

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXV. Jahrgang 1895.

München.

Verlag der K. Akademie.

1896.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Ueber den Drehwuchs der Kiefer.

Von Robert Hartig.

(Eingelaufen 4. Mai.)

Bei keiner deutschen Holzart treten die Erscheinungen des „Drehwuchses“ in so auffälliger und so verschiedenartiger Form auf, als bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). A. Braun¹⁾ erwähnt die ältere Literatur und weist darauf hin, dass schon Göthe in dem Aufsätze „über die Spiral-tendenz der Vegetation“ sich darüber folgendermassen aus-spricht: „Herr Oberlandjägermeister von Fritsch äusserte Ende August in Ilmenau, dass unter den Kiefern Fälle vor-kämen, wo der Stamm von unten bis oben eine gedrehte, gewundene Wirkung annähme; man habe geglaubt, da man dergleichen Bäume an der Brahe gefunden, eine äussere Wirkung durch heftige Stürme sei die Veranlassung; man finde aber dergleichen auch in den dichtesten Forsten und es wiederhole sich der Fall nach einer gewissen Proportion, so dass man 1 bis 1½ Procent im Ganzen das Vorkommen rechnen könnte. Solche Stämme würden in mehr als einer Hinsicht beachtet, indem das Holz derselben nicht wohl zu Scheiten zerschnitten, in Klaftern gelegt werden könnte,

¹⁾ „Ueber den schiefen Verlauf der Holzfaser und die dadurch bedingte Drehung der Bäume“ im Sitzungsberichte der Kgl. Pr. Aka-demie der Wissenschaften. Berlin 1854. 7. August.

auch ein solcher Stamm zu Bauholz nicht brauchbar sei, weil seine Wirkung immer fortdauernd durch ein heimliches Drehen eine ganze Contignation aus ihren Fugen zu rücken die Gewalt habe.“ Seitdem sind Fälle von Drehwuchs bei der Kiefer wie bei anderen Holzarten oft beschrieben und A. Braun hat am angegebenen Orte den Nachweis geliefert, dass unter 167 Holzarten, über die sich seine Untersuchungen erstreckten, bei 111 Arten der schiefe Verlauf der Holzfaser regelmässig auftritt. Allerdings wird dadurch in den meisten Fällen nur eine schwache Drehung herbeigeführt, die einer technischen Verwendung des Holzes nicht hinderlich ist.

Die anatomische Erklärung, welche A. Braun für diese Erscheinungen gab, trifft das Wesen der Sache richtig, wie wir aus den nachfolgenden Darstellungen erkennen werden, wenn auch im Einzelnen die Dinge anders gelagert sind, als Braun sich dieselben dachte und nach dem damaligen Stande der anatomischen Kenntniss vorstellen konnte. Auf eine anatomische Untersuchung drehwüchsiger Bäume im Vergleich zu geradwüchsigen Individuen scheint sich Braun nicht eingelassen zu haben. Mir ist nicht bekannt, dass inzwischen von anderer Seite der Drehwuchs eine anatomische Bearbeitung gefunden hat, und da ich in den letzten Jahren in den Besitz einer Reihe von sehr interessanten drehwüchsigen Kiefern gelangte, so lag darin eine directe Aufforderung, dieselben eingehender zu untersuchen.

Den Ergebnissen schicke ich eine kurze Darstellung des Untersuchungsmaterials voran.

Stamm I.

Im Forstamt Freising bei München liess ich im Jahre 1889 eine 147jährige Kiefer von 31,4 m Höhe und 53 cm Brusthöhendurchmesser (ohne Rinde) fällen, welche bis zum 130sten Jahre im geschlossenen Bestande erwachsen und dann in Folge einer Niederlegung der meisten Bäume durch einen

Sturm völlig freigestellt war. Der Einfluss der Lichtstellung auf Zuwachsgrösse und Holzbeschaffenheit wurde von mir schon früher veröffentlicht.¹⁾ Dieser Stamm zeigte sich sehr geradspaltig und nur in der Jugend drehte derselbe, wie vielleicht jede Kiefer, etwas nach links.²⁾ Die in 1,3 m Höhe entnommene Querscheibe zeigte noch 137 Jahresringe und von ihr stammen die Untersuchungsergebnisse Tab. I (S. 203).

Stamm II.

Etwa 20 Schritt von obigem Stamme entfernt stand eine 30,5 m hohe Kiefer von 66,0 cm Brusthöhendurchmesser. Dieser Baum, dessen Beschreibung ich in derselben Abhandlung¹⁾ gegeben habe, liess eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit im Verlaufe der Holzfasern erkennen. In den ersten Jahrzehnten drehte derselbe stark nach links bis zu 9° Abweichung von dem Loth. Im 40sten Ringe von innen waren die Fasern lothrecht; dann begann eine Abweichung nach rechts bis zu 5° . Im 70sten Ringe verliefen die Fasern wieder lothrecht. Dann trat starke Drehung nach rechts ein bis zu 19° Abweichung vom Loth. Vom 100sten Ringe an nimmt die Neigung wieder etwas ab und zeigt in den letzten Jahrzehnten nur 10° . Bemerkenswerth ist dabei, dass in derselben Wachstumsperiode der Drehungswinkel keineswegs in allen Theilen des Umfanges derselbe, sondern an einem Punkte oft erheblich grösser ist, als an anderen Theilen. Wenn man aus einem Holzabschnitt einen Keil abspaltet, so zeigt die Spaltfläche einen unregelmässig welligen Verlauf. Das Holz derselben Wachstumszone zeigt ferner in einem Baumtheile eine Richtung von 10° , in einem etwa 20 cm darüber gelegenen Theile von 15° .

