

# Das Wasserhaushalt unterschiedlich vitaler Fichten und Tannen

Autor(en): **Schnell, Günter R. / Arnold, Martin / Sell, Jürgen**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal  
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **138 (1987)**

Heft 11

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-766074>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Der Wasserhaushalt unterschiedlich vitaler Fichten und Tannen<sup>1</sup>

Von Günter R. Schnell, Martin Arnold und Jürgen Sell  
(EMPA-Abt. Holz, CH-8600 Dübendorf)

Oxf.: 811.51:812.2:174.7

## 1. Einleitung

Bei der Auswahl der Probestämme für das Sanasilva-Teilprojekt «Holzqualität» wurde die Qualität der Bäume – wie heute üblich – nach dem Kronenbild beurteilt. Bei der anschliessenden umfangreichen Untersuchung zeichnete sich erwartungsgemäss ein Zusammenhang zwischen dem Kronenbild und der Wasserversorgung im Stamm ab. (*Chalk et al.* 1956, *Gibbs* 1939, *Langner* 1932, *Smith et al.* 1966, und andere). Es ist bekannt, dass für das Baumwachstum ungünstige Faktoren (flachgründiger-nährstoffarmer Boden, untergeordnete soziale Stellung des Baumes, trockene Witterungsperioden usw. den Verkernungsvorgang des Holzes fördern, dadurch die Splintfläche verringern und so die Wasserleitung im Stamm vermindern. Nach *Trendelenburg* und *Mayer-Wegelin* (1951) verkern Nadelhölzer bei guter Wasserversorgung weniger rasch.

Wegen möglicher Auswirkungen des Wassergehaltes der ausgewählten Stämme auf die Holzqualität wurde beschlossen, die Ermittlung wichtiger Splintdaten in die Untersuchung einzubeziehen. Dabei war es nicht das Ziel, die Ursachen der unterschiedlichen Splintmerkmale klären zu helfen, sondern diese Unterschiede quantitativ darzustellen. Es waren Parallelen zu verschiedenen neueren Untersuchungen zu ziehen, die bereits vergleichsweise geringe Wassergehalte und/oder Splintbreiten kranker Bäume feststellten (*Azmutat et al.* 1986, *Bauch* 1986, *Frühwald* 1986, *Frühwald et al.* 1984, *Hapla* 1986, *Kucera* 1984, *Rademacher et al.* 1986, *Schulz* 1986).

<sup>1</sup> Untersuchung im Rahmen des Programmes Sanasilva, Teilprojekt «Holzqualität» (*Schnell et al.* 1987).

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Herkunft des Probenmaterials

Das Probenmaterial, insgesamt 162 Bäume, entstammt Fichten-/Tannenbeständen aus den Waldungen der Gemeinden Lenz und Malans (GR, alpine Standorte), Bilten (GL, voralpin), Buchs–Rohr–Suhr (AG, Mittelland) und Lausanne (VD, Jorat-Colline). Pro Standort standen Stammabschnitte von je 10 gesunden und kranken Fichten und Tannen zur Verfügung, von denen jeweils ein Abschnitt von 80 cm Länge und eine Stammscheibe von 10 cm Dicke aus dem Erdstamm (unterer Stammabschnitt; Brusthöhe bis 5 m Stammhöhe) sowie eine Scheibe von 10 cm Dicke aus dem Wipfelbereich untersucht wurden. Die Probenentnahme erfolgte an frisch gefällten Bäumen vom Dezember 1984 bis Februar 1985 und vom November 1985 bis Februar 1986. Weitere Charakteristika der Standorte und der untersuchten Bäume sind der *Tabelle 1* zu entnehmen.

### 2.2 Bestimmung des absoluten Wassergehaltes

Die Bestimmung des absoluten Wassergehaltes waldfrischen Holzes machte die umgehende Verarbeitung der Stammscheiben erforderlich und erfolgte jeweils an vier Querschnittstreifen; diese Streifen entsprachen vier senkrecht zueinander stehenden Stammradien, wobei im Falle von unrunder Stämmen der längste Radius jeweils miteinbezogen wurde (*Abbildung 1*). Auf diese Weise konnte die Exzentrizität des Stammes in die Bestimmung des Wassergehaltes einbezogen werden.

Die vier Probestreifen pro Stammscheibe wurden scheibenweise gespalten, im Splintbereich in 2 bis 5 mm dicke, im Kernbereich in 10 bis 20 mm dicke Probestücke, an denen umgehend der Wassergehalt nach DIN 52 183 (Prüfung von Holz: Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes) im Darrverfahren bestimmt wurde. Um die Splint-/Kerngrenze möglichst genau zu erfassen, wurde stets versucht, eine Spaltung zwischen der dunkel kontrastierten Splintzone mit hohem Wassergehalt und der hell erscheinenden, trockenen Kernzone zu legen. Da diese Grenze aber nicht unbedingt in einer longitudinalen Ebene verläuft, wiesen die Proben im Bereich der Splint-/Kerngrenze oft sowohl Splint- wie Kernanteile und dementsprechend uneinheitliche Wassergehaltsverteilungen auf. Noch problematischer war die Erfassung des Überganges vom Splint zum Kern bei Weisstannenholz mit Nasskernbildung.

Tabelle 1. Bestandesbeschreibung und Kenndaten der Probestämme.

	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jorat (Hügelland)
Standort	Ta Malans/GR 810 bis 1000 SW Hang	Ta und Fi Bitlen/GL 1200 NW Kuppe, Mulde Hang, Ebene Nagelfluh	Ta und Fi Buchs-Rohr-Suhr/AG 370 bis 390 W bis NW Ebene	Ta und Fi Lausanne/VD 740 bis 780 SSO Ebene
Höhe ü. M. (m)				
Exposition				
Topographie				
Geologie	kalkreicher Bündnerschiefer tiefliegende Renzina	fiachgründige Renzina	Niederterrassen- Schotter mittelgründige kalkarme Braunerde 1061	Molasse mittelgründige leicht podsolige saure Braunerde 1084
Boden				
Niederschlag (mm/Jahr)	1066	1834		
Durchschnitts- temperatur (°C/Jahr)	4,9	6,7	8,3	9,6
Bestandes- charakteristika				
Betriebsform	Hochwald Altholz	Hochwald Altholz	Hochwald BH II, Altholz	Hochwald BH I+II Altholz
Entwicklungs- stufe				
Baumarten- Mischung	95% Ta 5% Bu, BAh	50% Fi, 50% Ta	90% Fi, 5% Ta 5% Bu, BAh, Es	50% Fi, 50% Ta

Table 1. Bestandesbeschreibung und Kenndaten der Probebäume (Fortst.).

	Alpen	Voralpen	Mittelland	Jorat (Hügelland)
Probebäume				
Alter (Jahre)				
Fichte, gesund		115 bis 200	70 bis 75	80 bis 100
Fichte, krank		90 bis 170	75 bis 125	75 bis 100
Tanne, gesund	50 bis 80	100 bis 175	80 bis 100	75 bis 180
Tanne, krank	55 bis 125	100 bis 140	75 bis 100	85 bis 105
Höhe (m)				
Fichte, gesund		20 bis 33	29 bis 38	29 bis 36
Fichte, krank		21 bis 26	31 bis 40	23 bis 34
Tanne, gesund	25 bis 32	24 bis 31	21 bis 38	17 bis 40
Tanne, krank	23 bis 34	12 bis 27	27 bis 40	24 bis 34
Brusthöhen- durchmesser (cm)				
Fichte, gesund		29 bis 83	40 bis 55	34 bis 61
Fichte, krank		29 bis 96	40 bis 62	27 bis 59
Tanne, gesund	43 bis 66	44 bis 61	37 bis 58	34 bis 75
Tanne, krank	30 bis 74	29 bis 77	42 bis 62	35 bis 65
Kronenanteil (%)				
Fichte, gesund		30 bis 60	47 bis 75	31 bis 58
Fichte, krank		37 bis 73	46 bis 72	25 bis 66
Tanne, gesund	30 bis 84	30 bis 58	52 bis 73	40 bis 94
Tanne, krank	22 bis 69	9 bis 83	59 bis 81	16 bis 83
Probenentnahme				
Höhe im unteren Stammbereich (m)	5,0	1,0 bis 4,0	1,0	1,0

BAh Bergahorn, Bu Buche, Es Esche, Fi Fichte, Ta Weisstanne

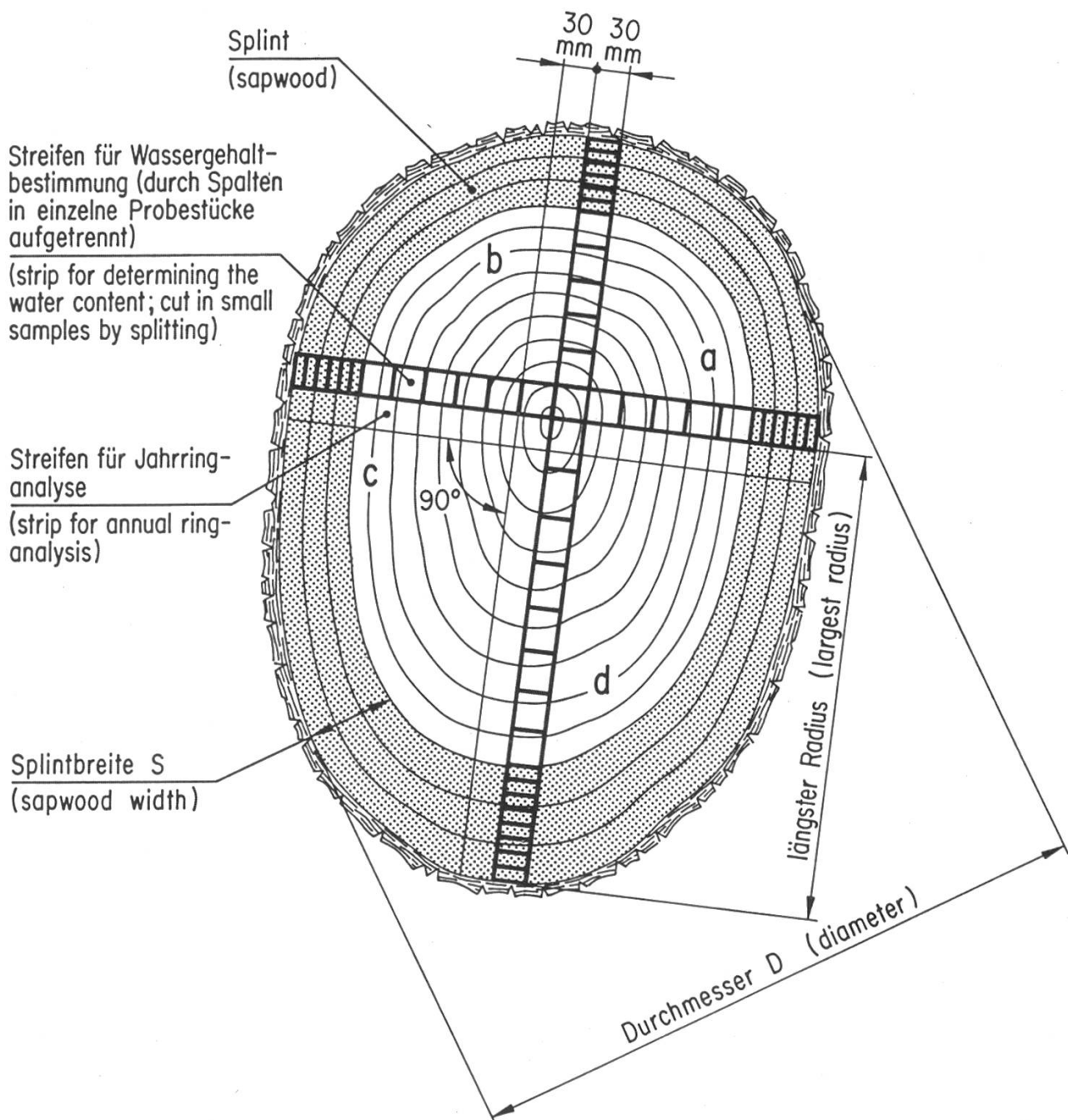


Abbildung 1. Entnahmeschema für die vier radialen Probestreifen zur Bestimmung des Wassergehaltes im Darrverfahren.

### 2.3 Bestimmung der Splintkenndaten

Aus der Verteilung des absoluten Wassergehaltes über den Stammradius kann die Splintbreite und die kreisäquivalente oder ellipsenäquivalente Splintfläche berechnet werden. Dabei ist von Bedeutung, wo die Splint-/Kerngrenze angenommen wird. Die stets zweigipfligen Häufigkeitsverteilungen (Abbildung 2) des Wassergehaltes der Einzelproben lassen die Splint-/Kerngrenze als Grenze der beiden Verteilungskomponenten (Kern- bzw. Splintwassergehalt) bei rund 100 % erkennen.

