Willkommen
Welcome
Bienvenue

Empa
Materials Science and Technology

Fachseminare im Linzer Baumforum

Der Aufbau des Holzes in Laub- und Nadelbäumen

Linz | September 2018

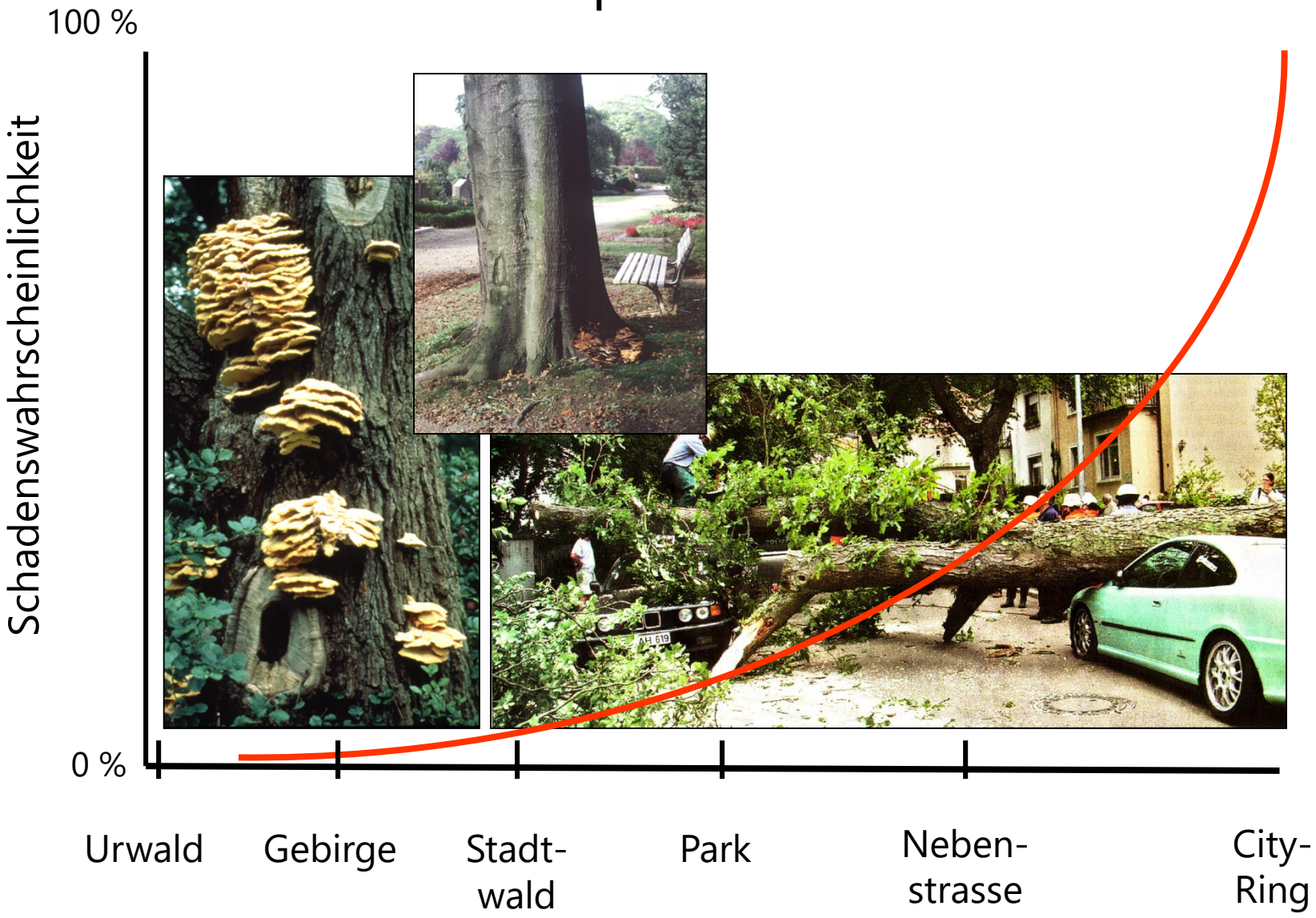
LINZER BAUM FORUM

Prof. Dr. Francis W.M.R. Schwarze

Vorstellung zur Person

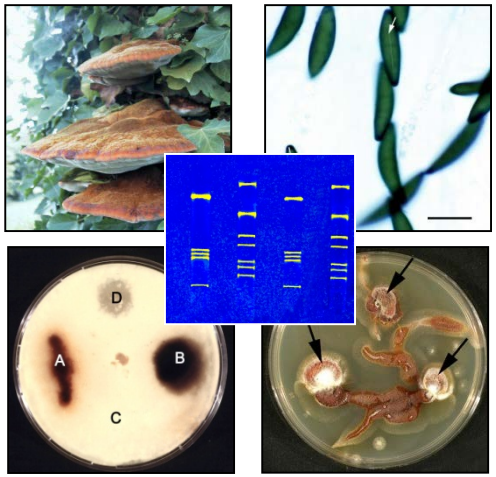
- 1962 Brighton, UK
- 1991 National Diploma in Arboriculture
- 1992 MSc. in Pure and Applied Plant and Fungal Taxonomy
- 1995 Promotion an der Professur für Forstbotanik
- 2001 Habilitation
- 2003 EMPA
- 2006 apl. Professor, Uni Freiburg

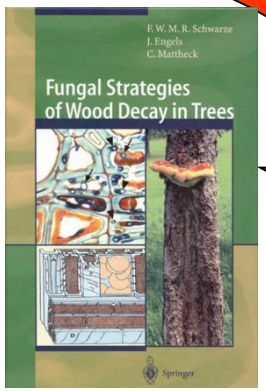
Schadenswahrscheinlichkeit auf unterschiedlich stark verkehrsexponierten Standorten



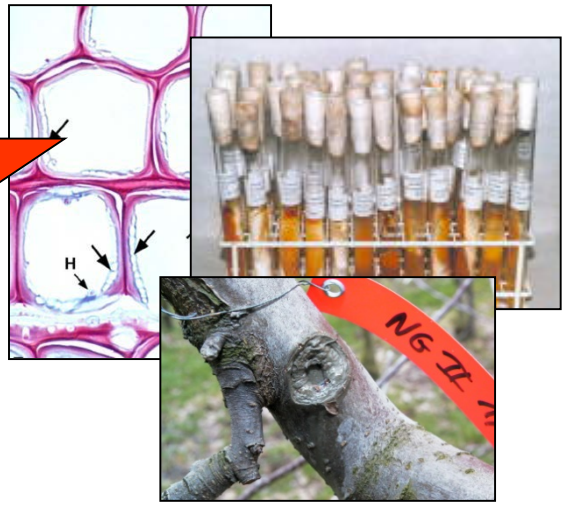
verändert nach Kucera & Niemz (1998)

Pilz ID

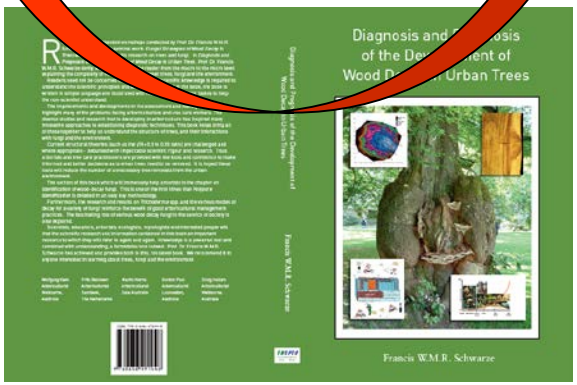




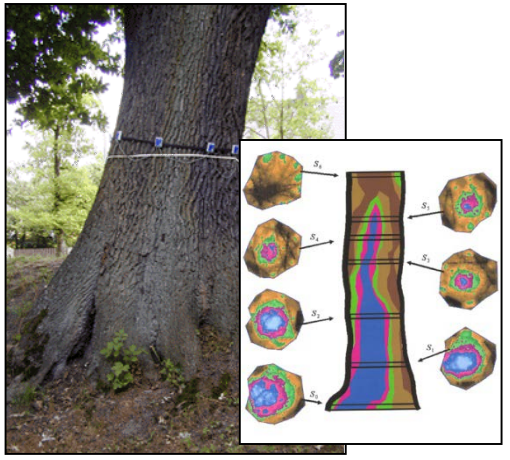
Forschung



Seminare



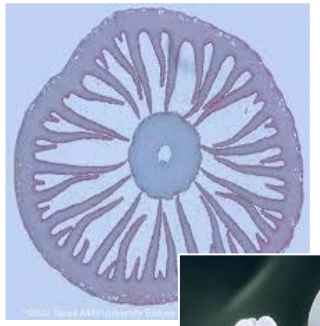
Expertisen

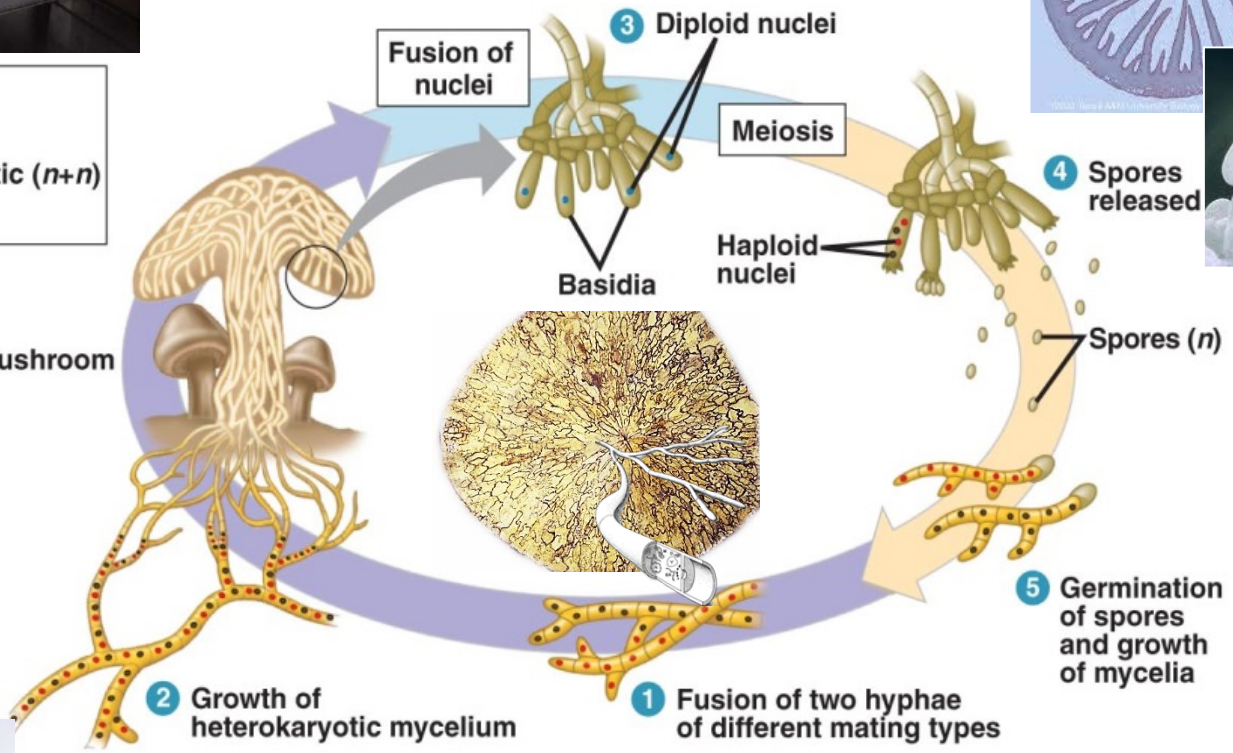


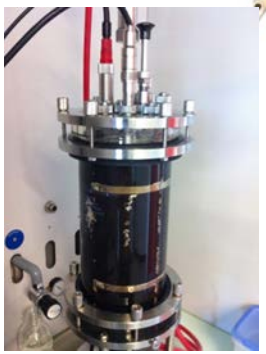
EMPA

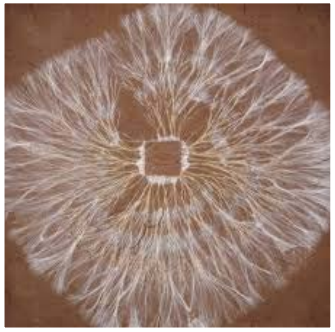
Materials Science & Technology

Lebenszyklus vom Hallimasch



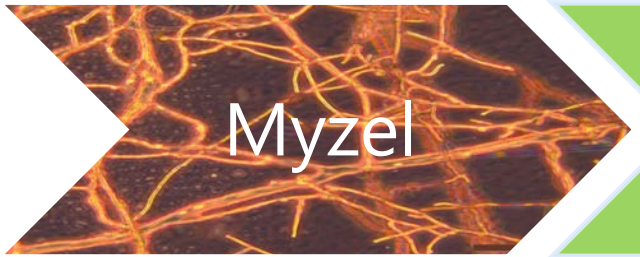
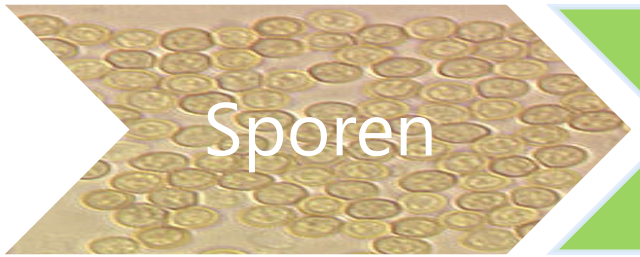
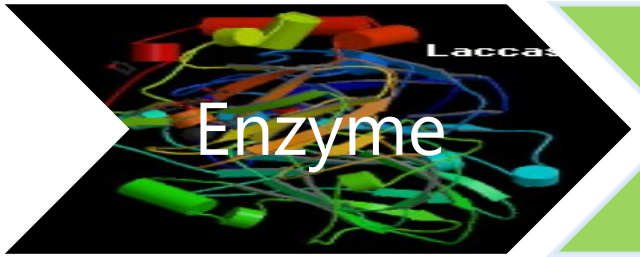






Empa
Materials Science and Technology

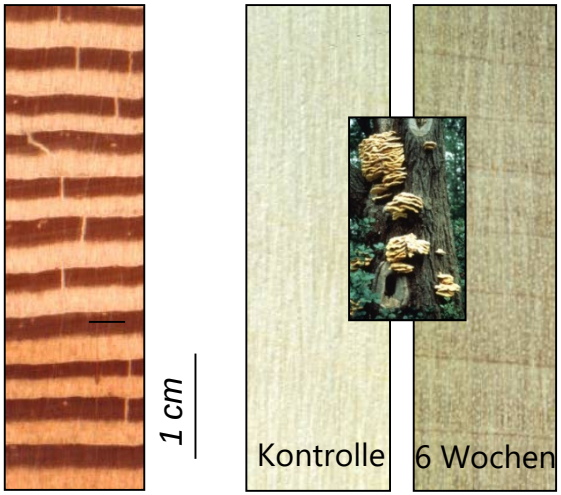
Biotechnologische Nutzung von Pilzen

Struktur/Stoffwechselprodukte	Verfahren	Produkte
 Myzel	Holzmodifikation	Biotech-Geige Akustikpanelen Bio-composites Dämmstoffplatten
 Sporen	Massgeschneiderte Antagonisten	Holzschutz Pflanzenstärkungsmittel
 Enzyme	Funktionalisierung der Holzoberfläche oder des Substrates	Faserdämmstoffplatten Antimikrobielles Holz
Polymere	Hybridmaterialien	UV-Schutz Wasseraufbereitung Organische Halbleiter

EMPA

Materials Science & Technology

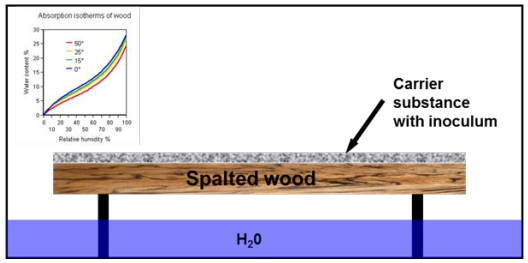
Jahrringanalysen

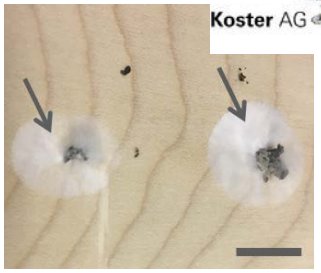


DeFlorio, Schwarze et al. (2005) Dendrochronologia 22, 123-130.

Spalted Holz

Monitoring of rH

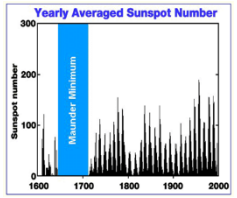




Schwarze et al. (2006) Holzforschung 54, 461-464.

Biologische Kontrolle

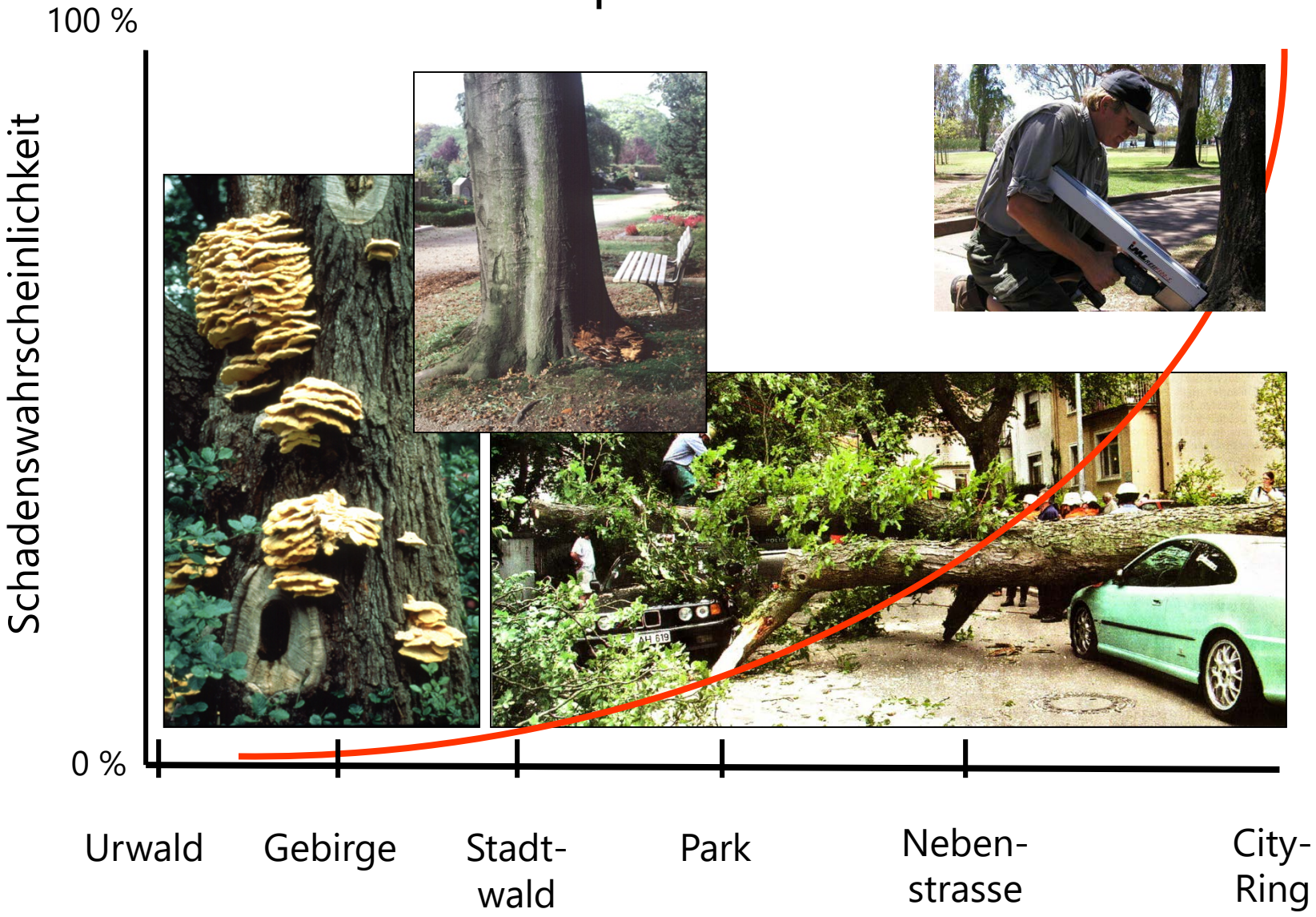
Vergütung von Klangholz



Schwarze et al. (2008) New Phytologist 179, 1095-1104.

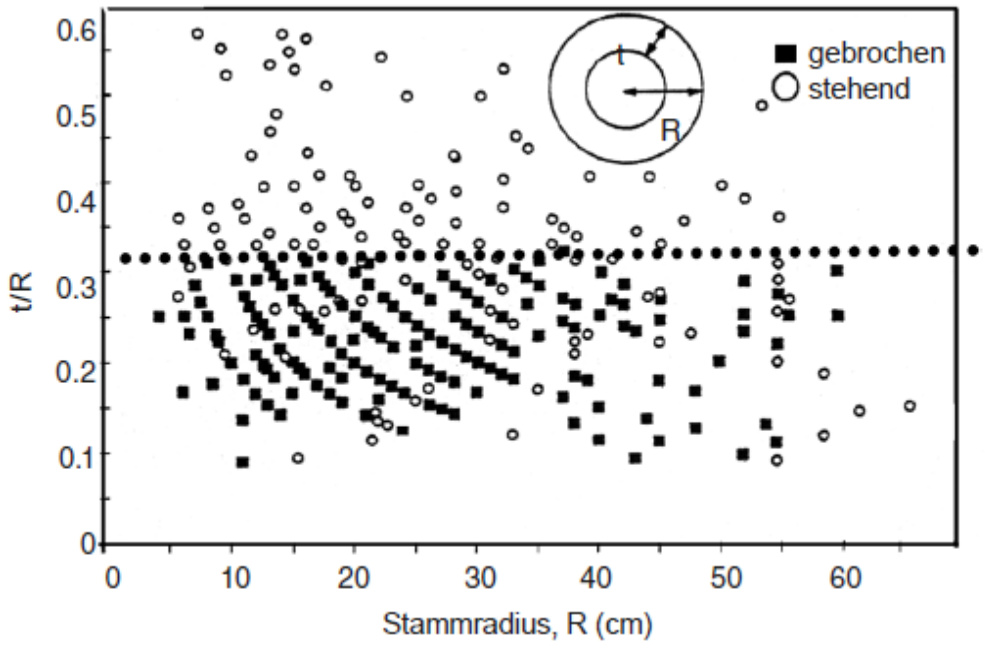
Empa
Materials Science and Technology

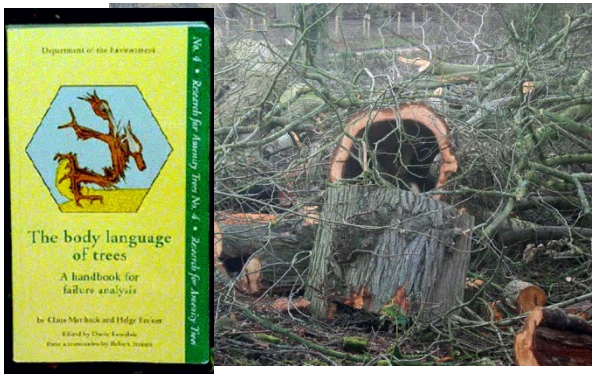
Schadenswahrscheinlichkeit auf unterschiedlich stark verkehrsexponierten Standorten



verändert nach Kucera & Niemz (1998)

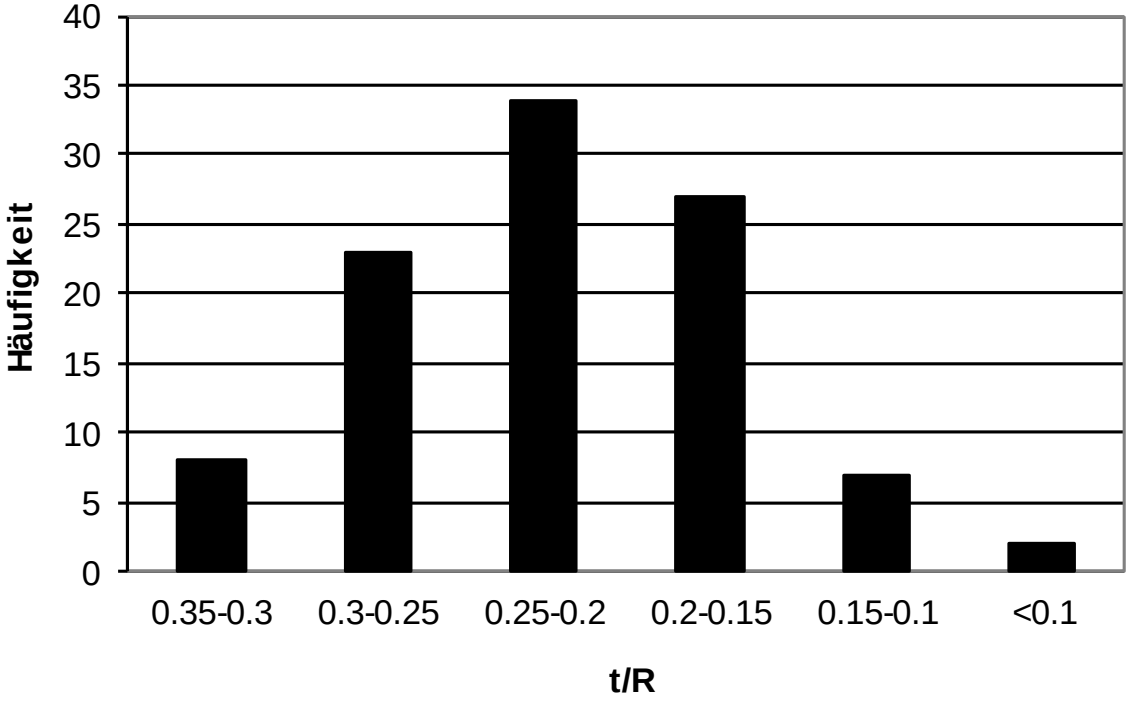
Restwandstärke t dividiert durch den Außenradius R als Verhältnis (t/R) aufgetragen über dem Baumaußenradius R.