¹⁾ Allg. Forst- u. Jagdzeitung 1889. „Ueber den Lichtstandszuwachs der Kiefer.“

²⁾ „Links“ im subjectiven Sinne, d. h. für den Beschauer verlaufen die Fasern von rechts unten nach links aufwärts.

Stamm III.

Eine 223 Jahrringe zählende Kieferscheibe aus der Pfalz, die ich der Sammlung des botanischen Instituts verdanke, zeigt in der Jugend Linksdrehung bis zum 100sten Jahr. Von da an tritt Rechtsdrehung ein, die im letzten Decennium 11° erreicht. Abnahme und Zunahme der Drehung erfolgen ziemlich regelmässig.

Stamm IV.

Im Jahre 1894 fand ich an einer Sägemühle bei Kirchseeon (Oberbayern) einen circa 5 m langen Kiefernblock, welcher unten 76 cm, oben 54 cm Durchmesser besass und ausserordentlich stark links drehte.

Am unteren Ende (IV), welches 190 Ringe zählte, begann die Linksdrehung von Jugend auf schnell und fast völlig gleichmässig zunehmend bis zu 55° Abweichung von der lothrechten Richtung.

Stamm V.

Am oberen Ende desselben Bloches zeigte das Holz von Anfang an eine sehr starke Drehung (15°) nach links. Dieselbe stieg nur langsam und erreichte im letzten Jahrzehnt 43° .

Stamm VI.

Herr Professor Tursky aus Moskau sandte mir vor zwei Jahren ein Kiefernstammstück, von dem der innere Theil, der wahrscheinlich etwa 70 Ringe umfasst haben mochte, durch *Polyporus vaporarius* zerstört worden war. Der noch gesunde Theil, der 150 Ringe zählte, liess in den innersten 10 Ringen völlige Geradfaserigkeit erkennen. Von da an begann anfangs langsam, dann schnell zunehmende Rechtsdrehung, die im letzten Jahrzehnt einen Grad erreichte, dass die Fasern in welligem Verlaufe, also im Durchschnitt mit 90° rings um den Stamm herum liefen.

Stamm VII.

Ein 280 Jahresringe zeigendes, 8 cm starkes Lärchenstammstück, das, aus den österreichischen Alpen stammend, mir bei Gelegenheit einer Forstausstellung zur Verfügung gestellt wurde, war so interessant, dass ich dasselbe in die Untersuchung einbezog. Bis zum 60sten Ringe von innen war der Faserverlauf ein völlig gerader. Von da an begann Rechtsdrehung, die zuletzt 70° erreichte. Seit 200 Jahren ist der Zuwachs ein ausserordentlich geringer, so dass jeder Jahrring meist nur aus zwei Tracheiden besteht. Eine vorübergehende Zuwachssteigerung im 110—150. Lebensalter ist aber sehr interessant wegen der später zu erwähnenden Beeinflussung der Organlänge. Vom 150. Jahrringe an trennt sich der Holzkörper in ähnlicher Weise wie bei der Borkenbildung. Es entstehen Risse, und die neu sich bildenden Holzringe verlaufen nur noch wie ein Band spiralig um den Stamm herum.

Stamm I.

Alter	Länge der						Mittlere Länge aller Tra- chei- den	Jahres- zu- wachs an Quer- fläche	Drehungs- winkel		Quer- theilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden					links	rechts	links	rechts
	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum						
		mm			mm			qcm				
137	2,38	2,72	3,13	1,19	3,19	4,10	2,96	14,8	—	—	16	18
130	2,70	3,17	3,78	2,16	3,39	4,32	3,28	22,7	—	—	—	—
120	2,16	3,47	4,32	1,67	3,51	4,64	3,49	12,1	1	—	19	18
110	2,81	3,28	4,00	1,73	3,39	5,29	3,34	14,1	1	—	—	—
100	2,11	3,06	4,16	2,05	3,21	4,00	3,14	18,0	1	—	—	—
90	2,05	2,98	4,10	2,38	3,22	4,16	3,10	20,5	—	—	—	—
80	1,94	2,67	3,46	1,40	2,83	3,46	2,75	12,5	—	—	23	27
70	2,81	3,30	3,78	2,54	3,55	4,00	3,42	11,2	—	—	—	—
60	1,84	3,05	3,67	2,70	3,46	4,21	3,25	13,5	—	—	—	—
50	2,05	2,86	3,73	2,05	3,31	4,10	3,08	15,0	—	—	—	—
40	1,92	3,06	3,56	2,59	3,28	3,78	3,17	17,5	1	—	—	—
30	2,05	2,76	3,78	1,73	3,01	3,78	2,88	20,1	—	—	—	—
20	0,76	2,20	3,08	1,73	2,42	3,13	2,31	19,2	1	—	19	17
10	0,86	2,05	2,86	0,81	2,20	2,92	2,12	3,9	2	—	21	17
2	0,92	1,13	1,67	0,92	1,24	1,73	1,18	—	3	—	24	19

Stamm II.

Alter	Länge der						Mittlere Länge aller Trache- iden	Drehungs- winkel		Quer- theilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden				links	rechts	links	rechts
	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum					
		mm			mm						
137	1,62	2,80	3,89	2,59	3,39	4,21	3,09	—	10	23	13
130	1,13	3,03	4,05	2,54	3,57	4,97	3,30	—	10	—	—
120	1,93	2,94	4,32	1,57	3,64	4,32	3,29	—	15	13	26
110	2,38	3,53	4,32	2,38	3,52	4,64	3,52	—	17	—	—
100	2,27	3,07	4,43	2,16	3,30	3,78	3,19	—	17	11	30
90	2,16	2,99	3,67	1,40	3,25	4,10	3,12	—	19	14	23
80	2,05	2,84	3,51	1,46	2,58	3,35	2,71	—	6	—	—
70	2,05	2,87	4,05	2,27	3,14	4,00	3,00	—	0	20	16
60	1,51	2,64	3,83	1,08	2,89	3,83	2,77	—	5	13	21
50	1,62	2,96	3,89	1,02	2,75	4,32	2,85	—	5	—	—
40	1,30	2,29	3,78	1,77	2,80	4,10	2,55	—	0	15	17
30	1,30	2,42	3,46	1,62	2,38	3,13	2,40	7	—	—	—
20	1,51	2,47	3,08	1,40	2,56	3,24	2,52	9	—	29	15
10	1,29	1,59	1,89	1,13	1,69	2,00	1,64	4	—	7	5

Stamm III.