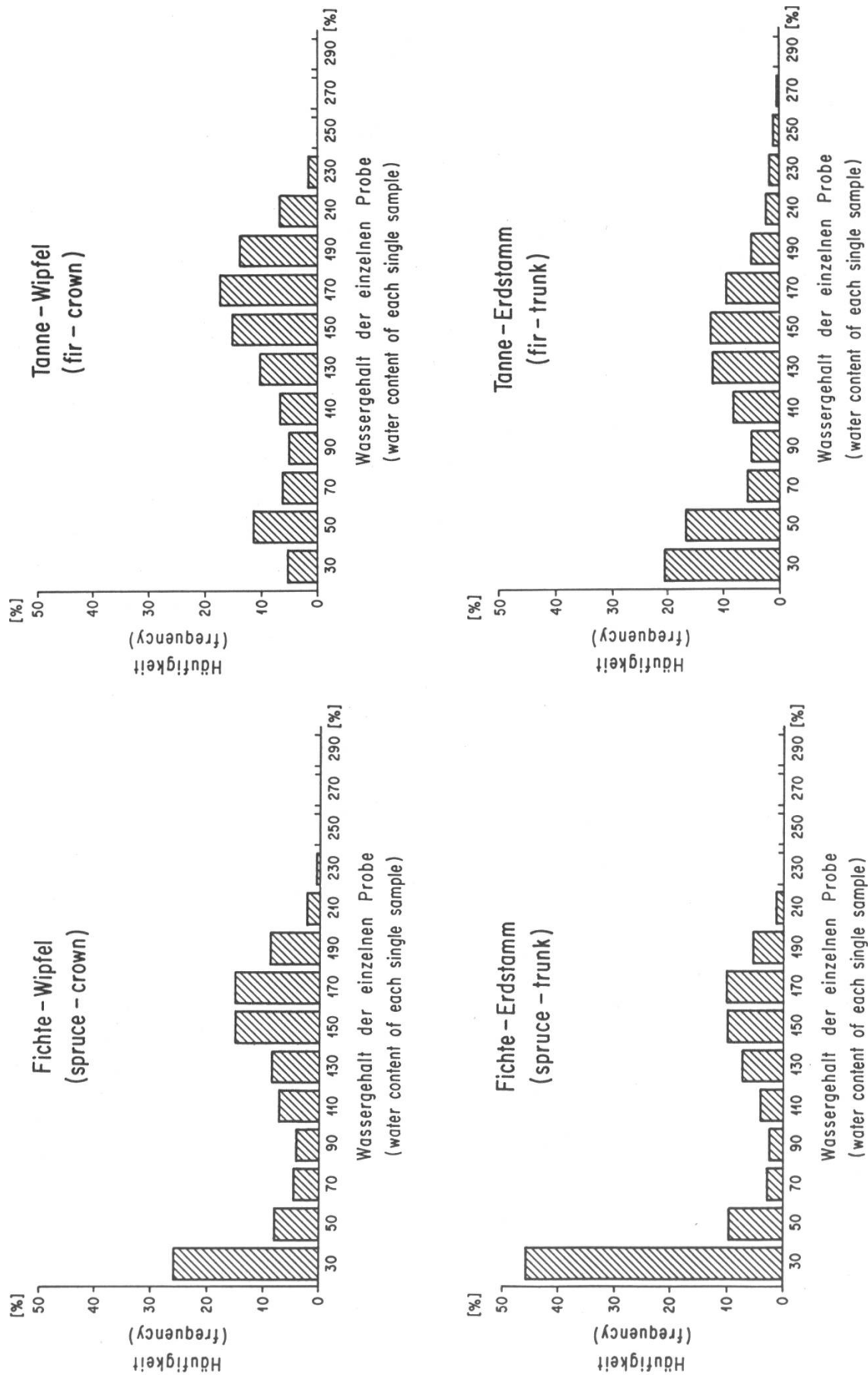
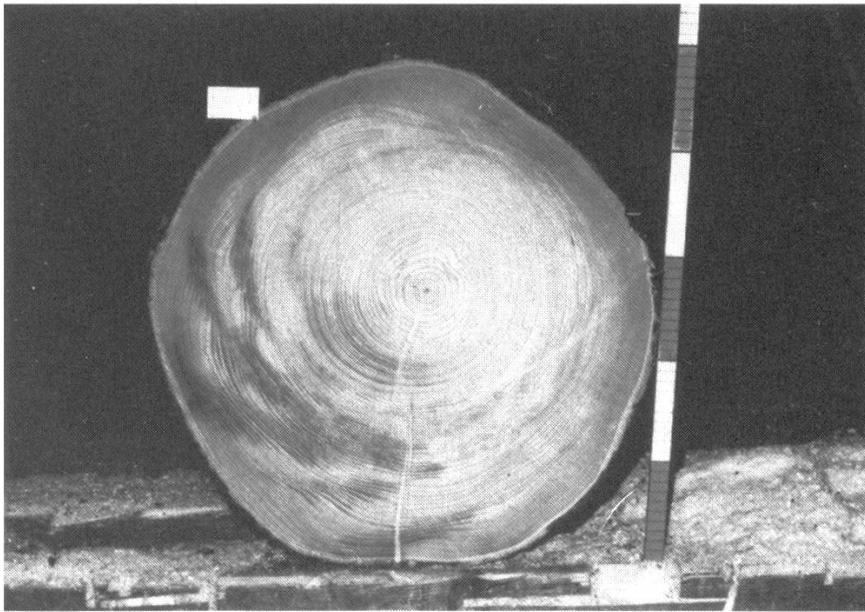
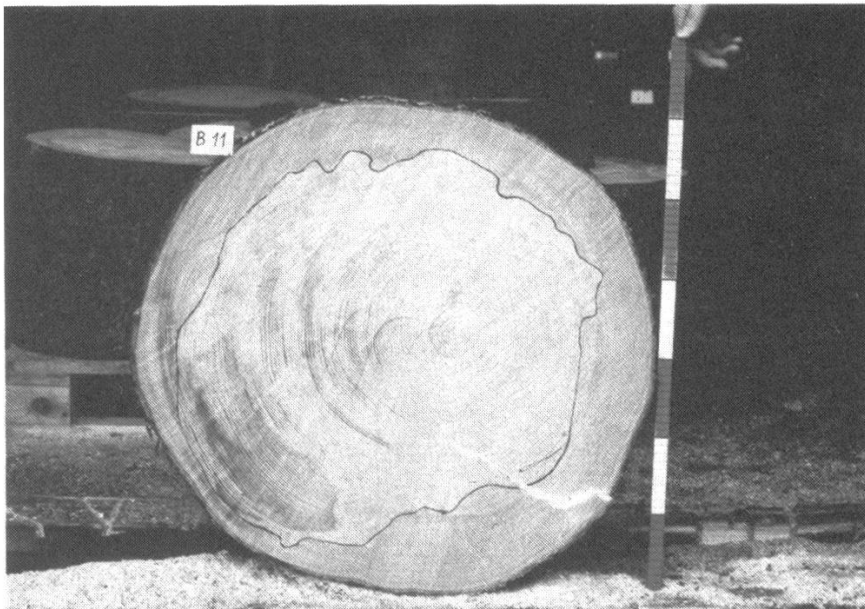


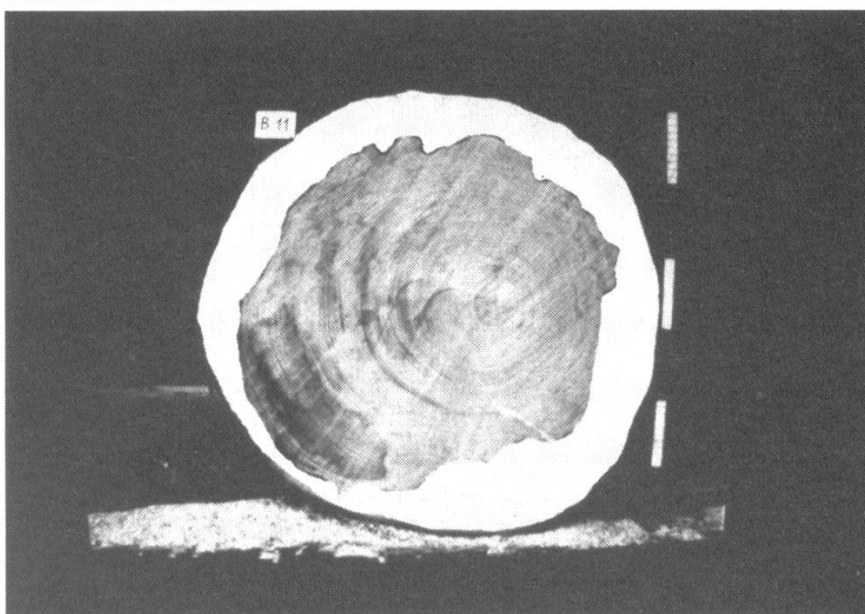
Abbildung 2. Häufigkeitsverteilung der Wassergehaltswerte der gespaltenen Einzelproben aller untersuchten Bäume.



*Abbildung 3:*  
Querschnitt mit undeutlicher Splint-/Kerngrenze.



*Abbildung 4:*  
Splint-/Kerngrenze unmittelbar nach dem Trennschnitt markiert.

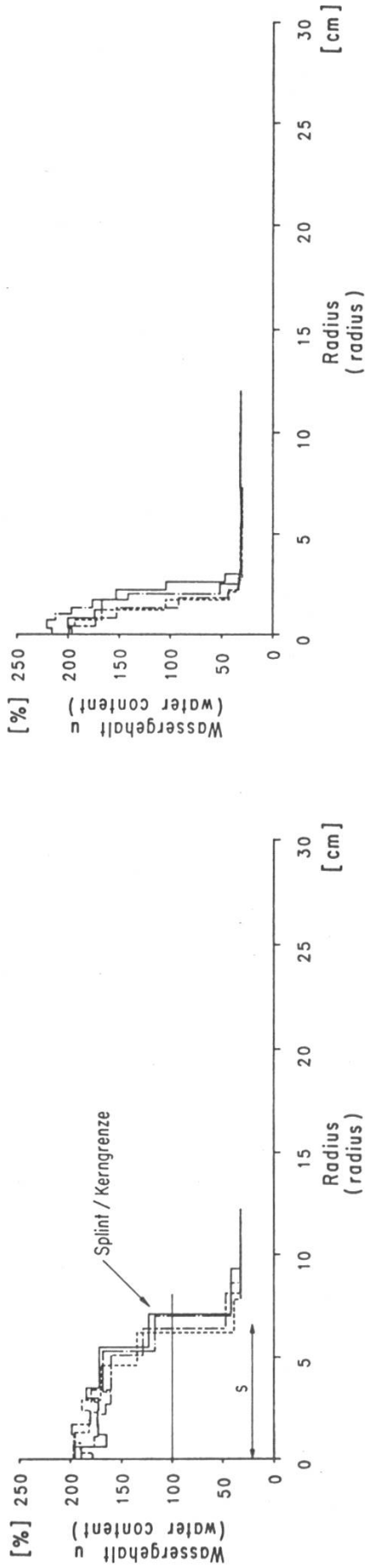


*Abbildung 5:*  
Querschnitt von *Abbildung 4* mit der Grauwertdetektion des Splintes auf dem Monitor des Bildanalysegerätes.

