in Abbildung 8 skizzierten Form und Lage. Über die Entstehung dieses Risses entnimmt der Verfasser den Möllerschen Versuchsakten inhaltlich das Nachfolgende: «Am 4. Mai 1897 war die Oker sehr tief abgelassen, sie stand mehr als 2,0 m unter der Oberkante der Ziegelsteinböschung. An diesem Tage zeigten sich in dem Beton, der die Hölzer umhüllte, Risse. Ein kleiner Riß R₁ war 17 cm von der Außenfläche entfernt, ein zweiter 38 cm von der Binnenkante (siehe Abb. 9!)»

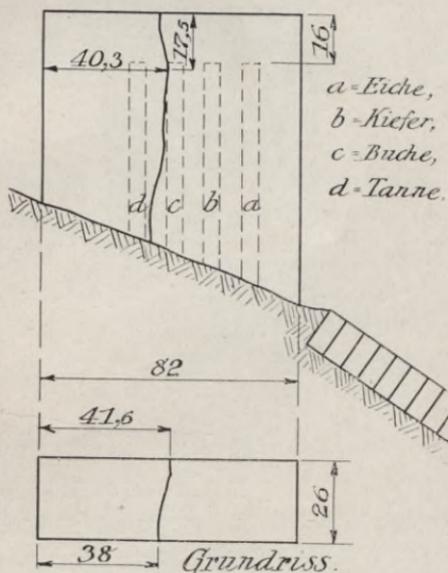


Abb. 8.

Von den beiden Rissen R_1 und R_2 hatte augenscheinlich nur R_2 im Laufe der Zeit größere Dimensionen angenommen, während R_1 vor der Zertrümmerung des Betonkörpers von dem Verfasser nicht mehr festgestellt wurde. Der Riß R_2 hatte sich während der 13 Jahre, die seit seinem ersten Auftreten verflossen waren, beträchtlich vergrößert, sodaß er, wie Abbildung 8

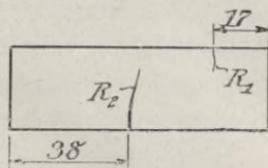


Abb. 9.

zeigt, sich über die ganze obere Fläche des Klotzes ausgedehnt hatte und auf der den übrigen Versuchspfählen zugewandten Seitenfläche bis Terrainhöhe hinabging. Der Riß verlief in dem Betonmantel so, daß er den Buchenpfahl direkt traf und zwar an der dem Tannenpfahl zugekehrten Seite. Durch den Riß hatte die Luft nicht nur Zutritt zu dem von ihm direkt betroffenen Buchenpfahl, sondern auch zu dem neben diesem stehenden Tannenpfahl, denn die porösen Ziegelbrocken, aus denen der Beton zum großen Teil bestand, lassen Luft stets leicht hindurchtreten. Die Entfernung von dem Buchenpfahl

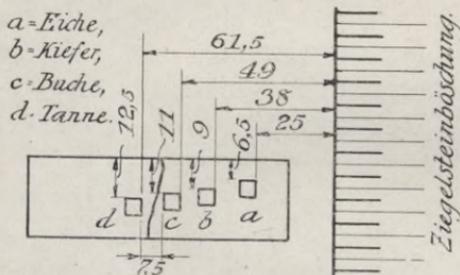


Abb. 10

bis zu dem Tannenpfahl betrug zudem nach an Ort und Stelle von dem Verfasser vorgenommenen Messungen, wie sie Abbildung 10 wiedergibt, nur $7\frac{1}{2}$ cm. Jedenfalls zeigten die von dem Beton umhüllten Pfähle aus Buchen- und Tannenholz an ihren oberen

Enden so beträchtliche und auffallende Zerstörungserscheinungen, daß es nahe liegt, für die Verwitterungsvorgänge, die sich an diesem Punkte vollzogen haben, nach besonderen Gründen Umschau zu halten; der Verfasser vermag sich diese Erscheinungen nur durch den ungünstigen Einfluß der Rißbildung im Beton zu erklären.

2. Die Beschaffenheit der Pfähle.

Der allgemeine Befund der vier von dem Beton ummantelten Hölzer war der nachfolgende:

Eiche. (Pfahlbezeichnung a bzw. 1 doppelte Kerbe mit Strich verbunden). Die Eiche erschien äußerlich durchaus fäulnisfrei und gut erhalten bei großem Feuchtigkeitsgehalt. Das

außerhalb des Betonmantels im Grundwasser befindliche Ende des Pfahls war ebenfalls gut erhalten und von schwarzer Färbung.

Kiefer. (Pfahlbezeichnung b bzw. 2 doppelte Kerben mit Strich verbunden). Die Kiefer war äußerlich ebenfalls in allen Teilen fäulnisfrei, zeigte großen Feuchtigkeitsgehalt und war gut erhalten.

Buche. (Pfahlbezeichnung c bzw. 3 doppelte Kerben mit Strich verbunden). Die Buche hatte in ihrem obern, im Beton steckenden Teil stellenweise schwarze Färbung, machte jedoch äußerlich im ganzen den Eindruck, als ob sie sich leidend gehalten hätte. Bei näherer Untersuchung allerdings ergab sich, daß der Pfahl in dieser Gegend wenig sichtbare Oberflächenverletzungen trug, die sich teilweise bis in das Innere des Pfahles fortsetzten. Die Strecken des Pfahles, die im Beton und im Grundwasser zugleich bzw. im Grundwasser außerhalb der Umhüllung gewesen waren, erschienen fäulnisfrei und gut erhalten.

Tanne. (Pfahlbezeichnung d bzw. 4 doppelte Kerben mit Strich verbunden). Der Pfahl ist an seinem obern Ende, auf 60 cm vom Kopf des Pfahles gerechnet, einseitig durch

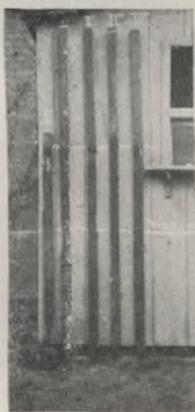


Abb. 11.



Abb. 12.

Fäulnis stark angegriffen, sodaß nahezu die Hälfte des Pfahlquerschnittes vollständig vernichtet ist; es ist dabei bemerkenswert, daß diese Zerstörungsvorgänge an derjenigen Seite des Pfahles erfolgt sind, die dem Riß zugewandt ist. Unter Grundwasser erscheint der Pfahl in- und außerhalb der Betonumhüllung durchaus gesund und gut erhalten.

Von den acht Versuchspfählen wurden photographische Aufnahmen gemacht, die in den Abbildungen 11 und 12 wiedergegeben sind. Der Grundwasserstand, die Bodenlinie und bei Abbildung 12 der Betonmantel sind auf den Abbildungen ebenfalls wiedergegeben, um ein treues Bild von der Anordnung der Pfähle während der 13jährigen Versuchsdauer zu geben. Auf Abbildung 11 ist auch noch der Pfahl V wiedergegeben, der, wie oben erwähnt, aus den Betrachtungen der vorliegenden Arbeit ausgeschaltet werden mußte.

SECHSTES KAPITEL.

Die mit den Pfählen angestellten Biegungs- und Druckversuche und deren Ergebnisse.

19. Die Versuchsmaschine.

Mit den Versuchspfählen wurden weiterhin Biegungs- und Druckversuche angestellt. Gleichartige Versuche wurden auch an den vier im Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule zu Braunschweig aufbewahrten Pfählen vorgenommen. Die Biegungs- und Druckversuche mit den Hölzern fanden am 12., 13., 21. und 24. Mai 1910 statt. Die Versuche wurden im mechanischen Laboratorium der Technischen Hochschule zu Braunschweig mit einer Werderschen Maschine aus der Augsburg-Nürnberger Maschinenfabrik nach den Anordnungen des Betriebsingenieurs des Laboratoriums, Herrn Regierungsbauführers a. D. Geutebrück, ausgeführt. Die Maschine, auf Versuche für Biegung eingestellt, mit eingelegtem Versuchstab ist in der Abbildung 13 nach einer photographischen Aufnahme des Verfassers wiedergegeben. Verfasser möchte an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen, daß ihm die Unterstützung des Leiters des mechanischen Laboratoriums, Herrn Geheimen Hofrates Prof. Dr.-Ing. Schöttler sowie seiner Herren Ingenieure in überaus dankenswerter Weise zuteil wurde, wie ihm auch die maschinellen Einrichtungen des Laboratoriums von Herrn Geheimrat Schöttler bereitwilligst für die Zwecke seiner Arbeit zur Verfügung gestellt wurden.

Was die Genauigkeit der mit der Maschine vorgenommenen Untersuchungen anbetriift, so ist darüber folgendes zu bemerken.

Um den Gang der Maschine auf einen eventuell zu berücksichtigenden Fehler zu untersuchen, führte der Verfasser

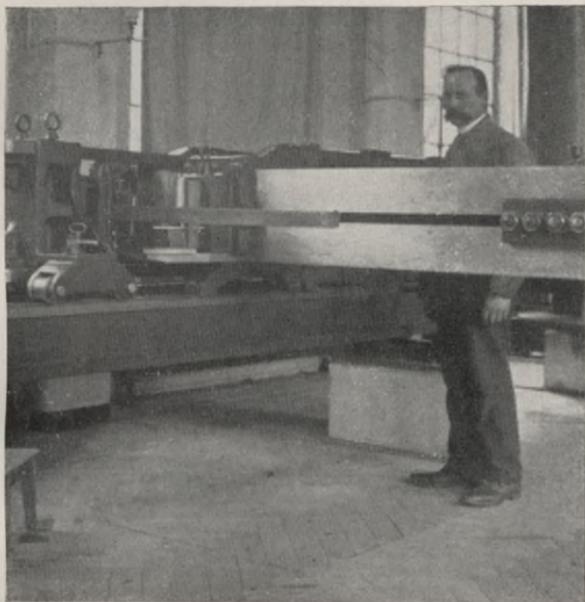


Abb. 13.

mit Herrn Betriebsingenieur Geutebrück zusammen am 16. Juni 1910 an der Maschine, die seit Ausführung der Versuche nicht verstellt worden war, eine Prüfung derselben durch unter Benutzung der an ihr sich befindenden Controllwage.

Über die konstruktive Anordnung der Wage und des Wagebalkens gibt die schematische Aufzeichnung der Abbildung 14 Aufschluß. Diese zeigt den Wagebalken W, die Zungen z,

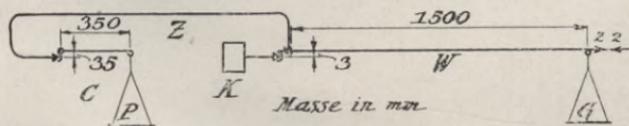


Abb. 14.

welche das Einspielen des Wagebalkens anzeigen, das Zuggestänge Z, den Kolben K und die Controllwage C. Die Controllwage arbeitet mit einer 10fachen, der Wagebalken mit einer 500fachen Übersetzung. Controllwage und Wagebalken wirken einander entgegengesetzt, eine Belastung des Wagebalkens wird daher durch eine dem beiderseitigen Übersetzungsverhältnis ent-

sprechende größere Belastung P der Controllwage aufgehoben, sodaß bei fehlerfreiem Arbeiten der Maschine die Zungen z einspielen.

Die Belastung des Wagebalkens W erfolgte durch ein Laufgewicht an demselben, welches auch bei den Versuchen vorzugsweise Verwendung gefunden hatte. Die Controllwage wurde durch aufgestellte Gewichte belastet.

Die Beobachtungen bei der Belastung der Maschine sind in Abbildung 15 in Form von Diagrammen aufgetragen, und zwar bringt die eine Kurve die absolute Fehlergröße, die andere die prozentuale Fehlergröße zur Darstellung. Auf der Abzissenachse sind die an der Skala des Wagebalkens abgelesenen Belastungen in kg aufgetragen, während auf der Ordinatenachse die absolute Fehlergröße in kg bzw. die prozentuale Fehlergröße in % verzeichnet sind.

Es ergibt sich aus den Diagrammen, daß die Maschine von vornherein einen Fehler zeigte, welcher, um das Gleichgewicht herzustellen, durch eine entsprechende Mehrbelastung der Kontrollwage aufgehoben werden mußte. Es wurden bis zu einer Belastungsanzeige von 2000 kg 21 bzw. 20 Punkte

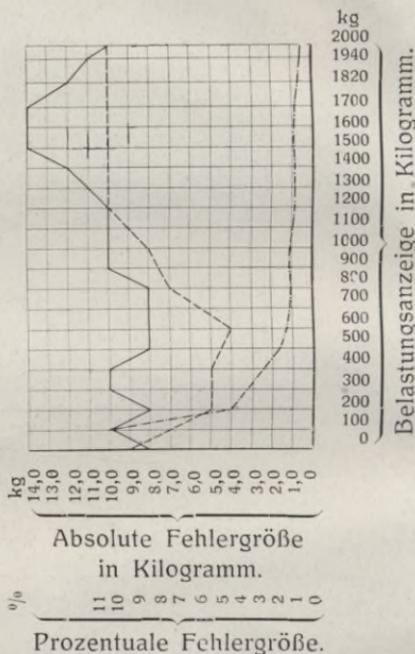


Abb. 15.

der Kurven für den absoluten oder prozentualen Fehler bestimmt. Alsdann wurden bei der Entlastung der Maschine rückwärts von neuem 12 Punkte des Diagramms für die absolute Fehlergröße festgelegt.

Über den Verlauf der Kurven ist zu bemerken, daß für geringe Belastungen relativ hohe Fehler auftreten, deren Größe allerdings vor allem dem Umstande zuzuschreiben ist, daß bereits ohne Belastung zur Herstellung des Gleichgewichtes 8 kg (unter Berücksichtigung der Übersetzung) auf der Kontrollwage erforderlich waren. Dies ist bei einer Maschine, welche

auf die Leistung von recht großen Kräften eingerichtet ist, nicht verwunderlich. Die absolute Größe des Fehlers vergrößerte sich weiterhin bis zum Höchstbetrage von 14 kg bei 1500 bis 1700 kg Belastung, prozentual war der Fehler jedoch stark zurückgegangen, wie die in dem Diagramm hierfür eingetragene Kurve beweist. Weiterhin ging dann auch die absolute Größe des Fehlers ständig zurück, so daß sie bei 2000 kg nur noch 10 kg oder 0,5 % betrug. Da die Ablesungen an der Skala des Wagebalkens die Belastung um diesen Prozentsatz zu gering angegeben hat, ist der Fehler mit negativem Vorzeichen zu versehen.

Eine Fortführung der Fehlerbestimmung war unmöglich, da auf der Controllwage keine weiteren Gewichte plaziert werden konnten.

Ein weiteres beträchtliches Anwachsen der prozentualen Fehlergröße, welche bei 2000 kg Belastung — 0,5 % betrug, erscheint unwahrscheinlich, was der Verfasser daraus schließt, daß das Diagramm für die absolute Fehlergröße absteigende Richtungen eingeschlagen hat. Es würde dies auch im Einklang stehen mit einer Prüfung der Maschine, welche Herr Betriebsingenieur Geutebrück am 4. Mai 1910 vorgenommen hatte und welche bei 10 100 kg Belastung einen Fehler + 0,56 % ergeben hatte. Diese Prüfung der Maschine war mit einem vom königlichen Materialprüfungsamt in Berlin, Groß-Lichterfelde West, geachteten Controllstab durchgeführt worden. Die prozentuale Fehlergröße würde sich, wenn die Ergebnisse beider Prüfungen berücksichtigt werden, bei Belastung von 2000 bis 10 100 kg zwischen — 0,5 % und + 0,56 % bewegen.

Der Verfasser glaubt aus all diesem entnehmen zu können, daß der Fehler, welcher durch die Ungenauigkeit der Maschine in die weiter unten wiedergegebenen Untersuchungen hineingebracht wird, so gering ist, daß es unbedenklich erscheint, ihn zu vernachlässigen, zumal da die Beschaffenheit des für die Versuche verwandten Schnittholzes es ausgeschlossen erscheinen läßt, daß die Genauigkeit und Brauchbarkeit der erzielten Resultate durch die Berücksichtigung dieses Fehlers irgendwie erhöht werden könnten.

20. Die Biegungsversuche der Tabelle I.

Die Biegungsversuche der Tabelle I wurden mit Spannweiten von $l = 50$ bzw. 42 cm ausgeführt. Bei den Versuchen

Tabelle I.