Alter	Länge der						Mitt- lere Länge der Tra- che- iden	Jahres- zu- wachs an Quer- fläche	Drehungs- winkel		Quer- theilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden					links	rechts	links	rechts
	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum						
		mm			mm		qcm					
223	2,05	2,87	4,05	2,37	3,37	4,21	3,12	26,2	—	11	9	13
203	1,94	2,67	3,67	2,70	3,30	3,78	2,98	21,4	—	8	—	—
183	2,32	2,91	3,67	2,70	3,28	3,89	3,10	36,7	—	9	—	—
163	2,27	3,19	4,00	2,27	3,21	4,05	3,20	40,6	—	7	10	22
143	1,94	3,12	4,21	2,16	3,37	4,10	3,25	47,2	—	3	—	—
123	2,92	3,28	4,26	2,81	3,47	4,32	3,37	48,7	—	1	10	19
103	1,35	2,96	3,94	2,38	3,20	3,78	3,08	53,6	0	0	—	—
83	2,00	2,68	3,35	2,48	3,26	4,00	2,97	60,2	3	—	11	17
63	1,46	2,68	3,29	1,94	2,85	3,89	2,76	51,8	3	—	—	—
43	1,84	2,39	2,92	2,00	2,88	3,62	2,64	39,2	4	—	15	16
23	2,16	2,56	3,13	1,57	2,59	3,29	2,57	19,0	5	—	—	—
13	0,92	1,99	3,02	1,62	2,27	2,92	2,13	7,9	5	—	22	8
3	0,49	0,77	1,03	0,97	1,15	1,40	0,95	—	2	—	20	11

Stamm IV.

Alter	Länge der						Durchschnitts- Länge aller Tracheiden	Durchschnitts- Breite aller Tracheiden	Jahreszuwachs an Querfläche	Drehungs- winkel		Quer- theilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden						links	rechts	links	rechts
	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum							
		mm			mm			mm 100	qcm				
190	1,84	2,52	3,35	1,51	2,53	3,24	2,53	3,6	4,7	55	—	25	1
180	1,51	2,55	3,56	1,57	2,66	3,24	2,60	3,6	5,9	55	—	—	—
170	2,11	2,56	3,46	2,48	3,27	3,89	2,92	3,4	11,7	52	—	—	—
160	1,73	2,87	3,89	2,16	3,19	3,73	3,03	3,2	14,9	49	—	—	—
150	1,13	2,89	3,46	1,13	2,82	3,56	2,86	3,2	23,6	47	—	—	—
140	1,89	2,78	3,46	2,48	2,88	3,35	2,83	3,4	34,6	45	—	46	16
130	2,16	2,95	3,56	1,94	3,28	4,43	3,11	3,1	34,1	45	—	—	—
120	1,84	2,59	3,56	2,32	2,81	3,35	2,70	3,3	53,8	43	—	—	—
110	1,46	2,76	3,89	1,51	3,07	3,78	2,91	3,3	77,7	38	—	26	12
100	2,16	2,72	3,35	1,84	2,89	3,67	2,80	3,1	22,1	33	—	—	—
90	0,97	2,23	3,29	1,62	2,58	3,56	2,41	3,4	22,8	30	—	—	—
80	1,84	2,50	3,40	1,51	2,58	3,35	2,54	3,0	33,0	25	—	—	—
70	1,51	2,28	2,92	1,73	2,59	3,67	2,44	2,8	33,8	20	—	—	—
60	1,84	2,42	3,02	1,62	2,49	3,56	2,45	2,8	34,3	15	—	13	15
50	1,51	2,51	3,08	1,62	2,81	3,56	2,66	2,8	25,2	18	—	—	—
40	1,51	2,14	2,70	1,57	2,32	2,75	2,23	2,8	16,0	13	—	30	19
30	1,73	2,08	2,43	1,73	2,23	3,19	2,15	2,6	2,5	9	—	29	9
20	1,51	1,74	2,21	1,62	2,10	2,43	1,92	2,3	0,3	7	—	—	—
10	1,08	1,36	1,78	1,29	1,73	2,27	1,54	1,9	0,1	3	—	16	7
2	0,78	0,92	1,29	0,54	0,99	1,19	0,95	—	—	—	—	—	—

Stamm VII.

Alter	Länge der Tracheiden			Jahres- Zuwachs an Querfläche	Drehungswinkel		Quertheilung der Tracheiden	
	Minimum	Mittel	Maximum		links	rechts	links	rechts
		mm		qcm				
280	1,03	1,70	2,65	0,09	—	70	4	18
220	0,86	1,65	2,32	0,11	—	50	—	—
170	1,10	2,30	3,34	0,18	—	30	16	27
140	0,92	2,08	2,81	0,17	—	20	—	—
120	0,86	1,90	2,48	0,13	—	10	11	25
80	1,19	2,84	3,62	0,30	—	3	9	17
60	1,84	3,20	3,89	0,42	0	0	—	—
40	2,05	3,11	4,27	0,46	0	0	—	—
20	1,89	2,62	3,24	0,43	0	0	—	—
10	1,19	1,86	2,81	0,53	0	0	15	16
2	0,65	0,84	1,08		0	0	—	—

Stamm V.