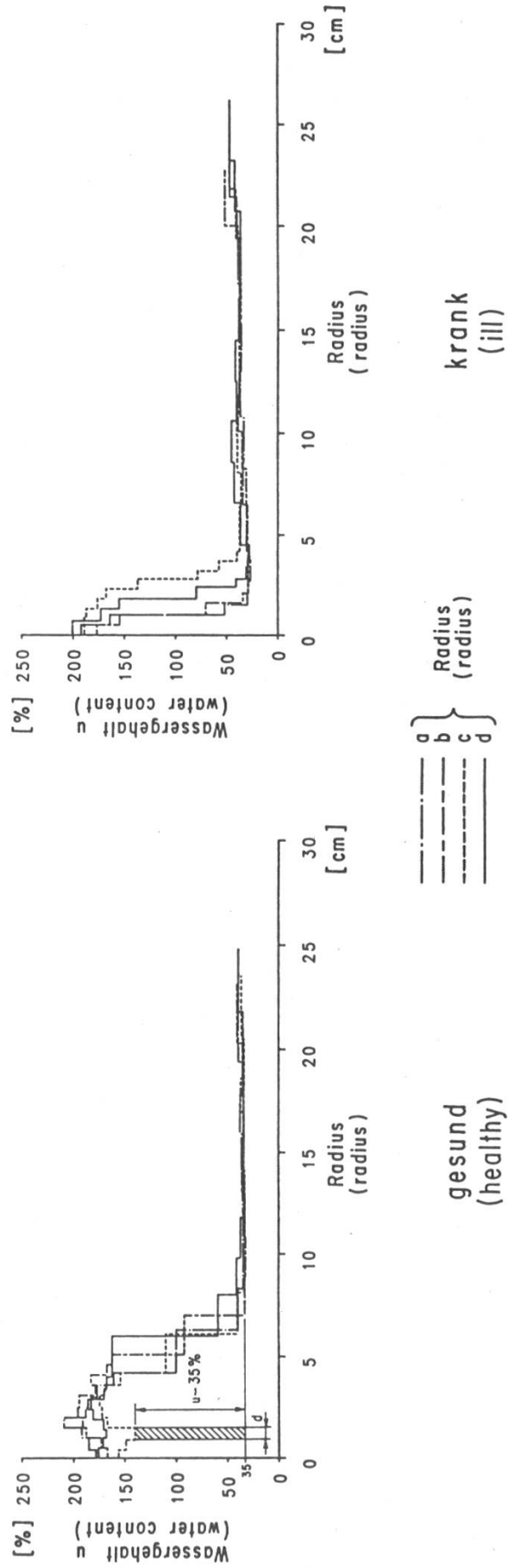
*Abbildungen 3 bis 5:*  
Erdstammquerschnitte frisch gefällter Fichten.



Nr. 17 Fichte - Wipfel (spruce - crown) Nr. 01



Nr. 17 Fichte - Erdstamm (spruce - trunk) Nr. 01

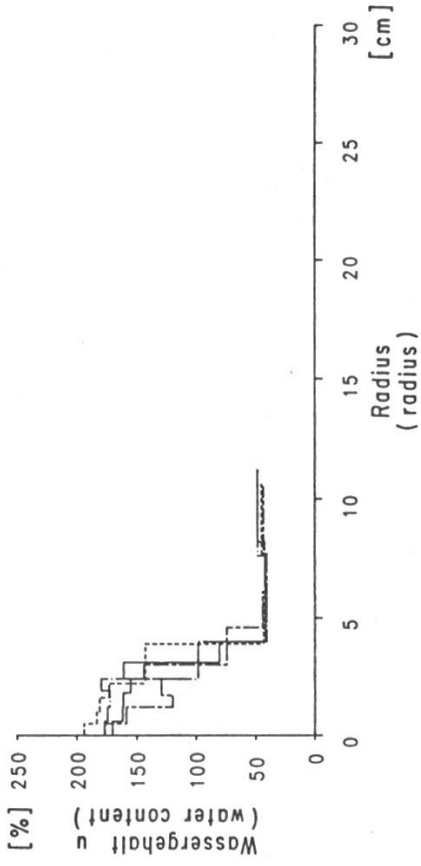
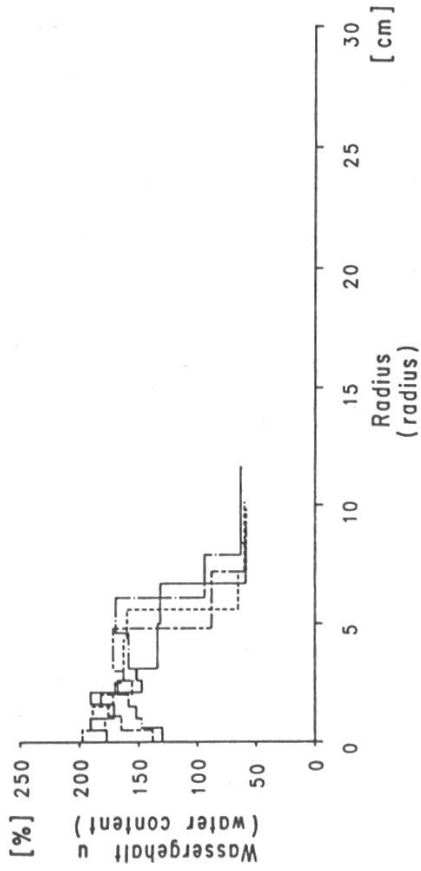


Abbildungen 6 und 7. Wassergehaltsverteilung über dem Stammradius ausgewählter gesunder und kranker Fichten und Tannen.

Nr. 36

Tanne - Wipfel (fir - crown)

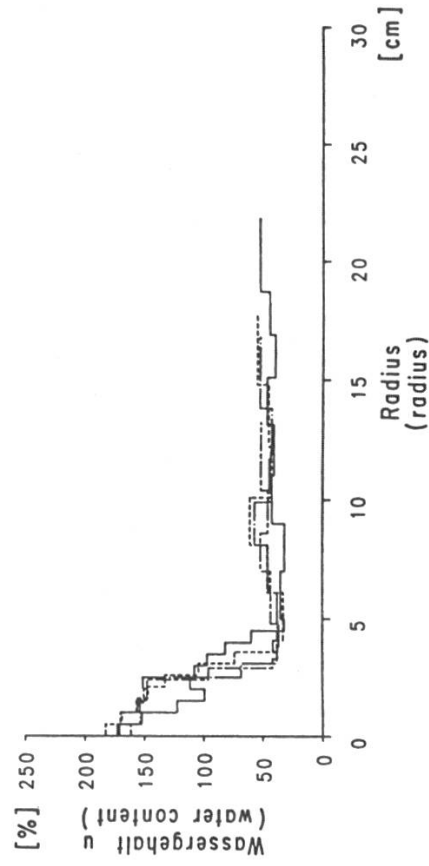
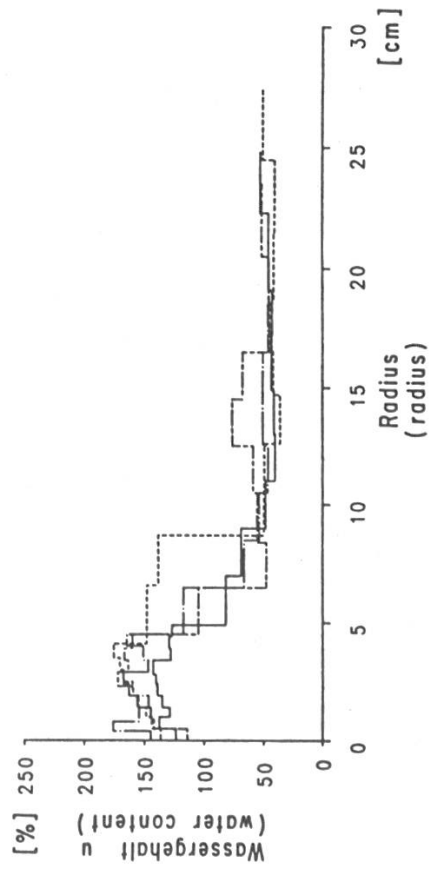
Nr. 25



Nr. 36

Tanne - Erdstamm (fir - trunk)

Nr. 25



a ———  
 b - - -  
 c - - -  
 d - - -

gesund  
(healthy)

krank  
(ill)

Die Distanz vom Kambium bis zur Splint-/Kerngrenze wird ins Verhältnis zum gesamten Stammradius gesetzt und mit «relative Splintbreite  $S_{rel}$ » (%) bezeichnet. Weitere wichtige Grössen für die Wasserversorgung des Baumes sind die absolute und relative Splintfläche. Die kreisäquivalente Splintfläche wird ins Verhältnis zur gesamten Querschnittfläche gesetzt und im folgenden mit «relative Splintfläche  $A_{D,rel}$ » bezeichnet.

Mit geringerem Arbeitsaufwand ergeben sich vergleichbare Ergebnisse bei der bildanalytischen Auswertung von Photographien (Farbdiapositiven) von Stammquerschnitten (Arnold *et al.* 1986). Voraussetzung hierfür ist, dass die Bilder unmittelbar nach dem Fällen oder nach dem Auftrennen frischer Stammabschnitte aufgenommen werden und die Splint-/Kerngrenze deutlich auf der Probe markiert ist. Beim Photographieren sollten Objektive mit Brennweiten von über 50 mm eingesetzt werden, um Parallaxen zu vermeiden. Mit dem automatischen Bildanalysator «Quantimet 900» (Bauart Cambridge Instruments) liess sich die «relative Splintfläche  $A_{B,rel}$ » (Bildmessung) des durch den hohen Wassergehalt dunkler gefärbten Splintes einfach messen; allerdings ist der Kontrast (Grauwert-Unterschied) zwischen Splint und Kern doch oft nicht gross genug, weshalb die Splint-/Kerngrenze auf dem Monitor mit dem «Light pen» nachmarkiert werden musste (Abbildung 3 bis 5).

Die Wasserleitaktivität des Splintes ist noch weitergehend durch Verknüpfen der Messgrössen Wassergehalt und Splintanteil zu charakterisieren. Wir summierten die Produkte des Wassergehaltes  $u$  und der rel. Dicke  $d$  (in % des Radius) der einzelnen, aus den vier radialen Streifen gespaltenen Proben über die gesamte Splintbreite und mittelten die vier Werte. Die Summe ( $\Sigma u \cdot d$ ) entspricht annähernd dem Flächenintegral der Verteilungskurve des Wassergehaltes über der Splintbreite.

Zur Berechnung der Summe  $\Sigma u \cdot d$ , die eigentlich die Menge des Flüssigwassers in den Zell-Lumina des Splints charakterisiert, wurde zuvor die (gemessene) durchschnittliche Kernholzfeuchte von 35 % (dies entspricht ungefähr der Fasersättigungsfeuchte) subtrahiert. Hierdurch verminderte sich auch der Berechnungsfehler der Grösse  $\Sigma u \cdot d$ , der durch die meist nicht ganz genau erfassbare Splintgrenze entstand (vgl. Abbildung 6 und 7).

Eine weitere Möglichkeit zur Verknüpfung der Grössen «Splintfläche» und «Wassergehalt» ist das Produkt der «rel. Fläche  $A$ » und des «mittleren Wassergehaltes  $\bar{u}$ » des Splints. Die Grösse  $A \cdot \bar{u}$  hat den Vorteil, mit geringem Aufwand berechnet werden zu können. Vor allem lassen sich hiezu auch die mit dem Bildanalysator von den Stammscheiben ermittelte «rel. Splintfläche»  $A_{B,rel}$  einsetzen; ferner genügt es, den Wassergehalt an einem vom Kern abgetrennten Splintabschnitt (unmittelbar nach der Fällung) zu bestimmen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Wassergehalt

Auf frischen Stammquerschnitten von Fichten und Tannen lag die Grenze zwischen dem nassen und darum dunkleren Splint und dem trockenen, hellen Kern im Bereich eines Wassergehaltes von 100 % (siehe oben). Dieser Befund darf allerdings nicht verallgemeinert werden. Vielmehr steht aufgrund umfangreicher älterer Untersuchungen fest, dass der Wassergehalt, vor allem im kernnahen Splint der Nadelhölzer, in starkem Masse von der Jahreszeit beziehungsweise vom Klima des Standortes abhängt (*Burmester 1980, Huber 1956, Langner 1932, und andere*). Im Rahmen neuerer vergleichender Untersuchungen von Holz geschädigter und gesunder Fichten haben Frühwald *et al.* (1984) und Rademacher *et al.* (1986) andere mittlere Wassergehalte als wir gemessen. Diese Autoren stellten in ihren Untersuchungen an sehr kranken Fichten (Schadklasse 3) im inneren Splintbereich einen – im Vergleich zu gesunden Bäumen – um rund ein Drittel bis die Hälfte verminderten Wassergehalt fest; dadurch lag auch der mittlere Splint-Wassergehalt kranker Bäume deutlich tiefer als bei gesunden Vergleichsindividuen. Demgegenüber betrug die mittlere Differenz der Wassergehalte des Splintes bei den von uns untersuchten Bäumen weniger als ein Zehntel, mit einer Schwankungsbreite von 2 bis 15 %. Für diese abweichenden Befunde mögen unterschiedliche Standort-Charakteristiken und Fälldaten ausschlaggebend sein. Vermutlich trug dazu aber auch die Tatsache bei, dass ein erheblicher Teil der von den genannten Autoren untersuchten Bäume unmittelbar nach einem extrem trockenen Sommer im Winter 1983/1984 gefällt worden waren, unsere Bäume hingegen im Winter 1984/1985 und 1985/1986, als sich die Wasserversorgung des Stammes – nach Perioden mit normalem oder sogar hohem Niederschlag – wieder stabilisiert hatte.

