

Universitätsbibliothek Karlsruhe

IV E 2363

Engesser, Friedrich

Holzbau

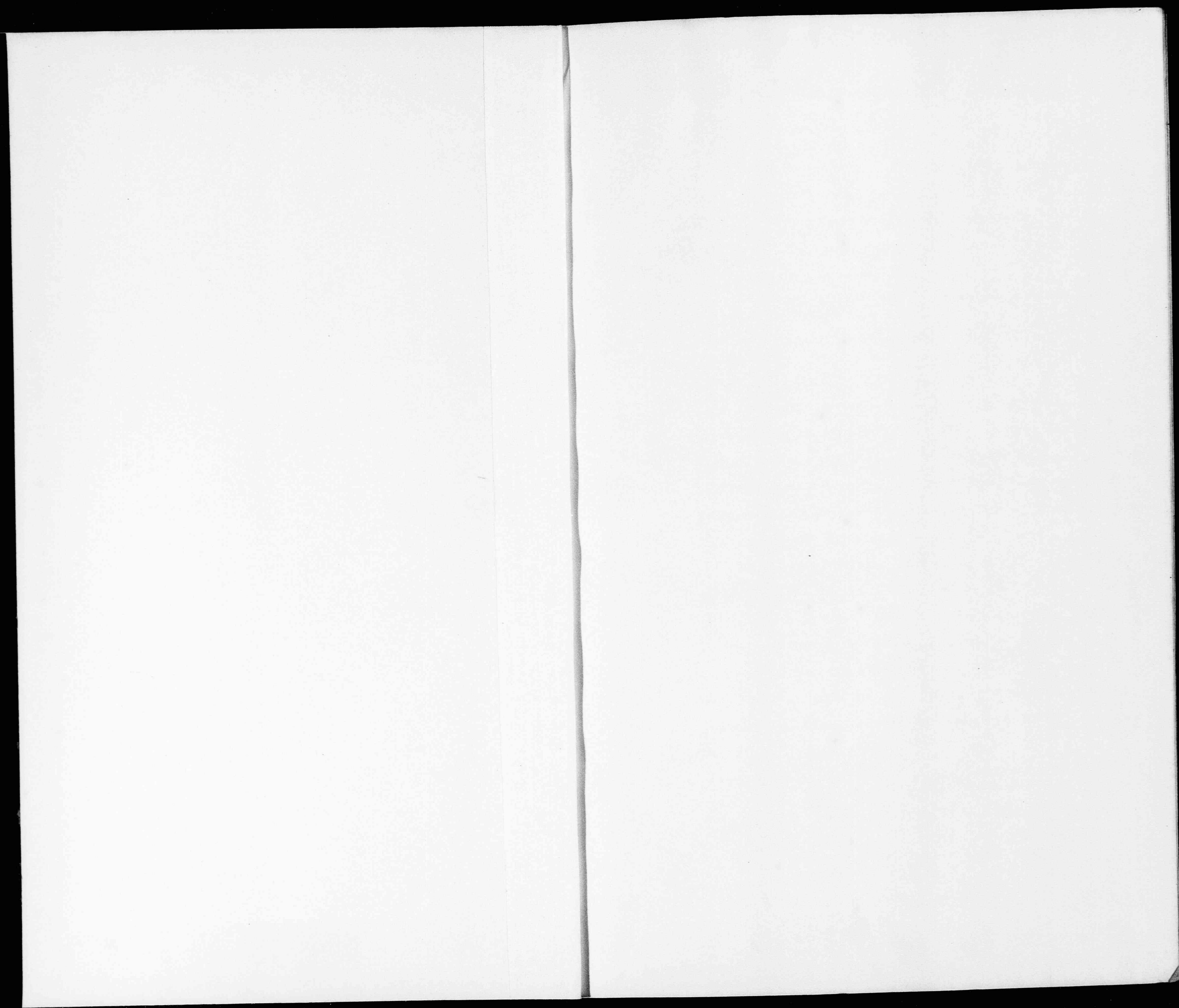
1921

Holzbau Engesser

1921

IV E

2363



(Friedrich Engesser:)

H O L Z B A U .

IV E 2363. (Nachschrift der Vorlesung von Wilhelm Hauser.)
J. J. 1921.

Einleitung: Ueberblick, Allgemeines über Baumaterialien,

Vergleiche derselben,

Technisches und Wirtschaftliches,

Der lebende Baum,

Das Holzmaterial,

Die Holzbauten, Konstruktion, Bauweisen und Berechnung,

Die Holzkonservierung.



I. Einleitung ¹⁾

Die Baustoffe, aus denen der Ingenieur seine Bauwerke bildet, sind in der Hauptsache Holz, Stein, Beton, Eisen. Hier sollen die "Holzbauten" eingehender behandelt werden: Baustoff, bzw. Baumaterial, Bauweisen, Berechnung. (Die Hauptanwendungsgebiete besprochen und Vergleiche mit den anderen Baustoffen gezogen werden.)

Holz ist das älteste Material, das der Mensch zu allen seinen Werken heranzog; es war ihm am leichtesten zugänglich, bequem zu bearbeiten und zusammenzufügen (evtl. mit Bast). Verwendung zu Waffen, Hausrat, Schlitten, Wagen, Werkzeugen, Wohnung (Windschirme, Zelte, Hütten, Blockhäuser, Pfahlbauten), Kähnen (Einbäume), Brückentegen, als Baumaterial. Diese universale Verwendung klingt noch in einzelnen Sprachen nach :

Zimmer; althochdeutsch Zimbar heisst Bauholz, dann Holzbau. Ebenso das lautverwandte domus = Bau aus Holz.

Zimmern (Zimberen) eigentlich = bauen, erbauen.

Zimmermann = der Bauende.

(timber, englisch = Bauholz).

Wand bestand aus gewundenem Flechtwerk evtl. mit Lehm ausgefüllt.

1) Zur Einführung einige Lichtbilder von Holzbauten bei Beginn des Vortrags.

In der griechischen Sprache wird das Wort (Holz) ganz allgemein zur Bezeichnung von Baustoff und Brennstoff und schliesslich von Stoff (materia) überhaupt gebraucht (Hylozoismus). Uebernahme in die wissenschaftliche Sprache.

Wegen der leichten Vergänglichkeit des Holzes ist uns allerdings aus den Urzeiten fast nichts mehr von Holzbauten erhalten geblieben (Ausnahme : die unter Wasser befindlichen und hierdurch geschützten "Pfahlbauten".) Doch zeigen die heutigen, noch wilden Urbewohner von Amerika, Afrika, Asien und Australien den Urzustand der Kulturvölker; ihre primitive Kultur ist im wesentlichen Holzkultur. Für sie ist heute noch Holz der "Stoff" . Durch die Einführung der Steine und später durch die der Metalle während der sich weiter entwickelnden Kultur ist die Verwendung des Holzes auf einzelnen Gebieten eingeschränkt, z.T. fast ganz verdrängt worden; andererseits sind aber auch neue Anwendungsgebiete hinzugekommen. Auf allen Kulturstufen bis zur Gegenwart ist Holz eines der wichtigsten Rohmaterialien geblieben (in den heutigen Tagen des Notstandes aber hat es noch eine ganz besondere Bedeutung erhalten, da es z.T. wieder an die Stelle von Eisen und Mauerwerk treten muss).

Von besonderem Wert für die Bauwerke (des Ingenieurs und Architekten) sind die von der Natur gebotenen grossen Längendimensionen des Holzes (der Baumstämme) , sein geringes spezifisches Gewicht, seine Elastizität und Zähigkeit, seine Festigkeit gegen Biegung, Zug und Druck, die Leichtigkeit und Raschheit seiner Bearbeitung; in manchen Fällen ist es ohne wesentliche Bearbeitung direkt anwendbar (als Stützpfehl, Tragbalken). /Die geringe Leitungsfähigkeit von

Wärme und Schall, die insbesondere für Wohnungsbauten in Betracht kommt./Es wird von der Natur jährlich in grossen Mengen erzeugt und immer wieder auf's Neue den Menschen dargeboten. Es ist zu Wasser leicht zu transportieren (Flössen) wegen seiner Schwimmfähigkeit. Ueble Eigenschaften für Bauzwecke sind aber seine begrenzte Dauer, insbesondere im Freien. (Zerstörung durch Fäulnis und Wurmfrass). Die geringe Widerstandsfähigkeit gegen Verbrennen und die ständigen Formänderungen, Schwinden und Quellen unter dem Einfluss der Witterung, der wechselnden Feuchtigkeit. Z.T. können diese Misstände durch sorgfältige Behandlung (Austrocknen), durch Anstrich oder Tränken des Holzes mit konservierenden, fäulniswidrigen Stoffen gemildert werden. In der Regel kommt Holz im Verein mit Eisen zur Verwendung, das zur bequemen und besseren Verbindung der einzelnen Holzglieder gebraucht wird. Ausnahmsweise werden einzelne Glieder, insbesondere Zugglieder, vollständig aus Eisen statt aus Holz hergestellt. Man hat es dann mit einer "Verbundkonstruktion" zu tun.

Schon frühe, noch in vorhistorischer Zeit, ist der "Stein" (der natürliche und der künstliche, Backstein, Ziegel) zu Bauten verwendet worden und hat hier das Holz n.T. ersetzt. Er verdankt dies hauptsächlich seiner fast unbegrenzten Dauer, seiner Witterungsbeständigkeit, Feuerseicherheit(Unverbrennbarkeit), grossen Druckfestigkeit, seinem häufigen Vorkommen(oft dort, wo Holz fehlt), seiner monumentalen Wirkung (Tempelbauten).

Die Zugfestigkeit und Biegezugfestigkeit des Steins sind sehr gering; der Stein ist daher nur zur Aufnahme von

Druckkräften brauchbar. Das Gewinnen und Transportieren des Steins in grossen Dimensionen, die exakte Bearbeitung zu vorgeschriebenen Formen ist mühsam und teuer. Zum Zusammensetzen der Steinbauten aus verhältnismässig kleinen Stein- stücken, die mehr oder minder regelmässig bearbeitet sind (Quader, Bruchsteinmauerwerk und zum Ausgleich der Uneben- heiten der Bausteine wird "Mörtel" als Bindestoff, ~~xxxx~~ (Kalk Zement) verwendet, der anfänglich weich, mit der Zeit an Festigkeit zunimmt, wenn er auch die der Bausteine nicht erreicht. Infolgedessen ist die Festigkeit von Mauerwerk, insbesondere des jungen, wesentlich geringer als die der Steine allein, aber bei schwachen, regelmässigen Fugen grösser als die des Mörtels allein. Die grosse Festigkeit der Steine kann daher im Mauerwerk nicht ausgenutzt werden, am besten in Quadermauerwerk mit seinen dünnen, regelmässi- gen Mörtel-(Lager) Fugen.

Beton besteht ebenfalls wie Mauerwerk aus Stein und Mörtel; doch ist hier der Mörtelgehalt wesentlich grösser. Die Steine sind sehr klein und von beliebigen, unregel- mässigen Formen (Schotter, Kies) ohne bestimmte Fugenrich- tung, sie sind in die Grundmasse des Mörtels eingebettet. Die Festigkeit des Betons ist im wesentlichen durch die des Mörtels bedingt (in der Regel geringer). Der Beton wird ebenso wie das gewöhnliche Mauerwerk erst nach einer bestimm- ten Erhärtungsfrist tragfähig. Zug und Biegung kann auch der Beton nur in sehr geringer Masse aushalten. In Mauer- werk und auch in Beton sind nur grobe Konstruktionsformen ausführbar (Massivbau, keine gegliederten Konstruktionen).

Das spezifische Gewicht des Steins ist gegenüber dem

von Holz gross, in der Regel 2,3 - 4 mal grösser, daher braucht man starke Gerüste (Holz) für die Ausführung von Steinbauten, längere Ausführungszeit und besondere Schonfrist bis der Mörtel ausreichend erhärtet ist, insbesondere bei Beton. Stein wird seinen Festigkeitseigenschaften entsprechend in erster Linie zu Stützwerk verwendet, Mauern, Pfeiler, zu Fundamenten von Holz- und Eisenkonstruktionen wegen der Beständigkeit, dann auch zu Drucktragwerken (Gewölben.)

Im 18^{ten} Jahrhundert kam neben Holz und Stein als neuer Hauptbaustoff für Bauwerke das Eisen in Verwendung. Anfänglich das Gusseisen, innerhalb gewisser Grenzen beliebig formbar (durch den Giessprozess), sehr druckfest, aber spröde, von geringer Zug- und Biegungsfestigkeit; sodann das zuverlässigere schmiedbare Eisen, Schweisseisen, Flusseisen und Stahl, welches das Gusseisen im Bauwesen fast vollständig verdrängt hat. Seine Hauptverwendung ist im Maschinenbau, wo seine beliebige Formgestaltung von grösster Bedeutung ist. Es ist das festeste, edelste Baumaterial, von hervorragender Zug-, Druck- und Biegungsfestigkeit (Bildung der Materialformen durch den Walzprozess, bequeme Verbindungsfähigkeit zu gegliederten Konstruktionen (Fachwerk) durch Nieten, Schrauben, jedoch sehr grosses spezifisches Gewicht, teuer, nicht so wetterfest wie Stein, gegen Rostgefahr sind Schutzmittel (Anstrich) erforderlich; es ist zwar unverbrennlich, aber nicht feuerfest, es erweicht in der Gluthitze). Es ermöglichte einen wesentlichen Fortschritt in der Ueberwindung grosser Spannweiten (Forth-Brücke 528 m). Seit Ende des 19^{ten} Jahrhunderts ist der "Eisenbeton" in das Bauwesen eingedrungen, ein Verbundmaterial,

eine Verbundkonstruktion aus Eisen und Beton gebildet, das in seinen Eigenschaften und in seinen Formen eine Mittelstellung zwischen Eisen und Beton einnimmt. Die Hauptmasse, der billige Beton, ist wetterfest und sehr feuerbeständig und dient statisch zur Aufnahme von Druckspannungen; das durch Einbettung in den Beton vor Wetter (Rost) und Feuer-geschützte teure Eisen zur Aufnahme von Zugspannung. Der Beton entspricht den Knochen und der Haut des tierischen Körpers, das Eisen den Muskeln und Sehnen. Er ist in erster Linie widerstandsfähig gegen Druck, kann aber auch entsprechend seinem Gehalt an Eisen Biegungs- und Zugspannungen aushalten. Leichte Formbildung durch Einfüllen des noch weichen Betons und die in ihn eingebetteten Eisenteile (Rundeisen) in entsprechende Formen, in denen er längere Zeit bis zur Gebrauchserhärtung unterstützt bleiben muss. (Bildung grösserer zusammenhängender Massen (Monolithe) möglich und von gegliederten Konstruktionen, wenn auch weniger als Holz und Eisen. Die Herstellung eines Eisenbetonbaues muss wie die von Steinbauten im wesentlichen an Ort und Stelle erfolgen, während Eisen- und Holzkonstruktionen anderwärts (in Werkstätten) vorgerichtet und dann an Ort und Stelle nur zusammengesetzt werden (montiert) oder gar fertig, in endgültiger Form beitransportiert und eingesetzt werden (bei kleinen Bauten).