Alter	Länge der						Mittlere Länge aller Tracheiden	Jahreszuwachs an Querfläche	Drehungswinkel		Quertheilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden					links	rechts	links	rechts
	Minimum	Mittel	Maximum	Minimum	Mittel	Maximum						
		mm			mm			qcm				
155	0,97	2,75	4,10	0,76	2,68	4,10	2,71	2,1	43	—	16	12
145	1,24	2,85	4,16	1,08	2,63	4,10	2,74	2,8	40	—	—	—
135	2,27	3,01	3,89	2,70	3,26	3,89	3,13	4,8	35	—	—	—
125	1,84	2,66	3,56	1,08	2,47	3,89	2,57	6,7	35	—	25	15
115	1,73	3,40	4,32	1,73	2,64	3,89	3,02	7,9	25	—	—	—
105	1,73	3,13	4,32	1,73	3,25	4,97	3,19	13,2	20	—	—	—
95	1,94	3,31	4,43	2,38	3,30	4,64	3,30	14,8	20	—	21	17
85	3,02	3,62	4,37	1,94	3,65	4,37	3,63	16,5	20	—	—	—
75	0,86	3,23	4,10	2,05	3,35	3,89	3,29	17,9	20	—	—	—
65	2,16	3,77	4,54	1,62	3,73	4,37	3,75	8,2	15	—	—	—
55	3,02	3,48	4,86	2,81	3,49	4,86	3,49	10,1	15	—	12	11
45	2,05	3,26	4,43	1,46	3,34	4,75	3,30	9,6	15	—	—	—
35	2,49	3,30	4,10	1,73	3,35	4,10	3,33	15,4	15	—	—	—
25	2,16	3,26	3,89	1,62	3,51	4,37	3,38	16,5	15	—	—	—
15	1,73	2,85	3,67	1,94	3,07	3,89	2,96	9,9	15	—	21	19
2	0,75	1,34	1,94	0,75	1,41	2,48	1,37	—	—	—	26	13

Stamm VI.

Alter	Länge der						Durchschnitts- länge aller Tracheiden	Jahreszuwachs an Querfläche	Drehungs- winkel der Tracheiden		Quer- theilung der Tracheiden	
	Leitungstracheiden			Fasertracheiden					links	rechts	links	rechts
	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel	Maxi- mum						
		mm			mm			qcm				
220	1,51	2,66	3,67	1,73	2,90	4,10	2,78	17,8	—	90	12	21
210	1,26	2,39	3,35	1,40	2,65	4,00	2,52	21,7	—	85	—	—
200	0,54	2,12	2,86	1,19	2,37	3,29	2,25	16,9	—	80	10	19
190	1,84	2,61	3,12	2,48	3,06	3,67	2,83	20,6	—	65	—	—
180	1,73	2,54	4,32	1,73	2,85	3,67	2,70	21,9	—	60	7	27
170	2,48	3,68	4,64	2,38	3,62	5,51	3,65	22,1	—	40	—	—
160	2,70	3,26	4,43	2,70	3,80	4,86	3,53	21,1	—	30	11	24
150	2,92	3,42	4,21	3,24	4,15	4,54	3,78	26,4	—	20	—	—
140	2,81	3,36	3,67	3,45	4,39	6,53	3,88	29,8	—	20	—	—
130	2,48	3,44	4,32	2,05	4,07	4,86	3,76	18,8	—	20	11	15
120	2,48	3,66	4,54	3,02	4,02	4,86	3,84	20,7	—	10	—	—
110	2,38	3,41	4,75	2,16	3,74	4,54	3,58	20,8	—	10	—	—
100	2,48	3,89	4,75	2,97	3,92	4,75	3,91	25,6	—	5	18	23
90	2,81	3,96	4,97	2,05	3,94	4,97	3,95	17,5	—	3	—	—
80	2,59	3,76	4,32	2,92	3,75	4,97	3,76	15,1	0	0	31	38
70	3,29	3,70	4,21	2,70	3,70	4,43	3,70	—	0	0	7	12

Ueberblicken wir die an den Stämmen I—VI auftretenden Drehungsrichtungen, so erkennen wir zunächst, dass alle Kiefern in der ersten Jugend links drehen. Wahrscheinlich gilt das auch für Stamm VI, dessen innerer Holztheil verfault war. Vom 20. bis 30. Ringe an tritt entweder Geradfaserigkeit ein (I), oder die Linksdrehung setzt sich in gesteigertem Grade in der Folge fort (IV und V), oder der Drehungswinkel nimmt ab und geht aus der Linksdrehung in die Rechtsdrehung über. Diese Aenderung kann schon frühzeitig (II) oder erst nach dem 100sten Jahrring (III) eintreten. Die Abnahme oder Zunahme der Schrägstellung erfolgt entweder gleichmässig oder periodisch sich ändernd, so dass auf starke Drehungen schwache und umgekehrt folgen (II). Der Drehungswinkel ist am ganzen Stamme zu derselben Zeit nicht derselbe, kann vielmehr nach oben abnehmen (IV, V). Auf den verschiedenen Seiten des Baumes ist der Winkel der Drehung ein verschiedener.

Da Braun den Drehwuchs in Beziehung zu dem Längenwachsthum der Cambialzellen gebracht hat, so schien es mir zunächst wünschenswerth zu sein, einen klaren Einblick in die Längenverhältnisse der Tracheiden bei geradfaserigen und drehwüchsigen Bäumen zu erhalten. Sanio¹⁾ kam durch seine Untersuchungen an einem 110jährigen Kiefernstamm zu dem Ergebnisse, dass die mittlere Länge der Tracheiden im ersten d. h. im innersten Ringe am kürzesten und zwar unter 1 mm lang sei, dass diese Länge in den nächsten Jahrringen schnell zunehme und im 30sten Jahre 2,60 mm erreicht. Nach dem 30sten Jahre blieb sich die Länge entweder gleich, oder zeigte nur eine sehr geringe Zunahme.