Die gemittelten Wassergehalte des Splintholzes im Erdstamm der Probebäume der vier Standorte unterschieden sich bemerkenswert wenig:

- gesunde Fichten: 154 % <u< 176 % (wobei der kleinste Wert im Mittelland und der grösste im Jorat-Colline gefunden wurde);
- kranke Fichten: 150 % <u< 156 % (Alpen bzw. Voralpen);
- gesunde Tannen: 141 % <u< 164 % (Jorat-Colline bzw. Alpen);
- kranke Tannen: 135 % <u< 151 % (Mittelland bzw. Voralpen).

Der Splint im Wipfelbereich der Fichten wies an den vier Standorten sehr ähnliche Wassergehalte wie im Erdstamm auf, während der Wassergehalt im Splint der Weisstannenwipfel bei allen Standorten um rund 10 bis 20 % höher lag als im Splint der Erdstammabschnitte.

Die Streuung der Wassergehalte innerhalb der einzelnen Kollektive war bei vielen Standorten nicht sehr gross. Die überwiegend geringen Unterschiede der Wassergehalte zwischen den gesunden und den kranken Bäumen sind bei den meisten Standorten statistisch nicht gesichert (*Tabellen 2 bis 4*).

Tabellen 2 und 3. Zusammenstellung aller ermittelten Splintdaten. Tabelle 2 = Fichte, Tabelle 3 = Tanne.  
Fichte Wipfel

Kollektive	n	Proben-Scheiben-Durchmesser D (cm)		Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		(Bildanalyse)		Wasserversorgung im Splint										
		$\bar{x}$	s	$\bar{u}$ (%)	$\bar{x}$	s	$u_{max}$ (%)	$S_{abs}$ (cm)	$S_{rel}$ (%)	$A_{D,abs}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{D,rel}$ (%)	$A_{B,rel}$ (%)	$\Sigma d^*(u-35)$ (%*%)	$A_{D,rel} * \bar{u}$ (%*%)								
Standort																						
Alpen	gesund	10	16,6	1,3	158	15	177	17	2,4	0,4	28,8	3,9	106	21	48,8	5,2	—	—	3736	708	7738	1181
	krank	10	16,9	1,5	155	20	177	19	1,4	0,5	16,0	5,7	66	25	29,3	9,2	—	—	2113	819	4619	1669
Voralpen	gesund	13	21,7	1,7	165	16	196	18	4,9	1,5	45,2	12,4	256	70	68,4	14,4	—	—	5945	1915	11432	3045
	krank	8	19,2	1,8	148	20	179	29	2,4	1,1	24,7	11,6	121	45	42,0	15,6	—	—	3163	1645	6326	2952
Mittelland	gesund	10	19,6	2,4	154	14	179	15	4,2	0,6	43,6	5,7	206	48	67,8	6,1	—	—	5444	889	10461	1389
	krank	10	19,7	2,1	147	17	196	17	3,2	0,5	33,0	5,8	166	34	54,2	8,1	—	—	3970	834	7990	1609
Jorat-Colline	gesund	10	19,9	3,0	166	18	202	26	4,7	1,3	47,5	15,1	220	70	70,6	16,5	—	—	6431	2321	11890	3564
	krank	10	19,8	2,9	156	24	198	30	3,4	0,6	34,6	8,3	173	42	56,8	10,8	—	—	4388	1186	8887	2266

Fichte Erdstamm

Messgrößen	Proben- Scheiben- Durchmesser D (cm)	Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		(Bildanalyse)		Wasserversorgung im Splint												
		u (%)	$u_{max}$ (%)	$S_{abs}$ (cm)	$S_{rel}$ (%)	$A_{D,abs}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{D,rel}$ (%)	$A_{B,rel}$ (%)	$\Sigma d^*$ (%*%)	$A_{D,rel} * \bar{u}$ (%*%)												
Kollektive	n	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s											
Standort	Vitalität																					
Alpen	gesund	10	37,3	3,6	161	15	182	14	3,6	0,7	19,3	4,1	379	85	34,8	6,6	—	—	2517	592	5626	1217
	krank	10	31,6	4,5	150	17	170	20	2,1	1,1	13,2	5,8	201	122	24,3	10,1	—	—	1675	773	3740	1744
Voralpen	gesund	13	48,1	11,4	163	15	197	18	4,6	2,3	18,5	6,9	671	406	33,4	11,1	30,9	8,0	2394	1098	5570	2257
	krank	8	37,6	8,8	156	14	179	16	2,4	1,1	12,3	4,3	276	180	23,1	7,5	28,2	9,3	1530	495	3557	1084
Mittelland	gesund	10	39,3	4,4	154	21	184	21	4,5	1,4	22,5	6,9	487	165	39,7	10,8	38,1	7,3	2697	873	6147	1937
	krank	10	45,1	6,3	150	10	191	16	4,4	1,0	19,7	4,0	567	169	35,4	6,4	38,7	7,1	2222	397	5289	851
Jorat- Colline	gesund	10	45,6	8,4	176	11	207	16	4,9	1,7	21,9	6,3	650	273	37,3	10,3	38,4	9,9	2893	899	6592	1940
	krank	10	34,2	7,4	151	22	180	30	3,1	1,0	17,6	3,5	314	159	32,3	5,6	37,5	7,2	2068	557	4942	1309

## Tanne Wipfel

Messgrößen	Proben- Scheiben- Durchmesser <i>D</i> (cm)	Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		(Bildanalyse)		Wasserversorgung im Splint												
		$\bar{u}$ (%)	$u_{\max}$ (%)	$S_{\text{abs}}$ (cm)	$S_{\text{rel}}$ (%)	$A_{\text{D,abs}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{\text{D,rel}}$ (%)	$A_{\text{B,rel}}$ (%)	$\Sigma d^*$ (%*%)	$A_{\text{D,rel}}$ (%*%)	$\bar{x}$	$s$										
<b>Kollektive</b>	$n$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$	$\bar{x}$	$s$									
<b>Standort</b>	<b>Vitalität</b>																					
Alpen	gesund	10	18,5	3,2	178	12	209	13	5,4	0,8	59,6	7,8	225	74	82,9	6,5	—	—	8214	1054	14716	1405
	krank	10	19,1	1,9	154	14	185	17	4,3	0,9	44,9	10,1	197	37	68,7	10,8	—	—	5522	1017	10537	1462
Voralpen	gesund	10	23,1	2,5	169	18	198	16	6,2	0,9	54,5	10,5	325	51	78,3	10,0	—	—	7241	1566	13207	2068
	krank	10	21,9	2,0	180	25	213	18	4,4	1,3	39,6	9,7	242	74	62,7	11,4	—	—	5841	1980	11442	3236
Mittelland	gesund	10	23,9	3,4	166	18	203	26	4,9	1,1	41,8	11,5	285	59	65,0	13,6	—	—	5438	1569	10711	2461
	krank	10	22,9	3,9	144	23	182	27	4,2	0,6	37,5	7,9	246	59	60,4	9,7	—	—	4322	1065	8687	1821
Jorat- Colline	gesund	10	20,5	3,2	159	19	195	22	5,4	1,1	54,0	13,9	250	56	77,1	13,3	—	—	6664	2023	12288	2762
	krank	10	20,5	2,9	164	16	203	18	4,6	0,9	45,1	9,9	228	61	69,0	10,9	—	—	5963	1292	11251	1847

Tanne Erdstamm

Kollektive	Messgrößen	Proben-Scheiben-Durchmesser		Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		(Bildanalyse)		Wasserversorgung im Splint														
		$n$	$\bar{x}$	$s$	$u$	$u_{max}$	$S_{abs}$	$S_{rel}$	$A_{D,abs}$	$A_{D,rel}$	$A_{B,rel}$	$\Sigma d^*$	$A_{D,rel} * u$													
			(cm)	(%)	(%)	(cm)	(%)	(cm <sup>2</sup> )	(%)	(%)	(%*%)	(%*%)	(%*%)													
Standort	Vitalität																									
Alpen	gesund	10	42,2	3,6	164	10	202	15	6,2	1,2	29,0	4,8	703	174	49,8	7,6	n=8	48,9	7,6	n=8	44,7	8,2	3793	704	8182	1294
	krank	10	34,6	11,9	144	20	177	27	3,5	1,0	20,7	6,9	349	197	36,9	10,8	—	—	—	—	—	—	2309	654	5251	1391
Voralpen	gesund	10	51,9	6,2	157	20	189	21	7,3	1,9	28,0	6,7	1023	307	47,8	9,8	47,4	9,4	3482	1121	7596	2133				
	krank	10	36,9	5,2	151	23	183	21	4,2	2,3	22,0	9,6	441	267	38,5	14,5	37,1	12,6	2647	1333	5992	2733				
Mittelland	gesund	10	45,4	5,3	144	14	182	21	6,1	1,4	26,8	6,1	754	200	46,3	8,7	45,5	9,4	2996	694	6628	1288				
	krank	10	46,9	4,7	135	22	169	24	3,6	2,1	15,0	8,0	489	291	27,2	13,0	30,1	11,5	1666	954	3770	1991				
Jorat-Colline	gesund	10	44,8	15,3	141	18	173	22	7,9	2,8	35,5	5,5	1003	673	58,2	7,1	58,9	10,3	3945	729	8157	1152				
	krank	10	42,8	8,2	139	12	174	17	5,2	1,2	24,5	4,9	629	235	43,0	7,1	42,1	9,6	2612	526	5983	1071				



Tabelle 4. Irrtumswahrscheinlichkeiten gemäss U-Test nach Wilcoxon für die Unterschiede der Splintdaten gesunder und kranker Bäume in den Tabellen 2 und 3.

Fichte

Messgrössen	Proben-Scheiben-Durchmesser		Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		Bildanalyse (relativ)		Wasserversorgung im Splint	
	D (cm)	$\alpha$	$\bar{u}$ (%)	$u_{max}$ (%)	$S_{abs}$ (cm)	$S_{rel}$ (%)	$A_{D,abs}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{D,rel}$ (%)	$A_{B,rel}$ (%)	$\Sigma d^*$ (%**%)	$A_{D,rel} * \bar{u}$ (%**%)	$\alpha$
Kollektive												
Standort	Stammbereich											
Alpen	0,544		0,940	—	0,001	0,0004	0,005	0,0003	—	0,002	0,001	0,001
	0,013		0,212	—	0,012	0,031	0,005	0,031	—	0,014	0,017	0,017
Voralpen	0,005		0,046	—	0,001	0,002	0,001	0,001	—	0,003	0,003	0,003
	0,076		0,294	—	0,025	0,033	0,027	0,033	—	0,046	0,023	0,023
Mittelland	0,940		0,623	—	0,001	0,001	0,076	0,001	—	0,005	0,005	0,005
	0,038		0,970	—	0,705	0,273	0,791	0,212	—	0,121	0,186	0,186
Jorat-Colline	0,850		0,162	—	0,017	0,031	0,212	0,031	—	0,064	0,054	0,054
	0,011		0,014	—	0,016	0,162	0,009	0,162	—	0,045	0,054	0,054

## Tanne

Messgrößen	Proben- Scheiben- Durchmesser $D$ (cm) $\alpha$	Wassergehalt im Splint		Splintbreite (Darrverfahren)		Splintfläche (Darrverfahren)		(Bildanalyse) relativ $A_{B,rel}$ (%)	Wasserversorgung im Splint	
		$\bar{u}$ (%) $\alpha$	$u_{max}$ (%)	$S_{abs}$ (cm) $\alpha$	$S_{rel}$ (%) $\alpha$	$A_{D,abs}$ (cm <sup>2</sup> ) $\alpha$	$A_{D,rel}$ (%) $\alpha$		$\Sigma d^*$ ( $\mu-35$ ) (%*%) $\alpha$	$A_{D,rel} * \bar{u}$ (%*%) $\alpha$
Standort Stammbereich										
Alpen	Wipfel	0,003	—	0,011	0,005	0,308	0,009	—	0,0003	0,0003
	Erdstamm	0,014	—	0,0004	0,009	0,003	0,009	—	0,001	0,001
Voralpen	Wipfel	0,427	—	0,004	0,009	0,014	0,009	—	0,054	0,162
	Erdstamm	0,910	—	0,007	0,076	0,002	0,076	—	0,089	0,186
Mittelland	Wipfel	0,038	—	0,103	0,273	0,186	0,273	—	0,054	0,054
	Erdstamm	0,162	—	0,011	0,007	0,045	0,005	—	0,010	0,006
Jorat- Colline	Wipfel	0,427	—	0,121	0,162	0,385	0,162	—	0,473	0,427
	Erdstamm	0,571	—	0,028	0,0008	0,273	0,001	—	0,001	0,001

### 3.2 Splintbreite und Splintfläche

Auf allen vier Standorten ist die mittlere absolute Splintbreite  $S$  — ebenso die rel. Splintfläche  $A_{D,rel}$  — sowohl im Erdstammabschnitt wie im Wipfelbereich bei den kranken Fichten und Tannen geringer als bei den gesunden Vergleichsbäumen (*Abbildungen 8 bis 11*). So beträgt der Bereich der Splintbreite  $S$  und rel. Splintfläche  $A_{D,rel}$  im Erdstamm:

- bei gesunden Fichten  $3,6 \text{ cm} < S < 4,9 \text{ cm}$  bzw.  $33 \% < A_{D,rel} < 40 \%$   
(Alpen) (Jorat) (Voralpen) (Mittelland)
- bei kranken Fichten  $2,1 \text{ cm} < S < 4,4 \text{ cm}$  bzw.  $23 \% < A_{D,rel} < 35 \%$   
(Alpen) (Mittelland) (Voralpen) (Mittelland)

Diese Unterschiede des Splintanteiles gesunder und kranker Bäume sind statistisch gesichert, ausgenommen bei den Mittelland-Fichten, wo kein Unterschied der absoluten Splintbreite besteht. Im Wipfelbereich der Fichten sind die Unterschiede der Splintbreiten gesunder und kranker Bäume noch deutlicher als im Erdstamm (nun auch bei den Mittelland-Fichten).