Biegungs-

Datum: Versuche 1 bis 26 am 12/13. Mai 1910.¹⁾

1	2	3	4	5	6	7	8
Zeit	Nr. des Versuchs	Bezeichnung des Versuchsstückes	Bezeichnung mit Buchstaben gemäß Abb. 8, 10 und 12	³⁾	Zustand des Holzes	Holzart	Querschnittsbreite cm
12. Mai 3.45	1	3 Kerben	—	β	naß und verfault	Tanne	5,0
	2	desgl.	—	α	trocken und fäulnisfrei	desgl.	5,0
	3	desgl.	—	γ	naß, fäulnisfrei	desgl.	5,3
	4	4 Kerben	—	β	zieml. naß, geringe Fäulnis	Kiefer	5,3
	5	desgl.	—	α	trocken, fäulnisfrei	desgl.	5,3
	6	desgl.	—	γ	naß, fäulnisfrei	desgl.	5,6
	7	1 Kerbe	—	α	trocken, ohne von außen sichtbare Fäulnis	Tanne	5,3
	8	desgl.	—	γ	feucht, Fäulnis am obern Ende	desgl.	5,2
13. Mai 8.00	9	2 Kerben	—	α	trocken, fäulnisfrei	Kiefer	5,1
	10	desgl.	—	β	naß, verfault	desgl.	ca. 4,0
	11	desgl.	—	γ	naß, geringe Fäulnis am obern Ende	desgl.	5,4
	12	5 Kerben	—	—	—	—	—
8.35	13	1 dopp. Kerbe mit Strich verbunden	a	β'	ziemlich naß, ohne zu erkennende Fäulnis	Eiche	5,2
	14	desgl.	a	β'	desgl.	desgl.	5,0
	15	2 dopp. Kerben mit Strich verbunden	b	β'	desgl.	Kiefer	5,1
	16	desgl.	b	β'	desgl.	desgl.	5,4
	17	3 dopp. Kerben mit Strich verbunden	c	β'	ziemlich naß, äußerlich geringe Fäulnis	Buche	5,2
9.15	18	desgl.	c	β'	ziemlich naß, Oberflächenverletzungen inf. Fäuln.	desgl.	5,5
	19	4 dopp. Kerben mit Strich verbunden	d	β'	ziemlich naß, ohne äußere Fäulnis	Tanne	5,3
	20	desgl.	d	β'	naß, starke Fäulnis, Pfahl zur Hälfte zerstört	desgl.	s. Bemerk.
9.47	21	1 dopp. Kerbe mit Strich verbunden	a	γ	naß, fäulnisfrei	Eiche	5,1
	22	2 „	b	γ	desgl.	Kiefer	5,5
	23	3 „	c	γ	desgl.	Buche	5,4
	24	4 „	d	γ	desgl.	Tanne	5,4
	25	1 Kerbe	—	γ	desgl.	desgl.	5,2
10.15 21. Mai	26	desgl.	—	β	naß, vollständig verfault	desgl.	ca. 4,3
9.30	27	Ziffer 1	—	—	trocken	desgl.	5,4
9.37	28	„ 2	—	—	desgl.	Buche	5,3
9.42	29	„ 3	—	—	desgl.	Kiefer	5,1
9.50	30	„ 4	—	—	desgl.	Eiche	5,2

¹⁾ Diese Pfähle haben 13 Jahre in der Versuchsstrecke gestanden und zwar bis zum 8/10. Mai jener Zeit aufbewahrt worden; sie sind also nicht mit der Erde in Berührung gelangt. ²⁾ Erläuterung β' Teil im Beton über Grundwasser, γ Teil im Boden unter Grundwasser, γ' Teil im Beton unter Grund-

versuche. (Vergl. auch S. 33—36.)

Versuche 27 bis 30 am 21. Mai 1910.²⁾

9	10	11	12	13	14	15	16
Querschnittshöhe cm	Zusammenpressung cm	Spannweite cm	Bruchlast ⁴⁾ kg	Moment ⁴⁾ cm kg	Widerst.-moment ⁴⁾ cm ³	Bruchbeanspruchg. kg/qcm	Bemerkungen
4,8	0,45	50	90	1 125,0	15,77	71,3	Pfahl 3 Kerben m. Carbol. getr.
5,0	0,5	50	825	10 312,5	16,86	611,7	Bei 500 kg. Belast. wird der Pfahl entlastet u. d. Eisenpl. eingel. Pfahl m 4 Kerben m. Carbol. getr.
5,0	0,2	50	750	8 906,3	20,35	437,7	
5,2	0,2	50	520	6 175,0	22,1	279,4	
5,2	—	50	1 300	15 437,5	23,89	642,0	
5,4	—	50	970	11 519,0	27,22	423,1	Pfahl 1 Kerbe mit Ölfarbe gestr. Am Kopfen 6 cm tiefes Loch. Innere Fäulnis.
5,2	—	50	380	4 512,5	23,89	188,9	
5,1	—	50	—	—	—	—	Bei 150 kg Belast. Bruch des obern Auflagers. (s. Vers.) 25.
5,0	—	50	1 130	13 419,0	21,25	631,5	Pfahl 2 Kerben mit Ölfarbe gestrichen.
5,2	—	50	160	1 900,0	ca. 13,5	ca. 141,0	
5,2	—	50	780	9 262,5	24,34	380,6	Pfahl ausgeschaltet. Fäulnisgeruch.
5,2	—	50	535	6 353,0	23,43	271,2	
5,3	—	50	805	9 560,0	23,41	408,4	
5,5	—	50	500	5 937,5	25,71	230,9	
5,4	—	50	550	6 531,0	26,24	248,9	
5,2	—	50	550	6 531,0	26,2	249,3	Vom obern Aufleger bis zur Mitte aufgespalten,
5,4	—	50	300	3 562,5	26,73	133,3	
5,3	—	50	600	7 125,0	24,81	287,2	Stark fauliger Geruch des Bruchquerschnittes.
5,1	—	50	170	2 019,0	ca. 10,8	ca. 187,0	Gefährlicher Querschnitt hat h = 5 cm und b = 2 bis 4 cm.
5,4	—	42	1 200	11 850,0	24,79	478,0	Pfahl 1 Kerbe mit Ölfarbe gestrichen.
5,3	—	42	1 100	10 862,5	25,75	421,8	
5,4	—	42	1 050	10 369,0	26,24	395,2	
5,2	0,6	42	850	8 340,0	19,04	440,8	
5,2	—	42	650	6 419,0	23,43	274,0	
ca. 4,3	—	42	70	691,0	ca. 13,25	ca. 52,2	
5,0	—	50	775	9 203,0	22,5	409,0	
5,5	—	50	1 650	19 594,0	26,72	733,3	
5,0	—	50	1 150	13 656,0	21,25	642,6	
5,2	—	50	1 300	15 438,0	23,43	658,9	

1910; vergl. S. 19. ²⁾ Diese Pfähle sind an trockenem Ort im Keller des Hochschulgebäudes während zu 4 (vergl. Abb. 18 u. 19) Pfahlstück: α Teil an der Luft, β Teil im Boden über Grundwasser, wasser. ⁴⁾ Vergl. Abb. 16 u. 17.

3—30 erfolgte die Kraftübertragung auf die Versuchsstäbe durch eine Eisenplatte von 5 cm Breite und 6 mm Dicke, welche bei den ersten beiden Versuchen fehlte. Die bei den letzteren und beim Versuch 24 erfolgte starke Zusammenpressung des Holzquerschnitts an der Belastungsstelle wurde bei der Berechnung

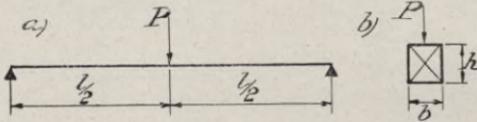


Abb. 16.

der Widerstandsmomente und Spannen mit in Rechnung gezogen. Für die Versuche 1 und 2 gibt die Abbildung 16 die statischen Verhältnisse zeichnerisch wieder, für die übrigen Versuche die Abbildung 17, aus der erhellt, daß das rechnermäßige Maximalmoment in cm/kg beträgt

$$M = \frac{P}{2} \text{ kg} \left(\frac{1}{2} \text{ cm} - 1,25 \text{ cm} \right).$$

Die Belastung der Versuchspfähle wurde stets bis zum Bruch durchgeführt, wobei unter Bruch derjenige Zustand zu verstehen ist, in welchem sich der Versuchsstab fortgesetzt weiter deformiert, ohne daß eine Erhöhung der Last erforderlich ist. Diese Last welche den Pfahl zerstört, ist mit Bruchlast bezeichnet worden.

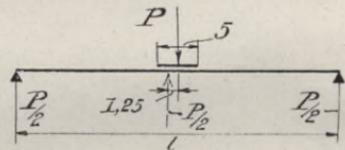


Abb. 17.

Die Biegungsversuche an den Versuchspfählen fanden am 12. und 13. Mai statt; während der wenigen Tage, die seit

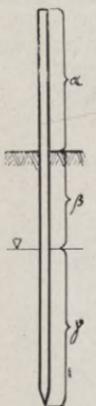


Abb. 18.

Ausgrabung der Pfähle verflossen waren, wurden die Pfähle im Schatten, mit ihren Enden auf ca. 40 cm im Wasser stehend, aufbewahrt. Die Versuche an den trockenen, im Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrten Hölzern wurden erst am 21. Mai vorgenommen. Für die Biegungs- und Druckversuche erhielten die einzelnen Pfahlstrecken der Versuchspfähle die aus den Abbildungen 18 und 19 ersichtlichen Bezeichnungen, die auch in den Tabellen I und II verwandt wurden.

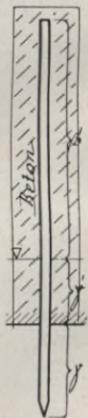


Abb. 19.

21. Die Druckversuche der Tabelle II

(vergl. auch S. 38—39).

Zwischen den Druckversuchen und den Biegungsversuchen lagen eine Reihe von Tagen, während welcher das Holz im Keller des Mechanischen Laboratoriums verwahrt wurde. Das Holz gab in dieser Zeit einen beträchtlichen Teil seiner Feuchtigkeit ab, zumal einige heiße Tage zu verzeichnen waren.

Infolgedessen nahm auch die Druckfestigkeit des Holzes zu. Die Druckversuche fanden am 24. Mai 1910 statt. Sie wurden mit 25 cm langen Versuchsstäben und in einigen Fällen mit Druckwürfeln von 5 cm Kantenlänge ausgeführt; bei der relativ geringen Länge von 25 cm gleich nur fünfmal Seitenlänge des Pfahlquerschnitts kommt Knickung für die Versuchsstäbe kaum in Betracht, und es können die mit ihnen angestellten Versuche wohl als reine Druckversuche angesprochen werden. Da das für die Versuchsstäbe zur Verfügung stehende Holzmaterial durch die Biegungsversuche, die bis zum Bruch durchgeführt wurden, bereits stark in Mitleidenschaft gezogen war und in-

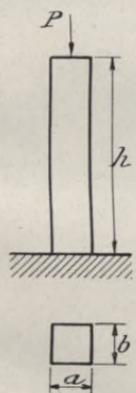


Abb. 20.

folge des Austrocknens einen großen Teil seiner Feuchtigkeit verloren hatte, sind die mit den Versuchskörpern erzielten Resultate nicht geeignet, mehr als ein ungefähres Bild von der Druckfestigkeit der Versuchspfähle zu geben. Für die Tabelle II gilt ebenso wie für Tabelle I, daß der Verfasser sich darauf beschränkt hat, die Angaben in der Rubrik Bemerkungen auf das unbedingt Notwendige und für die später aufzustellenden Folgerungen und Ergebnisse Unentbehrliche zu reduzieren, während die Originalprotokolle sich ausführlicher fassen. Abbildung 20 gibt ein zeichnerisches Bild von der Belastung bei den Versuchen und erklärt die in der Tabelle II verwandten Buchstabenbezeichnungen.

22. Die Ergebnisse der Biegungs- und Druckversuche.

1. Pfähle mit Betonmantel.

Die Biegungsversuche 13 bis 20 für die Betonpfähle über Wasser wurden in Querschnitten 33 cm bzw. 78 cm über Grundwasserspiegel angestellt, indem die Versuche 13, 15, 17 und 19 in dem 33 cm über Grundwasser liegenden Querschnitt

Tabelle II.

Druck-

(Die Versuchskörper sind den Versuchsstücken Tabelle I ent-
Versuchsstrecke gestanden haben, während Versuchskörper

1	2	3	4	5	6
Zeit	Nr. des Versuchs	Bezeichnung des Pfahles	Bezeichnung mit Buchstaben gemäß Abb. 8, 10 und 11	*)	Zustand des Holzes
3.13	1	1 doppelte Kerbe mit Strich verbunden	a	γ'	äußerlich ziemlich trocken
3.36	2	desgl.	a	β'	äußerlich trocken
3.43	3	2 doppelte Kerben mit Strich verbunden	b	γ'	desgl.
3.52	4	desgl.	b	β'	desgl.
4.00	5	3 doppelte Kerben mit Strich verbunden	c	γ'	desgl.
4.04	6	desgl.	c	β'	feucht, geringe äußere Fäulnis
4.14	7	4 doppelte Kerben mit Strich verbunden	d	γ'	äußerlich trocken, fäulnisfrei
4.19	8	desgl.	d	β'	desgl.
4.28	9	1 Kerbe	—	α	ziemlich trocken, fäulnisfrei
4.39	10	2 Kerben	—	γ	trocken
4.45	11	desgl.	—	α	desgl.
4.51	12	3 Kerben	—	γ	desgl.
4.57	13	desgl.	—	α	desgl.
5.03	14	4 Kerben	—	α	desgl.
5.08	15	desgl.	—	γ	ziemlich trocken
5.11	16	Ziffer 1	—	—	trocken
5.16	17	„ 2	—	—	desgl.
5.24	18	„ 3	—	—	desgl.
5.28	19	„ 4	—	—	desgl.
5.35	20	1 Kerbe	—	γ	ziemlich trocken
5.43	21	Ziffer 1	—	—	trocken
5.46	22	„ 2	—	—	desgl.
5.52	23	„ 3	—	—	desgl.
5.56	24	„ 4	—	—	desgl.

*) Erläuterung zu 4 (vergl. Abb. 18 und 19). Pfahlstücke: α Teil an γ Teil im Boden unter Grundwasser,

versuche

Datum: 24. Mai 1910.

nommen, von welchen α, β, β', γ und γ' 13 Jahre in der
1—4 von dem trocken aufbewahrten Holz genommen sind.)

7	8	9	10	11	12
Holzart	Fläche ab=F qcm	Höhe h cm	Maximal- Belastung P kg	$\delta = \frac{P}{F}$ Druck- bean- spru- chung kg/qcm	Bemerkungen
Eiche	4,8×5,0	25,0	3000	125	Hervorquellen von Wasser
desgl.	5,0×5,1	25,0	3600	141	
Kiefer	5,0×5,3	25,0	3900	147	Der Pfahl hatte vor Beginn des Versuches deutliche Längsrisse. Starkes Hervorquellen von Wasser beim Zerdrücken. Vor dem Versuch Oberflächenriß schräg zur Faser. Stab innerlich feucht.
desgl.	5,0×5,3	25,0	4000	151	
Buche	5,2×5,4	25,0	2600	93	Hervorquellen von Wasser.
desgl.	5,2×5,4	25,0	3200	114	
Tanne	5,0×5,3	25,0	3300	125	Starke Abgabe von Wasser.
desgl.	5,3×5,3	25,0	3900	139	Hervorquellen von Wasser
desgl.	5,1×5,1	25,0	5400	208	Pfahl mit Oelfarbe gestrichen.
Kiefer	5,2×5,3	25,0	6000	218	Pfahl mit Oelfarbe gestrichen, vor dem Versuch Längsriß am Pfahl.
desgl.	5,1×5,1	35,0	9000	346	
Tanne	5,2×5,2	25,0	5700	211	Pfahl mit Carbolineum getränkt.
desgl.	4,8×4,9	25,0	5100	217	Vor dem Versuch Längsspalte, Abspaltung eines 1/2 bis 1 cm starken Holzstückes.
Kiefer	5,4×5,3	25,0	7500	262	
desgl.	5,4×5,4	25,0	5400	185	
Tanne	5,0×5,2	25,0	6300	242	Von vornherein Riß vorhanden.
Buche	5,2×5,3	25,0	12900	468	
Kiefer	5,0×5,2	25,0	10500	404	
Eiche	4,9×5,3	25,0	8500	327	
Tanne	5,0×5,2	5,0	5500	212	Pfahl mit Oelfarbe gestrichen.
desgl.	5,0×5,0	5,0	8200	328	Riß vor dem Versuch.
Buche	5,4×5,2	5,0	13300	474	
Kiefer	5,1×5,0	5,0	11200	439	
Eiche	4,8×5,1	5,0	9600	392	

der Luft, β Teil im Boden über Grundwasser, β' Teil im Beton über Grundwasser, γ' Teil im Beton unter Grundwasser.

vorgenommen wurden und die andern 4 Versuche in den weiter oben gelegenen Punkten. Die hierbei sich für jeden Pfahl ergebenden beiden Resultate für die Pfahlstrecke über Wasser zeigen ein uneinheitliches Verhalten der verschiedenen Pfähle nicht nur in der zahlenmäßigen Größe der Bruchfestigkeitsziffern, sondern auch in bezug auf die Lage des die größere Bruchfestigkeit besitzenden Querschnittes. Während bei der Eiche und der Kiefer das obere Ende eine um 50,5% bzw. 7,8% größere Bruchfestigkeit aufweist als der näher dem Wasserspiegel liegende Querschnitt, besitzen bei der Buche und der Tanne ganz im Gegenteil die dem Grundwasser näher liegenden Querschnitte eine um 87,3% bzw. 53,6% größere Widerstandskraft als die Punkte 78 cm über Wasser. Dem Verfasser ist es leider nicht möglich, an Hand des vorhandenen Materials zu entscheiden, ob die Ursache hierfür in der Eigenart der verschiedenen Holzarten oder vielmehr in zufälligen äußeren Umständen zu suchen ist, wie etwa in der ungünstigen Einwirkung, welche der Riß in dem Betonklotz auf die Pfähle c und d gehabt haben könnte; immerhin schließt dieser letztere Punkt es von vornherein aus, das Resultat in der ersten Richtung zu verallgemeinern.