Jedes der genannten Baumaterialien (Holz, Stein und Beton, Eisen, Eisenbeton) hat seine besonderen Vorzüge und Mängel technischer und wirtschaftlicher (finanzieller) Art. Ein jedes hat je nach den besonderen Verhältnissen von Ort und Zeit auf bestimmten Gebieten die Vorherrschaft, auf anderen steht es in Wettbewerb mit seinen Nebenbuhlern, wo es

je nach den technischen Forderungen und Bedingungen und den in stetem Wechsel befindlichen Preisverhältnissen den Sieg erringt. Bisweilen geben auch ausersachliche Gründe : Mode, Reklame, einseitige Anschauungen den Ausschlag. Bezüglich der Erhältlichkeit der Materialien bzw. ihrer Verfügbarkeit zur Verwendung ist folgendes zu bemerken: Holz wird fertig als Stoff (Baustoff) von der Natur dargeboten zur Verwandlung in Baumaterial (geformter Baustoff) bedarf es nur geringer Zeit und Arbeit (Fällen, Zersägen und Zerschneiden in Balken und Bretter; hinzu kommt dann in einzelnen Fällen ein Zeit- und Arbeitsaufwand für das Tränken mit fäulniswidrigen Stoffen, die als Nebstoffe in das Baumaterial eingebracht werden. Wo jedoch der holzspendende Baum erst erzeugt werden muss, bedarf es sehr langer Zeit (100 Jahre und mehr); die organische Natur arbeitet sehr langsam, sie kann sich Zeit lassen, der Mensch aber muss sich in seinem Bedarf der Arbeitsfähigkeit der Natur anpassen, er darf keinen "Raubbau" treiben, nicht die vorhandenen Vorräte unvernünftig aufbrauchen, ohne Rücksicht auf die Zukunft. (Schwierigkeit der Wiederaufforstung im Hochgebirge).

Der natürliche Stein findet sich ebenfalls vorrätig als "Baustoff" (evtl. bei bestimmten Arten in begrenzten Mengen, eine ständige Neuerzeugung wie bei Holz findet nicht statt); zum "Baumaterial" bedarf es in der Regel noch des Brechens oder Ausgrabens (Kies und Sand) (abgesehen von der evtl. späteren Bearbeitung zum Werkstein) (Quader) oder Zerkleinern zu Schotter, was je nach der Art der Gewinnungsstelle, Steinbruch, Kiesgrube, Sandgrube, mehr oder minder Zeit und Arbeit in Anspruch nimmt.

Für künstliche Steine (Backstein, Ziegel) muss der von der Natur gebotene Rohstoff (Ton, Sand) besonders geformt und durch besonderen Prozess (Brennen) gehärtet werden, das hierdurch entstehende "Baumaterial" erleidet hierbei eine chemische und physikalische Umänderung gegenüber dem Rohstoff. Ausser dem entsprechenden Aufwand an Zeit und Arbeit kommt hier auch noch ein Aufwand von Brennstoff in Betracht; ausser den Rohstoffen (Ton, Sand) braucht man hier noch "Hilfsstoffe", die aber nicht wie erstere im fertigen Baumaterial enthalten sind, sondern "verbraucht" worden sind. Reichliches Vorhandensein und Billigkeit des Rohstoffes für sich allein genügt nicht, wenn die Hilfsstoffe knapp bemessen sind, wie das Brennmaterial (Inflationszeit).

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den in Mörtel und Beton enthaltenen Bindestoffen, insbesondere dem Zement. Hier bedarf es eines besonders grossen Aufwands an Zeit, Arbeit und Hilfsstoffen (Brennkohle) bis der Zement aus den reichlich vorhandenen Rohstoffen hergestellt ist.

Am meisten Zeit, Arbeit und Hilfsstoffe erfordert das Eisen, bis die Rohstoffe (Erze) gewonnen, zum Baustoff Eisen (in chemischer Hinsicht) umgebildet und zum Baumaterial (Baueisen) Schienen etc.) geformt und verarbeitet sind.

Die Baumaterialien müssen nun noch von der Erzeugungsstelle an die Verwendungsstelle (Fabrik, Baustelle) transportiert werden, wozu es ebenfalls wieder Zeit und Arbeit und Hilfsstoffe (Kohle für Lokomotiven) bedarf. Der Aufwand hierfür ist von der gegenseitigen Entfernung abhängig, und dann, ob Berg- oder Taltransport, und fällt umsomehr ins Gewicht, je schwerer das Material im Verhältnis zu seinem

technischen und wirtschaftlichen Wert ist. So können Steine wegen ihres verhältnismässig grossen Gewichts in normalen Fällen nur auf geringere Entfernungen verschickt werden. Weit günstiger liegen die Verhältnisse bei Eisen, wo jedoch evtl. mehrfacher Transport in Frage kommt: Hütte - Fabrik - Baustelle. Bei Betonbauten sind die Transportkosten nur von geringer Bedeutung, falls die Hauptmasse Kies und Sand an Ort und Stelle vorhanden und nur der Zement zugeführt werden muss. Für Holzbauten ist hinsichtlich des Transports das verhältnismässig geringe Gewicht des Baumaterials günstig. In manchen Fällen kann dasselbe beigeflösst werden, wobei der Aufwand an Hilfsstoffen (Kohle) für den Transport entfällt. Holz hat seinen Eigenschaften entsprechend die unbedingte Vorherrschaft beim Bau von Gerüsten, bei rasch herzustellenden Bauten, insbesondere Notbauten und Hilfsbauten, bei den meisten provisorischen Bauten, bei Bauten, die versetzt werden. Es kommt besonders bei solchen Bauten in Betracht, wo geringere Gebrauchsdauer, die über die ihm von der Natur beschiedene Lebensdauer nicht hinausgeht, verlangt werden, bei Bauten, die vor den schädlichen äusseren Einflüssen, insbesondere auch Wechseln der Feuchtigkeit, geschützt sind (im Hochbau, im Innern von Gebäuden. d.h. unter Dach, evtl. zwischen Brandmauern, Pfähle unter Wasser) und auch dort, wo durch zulässige Tränkungsmitel die Lebensdauer angemessen erhöht werden kann (Eisenbahnschwellen, Holzpflaster). In gewissen Fällen ist die grosse Elastizität des Holzes (Bahnschwellen, Strassenpflaster), die grosse Leichtigkeit (Brückengedeck, Brückenpflaster, Flugzeuge, Wagen), die geringe Wärmeleitung und Schalldämpfung (Wohnhäuser) von Bedeutung. In anderen Fällen (sehr häufig) gibt

die Billigkeit (Wirtschaftlichkeit) des Holzbaues den Ausschlag (was insbesondere in holzreichen oder leicht mit Holz versorgbaren Gegenden eintreten kann); so zu Brücken in Amerika, Schweiz, Norwegen, Russland, Oesterreich, dann allgemein zu Decken, Dachstühlen, z.T. auch Wänden gewöhnlicher Gebäude. Nahezu unersetzlich ist das Holz für den Einbau in Bergwerken und bei der Herstellung von Tunnelbauten. Das Einbauen der leichten Hölzer geht rasch vor sich, das elastische, stark deformierbare Holz, zeigt durch seine Verformungen und sein Klingen Ueberanstrengungen (unerwarteten Gebirgsdruck) an. Es ist hier ein Dynamometer, es warnt den Ingenieur, der durch das leichte Einziehen von Verstärkungshölzern rasch der Gefahr entgentreten kann.

In Erdbebengebieten (Japan) bietet der leichte Holzbau die beste Sicherung gegen Zusammensturz. Steinbauten, insbesondere Gewölbebauten sind hier besonders gefährlich. Die alten, auf den Erdbebengebieten von Unteritalien und den griechischen Inseln erbauten dorischen Tempel vermeiden zweckentsprechend den Gewölbebau; sie zeigen hölzerne Balkendecken und einen breiten, massigen, widerstandsfähigen Unterbau aus Stein, dicke gedrungene Säulen (ursprünglich auch aus Holz). Die gotischen Dome mit ihren gewölbten Steindecken sind gegen stärkere Erdstösse nicht widerstandsfähig; sie konnten sich nur in den nördlichen erdbebenfreien Gebieten ausbilden. (So ist die Rücksicht auf die Erdbebengefährdung von massgebendem Einfluss auf die Entwicklung der Baustile geworden).

Eine Zeit lang hat man unter dem Banne der grossen Er-

folge des Eisenbaues und Eisenbetonbaues die Holzbauten zu definitiven Bauwerken etwas geringschätzig behandelt und ihre Anwendung auch dort ausser Acht gelassen, wo sie ihrer technischen und namentlich auch wirtschaftlichen Eigenschaften wegen den Vorzug verdient hätten. Z. T. rührt dies auch davon her, dass bei Eisen und Eisenbeton von Anfang an die technische Wissenschaft sich geltend machte und alle guten Eigenschaften dieser Materialien nutzbar machte bzw. ausbildete. Eisen- und Eisenbetonbauten sind Schöpfungen des wissenschaftlich gebildeten Ingenieurs, Holzbauten sind in der Hauptsache durch das Handwerk ausgebildet worden (Empirie, Tradition, Handwerksregeln). Erst in den letzten Jahren hat sich nun auch die Wissenschaft mehr mit dem Holzbau beschäftigt, hinsichtlich der Verbesserung des Materials (Baumwuchs, Konservierung), den Bauweisen, Berechnung und Ausführungen. Neue wissenschaftlich durchdachte Bauweisen sind entstanden, z. T. in sachgemässer Nachbildung von Eisenkonstruktionen und werden noch weiter entstehen, die dem Holz einen Teil des früheren von ihm allein beherrschten Gebiets zurückerobern werden. Begünstigt werden diese Bestrebungen durch die Not der Zeit (Inflationszeit). Eisen und Zement (Beton) die beide zu ihrer Erzeugung Kohle bedürfen, sind ausserordentlich im Preis gestiegen und in grösseren Massen schwer erhältlich. Holz dagegen, wenn auch ebenfalls stark verteuert, ist leichter und rascher zu beschaffen (wenn auch z. T. auf Kosten des Waldbestandes).

folgt das Eisenblech und Eisenbeton die Holzbohlen zu
 definitiven Bauwerken etwas geringere Festigkeit und
 ihre Anwendung auch dort besser als Eisen, wo sie ihrer
 technischen und ästhetischen Eigenschaften wegen
 den wegen den Vorzug verdient hätten. E. T. führt dies auch
 an, dass bei Mauer und Eisenbeton von Anfang an die
 technische Wissenschaft sich geltend machte und alle guten
 Eigenschaften dieser Materialien nutzbar machte bzw. aus-
 bildete. Eisen- und Eisenbetonbauwerke sind hölzernen Bau-
 werken wissenschaftlich gelehrt, letztere sind in
 der Hauptsache durch das Handwerk ausgebildet worden (im-
 pitie, Tradition, Handwerksregeln). Erst in den letzten Jah-
 ren hat sich auch die Wissenschaft mehr mit dem Holzbau
 beschäftigt, hinsichtlich der verschiedenen Material-
 (Bauweise, Bauweise, Bauweise), den Bauweisen, Bauweise und
 Ausführungen. Neue wissenschaftliche Kenntnisse haben
 sind entstanden, z. B. in der Holzbohlenbauweise von Eisen-
 Konstruktionen und werden noch weiter entstehen, die den
 Holz einen Teil des Ertrages von ihm allein bekommen
 Gebiete zurückgewinnen werden. Folglich werden diese Ge-
 staltungen durch die Holzbohlen (Eisenbeton) zu einer Bauweise
 und Eisen (Eisen) als Folge zu einer Bauweise Holzbohlen
 führen, sind ausserordentlich im Preis gesunken und in
 grösserem Masse angewendet. Folglich Holzbohlen, wenn auch
 ebenfalls stark verbreitet, ist leichter zu beschaffen, zu be-
 schaffen (wenn auch z. B. auf Kosten der Holzbohlen).

	Druckfestigkeit		Zugfestigkeit		K'' : K'	Raumgewicht γ kg/cbm.	Traglänge	
	K'' kg/cm ²	(K'' kg/cm ²)	K' kg/cm ²	(K' kg/cm ²)			Druck L'm	Zug L'm
Basalt	2000	(5000)	(200)	(25)		2,9 (3,3)	6900	(600)
Granit	1600	(3000)	30	53		2,6 (3,0)	6200	(100)
Landsteine	1200	(1800)				2,3	5200	
Kalksteine	1000	(1500)				2,6	3900	
Bausteine				8-60				
Kiefer	280	(525)	800	(1382)	1 : 2,8	0,65	4300	12300
Fichte	250	(547)	750	(1053)	1 : 3	0,50	5000	15000
Eiche	350	(716)	970	(1819)	1 : 2,8	0,85	4100	11400
Buche	320	(656)	1350	(1530)	1 : 4,2	0,75	4300	18000
Bambus	[979]		[3840]	[1 : 4,5]		[0,87]	[11300]	[44000]
Grünholz	[1330]					[1,26]	[10500]	
Tischholz	[1126]					[0,62]	[18100]	
Ziegel	250	(300)				1,5 (1,55)	1700 (1900)	
Beton (jung)	200	(250)		15 (20)		2,3 (2,4)	900 (1000)	
Beton (reife)		(750)				(2,4)	[3100]	
Lederriemen		350	(450)			0,86		4100
Hanffaser		1200				1,5		8000
Papier / Klam		550				1,1		6000
Gusseisen	7500	(8500)	1500	(1800)	5	7,25	10300	2100
Flusseisen	3200	(4000)	4000	(4500)	0,8	7,85	4000	5000
Flussstahl	4200		7000	(10000)	0,6	7,86	5400	8900 (12700)
Tieghalbholz			(18000)			7,80		(23000)
Berkelholz			(25300)			7,80		32400

() Höchstwerte [] Einzelwerte.

II. Das Holz als organisches Gebilde der

organischen Natur.

Holzarten bezw. Baumarten.

"Nadelhölzer" und "Laubhölzer"; letztere bilden die jüngste, verwickelste und vollkommenste Baumart, grosser Artenreichtum mit vorwiegender Trennung der Zellen und ihrer Tätigkeit in Leit-, Nütz- und Nährzellen. Die Leitzellen ("Gefässe") sind oft so weit, dass sie als "Poren" dem unbewaffneten Auge erkennbar sind. "Ringporige" und "zerstreutporige" Laubhölzer. Bei ersteren sitzen die Gefässe meist in der Frühjahrszone. Harzgänge fehlen ganz, obwohl auch manche Laubhölzer Harz führen. Die "Markstrahlen" enthalten nur Nährzellen; einzelne treten im Hirschnitt als breite Strahlen deutlich hervor, während sie bei Nadelhölzern nur mit der Lupe erkennbar sind.

Das Holz wird uns von den Bäumen geliefert, den Nadelbäumen und Laubbäumen (Nadelholz und Laubholz). Die Laubbäume sind die geologisch jüngere, verwickeltere, vollkommere Baumart (-gattung) vom botanischen Standpunkt aus betrachtet; vom technischen Standpunkt des Menschen aus kommt nicht der Baum, sondern nur das Holz in Betracht, und zwar hinsichtlich seiner Geeignetheit für die menschlichen Zwecke, die je nach den Umständen im Einzelfall sehr verschieden ist und von der Geeignetheit für die Zwecke des Baumes mehr oder minder stark abweicht. Die Eigenschaften des Holzes sind mit Rücksicht auf das Wachsen und Gedeihen des Baumes entstanden; sie sind den natürlichen Bedingungen und Anforderungen des lebenden Baumes angepasst.

Nadelhölzer		Laubhölzer		Nadelhölzer		Laubhölzer	
Art	Wuchs	Art	Wuchs	Art	Wuchs	Art	Wuchs
Kiefer	1.50	Buche	1.50	Kiefer	1.50	Buche	1.50
Fichte	1.50	Eiche	1.50	Fichte	1.50	Eiche	1.50
Tanne	1.50	Hainbuche	1.50	Tanne	1.50	Hainbuche	1.50
Lärche	1.50	Alnus	1.50	Lärche	1.50	Alnus	1.50
Douglasie	1.50	Ulm	1.50	Douglasie	1.50	Ulm	1.50
Waldkiefer	1.50	Platan	1.50	Waldkiefer	1.50	Platan	1.50
Hartholz	1.50	Robinie	1.50	Hartholz	1.50	Robinie	1.50
Weichholz	1.50	Esche	1.50	Weichholz	1.50	Esche	1.50
...

Es kommen für uns hauptsächlich folgende Baumarten in Betracht : Nadelbäume.

1. Kiefer, gedeiht auch auf dem dürrsten Sandboden; max. Höhe ca. 30 m (ausnahmsweise 58 m); Stammdicke (max) 0,8 m (ausnahmsweise 1,2 m). Wird gegen 200 Jahre alt, jedoch bei Alter über 128 Jahre als Bauholz unbrauchbar. (Großer Harzgehalt).