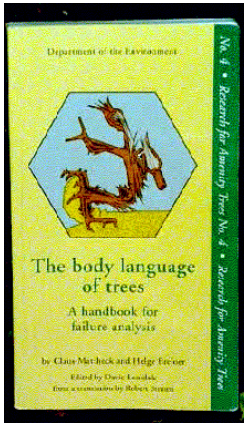




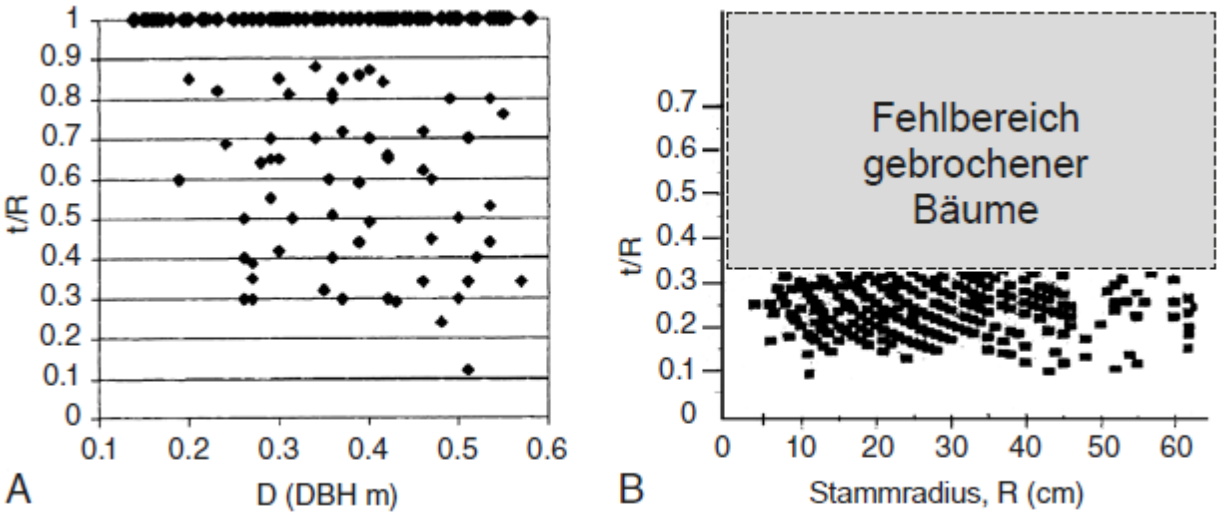
Schwarze Punkte: Gebrochene Bäume. Weiße Punkte hohle, aber noch nicht gebrochene Bäume. Mattheck & Breloer (1994).

Verteilung der Häufigkeitsklassen von 82 umgestürzten Bäumen in Abhängigkeit vom t/R . Mattheck et al. (2006).





Vergleich gebrochener Bäume aus Naturbeobachtungen. A: Untersuchungen von Gruber mit Schwerpunkt an Fichte (*Picea abies*) als Solitäre und Beständen mit t/R ≥ 0,12 und t/R≤ 1. B: Nach VTA an weltweiten Studien an vielen Baumarten, darunter auch Picea.



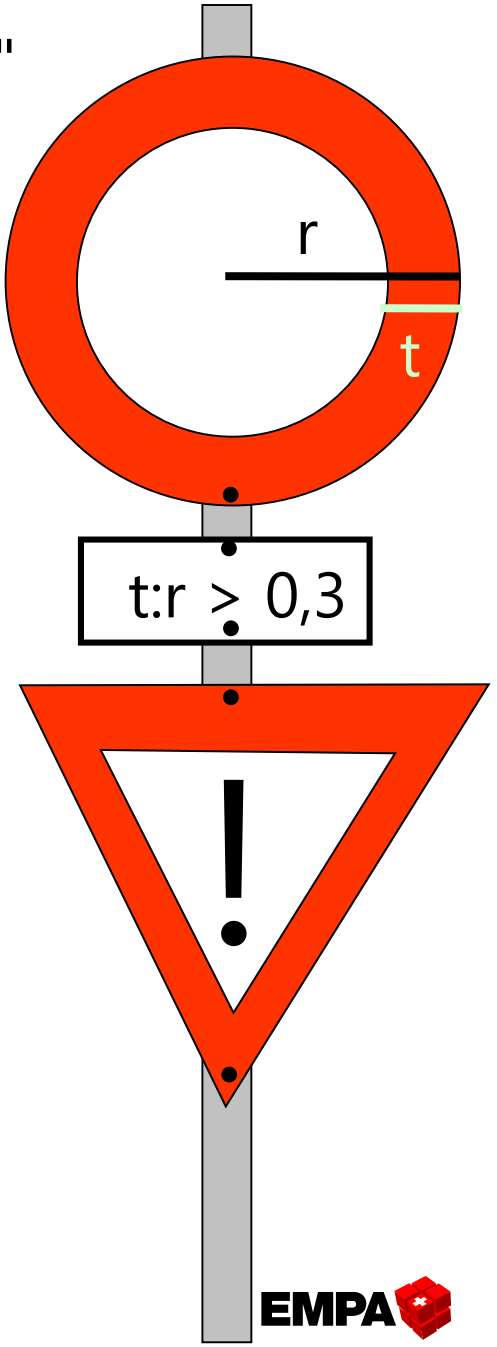
Aus Gruber (2007)

N.B.: Bemerkenswert ist das keine Bäume mit einer t/R ≥ 0,32 versagten.

Gültigkeit der "Ein-Drittel-Regel"

Gruber (2007) kommt zu dem Schluss, dass die "Ein-Drittel-Regel" wissenschaftlich weder gültig noch praktikabel ist und daher nicht für die Beurteilung der Bruchsicherheit von Bäumen verwendet werden sollte.

Das t/R-Verhältnis sollte nicht als Versagenskriterium verwendet werden.

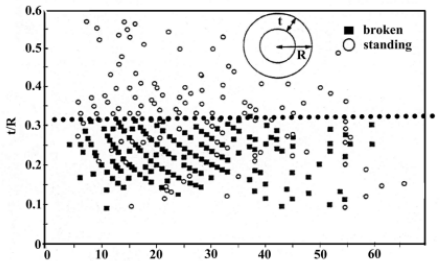


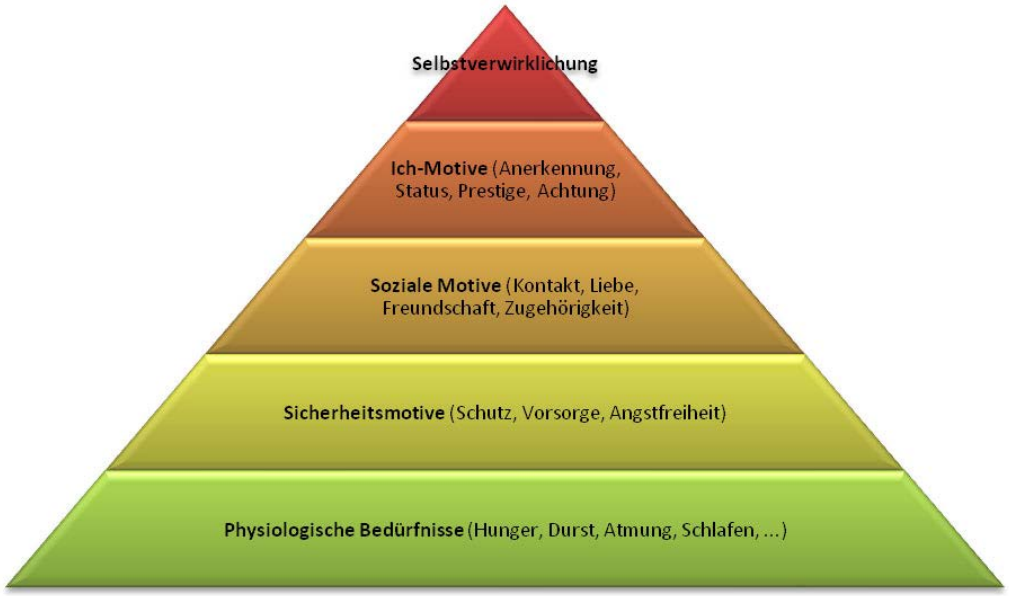
Gültigkeit der "Ein-Drittel-Regel"

- Bäume können eine weitreichende Holzersetzung tolerieren, ohne das von ihnen eine Gefahr für die Verkehrssicherheit ausgehen muss.

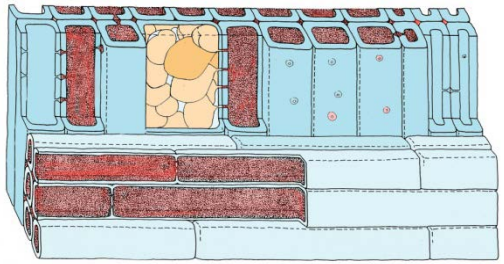
- Es besteht die dringende Notwendigkeit für ein einfaches Verfahren zur Ermittlung des Gefährdungspotentials von zersetzten Baumstämmen, welche keine komplexe Mathematik erfordert.

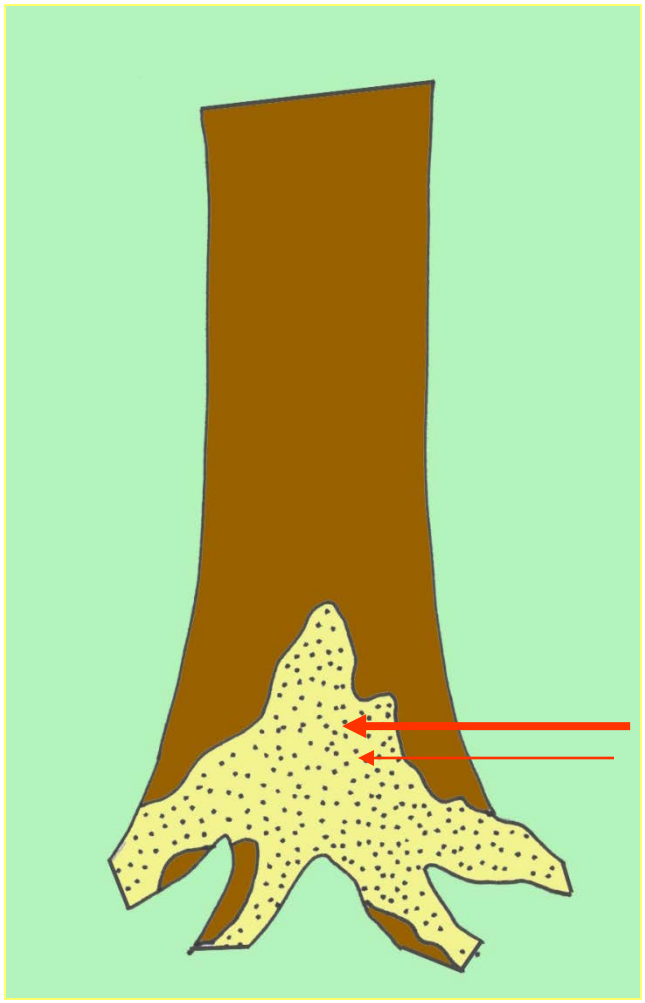
Die Maslow'sche Bedürfnispyramide





Sie ist eine sozialpsychologische Theorie des US-amerikanischen Psychologen Abraham Maslow. Sie beschreibt menschliche Bedürfnisse und Motivationen und versucht, diese zu erklären.





Kersten & Schwarze (2005). Arboric. Journal 29.

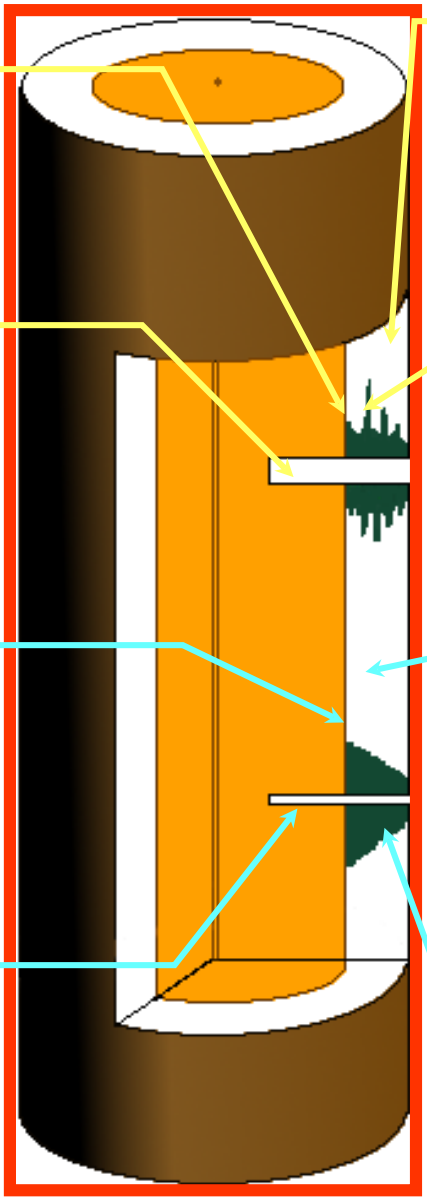
Pilze isoliert von Esche nach einer Verletzung mit dem Zuwachsbohrer und Resistograph

Reaktions zone:
Inonotus hispidus 95%

Zentrum:
Inonotus hispidus 31%
Botrytis spec. 12%
Aspergillus spec. 6%

Reaktionszone:
Inonotus hispidus 66%
Trichoderma spec. 5%
Stereum sanguinolentum 2%

Zentrum:
Inonotus hispidus 16%
Gliomastix spec. 8%
Pulcherricium caeruleum 8%



Splintholz:
Fusarium spec. 7%
Alternaria spec. 5%
Botrytis spec. 5%

Verfärbtes Holz:
Inonotus hispidus 37%
Polyporus squamosus 5%
Fusarium spec. 10%

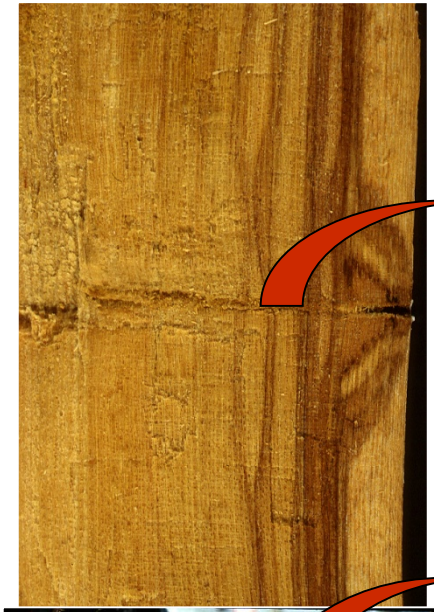
Splintholz:
Polyporus squamosus **6%**

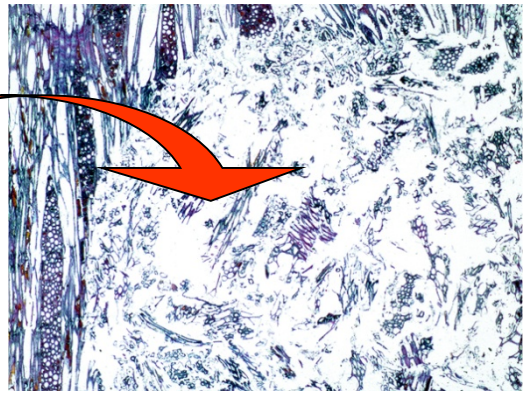
Verfärbtes Holz:
Inonotus hispidus 72%

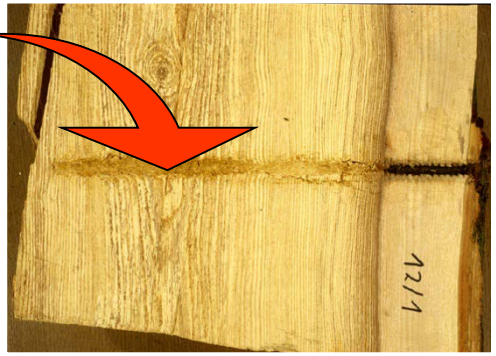
Kersten & Schwarze (2005). Arboric. Journal 29.

EMPA
Materials Science & Technology

Einfluss von Bohrungen auf die vorherrschenden Bedingungen im Holz







Sauerstoffgehalt in einen Eichenstamm (Jensen, 1969):

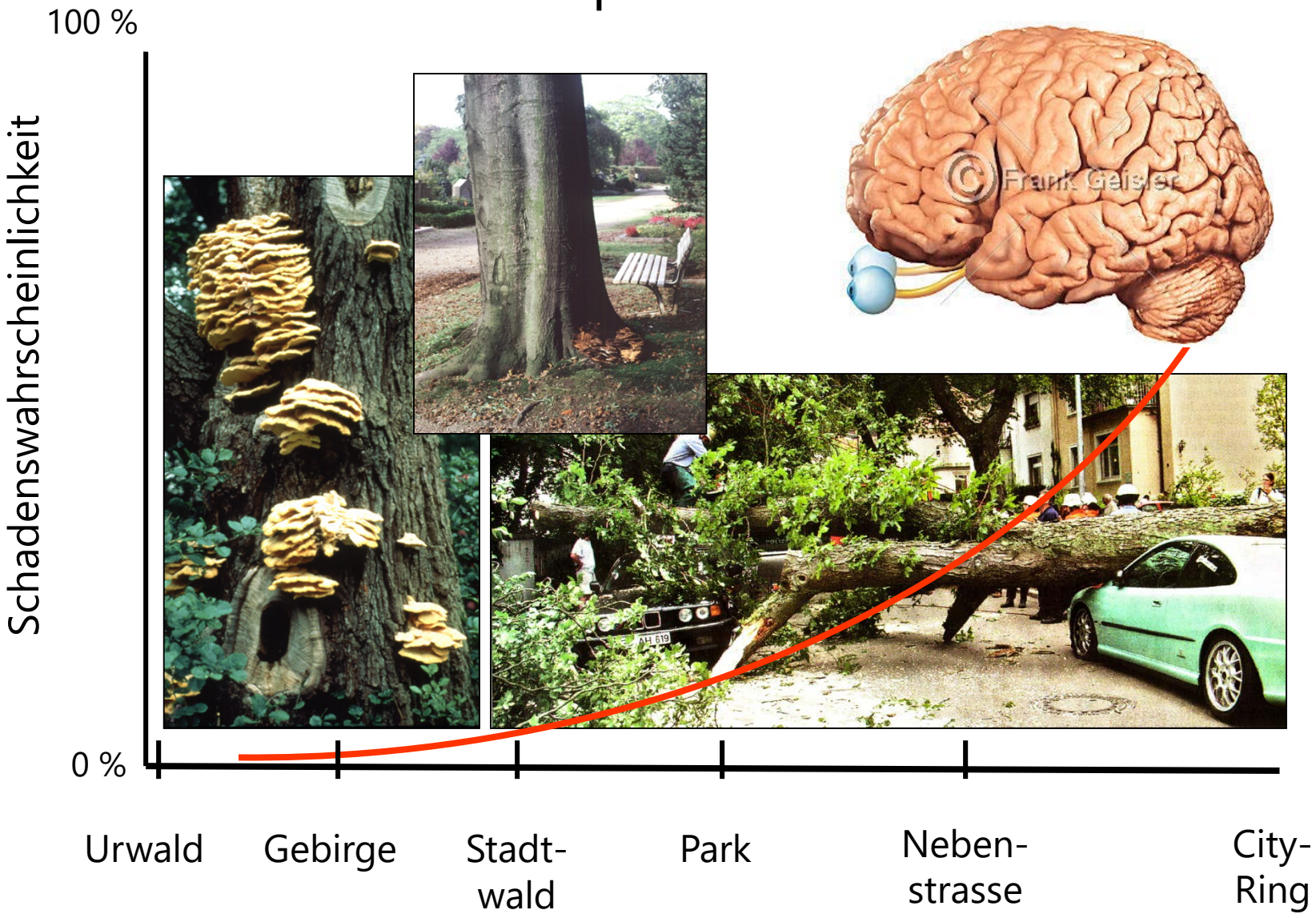
CO_2 - Gehalt 15 - 20 %
(Luft: 0,03 %)

O_2 - Gehalt 1 - 4 %
(Luft: ca. 30 %)

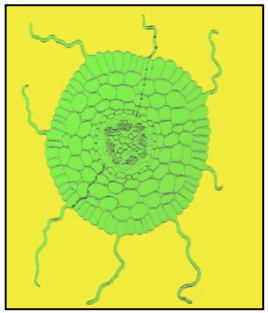
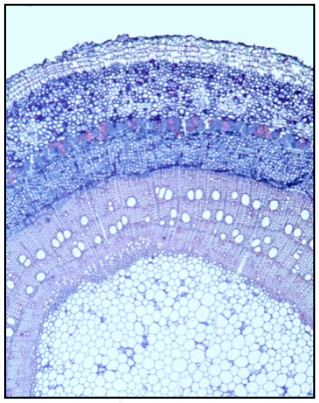
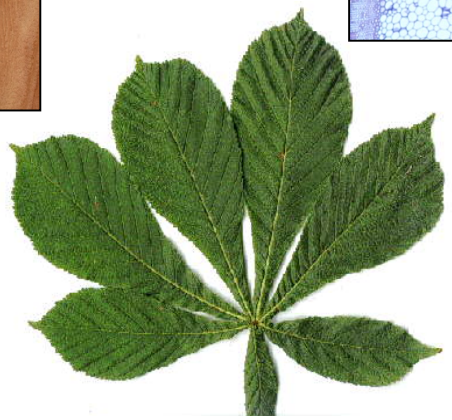
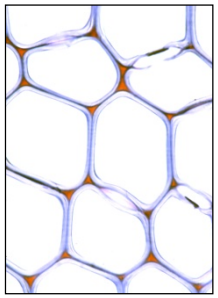
Kersten & Schwarze (2005). Arboric. Journal 29.