Von den Pfählen im Betonmantel zeigte die Eiche mit 408,4 kg/qcm in dem Querschnitt 78 cm über Grundwasser die größte Bruchfestigkeit; es dürfte von Interesse sein, festzustellen, daß dieser Wert die größte in den Möllerschen Versuchen festgestellte Holzfestigkeit im Beton von 320 kg/qcm für die Eiche noch um 88,4 kg/qcm übertrifft. Zieht man hierbei in Betracht, daß Versuch 13 für den Querschnitt der Eiche 33 cm über Grundwasser nur 273 kg/qcm Bruchfestigkeit ergibt, so muß doch immerhin konstatiert werden, daß das Gesamtergebnis für die Pfahlstrecke der Eiche über Grundwasser, nachdem sie 13 Jahre im Beton gestanden hatte, kaum ein ungünstigeres ist, als es nach Verlauf von 5 Jahren erzielt wurde. Zu demselben Resultat führt die Kiefer, welche 248,9 kg/qcm bzw. 230,9 kg/qcm nach 13 Jahren ausgehalten hat, gegen 225,4 kg/qcm nach Verlauf von 5 Jahren, was demnach sogar etwas mehr wäre. Es ist bemerkenswert, daß es möglich sein würde, diese Feststellung auch auf das Tannen- und Buchenholz auszudehnen solange man nur die Resultate, welche 33 cm über Grundwasser erzielt wurden, ins Auge faßt; diese sind

für die Buche nach 13 Jahren 249,3 kg/qcm gegen 298 kg/qcm nach 5 Jahren und für die Tanne nach 13 Jahren 287,2 kg/qcm gegen 256 kg/qcm nach 5 Jahren. Die Ergebnisse für die Querschnitte dieser Pfähle 78 cm über Grundwasserspiegel weichen jedoch — nach Ansicht des Verfassers infolge der durch den Riß im Beton motivierten ungünstigen Nebenumstände — so weit von den entsprechenden Ergebnissen, die nach Verlauf von 5 Jahren erzielt wurden, ab, daß es einerseits unzulässig erscheint, die günstigen Ergebnisse, welche mit dem Eichen- und Kiefernholz erzielt wurden, auch auf das Buchen- und Tannenholz auszudehnen, andererseits muß aber auch die Frage offen gelassen werden, ob nicht bei Fortfall der ungünstigen Nebenumstände ein gleich gutes Resultat mit Buchen- und Tannenholz erzielt werden könnte.

Im übrigen ergaben die Pfähle mit Betonmantel, abgesehen von den oberen Pfahlenden der Buche und der Tanne, welche von dem Riß in dem Betonmantel betroffen wurden, daß das mit Beton umhüllte Holz äußerlich ein ähnliches Verhalten zeigte, wie das Holz unter Wasser. Das Holz war bis oben hin naß und ohne äußerlich zu erkennende Fäulnis. Allerdings wurde an den bei den weiteren Versuchen sichtbar werdenden Bruchflächen der Pfähle aus Eichen- und Tannenholz 33 cm über Grundwasser ein intensiver Fäulnisgeruch konstatiert, ohne daß jedoch irgend welche Fäulniserscheinungen hätten beobachtet werden können.

Um über die Beschaffenheit der Pfähle aus dem Beton volle Klarheit zu erhalten, ließ der Verfasser die Pfähle am 17. Juni 1910 der Länge nach aufschneiden. Das Holz hatte in der Zwischenzeit im Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule gelegen, hatte also vollauf Gelegenheit gehabt, zumal das Wetter während dieser Zeit heiß und trocken gewesen war, seine Feuchtigkeit an die Luft abzugeben. Trotzdem wurde bei sämtlichen 4 Pfählen in der Strecke der Pfähle welche um den Grundwasserspiegel herum gelegen hatte, Nässe beobachtet. Der Eichenpfahl war 35 cm über und 35 cm unter dem früheren Grundwasserspiegel innerlich vollständig naß, ebenso der Kiefernpfahl 70 cm über und 32 cm unter Grundwasser, der Buchenpfahl 25 cm über und 21 cm unter dem Wasserspiegel und endlich der Tannenpfahl 30 cm über und 30 cm unter dem Grundwasserstand. Diese Erscheinung war

um so auffälliger, als die übrigen Pfahlstrecken vollständig trocken erschienen. Die Struktur des nassen Holzes war durchaus fest und unterschied sich im übrigen durch nichts von dem trocknen und gesunden Holz. Nur die Eiche hatte an dieser Stelle eine tief dunkelbraune Färbung, welche an den andern Teilen des Pfahles nicht beobachtet werden konnte.

Es standen dem Verfasser nicht genug Erfahrungen über die am Holz auftretenden Fäulniserscheinungen zur Seite, die ihm ermöglicht hätten, in diesem wenig klar liegenden Falle zu entscheiden, ob die bis dahin in Höhe des Grundwasserspiegels und etwas darüber an dem Holz angestellten Beobachtungen ausreichend seien, um von einer beginnenden Fäulnis dieser Pfahlstrecken zu reden. Der an dem Eichen- und dem Buchenpfahl beim Zerbrechen derselben vorhandene Fäulnisgeruch und die zuletzt an allen 4 Pfählen beobachtete Nässe sprachen dafür, während das gesunde Aussehen der betreffenden Pfahlstrecken entschieden gegen diese Annahme sprach. Von dem Fäulnisgeruch war übrigens an den Pfählen beim Zerschneiden nichts mehr zu bemerken. Dies steht jedoch nicht im Widerspruch zu der früher gemachten Beobachtung, denn dieser Geruch pflegt oft schon nach kurzer Aufbewahrungszeit in einem trocknen und luftigen Raum zu verschwinden, wie diese gleiche Erfahrung auch an einem stark riechenden, von Weißfäule ergriffenen Holzstück von Herrn Geheimen Hofrat Professor Lüdike zu Braunschweig gemacht wurde, das schon nach wenigen Monaten den Fäulnisgeruch gänzlich verloren hatte. Der Verfasser unterbreitete Professor Lüdike auch den vorliegenden Fall, um seine Ansicht über denselben einzuholen. Dieselbe war, aus dem Gedächtnis von dem Verfasser wiedergegeben, die folgende: «Das Holz zeigt in seinem augenblicklichen Zustand offenbar keine Fäulnis. — Die dunklere Färbung und die auffallende Nässe können auch durch andere Ursachen entstanden sein, mit Sicherheit auf vorhandene Fäulnis lassen sie jedenfalls nicht schließen. Bei dem Eichenholz ist die dunkle Färbung in Höhe des Grundwasserspiegels sogar durchaus normal; sie ist auf Gerbstoffverbindungen zurückzuführen, welche die in dem Eichenholz enthaltene Gerbsäure, wie dies oft geschieht, mit andern in dem Pfahl befindlichen Stoffen eingegangen ist. Das im Gegensatz zu dieser Pfahlstrecke besonders hell erscheinende untere Ende des Eichen-

pfahles hat seine natürliche Färbung durch die auslaugende Wirkung des Wassers verloren. — Der augenblickliche Befund läßt es deshalb unwahrscheinlich erscheinen, daß das Holz bereits von Fäulnis angegriffen war. Es ist im Gegenteil anzunehmen, daß das Holz sich bei seiner durchweg guten Beschaffenheit noch lange in dem Beton gehalten hätte.»

Unter Wasser erwies sich die Bruchfestigkeit des Holzes den Querschnitten 33 cm über Grundwasser gegenüber bei der Eiche um 76,5% größer, bei der Kiefer um 82,8%, bei der Buche um 58,0% und bei der Tanne um 53,8%. Die Werte unter Wasser, verglichen mit den Werten, die sich für die Querschnitte 78 cm über Wasserspiegel ergeben haben, lassen erkennen, daß die Bruchfestigkeit innerhalb des Betons um 17,2% bei der Eiche und um 69,5% bei der Kiefer niedriger ist als die Bruchfestigkeit unter Wasser. Gleichartige Angaben in bezug auf die Punkte 78 cm über Grundwasser bei Buche und Tanne zu machen, hält der Verfasser deshalb für unzumutbar, weil die äußeren Umstände bei diesen Pfählen, wie oben vielfach erörtert, die erzielten Resultate von vornherein wertlos erscheinen lassen würden.

2. Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz.

In bezug auf die Bruchfestigkeit von ganz nassem Holz konnte der Verfasser bei seinen Versuchen die gleiche Beobachtung machen, wie sie bereits bei den Möllerschen Versuchen gemacht wurde, daß nämlich die Bruchfestigkeit des nassen und fäulnisfreien Holzes weit hinter derjenigen des lufttrocknen Holzes zurückbleibt. Aufgeweichtes Holz unter Grundwasserstand hatte dem ganz trocknen Holz gegenüber, das im Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrt war, prozentual folgende Bruchfestigkeitsverluste erlitten: die Eiche besaß in aufgeweichtem Zustande noch 72,5%, die Kiefer 65,5%, die Buche 53,8% der Bruchfestigkeit des trocknen Holzes, während die Tanne in trockenem Zustande eine geringere Bruchfestigkeit aufwies als das sich in aufgeweichtem Zustande befindende Pfahlende, was wohl ohne weiteres auf eine zufällig minder feste Stelle in dem betreffenden Holzteil zurückzuführen ist. Es muß auch hier, ebenso wie bei den gleichartigen Möllerschen Angaben, hervorgehoben werden, daß die Hölzer mehrfach Splint aufwiesen und keinen regelmäßigen Verlauf

der Faser zeigten, so daß den soeben erhaltenen Zahlenwerten kein allgemeingültiger Wert beizumessen ist, was auch zur Genüge den beträchtlichen Unterschied zwischen den vorliegenden und den früheren Resultaten erklären mag. Die größte Bruchfestigkeit zeigte die trockene, im Innenraum des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrte Buche mit 733,3 kg/qcm.

3. Vergleich der Pfahlstrecken β der Pfähle mit und ohne Betonmantel.

Ein Vergleich der Pfahlstrecken β' im Betonmantel über Wasser mit den Pfahlstrecken β der übrigen Versuchspfähle, die sich im Boden über Grundwasser befunden haben, ergibt nichtsdestoweniger in den meisten Fällen eine bedeutende Überlegenheit der mit Beton ummantelten Hölzer.

Tanne. Die ungeschützte Tanne hatte nach den Angaben der Möllerschen Versuchsakten nach 2 Jahren und 5½ Monaten im Boden jede Spur von Festigkeit verloren, so daß sie bei leiser Berührung abbrach.

Die mit Oelfarbe gestrichene Tanne war nach 13 Jahren bereits in Bodenhöhe, unbekannt wann, abgebrochen; die im Boden befindliche Pfahlstrecke war stark angefault und zerbrach bei den späteren Biegungsversuchen bei einer Beanspruchung von 52,2 kg/qcm.

Die mit Carbolineum getränkte Tanne war ebenfalls in Fäulnis übergegangen und hielt bis zum Bruch nur eine Beanspruchung von 71,3 kg/qcm aus.

Dagegen besaß die Tanne aus dem Betonmantel 33 cm über Grundwasser noch 287,2 kg/qcm Bruchfestigkeit und der Querschnitt 78 cm über Grundwasser, welcher durch Fäulnis, die höchstwahrscheinlich auf ungünstige Nebenumstände zurückzuführen ist, stark in Mitleidenschaft gezogen war, hatte eine Bruchfestigkeit von 187,0 kg/qcm.

Buche. Während nach Angabe der Möllerschen Versuchsakten die Buche ohne Schutz nach einem Jahr und 10 Monaten bei leichter Berührung abbrach, und die mit Olfarbe bzw. Carbolineum gestrichenen Buchenpfähle nach 2 Jahren und 5½ Monaten ebenfalls abbrachen, hatte der in dem Betonmantel befindliche Buchenpfahl nach 13 Jahren in einer Höhe von 33 cm über Grundwasser noch 249,3 kg/qcm Bruchfestig-

keit; der Querschnitt 78 cm über Wasser zeigte nur 133,3 kg/qcm Bruchfestigkeit, da er, scheinbar infolge äußerer Einflüsse, von Fäulnis angegriffen war.

Kiefer. Die ungeschützte Kiefer hatte nach Verlauf von 5 Jahren, wie die oben zitierten Möllerschen Akten angeben, noch eine Bruchfestigkeit von 153,2 kg/qcm.

Die Kiefer mit Ölfarbe gestrichen war nach 13 Jahren im Boden durch Fäulnis stark angegriffen, so daß der Bruch des Versuchsstabes schon bei einer Beanspruchung von 141,0 kg/qcm erfolgte.

Die Kiefer mit Carbolineum getränkt zeigte im Boden nach 13 Jahren nur geringe Fäulnis, so daß sie bis zum Bruch eine Beanspruchung von 279,4 kg/qcm aushielt.

Der im Betonmantel befindliche Versuchsstab zeigte 33 cm bzw. 78 cm über Wasser Bruchfestigkeiten von 230,9 bzw. 248,9 kg/qcm.

Eiche. Die Eiche ohne Schutz brach nach 4 Jahren 6 Monaten nach Feststellungen von Geheimrat Möller bei leichter Berührung unmittelbar in Bodenhöhe ab.

Über die Eiche mit Ölfarbe gestrichen finden sich weder in den Akten der Möllerschen Versuche nähere Angaben, noch konnte der Verfasser über den Verbleib des Pfahles etwas feststellen; das einzige, was eventuell hier angeführt werden könnte, ist die oben bereits wiedergegebene Bemerkung aus den Möllerschen Akten, daß der Pfahl nach 5 Jahren «noch nicht abgebrochen, aber geschwächt» war, und die Tatsache, daß er nach 13 Jahren nicht mehr angetroffen wurde.

Über die Eiche mit Carbolineum getränkt stellte Geheimrat Möller fest, daß sie nach 4 Jahren und 10 Monaten bei leichter Berührung unmittelbar in Bodenhöhe abbrach, sie war ganz faul.

Der Eichenpfahl im Betonmantel hielt nach 13 Jahren bei den mit ihm angestellten Versuchen 33 cm bzw. 78 cm über Grundwasser noch 271,2 kg/qcm bzw. 408,4 kg/qcm bis zum Bruch aus.

Aus dem hier Angeführten erhellt, daß nur in einem Fall einer der Pfähle ohne Beton nach 13jähriger Standzeit den entsprechenden Versuchspfahl im Beton an Bruchfestigkeit übertroffen hat: die mit Carbolineum getränkte Kiefer zeigte eine Bruchfestigkeit von 279,4 kg/qcm gegenüber Bruchfestigkeiten

von 230,9 bezw, 248,9 kg/qcm bei der Kiefer aus dem Betonmantel. In allen übrigen Fällen stehen die mit den Pfählen ohne Beton erzielten Resultate so weit hinter den Ergebnissen, welche die Betonpfähle lieferten, zurück, daß die hohe konservierende Wirkung der Betonmantelung für Holzpfähle zugegeben werden muß.