Ausländische Kiefern: Pechkiefer (pitchpine) und Gelbkiefer; (noch harzreicher als unsere Kiefer) aus Nordamerika.

2. Fichte oder Rottanne, erreicht in 150 Jahren eine max Höhe von ca. 35 m (ausnahmsweise 52 m); Dicke 0,9 (- 1,8) ; mittlerer Harzgehalt.
3. Tanne, Weisstanne, erreicht in 150 Jahren eine Höhe 30 bis 50 m bei 0,9 - 1,2 m Dicke; bei 200 Jahren 50 - 60 m hoch bei 1,8 - 2,4 m Dicke ; bis zu 500 Jahren alt. Hat den geringsten Harzgehalt (unter den Nadelbäumen).
4. Lärche, wächst in 50- 70 Jahren 20 - 30 m hoch, 150 - 200 Jahre alt; ausnahmsweise bis 60 m hoch und 1,2 m dick; ist das harzreichste unserer Nadelhölzer.

Laubbäume.

5. Eiche, bis zu 60 m hoch, 2 - 3 m dick; 600 - 1000 Jahre alt.
6. Buche, Rotbuche, erreicht nach 120 Jahren eine Höhe von 26 m (ausnahmsweise 43 m), Dicke = 0,9 m ; wird gegen 400 Jahre alt.

Die übrigen einheimischen Baum(holz)arten: Ahorn, Esche, Ulme, Platane, Birke, Linde, Pappel, Erle, Weissbuche, finden im Bauingenieurwesen selten oder gar keine Verwendung (am meisten noch Erle); hauptsächlich in den Handwerken.

Von ausländischen Laubbäumen (hauptsächlich tropischen) sind für das Bauwesen von Bedeutung insbesondere die Eucalyptusarten, deren Holz sich durch grosse Härte, Festigkeit und Dauerhaftigkeit auszeichnet, und hierin unsere einheimischen Hölzer weit übertrifft. Australische Eucalyptus erreichen eine Höhe von 150 m. Ihre Hölzer kommen unter den verschiedenartigsten Namen in den Handel: Talyholz, Jarrak, Karri, Blaugurmiholz, Rotgurmiholz. Ferner ^{Trachholz} Eisenholz, Grünherzholz, Mangrove-(Mangel)holz.

Siehe hierüber Eingehendes bei "Levy, Das Holz als Baustoff" (1915).

Betrachten wir nun zunächst das Holz im natürlichen Zustand, als Bestandteil des lebenden Baumes.

Anatomischer Bau des Holzes.

Der Baum ist aus Zellen zusammengesetzt, welche meist längliche Form aufweisen und meist mikroskopisch kleinen Querschnitt besitzen.

Lebende Zellen und tote Zellen. Erstere bestehen aus Protoplasma, das mit einer Haut (Wand) umkleidet ist. Bei der toten Zelle ist das Protoplasma verschwunden; an seine Stelle tritt Luft (Nitzzellen, ^{Libriform}) oder Wasser und Saft (Leitzellen, Gefässe). Die Nährzellen enthalten Protoplasma und seine Stoffwechselprodukte. Die Wände der lebenden jungen Zellen bestehen in der Hauptsache aus Zellulose etc. siehe Seite ...18....

Die Wände der Zellen von Stamm, Ästen, Wurzel bilden das Holz; bei den jungen (lebenden) Zellen bestehen sie in der Hauptsache aus Zellulose etc. siehe Seite ...18....

Holz bildet die Hauptmasse von Wurzel, Stamm und Ästen. Es dient als Baugerüst (Traggerüst) des Baumes, bewirkt dessen Verankerung am Erdboden, und trägt die Krone, Blätter, Blüten und Früchte. Es dient als Speicherkammer für Nähr- und Fruchtstoffe. Es vermittelt die Bewegung von Wasser und Saft zwischen Wurzel und Blättern, den Transport der Lebensstoffe (Nähr- und Fruchtstoffe) von den Erzeugungsstellen und Speicherkammern zu den Gebrauchsstellen (Gefäßsystem).

Je nach ihrer Funktion unterscheidet man : Stützzellen, Leitzellen, Gefässe und Nährzellen. Die "Stützzellen" bilden bei Laubbäumen die Hauptmasse des Holzes (lange, dünne Zellen, an den Enden zugespitzt, 0,5 - 2 mm lang, 1/20 bis 1/15 so breit); dicke Wandung, der enge Zellraum enthält meist nur Luft oder Plasmareste; sie sind zu "Längsfasern" zusammengewachsen; dienen der Stützung (statischen Zwecken).

Die der Länge nach (in gutem Verbund) aneinandergereihten "Leitzellen" dienen der Wasser- und Saftbewegung; sie sind durch die "Tüpfel" (Öffnungen) miteinander verbunden, die mit dünnsten Schliesshäuten (Membranen) versehen sind; sie sind dünnwandig und weitlichtig (eine Art von Klappenventilen). Sie besorgen bei den Nadelbäumen gleichzeitig auch noch die Stützung, an Stelle der dort fehlenden Stützfaseren und haben dann entsprechend stärkere Wände. Bei den Laubbäumen ist ein Teil der Leitzellen durch die "Gefässe" ersetzt, die durch ein Aneinanderwachsen (Zellfusion) mit gänzlicher Auflösung oder Durchbrechung der Querwände, der weitesten Leitzellen entstanden sind und dann Röhren von mehreren Metern Länge bilden können. Sie besitzen bis zu 0,5 mm Weite und sind dann (für das unbewaffnete Auge) als "Poren" sichtbar. Je nach ihrer Anordnung im Baumquerschnitt

unterscheidet man ringporige und zerstreutporige Laubbäume; zu ersteren gehört die Eiche, zu letzteren die Buche.

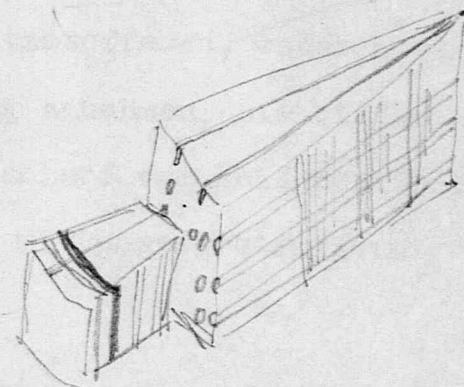
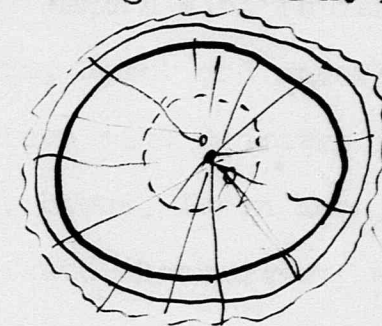
Bei den Nadelhölzern versehen die "Leitzellen" gleichzeitig auch noch die Stelle der Stützzellen und haben dann entsprechend dickere Wände.

Die Nährzellen sind lebende Zellen, sie enthalten die Stoffe zur Ernährung der übrigen Zellen, zur Regelung des Stoffwechsels Plasma (Atmen) und zur Speicherung der Nährstoffe während der Winterruhe im Aussenteil des Stammes, im "Splintholz". Im mittleren Teil des Stammes, im "Kernholz" ist der Inhalt dieser Zellen abgestorben oder zur Bildung von Kernstoffen (Gummi, Harzen, Gerbstoffe = fäulniswidrige Stoffe). Die Nährzellen sind meist in quer zur Stammachse liegenden Strängen angeordnet, welche die Holzfasern und Gefäße kreuzen, selten auch in zu letzteren parallelen (lotrechten) Strängen. Die ersteren sind zu mehr oder minder breiten Bändern, den "Markstrahlen", zusammengelegt, welche insbesondere bei Eichen als hellere "Spiegel" stark in Erscheinung treten, bei Nadelbäumen sehr klein sind. Zwischen den Nährzellen und den sie berührenden Leitzellen bzw. Gefäßen ist ein Stoffumtausch durch "Tüpfel" in den Wandungen möglich.

Zwischenzellräume. Die Zellen bzw. Zellfasern schliessen sich, so lange sie jung sind (der Quere nach) dicht aneinander, später berühren sie sich nur noch teilweise, es entstehen langgestreckte (sich kreuzende) Zwischenräume, die im lebenden Holzteil mit Luft erfüllt sind und zur Herbeileitung des zur Ernährung (Atmung) notwendigen Sauerstoffs dienen. Die wagrecht querliegenden der Markstrahlen münden

in die freie Luft aus. Im Kernholz füllen sie sich zumeist mit Kernstoffen, welche die Zellen mit einander gummiartig verleimen. Bei Nadelhölzern excl. Weisstannen bilden sie sich z.T. zu Harzgängen (bis zu 70 cm lang) lotrecht und auch horizontal in den Markstrahlen liegend, in gegenseitiger Verbindung aus, das hier befindliche stehende flüssige Harz wird bei Verletzungen des Baumes an die Wundstelle zum Schutz gegen Infektion durch Pilzsporen gedrückt. Bisweilen (insbesondere an der Südseite des Stammes) sondert sich Harz in grösseren flachen Ablagerungen aus (Harzgallen) längs den Jahresringen, bis handbreit und 7 mm stark.

Der Kambiumring (Verdickungsschicht) besteht aus einem Ringe lebender teilfähiger Zellen, die während der Vegetationsperiode nach innen zu "Holzzellen", nach aussen Bastzellen durch Querteilung abstossen. Ausser der Verlängerung der



Hauptmarkstrahlen, die bis zum "Mark" (Ueberbleibsel des Zellgewebes der jungen Baumpflanze) reichen, werden auch neue Nebenmarkstrahlen der Vergrösserung des Stammumfanges entsprechend gebildet. Die Verlängerung des Baumes, des Stammes und der Aeste erfolgt in den Zweigspitzen durch Längsteilung der betreffenden Endzellen. Der Bast enthält wie das innere Holz Stützzellen, Leitzellen für die Aufwärtsbewegung des Wassers und dann noch Gefässe ("Siebröhren"), welche die

Nährstoffe, insbesondere das dickflüssige Eiweis, aus den Blättern abwärts nach den Wurzeln und seitwärts nach den Markstrahlen führen. An den Bast schliessen sich aussen die Korkzellen mit luft- und wasserdichter Zellhaut an, welche eine dichte Rinde bilden, die das Innere durch ihre schlechte Wärmeleitung gegen Frost und austrocknende Sonnenstrahlen schützen.

Chemische Zusammensetzung.

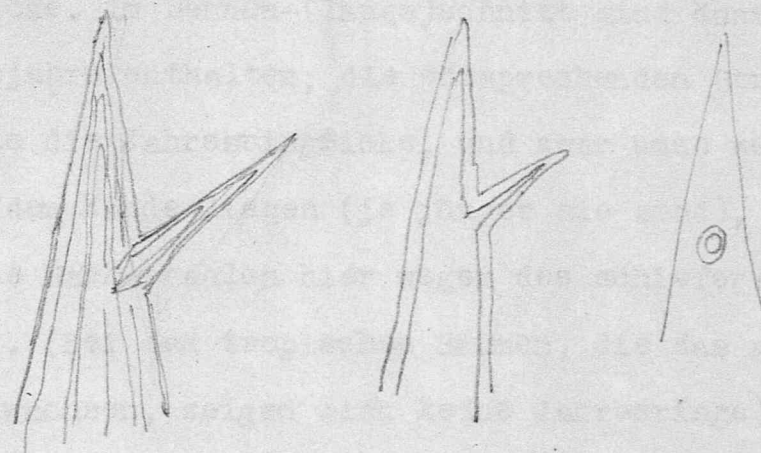
Die Wände der jungen Zellen bestehen in der Hauptsache aus Zellulose ($C_6 H_{10} O_5$) /Kohlenhydrat/. Später "verholzen" sie durch Aufnahme von Stickstoff, anderen Kohlenhydraten und mineralischen Stoffen, Aschbestandteilen, wobei sie relativ an Kohlenstoff zu, an Sauerstoff abnehmen; sie nehmen dann nicht mehr am Kreislauf der Säfte teil, sie trocknen aus; es lagern sich in ihnen mineralische Stoffe, Gerbstoffe, Harz, Gummi und andere Schutzstoffe ab, wodurch sie im allgemeinen eine dunklere Färbung annehmen; sie bilden den "Kern". Bäume, deren Kern sich scharf vom helleren Splint abhebt, heissen "Kernbäume"; solche mit ungefärbtem Kern "Splintholzbäume".

!	!	!	!	!	!	!
!	C	H	O	N	Asch	!
Zellulose!	44 %	6 %	50 %	0	0	!
Holzstoff!	50-57 %	6-6,6 %	37-43 %	0,9-1,5%	0,5 %	!

Der Holzkörper wird durch die Tätigkeit des Kambiumringes und der Endsprossen jedes Jahr mit einer neuen Schicht überzogen, die sich schmiegsam wie eine Hemdhose über Stamm, Äste und Wurzel legt. Der Baum wächst gleichzeitig in die

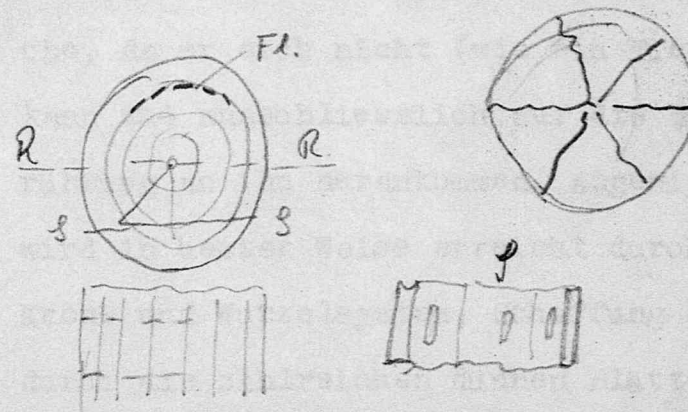
Dicke und Länge und verästelt sich durch Bildung neuer Seitensprossen in der Krone und der Wurzel; die unteren des Lichts beraubten Zweige sterben z.T. ab.

Physiologie des Baumes, Leben und Wachsen des Baumes.



Jahresringe 3 - 3/80 cm (0,4 cm breit) je nach der Wachstumsbedingung.
Jahresringe im Mittel 3 - 6 cm Tanne; 1 - 3 cm Eiche.

Im Querschnitt des Baumes zeigt sich der jährliche Zuwachs in den "Jahresringen". Während der Wintermonate ruht (in unserem Klima) das Leben, das Wachstum des Baumes; an ~~den~~ Grenzen der Jahresringe schliesst sich das bei Wiederbeginn der Lebenstätigkeit bildende "Frühholz" unvermittelt an das "Spätholz" des vorhergehenden Jahres. Ersteres ist weicher, hat weitere dünnwandige Zellen (insbesondere Gefässe) als das Spätholz und ist meist (insbesondere bei Nadelhölzern) heller gefärbt. Je nach der Baumart, den klima-



tischen und meteorologischen Verhältnissen des betreffenden Jahres ist die Breite der Jahresringe und das Verhältnis

von Spätholz und Frühholz verschieden; je mehr ersteres vorwiegt, desto schwerer und fester ist das Holz im Gesamten.

Im "radialen Längsschnitt" erscheint der jährliche Zuwachs als zwei Längsstreifen von der Breite gleich Jahresringdicke. Im Sehnen-(Längs)schnitt sind dann die späteren Lebensjahre enthalten; die entsprechenden Streifen sind breiter als die Jahresringdicke, und zwar umso weniger als sie näher dem Rande liegen (je jünger sie sind), dagegen erscheinen die Markstrahlen hier wegen des schiefen Schnittes dicker. (Bei den tropischen Bäumen, die das ganze Jahr hindurch wachsen, zeigen sich keine Jahresringe). Im Radialschnitt erscheinen entweder die Markstrahlen garnicht oder in ihrer vollen Länge oder nur ein Teil ihrer Länge, da sie wie alle Fasern und Zellstränge niemals ganz geradlinig verlaufen. "Fladenschnitt" = Ringschnitt (Fl); Spiegelschnitt.