Ich habe schon für die Rothbuche²⁾ und Fichte³⁾ nach-

¹⁾ Pringsheim's Jahrb. VIII p. 401 ff.

²⁾ Das Holz der Rothbuche. 1888 p. 25. Berlin.

³⁾ Die Verschiedenheiten in der Qualität und im anatomischen Bau des Fichtenholzes. In Forstl. naturw. Zeitschr. 1892 p. 232.

gewiesen, dass die Organlänge von einem gewissen Alter an wieder abnimmt, und zwar bei Bäumen, welche im Bestande bedrängt sind, früher als bei den dominirenden Bäumen. Neuerdings hat Omeis¹⁾ gefunden, dass in einem geringwüchsigen 110jährigen Kiefernbestande bei Brusthöhe die Tracheidenlänge schon im 50sten Jahre ihr Maximum erreichte und darnach schnell abnahm. Auch Bertog²⁾ bestätigt die Abnahme der Organlänge etwa vom 80sten Jahre an für Fichte und Tanne.

Das Ergebniss meiner Messungen an dem vorbezeichneten Untersuchungsmateriale ist ein in mehrfacher Beziehung interessantes.

In den beigefügten Tabellen I—VII habe ich nicht allein die Mittellänge aus etwa je 60 Einzelmessungen, sondern auch die grösste und geringste Länge beigefügt. In jedem Holztheile befinden sich Tracheiden der verschiedensten Länge, und es bedurfte einer grossen Zahl von Messungen, um eine brauchbare Mittelzahl zu erhalten.

Ehe wir die Verhältnisse besprechen können, welche auf die Länge der Organe einen Einfluss ausüben, erscheint es nothwendig, die Zelltheilungsvorgänge in der Initialschicht des Cambiummantels ins Auge zu fassen, durch welche die Initialzellen selbst sich vermehren. Da der tangentialer Durchmesser der Initialzellen eine beschränkte Grösse besitzt, so muss mit der Umfangszunahme des Axentheiles eine Vermehrung derselben eintreten. Diese Vermehrung beruht auf einer Quertheilung der Cambialzellen. Allerdings ist es ausserordentlich schwierig, diese Quertheilung in der Initialschicht selbst zu beobachten. Da aber die Streckung der aus der Initialzelle hervorgegangenen Gewebezellen bei der

¹⁾ Wachsthumsgang und Holzbeschaffenheit eines 110jährigen Kiefernbestandes. Das. 1895, April.

²⁾ Wuchs und Holz der Weisstanne und Fichte. Ebend. 1895, Mai.

Kiefer nur eine geringe ist, so darf man aus dem Gestaltungsverhältnisse der Tracheiden selbst einen Schluss auf die Grössenverhältnisse der Initialzellen ziehen. Die Quertheilung erfolgt zwar in der Mehrzahl der Fälle annähernd in der Mitte der Organe, nicht selten wird aber von einer langen Initialzelle nur ein ganz kurzes Stück abgeschnitten. So kommen Fälle vor, in denen eine Zelle von 5,5 mm Länge in zwei Tochterzellen zerlegt wird, von denen die eine 4,8 mm, die andere 0,7 mm lang ist.

Wahrscheinlich erfolgt die Theilung an dem Punkte der Initialzelle, wo durch die peripherische Ausdehnung auf die Entstehung neuer Initialzellen der grösste Reiz ausgeübt wird. Die beiden Tochterzellen strecken sich nun in der durch die Stellung der Querwand vorgezeichneten Richtung an einander vorbeigleitend. (Fig. IIc.) Das obere Ende der unteren Zelle wächst nach oben. Das untere Ende der oberen Zelle streckt sich nach unten, und dieses Strecken veranlasst nicht allein eine von Jahr zu Jahr zunehmende Länge der Organe, sondern auch eine immer steilere Richtung der Querwände. In einer gegebenen Querfläche vermehrt sich also die Zahl der Initialzellen dadurch, dass die Enden der aus Quertheilung hervorgegangenen neuen Zellen von oben und von unten her zwischen die vorhandenen Initialzellen sich einschieben. Raatz,¹⁾ der diesen Theilungsprozess richtig erkannt und gedeutet hat, ist darüber in Zweifel, ob nicht von Anfang an die Querwände rechtwinklig zur Längsaxe der Cambialzellen stehen und erst nachträglich eine schräge Stellung in Folge des Längenwachsthums einnehmen.

Aus meinen Untersuchungen habe ich die Ansicht gewonnen, dass die Querwände von Anfang an entweder nach rechts oder nach links aufwärtssteigend sind. Es beruht

¹⁾ Die Stabbildungen im secundären Holzkörper der Bäume und die Initialtheorie. In Pringsheim's Jahrb. 1892 p. 631.

darauf, wie wir sehen werden, die Erscheinung des Drehwuchses der Bäume.

Der Umstand, dass wir jederzeit die verschiedensten Organlängen nebeneinander vorfinden, erklärt sich also daraus, dass dieselben aus jungen und alten Initialzellen entstanden sind, d. h. aus solchen, die eben erst eine Quertheilung erfahren haben, und solchen, die schon eine Reihe von Jahren sich zu strecken Zeit hatten.

Es ist nun leicht verständlich, wesshalb in den innersten Jahresringen die Organe noch klein sind. Sie sind aus jungen Initialzellen entstanden. In den beigegegebenen Tabellen habe ich auch die Organlängen des zweiten oder dritten Ringes angegeben, und wird man daraus ersehen, dass die grössten Längen nur etwa den dritten Theil derjenigen Faserlänge erreichen, die in höherem Alter auftreten.