4. Kiefernholz mit Carbolineum getränkt; Mitteilungen über in Swinemünde angestellte Ver- suche mit Kiefernholz.

Die hohe Lebensdauer speziell von Kiefernholz mit Carbolineum getränkt und seine Widerstandsfähigkeit gegen Fäulnisangriffe, welche es in hohem Maße geeignet erscheinen lassen, dem Wasserbau als Baumaterial zu dienen, wurden dem Verfasser auch von anderer Seite bestätigt. Es dürfte zweckmäßig sein, die betreffende Mitteilung an dieser Stelle zum Vergleich wiederzugeben. Es handelt sich um Versuche, welche von der Königlichen Hafengebäudeinspektion zu Swinemünde ausgeführt wurden, um festzustellen, ob ein Anstrich der dort zu verwendenden Hölzer mit Barol-Carbolineum zweckmäßig sei.

Der Verfasser gibt die ihm auf Anfrage von dem Hafengebäudeinspektor erteilte Auskunft wörtlich wie folgt, wieder:

«Versuch mit einem kiefernen Pfahl (ohne Anstrich!) 2,00 m lang, 20 cm stark, 1,00 m tief am 11. März 1903 in Sandboden auf dem Bauhofe in Swinemünde eingesetzt. Der Pfahl war: Am 1. Oktober 1906, also nach $42\frac{2}{3}$ Monaten, 10 cm über und 15 cm unter der Erdoberfläche angefault, darüber und darunter nicht angegriffen.

Am 1. Dezember 1908, also nach rund 68 Monaten, 15 cm über und 15 cm unter der Erdoberfläche angefault, darüber und darunter fest.

Am 9. Dezember 1909, also nach rund 80 Monaten, 30 cm über und 30 cm unter der Erdoberfläche angefault, darüber und darunter fest.

An Hölzer mit Barol-Carbolineum gestrichen war keine Veränderung nach dieser Zeit wahrnehmbar. Das Holz war gesund, fest und trocken.»

Über die Zweckmäßigkeit der Verwendung imprägnierter Hölzer führt das Schreiben weiterhin noch das folgende aus:

«Im letzten Jahre ist im hiesigen Bezirk eine 50 m lange Bohlwerkstrecke ausgeführt worden, deren Hölzer bis auf die Grundbohlen nach dem Verfahren der bekannten Rütgerswerke imprägniert sind. Auch bei Erneuerung der Uferbefestigung eines Fährhafens ist dieses Verfahren angewandt worden. Imprägnierte Hölzer sollen auch in diesem Jahr Verwendung finden.»

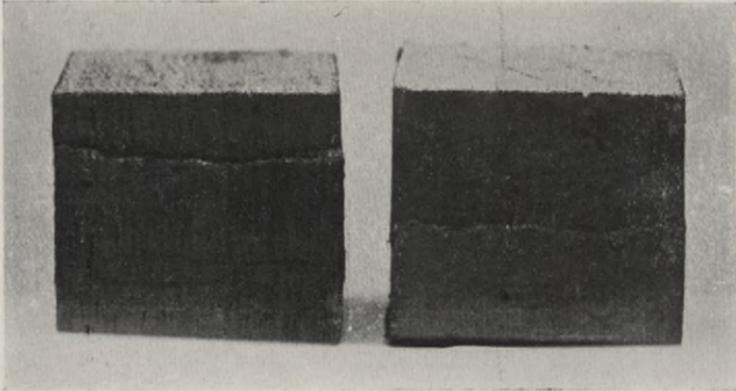
5. Verhalten des Holzes in luftiger Lage.

Die Versuchsstäbe für die Biegungsversuche 2, 5, 7 und 9 sowie für die Druckversuche 9, 11, 13 und 14 sind den oberen Enden der Versuchspfähle ohne Beton entnommen, welche, ohne mit Fäulnis erregender Substanz in Berührung zu kommen, den Witterungseinflüssen voll ausgesetzt waren. Die hierbei erzielten Resultate bestätigen die oben aus den Möllerschen Versuchen wiedergegebene Feststellung, daß dem sich unter derartigen äußern Verhältnissen befindenden Holz eine Umhüllung nicht nützen, sondern nur schaden kann. Die größte Bruchfestigkeit zeigte die Kiefer mit Carbolinum getränkt mit 642,0 kg/qcm. Die mit Ölfarbe gestrichene Tanne hatte an ihrem Kopfe ein 6 cm tiefes Loch, von welchem ausgehend in das Innere des Pfahles Fäulnis eingedrungen war; die Bruchfestigkeit betrug dementsprechend nur 188,9 kg/qcm. Die Fäulnis würde kaum in dem Umfang haben um sich greifen können, wenn der Pfahl nicht den Ölfarbeanstrich gehabt hätte, welcher, da er die Poren des Holzes verstopfte, ein rasches und völliges Austrocknen des von oben her feucht werdenden Pfahles unmöglich machte.

6. Allgemeines über die Druckversuche.

Die Druckversuche 16 bis 19 und 21 bis 24 wurden mit Druckstäben von 25 cm Länge bzw. Druckwürfeln von 5 cm Kantenlänge ausgeführt, wobei je ein Druckstab und ein Würfel aus dem gleichen Material bestanden, nämlich aus einem der in dem Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrten Hölzer. Dies ist geschehen, um festzustellen, inwieweit ungefähr die mit den 25 cm langen Versuchsstäben erzielten Ergebnisse von den Resultaten, welche Druckwürfel ergeben haben würden, abweichen. Die Versuchsergebnisse

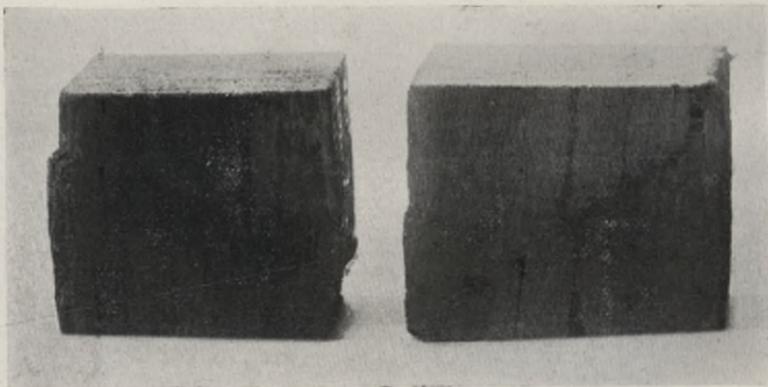
zeigen, daß die mit dem 25 cm langen Versuchsstab erzielte Druckfestigkeit bei der Eiche 83,5% der für den Druckwürfel sich ergebenden Festigkeit beträgt, bei der Kiefer 92%, bei der Buche 99% und bei der Tanne 73,5%. Einheitliches läßt sich auf Grund dieser 4 Prozentsätze nicht feststellen; bei der Kiefer ist der erhaltene Unterschied von 26,5% bedeutend, während er bei der Buche mit 1% nahezu verschwindet.



Versuch 24 (Eiche)

Versuch 22 (Buche)

Abb. 21.



Versuch 24 (Eiche)

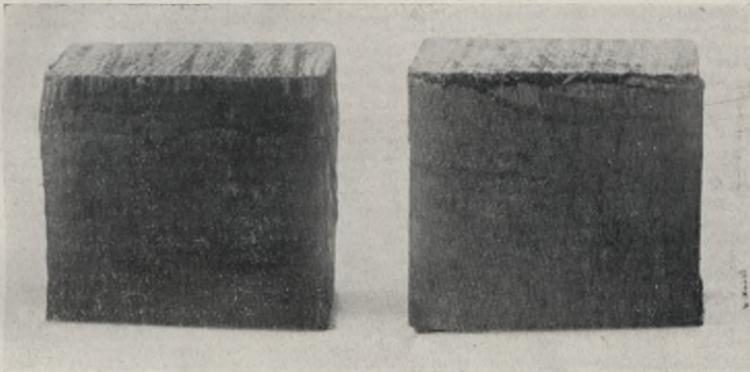
Versuch 22 (Buche)

Abb. 22.

Die größte überhaupt festgestellte Druckfestigkeit ergab ein Würfel aus Buchenholz, das im Keller des Gebäudes der Technischen Hochschule aufbewahrt worden war, mit 474 kg/qcm.

Die Versuchspfähle aus dem Betonmantel zeigten gute Widerstandsfähigkeit, die im Höchstfall bei der Kiefer 151 kg/qcm betrug; die geringste Druckfestigkeit wies die Buche in der Pfahlstrecke γ' auf (siehe Seite 36, Abb. 19), welche bei einer

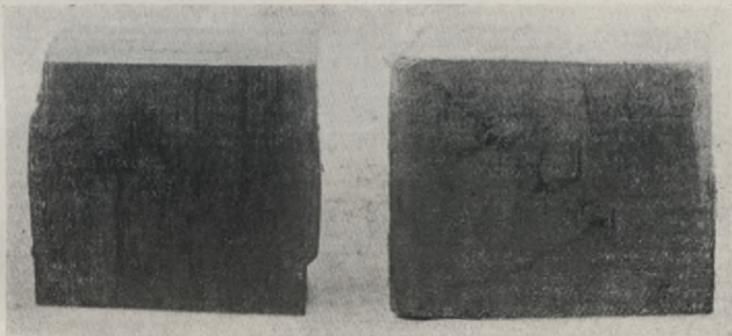
Beanspruchung von 93 kg/qcm deformierte. Es wurden von jedem Pfahl aus der Betonummantelung 2 Versuchsstäbe hergestellt und zwar aus der Pfahlstrecke β' über Grundwasser und aus derjenigen Pfahlstrecke, die sich unter dem Grundwasserspiegel im Beton befunden hatte und die Bezeichnung γ' trägt. Die Pfahlstrecke über Grundwasser wies in allen Fällen die größere Druckfestigkeit auf. Vergleicht man die Ergebnisse



Versuch 24 (Eiche)

Abb. 23.

Versuch 22 (Buche)



Versuch 24 (Eiche)

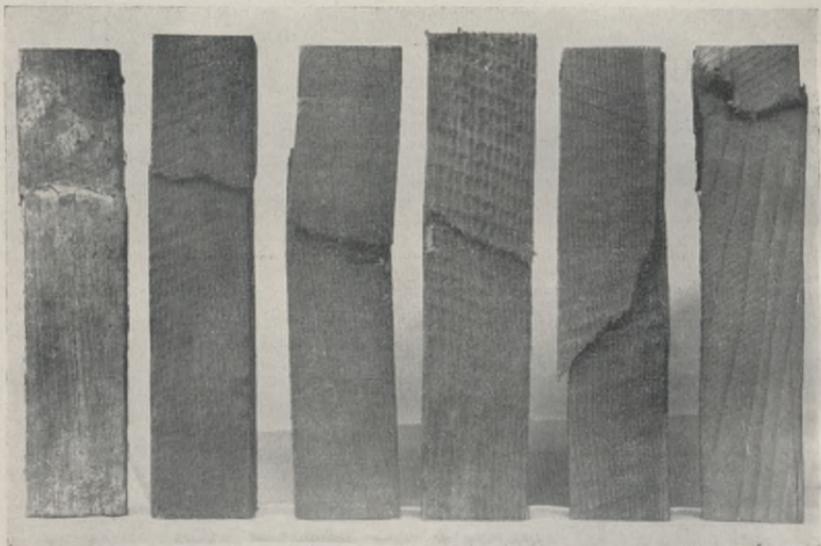
Abb. 24.

Versuch 22 (Buche)

für die Pfahlstrecke β' mit den für die trockenen Hölzer erhaltenen Druckfestigkeiten (Versuche 16 bis 19), so ergibt sich, daß die Eiche noch 43,2% ihrer ursprünglichen Druckfestigkeit besaß, die Kiefer 37,5%, die Buche 24,4% und die Tanne 57,5%. Zum Vergleich sei hier darauf hingewiesen, daß nach Möller, Grundriß des Wasserbaues, Band 1, Seite 12, Pfähle aus Kiefernholz bei ihrer Verwendung im Wasserbau auf Druck

im Maximum mit 30 kg/qcm beansprucht werden, so daß bei den vorliegenden Versuchspfählen aus dem Beton noch eine drei- bis fünffache Sicherheit gegen Zerbrechen bei den üblichen Belastungen vorhanden sein würde.

Die Pfahlstrecken β der Pfähle ohne Beton, die sich im Boden über Grundwasser befunden hatten, konnten zu Druckversuchen nicht herangezogen werden, weil aus ihnen infolge der Zersplitterung durch die Biegungsversuche und der an ihnen aufgetretenen Fäulnis keine geeigneten Versuchsstücke hergestellt werden konnten.



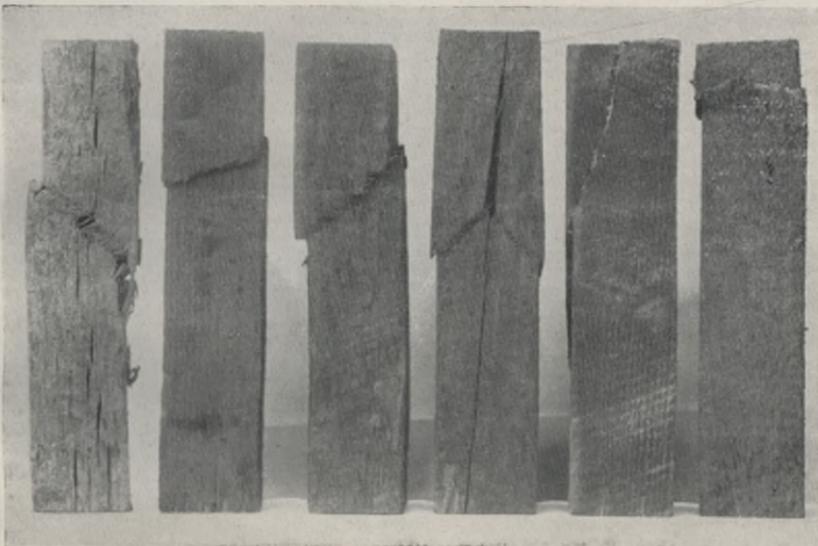
Versuche 1 11 19 10 18 16
(Eiche α , γ') (Kiefer α) (Eiche) (Kiefer γ) (Kiefer) (Tanne)

Abb. 25.

7. Die Zerstörungerscheinungen an den Druckkörpern.

In den Abbildungen 21 bis 24 sind die Druckwürfel, welche für die Versuche 22 und 24 Verwendung gefunden haben, nach photographischen Aufnahmen wiedergegeben. Da dem Verfasser die hierfür erforderlichen Vorrichtungen und Apparate nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung standen, wurden die Bilder in einer photographischen Kunstanstalt nach seinen Angaben hergestellt. Der in den Abbildungen 21 bis 24 von allen Seiten abgebildete Druckwürfel des Versuches 24 zeigt eine deutlich sichtbare Gleitfläche, die augenscheinlich glatt

von der einen Seite des Würfels bis zur gegenüberliegenden hindurchgeht, so daß dadurch das oberhalb der Gleitfläche liegende Stück des Würfels gegen den unteren Teil versetzt erscheint. Interessant ist die deutlich erkennbare Biegung der einzelnen Fasern im Verlauf der Gleitfläche. Der Druckkörper des Versuches 22, welcher in den Abbildungen 21 bis 24 ebenfalls dargestellt ist, zeigt auch eine Gleitfläche, die bei ihm jedoch von einer Kante des einen Würfelauflegers nach der schräg gegenüberliegenden Kante des andern Auflegers verläuft. In Abbildung 21 und 22 ist neben dieser quer über den Würfel



Versuche 1 11 19 10 18 16
(Eiche a, γ^1) (Kiefer α) (Eiche) (Kiefer γ) (Kiefer) (Tanne)

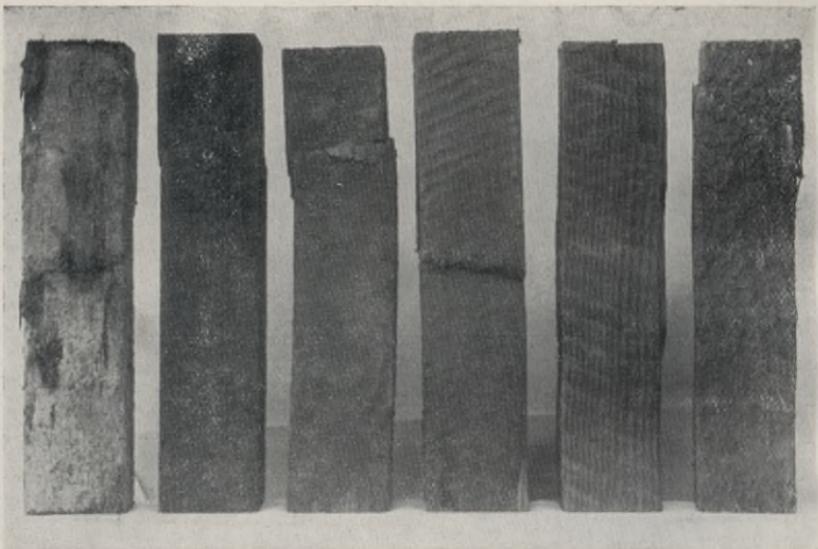
Abb. 26.

verlaufenden Gleitlinie noch eine andere kleinere Stauchfläche kenntlich, die in dem Punkte von der größern Gleitfläche abzweigt, wo diese von einem Längsriß in dem Würfel getroffen wird. Abbildung 21 zeigt, daß die kleine Stauchfläche sich nahezu horizontal über den ganzen Würfel fortsetzt, so daß sie auch in Abbildung 24 noch in die Erscheinung tritt.