Der Baum ist sich Selbstzweck wie jeder lebende Organismus, der sich den jeweiligen Lebensbedingungen, den allgemeinen und den besonderen (des Standorts) tunlichst anpasst. Er will wachsen, gedeihen, sich fortpflanzen und zu diesem Zwecke Blätter, Wurzeln, Früchte in tunlichst grossem Masse hervorbringen. Er braucht zur Aufnahme von Licht und Luft (Kohlensäure), von Wasser und mineralischen (Bestandteilen) Stoffen eine möglichst grosse, ausgiebige Oberfläche, da er sich nicht (wie ein Tier) von der Stelle bewegen kann und ausschliesslich auf die Stoffe, die zu direkter Berührung an ihn herankommen, angewiesen ist. Dieser Zweck wird in bester Weise erreicht durch eine weitausladende Krone und Wurzelsystem, Schaffung einer grossen Oberfläche, durch die zahlreichen dünnen Blätter und Nadeln, durch die zahlreichen rundlichen Wurzelfasern, die durch ihre Form

der freien Luft (dünne Blätter) und dem dichten Erdboden (dünne rundliche Fasern) angepasst sind. Die Wurzel saugt aus dem Boden Wasser und die in ihm gelösten Mineralstoffe und Stickstoffverbindungen. Der hierin enthaltene Stickstoff wird von mikroskopischen Kleinpflanzen (Algen) aus der Bodluft assimiliert und den Wurzelhaaren (in Wasser gelöst) zugeführt. Das Wasser wird in die Leitzellen und Gefässe des Holzes, in die Blätter der Krone emporgefördert, wo es grösstenteils durch deren Spaltöffnungen verdunstet, z.T. neben den in ihm gelösten Stoffen und der von den Blättern eingesaugten Kohlensäure und Sauerstoff zur Bildung organischer Substanz verwendet wird. Was für Kräfte die Emporführung bewirken, ist noch nicht einwandfrei festgestellt; ob kosmotischer Druck, Kapillarität oder Saugkräfte (Luftdruck) infolge der Wasserverdunstung (Transpiration) oder alle zusammen. (Kerner v. Marilaun spricht für die Transpiration als Hauptkraft.) Die den erstgenannten Kräften zu Grunde liegende Energie ist die in den Nährstoffen des Baumes (Eiweis, Kohlenhydrate, Oele) aufgespeicherte chemische Energie, die bei deren Oxydation frei wird (Atmen des Baumes), die für die Wasserverdunstung erforderliche Energie wird unmittelbar von der Sonne geliefert. Die Geschwindigkeit der Wasserhebung kann bis auf 2 m in der Stunde steigen, beträgt aber in der Regel ganz wesentlich weniger. Die Möglichkeit der Wasserhebung ist neben den Festigkeits-(statischen)Verhältnissen massgebend für die Höhe des Baumes.

Nach der neuesten Anschauung (Kher Tageblatt 1923 IV) ist das Aufsteigen des Saftes die Folge der ~~aneinander~~greifenden Tätigkeit eines Systems übereinandergeordneter lebender Zellen, deren jede als Pumpe wirkt. Atmen der Zellen, die sich abwechselnd ausdehnen und zusammenziehen, dabei von

unten Wasseransaugen und nach oben weitergeben. Pulsschlagdauer im Mittel 14 Sekunden.

Die Bildung der organischen Substanz in den grünen Blättern aus den beigeführten Stoffen (Wasser, Stickstoff, Mineralsalze, Kohlensäure) geschieht durch die Einwirkung des Lichts, dessen Strahlungsenergie hierbei in chemische Energie umgesetzt wird. Es kommt dabei nicht das direkte grelle Sonnenlicht, sondern das vom hellen Himmel zurückgestrahlte in Betracht, insbesondere die roten und blauen Strahlen desselben. Das Grün des Sonnenlichts wird von den Blättern verschmälert und zurückgestrahlt. Daher sieht der Wald, d.h. die Blätter und Nadeln "grün" aus. Die grüne Farbe (des Jägers und Försters) ist baumfeindlich.

Einrichtungen der Blätter, um den Lichtzutritt zu regulieren, direkter Sonnenstrahlung auszuweichen, schwaches Licht voll auszunützen. Das Chlorophyll (Blattgrün) ist der energieumwandelnde Teil der Blattzellen (Lichtmaschine). Bei Entzug des Lichts (durch die Kronen der Nachbarbäume) verkümmert der Baum und stirbt ab; er kann sich keine Lebenssubstanz assimilieren, er verhungert. Das Gleiche ist der Fall mit den untersten Zweigen, denen das Licht von den oberen geraubt wird.

Die in den Blättern gebildete organische Substanz ist zunächst Zucker, dann die übrigen Substanzen (Nährstoffe), die den Baum zum Leben, Wachstum und Fortpflanzung braucht (Stärkmehl, Eiweis, Zellulose, Oele, aromatische Stoffe); z.T. findet eine weitere Umwandlung in den Nährzellen statt. Diese Nährstoffe werden teils unmittelbar für die Blätter selbst, für die Knospen und Blüten verwendet, z.T. werden sie (in Wasser gelöst) in den Siebröhren des Blatts, nicht im Splint, nach unten transportiert; für die Bedürfnisse des

Stammes und der Wurzeln in den Kambiumring und in die Markstrahlen, wo sie z.T. weitere Umbildungen erleiden zum Wachsen und Atmen der Zellen. Ueberschüssige Nährstoffe werden in Markstrahlen (Nährzellen) aufgespeichert und z.T. weiter umgebildet. Sie gelangen einerseits in die Nährzellen der Verdickungsschicht (Kambiumring) und der Markstrahlen, andererseits hinab zu den Wurzeln, die sie zu neuem Wachstum und zur Tätigkeit im Hinaufbefördern von Wasser und Nährsalzen durch die Gefäße und Leitzellen des Splints nach den Zweigen und Blättern befähigen. Der Ueberschuss an Nährstoffen (Eiweis, Kohlenhydraten, insbesondere Stärke, fette Öle) werden in den Nährzellen (den Markstrahlen) aufgespeichert und sodann im nächsten Frühjahr vom aufsteigenden Wasser (in den berührenden Gefäßen und Leitzellen) gelöst und nach den Knospen geführt, wo sie so lange die Ernährung zu besorgen haben, bis die jungen Blätter selbst neue Nährstoffe erzeugen.¹⁾

Die in den Nährzellen aufgespeicherte Stärke bleibt bei manchen Bäumen während des Winters ungeändert (Stärkebäume)/Eiche und die meisten anderen Hartholzbäume/; bei anderen verwandelt sie sich in der Kälte z.T. in Zucker (Buche) oder Fett (Fettbäume; die meisten Nadelhölzer und weichen Laubhölzer), die dem Gefrieren weniger unterliegen.

In den Nährzellen werden auch die zur Fruchtbildung, die nur alle paar Jahre stattfindet, erforderlichen Stoffe aufgespeichert.

Von der ganzen dem Baum zugestrahlten Energie wird nur der kleinste zur Assimilation (Bildung organischer Substanz)

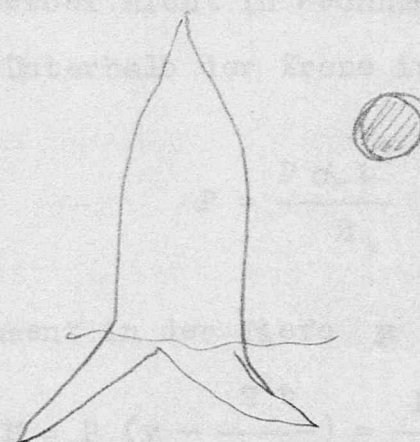
¹⁾ Ein Teil der Nährstoffe liefert durch den Atmungsprozess die Energie für die Saftbewegung.

verwendet, meist nur ca. $\frac{2}{3}$ &, der übrige Teil zur Wasserverdunstung und Erwärmung, bezw. wird zurückgeworfen.

Im Mittel wird in den Forsten Deutschlands jährlich pro Hektar ca. 4,1 Festmeter Holz erzeugt; dem entspricht eine Schichthöhe Holzmasse von 0,41 mm, und nach Abrechnung des etwa die Hälfte ausmachenden Wassers eine Schichthöhe von 0,2 mm organische Substanz.

Stammform, (Baumform), (normal kreisförmiger Querschnitt), bei Nadelbäumen schlanker Wuchs, gerade Achse, keine Verzweigung in mehrere mehr oder minder geneigte Hauptäste (wie meist bei Laubbäumen), sondern deutlicher Unterschied zwischen lotrechtem Stamm und den wagrechten oder schwachgeneigten Zweigen.

Idealgestalt von Nadelholzstämmen:
Umdrehungskörper; Konus mit geschwellten Seiten;
nach aussen hohler Wurzelansatz (Verbreiterung oberhalb Trennungsstelle beginnend).



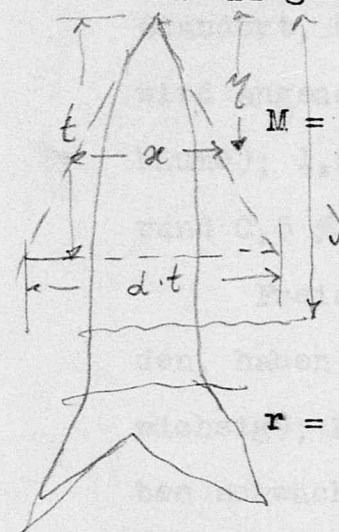
Die Stammform entspricht zur tunlichsten Ersparnis an Material im grossen Ganzen (nach Metzger) einem Träger gleichen Widerstands gegenüber den biegenden Windkräften (durch den "Windreiz" verursacht). Der Durchmesser nimmt infolgedessen nach oben ab; der Stamm ist "abholzig". Bei regelmässigen Verhältnissen (Fichte, z.B. Nadelhölzer) lässt sich hiernach die "Stammkrüve" berechnen.

Innerhalb der Krone, deren Längsschnitt dreieckig angenommen ist, ist der Winddruck oberhalb η :

$$P = \frac{p \cdot y \cdot x}{2} = \frac{p \alpha y^2}{2} \quad \text{mit} \quad x = \alpha y; \quad p = \frac{\text{Winddruck}}{qm}$$

das Biegemoment in der Tiefe η :

$$M = \frac{P y}{3} = \frac{p \alpha y^3}{6} = W \sigma = \frac{\pi \eta^3}{4} \cdot \sigma$$



hieraus

$$r = y \sqrt[3]{\frac{2 p \alpha}{3 \pi \sigma}}, \quad d = y \sqrt[3]{\frac{16 p \alpha}{3 \pi \sigma}} \quad (\text{Gerade})$$

Der Einfluss der direkten Druckbeanspruchung (Eigengewicht) ist hierbei nicht in Rechnung gestellt.

Unterhalb der Krone ist der Winddruck annähernd konstant

$$P = \frac{p \alpha t^2}{2}$$

das Moment in der Tiefe η :

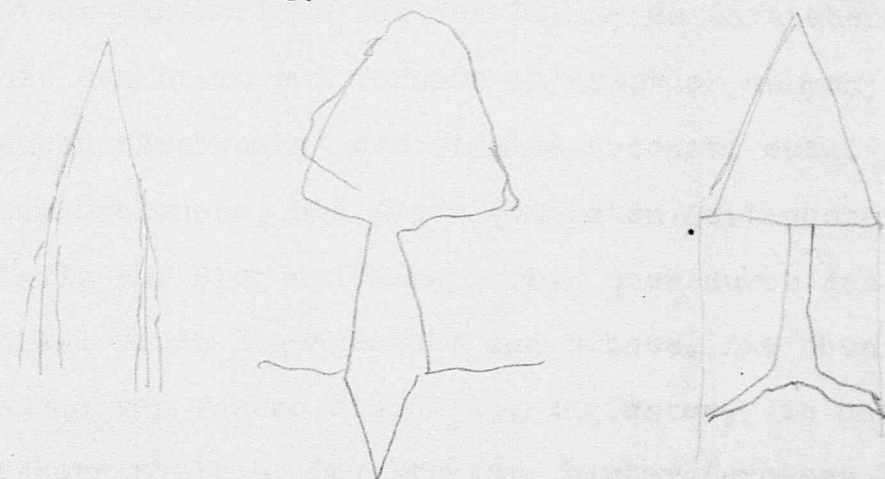
$$M = P \left(y - \frac{2 t}{3} \right) = \frac{p \alpha t^2}{2} \left(y - \frac{2 t}{3} \right) = W \sigma = \frac{\pi r^3}{4} \sigma$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{p \alpha t^2}{2} \left(y - \frac{2 t}{3} \right) \frac{2}{\pi \sigma}} \quad (\text{Kurve 3ten Grades, sofern } \sigma \text{ konstant bleibt})$$

Die Form im Einzelfall hängt von Winddruckgrösse (p) und Kronenform (α und t) ab. - Die Festigkeit des Baumes ge-

nügt den gewöhnlichen grössten Windangriffen ; gegen aussergewöhnliche Wirbelstürme ist sie in der Regel unzureichend. Zum Teil hilft hier die grosse Elastizität (Biegsamkeit) des Baumes aus. Durch die Biegung wird ein Teil der Windenergie aufgenommen und evtl. auch die Winddruckfläche gemindert. Die Abholzigkeit ist hiernach je nach den Verhältnissen von Standort, Wachstumsbedingungen verschieden. Im grossen Mittel wird angenommen 6 - 8 cm pro m (Melan). 1 - 4,5 cm/m (Nadelbäume); 1,5 - 2,5 cm/m (Laubbäume = Förster). Rindendicke = rund 0,5 % der Stammdicke (Nadelholz ?).

Freistehende Bäume, insbesondere in sturmreichen Gegenden, haben stärkere Stämme und verzüngen sich stärker (abwüchsig); Bäume, die in engem Schluss aufgewachsen sind, haben schwächere, weniger abholzige Stämme, da sie vor Wind mehr geschützt sind und wegen ihrer kleineren Krone (die unteren Äste sind wegen Lichten tzugs abgestorben) eine geringere Fläche dem Winde bieten. Gleichzeitig mit Stamm und Krone bildet sich die Wurzel zur Festhaltung gegen Wind aus. "Pfahlwurzel" oder "Flachwurzel" je nach der Baumart (letzteres bei Fichte). Bei schwacher Erdbodendecke nur schwache Festhaltung, insbesondere falls die Ausbreitung der Wur-



zeln durch die Nachbarn gehindert wird. Bei geschlossenem Stand ist ebenso wie die Ausladung der Krone auch die Wur-

zelbildung geringer. Nur die Aussenbäume eines solchen Waldes sind stark entwickelt, entsprechend ihrer stärkeren Inanspruchnahme. Werden dieselben entfernt, so können die schwächeren nicht mehr geschützten Innenbäume starken Windangriffen nicht mehr widerstehen; sie werden entwurzelt oder abgeknickt (Windfall, Windbruch). Solches Windfallholz ist meist für den Gebrauch geringwertiger, da es evtl. ausserhalb der richtigen Fällzeit entstanden und meist mangelhaft aufbereitet wird.

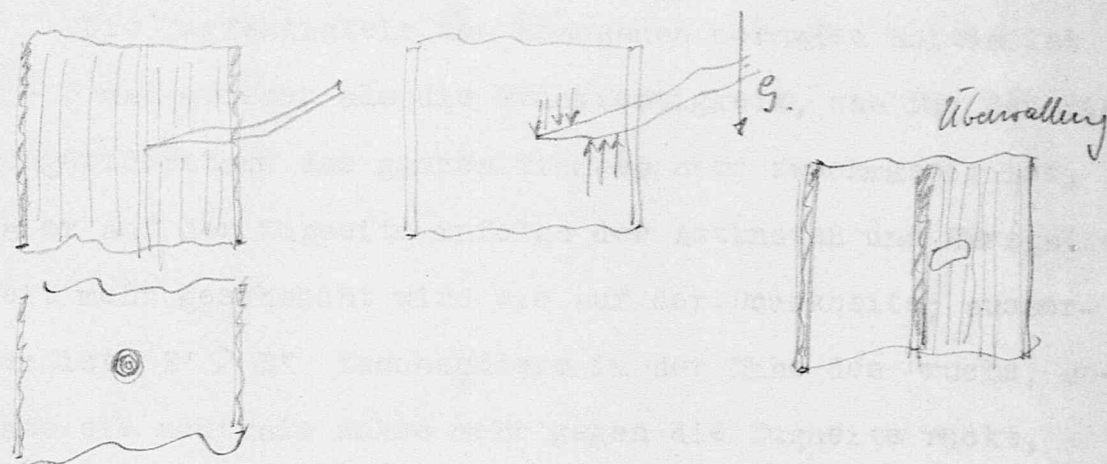
Bei ständig einseitiger Windbeanspruchung (Aussenbäume gegen die Hauptwindrichtung, West bei uns) zeigt der Stammquerschnitt etwas elliptische Form mit der grossen Achse in der herrschenden Windrichtung (Auslösung der Wachstumskräfte durch den Wind ungleichmässig und exzentrische Achse).