Im weiteren Entwicklungsgange des Baumes oder Baumtheiles wird nun die Organlänge bedingt durch die Ernährung des Baumes, insofern eine nachhaltige Steigerung in dem Wachsthumsgange des Baumes auch auf das Längenwachsthum der Initialzellen günstig, ein andauerndes Sinken des Baumzuwachses ungünstig einwirkt, während schnell vorübergehende Steigerungen oder Störungen des Zuwachses ohne Einfluss sind. Im entgegengesetzten Sinne wirkt natürlich die mit dem Zuwachse verbundene Umfangszunahme des Baumtheiles. Je schneller sich die Peripherie und der Cambiummantel vergrössert, um so lebhafter erfolgt die Zellvermehrung durch Quertheilung der Initialzellen. Das Durchschnittsalter und die mittlere Länge der Initialzellen wird damit herabgedrückt.

Berechnet man den Zuwachsgang an Querfläche (siehe in den Tabellen die Spalte über Jahreszuwachs) und vergleicht ihn mit der Länge der Tracheiden, so ist eine Beziehung zwischen beiden gar nicht zu verkennen. Ein völliger Parallelismus besteht freilich nicht, aber dem Steigen

und Sinken des Zuwachses folgt nach einiger Zeit ein Zunehmen oder Abnehmen der Organlänge in ersichtlichem Grade.

Es wird nunmehr auch verständlich, woher es kommt, dass im untern Theile eines Baumes die Organe immer erheblich kleiner sind, als höher im Stamme aufwärts bis zum Kronenansatz. Wir wissen, dass die Zuwachsgrösse im dominirenden, d. h. noch nicht unterdrückten Kiefernstamme von oben nach unten zunimmt und dass insbesondere der untere Stammtheil einen viel lebhafteren Querflächenzuwachs besitzt, wie die oberen Schafttheile. Schon ein Vergleich zwischen den Stammstücken IV und V, die 5 m von einander entfernt lagen, zeigt den grossen Unterschied im Zuwachse gleicher Wuchsperioden. Am unteren Ende des Stammes nimmt der Umfang jährlich mit einem höheren Procentsatze zu als in dem oberen Schafttheile, und die Zellvermehrung durch Quertheilung muss demgemäss schneller vor sich gehen, als oben. Die Initialfasern erreichen somit unten ein geringeres Alter, als im oberen Stammtheile, sind deshalb kürzer als dort.

Untersucht man die Organlänge an einem excentrisch gewachsenen Stammtheile auf der breitringigen und auf der engringigen Seite, so überrascht ferner die Thatsache, dass auf letzterer die Organe im Durchschnitt länger sind, als auf der ersteren. Am Stammstück V hatten die Tracheiden der schmalen Seite die auf Seite 212 zusammengestellten Längen, welche mit denen der breiten Seite (siehe auch Seite 206 Tab. V) zu vergleichen sind.

Es scheint mir zweifellos zu sein, dass die langsamere Ausdehnung des Cambiumringes und dem entsprechend die sich seltener wiederholende Quertheilung der Initialfasern die Ursache der grösseren Länge der Tracheiden auf der schmalen Seite des Baumes ist. Sie werden auf dieser Seite älter, als auf der breiten Seite.

Irgend welche Beziehungen zwischen der Organlänge und der Drehwüchsigkeit der Bäume lässt sich aber nicht erkennen.

Alter	Schmale Seite			Breite Seite
	Leitungs- tracheiden	Faser- tracheiden	Mittellänge aller Tracheiden	Mittellänge
155	3,81	3,63	3,72	2,71
145	—	—	—	2,74
135	3,67	3,59	3,63	3,13
125	3,26	2,83	3,05	2,57
115	3,60	3,83	3,71	3,02
105	3,64	3,87	3,75	3,19
95	3,79	3,83	3,81	3,30
85	3,50	3,73	3,62	3,63
75	4,11	3,69	3,90	3,29
65	4,00	3,95	3,97	3,75
55	3,84	4,01	3,93	3,49
45	3,14	3,48	3,31	3,30
35	3,41	3,70	3,56	3,33
25	3,18	3,64	3,41	3,38
15	2,87	3,35	3,11	2,96
2	1,34	1,41	1,37	1,37

Die Geradspaltigkeit und der schräge Verlauf der Holzfasern hängt vielmehr, wie die weiteren Untersuchungen ergeben haben, von dem Verhältnisse ab, in welchem die beiden Quertheilungen der Initialfasern zu einander stehen. Untersucht man auf Tangentialschnitten, wie viele der jüngeren, d. h. der noch nicht sehr steil aufsteigenden Querwände von rechts nach links, wie viele von links nach rechts aufsteigen, so ergibt sich zunächst, dass stets beide Arten von Quertheilungen vorkommen, dass aber das Verhältniss derselben keineswegs immer das annähernd gleiche ist. In den Tabellen I—VII habe ich in den letzten beiden Spalten angegeben, wie viele Rechts- und wie viele Links-theilungen ich in dem betreffenden Alter vorfand.

Vergegenwärtigen wir uns die Wirkung, welche das Längenwachsthum der aus der Quertheilung einer Initialfaser hervorgegangenen beiden Tochterzellen auf die Richtung der Fasern ausüben muss, so ist ersichtlich, dass bei einer Quertheilung nach rechts das obere Ende der unteren Zelle, indem es, dem unteren Ende der Schwesterzelle ausweichend,

nach rechts vorbeiwächst, eine Ablenkung nach rechts erhält, wogegen das untere Ende der oberen Schwesterzelle bei seiner Verlängerung nach unten eine Ablenkung nach links erfährt. Ein Baum, dessen Initialzellen sich von Jugend auf immer nur in vorgedachter Weise theilen würden, müsste bald eine Schrägstellung aller Fasern von links nach rechts zeigen.