Die Abbildungen 25 bis 28 geben ein Bild von den Zerstörungsvorgängen, wie sie sich bei den Druckstäben von 25 cm Länge gezeigt haben. Die Versuchsnummern sind unter den einzelnen Stäben in den Abbildungen vermerkt. Mannigfache Zerstörungsvorgänge lassen sich an diesen besonders da-

rakteristische Erscheinungen aufweisenden Versuchskörpern beobachten.

Der bei Versuch 1 zerstörte Druckstab zeigt eine deutliche Gleitfläche, welche, wie aus Abbildung 25 und 27 ersichtlich, sich nahezu horizontal durch den ganzen Pfahl hindurch fortsetzt. Die bei Versuch 11 erzielte Stauchfläche ist flacher geneigt als die soeben beschriebene. Dagegen zeigt die Gleitfläche des bei Versuch 19 verwandten Druckstabes eine treppenähnliche Form, die durch eine Unterbrechung der Gleitfläche in der Mitte und deren Fortsetzung unter dem annähernd gleichen



Versuch 1 11 19 10 18 16
 (Eiche α , γ') (Kiefer α) (Eiche) (Kiefer γ) (Kiefer) (Tanne)

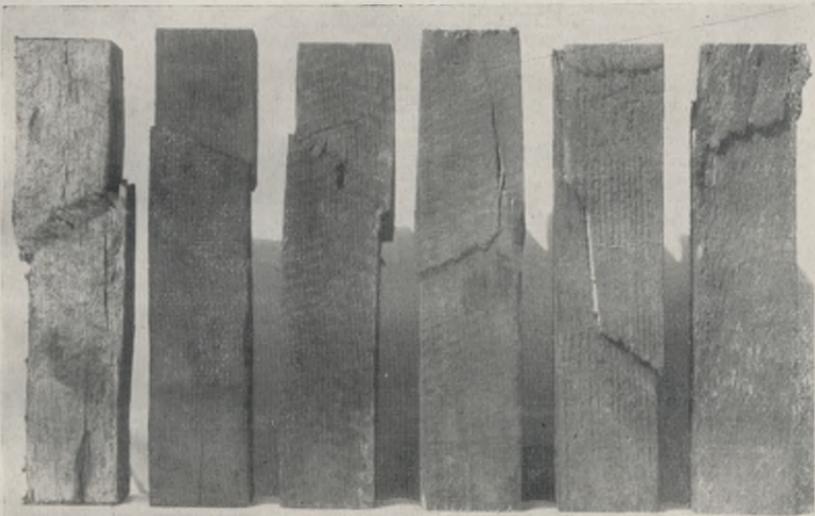
Abb. 27.

Winkel nach Überwindung eines kurzen Längsspaltcs entstanden ist. Das oberhalb der Gleitfläche liegende Stück ist durch diese Vorgänge aus seiner vertikalen Lage herausgedrängt. Der Druckstab des Versuches 16 zeigt Zertrümmerungen, die von dem einen Auslager ausgehen und zu einer weitgehenden Deformation desselben geführt haben. Bei Versuch 18 ist eine Gleitfläche entstanden, wie sie Abbildung 28 zeigt, welche durch einen längern Spalt in der Faserrichtung unterbrochen ist; der Ausgangspunkt für die Zerstörung liegt auch bei diesem Druckstab in dem einen Auflager. Eine ganz auffallende Erscheinung ist an dem Druckstab des Versuches 10 zutage getreten, indem

nämlich eine doppelte Gleitfläche entstanden ist, was darauf zurückzuführen, daß der Versuchsstab, wie aus Tabelle II hervorgeht, schon vor dem Versuch einen Längsriß hatte.

8. Schlußergebnis.

Als Schlußergebnis der gesamten nach 13 Jahren beendeten Versuche ergibt sich unter Berücksichtigung der schon nach 5 Jahren von Professor Möller erzielten Ergebnisse das Nachfolgende:



Versuch 1 11 19 10 18 16
(Eiche a, γ') (Kiefer α) (Eiche) (Kiefer γ) (Kiefer) (Tanne)

Abb. 28.

Es hat sich deutlich gezeigt, daß eine bis unter den Grundwasserspiegel hinunterreichende, dicht abschließende Betonummantelung ein Anfaulen der Hölzer außerordentlich zurückhält. Besonders widerstandsfähig haben sich die Eiche und die Kiefer gezeigt. Die Buche und die Tanne zeigten an ihrem oberen Ende Fäulniserscheinungen, welche wahrscheinlich infolge eines Risses in dem Betonmantel, durch den sie betroffen wurden, entstanden sind. Im übrigen waren diese Pfähle jedoch ebenfalls vollständig gesund. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß Buchen- und Tannenholz in einem gleich dichten Betonmantel, wie er sich um den Eichen- und Kiefernpfahl

befunden hatte, diesen beiden Pfählen an Haltbarkeit nicht nachgestanden hätten.

Mit Carbolineum zweimal getränktes Kiefernholz hat sich während der Versuchsdauer gut erhalten.

Ein Anstrich des Holzes mit Leinölfirnis und nachfolgend mit grüner Chromölfarbe hat sich bei allen damit präparierten Versuchspfählen nicht bewährt, so daß die Verwendung eines derartigen Holzanstriches für Wasserbauten unzweckmäßig erscheint.

SIEBENTES KAPITEL.

Die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes nach gesammelten Mitteilungen Deutscher Wasserbaubehörden.

22. Allgemeines über die hier wiedergegebenen Mitteilungen.

Über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei seiner Verwendung im Wasserbau sind weiterhin Erhebungen angestellt worden.

Auf Anregung von Herrn Geheimrat Möller wurde folgender Weg gewählt: Verfasser erlaubte sich an eine Reihe von Wasserbaubehörden im Deutschen Reich, welche eventuell diesbezügliche Mitteilungen machen konnten, die Anfrage zu stellen, ob diese in der Lage wären, ihm Angaben über die beobachtete Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes zu machen.

Die auf diese Weise gesammelten Mitteilungen sind nach Ansicht des Verfassers ausreichend, um gewisse nähere Feststellungen über diesen Punkt machen zu können. Es ist dem Verfasser eine angenehme Pflicht, den Behörden, welche ihn auf diese Weise unterstützt haben, an dieser Stelle seinen ergebensten Dank auszusprechen.

Es sei noch besonders hervorgehoben, daß über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei Wasserbauten in der Fachliteratur von dem Verfasser trotz eingehender Durchsicht der in Frage kommenden Quellen nur sehr wenig gefunden

Tabelle III.

Beobachtete Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes im Ebbe- und Flutgebiet der Nordsee.

1	2	3	4	5	6	7	8
Wasserbau- inspektion zu	Verwandte Holzart	Art des Bauwerks	ord. H. W.	ord. N. W.	niedr. N. W.	Höhenlage der Fäulnis- grenze	Bemerkungen
Hamburg (Strom- und Hafengebäude)	Kiefer	Duckdäuben	+ 5,0 Hbg. N.	+ 3,0 Hbg. N.	+ 1,0 Hbg. N.	+ 4,0 Hbg. N.	Hbg. N. liegt 3,538 m tiefer als N. N.
Hamburg (Hafen- unterhaltung)	desgl.	desgl.	+ 5,1 Hbg. N.	+ 3,1 Hbg. N.	+ 0,985 H. N.	ca. + 4,0 Hbg. N.	
Brunsbüttelkoog	desgl.	Leitwerke und Reibepfähle	+ 1,53 N. N.	- 1,27 N. N.	- 3,51 N. N.	+ 1,43 N. N.	Blau bis + 1,00 N. N. dann gesund.
Bremerhaven . . .	Eiche, Kiefer, Fichte u. Tanne	Reibehölzer, Molenköpfe, Landebrücken	+ 3,56 Bhv. N. (s. Bemerk.)	+ 0,26 Bhv. N. (s. Bemerk.)	- 1,95 Bhv. N.	+ 2,5 - + 3,00 Bhv. N.	Bhv. N. gleich - 2,07 N. N. Statt ord. H. u. N. W. ist mittl. H. u. N. W. angegeben.
Jever	Eiche	Schleusentore, Kajen	+ 1,2 N. N.	-	- 1,45 N. N.	ca. 0,30 m über ord. N. W.	
Brake	Kiefer	Unterbau für Landebrücken u. Kaimauern	+ 3,10 N. N.	0,0 N. N.	- 0,8 N. N.	N. zwisch. + 1,2 u. + 2,2 N. N.	
Leer	desgl.	Dalben	+ 1,30 N. N.	- 0,90 N. N.	- 2,10 N. N.	Mitte zwisch. ord. H. u. N. W.	
Emden	desgl.	Dalben, Brücken Schleuerpfähle	+ 0,20 N. N.	- 2,90 N. N.	- 4,50 N. N.	- 0,55 N. N.	
Harburg	desgl.	Dalben	+ 1,72 N. N.	+ 0,085 N. N.	- 1,80 N. N.	ca. + 0,90 N. N.	

werden konnte. Lediglich das Baupolizeigesetz der Stadt Hamburg enthält einige unten wiederzugebende Bestimmungen «über die Höhenlage der Konstruktionsteile von Bauwerken am offenen Wasser bei Verwendung von Holzteilen.» Die Bestimmungen der Hamburger Baupolizei sind für das Ebbe- und Flutgebiet und das Binnenwassergebiet der Stadt natürlich verschieden. Es wird von hohem Interesse sein, die Ergebnisse dieser Arbeit mit den bestehenden Vorschriften der Hamburger Baupolizei zu vergleichen. Bedauerlicher Weise sind Angaben über die Höhenlage der Fäulnisgrenze an Flußläufen so spärlich eingegangen, daß ein sicheres und erschöpfendes Urteil über die dort auftretenden Fäulnisgrenzen nicht gefällt werden kann. Der Verfasser würde es für sehr zweckmäßig halten, wenn über diesen für die konstruktive Anordnung von Flußbauwerken überaus wichtigen Punkt gelegentlich eingehendere Erhebungen angestellt würden, als sie für die Zwecke dieser Arbeit möglich waren.

23. Die Fäulnisgrenze im Ebbe- und Flutgebiet der Nordsee.

Für die Küsten der Nordsee sowie für die Mündungen der in diese fließenden Ströme, soweit sie in dem Ebbe- und Flutgebiet des Meeres liegen, stehen die meisten Angaben zur Verfügung.

Die Wasserbauinspektionen in Hamburg, Harburg, Brunsbüttelkoog, Bremerhaven, Jever, Brake, Leer und Emden haben über die von ihnen beobachtete Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes die in der Tabelle III zusammengestellten Angaben gemacht.

Um einen Vergleich anstellen zu können zwischen den von den verschiedenen Wasserbaubehörden angegebenen Höhenlagen der Fäulnisgrenze des Holzes und um insbesondere entscheiden zu können, wie sich die Höhenlage der Fäulnisgrenze zu den ord. H. u. N. W. - Ständen verhält, sind in der Abbildung 29 zwischen zwei Wasserständen von dem festen Abstände a , die ord. H. u. N. W. - Spiegel anzeigen sollen, die in der Tabelle III angegebenen Höhen für die Fäulnisgrenze eingetragen. Um die Auftragungen in Abbildung 29 vornehmen zu können, mußte eine Umrechnung der Angaben der einzelnen

Wasserbaubehörden stattfinden, da der Abstand von ord. H. u. N. W. in keinem Fall mit a identisch war. Sämtlichen Auftragungen liegt also ein verschiedener Maßstab zu Grunde. Der Zweck der Auftragung, von der Lage der Fäulnisgrenze zu den ord. H. u. N. W. - Ständen ein richtiges Bild zu geben, wird jedoch durch die Auftragung erreicht.

Für Brunsbüttelkoog, das die Fäulnisgrenze auf $+1,43$ N. N. angab bei einem ord. H. W. von $+1,53$ N. N. und einem ord. N. W. von $-1,27$ N. N. und außerdem vermerkte, daß das Holz bis $+1,00$ N. N. hinunter blaue Färbung zeigte, sich im übrigen aber zwischen $+1,43$ und $+1,00$ N. N. als fest erwies, ist $+1,00$ N. N. als Fäulnisgrenze angenommen worden, da die Farbenänderung zweifellos nur infolge eines, wenn auch geringfügigen, Fäulnisvorganges Platz greifen konnte.

Es ergibt sich aus dieser Abbildung, daß die Fäulnisgrenze am höchsten von Brunsbüttelkoog und am niedrigsten von Brake angegeben wurde.

Es kann außerdem festgestellt werden, daß auf Grund der Mitteilungen der Wasserbaubehörden die Fäulnisgrenze des Holzes bei Wasserbauten im Ebbe- und Flutgebiet der Nordsee zwischen ord. H. u. N. W. liegt und zwar mindestens $\frac{3}{8} a$, d. h. $\frac{3}{8}$ des jeweiligen Abstandes von ord. H. u. N. W., über ord. N. W.-Spiegel.

Diese Feststellung gilt vor allem für Kiefernholz und für Holzbauwerke wie Leitwerke, Landebrücken, Duckdalben, Reibepfähle und Unterbauten für Landebrücken und Kaimauern.

Es konnte dagegen nicht festgestellt werden, inwieweit die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes beeinflußt wird durch das zur Verwendung gelangende Holzmaterial, da fast nur Angaben über Kiefernholz vorlagen. Ein Vergleich mit den Vorschriften der Hamburger Baupolizei über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei Wasserbauten im Ebbe- und Flutgebiet ergibt Folgendes,



Abb. 29.

Als Fäulnisgrenze wird dort der untere Drittelpunkt der Ebbe- und Flutdifferenz angenommen; die Hamburger Annahme ist demnach ungünstiger, als die eben gemachte Feststellung es als erforderlich erscheinen läßt. Übereinstimmend hiermit wurde dem Verfasser denn auch von der Hamburger Wasserbauverwaltung mitgeteilt, daß nach den dortigen Erfahrungen ebenfalls diese Annahme zu ungünstig sei und daß die Fäulnisgrenze wohl etwa auf Mittelwasser läge. — Mag es nach den Feststellungen des Verfassers auch bedenklich erscheinen, die Mittelwasserordinate als Fäulnisgrenze anzunehmen, so bleibt eine erfreuliche weitgehende Übereinstimmung der Hamburger Vorschriften mit den hier gemachten Feststellungen doch immerhin bestehen.

24. Die Fäulnisgrenze bei ständig gleichbleibendem Wasserspiegel.

Über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes in Binnenhäfen, die auf gleichem Wasserstand gehalten werden, liegen 3 Angaben vor, und zwar aus Brunsbüttelkoog von der dortigen Kanalbauinspektion des Kaiser Wilhelm-Kanals, aus Emden für den dortigen Binnenhafen und aus Harburg für den Dockhafen. Die Tabelle IV gibt die von diesen drei Stellen gemachten Angaben wieder.

Tabelle IV.

1	2	3	4	5	6
Ort	Holzart	Art des Bauwerks	Wasserst.	Fäulnisgr.	Bemerkungen
Emden . . .	Kiefer	Dalben, Bohlwerke, Brückenpfähle	+ 0,0 N. N.	- 0,50 N. N. bis - 0,50 N. N.	
Brunsbüttelkoog . . .	desgl.	Leitwerke, Schwimmfender	- 0,23 N. N.	- 23 N. N.	Niedr. N. W. - 0,73 N. N.
Harburg . .	desgl.	Bohlwerke, Dalben	+ 1,40 N. N.	+ 1,55 bis + 1,60 N. N.	

Es geht aus der Tabelle IV hervor, daß die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei ständig gleichbleibendem Wasserspiegel schwankt zwischen 0,50 m über und 0,50 m

unter Wasserspiegel; am niedrigsten wurde sie in Emden mit äußerst 0,50 m unter Wasserspiegel beobachtet. Die Angaben gelten sämtlich für Kiefernholz und für Bauwerke wie Dalben, Brückenpfähle, Leitwerke und Bohlwerke.