Die Fasern auf der Windseite werden vorwiegend auf Zug in Anspruch genommen, sie sind schmaler und zugfester; die auf der Leeseite auf Druck, sie sind breiter und druckfester; ungleiche Jahresringe.



Bei unsymmetrischer Krone wirkt der entsprechende Winddruck exzentrisch auf den Stamm; es entstehen Drehmomente, die den Stamm auf Torsion in Anspruch nehmen; es wird hierdurch "Drehwuchs" des Stammes erzeugt, evtl. auch Anlage zum Drehwuchs. Die flach geneigten Seitenäste werden ebenfalls auf Biegung beansprucht; quer durch den Wind und vertikal durch Eigengewicht und Schnee. Die oben auf Zug beanspruchten Fasern sind hell, zugfester, die unteren Druckfasern rötlich, druckfester, härter (grosses E). Besondere Verhältnisse treten an den "Astknoten" auf, den Stellen wo

die Aeste und Zweige in den Stamm eingreifen, in denselben eingewachsen sind (natürliche Holzverbindung). Aufnahme des Auflagerdrucks und des Biegemomentes entsprechend der exzentrischen Belastung G , hier (im Astknoten) wird das Holz ausnahmsweise quer zur Längsrichtung stark auf Druck beansprucht. Es ist dementsprechend besonders widerstands-



fähig gegen Querdruck, hart (grosses E), dunkler gefärbt (lässt sich schwerer bearbeiten -hobeln-), nützt sich weniger ab (Fussböden); mindert jedoch die Festigkeit des Stammes insbesondere bezüglich Zugbeanspruchung, da keine feste Verklebung zwischen Astknoten und Stamm stattfindet; auch der Druckwiderstand wird durch die entsprechende Inhomogenität (härteres Einschiebsel) verringert, aber im allgemeinen weniger (bei trockenen Brettern lassen sich Astknoten leicht herausstossen). Bei frühzeitigem Entfernen der Aeste werden die bestehenden Astknoten in den folgenden Jahren überwachsen (Ueberwallung); sie bleiben im allgemeinen als Härten, Einsparlinge, (von aussen unsichtbar) im Stamm zurück; (bei jungen Bäumen -Splintholz- verwachsen sie noch mit dem Stamm).

Im Stamm finden im allgemeinen nur Beanspruchungen längs den Fasern statt, es hat sich demgemäss in ihm nur geringe Querfestigkeit gegen Zug und Druck entwickelt.

Auch die Schubfestigkeit - dieselbe ist hauptsächlich die Ursache, warum die Druckfestigkeit (längs der Achse) weit geringer ist als die Zugfestigkeit: sie ermöglicht das Zerknicken der langen dünnen Längsfasern - in der Faser-richtung ist gering, da dieselbe nur wenig bei der Biegung der schlanken Stäbe in Anspruch genommen wird.

Die Zugfestigkeit des homogenen normalen Holzes ist 2 - 3 mal grösser als die Druckfestigkeit, was für den Biegungswiderstand des ganzen Stammes sehr zweckmässig ist, da er auf der Zugseite infolge der Astknoten und Harzgallen weit mehr geschwächt wird wie auf der Druckseite; ausserdem ist $E' > E''$ insbesondere in der Nähe des Bruchs, so dass die neutrale Achse mehr gegen die Zugseite rückt, $W' < W''$ und $G' > G''$ wird. (Vergl. Thuillie in Oe 1891)

$$E', St' = E'' St'' ; \frac{St'}{St''} = \frac{E''}{E'} , \text{ d.h. die}$$

neutrale Achse rückt näher gegen die Zugseite, da $E'' < E'$.

Im grossen Ganzen dürfte bei der Biegung annähernd gleiche Sicherheit der Zug- und Druckfasern vorhanden sein; in der Regel erfolgt sogar die Zerstörung durch Zerreißen der Zugfasern. (Durch das Dickenwachstum des Stammes werden jedes Jahr neue Fasern an ~~das~~ meist beanspruchten Aussen-seiten gebracht; es kann daher, so lange der Baum wächst, keine Uebermüdung der Fasern (die organischen Stoffes sind) eintreten; die Zahl der von ihnen auszuhaltenden max-Beanspruchung ist gering; etwaige kleinere Schädigungen werden in den nächsten Jahren übersponnen.)

Die lebenden gesunden Zellen siegen in normalen Fällen über eindringende Pilzsporen; normales lebendes Holz fault nicht, auch hält unverletzte Rinde die Sporen vom Eindringen

ab. [dagegen : In-sektenfrass (Laub und Holz), Larven, Eierablage, Waldschädlinge]. Das tote Kernholz wird mehr oder minder durch antiseptische Stoffe imprägniert (insbesondere Gerbsäure, Harz) und dadurch vor Fäulnis geschützt. "Harzfluss" bei äusserlichen Verletzungen (bei Nadelbäumen) gegen Infektion.

Sicherung des Holzes gegen Frost und ausdörrende Sonnenstrahlung durch die Rinde und seine geringe Wärmeleitungsfähigkeit; auch sichert die Rinde gegen Wildfrass (evtl. in der Jugend durch Stacheln bewehrt, die später als unnötig wegfallen - Akazie-).

Die vorstehenden Darlegungen zeigen, wie zweckentsprechend der Baum in technischer Hinsicht für sein Leben und Gedeihen gebaut ist. Er ist ein vorzügliches Bauwerk in statischer Hinsicht mit einem hierfür ausgezeichneten Baustoff, dem Holz. Bester Kompromiss bei Erfüllung sämtlicher normalen Aufgaben des Baues, wobei kein überflüssiger Aufwand an Masse und Festigkeit (Zweckmässigkeit und Sparsamkeit wie bei einem guten Ingenieurwerk) getrieben wird.

["Zielstrebigkeit" der Organismen, wie von einer höheren Intelligenz geleitet. Die Naturwissenschaft sucht alles Geschehen durch Kausalität zu erklären und schliesst Finalität aus. Zur Erklärung der tatsächlich (für den menschlichen Verstand) vorhandenen Zweckmässigkeit geht der Darwinismus von dem Kampf ums Dasein aus, wodurch alle untauglichen Variationen ausgeschieden und nur die den äusseren Bedingungen jeweils am besten entsprechenden erhalten bleiben und sich fortpflanzen. Selbstverständlich kann sich nicht Lebenswidriges halten. Verbesserungen sind aber nur dann möglich,

wenn in der Materie ein darauf gerichtetes Bestreben liegt, wenn die Materie beseelt ist (Hylozoismus, Haeckel).]

Den Zwecken des Menschen ist das Holz selbstverständlich nicht angepasst; er kann das Holz in der Hauptsache nur in totem Zustand verwenden. Er braucht es in seinen Bauwerken nur zum Tragen (zur Kraftaufnahme, Stützwirkung), als Baumaterial; alle Eigenschaften und Eigenheiten des Holzes, die darüber hinausgehen, die dem "Leben" des Baumes dienen, sind für ihn unnütz oder gar schädlich. Nur die Holzsubstanz der Zellwandungen ist hier für ihn von Wert; die in den Zellen befindlichen Lebensstoffe und Wasser sind schädlich, mindern die Festigkeit und Dauer. Ebenso ist die mit dem Lebensprozess des Baumes zusammenhängende Eigenschaft des Schwellens und Schwindens des Holzes für das menschliche Bauwerk von Nachteil. Das Bestreben des Technikers ist darauf gerichtet, durch besondere Mittel die für ihn ungünstigen Eigenschaften nachträglich so viel als möglich unschädlich zu machen (insbesondere durch Austrocknen, Konservierungsverfahren). Leider ist dies bezüglich der ungleichen Festigkeit des Holzes (nach Art und Richtung des Kraftangriffs), die ebenfalls im Lebensprozess des Baumes begründet ist, im allgemeinen nicht möglich. Im Kleinen können durch starke Zusammenpressungen des Holzes bei Erhitzung die Festigkeitseigenschaften wesentlich erhöht werden, insbesondere \perp Faser.

Benutzung und Nutzung des Baumes bzw. Holzes
durch den Menschen, Wert für den Menschen.

Einzelbaum und Wald (Forst = kult. Wald).

Die für die Bautechnik wichtigen Bäume sind Waldbäume.

1. äusserst mannigfaltige Beziehungen des freien lebenden Baumes : Schutz vor Wind, Sonne, Schneetreibenn und Lawinen : Bannwald, Hausschutz (insbesondere Bauernhäuser). Strassenbäume bieten Schatten, Windschutz, Orientierung bei hohem Schnee. Entsumpfung feuchter Gegenden (Eucalyptus). Baumfrüchte (Obst, Eicheln, Bucheln, Kastanien). Laubstreu (Düngemittel) & Befriedigung ästhetischer Bedürfnisse (Garten, Park- und Waldästhetik). Hebung des landschaftlichen Bildes. Erholung und Genuss im Wald (beim Wandern); hygienische Einwirkung (Luftreinigung, Schutz vor Wind und Staub). Regulierung von Wärme und Feuchtigkeit. Einfluss des Waldes auf das Klima (Milderung der Temperaturextreme, auf die Wasserwirtschaft (Regenfall) Zurückhaltung des Wassers durch die Moosdecke, Quellbildung; Schutz vor Abschwermen des Geländes; "Verkarstung" der Ostalpen, des Karst's, infolge Abholzen durch die Römer und Venezianer zum Bau ihrer Schiffe. Abhängigkeit der Kulturfähigkeit eines Landes von einer angemessenen Bewaldung. Nicht zu wenig Wald, aber auch nicht zu viel. Im Uebermass kann er das Klima verschlechtern (das feuchte, neblige Germanien z.Zt. des Tacitus); er nimmt den Raum für sich in Anspruch und entzieht ihn anderen Bedürfnissen des Kulturmenschen. Beginn der Kultur in Waldgegenden durch Ausroden von Waldteilen. In der Mitte der Rodung (ausser ringsum von Wald umgeben) lag das Gehöft bzw. Dorf. Ortsnamen auf Brand. Rot,

Schwand deuten darauf hin. In nächster Nähe von Karlsruhe sind solche Zustände z.T. noch erhalten. Die Orte auf dem Höhenzug hinter Ettlingen beiderseits der Alb (Spessart, Schöllbronn, Schluttenbach, Völkersbach, Vorbach, Mittelberg, Etzenrot, Pfaffenrot) die zwei letzten Namen zeigen die Endsilbe-rot. Einer späteren Zeit gehören an die Orte Welsch- und Teutschneurent im Hardtwald (Hardt = Wald; Hardtwald = Tautologie; verschiedene Orts-, Flur- Bergnamen mit Hardt gebildet).

2. Nutzung des in Zucht stehenden lebenden Baumes.

Harzgewinnung bei Nadelbäumen (Kiefer, Lärche); hierbei wird der Splint, aus dem das Harz stammt, minderwertig. Zuckersaftgewinnung, ebenfalls nachteilig für das Holz. Korkabschälung bei Korceichen. Gerbrindengewinnung in Eichenwäldern. Abschneiden der Weidenzweige bei Korbweiden. Laub als Nahrung für Haustiere und Seidenraupen (Maulbeerbaum). Bei all diesen Gewinnungsarten handelt es sich um einen rauen Eingriff in die normale Lebens-tätigkeit des Baumes, Vorsicht, dass derselbe hierbei nicht geschädigt, ~~versteht~~ bzw. seine spätere Nutzung nach seinem Tode (als Holz) nicht beeinträchtigt wird.

3. Nutzung des gefällten toten Baumes, des Holzes, der Rinde, des Bast's, der Blätter.

Holz ist das vielseitigste undwichtigste aller Materia-lien für den Menschen. 1) Verwendung als geformter Stoff unter Verwertung seiner Festigkeits- und Elastizitäts-eigenschaften: Verwendung im Hochbau, Wasserbau, zu Wasserleitungen, Strassenbau, Brückenbau, Eisenbahnbau, Maschinenbau, Wagenbau, Schiffsbau, Bergbau, zu Waffen, Hausgeräten, Möbel, Fässer, Kisten, Landwirtschaft (Stütz-pfähle, Einzäunung).

2. Verwendung als ungeformter Stoff : Papier und Papiermasse, der dann vollständig neu geformt wird.
3. Verwendung in der chemischen Technologie als chemischer Rohstoff zur Erzeugung von Teer, Farben, Holzessig. Der in ihm enthaltene Gerbstoff zur chemischen Umwandlung der Häute (gerben).
Lohe = Holz ; Hohloh = Hochwald; Brennendes Holz = Feuerlohe.
4. Verwendung als Energieträger : Brennstoff. Holz, Holzkohle, Holzgas, Streichhölzer, Lichtspäne.

Je nach den besonderen Zwecken des Menschen werden besondere Eigenschaften des Holzes verlangt, die die verschiedenen Holzarten und Holzalter in verschiedener Weise liefern. Dieselben stehen z.T. in Widerspruch mit dem Selbstzweck des Baumes, z.T. haben sie gleiche Tendenz. Anfänglich traf der Mensch nur eine Auswahl unter den ihm von der Natur freiwillig im Ueberfluss gebotenen, passte seine Bedürfnisse, seine Werke dem Gebotenen an und sucht das für seine Zwecke Schädliche nachträglich mit einfachen Mitteln zu verbessern. (Auswahl gesunder, gut gewachsener Bäume im Wald, Austrocknen und Auslaugen der schädlichen Baumsäfte vor der Verwendung). Später - bei uns hauptsächlich erst im letzten Jahrhundert - Beeinflussung des Wachstums derart, dass der Baum in Anpassung an die ihm aufgewungenen geänderten Lebensbedingungen Eigenschaften erhält, die den jeweiligen menschlichen Zwecken möglichst gut entsprechen. Aufgabe der Forsttechnik. Das geeignete Holz in der erforderlichen Qualität in grossen Mengen und mit möglichst geringen Kosten zu erhalten. In Deutschland war vor dem Krieg 23,8 % Wald, in Baden 33,4 %, Schweden und Norwegen 63 %, in Frankreich 15,9 %, in Spanien 6 % in Russ-

land 31 % . In Deutschland ist ca. die Hälfte Privatesitz, 1 Drittel Staats- und 1 Sechstel Gemeindebesitz. Unsere Nadelwälder bestehen hauptsächlich aus Kiefer und Fichte, letztere bevorzugt das Gebirge; desgleichen die weniger häufige Weisstanne. Lärche hauptsächlich in den Alpen. Die Laubwälder bestehen meist aus Buche und Eiche.

Forstkultur und Forstschutz durch besonders ausgebildete Beamte (Förster).