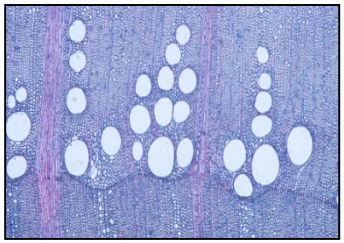
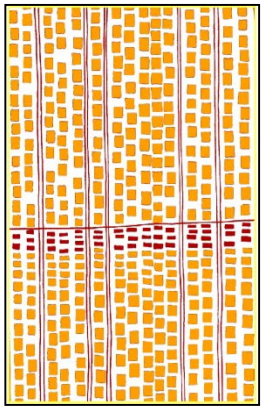
EMPA
Materials Science & Technology

Schadenswahrscheinlichkeit auf unterschiedlich stark verkehrsexponierten Standorten

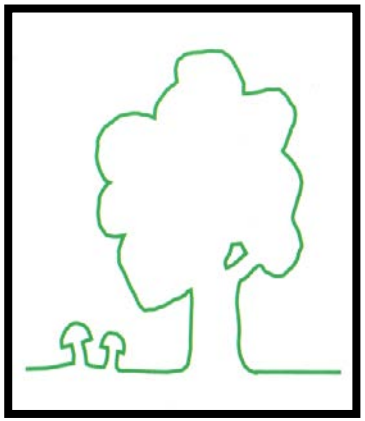


verändert nach Kucera & Niemz (1998)

Modul 1



Biologie

Holzanatomie

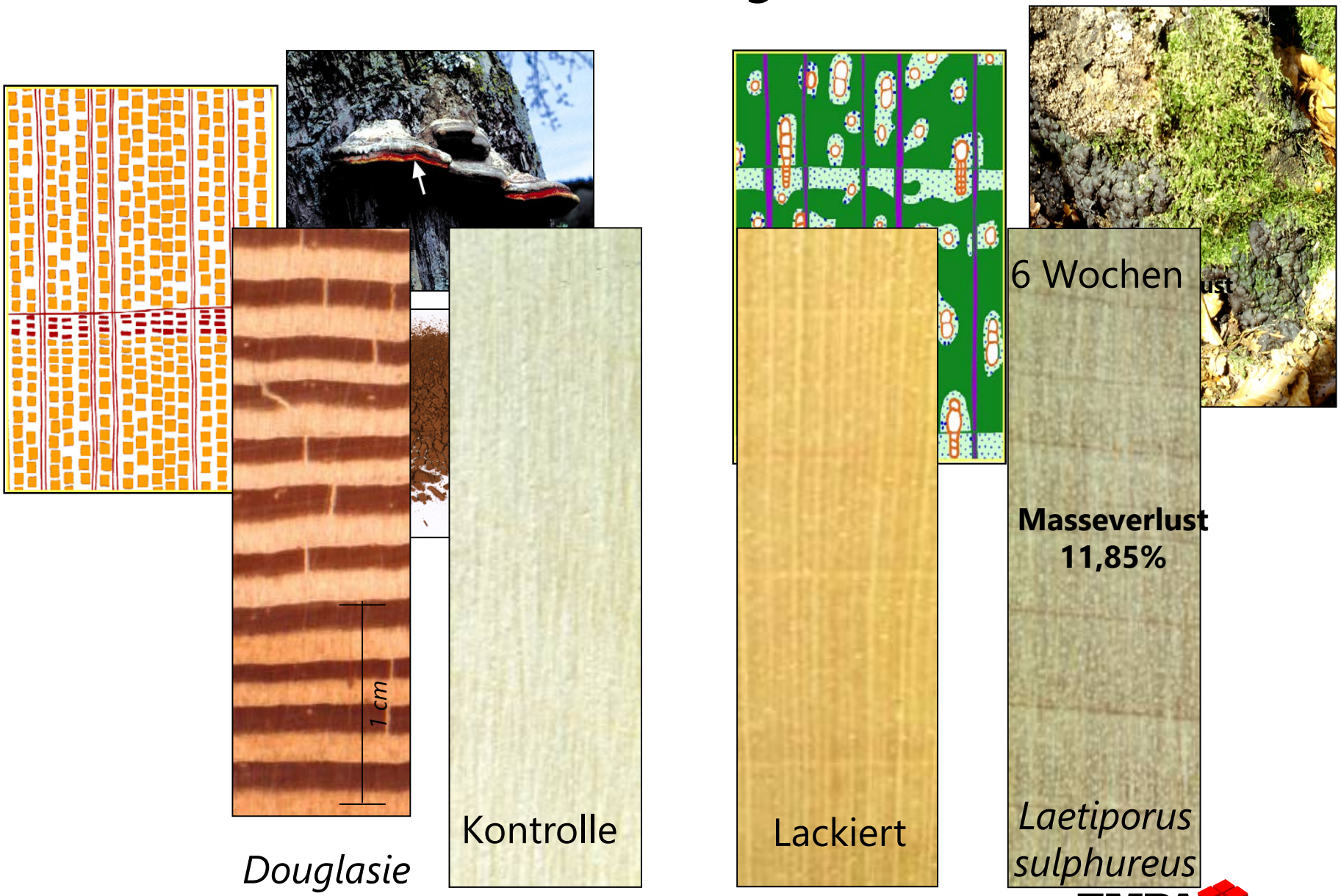
Mikroskopie

Wasserleitsystem

EMPA

Materials Science & Technology

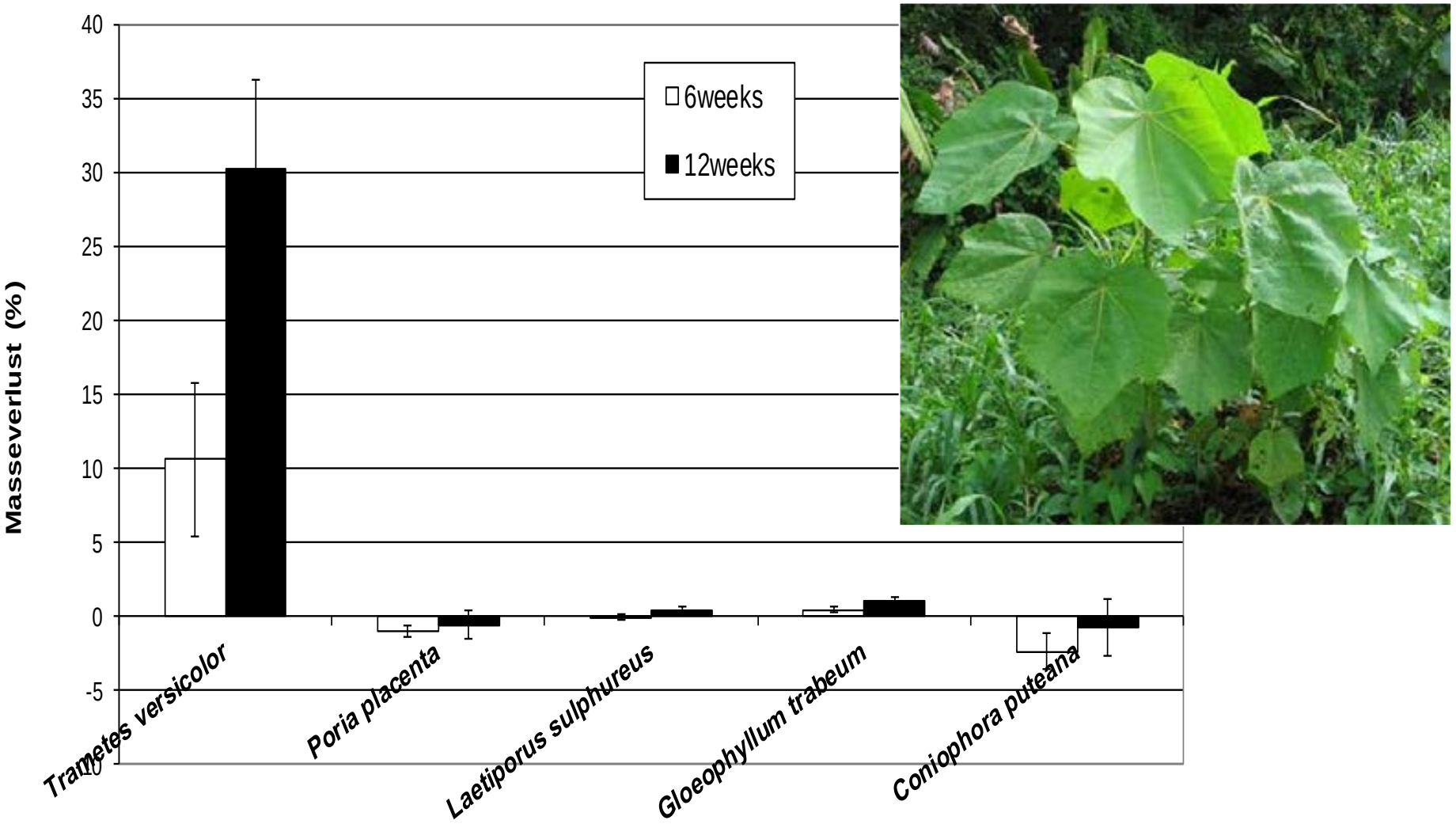
Nachweis von Jahrringen mit Pilzen



DeFlorio & Schwarze (2005). Dendrochronologia 22, 123-130.

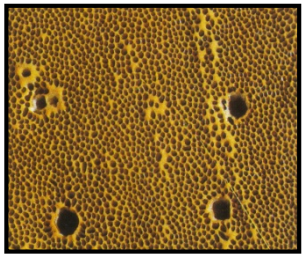
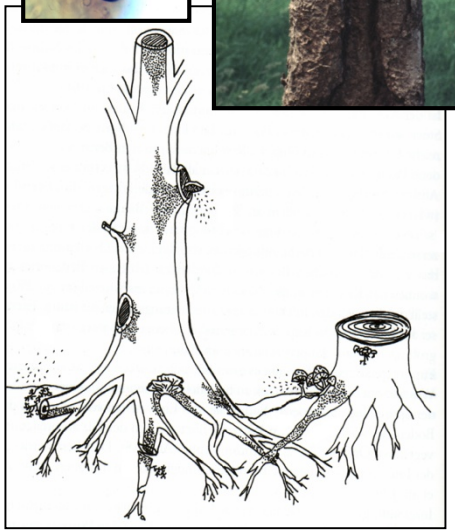
EMPA
Materials Science & Technology

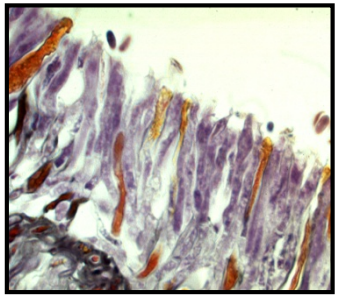
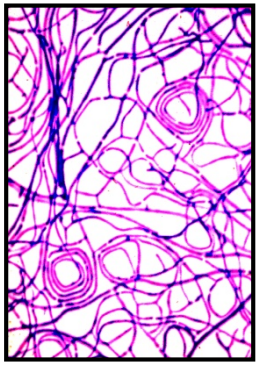
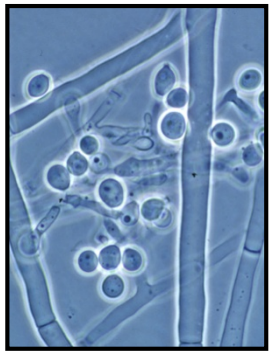
Masseverlust in Balsaholz durch Braun- und Weissfäuleerregern (n=10)



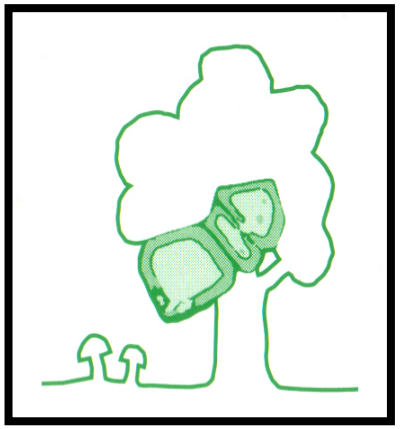
Schwarze, F.W.M.R., DeFloroio G., Fink, S. (2003). Mycological Progress 2, 267-274.

EMPA
Materials Science & Technology

Modul 2



Biologie

Enzyme

Identifikation

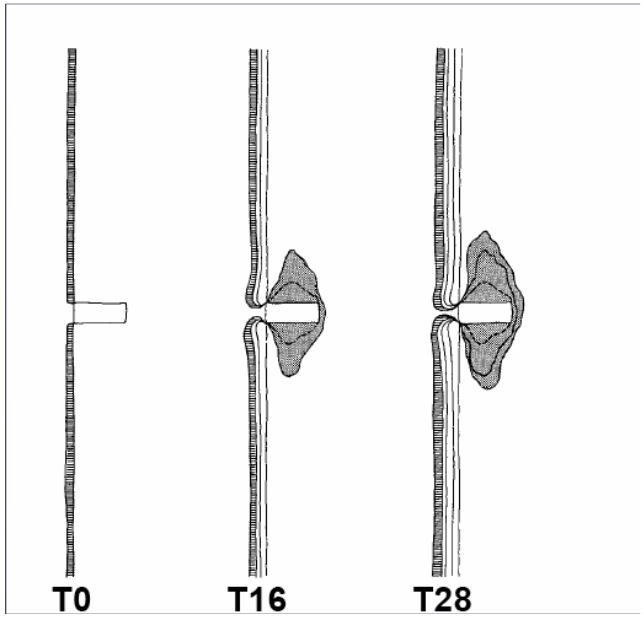
Eintrittspforten

EMPA

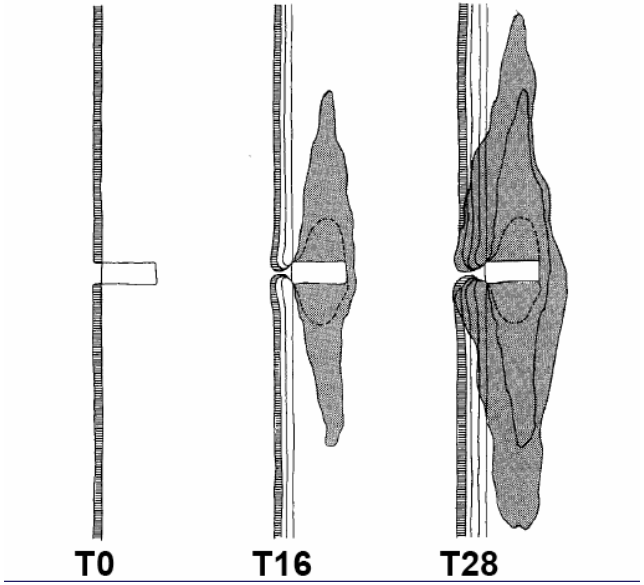
Materials Science & Technology

Inokulationsstudien mit Pilzen an lebenden Bäumen

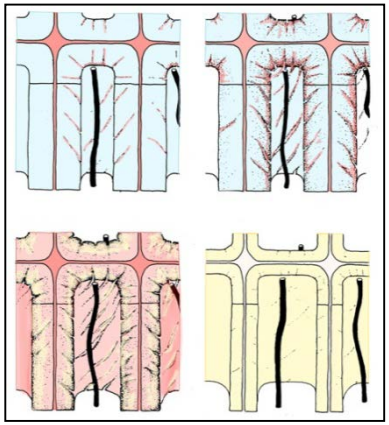
Saprophyten

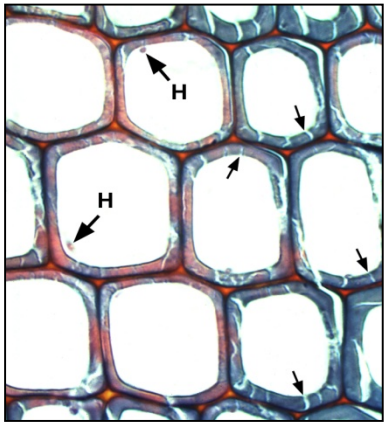


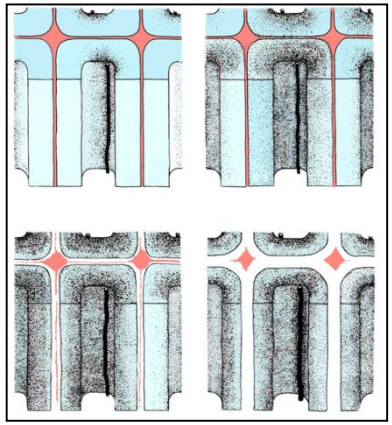
Fakultative Parasiten

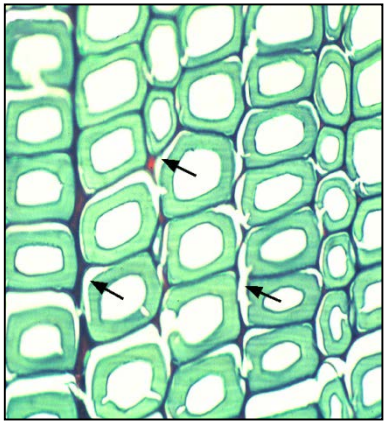


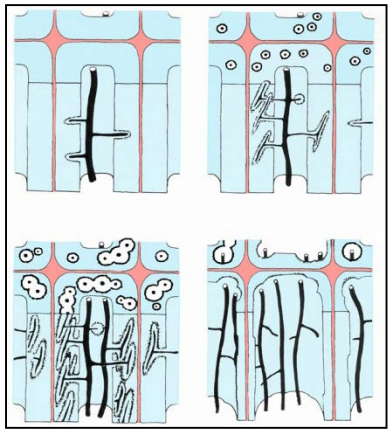
Deflorio, G., Johnson, C., Fink, S., Schwarze, F.W.M.R. (2008). Forest Ecology and Management 255, 2373-2383.

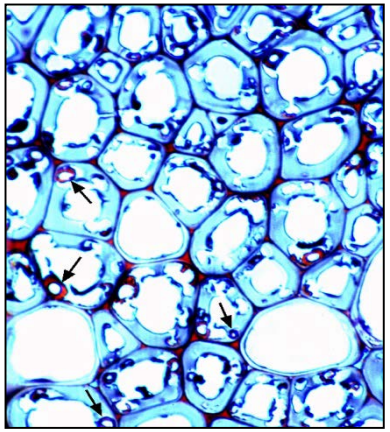




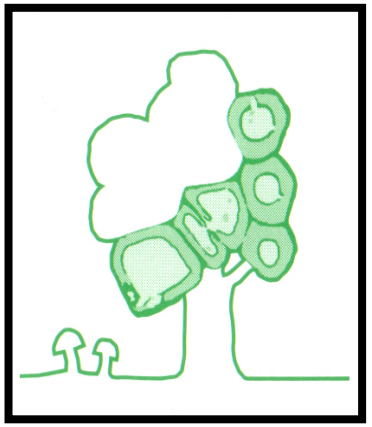








Modul 3



Aufbau der Zellwand

Fäuleerreger

Holzzersetzungsmuster

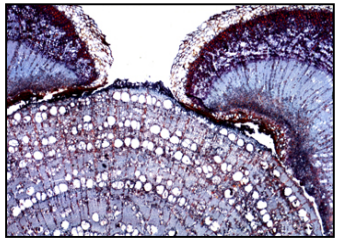
Einfluss auf die mech. Eigenschaften

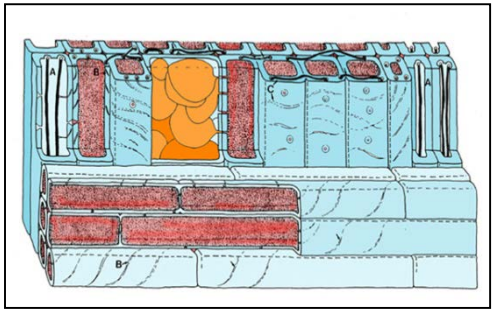
EMPA

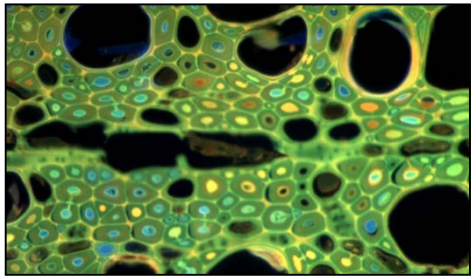
Materials Science & Technology

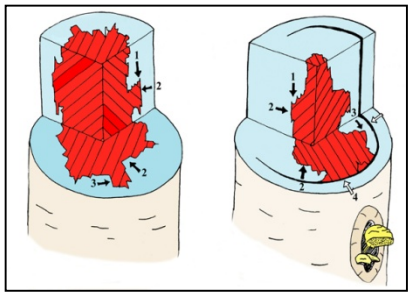
Leberpilz (*Fistulina hepatica*)

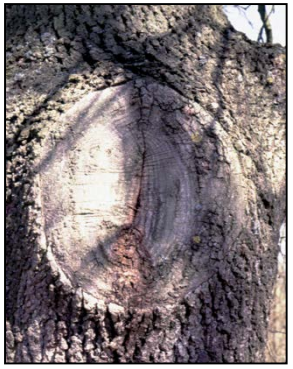
Schwarze, F.W.M.R., Baum S., Fink, S. (2000). Mycological Research 104, 846-852.

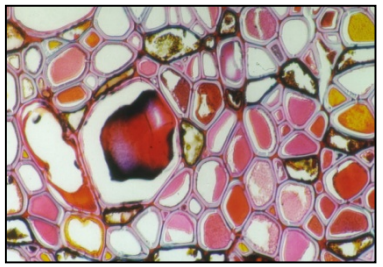




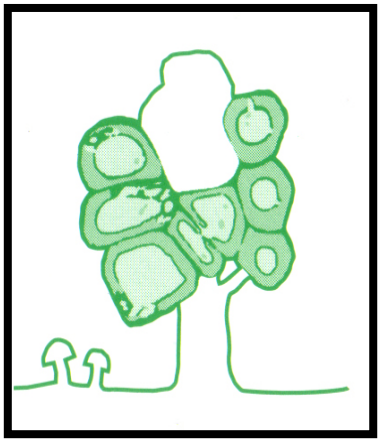








Modul 4



CODIT

Angriff und Abwehr im Baum

Reaktionszonen

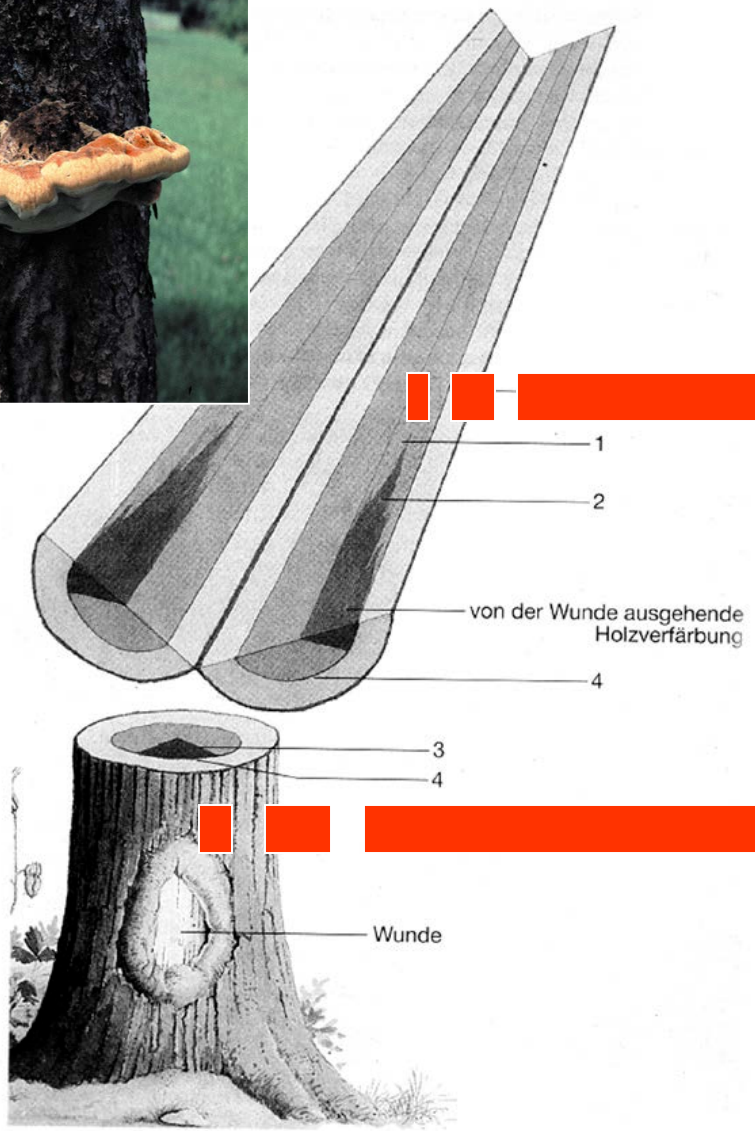
Barrierezonen

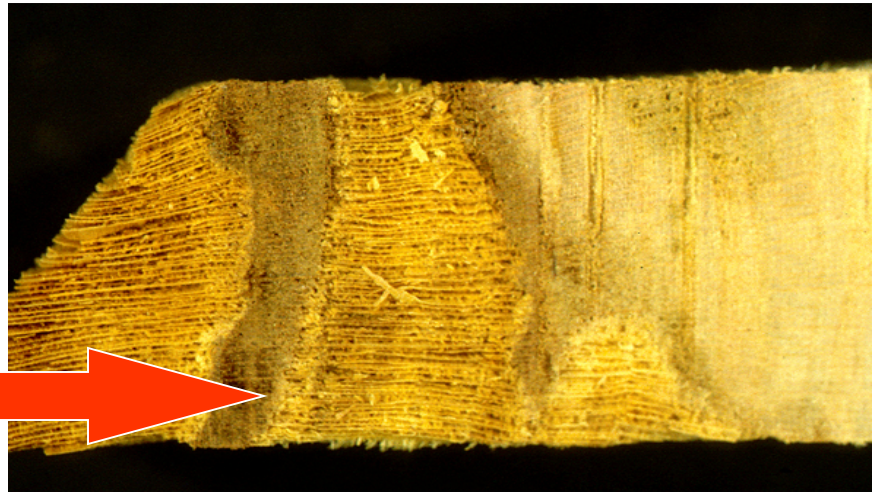
Fäuledynamik

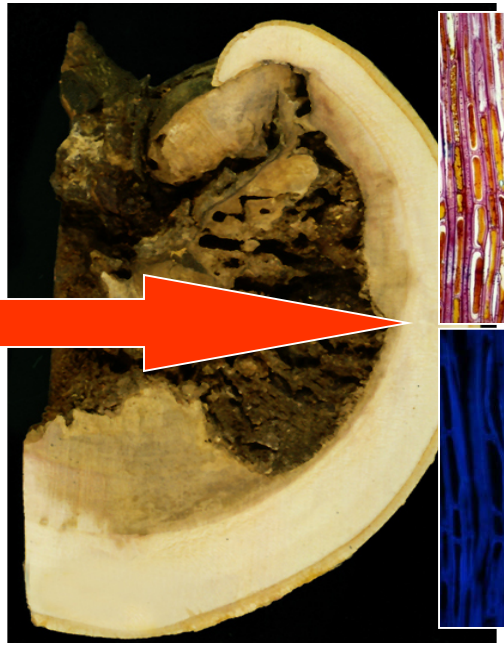
EMPA

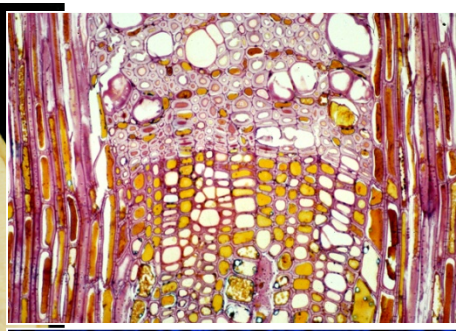
Materials Science & Technology

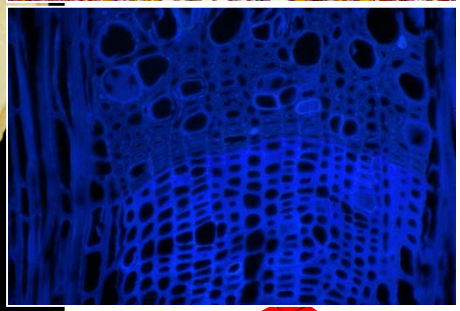
Reaktionszonen und Barrierezonen







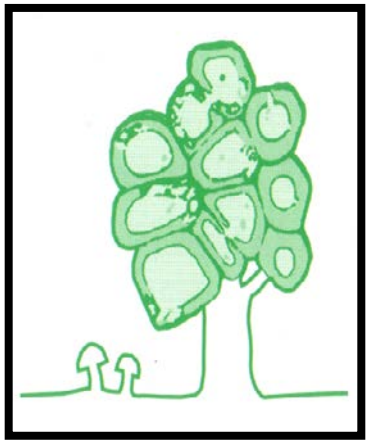




EMPA

Materials Science & Technology

Modul 5



Möglichkeiten und Grenzen von Diagnosemethoden

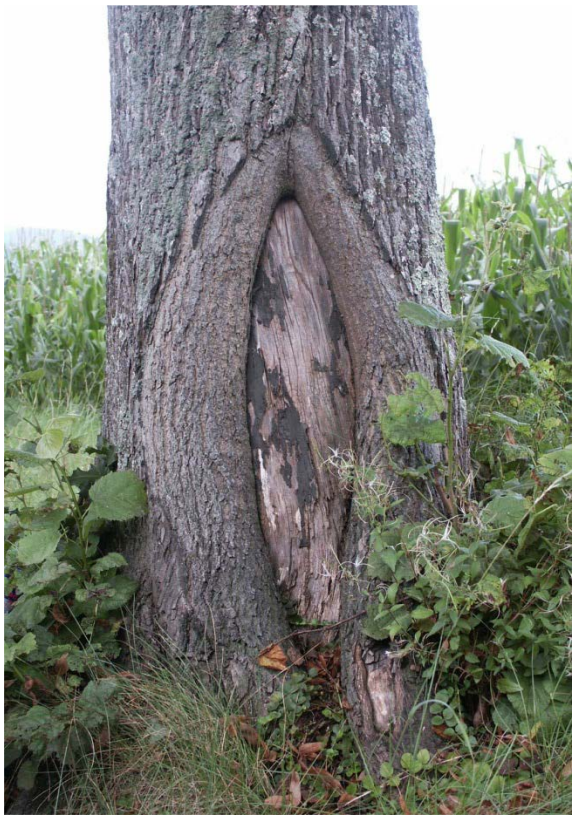
Kompensations-wachstum

Baumvitalität

EMPA

Materials Science & Technology

Sind Stammwunden Eintrittspforten für holzzersetzende Pilze?