Was die Hamburger Baupolizei-Vorschriften anbetrifft, so enthalten diese über die in Rücksicht auf die Fäulnis einzuhalten-
 tende Grenze an der Alster und den Alsterkanälen, welche auf einem Wasserstand von +6,60 gehalten werden, die Bestimmung, daß dort Fundamentholz nicht über +6,30 verwendet werden darf, d. h. also 0,30 m unter dem Wasserspiegel. Auch diese Bestimmung steht mit den Feststellungen des Verfassers hinreichend im Einklang.

25. Die Fäulnisgrenze bei Wasserbauten in der Ostsee.

Für die Küsten der Ostsee liegt eine Reihe von Angaben über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei Wasserbauten vor. Die Wasserbauinspektionen in Kolberg, Greifenhagen, Swinemünde, Danzig-Neufahrwasser, Memel und Labiau haben dem Verfasser die in der Tabelle V zusammengestellten Angaben gemacht.

Tabelle V.

1	2	3	4	5	6	7
Ort	Holzart	Art des Bauwerks	Mittelwasser	Niedr. N. W.	Fäulnisgrenze	Bemerkungen
Kolberg	Kiefer	Bohlwerke, Laufbrücken	-0,078 N.N.	-0,97M.W.	-0,10M.W.	
Swinemünde .	desgl.	Bohlwerk	+ 1,01 P. N.	- 0,18 P. N.	0,30 m über M. W.	P. N. = -1,074 N. N.
Greifenhagen .	desgl.	Jochbrücke	+ 0,25 N.N.	- 0,46 N.N.	+ 0,30 bis + 1,00 N.N.	Odermündung
Neufahrwasser	desgl.	Dalben, Uferbefestig. pp.	+ 3,50 a. P.	+ 2,54 a. P.	+ 3,00 a. P.	Neufahrwasser Pegel Null = N. N. + 3,591 m.
Dirschau . . .	desgl.	Dalben, kleine Brücken, Gatterpfähle	+ 2,45 a. P.	+ 1,42 a. P.	etwas über Mittelwass.	Weichselmünd.
Memel	desgl.	Pfahlrost für Kajemauer, Bohlwerke	+ 0,46	- 0,45	+ 0,40M.W.	
Labiau	?	Anlegebrücke	+ 0,83 P. N.	+ 0,05 P. N.	dicht über Mittelwass.	P. N. = + 0,412 N. N.

Die Angaben der Tabelle V über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes sind von den Wasserbaubehörden bei ihren Mitteilungen teils auf N. N., teils auf M. W.-Spiegel bezogen. Wenn die Angaben sämtlich auf den jeweiligen Mittelwasserstand bezogen werden, ergibt sich folgendes:

Ort	Fäulnisgrenze
Kolberg	— 10 cm M. W.
Swinemünde	+ 30 cm M. W.
Geifenhagen	+ 5 cm bis 75 cm M. W.
Neufahrwasser	— 50 cm M. W.
Memel	+ 40 cm M. W.
Dirschau	etwas über M. W.
Labiau	dicht über M. W.

Aus dieser Zusammenstellung ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes an der Ostseeküste und in den dortigen Flußmündungen nach den Angaben der Wasserbaubehörden schwankt zwischen 75 cm über dem jeweiligen Mittelwasserspiegel und 50 cm unter demselben.

Am niedrigsten wurde die Fäulnisgrenze in Neufahrwasser beobachtet mit 50 cm unter Mittelwasser.

Diese Feststellungen gelten nur für Kiefernholz, da über andere Holzarten Angaben nicht vorliegen.

Die Beobachtungen sind an Wasserbauwerken wie Bohlwerke, Laufbrücken, Dalben, Pfahlroste, Uferbefestigungen pp. angestellt worden.

26. Die Fäulnisgrenze bei Holzbauwerken in Flußläufen.

Wie schon weiter oben erwähnt, sind die Mitteilungen über die Höhenlage der Fäulnisgrenze bei Holzbauwerken in Flußläufen von den betreffenden Wasserbaubehörden so spärlich eingegangen, daß es dem Verfasser nicht möglich ist, bei diesem Punkte zu einem verwendbaren Ergebnis zu gelangen. Wenn die von den Fluß-Wasserbaubehörden eingegangenen Mitteilungen trotzdem an dieser Stelle wiedergegeben werden, so geschieht dies, um das wenn auch wenig umfangreiche Material nicht verloren gehen zu lassen und so für eventuelle spätere Feststellungen auf diesem Gebiet einen Anhalt zu geben.

Der Verfasser hält es für zweckmäßig, zunächst einige allgemeine Gesichtspunkte zu erörtern. Wie aus den Tabellen IV und VI hervorgeht, sind die Beobachtungen an den Mündungen der Flüsse, soweit sie bei der Nordsee im Ebbe- und Flutgebiet liegen und soweit sie bei der Ostsee in wasserbaulicher Beziehung dem Meere hinzu zu rechnen sind, für die Feststellungen über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes in der Nordsee bzw. Ostsee verwandt worden, so daß sie also für Feststellungen über die Fäulnisgrenze an Flußläufen nicht mehr in Betracht kommen. Wie weit die Mündung eines Flusses für die vorliegenden Zwecke zum Meere und wie weit zu dem betreffenden Flußlauf zu rechnen ist, wird im einzelnen Fall bei jedem Fluß besonders zu entscheiden sein: für die in die Nordsee einmündenden Flüsse wird ausschlaggebend sein, ob die Ebbe- und Flutbewegung des Meeres tatsächlich einen entscheidenden Einfluß auf den jeweiligen Wasserstand im Fluß hat oder nicht.

Kann eine Flußmündung in wasserbautechnischer Beziehung nicht mehr zum Meere gerechnet werden, so kommen für die Beurteilung der Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes vor allem die Wasserstände Sommer M. W., Winter M. W. und niedr. M. W. in Betracht. Im allgemeinen gilt für die Lage von Sommer- und Winter-M. W. zu einander, daß im Unterlaufe eines Flusses das Winter-M. W. das höhere ist, während im Oberlauf das Sommer-M. W. das höhere ist. Bekanntlich bilden sich ja auch bei den die norddeutsche Tiefebene durchfließenden Strömen, für welche die vorliegenden Betrachtungen vor allem gelten, die größten Hochfluten des Oberlaufs im Hochsommer und diejenigen des Unterlaufs im Frühjahr. Das Handbuch der Ingenieurwissenschaften III, 2, 1, Seite 208/9 schreibt über die Ursächlichkeit dieser Erscheinung das Folgende:

«Beim Verlauf der Hochwasser tritt ein wesentlicher Unterschied im Verhalten der Gebirgs- und Flachlandgewässer zutage. Bei den norddeutschen Strömen bilden die Gebirgsflüsse ihre größten Hochfluten im allgemeinen zur Sommerzeit aus infolge starker, lang andauernder Regengüsse; die Flachlandflüsse dagegen im Frühjahr, zur Zeit der Schneeschmelze

Obschon die Niederschläge im Winter am geringsten sind, hängt doch von ihnen die Wasserführung der Flüsse zum

großen Teile ab, da sie am vollständigsten zum Abfluß gelangen, während im Hochsommer zwar die meisten Niederschläge fallen, aber größtenteils durch Versickerung und Verdunstung verloren gehen. Nur wenn vorübergehend im Sommer bei langandauernden Regengüssen der Boden mit Wasser gesättigt und undurchlässig geworden, die Luftfeuchtigkeit vermehrt und die Luftwärme vermindert ist, erreicht das Abflußverhältnis auch während der Sommermonate eine ähnliche Größe, wie zur Zeit der Schneeschmelze. Solche außergewöhnlichen Niederschläge von größerer Ausdehnung finden aber hauptsächlich im Gebirge statt, wo überdies noch das starke Gefälle den raschen Zusammenfluß der Wassermassen in die Gebirgswässer begünstigt. Sommerhochfluten kommen daher vorzugsweise in Gebirgsflüssen vor.

Zur Zeit der Schneeschmelze verhalten sich Gebirgs- und Flachlandflüsse umgekehrt. In den Gebirgen verzögert die mit zunehmender Höhenlage abnehmende Luftwärme, die Unterbrechung des Tauwetters durch Nachfröste, die schützende Einwirkung des Waldes und anderes das schnelle Abschmelzen.

Der Schnee ist aus Tälern und Vorbergen gewöhnlich bereits verschwunden, wenn das Schmelzwasser aus den höheren Lagen herabkommt. Im Flachlande dagegen greift wegen der geringen Höhenunterschiede das Tauwetter rasch um sich. Versickerung und Verdunstung sind minder wirksam als im Sommer, und das Schmelzwasser fließt daher vollständiger ab als das Regenwasser. Während also Gebirgswässer bei der Schneeschmelze weniger hohe, aber nachhaltigere Hochfluten entwickeln, als im Sommer, zeigen die Flachlandgewässer bedeutend höhere und massigere Anschwellungen.»

Daß es für die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei Flußbauwerken von Bedeutung sein wird, ob das Sommer- oder das Winter-M. W. das höhere ist, liegt auf der Hand. Es erhellt dies schon allein aus dem Umstand, daß eine gewisse Höhe der Temperatur ein wesentlicher Faktor für das Gedeihen der Fäulnisreger ist (siehe 7, Abs. 2). Holzkonstruktionen, welche im Winter frei liegen und im Sommer dauernd vom Wasser bedeckt sind, werden unter sonst gleichen äußeren Umständen zweifellos eine längere Lebensdauer und eine andere Fäulnisgrenze aufweisen, als sie haben würden, wenn sie sich im Winter unter Wasser befinden und im Sommer

Tabelle VI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ort	Fluß	Holzart	Bauwerk	Sommer M. W.	Wi ter M. W.	Niedr. M. W.	Fäulnis- grenze	Bemerkungen
Brieg	Oder	Kiefer	Bohlwerk	Jahres M. W. 4,74 m		3,53 m	4,74 m (M.W.)	
Konstanz	Rhein (Boden- see)	Forlen- rundholz	Pfahlwand	3,87 m	3,02 m	2,25 m	3,50 m	
Mauer	Bober (Oder)	Fichte	Brücke	0,61 a. P.	0,58 a. P.	0,17 a. P.	1,00 a. P.	Fluß durch Abwä- ser verunreinigt, reißend; Kern des Holzes gesund.
Dessau	Elbe	Kiefer, Eiche und andere	Buhnen, Deckwerke pp.	+ 1,42 m	+ 1,42 m	0,23 m	+ 0,17 m	Bezogen auf Roß- lauer Pegel.
Helmstedt	Aller (Weser)	Eiche	Brücke	0,64 m	0,76 m	0,25 bis 0,30m	0,60 bis 1,20m	Brücke bei Vors- felde.
Torgau	Elbe	Kiefer	Dalben	+ 1,67 a. P.	+ 2,25 a. P.	0,26 a. P.	+ 0,70 bis + 1,20 a. P.	Mühlberger Pegel.

frei liegen. Die Bedeutung der Lage von Sommer- und Winter-M. W. zu einander für die Höhenlage der Fäulnisgrenze von hölzernen Flußbauwerken dürfte demnach außer Frage sein, ja, es erscheint berechtigt, von einer weitgehenden Abhängigkeit der Fäulnisgrenze von der jeweiligen Lage dieser Wasserstände zu einander zu reden.

Die Beobachtungen, welche dem Verfasser von Fluß-Wasserbaubehörden über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes mitgeteilt wurden, sind in der Tabelle VI wiedergegeben.

Die Reihenfolge der Wiedergabe in der Tabelle VI ist so gewählt, daß unter Voranstellung von Brieg, das nur Jahres M. W. angegeben hat, die von Flußoberläufen stammenden Angaben, welche das Sommer-M. W. höher angeben als das Winter M. W., zuerst angeführt werden. Aus Dessau liegt eine Beobachtung bei gleichem Sommer- und Winter-M. W. vor, während von Helmstedt und Torgau Beobachtungen mitgeteilt wurden für die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes in Flußläufen, welche ein höheres Winter-M. W. als Sommer-M. W. haben.

Irgend welche allgemeingültigen Folgerungen zu machen aus diesem hier vorliegenden Material über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes bei Holzbauwerken an Flußläufen würde der Verfasser bei der Unzulänglichkeit der Angaben für verfehlt halten.

Es dürfte hier jedoch ein Hinweis auf die in den vorhergehenden Kapiteln behandelten Möllerschen Versuche am Platze sein. Da diese Versuche direkt am Ufer der Oker, also unter Verhältnissen, wie sie bei Flußbauwerken häufig vorliegen, vorgenommen wurden, würden die dort gemachten näheren Angaben teilweise geeignet sein, das hier fehlende zu ersetzen

ACHTES KAPITEL.

Die Dauerhaftigkeit des Holzes unter verschiedenen Verhältnissen.

27. Allgemeines über die die Dauerhaftigkeit des Holzes beeinflussenden äußeren Umstände.

In den bisherigen Ausführungen wurden wiederholt bei der Beschreibung der am Holze sich vollziehenden Fäulnis-

vorgänge sowie bei der Bearbeitung der am Ufer der Oker angestellten Versuche Angaben über die hierbei beobachtete Lebensdauer der Hölzer gemacht; ein näheres Eingehen auf diesen für die technische Nutzbarkeit des Holzes ohne Zweifel vor allem wichtigen Punkt wurde aber bislang vermieden. Es ist diesem letzten Kapitel der vorliegenden Arbeit vorbehalten, hierüber näheres zu bringen.

Selbstverständlich kann dieser Teil des Themas nicht in der Weise erledigt werden, daß etwa an einer Reihe von Versuchen das hierfür Wichtige erörtert würde, denn derartige Versuche müßten außerordentlich umfangreich sein und würden viele Jahre in Anspruch nehmen, ehe sie ausreichende Ergebnisse liefern könnten. Das einzige Material dieser Art, welches dem Verfasser zur Verfügung steht, sind die oben behandelten Versuche des Herrn Geheimrats Professor Möller. Alsdann ist der Verfasser auch im Besitze einer Reihe von Mitteilungen deutscher Wasserbaubehörden über beobachtete Dauerhaftigkeit des Holzes. In Bezug auf alle sonstigen Fragen und Erörterungen, welche sich im Rahmen dieses Kapitels als notwendig erweisen werden, kann als einziger Anhalt nur die darüber etwa bestehende Literatur dienen.

Aus den weiter oben gebrachten Darlegungen geht hervor, daß die äußersten Grenzen, zwischen welchen die Lebensdauer der Hölzer im Wasserbau liegt, recht weiten Zwischenraum besitzen. Liegt die Dauerhaftigkeit des Holzes aber schon innerhalb eines so abgegrenzten Verwendungsgebietes, wie es doch der Wasserbau ist, bei den einzelnen Holzarten und bei verschiedenen präparierten oder geschützten Hölzern derselben Spezies zwischen weiten Grenzen, so müssen diese noch bedeutend erweitert werden, wenn man die Betrachtungen über die Lebensdauer des Holzes auf sein gesamtes Verwendungsgebiet ausdehnt.

Im dritten Kapitel der vorliegenden Arbeit wurde bei Behandlung der am Holze im lebenden und toten Zustande auftretenden Fäulnisvorgänge auf die Gefahren hingewiesen, welche für das Holz bereits im lebenden Zustande sowohl als auch kurz nach dem Fällen des Baumes bestehen. Der Verfasser hatte sich oben darauf beschränkt, hierfür einige besonders markante von ihm beobachtete Beispiele anzuführen, deren eines Fäulnis infolge von Hirschfraß zeigte, während

das andere ein Bild von Rißbildung und Fäulnis infolge einseitigen Lagerns gab.

Von Einfluß auf die Dauerhaftigkeit des Holzes sind jedoch noch eine Reihe von anderen Umständen. Ein Unterschied soll z. B. in der Dauerhaftigkeit des Holzes von Winter- und Sommerschlägen bestehen, indem Winterholz als dauerhafter gilt, als im Sommer gefälltes. Nach Angaben von Nördlinger (Die technischen Eigenschaften der Hölzer, Seite 459) stimmen dieser allgemeinen Annahme auch sehr unterrichtete Forstleute z. B. G. L. Hartig zu. Das Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften III, 2, 1 (3. Auflage) Seite 308 schreibt hierüber: «Das Fällen sollte zu der Jahreszeit erfolgen, wo der Saftumlauf stillsteht, also in unserem Himmelsstriche im Winter. Im Sommer gefälltes Holz trocknet selten so vollständig aus, wie im Winter geschlagenes; der Saft zersetzt sich leicht, das Holz fault und wird durch Insekten gern angegriffen. Auf die Festigkeit hat die Fällzeit keinen nachweisbaren Einfluß.» Nördlinger kommt im Gegensatz hierzu in seinem oben angezogenen Werke (Seite 461) allerdings zu dem Schluß, daß dieser Unterschied nicht sehr groß und unbestritten sei; er soll dies vor allem dann nicht sein, wenn das Holz gleich nach dem Hieb richtig behandelt wird.