In den ersten Jahrzehnten drehen alle Kiefern mehr oder weniger links, und dies kommt daher, dass die Zahl der Quertheilungen nach links in den ersten Jahrzehnten immer überwiegt, so z. B. bei Stamm I mit 24 zu 19 im 2. Ringe, mit 21 zu 17 im 10. Ringe. Bei den im späteren Alter geradfaserig wachsenden Kiefern schwankt nun die Zahl der Rechts- und Linkstheilungen je nach dem Baumtheile und Jahrringe, ohne ein Vorherrschen der einen oder andern Theilungsrichtung erkennen zu lassen. (Siehe Figur II.) Dadurch gleicht sich aber die Wirkung beider Theilungsarten in Bezug auf den Faserverlauf im Ganzen aus. Sehr instructiv ist Stamm II. Bis zum 20. Ringe zeigt derselbe starke Linksdrehung (9°) und 29 Linkstheilungen gegenüber 15 Rechtstheilungen. Dann stellen sich die Fasern mit dem 40. Ringe senkrecht, und zwar in Folge davon, dass die Rechtstheilungen die Ueberhand gewinnen.

Im 60. Jahre ist die Schrägstellung nach rechts 5° und zwar in Folge der grossen Uebersahl der Rechtstheilungen (21 r. zu 13 l.). In den nächsten 40 Jahren überwiegen wieder die Linkstheilungen mit 20 zu 16, in Folge dessen die Fasern die lothrechte Richtung einnehmen. Von da an überwiegen wieder die Rechtstheilungen, so dass die Rechtsdrehung sehr stark wird. In den letzten Jahrzehnten vermindert sich die Schrägstellung wieder, weil die Linkstheilungen wieder überwiegen (23 gegen 13).

Bei Stamm III erreicht die Linksdrehung der Jugend mit 5° ihr Maximum in Folge überwiegender Linkstheilungen.

Vom 43. Jahre an überwiegt für alle Folgezeit die Rechtstheilung. In Folge dessen geht schon von da an die Linksdrehung aus 5° in 4° über, mindert sich immer mehr, erreicht mit 103 Jahren die Senkrechte und geht nun in die Rechtsdrehung über.

Stamm IV zeigt von Jugend auf ein Ueberwiegen der Linkstheilungen und dem entsprechend eine immer stärker werdende Linksdrehung bis zu 55° . Nur im 60. Jahre findet einmal eine Abschwächung des Drehungswinkels von 18° auf 15° statt und der betreffende Holztheil liess in der That ein Ueberwiegen der Rechtstheilungen erkennen.

Für Stammstück V gilt dasselbe, nur mit dem Unterschiede, dass die Fasern gleich in den ersten Jahren sehr stark links (15°) drehen und dann in der Folge der Drehungswinkel nur langsam grösser wird.

Der Moskauer Stamm VI, dessen innerer Kern durch Holzparasiten zerstört wurde, zeigt im 70. Jahre schon ein Ueberwiegen der Rechtstheilungen, da offenbar in den vorhergehenden Jahrzehnten der Stamm nach links gedreht hatte, und erst durch länger anhaltendes Ueberwiegen der Rechtstheilungen in die senkrechte Faserstellung gelangen musste. In der Folge überwogen die Rechtstheilungen so sehr, dass nach dem 200. Jahre der Faserverlauf nahezu ein horizontaler wurde.

Der Lärchenstamm VII zeigt bis zum 60. Jahre Geradfaserigkeit und Gleichheit in den Rechts- und Linkstheilungen. Von da an überwiegt die Rechtstheilung, so dass der Drehungswinkel schliesslich 70° ausmacht. Dieser Stamm ist noch dadurch interessant, dass in dem letzten Jahrhundert die Ernährung des Baumes eine so geringe war, dass die Streckung der Initialfasern und damit die Vermehrung derselben im Querschnitt nicht genügte, das Aufreissen des Holzkörpers zu verhindern. Der jüngere Holzkörper bildete

schliesslich nur noch ein schmales Spiralband, welches den alten Holztheil umschlingt.

In den beigegeführten Figuren ist der geradfaserige, und linksdrehende Wuchs der Kiefer zur Darstellung gebracht. Wenn nach dem Vorstehenden auch verständlich geworden sein dürfte, worauf die Abweichungen des Faserverlaufs von der senkrechten Richtung zurückzuführen sind, so bleibt es anderentheils völlig unerklärlich, wesshalb die eine Kiefer bei ihren Zelltheilungen in der Initialschicht vorwiegend nach der einen, die andere vorwiegend nach der anderen Richtung hin die schrägen Quertheilungen ausführt. Aeussere Einflüsse scheinen dabei völlig ausgeschlossen zu sein und es ist höchst wahrscheinlich, dass es sich dabei lediglich um innere, individuelle und wahrscheinlich innerhalb gewisser Grenzen auch vererbliche Eigenschaften handelt.