? %

? %

? %

Tilia platyphyllos

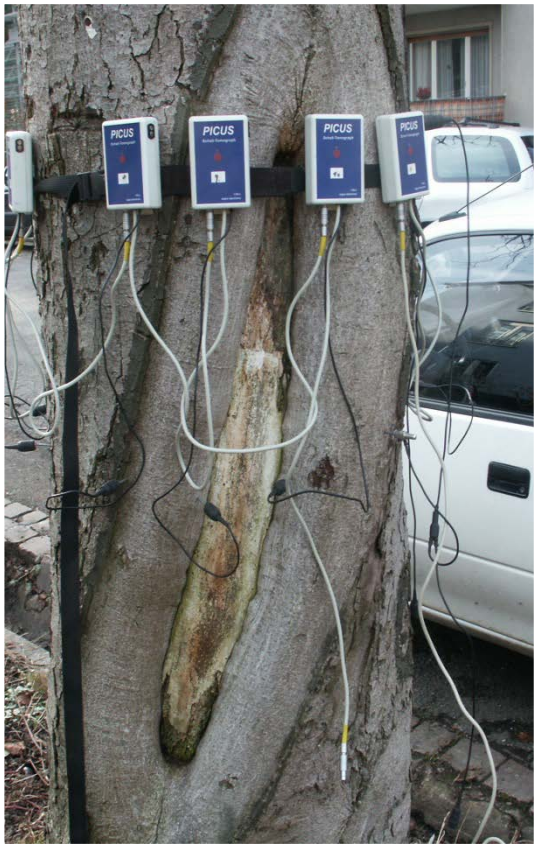
EMPA

Materials Science & Technology

Sind Stammwunden Eintrittspforten für holzzersetzende Pilze?

? %

? %



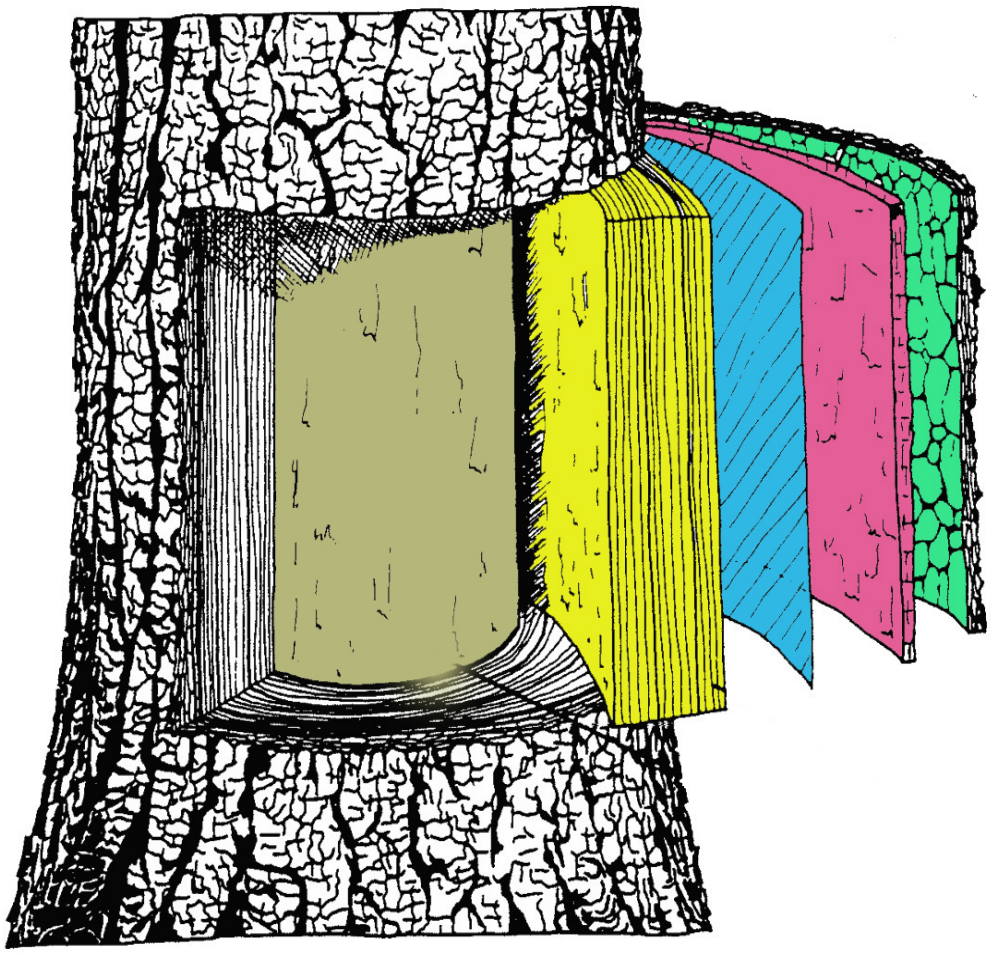
? %

Aesculus hippocastanum

EMPA

Materials Science & Technology

Geweben des Baumes



Kernholz

Splintholz

Kambium

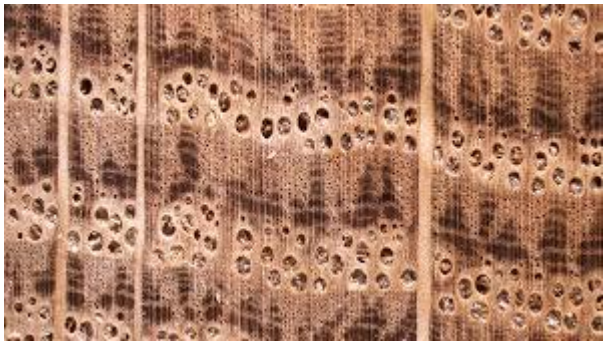
Bast

Borke/Rinde

Nadelholz

Fichte

Ringporiges Holz



Eiche

Zerstreutporiges Holz

Bergahorn

Ringporiges Holz

Die Gefäße haben unterschiedlich große Durchmesser, weitlumige treten vorrangig im Frühjahr auf z.B. Eiche.

Zerstreutporiges Holz

Die Gefässe im Früh- und Spätholz besitzen einen ähnlichen Durchmesser z.B. Buche.

Halbringporiges Holz

Zwischenstellung zwischen ring- und zerstreutporig; die Gefäße im Frühholz sind nur wenig größer als im Spätholz, z.B. Nußbaum und Kirschbaum.

EMPA

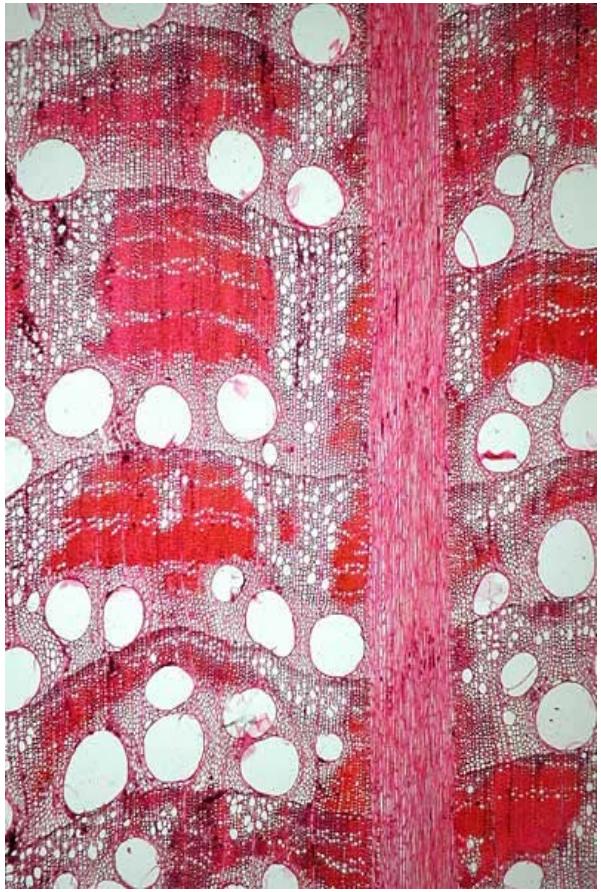
Materials Science & Technology

Mikroskopische Merkmale des Laubholzes

Tangentiale Anordnung der Spätholz-Gefässe

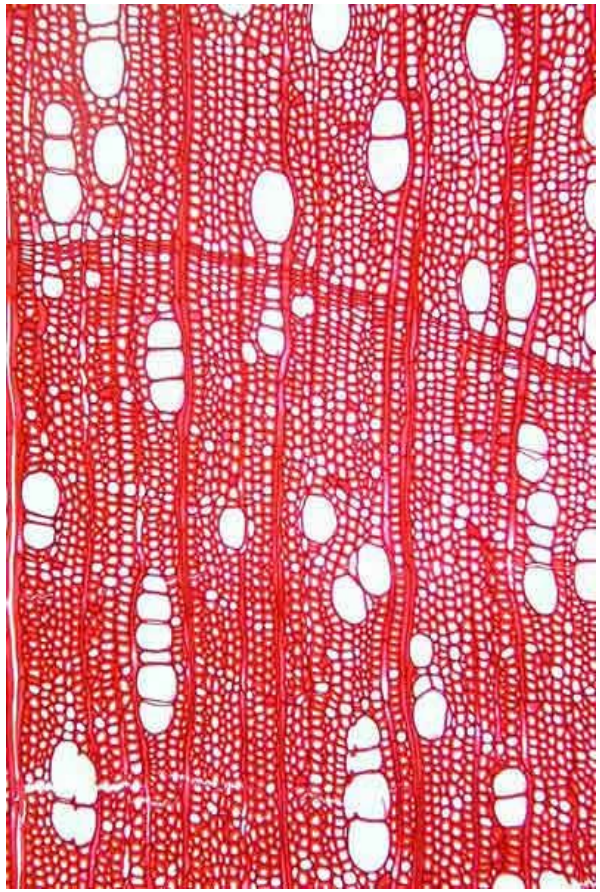
Ulmus scabra

Radiale Anordnung der Spätholz-Gefässe



Quercus robur

Radiale Anordnung von Gefässgruppen

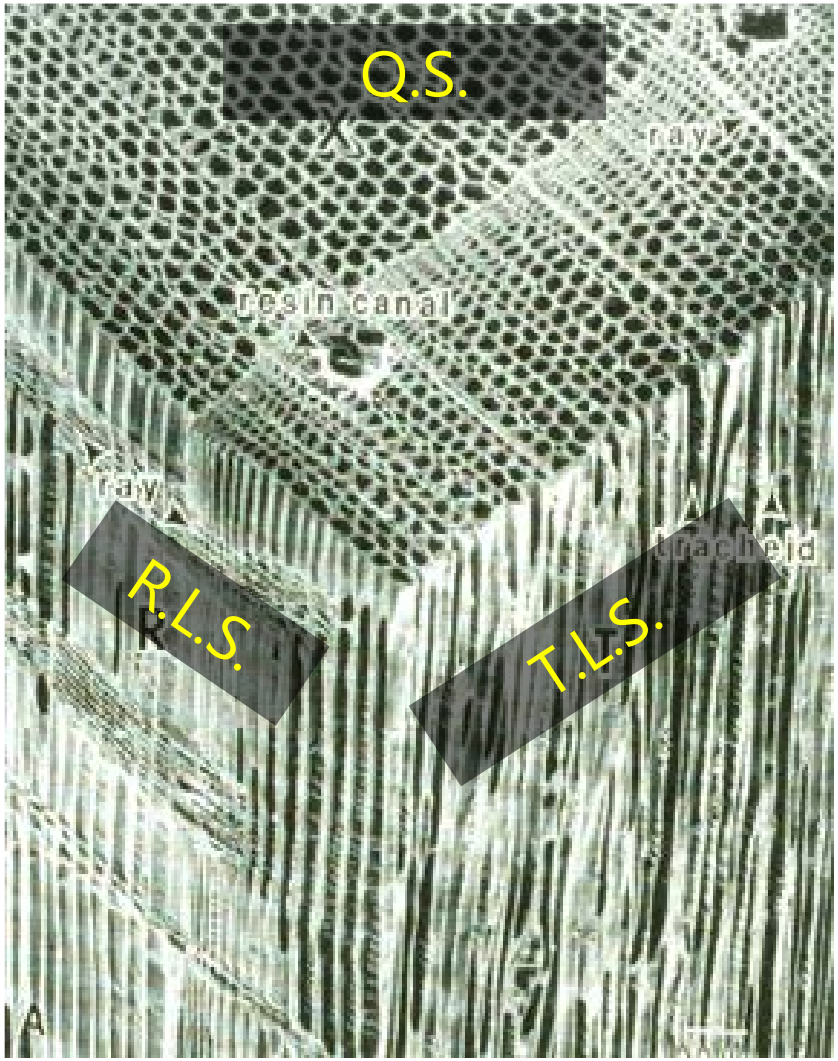


Carpinus betulus

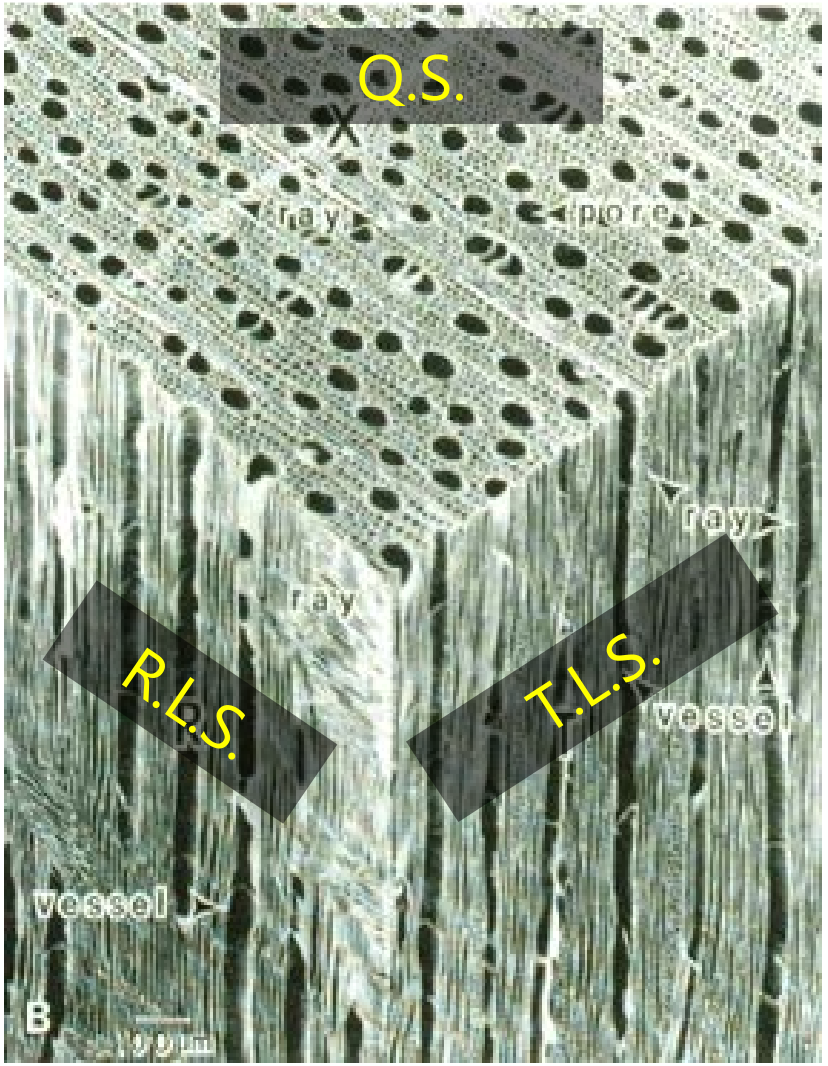
EMPA

Materials Science & Technology

Nadel- und Laubholz



Nadelholz

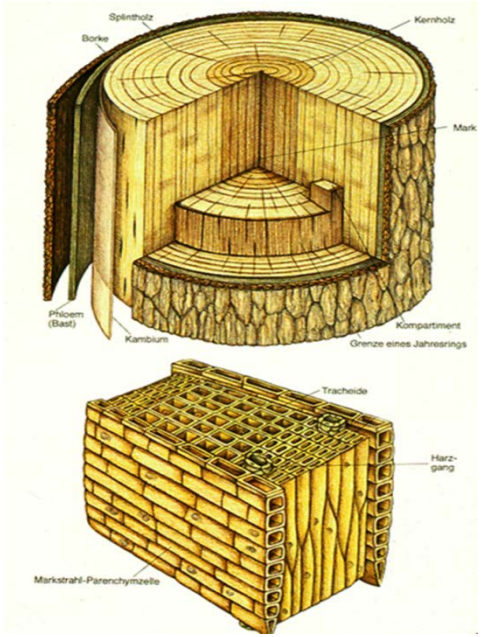


Laubholz

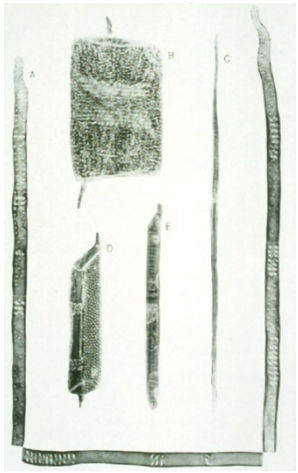
EMPA

Materials Science & Technology

Mikroskopische Merkmale des Holzes



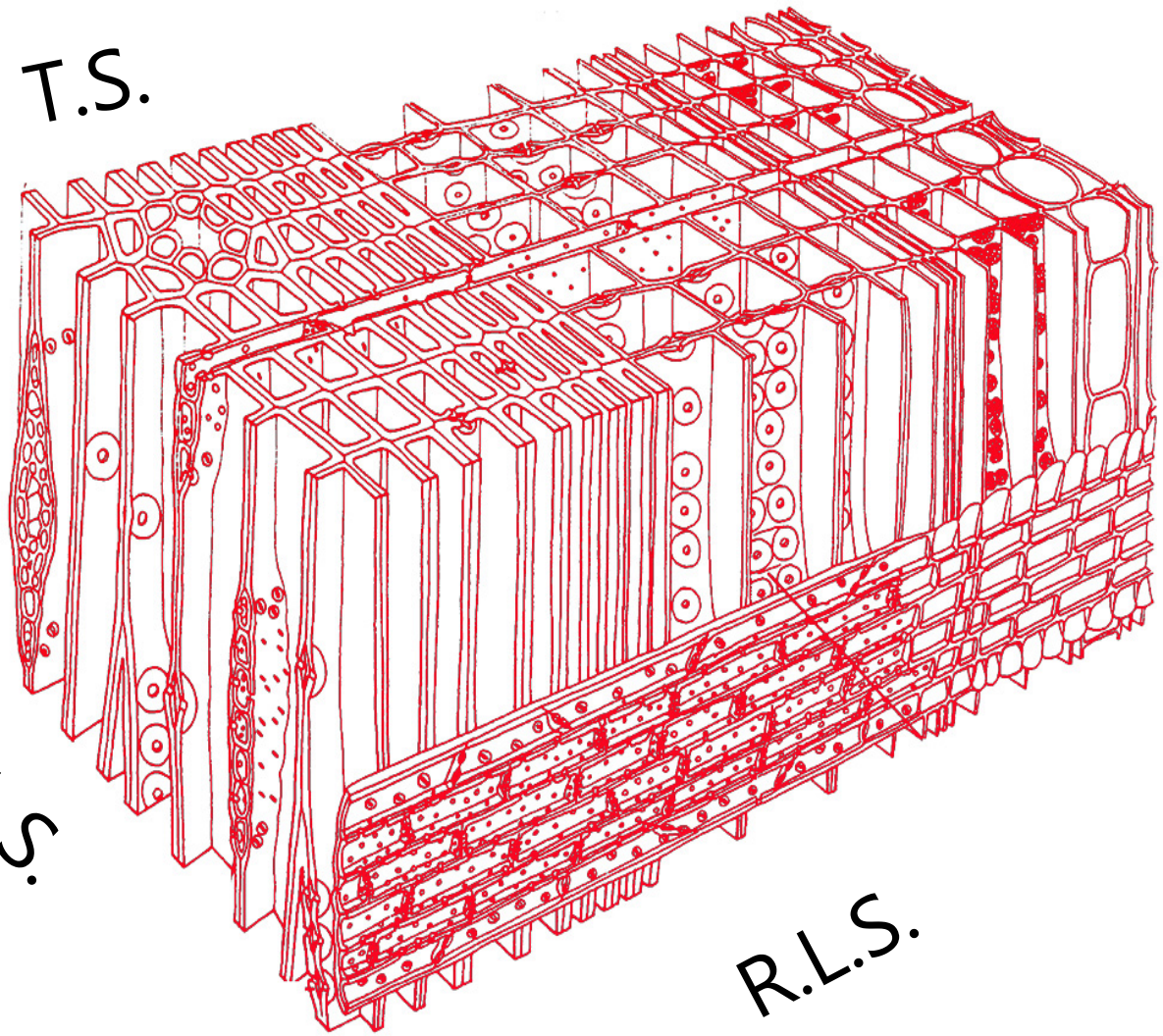
Cell types



T.S.

T.L.S.

R.L.S.