Nördlinger berichtet an der gleichen Stelle, daß seit Jahrhunderten in Werkstätten die Annahme bestanden habe, daß bei abnehmendem Mond geschlagene Hölzer dauerhafter seien, als solche, welche bei zunehmendem Mond gefällt wurden, eine Annahme, welche, wie dem Verfasser berichtet wurde, noch heutzutage in Tirol herrschen soll. Diese Anschauung mutet den gebildeten Menschen des zwanzigsten Jahrhunderts, der gegen derartige durch nichts begründete und stark nach Mystik aussehende Spekulationen ein berechtigtes Mißtrauen hegt, nahezu komisch an, es ist daher nicht uninteressant, zu erfahren, daß ein ganz ernsthafter Gelehrter des achtzehnten Jahrhunderts, namens Duhamel, umfangreiche Versuche anstellte, welche diese weitverbreitete Ansicht auf ihre Richtigkeit prüfen sollten. Das Resultat war, wie Nördlinger berichtet, vernichtend, denn das bei zunehmendem Mond gefällte Holz stellte das übrige Holz weit in den Schatten, was also den Beweis für die Haltlosigkeit der allgemein verbreiteten Annahme erbrachte.

Sind die Mitteilungen über diese Versuche auch nicht von irgend einem wissenschaftlichen Wert oder von praktischer Bedeutung, so dürfte ihnen ein historisches Interesse im Rahmen der vorliegenden Arbeit doch zuzusprechen sein, zumal da sie beweisen, daß das Holz seiner komplizierten Natur wegen und infolge der mannigfachen Erscheinungen, welche an ihm auftreten, leicht zu irreführenden und unhaltbaren Annahmen verleitet.

Von wirklicher Bedeutung für die Dauerhaftigkeit der Hölzer sind dagegen eine Reihe von andern Umständen. Die äußeren Vegetationsbedingungen, unter denen sich das Wachstum eines Baumes vollzieht, sind vor allem von großem Einfluß auf die technisch wichtigen Eigenschaften des Holzes, insbesondere auf seine Dauerhaftigkeit. Es ist bekannt, daß Bäume auf trockenem Boden ein biegsameres und elastischeres Holz zu geben pflegen, als solche von feuchtem Standorte; Sumpfboden gilt hierbei für besonders gefährlich. Das Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften III, 2, 1 Seite 308 vermerkt über diesen Punkt: «Warme Gegenden und sonniger Stand erzeugen im allgemeinen festes und schweres Holz. Die besten Bauhölzer wachsen auf mäßig trockenem, lockeren Boden, der das Wasser frei abziehen läßt, wie Schotter mit sandigem Lehm gemengt; die schlechtesten auf Sumpfboden. Unter Hölzern der nämlichen Gattung sind die aus kalten Gegenden, unter Hölzern verschiedener Gattung sind jene aus heißen Ländern die festesten. Man vergleiche die nordische mit der südlichen Eiche; Eisenholz, Ebenholz mit unseren europäischen Hölzern.»

Von hoher Wichtigkeit für die Lebensdauer des Holzes ist auch das Alter des Baumes, von dem es stammt. Junges, splintreiches Holz ist mit größter Vorsicht zu verwenden, da das an Protëinstoffen besonders reiche junge Holz allen in Frage kommenden äußeren Angriffen auf dem Lagerplatz sowohl wie bei der technischen Verwertung in besonders hohem Maße ausgesetzt ist.

Nach der Fällung unterliegt der Baum dem Einfluß seiner Umgebung in noch höherem Maße als im lebenden Zustand. Das Holz lagert dann und gibt während dieser Zeit einen großen Teil seiner Feuchtigkeit an die Luft ab, bis es bei einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt angelangt ist, den es je nach den äußeren Umständen wohl verläßt, zu dem es aber nach

längerer oder kürzerer Zeit immer wieder zurückkehrt. In diesem Zustand heißt das Holz lufttrocken. Daß der Holzkörper, ehe er in diesen Zustand gelangt, großen Gefahren ausgesetzt ist, wurde anschaulich bereits oben durch das in Abbildung 2 wiedergegebene Beispiel demonstriert; in dem dort wiedergegebenen Fall dringt die Fäulnis durch die infolge ungleichmäßigen Austrocknens entstandenen Risse in den Holzkörper ein. Natürlich kann das Holz in diesem Stadium auch ohne eine nach außen hin so deutlich sichtbare Veranlassung in Fäulnis übergehen, sei es, daß der lebende Baum bereits den Keim zu dieser Erkrankung gelegt hat, sei es, daß durch chemische Zersetzungen, welche z. B. von dem Boden ausgehen können, der Anstoß zu diesen Erscheinungen gegeben wird.

Sehr gefährlich sind in diesem Stadium auch eine große Anzahl von Tieren, wie vor allem Käfer und Holzwürmer, für den gefällten Baum. Der Splintkäfer z. B., dessen Name auf seinen bevorzugten Aufenthaltsort am Holzstamm hindeutet, richtet häufig großen Schaden an. Der beste Schutz gegen diese Parasiten ist der Harzgehalt der Hölzer, so daß harzreiche Nadelhölzer von ihnen stets verschont werden. Auch die Art der Lagerung des austrocknenden Holzes ist von großem Einfluß; das Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften III, 2, 1 Seite 308 führt hierüber Folgendes aus: «Das Austrocknen des Holzes kann auf künstlichem oder natürlichen Wege erfolgen. Im letzteren Falle werden die Hölzer an einem trockenen, womöglich vor Regen, Sonnenschein und starken Winden geschützten Orte so aufgestapelt, daß die freie Luft sie von allen Seiten bestreichen kann. Geflößtes Holz und solches, das frisch gefällt 14 Tage im Wasser gelegen, trocknet rascher aus, als anderes. Zimmerholz sollte vor der Verwendung etwa 2 Jahre lang auf dem Trockenplatze lagern. . . Gedörrtes Holz hat an Festigkeit gewonnen, leidet aber, der Witterung ausgesetzt, Schaden.»

28. Beispiele für besonders hohe Dauerhaftigkeit des Holzes bei seiner technischen Verwertung.

Für die Zwecke der Architektur ist künstlich getrocknetes, sogenanntes gedörrtes Holz dagegen ohne Schaden verwendbar. Auf diesem Gebiet liegen die Verhältnisse überhaupt bei weitem

günstiger für die Lebensdauer der Hölzer als auf den übrigen technischen Verwendungsgebieten des Bauholzes. Mayer führt hierfür (Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial, Seite 97) folgendes Beispiel an: „An dem Dach des Tempels der Diana zu Ephesus soll 400 Jahre gebaut worden sein, und es wird angegeben, daß dasselbe aus Cedernholz bestand, woraus man also einen Schluß auf die Dauer dieses Holzes unter günstigen Umständen machen kann. Von der Dauerhaftigkeit des Zypressenholzes wird Ähnliches erzählt.“ Eine derartig unerhörte Dauerhaftigkeit besitzen die in Deutschland heimischen Hölzer allerdings kaum, wengleich auch an ihnen Jahrhunderte manchmal spurlos vorübergehen. Wie dem Verfasser von Augenzeugen berichtet wurde, sind z. B. beim Umbau des Gewandhauses in Braunschweig Balken, welche 6—700 Jahre im Innern des Hauses konstruktiven Zwecken gedient hatten, in einem so tadellosen Zustand angetroffen worden, daß ihrer Verwendung für den Neubau keine Bedenken entgegen standen. Durch Zufall entdeckte der Verfasser unlängst auf dem Platz des Zimmermeisters Herrn Schniete in Braunschweig eine sechskantige eichene Holzsäule, welche nach Angabe desselben noch aus dem alten Holz des Gewandhauses stammte. Das Holzstück war außerordentlich fest, frei von Wurmstich und durchaus gesund, es ist in Abbildung 30 nach einer photographischen Aufnahme wiedergegeben.

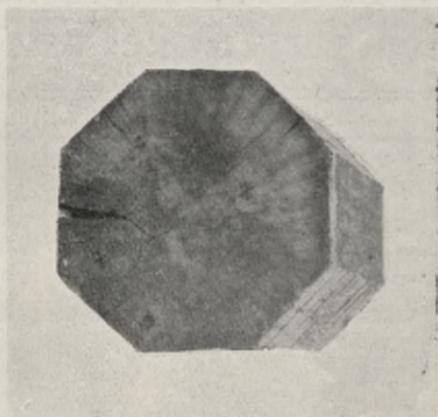


Abb. 30.

Auch das im Häuserbau gewöhnlich verwandte Tannenholz hält sich bei richtiger Behandlung sehr lange. Das aus dem Abbruch von alten Häusern stammende Bauholz wird in den meisten Fällen wieder zu Bauzwecken verwandt; allerdings darf dies nur dann geschehen, wenn in dem alten Hause nicht Hausschwamm oder Trockenfäule bestanden haben, weil sonst die Gefahr besteht, daß diese Holzkrankheiten in das neue Haus verschleppt werden.

29. Die Lebensdauer der Hölzer bei ihrer Verwendung im Wasserbau unter verschiedenen Verhältnissen.

1. Die aus den Versuchen in Kapitel 4 und 5 sich ergebende Lebensdauer der Versuchspfähle.

Weniger günstig liegen, wie oben vielfach betont, die Bedingungen für die Dauerhaftigkeit der Hölzer im Wasserbau.

Die Versuchspfähle aus den oben eingehend wiedergegebenen Versuchen am Ufer der Oker haben sich unter sehr ungünstigen äußeren Verhältnissen befunden, wie sie ähnlich bei Gründungen an Flußufern häufig vorhanden sind, sie können also gewissermaßen als typische Fälle betrachtet werden. Das Holz gelangt da in Berührung mit feuchtem Humusboden. Die Hölzer sind aus Stämmen von nur mittlerem oder geringem Alter geschnitten.

Tabelle VII.

Über die an der Versuchsstrecke von Geheimrat Möller gewonnenen Ergebnisse.

1	2	3
Pfahl	Lebensdauer	Bemerkungen
Tanne	2 Jahre 5½ Monate	In Bodenhöhe abgefault.
Buche	1 Jahr 10 Monate	desgl.
Kiefer	—	Nach 5 Jahren nicht abgefault.
Eiche	4 Jahre 6 Monate	In Bodenhöhe abgefault.
Tanne	weniger als 13 Jahre	desgl.
Buche	2 Jahre 5½ Monate	desgl.
Kiefer	—	Nach 13 Jahren stark angefault.
Eiche	—	—
Tanne	—	desgl.
Buche	2 Jahre 5½ Monate	In Bodenhöhe abgefault.
Kiefer	—	Nach 13 Jahren leicht angefault.
Eiche	4 Jahre 10 Monate	In Bodenhöhe abgefault.
je	—	Nach 5 Jahren gesund, nach 13
2	—	Jahren am obern Ende angef.
1	—	Nach 5 Jahren und nach 13
2	—	Jahren gesund.

Über die an diesen Pfählen beobachtete Lebensdauer sind zwar in den vorhergehenden Kapiteln zahlreiche Angaben gemacht, jedoch fehlt bislang eine von diesem Gesichtspunkt aus angeordnete übersichtliche Zusammenstellung derselben, diese wird in Tabelle VII gegeben.

Die aus der Lebensdauer der einzelnen Versuchspfähle sich ergebenden Folgerungen sind in dem Schlußergebnis der obigen Versuche (siehe Kapitel 6!) bereits enthalten, so daß hier ein Hinweis auf diesen Teil der Arbeit ausreichen dürfte. Die geringste beobachtete Lebensdauer beträgt 1 Jahr und 10 Monate und zwar bei ungeschütztem Buchenholz. Das vorzügliche Verhalten des Eichen- und Kiefernholzes innerhalb eines dichten, bis unter Grundwasser reichenden Betonmantels verdient hier nochmals hervorgehoben zu werden.

2. Die Lebensdauer der Hölzer nach Angaben deutscher Wasserbaubehörden.

In der gleichen Weise wie dies bei den Ermittlungen über die Höhenlage der Fäulnisgrenze des Holzes geschehen war, wurden auch über die Lebensdauer der Hölzer von dem Verfasser Erkundigungen bei Deutschen Wasserbaubehörden eingezogen. Es sind eine Reihe von Angaben darüber eingegangen, die, der besseren Übersicht wegen, in der Tabelle VIII zusammengestellt sind.

Die in der Tabelle VIII wiedergegebenen Mitteilungen deutscher Wasserbaubehörden über die Lebensdauer des Holzes im Wasserbau regen zu mannigfaltigen Betrachtungen an.

Vor allem wäre es für die Zwecke der vorliegenden Arbeit wünschenswert gewesen, über die für die Unterhaltung der Bauwerke getroffenen Maßnahmen in allen Fällen genaue Angaben zu besitzen. Das Fehlen diesbezüglicher Mitteilungen bei vielen Angaben erschwert einerseits die Beurteilung derselben, andererseits verursacht es eine bedauerliche Unsicherheit beim Vergleich einander ähnlicher Fälle, für die es sonst leichter möglich wäre, allgemeingültige Gesichtspunkte von wissenschaftlichem Interesse oder praktischer Bedeutung zu eruieren. Trotzdem glaubt der Verfasser, daß das vorliegende Material immerhin geeignet ist, für die Bearbeitung der in diesem Kapitel zu behandelnden Frage ausreichende Anregung und brauchbare Unterlagen zu bieten.

Tabelle VIII.

1	2		3
Ort	Lage am Fluß	Meer	Bauwerke
Emden	Mündung der Ems	Nordsee	Dalben, Brücken, Scheuerpfähle
Emden (Binnenhafen)	—	—	Dalben, Brückenpfähle, Bohlwerke
Brunsbüttelkoog	Mündung der Elbe	Nordsee	Leitwerke, Reibepfähle
Harburg	Mündung der Elbe	Nordsee	Dalben
Harburg (Dockhafen)	—	—	5pfählige Dalben, Bohlwerke
Leer	Mündung d. Ems	Nordsee	Dalben usw.
Brake	Mündung der Weser	Nordsee	Gerüstunterbau für Landebrücken, Fundamentunterbau für Kaje-mauern
Jever	—	Nordsee	Schleusentore, Kaje
Bremerhaven	Mündung der Weser	Nordsee	Reibehölzer, Molenköpfe, Lande-brücken
Hamburg (Hafenunterhaltung)	Mündung der Elbe	Nordsee	Duckdalben
Hamburg (Strom- und Hafenaufbau)	Mündung der Elbe	Nordsee	Duckdalben
Kolberg	—	Ostsee	Bohlwerke, Laufbrücken
Swinemünde	Mündung d. Od.	Ostsee	Bohlwerk
Greifenhagen	Mündung der Oder	Ostsee	Jochbrücke über die Reglitz
Neufahrwasser	Mündung der Weichsel	Ostsee	Uferbefestigungen, Dalben usw.
Memel	—	Ostsee	a) Kaimauer auf Pfahlrost mit Reibwand b) Bohlwerke c) Ladebrücken
Karlsruhe	Rhein	—	Ständer von Schiffsbrücken
Mühlhausen	Rhein-Rhone-Kanal	—	Schleusentore
Lauenburg	Elbe	—	Bohlwerk
Dirschau	Mündung der Weichsel	Ostsee	Dalben, Gatterpfähle, Leitwerke, kleinere Brücken
Lübeck	Mündung der Trave	Ostsee	Bohlwerke, Dalben
Otternorf	Mündung der Elbe	Nordsee	Pfahlwand
Breslau	Oder	—	Kleine Schleusen
Konstanz	Rhein (Boden-see)	—	Pfahlwand
Dessau	Elbe	—	Buhnen, Deckwerke, Grund-schwellen
Helmstedt	Aller (Weser)	—	Holzbrücke
Torgau	Elbe (Mühl-berger Hafen)	—	Duckdalben
Brieg	Oder	—	Bohlwerk

4	5	6	7
Holzart	Unterhaltung der Bauwerke	Lebensdauer	Bemerkungen
Kiefern-Rundholz (40 cm Durchm.) Kiefer	Jährlich Anstrich mit Carbolineum desgl.	ca. 50 Jahre	Splint nach ca. 10 Jahren verfault
desgl.	—	ca. 40 Jahre, Bohlwerke nur ca. 20 J. 16 Jahre	
desgl.	—	15 bis 20 Jahre	
desgl.	—	desgl.	
desgl.	—	15 Jahre	
desgl.	—	bis rd. 1,0m über ord. N. W. unbegrenzt	
Eiche	—	25 bis 30 Jahre	
Eiche, Kiefer, Fichte, Tanne	—	15 bis 20 Jahre über Wasser	
Kernkiefern (Kiefer)	—	20 bis 25 Jahre	Lebensdauer auch durch Schifffahrt beeinflusst
Kiefer	—	10 bis 20 Jahre	
desgl.	—	Pfähle 18 Jahre	Hintersetzungsbohlen nur 6 J. Lebensdauer
desgl.	—	35 bis 40 Jahre	
desgl.	N. ca. 15 Jahr. sämtl. Joche aufgeständert	bis jetzt ca. 50 Jahre	Erneuerungsbedürftig
desgl.	—	10 bis 40 Jahre	
desgl.	a) Holme und Reibehölzer n. 8-10 Jahr. c) Bohlenbelag und Stichbalken nach 6-8 Jahren erneuert	insges. ca. 20 Jahre	Spundwände unter Mittelwasser größere Lebensdauer
Fichte (Forle) (mit Teeranstrich)	—	12 bis 13 Jahre	
Eiche (imprägn. mit Carbolin. od. Barol)	—	im Mittel 20 Jahre	
?	—	30 Jahre	
Kiefer	—	8 bis höchst. 10 Jahre	
Kiefer, Eiche	—	Kiefer 10 bis 15, Eiche 25 bis 30 Jahre bis zu 100 Jahren	
Kiefer (imprägniert mit Carbolineum)	—	12 Jahre	
Fichte (Forle)	—	ca. 70 Jahre	
Kiefer, Eiche	—	Kiefer 10-15, Eiche 15-25 Jahre	Unterhalb der Fäulnisgrenze 50 bezw. 100 J.
Eiche	Erneuerung nach ca. 20 Jahren	30 bis 60 Jahre	
Kiefer	—	ca. 20 Jahre	
desgl.	—	12 J. b. z. 1. Erneuer.	