Die Splintbreiten  $S$  und rel. Splintflächen  $A_{D,rel}$  der gesunden ebenso wie der kranken Weisstannen waren auf allen Standorten deutlich grösser als bei den entsprechenden Fichtenkollektiven; sie betragen im Erdstamm:

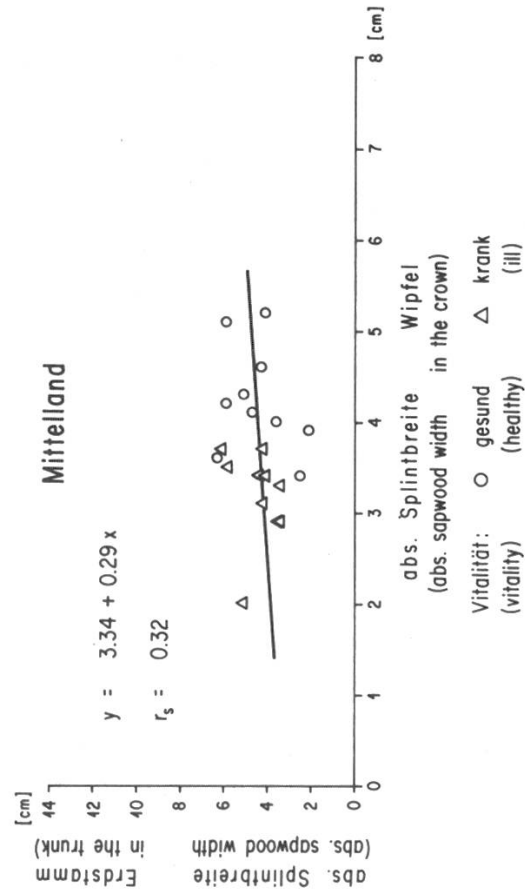
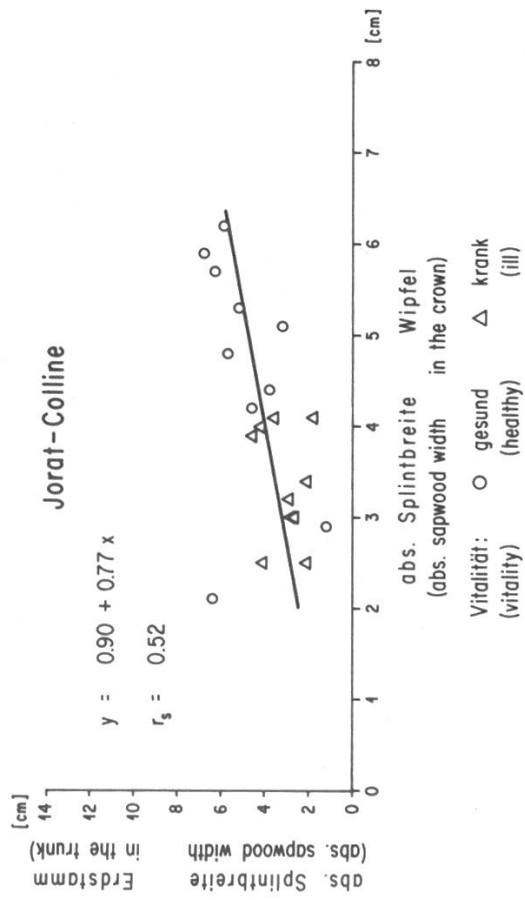
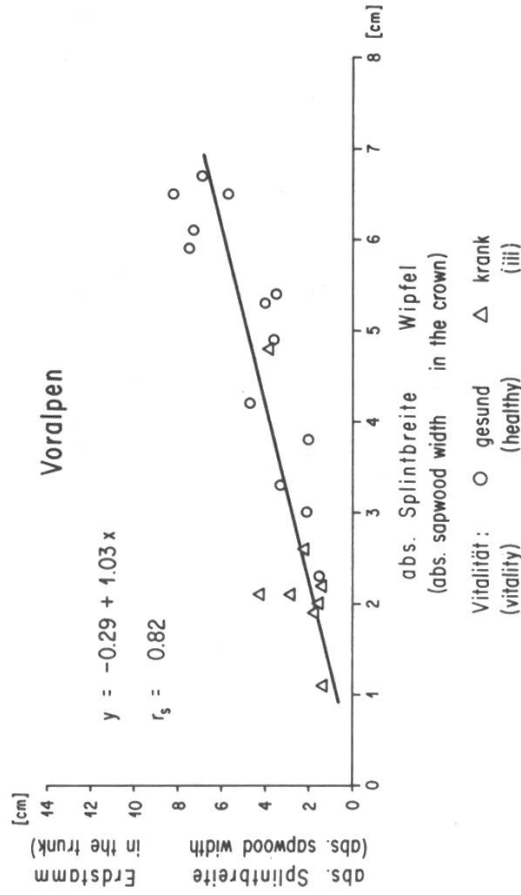
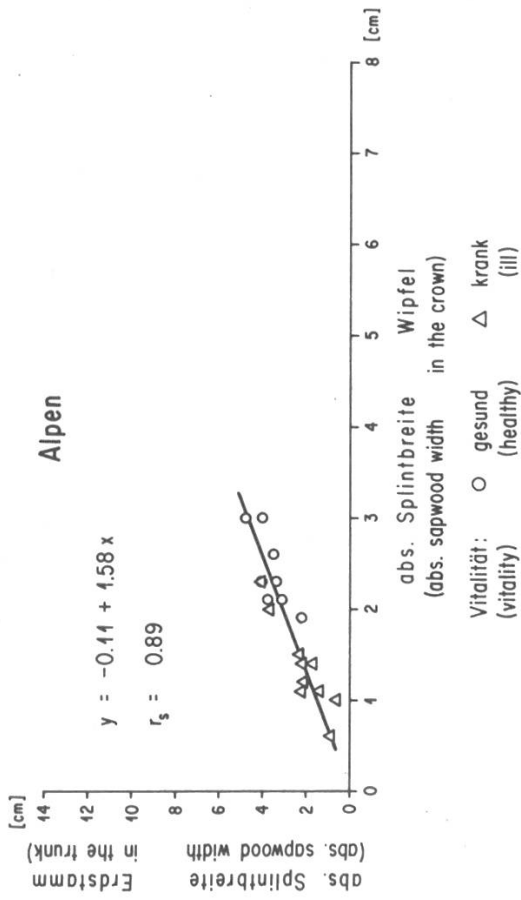
- bei gesunden Tannen  $6,1 \text{ cm} < S < 7,9 \text{ cm}$  bzw.  $46 \% < A_{D,rel} < 58 \%$   
(Mittelland) (Jorat) (Mittelland) (Jorat)
- bei kranken Tannen  $3,5 \text{ cm} < S < 5,2 \text{ cm}$  bzw.  $27 \% < A_{D,rel} < 58 \%$   
(Alpen) (Jorat) (Mittelland) (Jorat)

Diese Unterschiede sind auf allen Standorten überwiegend hoch gesichert. Geringere Unterschiede in den Splintbreiten waren dagegen im Wipfel gesunder und kranker Tannen zu verzeichnen, sie sind daher teilweise nicht gesichert (Mittelland und Jorat-Colline), vgl. *Tabellen 2 bis 4*.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das — gegenüber den gesunden Vergleichsbäumen — grösste Defizit des für den Wasserhaushalt massgebenden Splintanteiles der kranken Fichten auf dem alpinen und auch voralpinen Standort ermittelt wurde; etwa 40 bis 50 % geringere Splintbreiten und um rund 30 bis 40 % kleinere relative Splintflächen im Erdstamm wie im Wipfel. Am geringsten war das Defizit des Splintanteiles bei den kranken Fichten vom Mittelland-Standort.

Die kranken Tannen hatten im Erdstamm gegenüber den gesunden Vergleichsbäumen auf allen Standorten um rund 35 bis 45 % geringere absolute Splintbreiten und um 20 bis 40 % geringere relative Splintflächen; im Wipfelbereich betrug das Defizit der Splintbreite 15 bis 30 % und das der relativen Splintfläche knapp 10 bis 20 %. Auch bei der Tanne traten die grössten Defizite auf dem Alpen- und dem Voralpenstandort auf.

Abbildung 8.



Abbildungen 8 und 9. Zusammenhang zwischen den absoluten Splintbreiten von Erdstamm und Wipfel aller Probenkollektive; *Abbildung 8* = Fichte, *Abbildung 9* = Tanne.

Abbildung 9.