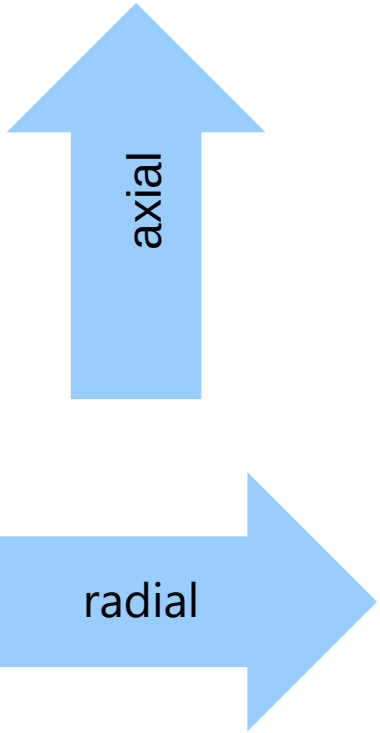


EMPA

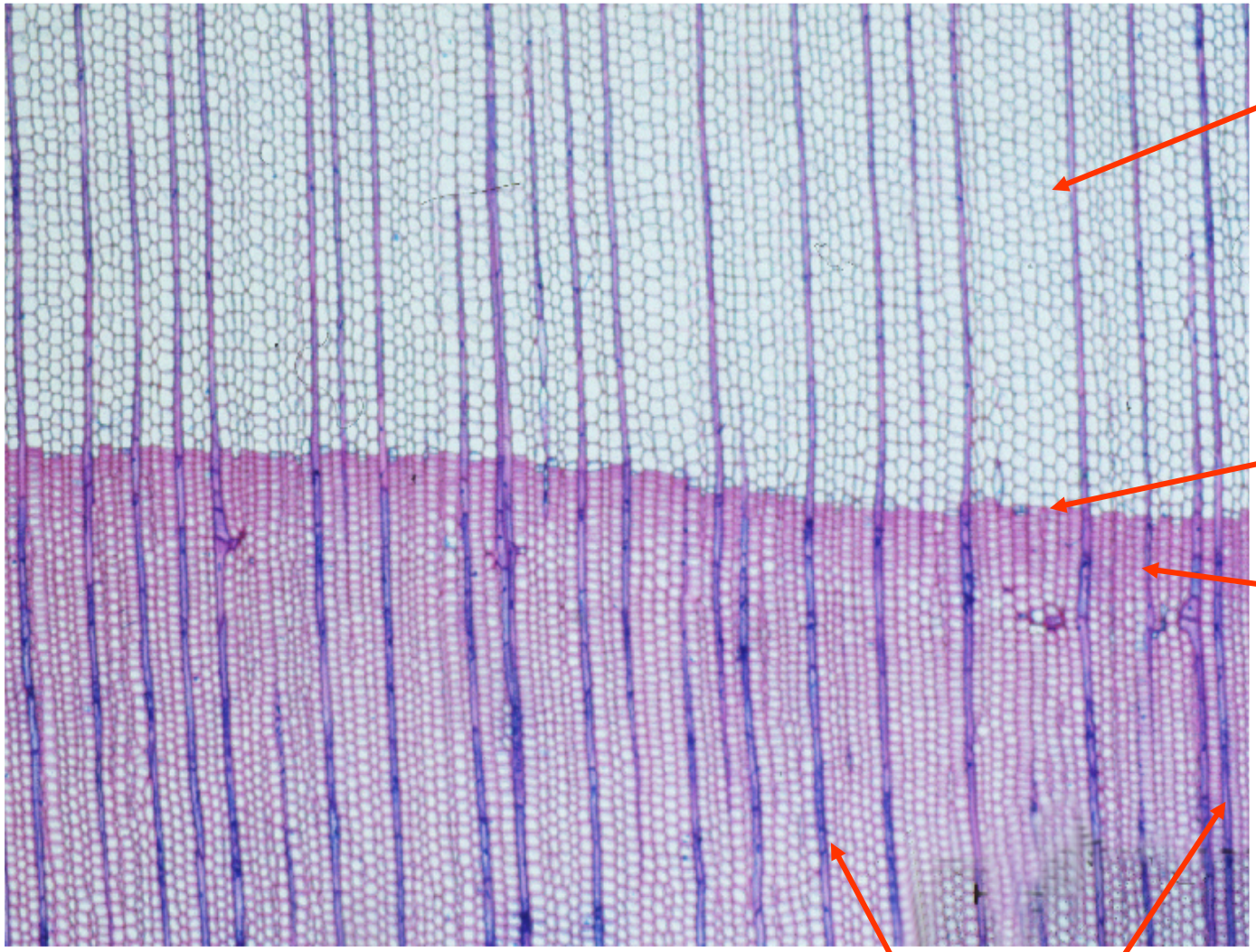
Materials Science & Technology

Nadelholzzellen

Zellarten	Hauptfunktion	Ausrichtung
Längstracheiden		
Frühholztracheiden	Wasserleitung	
Spätholztracheiden	Festigung	
Längsparenchym	Speicherung	
Epithelzellen	Harzausscheidung	
(vertikaler Harzkanäle)		
Quertracheiden	Wasserleitung	
Strahlenparenchym	Speicherung	
Epithelzellen (horizontaler Harzkanäle)	Harzausscheidung	



Nadelholz (*Abies alba*)



Frühholz-
tracheiden

Jahrringgrenze

Spätholz-
Tracheiden

Holzstrahlen

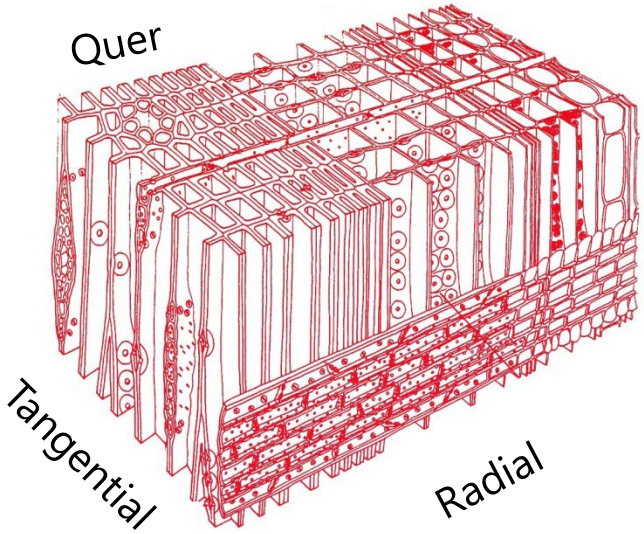
EMPA

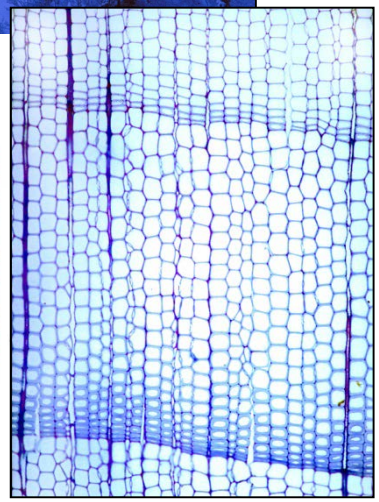
Materials Science & Technology

Fichte und Tanne: Brotbäume der Schweiz

- Holz besitzt gute Festigkeitseigenschaften, allerdings ist es - im unbehandelten Zustand – nicht sehr dauerhaft und widerstandsfähig gegen hohe Beanspruchungen.

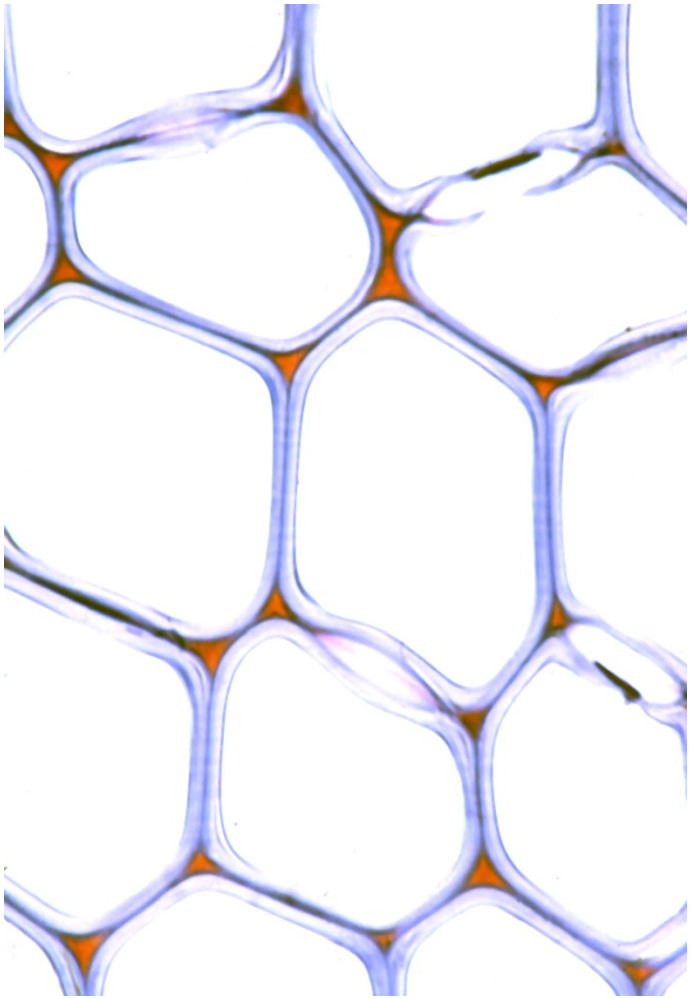
- Holz lässt sich nur unzureichend mit Holzschutzmitteln tränken. Das schränkt den Einsatz der beiden Holzarten zum Beispiel als Bauholz im Aussenbereich massiv ein.

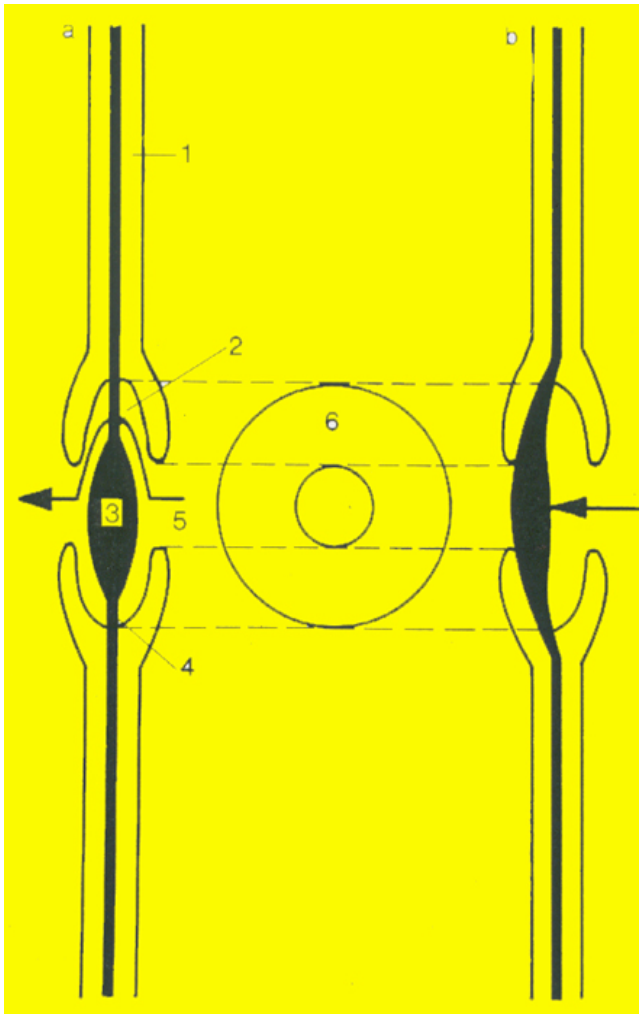




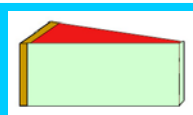
EMPA
Materials Science & Technology

Hoftüpfel einer Tracheide

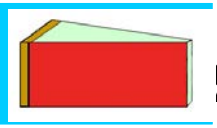




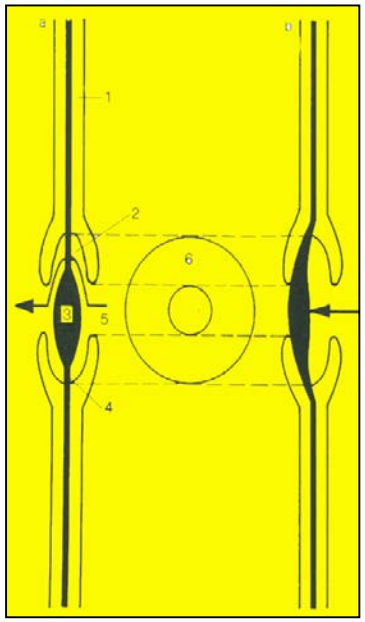
Querschnitt

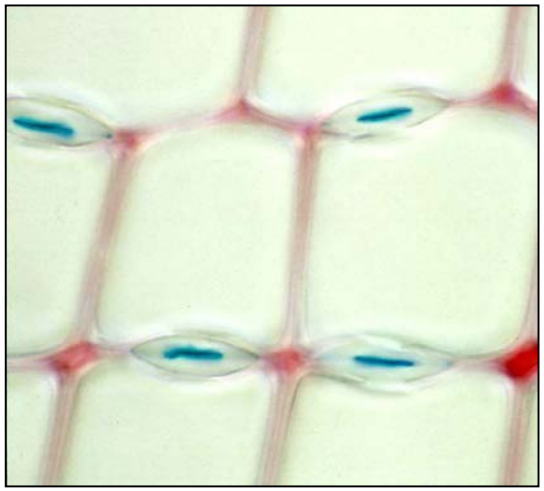


Radialschnitt

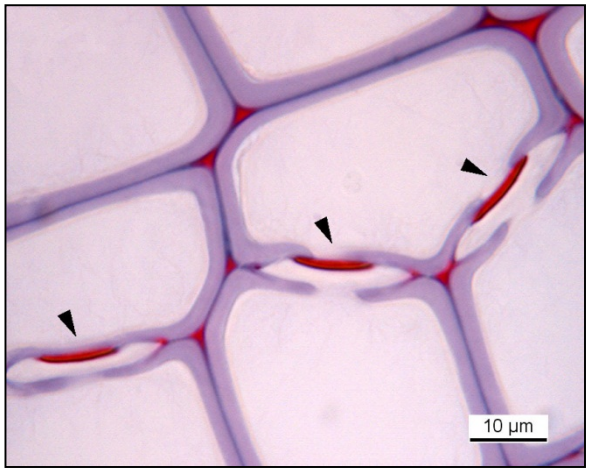


Hoftüpfelverschluss

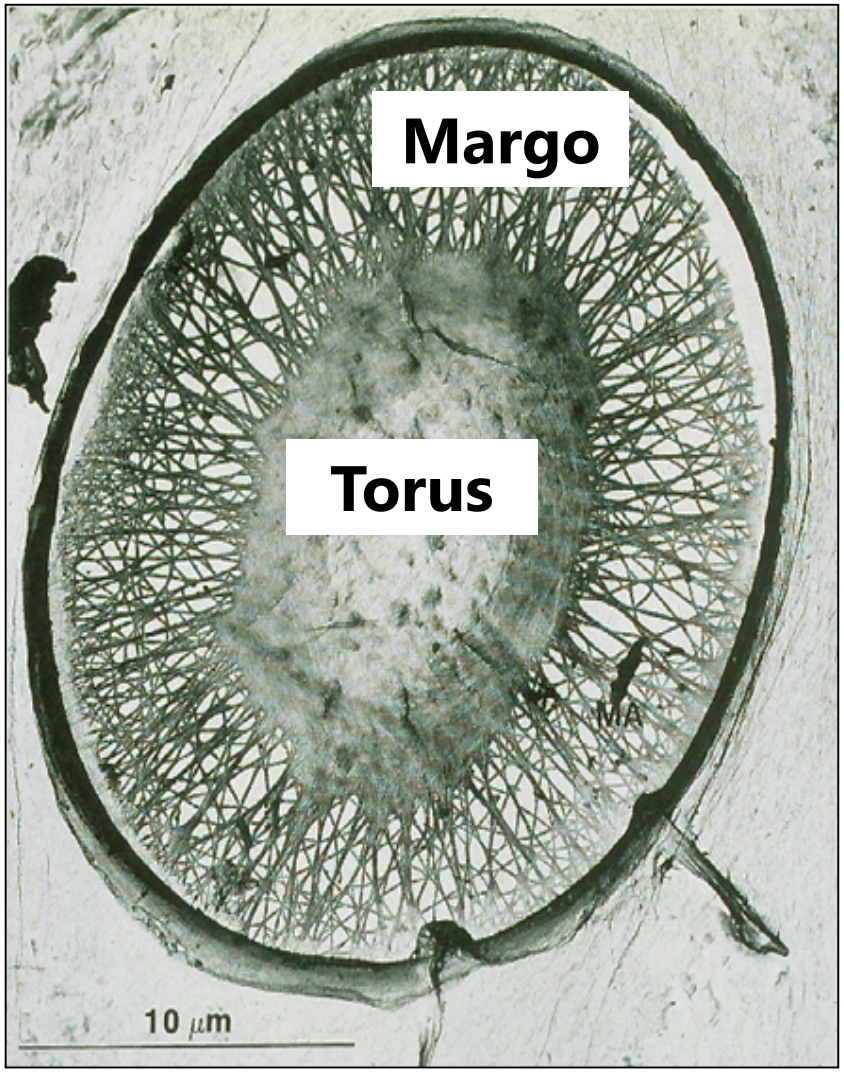




Splintholz



Kernholz



EMPA
Materials Science & Technology

Hoftüpfelverschluss

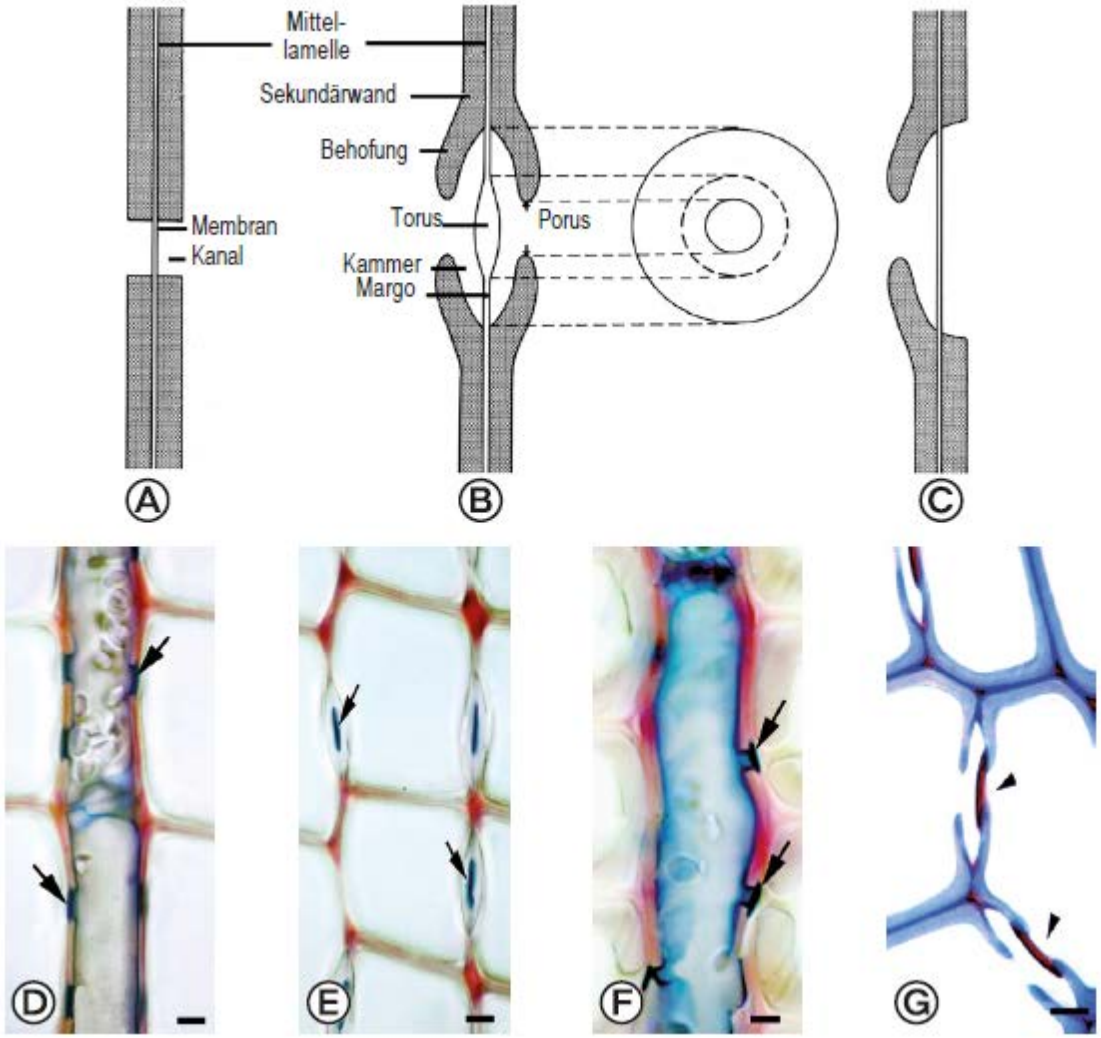
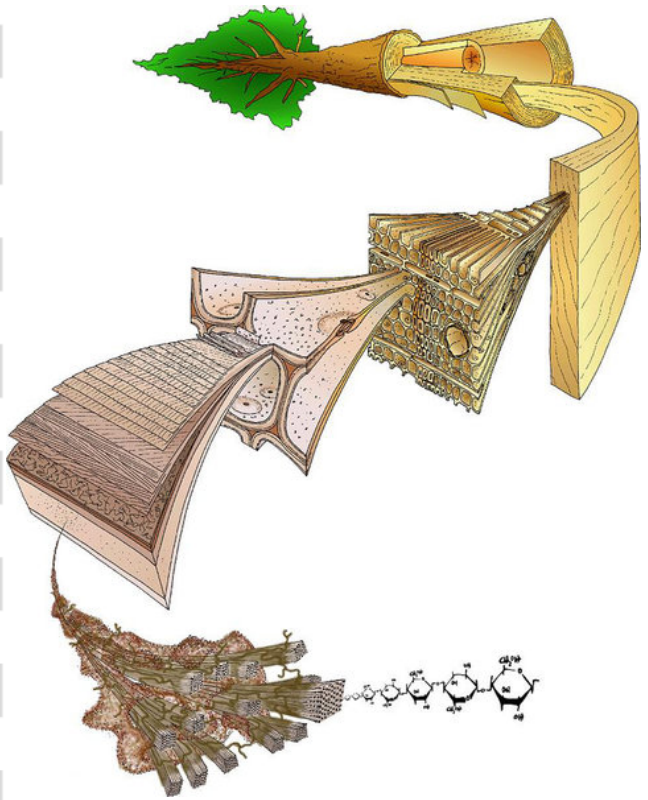
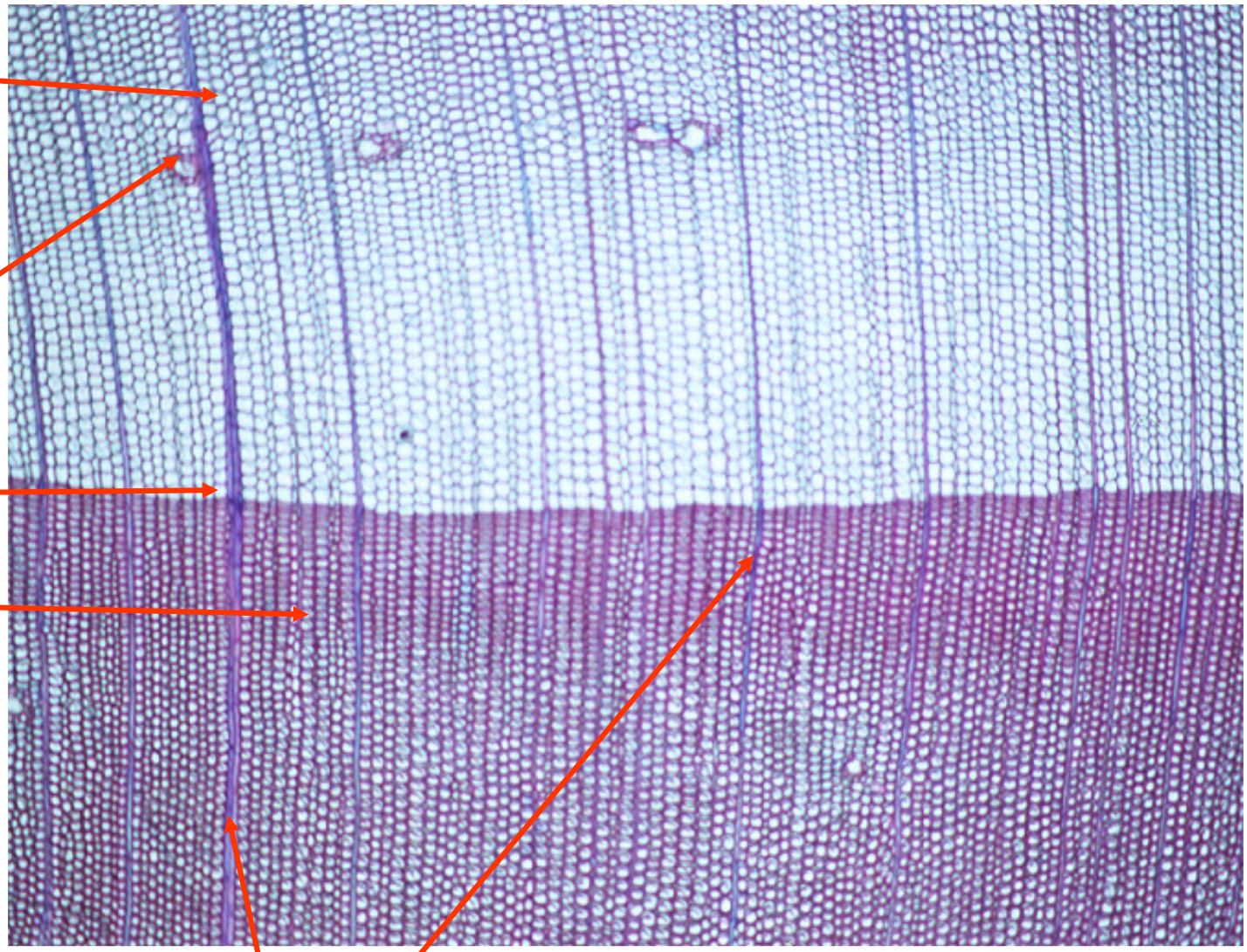


Tabelle 15. Relative Geschwindigkeit des Wassertransports im Xylem von Bäumen zur Mittagszeit. Messungen in einer Stammhöhe von 1.30 m. Aus Höster (1993).