Beim Übergang zu den einzelnen Angaben der Tabelle VIII sei im voraus bemerkt, daß die Mitteilungen der in Frage kommenden Wasserbaubehörden in dieser Zusammenstellung nicht immer vollständig wiedergegeben werden konnten, der Verfasser mußte sich vielmehr oftmals darauf beschränken, das Wesentliche herauszugreifen und nur dieses in den betreffenden Rubriken zu vermerken.

Von Emden, das die Lebensdauer seiner Wasserbauwerke aus Holz bei jährlich einmal wiederholtem Anstrich mit Carbolineum oberhalb der Fäulnisgrenze auf ca. 50 Jahre im Außenhafen und auf ca. 40 Jahre im Binnenhafen angibt, wird noch besonders hervorgehoben, daß das Kernholz der Bohlwerke über Wasserspiegel bereits nach ca. 20 Jahren verfault, als Grund hierfür führt das Schreiben der Wasserbauinspektion von der Hinterfüllung ausgehende Feuchtigkeit an. Eine Mitteilung aus Kolberg, nach welcher die Lebensdauer von Hintersetzungsbohlen nur 6 Jahre beträgt, dürfte sich ebenfalls mit dem nachteiligen Einfluß der Bodenfeuchtigkeit erklären lassen.

Diese beiden Angaben regen zu einer Erörterung über den Einfluß des Bodens bzw. verschiedener Bodenarten auf den Holzkörper an. Da, wie oben vielfach festgestellt, Feuchtigkeit einer der wichtigsten Faktoren für das Zustandekommen von Fäulnisercheinungen ist, so ist es klar, daß sich verschiedene Bodenarten ungleich bezüglich der Konservierung des mit ihnen in Berührung kommenden Holzes verhalten, wo doch auch das Verhalten der verschiedenen Bodenarten zur Feuchtigkeit ein unterschiedliches ist. Sehr gute Eigenschaften schreibt Mayer (Chemische Technologie des Holzes als Baumaterial, Seite 100) dem Ton- und strengen Lehmboden sowie dem nassen Sandboden zu, da bei allen diesen Bodenarten die Vorbedingungen für die Fäulnis ungünstig liegen: gleichmäßige Feuchtigkeit, Luftabschluß, niedrige und gleichmäßige Temperatur. Mayer fährt in seinen Betrachtungen wie folgt fort: «Es ist denn ebenso erklärlich, warum Holz im trockenen Sandboden und im Kalkboden am raschesten verdirbt, denn hier hat Wasser und Luft abwechselnd Zutritt, und diese Bodenarten sind warme. Warum dann der Kalkboden noch ganz besonders zerstörend wirkt, dafür läßt sich ein chemischer Grund beibringen, indem der Kalk als Base durch Bindung entstehender humoser Säuren zu deren Bildung prädisponiert und dann auch deren Oxydation beschleunigt».

Sehr interessant sind aus Brake übermittelte Angaben über eine dreigleisige Landebrücke für große Seefahrzeuge. Die Brücke ist aus Holz und Eisen hergestellt. Die Oberkante des Holzunterbaues liegt auf 1.0 m über ord. N. W., die des eisernen Aufbaues auf 2.0 m über ord. H. W., gleich 5.0 m über ord. N. W. Da die in Brake beobachtete Fäulnisgrenze äußerst mit 1,2 m über ord. N. W. beobachtet ist, so kann die Lebensdauer des Gerüstunterbaues als unbegrenzt gelten.

Im Bereiche derselben Wasserbauinspektion liegt, wie das Schreiben weiterhin erwähnt, der die Vorhafenmauern tragende Pfahlrost auf 1,2 m über ord. N. W., so daß das Holz bei jeder gewöhnlichen Tide mehrere Stunden der Luft ausgesetzt ist; es bleibt in der angegebenen Höhe jedoch so naß, daß Fäulnis ausgeschlossen ist.

Von den sich eines regen Schiffsverkehrs erfreuenden Plätzen an den deutschen Meeresküsten und Flußmündungen, wie z. B. Hamburg und Emden, wird besonders darauf aufmerksam gemacht, daß Beschädigungen durch Schiffe, Eisgang und höhere Gewalten die Lebensdauer der Holzbauwerke ungünstig beeinflussen.

Für die in den Häfen vielfach verwandten Duckdalben wird im allgemeinen eine Lebensdauer von 10 bis zu 20 Jahren angegeben, für kieferne Kernkienen gibt die Wasserbauinspektion «Hafenunterhaltung» in Hamburg als äußerste Grenze 25 Jahre an. Nach den Erfahrungen in Dirschau beträgt die Lebensdauer derartiger Dalben für die Weichselmündung jedoch nur 8 bis höchstens 10 Jahre, während Emden bei jährlich einmal wiederholtem Carbolineumanstrich oberhalb der gewöhnlichen Wasserstände 40 bis 50jährige Lebensdauer erzielt. Dieser ganz bedeutende Unterschied ist nach Ansicht des Verfassers vor allem auf die vorzüglichen Maßnahmen, welche in Emden zur Unterhaltung der Holzbauwerke getroffen werden, zurückzuführen. Ob eine so sorgfältige Unterhaltung der Holzbauwerke sich überall vom wirtschaftlichen Standpunkte aus als vorteilhaft erweisen wird, ist jedoch zweifelhaft; sie wird es nur dann sein können, wenn den hierzu erforderlichen Maßnahmen keine örtlichen Schwierigkeiten entgegentreten, welche die Kosten für die Unterhaltung etwa bedeutend erhöhen würden, und wenn die Höhe des Holzpreises derartig bedeutende Aufwendungen rechtfertigt.

Neuerdings werden in Dirschau, wie die dortige Wasserbauinspektion mitteilt, Pfahlhauben aus Eisenblech und Platten aus Sandbeton verwandt, um das Eindringen des Tagewassers in den Pfahl zu verhindern. Diese Einrichtung hat die nachteilige Nebenwirkung, daß sie zugleich auch das Austrocknen des Pfahles unmöglich macht, wenn infolge des Aufsaugevermögens der Holzfaser die Feuchtigkeit von unten in dem Pfahl aufsteigt. Daß diese ungünstige Nebenwirkung dem Vorteil der Anordnung gegenüber nicht beträchtlich ins Gewicht falle, glaubt der Verfasser in Zweifel ziehen zu müssen.

In einer Mitteilung der Rheinbauinspektion zu Karlsruhe wird auf einen Punkt hingewiesen, der im Abschnitt 27 der vorliegenden Abhandlung bereits erörtert ist. «Von wesentlichem Einfluß», so berichtet das Schreiben der Rheinbauinspektion, «für die Dauer des Holzes ist, daß das Holz auf der Sonnenheite auf trockenen, hoch gelegenen Halden gewachsen ist». Die oben aus der Literatur mitgeteilten Angaben über den Einfluß des Standortes auf die Qualität des Holzes finden durch diese Mitteilung aus der Praxis des Wasserbaues ebenso sehr eine Bestätigung wie eine Ergänzung.

Über das Imprägnieren der Hölzer liegen einige Angaben vor, welche zu einem näheren Eingehen auf diese Materie anregen.

Die Wasserbauinspektion Breslau hat bei zwei kleineren hölzernen Schleusen die Erfahrung gemacht, daß «nach 12 Jahren das ganze über dem Mittelwasser stehende Holz verfault war, obgleich ein alter erfahrener Zimmermeister aus Breslau der Lieferant und der ausführende Unternehmer war. Es war Kiefernholz verwendet worden. Wahrscheinlich war dasselbe nicht trocken und ist durch vorzeitige Verwendung von Carbolineum Avenarius das schnelle Faulen veranlaßt worden». Daß durch Imprägnieren nicht ganz trockenen Holzes mit Carbolineum so große Schädigungen hervorgerufen werden können, hält der Verfasser deshalb für unwahrscheinlich, weil eine der hervorstechendsten Eigenschaften des Carbolineums ist, daß es die Poren des Holzes nicht verstopft und so dem nachträglichen Austrocknen des Holzes kein Hindernis in den Weg legt. Eine Wirkung, wie sie hier von dem Carbolineum vermutet wird, würde dagegen leicht bei Teer- oder Ölfarbanstrich möglich sein, da diese, wie oben verschiedentlich be-

tont, die Poren verstopfen und so das Austrocknen des Holzes nach erfolgter Anfeuchtung hintenanhalten. Es dürfte in Bezug hierauf ein Hinweis auf das in 7, Abs. 2 wiedergegebene Beispiel angebracht sein, das über Fäulnis berichtet, welche hauptsächlich durch luftabschließenden Teeranstrich verursacht war.

Über das Verhalten verschiedener Holzarten imprägnierenden Substanzen wie Carbolineum und Barol gegenüber berichtet der Wasserbauinspektor in Mühlhausen, daß nach den dortigen Erfahrungen beide Mittel gleichwertig und wirksam seien; auch wird auf die bekannte Tatsache hingewiesen, daß weniger dichte Hölzer von diesen Mitteln einen besseren Schutz erfahren als dichte. Bei Tannen- und Eichenholz wäre diese Erfahrung auch im dortigen Wasserbaubezirk gemacht worden.

Daß weniger dichte Hölzer und vor allem junges Holz in viel höherem Maße der Imprägnierung zugänglich sind, als altes festes Kernholz oder das Holz besonders harter Holzarten dürfte ohne weiteres rein physikalisch dadurch zu erklären sein, daß das festere Holz länger feucht bleibt und dann, da nicht genügend trocken, Imprägniermasse schlecht aufnimmt. Bei derartigen Hölzern wird meist die Frage zu erörtern sein, ob die Imprägnierung nicht unwirtschaftlich ist und besser völlig unterbleibt. Sehr lehrreich sind die von Meyer in seiner Chemischen Technologie des Holzes auf Seite 172 hierüber gemachten Angaben. Meyer kommt hier auf Grund von Versuchen, welche ihm die erforderlichen Daten über die relative Dauerhaftigkeit imprägnierter und nicht imprägnierter Schwellenhölzer von verschiedenen Baumarten an die Hand geben und welche er dem Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, III. Supplementband, 1869, Seite 57 entnommen hat, zu dem Ergebnis, daß «für das Buchenholz die Imprägnierung unter allen Umständen rentabel sein muß, während dies Resultat für die Nadelhölzer und noch mehr für das Eichenholz bei sehr billigen Holzpreisen zweifelhaft ist».

Diesem Hinweis entsprechen in vieler Beziehung die Bedenken, welche der Verfasser oben gegen zwar überaus sorgfältige, aber sehr kostspielige Unterhaltungen von Holzbauwerken geltend machte; es ließe sich nur dann rechtfertigen, auch größere Kosten für die Unterhaltung von Holzbauwerken nicht zu scheuen, wenn der Holzpreis ein entsprechend hoher

wäre, die größeren Kosten des Neubaus also diese Maßnahmen als wirtschaftlich erscheinen lassen würden.

Auch ohne Imprägnierung erreicht das Holz im Wasserbau zeitweilig eine hohe Lebensdauer. Am Meere und in den Flußmündungen tritt dies allerdings selten ein. Um so interessanter ist eine in Tabelle IX verzeichnete, dem Verfasser auf Anfrage zugegangene Mitteilung des Herrn Kgl. Baurats Abraham über hundertjährige Lebensdauer von Eichenpfählen aus einer Pfahlwand des Seedeichs zwischen Otterndorf und Altenbruch am linken Ufer der Elbmündung. Die Pfähle stehen ca. 1,0 m über ord. H. W. und sind, wenngleich durch Wetter und See geschwächt, doch vollständig gesund. Günstige Angaben über Dauerhaftigkeit des Holzes bei Wasserbauten liegen auch aus Konstanz vom unteren Bodensee und aus Helmstedt von der Aller vor, in beiden Fällen also von Flußoberläufen. An einer bei Ermatingen im Untersee errichteten Pfahlwand, welche als Wellenbrecher dient und vor 65—70 Jahren errichtet wurde, hat sich nach Angabe der Konstanzer Wasserbaubehörde das zur Verwendung gelangte Forlen-Rundholz oberhalb der Fäulnisgrenze bis auf den Splint ziemlich gesund erhalten. Unter Wasser befindliches Holz hat sich im Bodensee nachweisbar Jahrhunderte lang gesund erhalten; in Bezug auf die Dauerhaftigkeit des Holzes unter Wasser stimmen die Angaben dieser Behörde übrigens mit sämtlichen dem Verfasser zugegangenen Mitteilungen überein.

30. Über das Auftreten des Bohrwurmes an der deutschen Nordseeküste.

Zum Schluß gibt der Verfasser einige Mitteilungen wieder, welche ihm über das Auftreten des Bohrwurmes an der deutschen Nordseeküste auf Anfrage gemacht worden sind. Bekanntlich hat dieser Bohrwurm (*Teredo navalis*) an der englischen Südküste vor Jahren derartige Verwüstungen an den dortigen Holzbauwerken angerichtet, daß es eine Zeit lang schien, als ob das Holz an den englischen Küsten vollständig aus der Reihe der für Wasserbauten in Frage kommenden Baumaterialien ausscheiden müßte. Mit der Zeit hat man jedoch gelernt, diesen Feind des Holzes zu bekämpfen, und zwar geschieht dies vor allem durch Imprägnierung mit einer

unter dem Namen «Sotor» in den Handel gebrachten Flüssigkeit oder auch durch Beschlagen der Hirnseiten des Holzes mit breitköpfigen Nägeln.

An den deutschen Nordseeküsten hat sich dieser gefährliche Parasit auch wiederholt gezeigt und stellenweise großen Schaden angerichtet. Es ist daher erfreulich, zu hören, daß sich die Bekämpfung mittels Sotor bzw. mittels Bedecken der Hirnseiten des Holzes mit Nägeln, wie das Weg- und Wasserbauamt Jever berichtet, erfolgreich erwiesen hat.

In den Flußmündungen tritt der Bohrwurm nicht auf; so kommt er in der Elbmündung nach Angabe von Herrn Kgl. Baurat Abraham z. B. nicht über Cuxhaven hinaus. Ebenso berichten Brunsbüttelkoog, Bremerhaven und Leer, daß in den dortigen Bezirken der Bohrwurm nicht angetroffen werde. Die Wasserbauinspektion in Emden bezeichnet das Auftreten des Bohrwurmes in ihrem Bezirk als unerheblich. Sie schreibt hierüber folgendes: «Im Emdener Außenhafen ist im Pfahlrost und in den Reibepfählen der Ufermauer nach 9 Jahren seit ihrer Verwendung der Bohrwurm gefunden, jedoch waren nur wenige Pfähle angegriffen, in denen die Gänge nur etwa 1 cm tief waren. Im Binnenhafen ist kein Bohrwurm gefunden. In dem Eichenholz der Schützen der Nesslerunder Seeschleuse ist der Bohrwurm stark enthalten.»

An den Ostseeküsten tritt der Bohrwurm nicht auf.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

S-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-3303

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297611