

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	9
2.1	Die Probenbäume und ihr Standort	9
2.2	Probenahme und Pflanzenmaterial	11
2.3	Meßgrößen zur Charakterisierung des Wuchsverhaltens der Probenbäume	12
2.3.1	Nadelmeßdaten	12
2.3.2	Knospen- und Triebblängen	12
2.3.3	Temperaturmessungen	13
2.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	13
2.4.1	Präparationsmethodik	13
2.4.2	Untersuchungsverfahren	15
2.5	Gewinnung der Wachsextrakte	17
2.5.1	Tauchmethode	17
2.5.2	Kollodiumfilm-Technik	17
2.5.3	REM-Kontrolle der Wachsentfernung durch die Kollodiumfilm- Technik	19
2.6	Chemische Analyse der Cuticularwachse	19
2.6.1	Verwendete Chemikalien	19
2.6.2	Dünnschichtchromatographie	20
2.6.3	Derivatisierungsmethoden für die Gaschromatographie	22
2.6.4	Gaschromatographie	23

3	Wachstumscharakterisierung durch Meßgrößen	25
3.1	Temperaturverläufe	25
3.1.1	Lufttemperaturen	25
3.1.2	Bodentemperaturen	26
3.1.3	Temperatureinfluß auf den Zeitpunkt des Knospenbruchs	30
3.2	Nadellängen	32
3.3	Nadeloberflächen	38
3.4	Knospen- und Triebblängen	40
3.5	Zusammenfassende Bemerkungen	42
4	Ergebnisse der REM-Untersuchungen	43
4.1	Sekretionsdynamik des Epicuticularwachses	44
4.1.1	Charakteristika der Nadel-Entwicklungsstadien	44
4.1.2	Wachsbedeckung der Nadelunterseite in den einzelnen Entwicklungsstadien	47
4.1.3	Wachsbedeckung der Nadeloberseite in den einzelnen Entwicklungsstadien	58
4.2	Entwicklung der Epidermis, insbesondere der Außenperikline	67
4.2.1	Entwicklung der Nadeloberseite	68
4.2.2	Entwicklung der Nadelunterseite inklusive des Spaltöffnungsapparates	79
4.3	Entwicklung der Kotyledonen	90
4.3.1	Wachsbedeckung der Kotyledonen	91
4.3.2	Entwicklung der Kotyledonen-Epidermis	93
5	Diskussion der REM-Untersuchungsergebnisse	99
5.1	Wachssekretion im Verlauf der Nadelentwicklung	99
5.1.1	Kristalltypen	100
5.1.2	Unterschiede in der Wachsbedeckung verschiedener Nadelbe- reiche bzw. von Nadelober- und -unterseiten	106
5.1.3	Wachssekretion bei Kotyledonen	108
5.2	Epidermis-Differenzierung und Nadel-Ontogenese	109
5.2.1	Morphologische Aspekte der adulten Epidermis	109
5.2.2	Aufbau der Außenperikline	111
5.3	Cuticularwachse als Diffusionsbarriere	117
5.4	Hypothetische Mechanismen der Wachsdeposition	123
5.4.1	Porenhypothese	123
5.4.2	Diffusions-Kristallisations-Hypothese	124

5.4.3	Carrierprotein-Hypothese	125
5.5	Ektodesmen	125
6	Ergebnisse der chemischen Wachsanalysen	127
6.1	Epicuticularwachsbelegung im Verlauf der Nadelentwicklung	128
6.2	Charakterisierung der Wachsfractionen bzw. Verbindungsklassen	131
6.2.1	n-Alkan-Fraktion	132
6.2.2	n-Alkylester-Fraktion	132
6.2.3	Fraktion der Fettsäure-Methylester	133
6.2.4	Fraktion der sekundären Alkohole (sekundären Alkanole)	134
6.2.5	Substanzgemisch der Startzone	135
6.3	Stadienspezifische Wachszusammensetzung	138
6.3.1	Knospen-Frühphase	139
6.3.2	Knospen-Spätphase	141
6.3.3	Entfaltete Nadeln: Phase des maximalen Längenwachstums	141
6.3.4	Phase des maximalen Nadelflächenwachstums	144
6.3.5	Endphase des Nadelwachstums	145
6.3.6	Beginn der Sekundär-Veränderungen in der Außenperikline	150
6.3.7	Ausgereifte Nadeln	151
6.3.8	Zusammenfassende Feststellungen	152
6.4	Belegung der Nadeloberfläche mit einzelnen Verbindungsklassen	154
6.4.1	Verbindungsklassen mit abnehmender Belegung	154
6.4.2	Verbindungsklassen mit zunehmender Belegung	158
6.4.3	Verbindungsklassen ohne entwicklungsbedingte Trends bei der Belegung	162
6.4.4	Belegungsverteilung bei ausgereiften Nadeln	164
6.5	Zeitliche Entwicklung der Kettenlängenverteilungen	165
6.5.1	Freie Fettsäuren	165
6.5.2	Fettsäure-Methylester	167
6.5.3	Ester	169
6.5.4	Alkane	171
6.5.5	Sonstige Wachskomponenten	173
6.5.6	Zusammenfassende Bemerkungen	175
6.6	Wachsanalysen bei Kotyledonen	176
6.6.1	Entwicklungsabhängige Wachszusammensetzung	176
6.6.2	Belegung mit einzelnen Verbindungsklassen	179
6.6.3	Kettenlängenverteilungen bei Kotyledonen	180

7	Diskussion der chemischen Wachsanalysen	187
7.1	Zur Methodik der Wachsextraktgewinnung	187
7.1.1	Tauchmethode	187
7.1.2	Abspülen einzelner Blattseiten mit Lösungsmittel	188
7.1.3	Selektive Extraktion auf begrenzter Blattfläche	189
7.1.4	Kollodiumfilm-Technik	189
7.1.5	Kryoadhäsiv-Methode	190
7.1.6	Cuticula-Isolation mit anschließender Extraktion	190
7.2	Wachszusammensetzung im Verlauf der Nadel-Ontogenese	191
7.2.1	Qualitative Veränderungen der Wachszusammensetzung in Beziehung zur Wachskristall-Bildung	192
7.2.2	Veränderungen bei der Belegung der Nadeln mit einzelnen Verbindungsklassen	194
7.2.3	Unterschiede zwischen Tanne 1 und Tanne 2	196
7.2.4	Kotyledonen	198
7.3	Zur Biosynthese des Wachses	200
7.3.1	Wachsbiosynthesewege im Überblick	201
7.3.2	Hypothesen zur Wachsbiosynthese bei <i>Abies alba</i>	204
7.4	Molekulare Organisation der Cuticularwachse	207
8	Zusammenfassung	213
	Summary	216
9	Literatur	219
10	Verzeichnis der Abbildungen	235