Forstgesetze mit Rücksicht auf den hohen kulturellen und staatswirtschaftlichen Wert des Waldes. Aufsicht des Staates auch über die Privatforsten (insbesondere bezüglich des Holzschlagens und der Wiederaufforstung). Bei der Kultur Sorge : Holz in geeigneten Mengen und Qualitäten und möglichst billig. Beachtung der klimatischen Verhältnisse, der Bodenbeschaffenheit und der biologischen Verhältnisse der Bäume, geeignete Auswahl der Baumarten, bzw. ihre Standorte. Teils natürliche Besamung, teils künstliche. Pflanzgärten (Baumschulen). Versetzen der 3 - 5 jährigen Pflänzlinge an die geeigneten Stellen des Waldes. Stetige Verjüngung des Waldes, wobei im allgemeinen alle Altersklassen gleichzeitig vorhanden sind oder periodische, diskontinuierliche Verjüngung mit Kahnhieben. Bei der Plenterwirtschaft bleiben einzelne kräftige Stämme zum Schutz der jungen aufwachsenden und zur Samenbildung - dazwischen jüngere Bäume verschiedener Altersstufen - stehen. Bei der Hochwaldwirtschaft : einzelne Schläge von Bäumen gleichen Alters, durch "Durchforstung". Wird die mit wachsender Baumgrösse notwendig werdende Reduktion der Baumzahl bewirkt ; Entfernung schwacher, kranker Bäume. Leitung der organischen Kräfte

zur Erzielung der gewünschten Produkte, evtl. gegen den natürlichen Zweck des Baumes, der allseitigen Entfaltung. Beim Wachsen im "engen Stand" schwächere Krone, rascheres Wachsen in die Höhe (nach Luft und Licht), geringe Abholzigkeit wegen geringeren Windangriffs, Absterben der unteren Astwegen Lichtmangels, bzw. künstliches Abästen, so weit dies nicht durch Wind bei zu grossem Baumabstand besorgt werden kann, Um tunlichst astfreies Bauholz zu erhalten; Weghauen von "Nachbarn, die den richtigen Wuchs beeinträchtigen. Beschränkung des Astwerks zu Gunsten der Stammentwicklung.

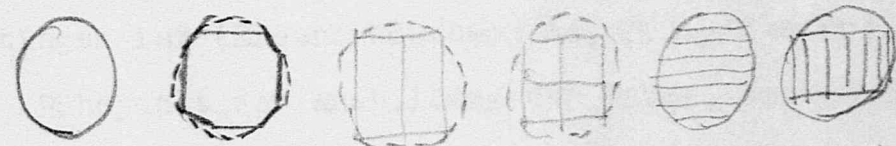
Gegen Verletzung durch Astbrüche ist namentlich die Buche sehr empfindlich, da sie die Wunde nicht wie Nadelhölzer durch Harzfluss gegen Pilze schützen kann und erst dann widerstandsfähige Zellen bildet, wenn die Pilze schon zum Kern vorgedrungen sind (Rote Kernbildung); hiergegen Wundverstreichen mit Teer oder Zement.

Düngung des Bodens durch die eigene Streudecke, Nadeln und Laub, die ihm insbesondere bei kargem Boden nicht entzogen werden darf. Besonders anspruchsvoll bezüglich des Humusgehalts des Bodens sind die Laubhölzer. Vorkehr und Schutz vor den Feinden des Waldes. Windbruch durch Sturm, Schneebruch, Frost insbesondere bei jungen Bäumen, Erfrieren (Frostrisse); Waldbrand, die Bäume, deren Bast abgesengt ist, müssen gefällt werden, sie sterben doch ab und würden ~~durch~~ die Vermehrung der Borkenkäfer fördern. Letztere legen ihre Eier in die Rinde insbesondere von Nadelhölzern. Die zahlreichen Gänge der ausschlüpfenden Maden machen die Bäume sterben, sie befallen zunächst nur kranke Bäume; Fangen mittels "Fangbäumen". Die Raupen der Kiefern-

spinne schädigen durch Blattfrass. Die Bäume kränkeln und sterben bei rascher Wiederholung. Sammeln der Eier und Raupen, diesich im Winter unten im Moos und Laub verkriechen. "Klebringe" gegen aufwärts kriechende Raupen und Maden.

Holzfällen auf Grund eines auf Jahre hinaus aufgestellten Wirtschaftsplanes, die Jahreszeit des Fällens wird z.T. nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewählt. (Billige Arbeitskräfte im Winter und leichter Holztransport, Flößen im Sommer, im Hochgebirge ist während des Schneewinters ein Arbeiten im Wald unmöglich, im Winter liegt keine Gefahr des Eindringens von Wurmern und Pilzen vor). Rücksicht auf Holzqualität : nicht im aufsteigenden "Saft" schlagen. Fällen mittels Axt und Säge. Aufarbeiten an Ort und Stelle (Entästen, Entrinden, in Stücke teilen). Sorge: dass kein zu plötzliches, ungleichmässiges Trocknen erfolgt (Rissgefahr) und kein zu langsames (Ersticken des Holzes). Teilweise spiralförmige Rindenentfernung. Möglichst baldiger Transport des Holzes aus dem "Schlag" nach einem Lagerplatz nächst einer fahrbaren Strasse oder Flossbach, trocken und luftig gelegen. Transport durch Tragen, Schleifen (evtl. mittels Pferden) evtl. Verwendung von Rollen, Kleidhölzern, Schlitten (auch im Sommer). Den Abhang hinabschiessen lassen oder kollern. Gleitbahnen aus Hölzern. Hinabgleiten an Seilbahnen. Waldwege für den Holztransport (möglichst billig),anschmiegend an das Gelände, primitive Brückchen mit Holzstämmen, Holzprügel evtl. mit Erde überdeckt, evtl. fliegende Gleise bei grossen Ahholzungen, schmalspurig, 30 - 60 cm .

"Triften" in Bächen, evtl. mit Hilfe von Schwemnteichen (Herrenwies - Schwellungen). Der Ferntransport des Holzes erfolgte früher fast ausschliesslich zu Wasser, auf Flössen (wobei das Holz ausgelaugt und seine Widerstandsfähigkeit gegen Fäulnis gefördert wurde); z.T. auf Schiffen und in Schiffen (Ulmer Schachteln). Nicht nächst dem Wasser gelegenen Orten müssen sich ihren Holzbedarf in der Hauptsache (Brennholz) selbst pflanzen. Jetzt bei uns vorwiegend Ferntransport auf Strassen und mit Eisenbahn. Weiterflössen auf "Flössen" auf Seitenflüssen (früher Kinzig und Murg). Grosse Flösse, (früher auf dem Rhein bis nach Holland); mehrere hundert Meter lang, 4 - 5 Stammlagen aufeinander, Bretterhaufen. Hütten; Wohnen und Leben auf dem Floss; bis 500 Mann incl. Köche. Das Holz wird meist vom Pollerplatz bezw. Wald aus verkauft, direkt an den Verbraucher oder an den Holzhändler, welche dann auch meist die erste Verarbeitung desselben zu "Baumaterial" besorgen. Rundholz und Kantholz, rechteckig behauenes oder gesägtes Holz (Schmittholz), Balken, Bohlen, Bretter, Latten.



Sägewerke vielfach nächst dem Walde (mit Wasserkraft), um das Gewicht des in die Ferne zu transportierenden Holzes zu mindern.

In Deutschland wurden 1913 erzeugt 59 Mill. Festmeter Holz, wovon 29 Mill. Nutzholz, 30 Mill. Brennholz. Hierzu Einfuhr 16 Mill., Ausfuhr 1 Mill., sodass der gesamte inländische Verbrauch 74 Mill. Festmeter war. Jetzt ist die Produktion ziemlich geringer, die Einfuhr fast = Null, die Ausfuhr (illegal) grösser, sodass beträchtlich weniger als 74 Mill. cbm Holz zur Verfügung steht.

Bei einer geordneten Forstwirtschaft darf, von kleineren Schwankungen abgesehen, nicht mehr Holz im Jahr abgegeben werden als zuwächst; kein "Raubbau" zu Ungunsten der Zukunft. Anpassung des Forstbetriebs an die jeweils zu erwartenden mannigfachen Bedürfnisse des Landes. "Wirtschaftspläne" auf lange Jahre hinaus. Vielfach (Grossholz) ernten erst die Enkel, was die Väter gepflanzt. Schwierigkeit des künftigen Bedarfs, die künftige Verwendung vorauszusehen, bzw. für dieselbe gerüstet zu sein. Unvorhersehbare Ereignisse (Einführung der Steinkohle, des Eisens und Eisenbetons, der plötzliche Bedarf an Eisenbahnschwellen, wodurch Buchen gegenüber Nadelholz entwertet werden). Wechsel in den Baumarten: im Altertum und auch noch im Mittelalter herrschte bei uns der Laubwald vor; im Taunus z.B. fehlte zur Römerzeit der Tannenwald vollständig. In der Neuzeit werden die Nadelhölzer wegen ihrer vielseitigen Nutzbarkeit und günstigen Wachstums bevorzugt; erst jetzt wieder steigende Wertschätzung der Buche, da durch die neuen Konservierungsverfahren ihre Dauerhaftigkeit bzw. Verwertbarkeit besonders gestiegen ist (Eisenbahnschwellen, Holzpflaster).

Höhepunkt der Ausbildung der Bäume, von wo die Holzzunahme nur noch sehr gering ($= 0$) liegt bei

Kiefer und Fichte bei	80 - 120 Jahren	$= n_0$
Buche und Weisstanne	90 - 140	"
Eiche	150 - 300	"

Die Umtriebszeiten des Waldes.

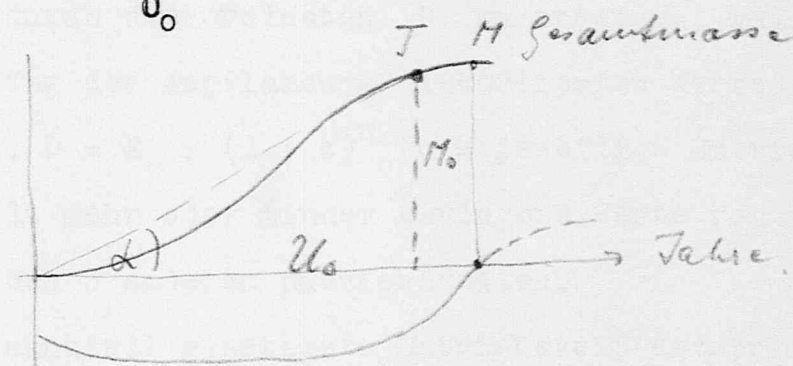
- 1.) Technische Umtriebszeit, derart, dass das Holz in einer für den Gebrauch geeignetsten Beschaffenheit erzielt wird; ist je nach dem technischen Zweck verschieden (ob

Bauholz, Papierholz, Brennholz etc.) und von der Baumart, Standort etc. abhängig.

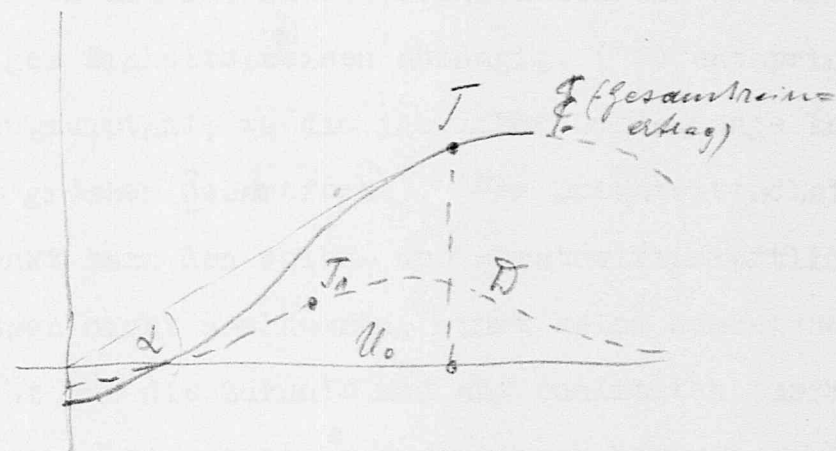
- 2.) "Umtriebszeit" des grössten Massenertrags liefert die grösste Holzmenge, ohne Rücksicht auf Qualität. Das Optimum U_0 wird als Abscisse des Berührungspunkts T an die Gesamtmassenlinie M erhalten. Die grösste Holzmenge, die hierbei pro Jahr erhalten wird ist :

$$\frac{M_0}{U_0} = \operatorname{tg} \alpha$$

(a)



(b)



Die negativen Werte von E bei sehr kleinen Umtriebszeiten zeigen an, dass hier die Pflanzungs-, Pflege- und Fällkosten kleiner sind als der Erlös.

- 3.) Trägt man statt der Massen ΔM und M die entsprechenden Geldwerte auf, so erhält man durch vorstehendes graphisches verfahren die Umtriebszeit des grössten Wald-

reinertrags. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Einheitspreis des Holzes mit dem Alter des Holzes sich ändert und dass die Kosten für Neupflanzungen und Waldpflege mit zu rechnen sind; Zinsen werden hierbei nicht berücksichtigt.

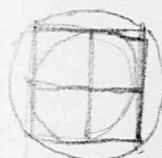
4.) Die finanziell günstigste Umtriebszeit entspricht dem grössten Reinertrag unter Berücksichtigung auch der unter 3) vernachlässigten Verzinsung. Um sie zu erhalten, sind in Abb. (b) die Ordinaten E des jeweiligen Reinertrags durch die Ordinaten D zu ersetzen, welche den auf den Tag der Anpflanzung diskontierten Werte E entsprechen. $D = E : (1 + z)^u$ (u = jeweilige Umtriebszeit). Man erhält mehr oder minder geringere Werte von U_0 gegenüber den 3 anderen Umtriebszeiten.

Diese finanziell günstigste Umtriebszeit entspricht dem rein privatwirtschaftlichen Standpunkt (fiskalischen) des Produzenten und ist selbstverständlich wie 3) von den jeweiligen Einheitspreisen abhängig. (3) entspricht einem Beharrungszustand, wo die jährliche Schlagmenge konstant ist (im grossen Gesamtforst). Der privatwirtschaftliche Standpunkt kann den volks- und staatswirtschaftlichen Bedürfnissen nicht nachkommen, nimmt keine ausreichende Rücksicht auf die Zukunft und auf Qualitäten (Astfreiheit), die z.Zt. nicht besonders hoch bezahlt werden; (grosse, alte Stämme würden gar nicht mehr erzeugt, bezw. deren Preise in unerschwingliche Höhe getrieben, evtl. Abhängigkeit vom Ausland, wo noch Raubbau getrieben wird). Der Staat muss in seinen Forsten die volks- und staatswirtschaftlichen Gesichtspunkte zur Geltung bringen, die allgemeinen Bedürfnisse (insbesondere auch der Konsumenten) befriedigen, den Wald für das allgemeine Wohl verwalten

ur Splint



Grösstenteils
Kernholz



(Erholung. Aesthetik, Klima) und bezüglich der Privaten und Gemeinden Kontrolle und einen gewissen Zwang ausüben (Schlag-erlaubnis, Zwang der Aufforstung).

Verschiedene Umtriebszeit je nach den einzelnen Zwecken (Bauholz, Brenn-, Papierholz). Als geeignetste Umtriebszeit für Bauholz wird z.Zt. bei uns angesehen :

80 - 130 Jahre (Nadelholz und leichtes Laubholz)

130 - 170 " (schweres, hartes Laubholz)

Die Eigenschaften des Bauholzes.

Es kommen bei uns als Bauhölzer hauptsächlich die Nadelhölzer in Betracht; sie haben gerades, langes Stammholz, geringere Abholzigkeit, sind leicht zu bearbeiten; grosses $L = K : \chi$; billiger. Meist Kiefernholz und Fichtenholz; ersteres dauerhafter, aber schwer zu bearbeiten. Am dichtesten und dauerhaftesten ist Tärchenholz, d.h. das Kernholz, jedoch sehr astreich und dazu schwer zu bearbeiten kurzbrüchig, jedoch sein Splint ist nicht dauerhafter als der von Fichten und Tannen. Eichen und Buchen werden selten verwendet. Eichen sehr teuer, im Kern sehr fest und dauerhaft; der Splint ist jedoch minderwertig, unterliegt leicht den Fäulnispilzen und dem Wurmfrass. Verwendung des teuren Eichenkernholzes dort, wo besondere Anforderung an Festigkeit und Dauerhaftigkeit gestellt wird. Das sehr harte und feste Buchenholz unterliegt im Freien sehr leicht der Fäulnis; kann hier im allgemeinen mit Vorteil nur in getränktem Zustand verwendet werden.