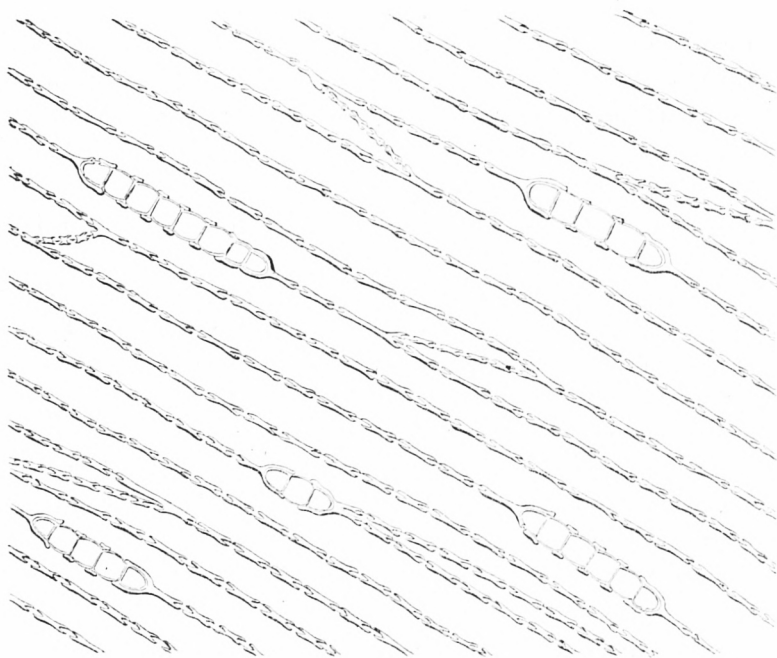
Zum Schlusse mag noch auf eine Eigenthümlichkeit im anatomischen Bau der stark drehwüchsigen Stammtheile hingewiesen werden. Bei dem geradfaserigen Holze (Fig. II) strömt naturgemäss das Wasser in der Längsrichtung der Tracheiden aufwärts und der Uebergang aus einer Tracheide zu der nächst höher stehenden erfolgt durch die mehr oder weniger schräg stehenden Querwände. Diese sind durch dicht nebeneinanderstehende Hoftipfel ausgezeichnet, die als Durchgangspforten dienen. Die Längswände sind relativ tipfelarm, wenn auch immerhin die Tipfelzahl genügt, um eine seitliche Bewegung des Wassers in radialer Richtung zu ermöglichen.

Der anatomische Bau der stark drehwüchsigen Kiefern ist nun dadurch ausgezeichnet, dass die Seitenwände mit Hoftipfeln ebenso dicht bedeckt sind, als die Querwände. Daraus ist wohl mit Sicherheit zu schliessen, dass

das Wasser nicht dem schrägen Verlaufe der Tracheiden folgt, sondern seinem Ziele, der Baumkrone, direct zuströmt.

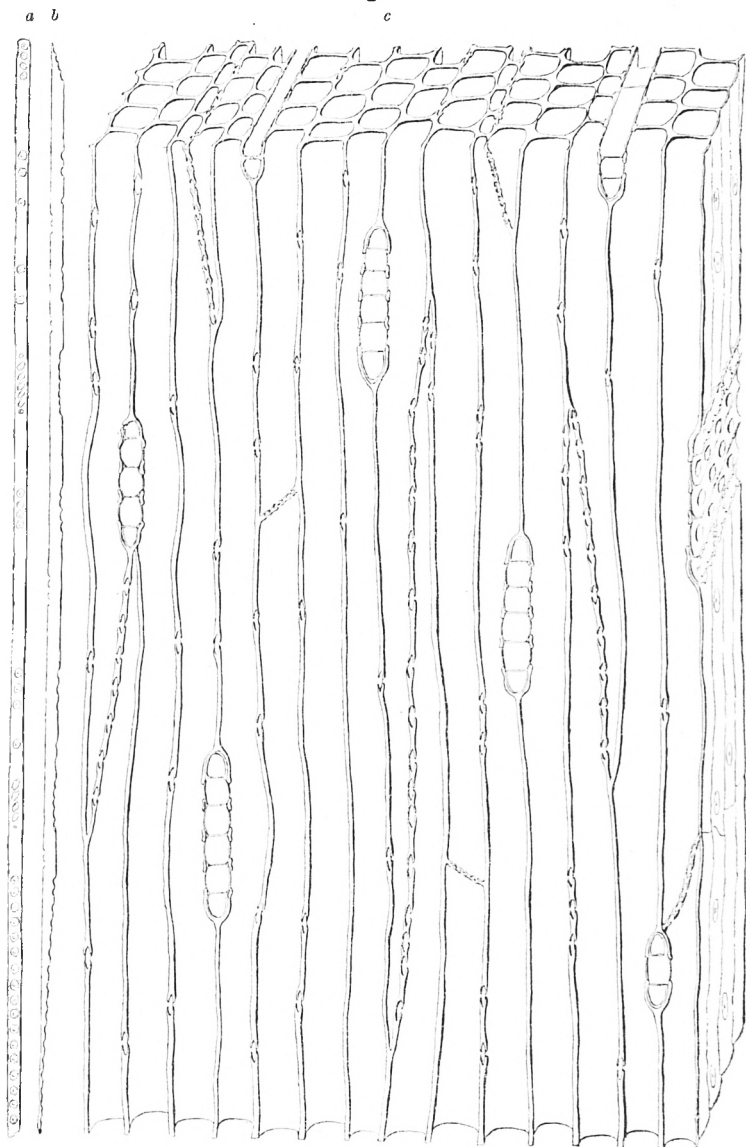
Erwähnenswerth dürfte ferner noch die Thatsache sein, dass bei den stark drehwüchsigen Kiefern die Tangentialwände der letzten Herbstholztracheiden mit kleinen Hofspitzen ebenso dicht besetzt sind, als dies bei der Fichte, Tanne und Lärche der Fall ist, während an geradfaserigen Kiefern bekanntlich Hofspitzen auf den Tangentialwänden in der Regel fehlen.

Figur I.



Linksdrehendes Kiefernholz in Tangentialansicht. Auf fünf nach links aufsteigende Querwände kommt nur eine Rechtstheilung. Längswände mit zahlreichen Hofspitzen.

Figur II.



Geradfaseriges Kiefernholz. *a* Leitungstracheide in radialer, *b* in tangentialer Ansicht. Vergr. 50:1. *c* Tangentialansicht eines körperlich dargestellten Holzstückes. Vier Querwände nach rechts, vier nach links aufsteigend. Vergr. 200:1.