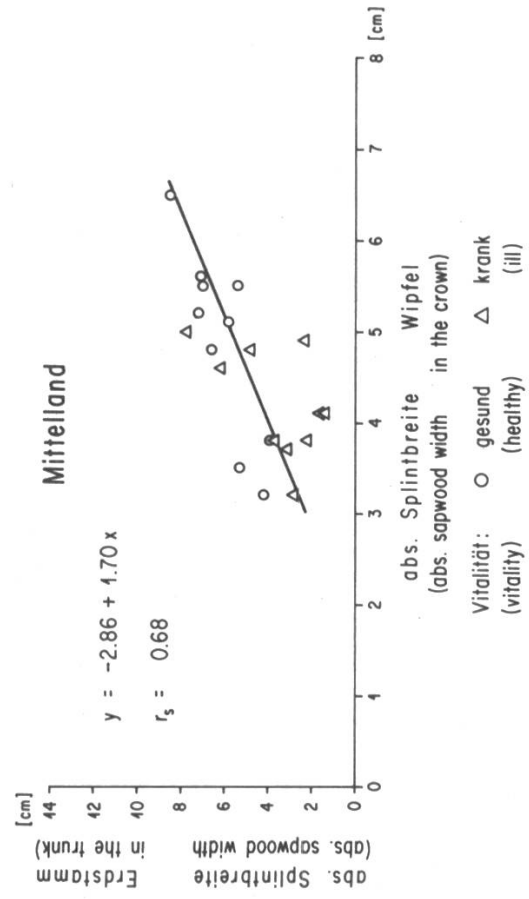
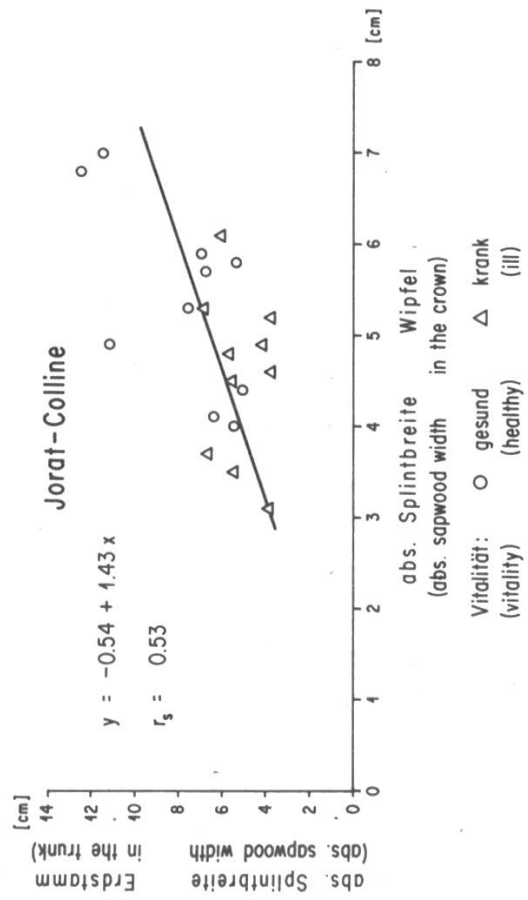
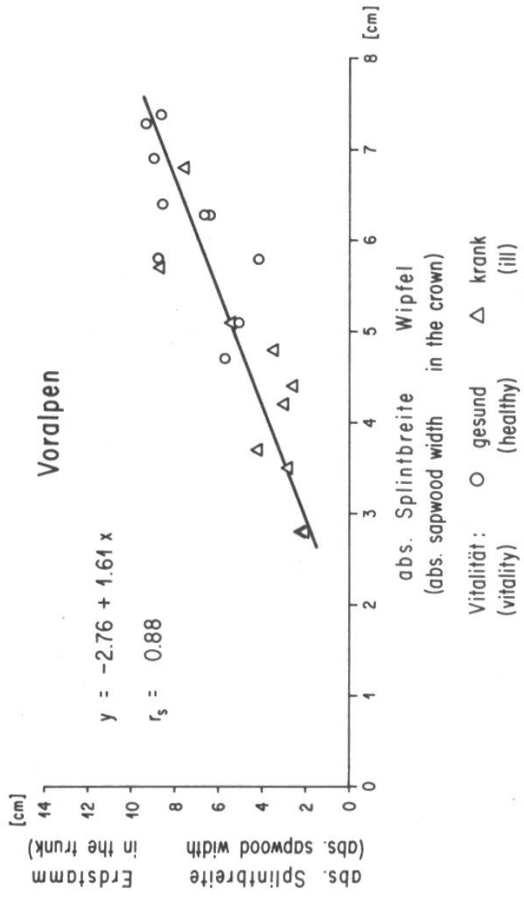
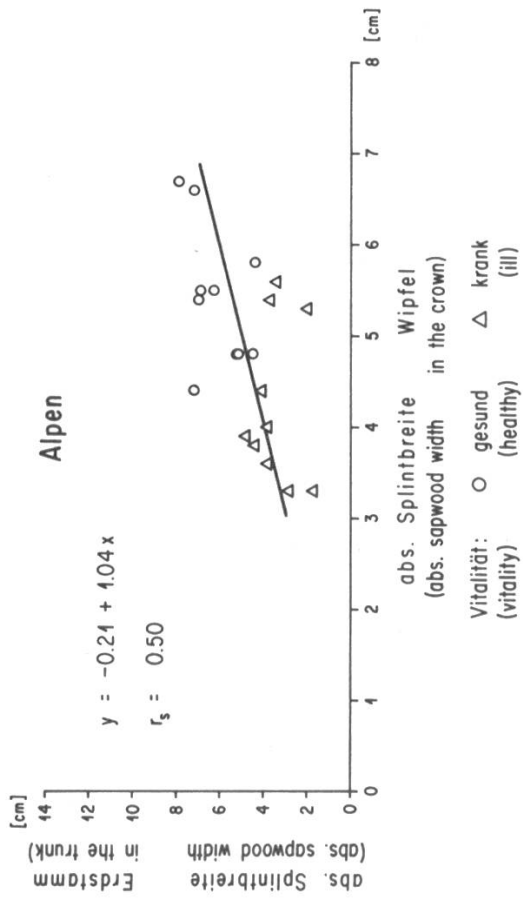
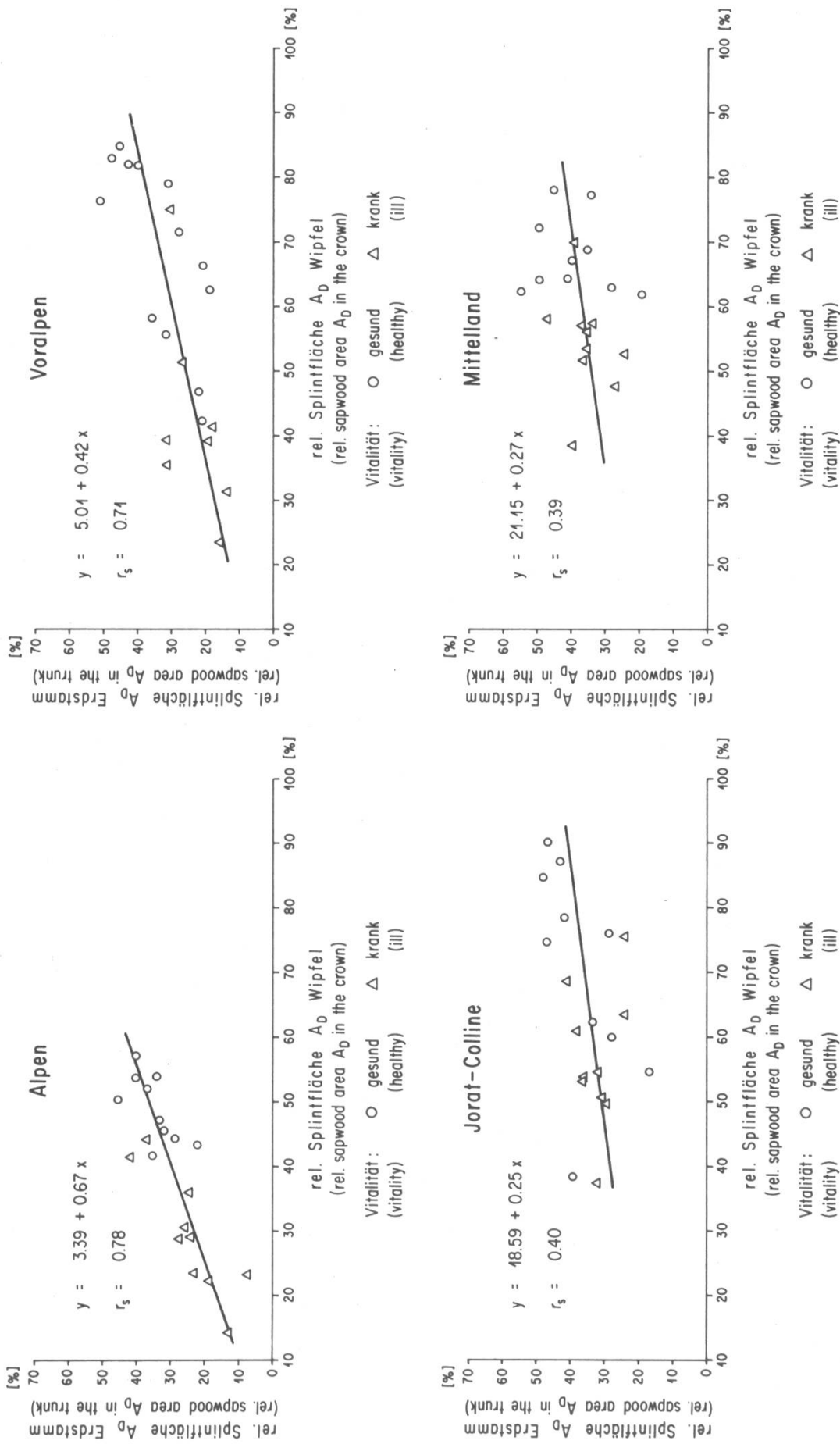
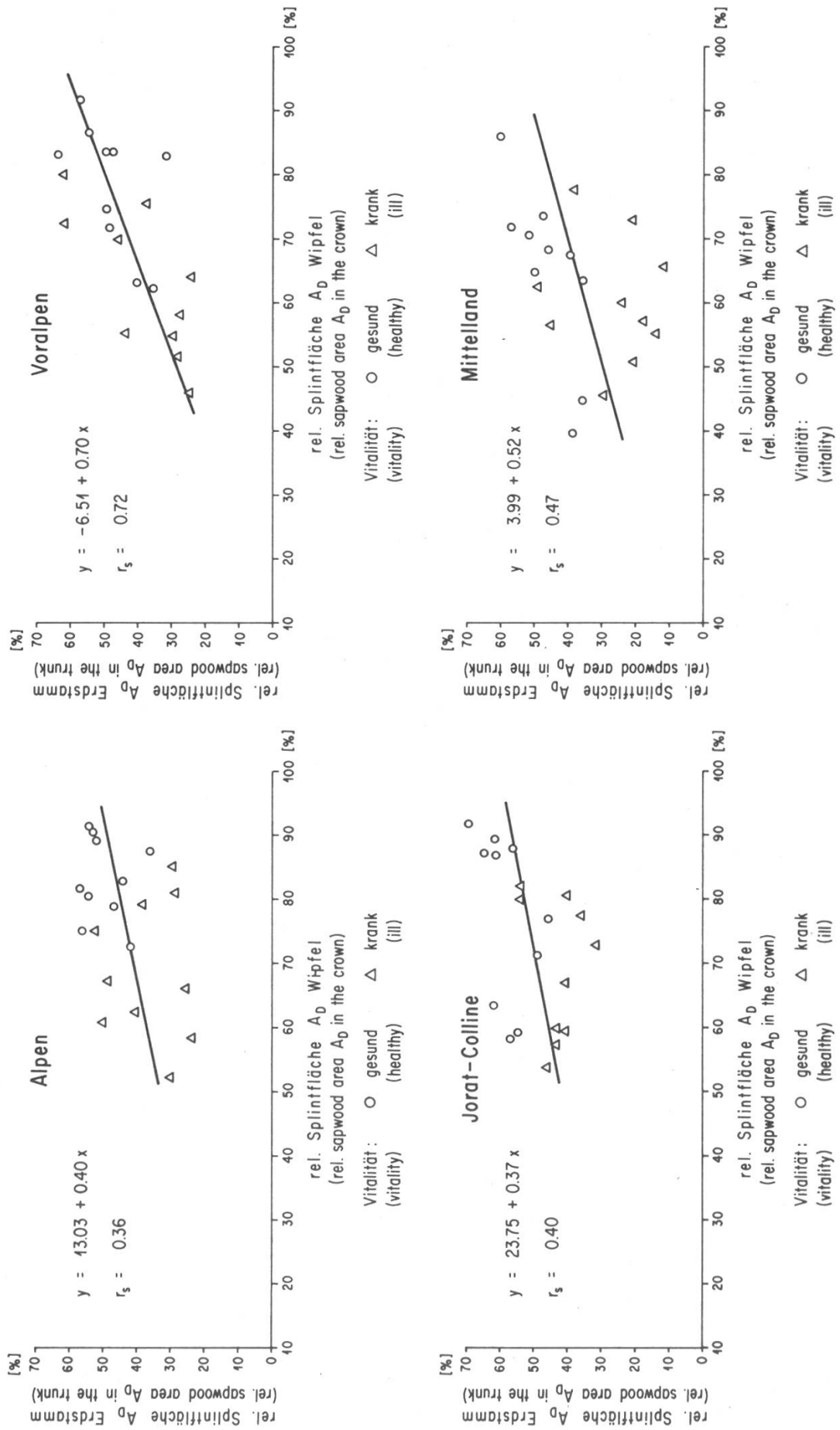


Abbildung 10.



Abbildungen 10 und 11. Zusammenhang zwischen den rel. Splintflächen  $A_{D,rel}$  von Erdstamm und Wipfel aller Probenkollektive; *Abbildung 10* = Fichte, *Abbildung 11* = Tanne.

Abbildung II.