Baumarten	Verteilung der Gefäße	Geschwindigkeit der Wasser-leitung (m/ Std)	Tracheiden/ Gefäss Durchmesser
Nadelbäume			
Picea abies	–	1.2	< 45
Larix decidua	–	2.1	< 55
Laubbäume			
Aesculus hippocastanum	Zerstreutporig	1.0	30–60
Fagus sylvatica	Zerstreutporig	1.1	16–80
Pyrus communis	Zerstreutporig	1.1	50–80
Betula pendula	Zerstreutporig	1.6	30–130
Alnus glutinosa	Zerstreutporig	2.0	20–90
Acer pseudoplatanus	Zerstreutporig	2.4	30–110
Liriodendron tulipifera	Zerstreutporig	2.6	50–120
Tilia tomentosa	Zerstreutporig	3.4	25–90
Juglans regia	Halbringporig	4.1	120–160
Ulmus laevis	Ringporig	6.0	130–340
Ailanthus altissima	Ringporig	22.2	170–250
Castanea sativa	Ringporig	24.0	300–350
Fraxinus excelsior	Ringporig	25.7	120–350
Robinia pseudoacacia	Ringporig	28.8	160–400
Quercus robur	Ringporig	43.6	200–300



Fichte (*Picea abies*)

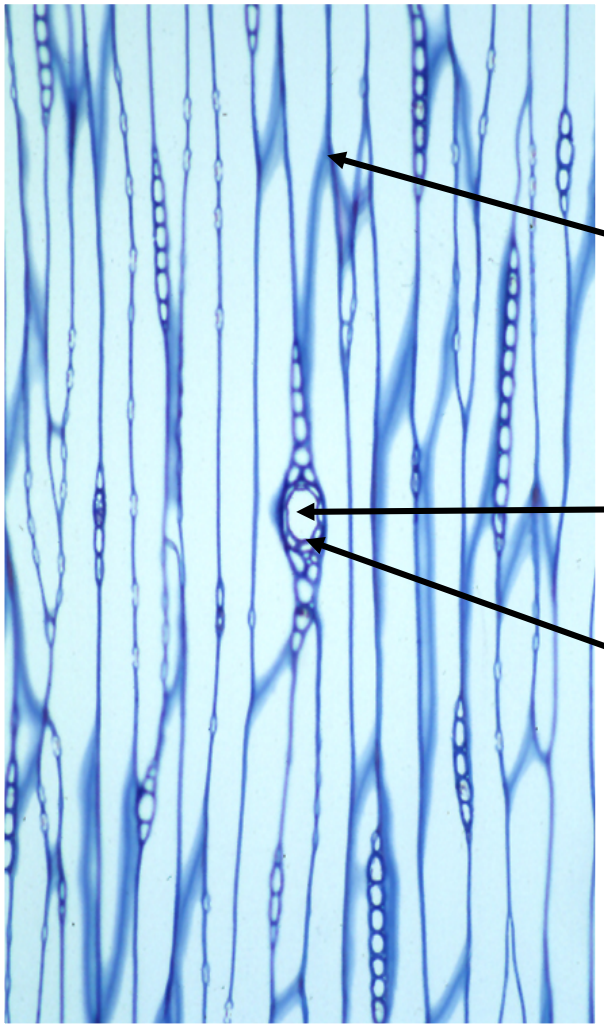


Querschnitt

Picea abies: Harzkanal mit dickwandigen Epithelzellen

Querschnitt

Picea abies: Harzkanal mit dickwandigen Epithelzellen



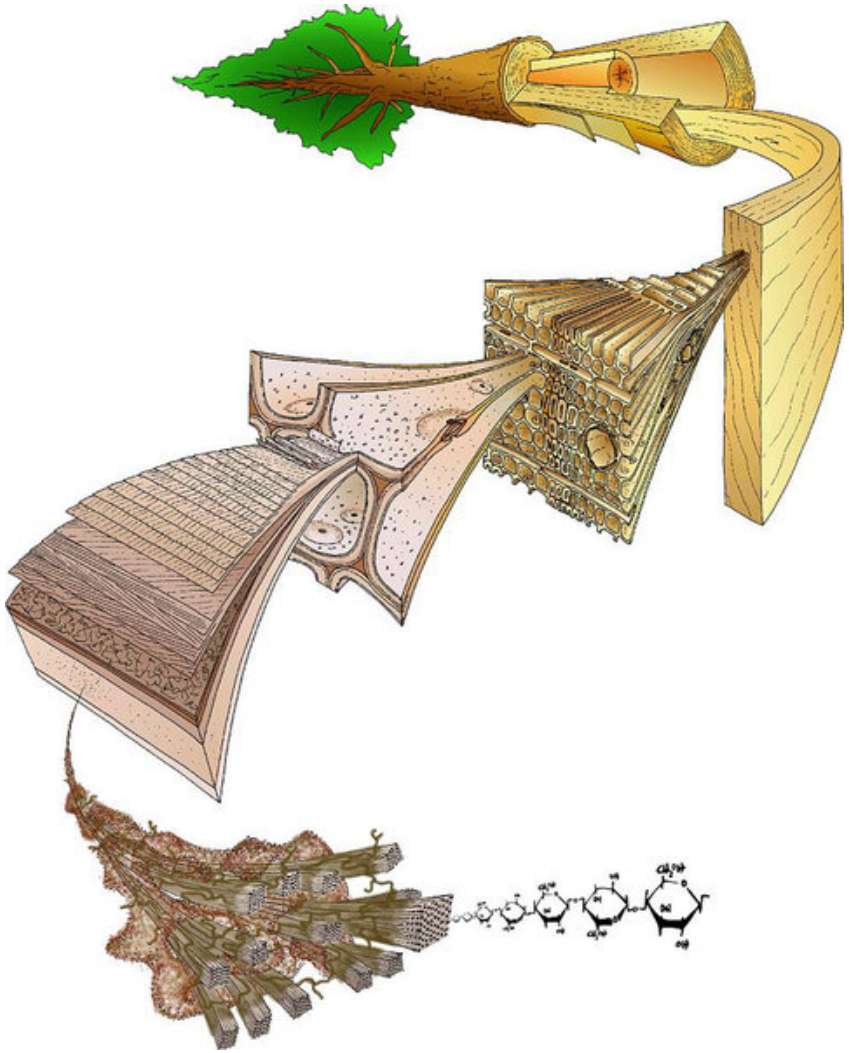
Tracheiden

Harzgang

Epithelzellen

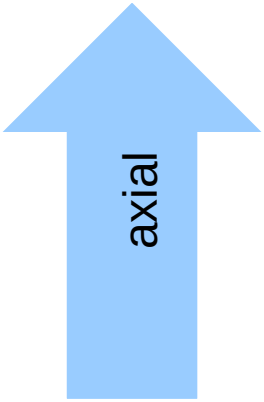
Zelltypen und ihr Anteil im Holz von Baumarten der nördlichen Hemispähre. Nach Panshin & De Zeeuw (1970); Wagenführ & Scheiber (1974).

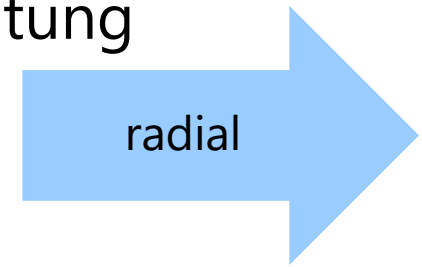
Baumarten	Gefäße	Tracheiden, Fasertracheiden, Holzfasern	Holzstrahl-parenchym	Längs-Parenchym	Dichte g/cm³
Nadelbäume					
Abies alba	–	90	10	Spärlich	0.45
Larix decidua	–	91	8	1	0.59
Picea abies	–	95	4	1	0.47
Pinus sylvestris	–	93	7	–	0.52
Pseudotsuga menziesii	–	93	7	–	0.51
Taxus baccata	–	86	14	–	0.67
Laubbäume					
Acer pseudoplatanus	7	76	17	Spärlich	0.63
Aesculus hippocastanum	8	76	15	1	0,55
Alnus glutinosa	29	58	12	1	0.55
Betula pendula	24	64	10	2	0.65
Carpinus betulus	10	66	22	2	0.83
Castanea sativa	26	56	17	1	0.63
Fagus sylvatica	31	37	27	5	0.72
Fraxinus excelsior	12	62	15	11	0.69
Juglans regia	12	64	16	8	0.68
Liquidambar styraciflua	55	26	18	1	0.52
Platanus × hispanica	29	31	31	9	0.62
Populus nigra	34	56	10	Spärlich	0.45
Pyrus communis	27	49	16	8	0.74
Quercus robur	8	58	29	5	0.69
Robinia pseudoacacia	15	58	6	21	0.77
Salix alba	52	31	17	Spärlich	0.35
Sorbus aucuparia	32	47	20	1	0.75
Tilia platyphyllos	17	72	9	2	0.53
Ulmus glabra	29	51	14	6	0.68



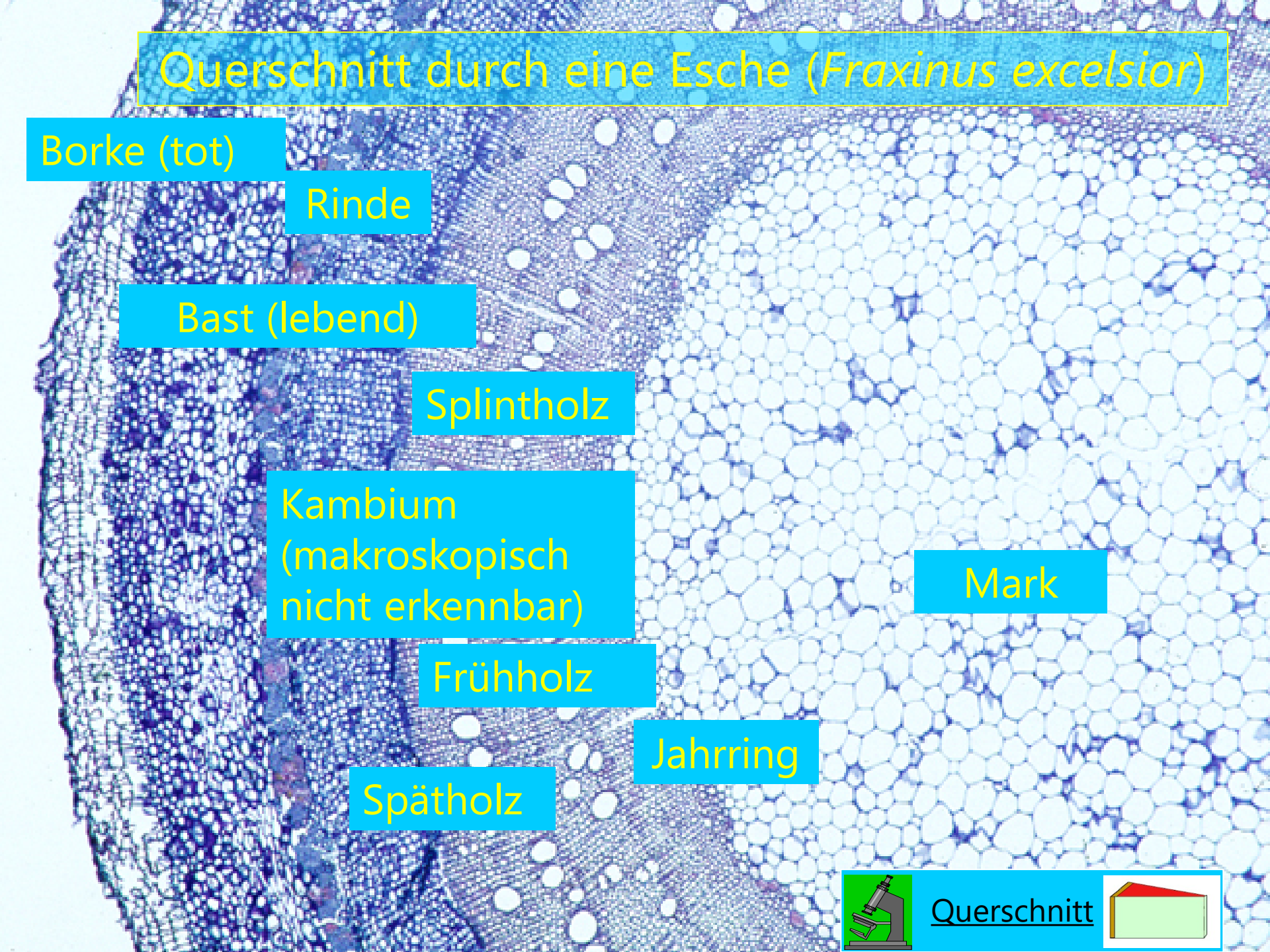
Laubholzzellen

Zellarten	Hauptfunktion	Ausrichtung
Gefäße	Wasserleitung	
Längsparenchym	Speicherung	
Fasern		
Libriformfasern	Festigung	
Fasertracheiden	Festigung/ Wasserleitung	
Strahlenparenchym	Speicherung	



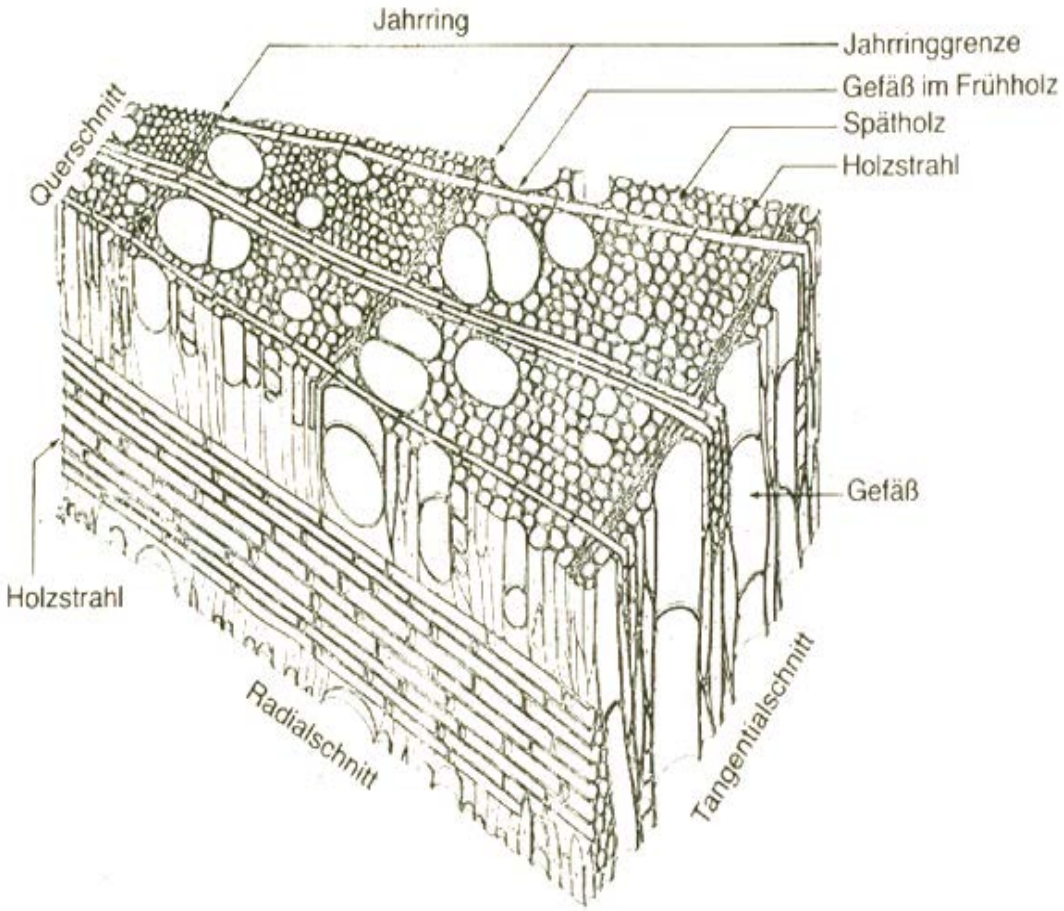


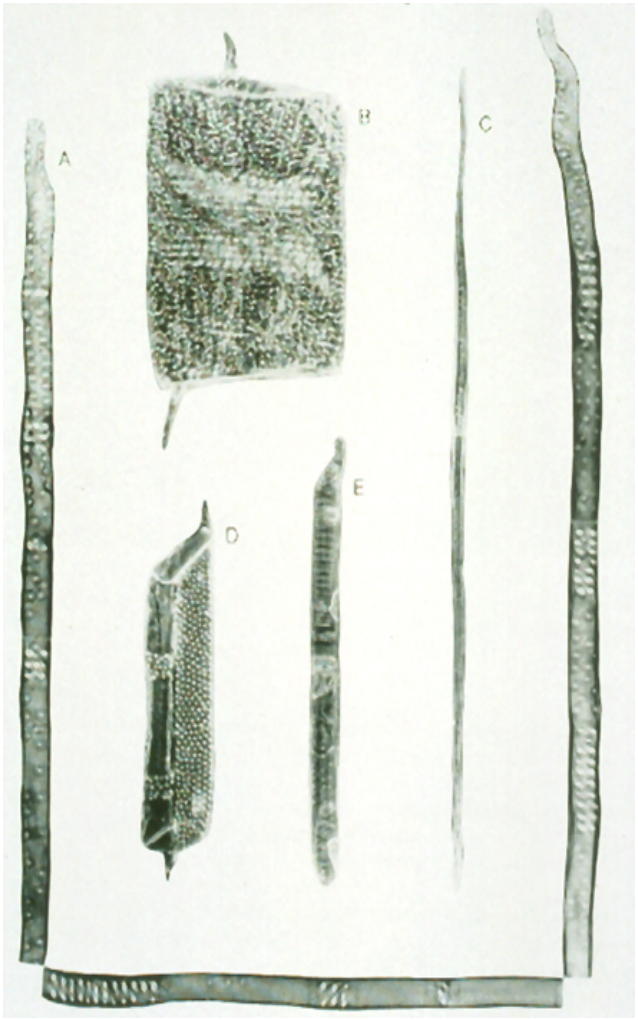
Querschnitt durch eine Esche (*Fraxinus excelsior*)



Querschnitt

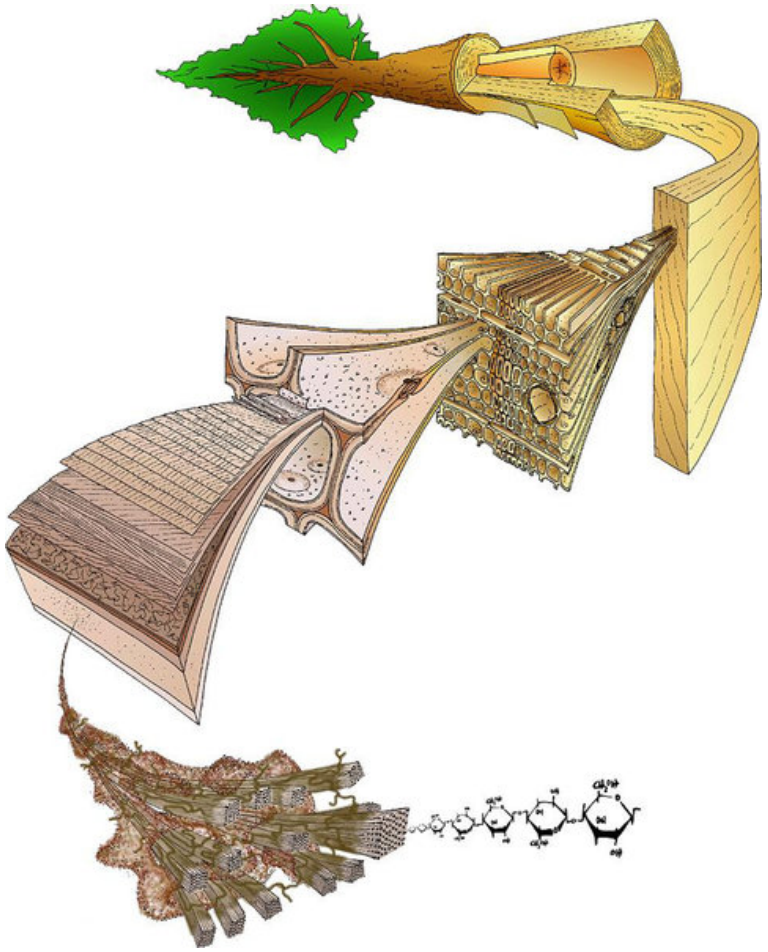
Zelltypen des Laubholzes





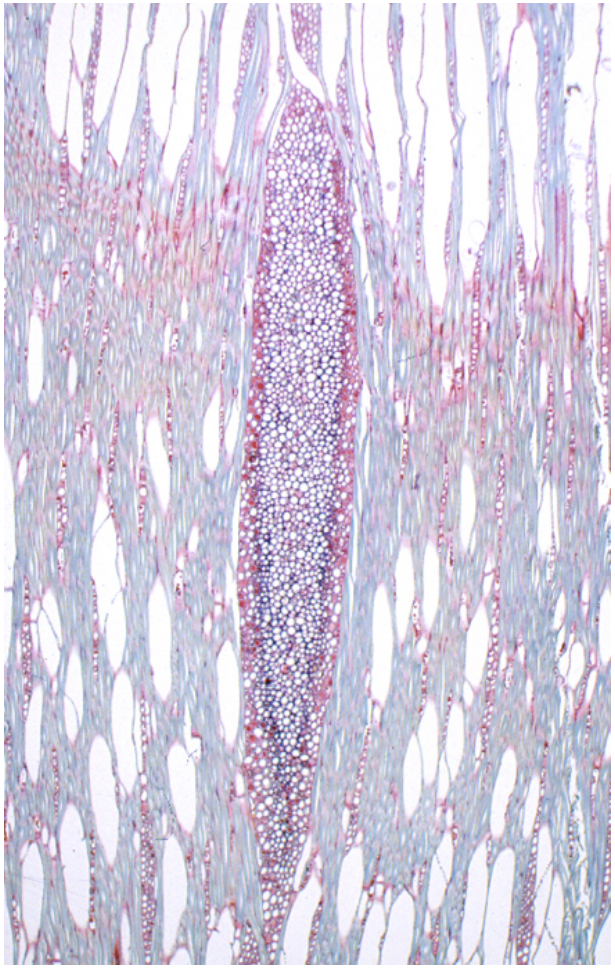
Zelltypen und ihr Anteil im Holz von tropischen- und subtropischen Laubbäumen. Nach Panshin & De Zeeuw (1970); Wagenführ & Scheiber (1974).

Baumarten	Gefäße	Tracheiden, Fasertracheiden, Holzfasern	Holzstrahl-Parenchymm	Längs-Parenchym	Dichte g/cm³
Aucoumea klaineana	20	67	12	1	0.41
Antiaris africana	18	45	19	18	0.42
Dalbergia latifolia	9	61	15	15	0.8 - 1.0
Entandrophragma angolense	23	41	26	10	0.52
Entandrophragma cylindricum	19	50	16	15	0.63
Entandrophragma candollei	12	45	25	18	0.66
Entandophragma utile	13	57	21	9	0.60
Guarea cedrata	25	44	18	13	0.64
Khaya anthotheca	18	57	21	4	0.52
Milicia excelsa	11	56	16	17	0.62
Lovoa trichilioides	19	60	17	4	0.52
Ochroma lagopus	4	4	18	74	0.20
Pericopsis elata	26	44	15	15	0.70 - 0.80
Pterygota macrocarpa	10	47	20	23	0.58 - 0.63
Tectona grandis	12	66	16	6	0.62
Terminalia ivorensis	20	53	17	10	0.50
Terminalia superba	12	62	16	10	0.52
Tieghemella heckelii	21	60	14	5	0.62
Triplochiton scleroxylon	10	36	24	30	0.33 - 0.45
Turraeanthus africana	15	75	7	3	0.90 - 0.96
Shorea negrosensis	27	49	16	8	0.39 - 0.86
Millettia laurentii	7	43	19	31	0.79

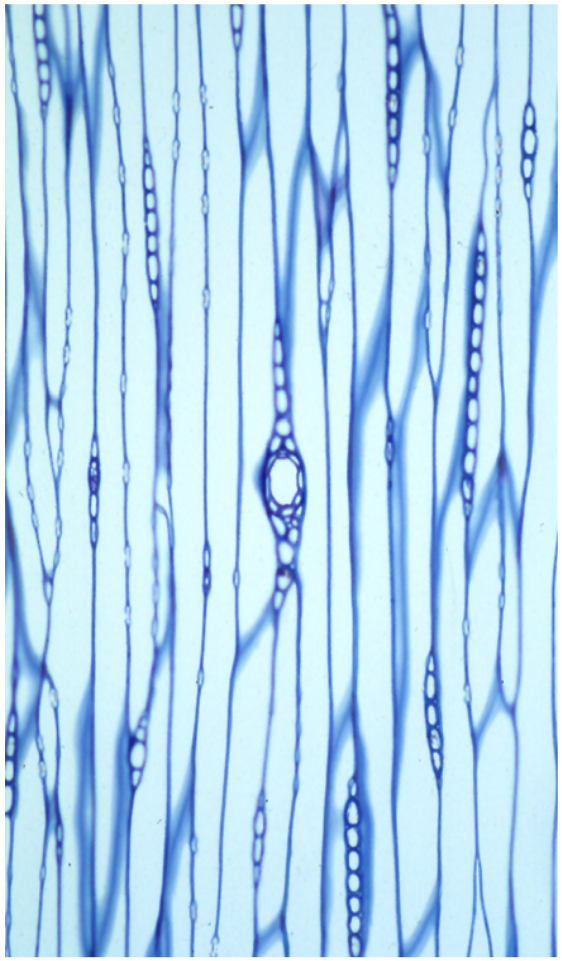


Holzstrahlen im Laub- und Nadelholz

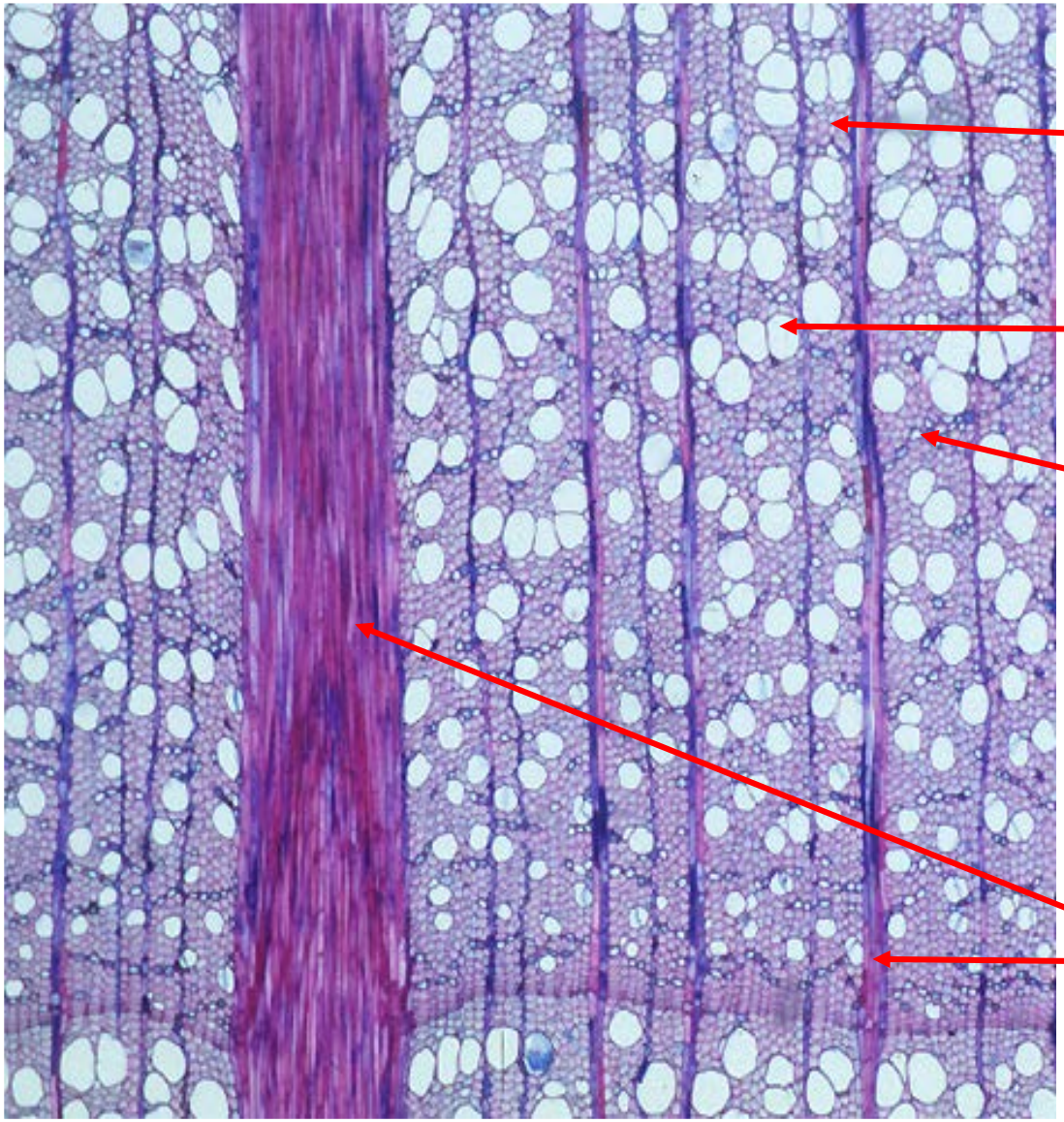
Mehrreihig



Einreihig



Zerstreutporiges Holz (*Fagus sylvatica*)