Von grösster Bedeutung für die Eigenschaften des Holzes ist sein Wassergehalt, welcher je nach den äusseren Feuchtigkeitsverhältnissen verschieden ist, da Holz aus der Umgebung (feuchte Luft, Wasser) Wasser aufsaugt und wieder ab-

gibt. Mit wachsendem Wassergehalt nimmt das Raumgewicht und der Rauminhalt ("Quellen", "Schwinden") zu, die Festigkeit ab. Im grünen Zustand (frischgefällt) enthält das Holz (Fichte, Kiefer) ca. 45 % Wasser, (Eiche und Buche ca. 32 %) hat nach längerer Lagerung im Wald noch ca. 25 - 30 % (waldtrocken); beim weiteren Trocknen, insbesondere nach seiner Bearbeitung und Zerteilung in Balken, Bohlen und Bretter wird das Holz lufttrocken (12 - 18 % \angle 15 % normal lufttrocken) des Darrgewichts (0 % Wasser); künstlich getrocknet (Tischler) ca. 10 % \angle bei Laubholz - 20 %; Gesteschi⁷. Unter Wasser lagernd kann Holz weit über 100 % Wasser aufnehmen (Nadelhölzer über 200 %). Im grossen Mittel beträgt das Schwindmass vom grünen bis zum lufttrockenen Zustand: bei Kiefer und Fichte längs 0,1 %; im Spiegel (radial) 3-5 %⁽¹⁾; im Umfang 6 - 10 % d.h. im Verhältnis 1 : 30 bis 50 : 60 bis 100. (Bei 30 cm Durchmesser beträgt hiernach das Querschwinden 0,04 . 30 = 1,2 cm). Bei Laubhölzern (Eiche und Buche) ist das Schwindmass grösser; in der Faserrichtung ca. 3 mal; die "schweren" Hölzer sind mehr zum Quellen und Schwinden geneigt. (Siehe Tabelle in Förster's Taschenbuch). Grosse Abweichungen in Einzelfällen.

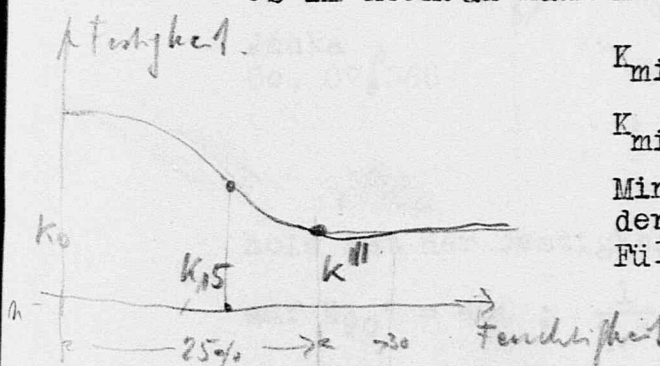
Durch das ungleiche Schwinden von Spiegel und Umfang entstehen innere Spannungen, die evtl. so stark werden, dass sich Risse bilden (insbesondere bei raschem Trocknen) oder dass "Werfen", "Verziehen", "Vermindern" und "Krümmen" bei Schnittholz eintritt (bei Drehwuchs, schiefen Faserschnitten besonders stark). Getäfel bei Schreinerarbeit, um offene Fugen zu vermeiden (Füllungen):

(1) Günstiger Einfluss der Markstrahlen bezüglich "Schwindens" im Spiegel.

Splint schwindet (da wasserreicher) stärker als der Kern. Beim langsamen Trocknen vermutlich "plastische" Formänderungen ohne grosse bleibende Spannungen. Das Schwinden von trocken gelagertem und dann erst verarbeitetem Holz ist (da ein Teil des Wassers bereits verschwunden) wesentlich geringer, kann jedoch bei sehr trockener Luft immer noch Lockerungen in den Verbänden verursachen. Rücksicht hierauf bei der Detailanordnung. Erfordert evtl. besondere Regulierungen; häufiges Nachziehen von Verbindungsschrauben im 1. und 2. Jahr. Unstimmigkeiten zwischen dem schwindbaren Holz und dem nicht schwindbaren eisernen Verbindungsteilen, falls keine Regulierung möglich.

beim Quellen Einpassung der Schrauben und dann beim Schwinden "lockern".

Durch besondere Behandlung des Holzes vor seiner Verwendung (langes Austrocknen, Imprägnieren, Dämpfen etc.) kann das "Arbeiten" des Holzes wesentlich gemindert werden, sodass es im Hochbau kaum mehr schädlich wirkt.



$K_{min} : K_{max} = 0,38$ Tiek, $0,26$ Eiche, $0,225$ Fichte

$K_{min} : K_{15} = 0,66$ Tiek, $0,5$ Eiche, $0,53$ Fichte

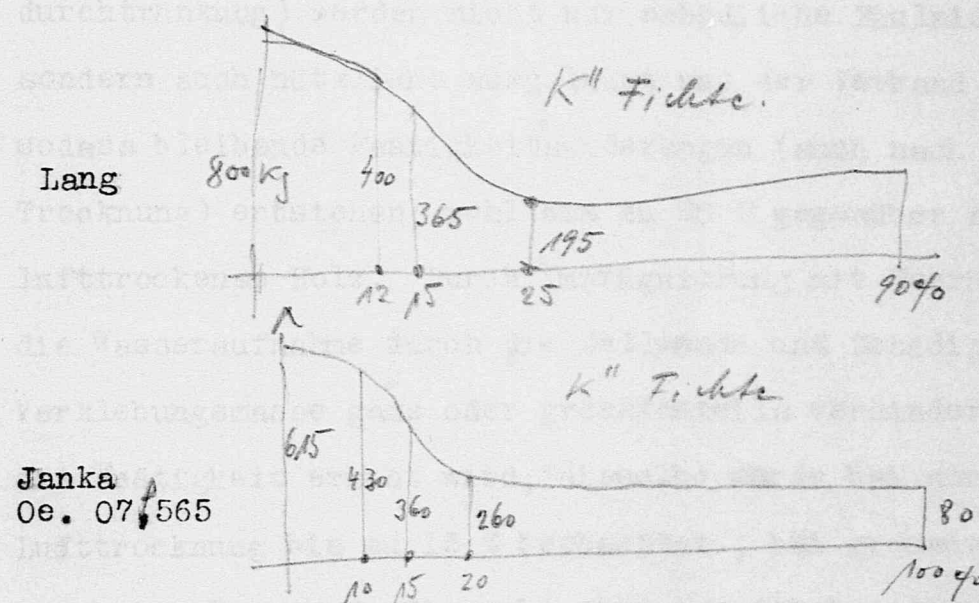
Minderung der Festigkeit durch Erweichung der Klebstoffe; bei grossem n wirkt das Füllwasser günstig.

Siehe auch Lang Figuren S. 325 (Tiek, Eiche, Fichte). Bei allen dreien liegt nun K'' bei ca. $n = 25$ bis 30% und steigt dann wieder um ca. 10% (Wassersatt $n = 100\%$)

Erst nach Wassersättigung der Zellwände füllen sich

die Hohlräume unter Verdrängung der Luft, daher sofortiges Quellen trockenen Holzes durch Wasseraufnahme der Zellwände. Nasses Holz schwindet anfänglich nicht, erst dann, wenn das Innenwasser verdunstet ist. Nur das "Imbibitionswasser", das in die Zellwände dringt, ist auf das Quellen und Schwinden von Einfluss; ^{solange} nur die Masse des im Zellinnern befindlichen Wassers geändert wird, zeigt sich kein Quellen und Schwinden.

Was die Abhängigkeit der Festigkeiten vom Wassergehalt n anbelangt, so ist nach einigen Versuchen von Lang K" bei Fichtenholz in lufttrockenem Zustand $n = 12\%$, also nur halb so gross wie im Darrzustande und doppelt so gross wie im wassergesättigten $n = 90\%$. Bei Kiefer, Eiche, Buche liegen die Verhältnisse ähnlich, jedoch bei Eichen Minderung geringer (um $1/3$ statt $1/2$) Z 20. Bei dem dichten Tiek-



holz ist der Festigkeitsabfall geringer, von $K_0 = 1000 \text{ kg/cm}^2$ auf $K_{90} = 400$; $\frac{1}{2,5} = 1$ statt $4 : 1$

nach Lang :
 $K_{25} = 0,54 K_{15}$
 $K_{90} = 0,50 K_{15}$

nach Janka :
 $K_{20} = 0,76 \cdot K_{15}$
 $K_{100} = 0,56 \cdot K$

$n = 15 = \text{normal lufttrocken.}$

Hiernach ist für Holz im Freien (ohne Dach) wo $n = 20-30\%$ ziemlich schwächer, als geschützt, wo $n = 15 - 10\%$ (ziemlich trocken).-

Unter Wasser und stark durchnässt ist K'' nur ca. $1/2 K_{15}$. Die Festigkeitsminderung rührt von der Erweichung des die Holzfasern verkittenden Klebstoffs her. Die Erhöhung der Festigkeit (ca. 10%) für 90% Wasser rührt wohl vom Mitsaugen des die Zellen füllenden Wassers her. Ähnliche Verhältnisse sind auch bezüglich K'_{τ} und \perp zu erwarten (bei K' ist eine geringere Schwächung zu erwarten, da die Verkittung hierbei ohne Einfluss. Hiernach Vorsicht beim Brückenbau und Wasserbau. Der Schutz vor Regen durch Dächer und Schutzbretter erhöht nicht nur die Dauer, sondern auch die Festigkeit des Holzes. Ungünstige Verhältnisse bei den Fahrbahnträgern unbedachter Brücken. Durch Flössen (Wasserdurchtränkung) werden nicht nur schädliche Faulnisstoffe, sondern auch nützliche ausgelaugt und der Verband gelockert, sodass bleibende Festigkeitsänderungen (auch nach erfolgter Trocknung) entstehen; wohl bis zu 20% gegenüber natürlich lufttrockenem Holz. Durch Imprägnierung mit Teerölen wird die Wasseraufnahme durch die Zellwände und Schädigung der Verklebungsmasse ganz oder grösstenteils verhindert, sodass die Festigkeit erhöht wird; dieselbe wurde bei normaler Lufttrocknung bis zu 15% beobachtet; bei grosser Nässe und unter Wasser dürfte wohl ein wesentlich geringere Festigkeitsabnahme als bei ungetränktem Holze stattfinden, vielleicht gar keine. Hiernach hoher Wert der Teeröltränkung auch bezüglich der Festigkeit. Die wässrigen Tränkungen verschlechtern im allgemeinen die Festigkeit. - Gleichzeitig

mit der Minderung von K findet auch eine solche von E statt. Gedarrtes Holz ist sehr spröde, grünes, wassergetränktes geschmeidig, zähe. Die Arbeitsfähigkeit ist (bein gleicher Spannung) bei nassem Holz grösser als bei trockenem.

(Arbeitsfähigkeit bei Holz grösser als bei Eisen, wegen des wesentlich kleineren E)

Starkes Biegen, schlanker dünner Bäume unter dem Wind ohne zu brechen, jedoch z.T. bleibende Verbiegungen :
Günstig für Wasserbauten, wo Stösse aufzunehmen sind. Ueber die Elastizitätsgrenze nass gebogene Hölzer bewahren nach in der Krümmung erfolgter Trocknung einen mehr oder minder grossen Teil dieser Krümmung (Biegen von Hölzern für Möbel, Radfelgen etc.). Künstliche Durchweichung des Holzes und dadurch Minderung von E und Elgr. durch Dämpfen (Möbel).

Die Festigkeit des Holzes ist, abgesehen vom Wassergehalt, von der spezifischen Masse und Anordnung des Gefüges abhängig; es ist verschieden nach Baumart, Alter (Buchen haben max K bei 80 - 100 Jahren), den besonderen Wachstumsverhältnissen des einzelnen Baumes (Standort, Klima), der Lage des Versuchsstücks im Baum (oben, unten). Die Festigkeit ist entsprechend der ausgesprochenen Längsfaserung des Holzes verschieden nach der Richtung, der Krafteinwirkung. (Langsam gewachsenes Holz ist fester als schnell gewachsenes, insbesondere wenn das "Frühholz" verharscht). Festigkeitswerte ohne Angabe des Feuchtigkeitsgehalts sind ohne wissenschaftlichen Wert; sie fehlen bei den älteren Versuchsangaben. Jetzt Vorschriften des Weltverbandes.

Im grossen Mittel kann man annehmen für Normalluft-
feuchte (n = 15 %) nach Melan für Nadelholz (Lärche,
Kiefer, Fichte, Tanne) ; Eichenholz Grünharz

K'	=	730 kg/qm	820	770	!	920	965	950	!
K"	=	330 "	410	330	!	400	487	440	!
K	=	550 "	640	560	!	620	755	700	!
$\frac{K}{2}$	=	65 "	46	55	!	75	86	80	!
$\frac{K}{4}$	=	230 "	125	180	!	270	125	200	!
K' \perp	=	125 "		130	!	150		150	!
K" \perp	=	55 "		60	!	135		140	!
		Melan	Winkler	Lang	!	Melan	Wink-	Lang	!
			1877		!		ler		!

Nach eigenen Ermittlungen:

Nadelholz	K' = 775	K" = 265	K' : K" = 2,9
Eiche	K' = 970	K" = 350	K' : K" = 3
Buche	K' = 1350	K" = 320	K' : K" = 4,2

(Die Angaben in der Literatur sind sehr abweichend. Es sind noch viele wissenschaftliche Versuche nötig; einheitliche Vorschriften des Weltverbandes.)
(K ist eine ideelle (Rechnungs-)zahl, auf der Gültigkeit von $\frac{W}{K}$ beim Bruch beruhend.)

6
K" = Würfelfestigkeit. Die Minderung gegenüber K' beruht ~~beruht~~ z.T. auf der geringen Querfestigkeit, wodurch Ausknicken der einzelnen Fasern erleichtert wird. Bei Platten und Teilbelastungen ist K" grösser. Bei Säulen 2 : 1 nur ca. 92 % K".

Die Festigkeit K" der reinen Holzfaser ($\gamma = 1,56$) rechnet sich aus der Darrfestigkeit von Fichtenholz 800 kg zu rund 2400 kg/qm K". Die Zugfestigkeit und Raumgewicht von 0,5 der Holzfaser dürfte wohl mindestens das Doppelte betragen, K' = 5000 kg.

Besonders dichtes Holz kann 1,5 - 1,8 mal höhere Festigkeiten besitzen \varnothing grobjähriges, minderwertiges nur bis 0,5. Erhöhung der Festigkeit durch Kreosoline (" gestähltes Holz ") . 10 - 18 % Erhöhung beobachtet.

Minderung der Festigkeit durch Astknoten, insbesondere der Zugfestigkeit hängt von deren relativer Grösse ab, daher in Schnittholz (Bretter) evtl. beträchtlicher als in vollen Balken. Bei Rundholz wurde bei K" die Minderung auf 10 - 15 % beobachtet (Stammfestigkeit) ; nach Lang bei Fichte bis 30 % Minderung beobachtet; sehr grosse Minderung bezüglich Knickfestigkeit bis auf 1/2 nach Lang.

Ermüdung des Holzes (als organischen Stoffes) mit der Zeit. Exakte Beobachtungen fehlen.

Elastizitätsmodul im grossen Mittel $E = 100\,000 \text{ Kg/qcm}$

|| Faser (Nadelholz) ; bei Buche höher, 175 000 bei Zug und Druck, 130 000 bei Biegung. Bei nassem Fichtenholz ist nach Janka E^k um 15 % kleiner als bei trockenem. Elastizitätsgrenze bei Nadelholz $\sigma_g = 180$; Eiche 280 ; Buche 155 (nach Förster) ; nach Janka ist σ_g bei nassem Fichtenholz nur ca. $50 \text{ Kg} = \frac{1}{3,6}$ vom trockenem. Senkrecht zur Faser ist E wesentlich geringer. Nach Baumann DJ 1912 ist für Eichen $E_g = \frac{1}{7,5} E_l$ Spie - gelrichtung ; $= \frac{1}{12} E_l$ (Ringrichtung) ; bei Tannen ist E_g noch geringer (im Mittel $\frac{1}{15}$).

d, kleiner als $\frac{d}{2}$ beobachtet (Kräuter).
Nach Versuch V 1923
ca. $\frac{d}{4}$.