Fichte (spruce)

$r_s(F_i, T_0) = 0.86$

Tanne (fir)

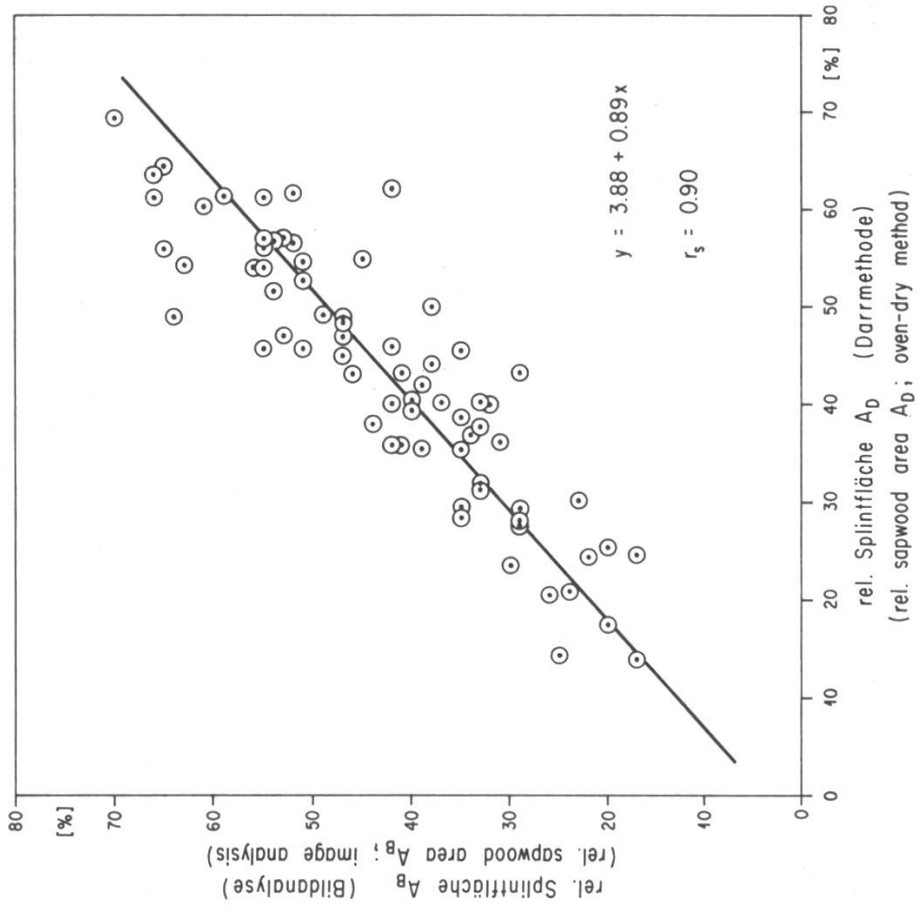
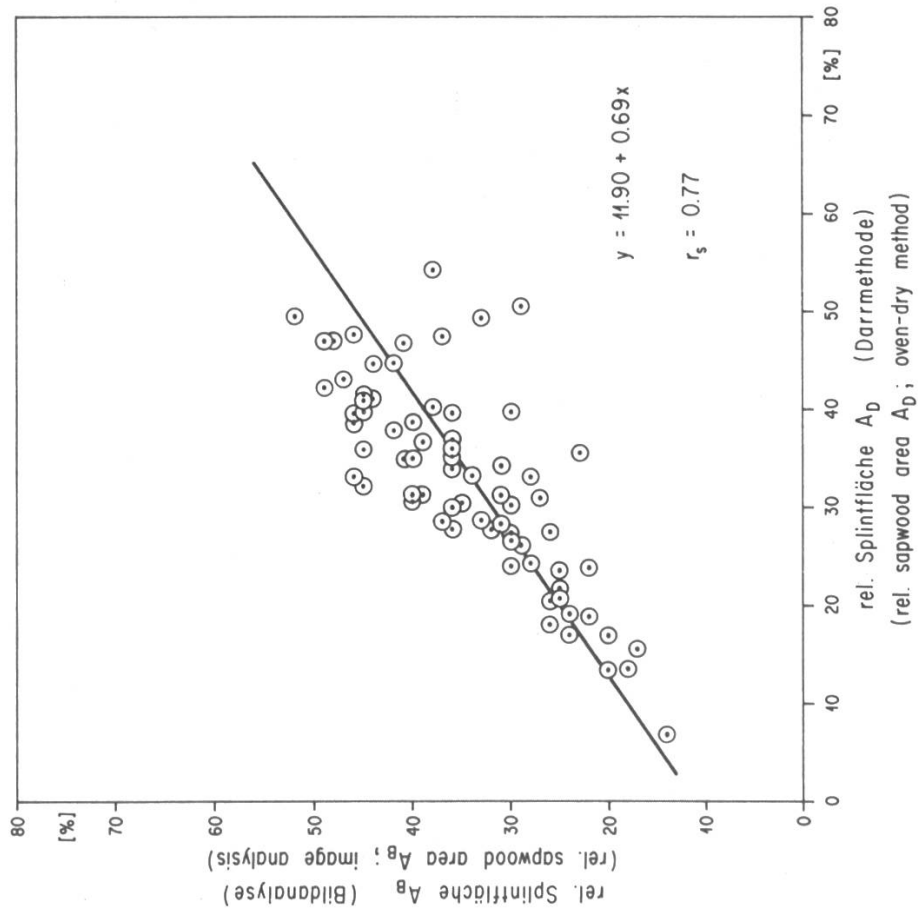


Abbildung 12. Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Splintflächen aus Darrverfahren und Bildanalyse.



Im grossen und ganzen gleichartige Ergebnisse über den Splintanteil gesunder und kranker Fichten und Tannen erbrachte die Bildanalyse der relativen Splintflächen  $A_{B,rel}$ . Die Übereinstimmung der mit dem Darrverfahren gemessenen rel. Splintfläche  $A_{D,rel}$  ist recht gut (Abbildung 12). Durch einige Massnahmen, zum Beispiel durch Markierung der Splint-/Kerngrenze auf frischen Stammquerschnitten mit einem wasserfesten Farbstift (Abbildung 4), liesse sich die Korrelation noch verbessern.

### 3.3 Statistische Untersuchung der Gruppenbildung gesund/krank mit den Messgrössen «Wassergehalt» und «Splintfläche»

Um den gemeinsamen Einfluss der Messgrössen «Wassergehalt» und «Splintfläche» hinsichtlich der Gruppenbildung «gesund/krank» zu erfassen, wurde mit diesen Grössen aus Erdstamm und Wipfel eine Diskriminanzanalyse durchgeführt.

Da streng genommen nicht alle Voraussetzungen zur Durchführung der Diskriminanzanalyse als gegeben angesehen werden konnten, wurde keine quantitative Beurteilung der «Trennstärken» vorgenommen, sondern in jedem Standortkollektiv lediglich die Reihenfolge der vier Messgrössen nach ihren Einzel-Trennstärken bestimmt (Tabelle 5). Daraus ergab sich die interessante Erkenntnis, dass bei der Fichte auf allen Standorten die relative Splintfläche des Wipfels den stärksten Beitrag zur Gruppentrennung «gesund/krank» liefert. Mit dieser Trenngrösse allein kann praktisch die gleiche Trennschärfe wie mit allen vier Grössen gemeinsam erreicht werden. Bei der Tanne teilen sich dem-

Tabelle 5. Ergebnisse der Diskriminanzanalyse: Rangliste der Messgrössen nach ihren Trennstärken (gesund/krank) in den einzelnen Standortskollektiven.

1. = beste Trennstärke der 4 Messgrössen

4. = schlechteste Trennstärke der 4 Messgrössen

Messgrössen		Wassergehalt im Splint		Splintfläche (Darrverfahren) relativ	
		$\bar{u}$ (%) Erdstamm	Wipfel	$A_{D,rel}$ (%) Erdstamm	Wipfel
Kollektive					
Baumart	Standort				
Fichte	Alpen	4.	3.	2.	1.
	Voralpen	2.	3.	4.	1.
	Mittelland	2.	3.	4.	1.
	Jorat-Colline	1.	2.	2.	1.
Tanne	Alpen	4.	1.	3.	2.
	Voralpen	4.	1.	3.	1.
	Mittelland	4.	2.	1.	4.
	Jorat-Colline	2.	2.	1.	4.

gegenüber die einzelnen Messgrößen den Trennungseinfluss; es erscheint keine allein dominant. Für den Splintwassergehalt ergab sich in unserer Untersuchung eher eine untergeordnete Bedeutung.

Da die Vitalität der Bäume vor allem anhand des Kronenbildes beurteilt wurde, ist es gut erklärbar, dass die Messgrößen des Wipfels die Kollektive «gesund» und «krank» besser differenzieren als die entsprechenden Werte des Erdstammes. Trotz der offensichtlich vorherrschenden Bedeutung der Splintfläche im Wipfelbereich für das Erscheinungsbild der Fichten bestätigt die Diskriminanzanalyse auch, dass die synergistische Bedeutung von Wassergehalt und Splintanteil — besonders bei der Tanne — beachtet werden muss. Aus diesem Grunde haben wir beide Messgrößen in einem weiteren Auswertungsschritt miteinander verknüpft.

### 3.4 Verknüpfung der Splintdaten «Wassergehalt» und «Splintbreite»

Ausser Splintanteil und Wassergehalt haben auch noch andere Größen einen bedeutenden Einfluss. So ist die relative Wasserleitfläche wichtig (wasserleitende Fläche bezogen auf die Trockenmasse oder Oberfläche der durch sie versorgten Baumorgane), ferner die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im kapillaren Leitsystem, die ihrerseits von vielen Faktoren abhängig ist (Huber 1956, Langner 1932, Vité 1958, Vité und Rudinsky 1959). Es war nicht Aufgabe der vorliegenden Erhebung und auch nicht möglich, diese physiologisch wichtigen Größen zu ermitteln. Zusätzliche Aussagen über die Wasserversorgung gewinnt man indessen, wenn man den Wassergehalt  $u$  mit der Splintfläche  $A$  multiplikativ zur Größe «Wasserhaushalt» verknüpft ( $A \cdot u$ ; *Abbildung 13, Tabellen 2 und 3*).

Im Rahmen unserer Untersuchung erbrachte die Größe «Wasserhaushalt» allerdings keine weitergehende Differenzierung zwischen gesunden und kranken Fichten und Tannen im Vergleich zur absoluten Splintbreite. Die Ursache hierfür liegt darin, dass — wie bereits erwähnt — der Wassergehalt des Splintes der von uns untersuchten kranken Bäume nicht signifikant niedriger lag als bei den gesunden Vergleichsbäumen und darum das Produkt  $S \cdot u$  (bzw.  $A \cdot \bar{u}$ ) durchschnittlich nicht oder nur unwesentlich beeinflusst. Dies ist anders, wenn kranke Bäume auch ein ausgeprägtes Wassergehalts-Defizit aufweisen, wie es schon Chalk und Bigg (1956) in den USA, und neuerdings zum Beispiel Frühwald *et al.* (1984) und Rademacher *et al.* (1986) an 1982/83 und 1984 gefällten Bäumen von verschiedenen deutschen Standorten feststellten. So errechnet sich für mehrere der untersuchten deutschen Standorte ein um mehr als die Hälfte verminderter «Wasserhaushalt» der kranken gegenüber den gesunden Fichten; demgegenüber betrug das Defizit des «Wasserhaushalt» der 1984/85 und 1985/86 gefällten Fichten von den vier schweizerischen Standorten durchschnittlich nur rund 25 % (Erdstamm) und 35 % (Wipfel); *Tabelle 6*.

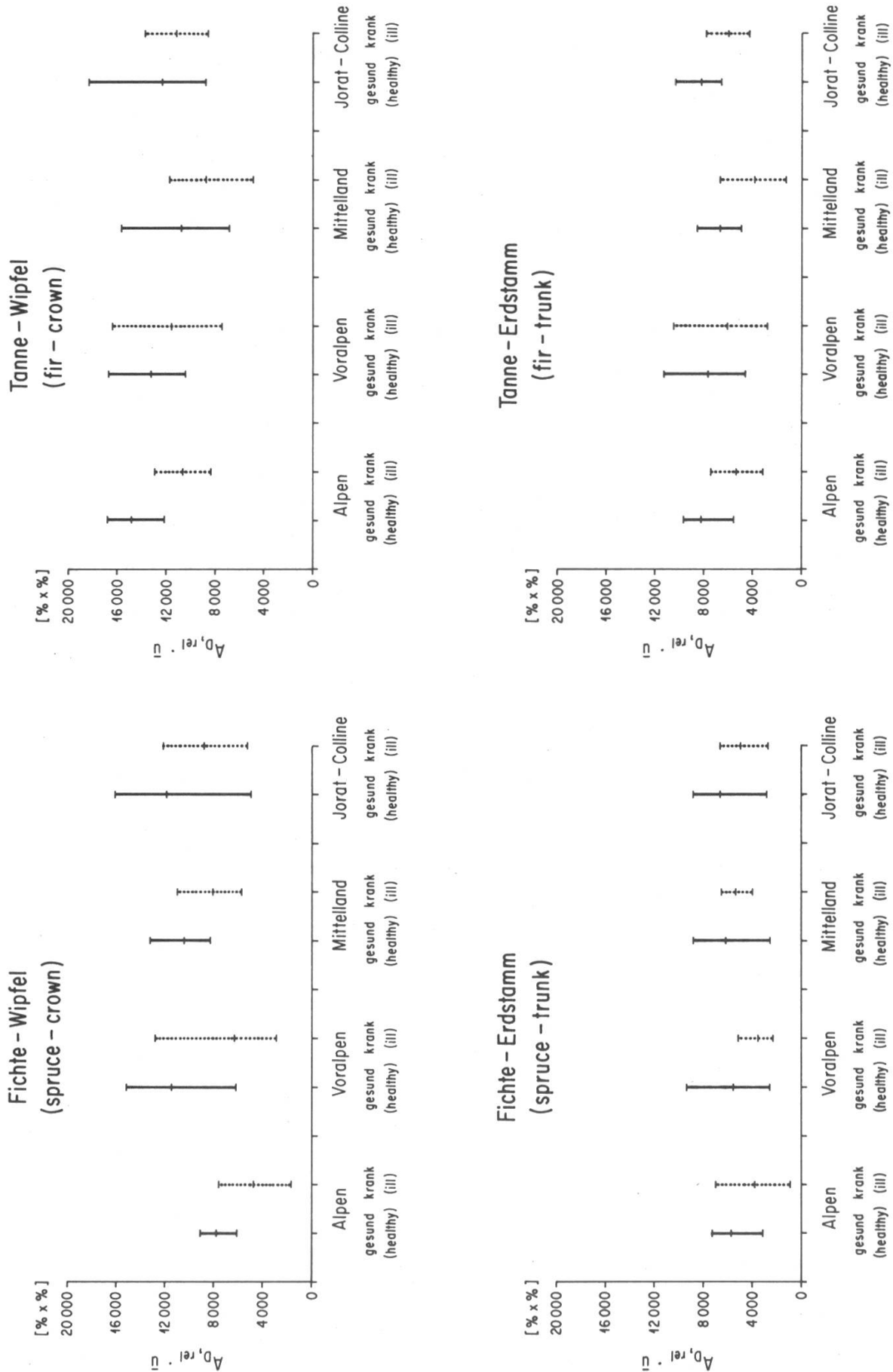


Abbildung 13. Verknüpfte Messgröße «Wasserhaushalt»  $A_{D,rel} \cdot u$  aller Probenkollektive (durchschnittliche, minimale und maximale Werte).