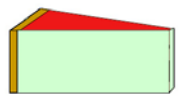
Fasertracheiden

Gefäße

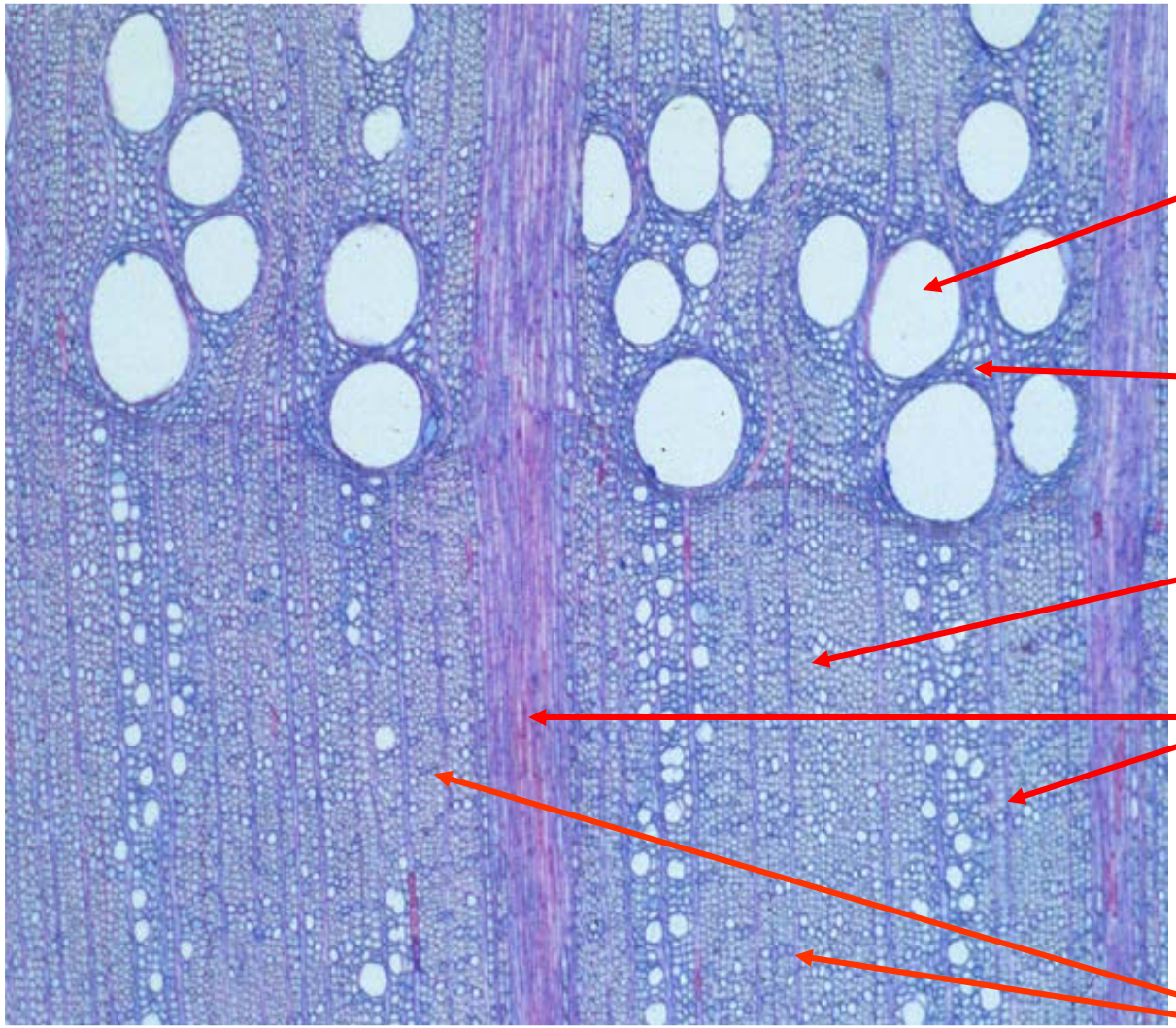
Axialparenchym

Holzstrahlen

Querschnitt



Ringporiges Holz (*Quercus robur*)



Gefäße

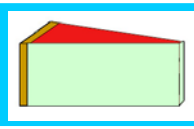
Fasertracheiden

Libriformfasern

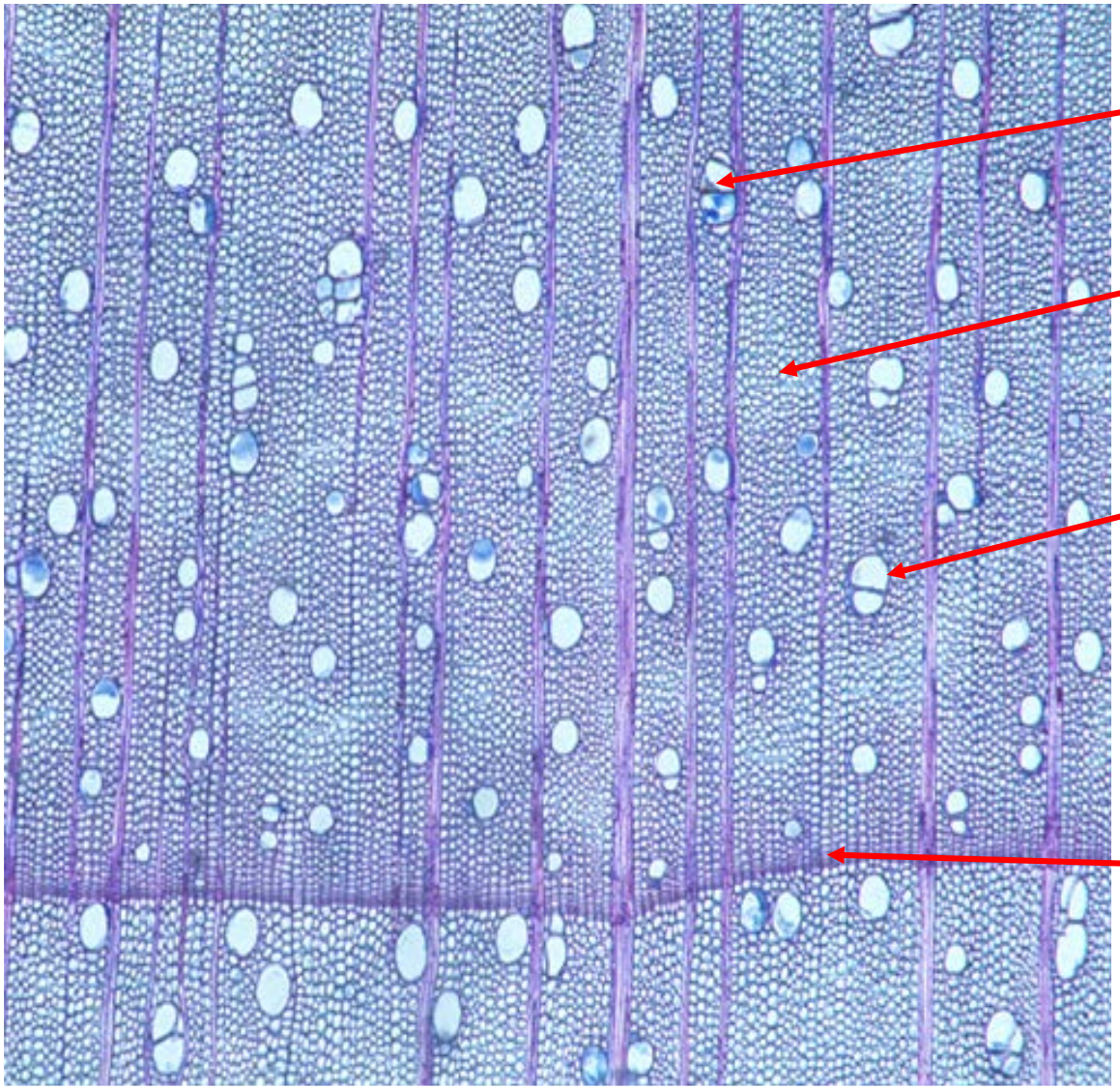
Einreihige oder
vielreihige
Holzstrahlen

Axial Parenchym

Querschnitt



Zerstreutporiges Holz (*Acer platanoides*)



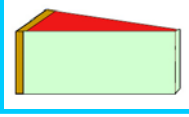
Gefäße

Tote Libriformfasern (IZH-Bereiche)

Lebende Libriformfasern (IZF-Bereiche)

Axialparenchym

Querschnitt



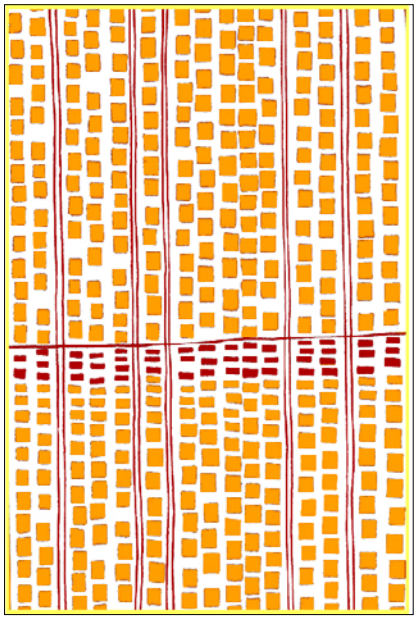
Organisationsstufen des Hydrosystems (Braun, 1970)

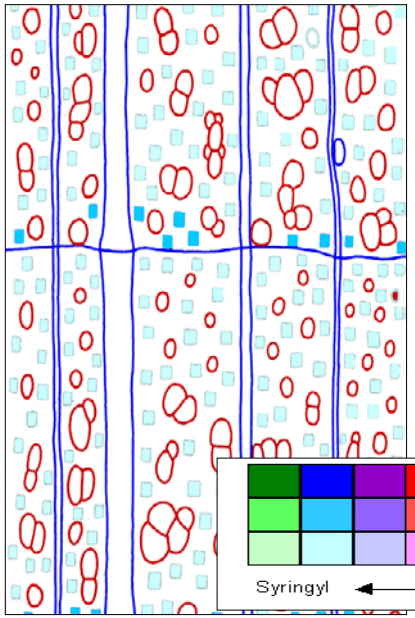
I. Tracheiden-Stufe

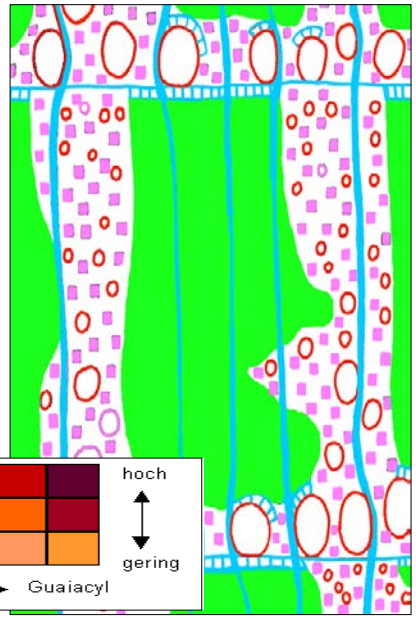
II. Tracheiden-Gefäß-Stufe

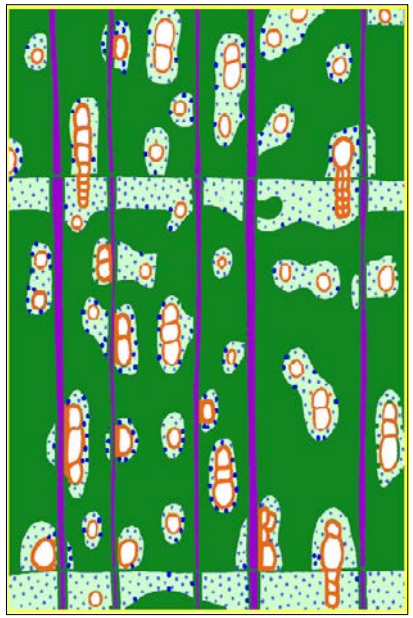
III. Eingeschränkte Tracheiden-Gefäß-Stufe

IV. Gefäß-Stufe









Fichte

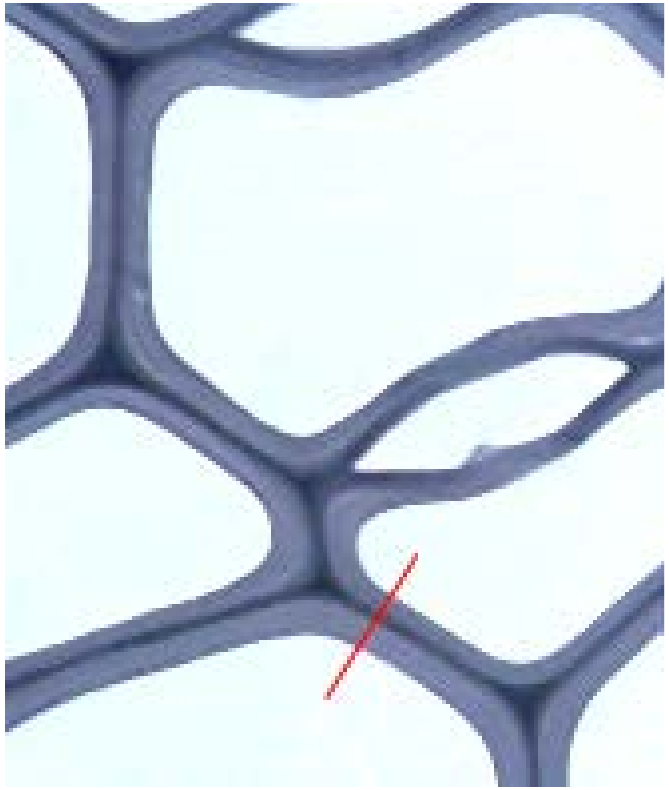
Buche

Eiche

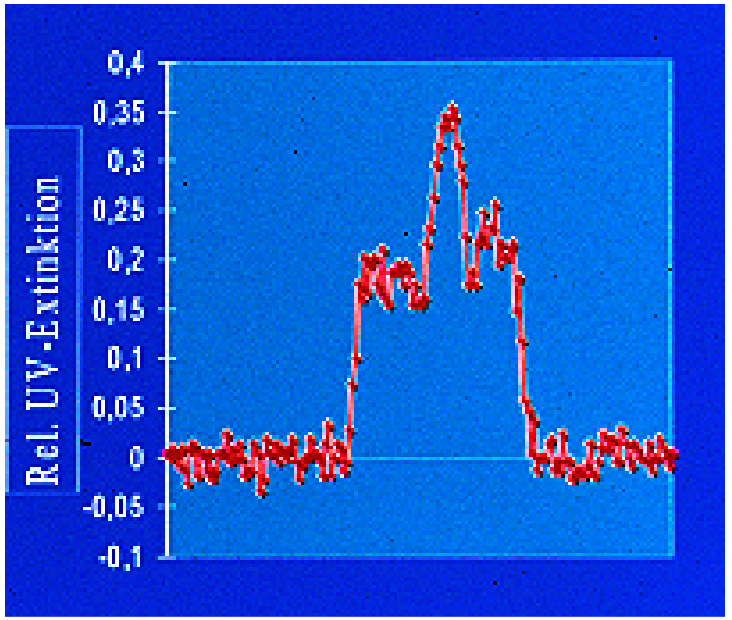
Ahorn, Rosskastanie

Die Farbintensität repräsentiert die Ligninmenge, der Farbton die Zusammensetzung aus den Monomereinheiten von reinem Syringyl (grün) bis hin zu reinen Guaiacyl (rot) (Baum, 2001).

UV-Absorptionsmessung an Holz von *Pinus sylvestris*



Querschnitt

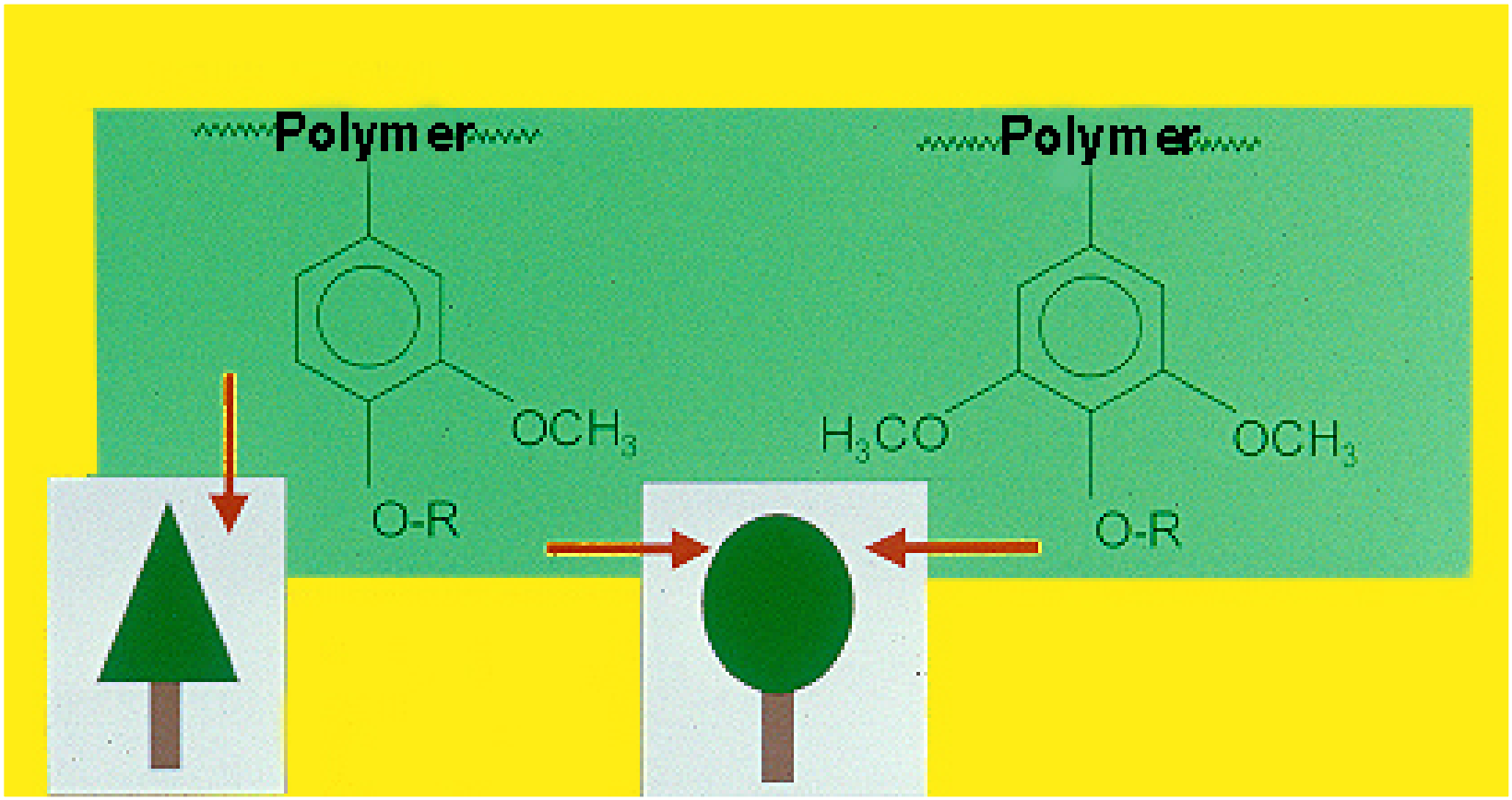


UV-Absorptionsmessung bei einer Wellenlänge von 250-300 nm.

Ligninmonomere in Bäumen

Guaiacyl-Einheiten

Syringyl-Einheiten

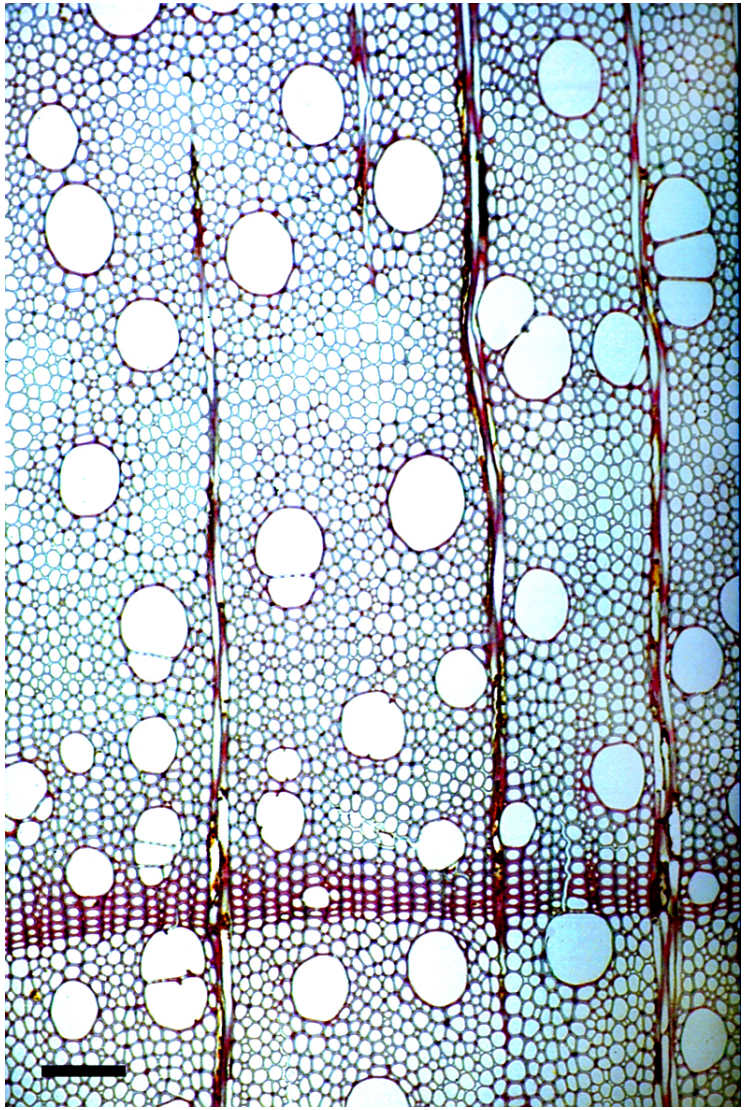


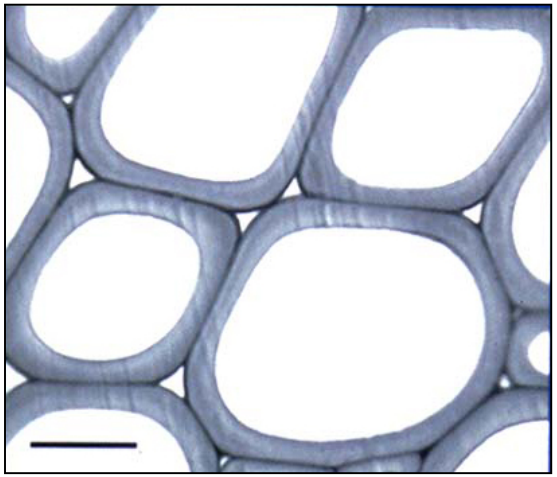
Nadelholz

Laubholz

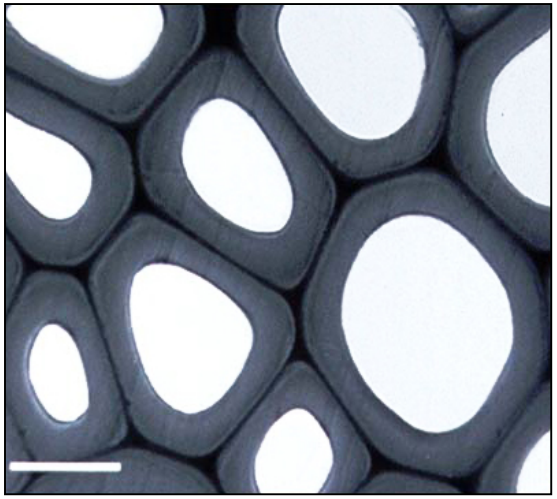
Syringyl-Einheiten zeigen ein Absorptionsmaximum von UV-Licht bei 272-274 nm, Sringyl-Einheiten bei 278-280 nm.