Hierdurch kann quergepresstes Holz in Tunnels als gut sichtbarer Dynamometer dienen, andererseits aber bei ständigen Bauten tunlichst Querpressung vermeiden, bezw. ihre Grösse tunlichst reduzieren, um die Deformationen klein zu halten (eine eigentliche Zerstörung tritt dabei nicht ein).

Die Härte des Holzes ist abhängig von K und E. Messung durch Einpressen harter Körper (Kugeldruckprobe, Fingernagel) oder auch durch Sandstrahlgebläse. Man teilt hiernach die Hölzer ein in weiche und harte. Die Härte äussert sich durch den Widerstand gegen die Bearbeitung durch Sägen, Bohren, Hobeln, Schneiden, Spalten. Ist nach den Richtungen verschieden. Sie nimmt im allgemeinen mit dem Wassergehalt ab.

Weiche Hölzer : Kiefer, Fichte, Tanne, Lärche, Rosskastanie
Sehr weiche " : Pappeln, Weide, Linde .

Harte Hölzer : Eiche, Buche, Edelkastanie, Nussbaum ,
Ahorn, Esche, Hainbuche .

Sehr harte " : Buchs, Eucalyptus, Eisenholz, Grünherz ,
Ebenholz .

Ungleichheit der Eigenschaften (bei verschiedenen Hölzern)

Schon beim lebenden Baum sind auch bei der gleichen Baumart Festigkeit und Elastizität (und Härte) sehr verschieden, den jeweiligen Verhältnissen entsprechend ; nach Standort (Klima, Boden, freier oder geschlossener Stand) Alter, Stammstelle. Beim toten Bauholz kommen hierzu noch die Einflüsse der wechselnden Feuchtigkeit, der Nachbehandlung, der Teilung des Stammes, insbesondere Stellung der Jahresringe zur Schnittfläche, verschiedener Anteil von Splint und Kern, Zerschneidung der stets et was krummen Fasern. Wir haben es daher bei Holz mit einem



Biegung : a = ca. c ; b schlechter als a .

Material von sehr ungleicher Beschaffenheit zu tun. Die Min und Max können sich weit von den Mittelwerten entfernen (0,4 - 2,0 ; 0,5 - 1,6 K_m) .

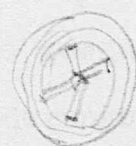
Ungleichmässigkeit des Materials beim gleichen Holzstück. Verschiedenheit von K und E nach Längsrichtung, Ring und Spiegel .

Ungleichmässigkeit : (der einzelnen Stammstellen) Kern und Splint, Früh - und Spätholz ; Astknoten, Harzgallen. Die " Stammfestigkeit " ist geringer als die " Stofffestigkeit " . Im Kleinen (Parkettböden) kann man die Astknoten ausschalten ; Im Bauwesen bei Kleinstücken (Dübel, Klötze) und ausnahmsweise beim Zusammensetzen (Leimen) ausgewählter Kleinstücke (Hetzerkonstruktion); Konstruktive Schwächungen (Zapfen, Verschneidungen) dürfen natürlich nicht mit schwachen Stellen (Astknoten) zusammenfallen .

Die Dauerhaftigkeit des Holzes ist je nach den äusseren Verhältnissen und der Beschaffenheit des Holzes sehr verschieden. Kern ist dauerhafter als Splint. Die Dauerhaftigkeit wird durch dichtes Gefüge und durch den Gehalt an Harz, Gerbsäuren etc. (natürliche Imprägnierung) [Kiefer, Fichte , Eiche] erhöht. Dieser Zellstoff selbst ist fast unverwüstlich, die Zerstörung geht von den Zellsäften und Nährstoffen, d.h. dem Zelleninhalt aus. Erhöhung der Dauer durch geeignete Aufbereitung (Trocknen etc.); Anstrich und Durchtränkung (Holzkon-servierung); hierüber später eingehend .

Anforderungen an gutes Bauholz : Gesund, unbeschädigt, keine Risse, trocken, gerade gewachsen, nicht verkrümmt und windschief, fest und dicht , möglichst astrein. Keine Baumfehler und keine Behandlungsfehler. Gesundes trockenes Holz hat beim Anschlagen einen hellen Klang ; faule Stellen im Innern werden durch dumpfen Klang angezeigt ; nasses Holz zeigt matten Klang als gut ausgetrocknetes.

Hierzu ist möglichst viel Spätholz erforderlich; kein Drehwuchs, krummen Wuchs, exzentrischer Wuchs (besonders schädlich bei Schnittholz, da hierbei viele Fasern zer - schnitten werden). Bei Rundholz für Tragbalken ist grosse Abwüchsigkeit ungünstig. Zu grosse Aestigkeit ist der häufigste und schädlichste Wuchsfehler, der neuerdings erschreckend überhand nimmt (Lang). Völlige Astreinheit in Stammstücken < Jahrestrieb (25 - 70 cm kann nicht gefordert werden ; doch müsste verhindert werden, dass sich die Aeste im unteren Stammteil zu stark entwickeln. Sie sterben im geschlossenen Stand wegen Lichtentzugs von selbst ab und müssen dann zeitig entfernt werden, wenn glatte und geradfaserige Stämme erzielt werden sollen ; sofern dies nicht der Wind besorgt. Die Längsfasern der folgenden Jahresringe wachsen dann wieder geradlinig und die Astknotenschwächung bleibt auf den inneren Teil beschränkt. " Astrein " sind die Stämme



deren Astansätze auf 10 cm (-20 cm) Höhe zeitig entfernt worden sind. Das Abästen muss spätestens mit dem 15. Jahr beginnen, sonst bleiben zu grosse schädliche Astknoten im Stamm, die jedoch nicht von aussen erkannt werden können.

Qualitäts - (Festigkeits -) proben haben bei dem zu verwendenden Holz nicht die gleiche Bedeutung wie bei Eisen, Zement und auch Stein, da die Qualität von Stück zu Stück wechselt, und im allgemeinen nicht einmal die Gleichheit des Standorts und Alters mit Sicherheit konstatiert werden kann. Immerhin würden die Unternehmer

hierdurch gezwungen, auf die Güte des Holzes besonders zu achten.

Allgemeines über Holzkonstruktionen.

Sicherheitszahlen und Anstrengungskoeffizienten, Spannungs-
zahlen (zulässige Beanspruchungen).

$K = \frac{K}{n}$. Durch die Einführung der zulässigen Beanspruchungen (Spannungszahlen) in die statischen Berechnungen

$$\tau \leq K \leq \frac{K}{n}$$

soll ein in seinem Bestand sicheres, den Anforderungen des Gebrauchs (Betriebs) genügendes Bauwerk erhalten werden.

Es soll angemessen weit vom Bruch entfernt sein und keine unzulässigen Formänderungen (die den Gebrauch und das Aussehen beeinträchtigen) erleiden. (Im Brückenbau kleineres K als im Hochbau). "Bestands- und Gebrauchssicherheit". $K = \frac{K}{n}$ und n sind ideelle (Rechnungs-) Zahlen, die die gewünschte Sicherheit verbürgen sollen. Damit die Formänderungen nicht zu gross ausfallen, sollen die K im allgemeinen innerhalb der Elastizitätsgrenze liegen.

Die ideellen Rechnungszahlen sollen ferner Rechnung tragen:

1) den Zufälligkeiten und Minderwerten (gegenüber den Mittelwerten) der Materialeigenschaften (K, E, σ_g)

2) den unvermeidlichen Mängeln der Ausführung (incl. Schneidens)

3) den verschlechternden Einflüssen des Alters, der Unterhaltung

4) den Unzulänglichkeiten der Berechnung

5) evtl. aussergewöhnlichen Belastungen (dieselben könnten auch direkt in Rechnung gestellt werden.)

Die Unzulänglichkeiten der Berechnung sind bei statisch unbestimmten Konstruktionen unhomogenen Materials, das nicht der Hook'schen Gleichung folgt, grösser. Bei provi-

sorischen Bauten und insbesondere Arbeitsgerüsten sind 1) und 2) ungünstiger; 3) und 5) günstiger als bei definitiven; auch sind in der Regel grosse Deformationen (geringere Gebrauchssicherheit) evtl. unter Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze zulässig; bisweilen wird 25 - 50 % höheres gestattet (Vorsicht!), insbesondere dort, wo die Grösse der Verformungen von geringerer Wichtigkeit und nur sehr kurze Dauer in Betracht kommt. Bei Holzbauten sind 1), 2), 3) und 4) ungünstiger als bei Eisen, wegen der grossen Verschiedenheiten des Materials, der Feuchtigkeit, der Unhomogenität. Am günstigsten bei einfachen Biegebalken und Druckpfählen, wo 2) und 4) eliminiert ist, da die Festigkeitszahlen im wesentlichen unmittelbar den Verhältnissen der Anwendung entsprechen.

T a f e l

der normalen Anstrengungskoeffizienten
für ruhende Belastung, statisch bestimmte
Systeme schätzungsweise Erniedrigung bei
statischer Unbestimmtheit, bzw. undurch-
sichtigen Verhältnissen.

Nadel	!!	Eichen	!
$K' = 120 \text{ kg/qcm} (= 1 K' = 1,5 K''$!!	150 ($1 K' = 1,5 K''$!
$K'' = 80 \quad " \quad (\frac{2}{3} K' = 1 K''$!!	100 ($\frac{2}{3} K' = 1 K''$	I
$K = 100 \quad " \quad (\frac{5}{6} K' = 1,25 K''$!!	125 ($\frac{5}{6} K' = 1,25 K''$!
$t = 10 \quad " \quad (\frac{1}{12} K' = \frac{1}{8} K''$!!	12,5 ($\frac{1}{12} K' = \frac{1}{8} K''$!
$t = 40 \quad " \quad (\frac{1}{3} K' = \frac{1}{2} K''$!!	50 ($\frac{1}{3} K' = \frac{1}{2} K''$!
$K' = 20 \quad " \quad (\frac{1}{6} K' = \frac{1}{4} K''$!!	25 ($\frac{1}{6} K' = \frac{1}{4} K''$!
$K'' = 12 \quad " \quad (\frac{1}{10} K' = 0,15 K''$!!	35 ($\frac{1}{4,3} K' = \frac{1}{3} K''$	I

Bei Druckrichtungswinkel φ mit Längsfaser interpoliere man
(vorläufig) parabolisch.

Bei Schub ähnlich oder linear; Württemberg.

Barkhausen :		
	! Hartholz !	Weichholz
! Hirnholz gegen Hirnholz !	!	!
! K" !	40	30
! mit Blecheinlage !	60	50
! gegen Eisen !	70	60
! gegen Querholz !	50	!
! Im vollen Stab Berücksichtigung von Astknoten		
! (10 % Fläche) bei K" = 120 bzw. 100. !		

Ästknotten und Harzgallen beeinträchtigen die Zugfestigkeit mehr als die Druckfestigkeit, daher bei ersterer grösseres n als bei Druck ($n = 6$ bzw. $n = 4$).

Risse sind bei Schub // Faser und Zug \perp Faser besonders gefährlich (im Grenzfall heben sie die betr. Festigkeit vollständig auf.) Grosse Sorgfalt bei Ausführung und Unterhaltung nötig. \angle Lang setzt $\perp K' = 0$, nicht aber $t = 0$.

Die obigen Zahlen setzen voraus : gutes (erstklassiges), trockenes (wie solches bei guten Firmen erwartet werden kann) Material, gute Ausführung, tunlichste Vorkehr gegen Feuchtigkeit (es sind Brücken im Freien mit gutem Nässe-schutz /Dach, Schutzbretter/ vorausgesetzt); sie beziehen sich auf Dauerbauten. Normale sorgfältige Berechnung, Berücksichtigung exzentrischer Kraftwirkung. Bei Hochbauten (gut geschützt im Innern) können die K um 10 % (- 20 %) erhöht werden. Bei Gliedern, die der normalen Durchnässung ausgesetzt sind(freie Brückenträger) evtl. Erniedrigung von K um 10 - 20 %; bei Konstruktionen unter Wasser bis zu 50 % (bei Eichenholz nur 12 bzw. 30 %). Bei guter Teeröltränkung darf K bis zu 10 % erhöht werden; Minderungen wegen Durchnässung sind im allgemeinen nicht zu rechnen. K" bezieht sich auf kurze Stäbe. Bei langen Stäben kommt Knickgefahr in Betracht. (Schlimmer Einfluss von Astknoten auf die Festig-

keit von Stützen (nach Lang Zuschläge von 15 - 100 % erforderlich; besonders bei exzentrischen Astknoten). Vorteil von Rändholz zu Stützen.

Innerhalb der Elastizitätsgrenze :

$$K_o = \frac{10 E}{n \lambda^2} ; \quad \lambda = \frac{l}{i}$$

ausserhalb der Elastizitätsgrenze:

$$K_o \text{ von } K_o = K'' (\lambda = 0)$$

bis

$$K_{og} = \frac{10 E}{n l_g^2} i^2 \quad \text{linear abnehmend}$$

für Nadelholz und $\lambda < 100 ; K_o = 81 - 0,61\lambda$

$$\lambda > 100 ; K_o = \frac{200\,000}{\lambda^2} \quad (n = 5)$$

Bei glatten Körpern, sich rasch vergrößernden Querschnitten (teilweiser Belastung einer Fläche)

(wie bei

)

kann K'' erhöht werden bis zu 50 %; fehlerloses Holz vorausgesetzt; bei Druckflächen von Holzverbindungen evtl. $K'' = K'$.

Die ungünstigere Wirkung der Verkehrslasten wird durch Multiplikation mit einem Stosskoeffizienten (φ normal = 1,5) berücksichtigt (vergl. Autographie)

$$F = \frac{E + \varphi V}{K}$$

Bei Knickbeanspruchung darf $\varphi = 0$ gesetzt werden.

Bei Berücksichtigung gleichzeitiger Windbelastung (Zusatzkräfte) kann evtl. K bis zu 20 % erhöht werden.

Eisenteile $K \leq 1500$ Flusseisen.

Bei Provisorien kann evtl. $\psi = 1$ gesetzt werden (da grössere Deformationen gestattet) / bei gutem Material und Ausführung und Aufsicht könnten die K bis zu 25 % erhöht werden/. Bei Gerüstbauten, wo Verstärkung leicht möglich ist, noch höher. Im uebrigen vergl. die auf S. gemachten Ausführungen. - Vorsicht insbesondere bei Knickbeanspruchung, wo die "Einspannungsverhältnisse" im allgemeinen ungünstiger sind als bei definitiven Bauten. -

Grosse Schwierigkeit bzw. Unmöglichkeit, allgemeingültige bzw. verbindliche Vorschriften aufzustellen, am leichtesten im Hochbau. Jeweils Berücksichtigung des besonderen Falles,; Unterschied, ob Qualitätsbau oder mittelmässiger Handwerksbau.

In statischen Berechnungen (statisch unbestimmtes System) kann im Mittel eingeführt werden:

$$E = 100\,000; \quad E_{\perp} = \frac{1}{10} E = 10\,000 \text{ kg/qcm}$$

bei nassem Holz ist:

$$E_n = \text{ca. } 0,85 E_t$$

(Raumgewicht γ)

Nadelholz: frisch oder durchnässt 0,9; lufttrocken 0,6

Eichenholz: " " " 1,0; lufttrocken 0,8

Die Durchbiegungen gegliederter Konstruktionen hängen stark von lokalen Deformationen an den Knoten, Dübeln etc.ab.

Die gewöhnliche Festigkeitslehre ist, abgesehen von den einfachsten Fällen der Beanspruchungsweise (reiner Druck, Zug, Biegung), nur näherungsweise anwendbar. Holz folgt nur annähernd der Hook'schen Gleichung bzw. dem Elastizitätsgesetz.