Tabelle 6. Orientierende Gegenüberstellung des «Wasserhaushaltes» von gesunden und kranken Fichten aus der eigenen Untersuchung mit Werten (nachträglich aus publizierten Daten berechnet) aus den Untersuchungen Frühwald et al. (1984) und Rademacher et al. (1986).

<i>Fichten</i> (jeweils Erdstamm)		<i>Wasserversorgung</i> $A_{D,rel} \cdot \bar{u}$ (% · %)	
4 Schweizer Standorte		gesunde Bäume	6000
		krankte und sehr krankte Bäume	4400
zum Vergleich:			
aus Frühwald et al., 3 Standorte		gesunde Bäume	rund 6500
		sehr krankte Bäume	rund 3500
aus Rademacher et al.			
		gesunde Bäume (3 Standorte)	rund 10 000
		sehr krankte Bäume (5 Standorte)	rund 4500

Es ist im übrigen darauf hinzuweisen, dass die Werte  $A_{D,rel} \cdot \bar{u}$  von verschiedenen Standorten und Fälldaten nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden können, weil sie von zahlreichen, zumeist unbekanntem Faktoren komplex beeinflusst und stark zeitabhängig sind. Als Vergleichsgrösse kranker und gesunder Bäume eines oder mehrerer Standorte ist der «Wasserhaushalt» geeigneter als die «Splintbreite», weil sie zugleich über Splintanteil und Splint-Wassergehalt informiert und, wie die zitierten deutschen Untersuchungen zeigen, als diagnostisches Hilfsmittel trennschärfer ist als die Einzelmessgrößen. Auf diesen Sachverhalt stützt sich auch der Vorschlag von Kucera (1986), am stehenden Baum mit Hilfe verschiedener Messmethoden Splintdaten zu ermitteln.

#### 4. Zusammenfassung und Folgerungen

Jeweils 10 Stämme vitaler und geschädigter Fichten und Tannen, beurteilt nach dem Benadelungszustand der Krone, wurden in den Wintern 1984/85 und 1985/86 zur vergleichenden Untersuchung zahlreicher Holzeigenschaften und Kenngrößen auf den Standorten Alpen (Lenz und Malans), Voralpen (Bilten), Mittelland (Buchs—Rohr—Suhr) und Jorat-Colline (Lausanne) gefällt. Der vorliegende Teilbericht stellt die Ergebnisse von Messungen der Splintbreite und des Wassergehaltes des Splintholzes und daraus abgeleiteter weiterer Splintmerkmale im Erdstamm und im Wipfelbereich der Bäume dar.

Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Splintmerkmalen und dem äusseren Vitalitätsbild der Fichten und Tannen. Insbesondere war der Splintanteil der krankten Bäume erheblich geringer als bei den gesunden Ver-

gleichsbäumen; das Defizit der durchschnittlichen absoluten Splintbreite betrug bei kranken Fichten rund 30 % im Erdstamm und 40 % im Wipfelbereich; die entsprechenden Werte bei der Weisstanne sind rund 40 % und 20 %. Die Defizite der rel. Splintfläche betragen durchschnittlich bei Fichte 20 % (Erdstamm) und 30 % (Wipfel) bzw. bei Tanne 30 % (Erdstamm) und 15 % (Wipfel).

Der Wassergehalt des Splints gesunder und kranker Fichten und Tannen war durchschnittlich nur geringfügig und meist nicht signifikant verschieden. Aus Splintbreite und Splintwassergehalt abgeleitete Grössen, wie etwa der hier definierte «Wasserhaushalt» (Produkt der rel. Splintfläche und des Wassergehaltes), führen zu ähnlichen Aussagen wie Einzelmessgrössen. Der «Wasserhaushalt» kann mit guter Genauigkeit auch bildanalytisch aus Photographien frischer Stammabschnitte und aus den mittels Darrverfahren bestimmter Wassergehalte ganzer Splintproben berechnet werden.

Hinweise für den Einfluss der verminderten Splintbreite kranker Bäume auf die Holzqualität ergaben sich nicht; lediglich die Tränktiefe bei der technischen Imprägnierung von waldfrischem Rundholz dürfte – entsprechend der geringeren Splintbreite – geringer sein (*Graf* 1987).

## Résumé

### Le budget hydrique d'épicéas et de sapins de vitalité variable

A chaque emplacement 10 tiges de sapins et épicéas sains et endommagés — leur état étant évalué d'après l'apparence de leur couronne — ont été abattues durant les hivers 1984/85 et 1985/86 afin de comparer diverses caractéristiques de leur bois. Ces tiges ont été choisies dans 4 stations: dans les Alpes (Cantons des Grisons), dans les Préalpes (Canton de Glaris), dans les collines du Jorat (Canton de Vaud), et dans le Plateau (Canton d'Argovie).

Ce premier rapport donne les résultats des mesures de la largeur et de la teneur en eau de l'aubier au bas de la tige ainsi qu'au niveau de la couronne: une corrélation significative se révèle entre les caractéristiques de l'aubier et les signes visibles de vitalité aussi bien des épicéas que des sapins. Plus spécialement, la part d'aubier d'arbres endommagés est sensiblement plus petite que celle des arbres sains. La largeur moyenne de l'aubier d'arbres endommagés est réduite de 30% à la base et de 40% à la couronne pour l'épicéa, tandis que pour le sapin les valeurs sont 40% à la base et 20% à la couronne. Pour la section entière, le déficit de l'aubier est d'environ 20% à la base à 30% à la couronne pour l'épicéa, et de 30% à la base à 15% à la couronne pour le sapin. Les parts d'aubier étaient particulièrement réduites dans les tiges d'épicéa endommagées de provenance alpine et préalpine, tandis qu'elles étaient moins affectées dans les tiges du Plateau Suisse. Pour les sapins endommagés, les réductions de l'aubier étaient comparables pour toutes les provenances, à part pour les couronnes provenant des Préalpes: Pour celles-ci les mesures ont donné une réduction significativement plus grande de l'aubier.

A la différence d'autres investigations, les teneurs en eau de l'aubier n'ont démontré que peu de différences (en général pas significatives) entre les arbres sains et les arbres atteints. Le calcul de termes dérivés, tels que «le budget en eau» (= surface relative de l'aubier x teneur en eau), n'a pas donné d'informations supplémentaires. «Le budget hydrique» peut également être calculé assez précisément sur la base d'une analyse digitalisée de photographies des sections fraîchement coupées et de la détermination par séchage de leur teneur en eau.

Rien ne semble indiquer que la réduction observée de l'épaisseur de l'aubier affecte les propriétés principales du bois d'œuvre, à part éventuellement la profondeur de pénétration des traitements de préservation dans le bois frais, qui risque d'être moins profonde. Une influence sur le comportement au séchage ne peut également pas être exclue.

Traduction: F. Kropf et E. Zürcher

#### Literatur

- Arnold, M., Schnell, G. R.; Sell, J., 1986: Vergleichende Splintflächen-Bestimmung waldfrischer Nadelholz-Stammquerschnitte. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986): p. 432 (Kurzmitt.).
- Azmutat, H., Koltzenburg, Ch., Weiss, W. J., 1986: Untersuchungen der Holzeigenschaften von Fichte und Buche aus immissionsexponierten Beständen von Hils und Solling. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986) 8: p. 301.
- Bauch, J., 1986: Biologische Eigenschaften des Holzes kranker Fichten aus Waldschadensgebieten zur Beurteilung der Schadensursachen und Schadwirkungen. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986) 8: p. 302.
- Burmester, H., 1980: Holzfeuchtigkeit in Nadelhölzern. Jahreszeitliche Einflüsse auf die Eigenschaften des Splint- und Kernholzes von Nadelbäumen. Holz-Zbl. 106 (1980) 91: 1303–1304.
- Chalk, L., Bigg, J. M., 1956: The distribution of moisture in the living stem in Sitka spruce and Douglas fir. Forestry 29 (1956) 1: 5–21.
- Frühwald, A., Bauch, J., Göttsche-Kühn, H., 1984: Holzeigenschaften von Fichten aus Waldschadensgebieten. Holz Roh-Werkstoff 42 (1984): 441–449.
- Frühwald, A., 1986: Technological properties of wood from trees in polluted regions. IAWA-Bul. n. s. 7 (4): 389–397.
- Gibbs, R. D., 1939: Studies in tree physiology. Can. J. Research, series C, 17: 460–482.
- Graf, E., 1987: Analyse des Einflusses des Gesundheitszustandes der Bäume auf die Imprägnierfähigkeit des Rundholzes im Wecheldruckverfahren. EMPA-Abt. Biologie, Nr. 23'1365/1 (noch unveröffentlicht).
- Hapla, F., 1986: Splint- und Kernanteile an Kiefern unterschiedlicher Immissionsschadstufen. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986) 9: p. 361.
- Huber, B., 1956: Die Gefässleitung. In Ruhland, W.: Handbuch der Pflanzenphysiologie Bd. III, Springer/Berlin, p. 541–582.
- Kucera, L., 1984: Waldsterben: Holzeigenschaften – Holzqualität. SAH-Bull. 12, 4: 28 S.
- Kucera, L., 1986: Kernspintomographie und elektrische Widerstandsmessung als Diagnosemethoden der Vitalität erkrankter Bäume. Schweiz. Z. Forstwes. 137 (1986) 8: 673–690.
- Langner, W., 1932: Die Wasserverteilung im Stammholz der Fichte und ihre Veränderungen. Bot. Archiv 34 (1932): 1–47.
- Rademacher, P., Bauch, J., Puls, J., 1986: Biological and chemical investigations of the wood from pollution-affected spruce (*Picea abies* Karst.). Holzforschung 40 (1986) 6: 331–338.
- Schnell, G. R., Arnold, M., Sell, J., 1987: Wassergehalt und Splintanteil unterschiedlich vitaler Fichten und Tannen von vier schweizerischen Standorten. EMPA-Abt. Holz, Forsch. u. Arb. Ber. Nr. 115/15.
- Schulz, H., 1986: Festigkeit und Wassergehalt in Fichten, Kiefern und Buchen unterschiedlicher Schadstufen. Holz Roh-Werkstoff 44 (1986) 8: 300–301.

- Smith, H. G., Walters, J., Welwood, R. W.*, 1966: Variation in sapwood sickness of Douglas fir in relation to tree and section characteristics. *Forest Science* 1, 12: 97–103.
- Trendelenburg, R., Mayer-Wegelin, H.*, 1955: *Das Holz als Rohstoff*. Hanser/München, ed. 2, 541 pp.
- Vité, J. P.*, 1958: Über die transpirationsphysiologische Bedeutung des Drehwuchses bei Nadelhölzern. *Forstw. Cbl.* 77 (1958): 193–203.
- Vité, J. P., Rudinsky, J. A.*, 1959: The water-conducting systems in conifers and their importance to the distribution of trunk injected chemicals. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 20 (1959): 27–38.