Aufnahmen von Ahornholz unter dem UV-Mikroskop bei 280 nm





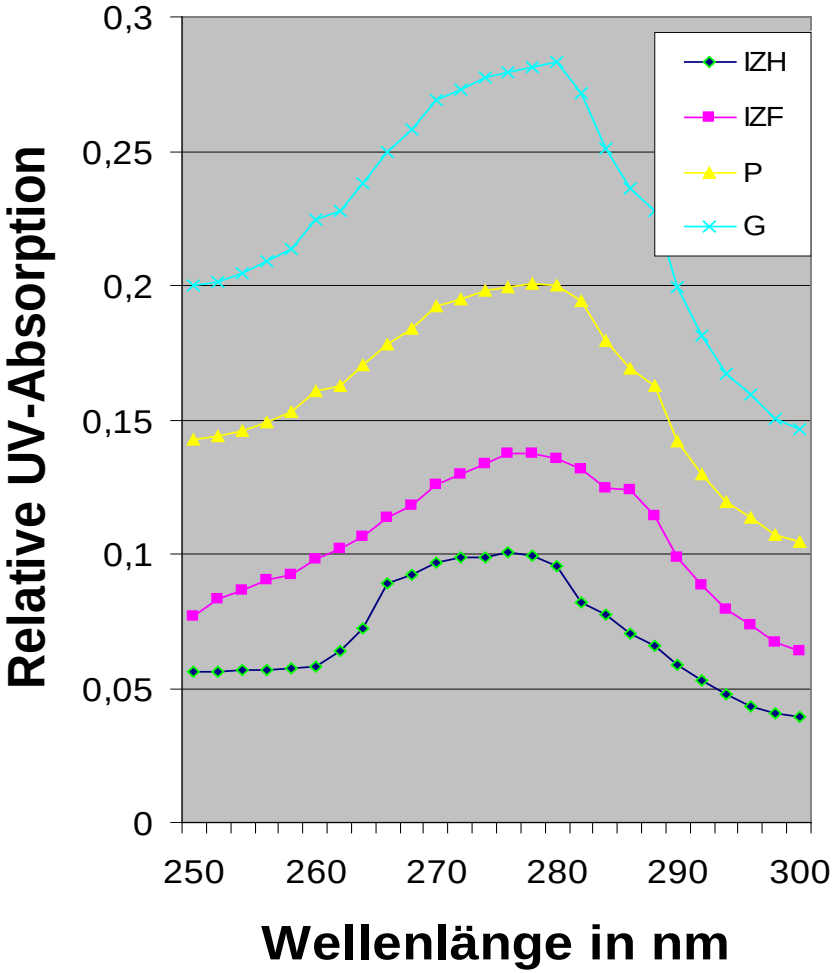
IZH-Bereiche



IZF-Bereiche

Schwarze et al. (1999). Mycol Res. 104, 126-132.

UV-Spektra von *Acer pseudoplatanus*-Zellen



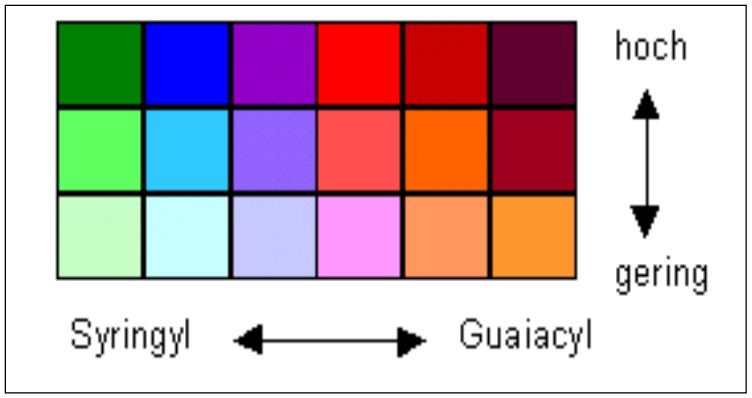
- Relative Werte am höchsten in den Gefäßen und in den Parenchymzellen. Am niedrigsten in Libriformfasern ohne und mit interzellularhaltigen Bereichen
- UV-Maximum der Gefäße = 280 nm
- UV-Maximum der Parenchymzellen = 278 nm
- UV-Maximum der Libriformfasern = 276 nm.

Schwarze et al. (1999). Mycol Res. 104, 126-132.

Organisationsstufe I

Tracheiden-Stufe

- Tracheiden
- z.B. Koniferen



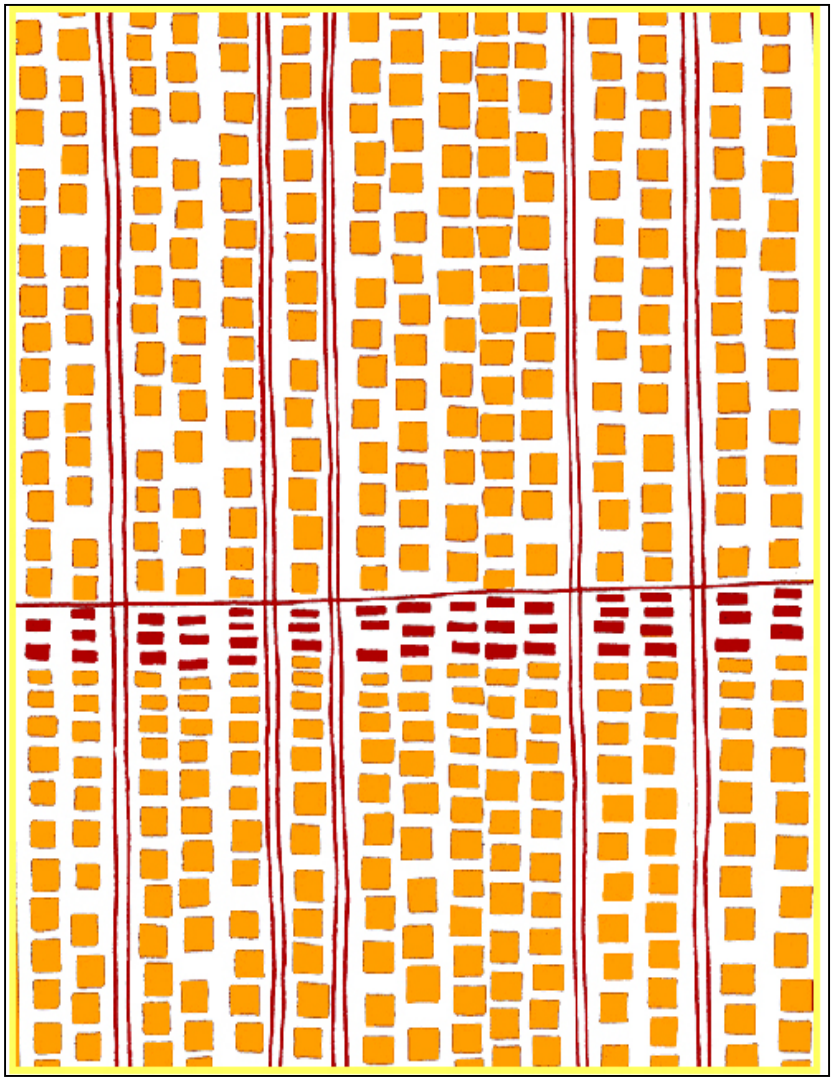


Tabelle 16. Organisationsstufen des Hydrosystems (Aus Braun 1970).

Stufe I: Tracheiden ohne Gefäße
Grundgewebe besteht aus Tracheiden
Alle Nadelhölzer

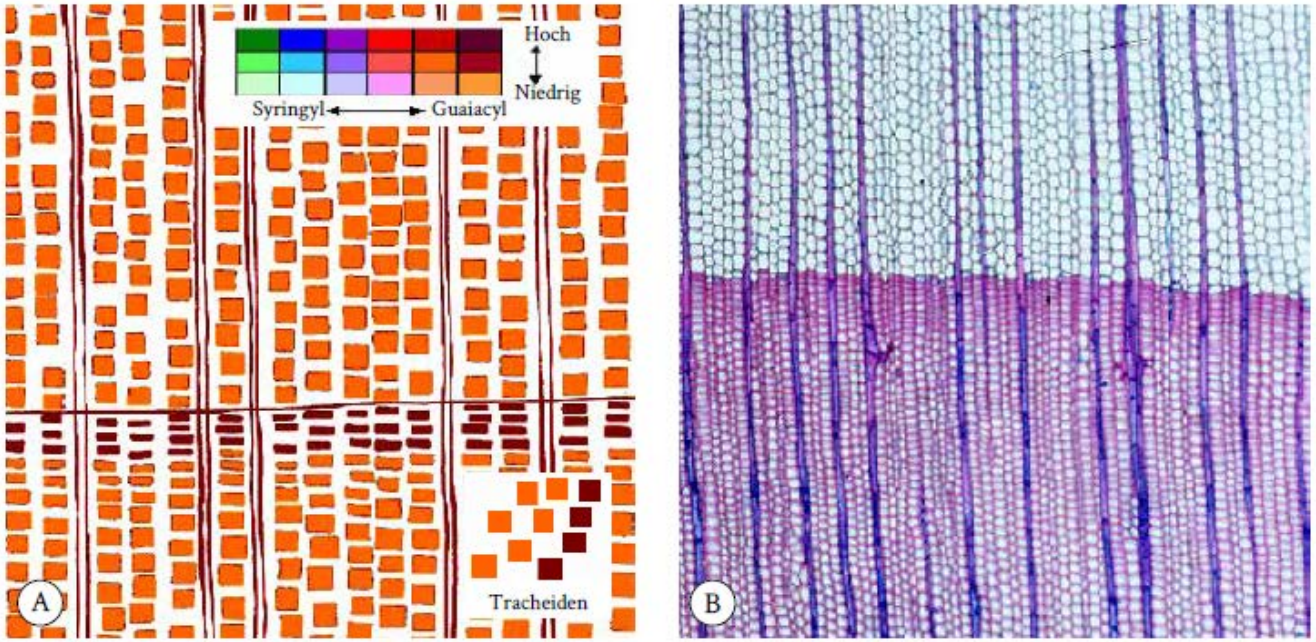


Abb. 34A-B: *Entwicklungsstufen des Hydrosystems in Bäumen (Braun 1970).* ***A:*** *Stufe 1 - Tracheiden (z. B. Rotfichte). Die Farbintensität repräsentiert die Ligninmenge, der Farbton die Zusammensetzung aus den Monomereinheiten von reinem Syringyl (grün) bis hin zu reinen Guaiacyl (rot) (Baum 2001).* ***B:*** *Querschnitt durch Holz von Picea abies. Maßstab, 50 µm.*

Organisationsstufe II

Tracheiden-Gefäss- Stufe

- Fasertracheiden
- Gefässe
- z.B. Buche, Platane

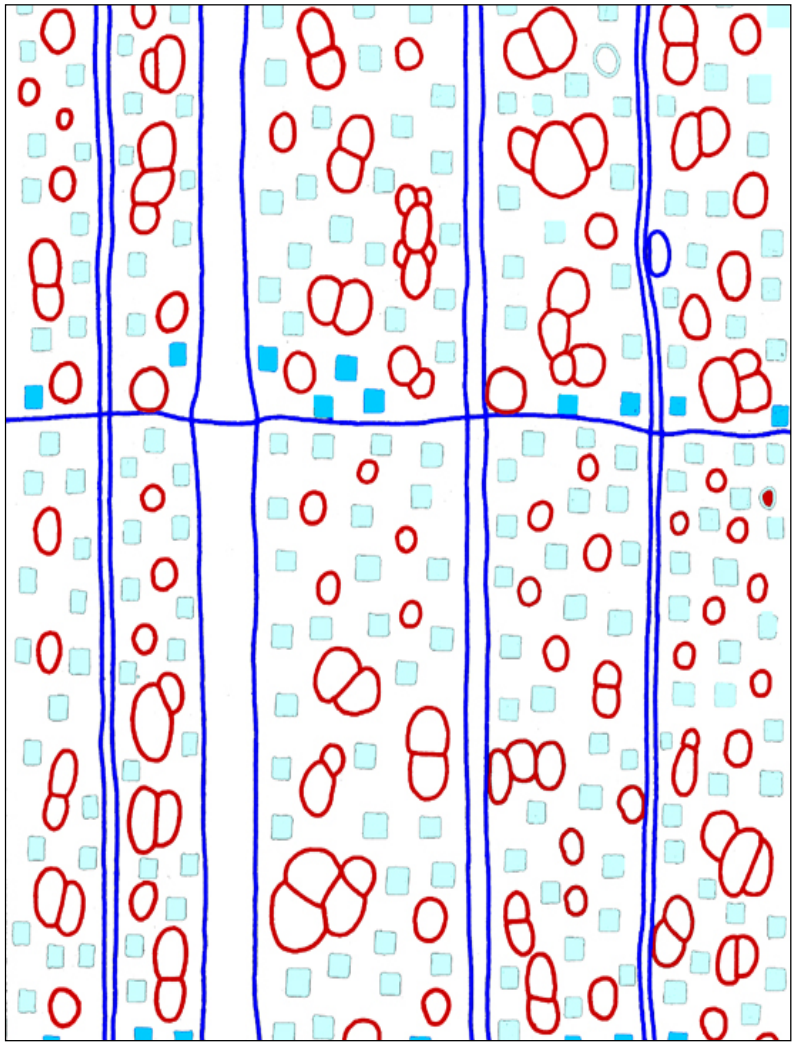


Tabelle 17. Organisationsstufen des Hydrosystems (Aus Braun 1970).

Stufe II. Fasertracheiden und Gefäße		
Grundgewebe aus Faertracheiden		
Alnus glutinosa	*Crataegeus oxyacantha*	*Magnolia tripetala*
Alnus incana	*Eucalyptus creba*	*Malus sylvestris*
Alnus viridis	*Eucalyptus globulus*	*Mespilus germanica*
Betula pendula	*Fagus sylvatica*	*Platanus x hispanica*
Betula pubescens	*Fagus orientalis*	*Platanus occidentalis*
Carpinus betulus	*Hippophae rhamnoides*	*Prunus avium*
Castanea sativa	*Ilex aquifolium*	*Prunus padus*
Castanea crenata	*Juglans regia*	*Pyrus communis*
Cercidiphyllum japonicum	*Juglans nigra*	*Sorbus aria*
Corylus avellana	*Laurus nobilis*	*Sorbus aucuparia*
Corylus colurna	*Liriodendron tulipifera*	*Tilia cordata*
Crataegus monogyna	*Liquidambar styraciflua*	*Tilia platyphyllos*

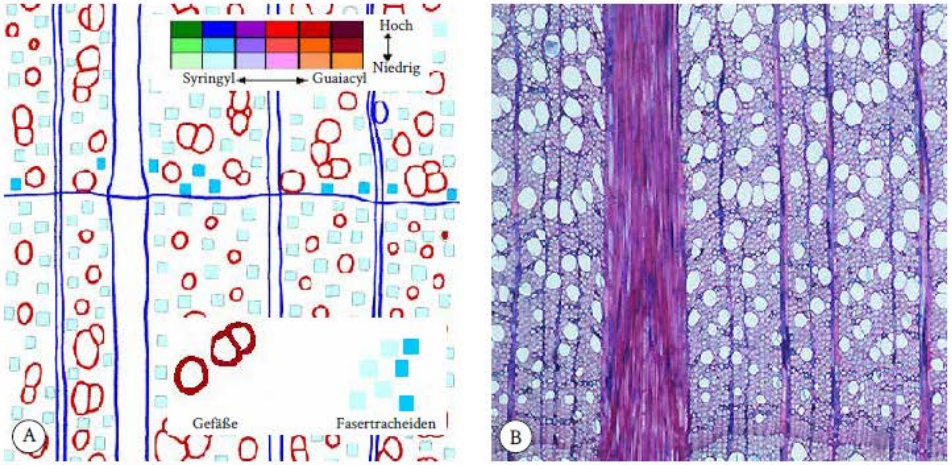
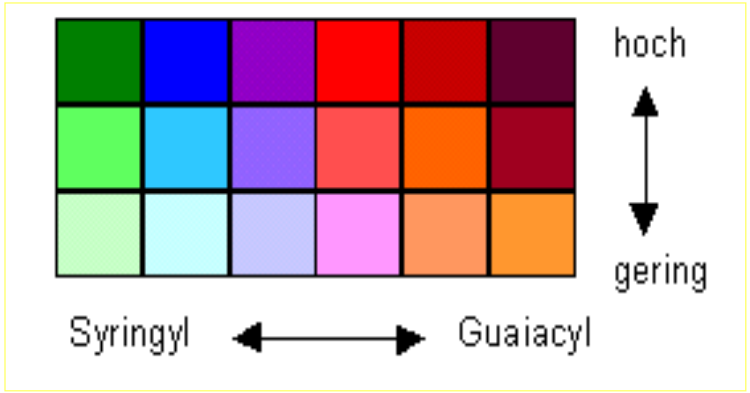


***Abb. 35:** Entwicklungsstufen des Hydrosystems in Bäumen (Braun 1970). **A:** Stufe 2 - Fasertracheiden und Gefäße (z. B. Rotbuche). Die Farbintensität repräsentiert die Ligninmenge, der Farbton die Zusammensetzung aus den Monomereinheiten von reinem Syringyl (grün) bis hin zu reinen Guaiacyl (rot) (Baum 2001). **B:** Querschnitt durch Holz von Fagus sylvatica. Maßstab, 50 µm.*

Organisationsstufe III

Eingeschränkte Tracheiden-Gefäss-Stufe

- Fasertracheiden
- Libriformfasern
- Gefässe
- z.B. Eiche



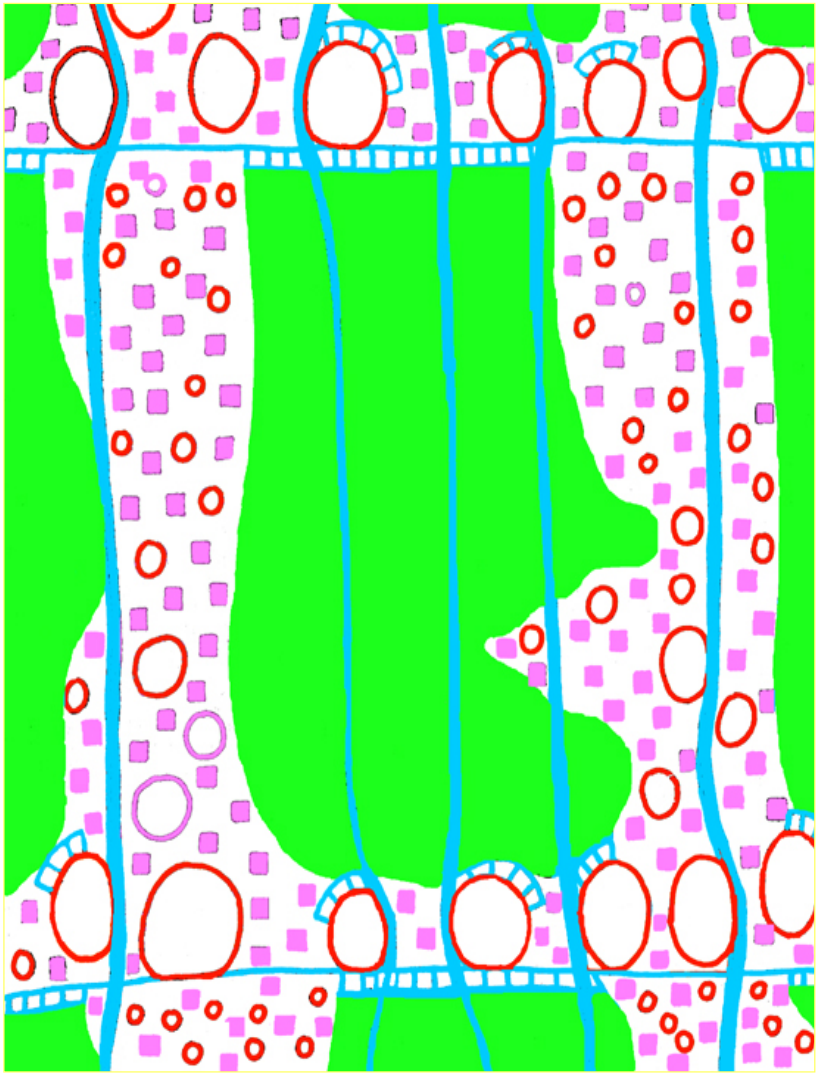


Tabelle 18. Organisationsstufen des Hydrosystems (Aus Braun 1970).

Stufe III: Eingeschränkte Tracheidenstufe. Tracheiden, Gefäße & Holzfasern	
Grundgewebe besteht aus Fasertracheiden	
Koelreuteria paniculata	*Quercus petraea*
Laburnum anagyroides	*Ulmus carpinifolia*
Quercus castaneifolia	*Ulmus glabra*
Quercus borealis	*Ulmus laevis*
Quercus ilex	*Wisteria sinensis*
Quercus pubescens	*Quercus robur*

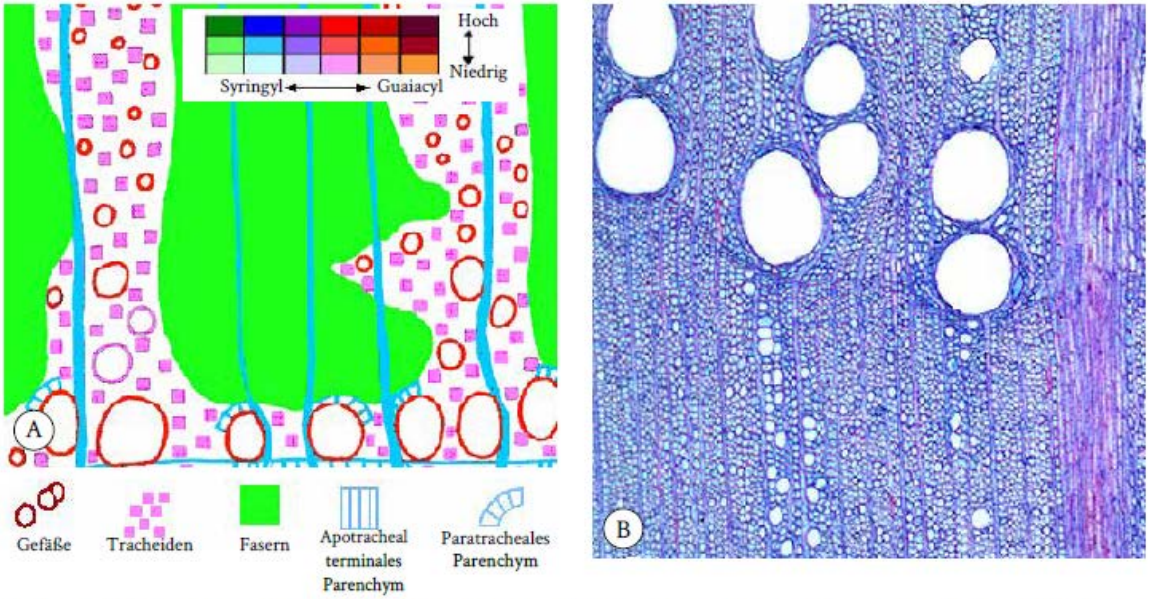
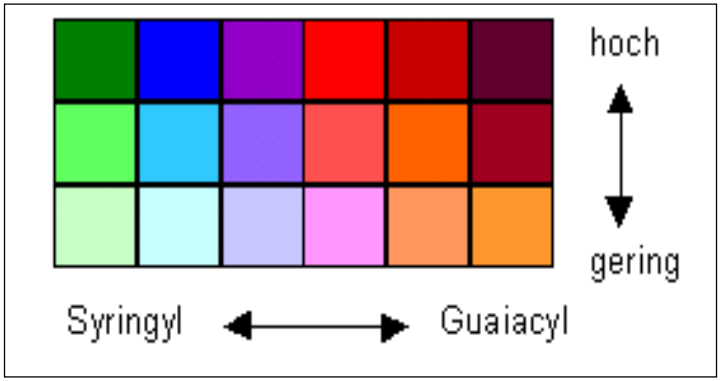


***Abb. 36:** Entwicklungsstufen des Hydrosystems in Bäumen (Braun 1970). A: Stufe 3 - Eingeschränkte Tracheidenstufe (z. B. Stieleiche). Die Farbintensität repräsentiert die Ligninmenge, der Farbton die Zusammensetzung aus den Monomereinheiten von reinem Syringyl (grün) bis hin zu reinen Guaiacyl (rot) (Baum 2001). B: Querschnitt durch Holz von Quercus robur. Maßstab, 50 µm.*

Organisationsstufe IV

Gefäss-Stufe

- Lebende Libriformfasern
- Tote Libriformfasern
- Gefässe
- z.B. Bergahorn, Rosskastanie



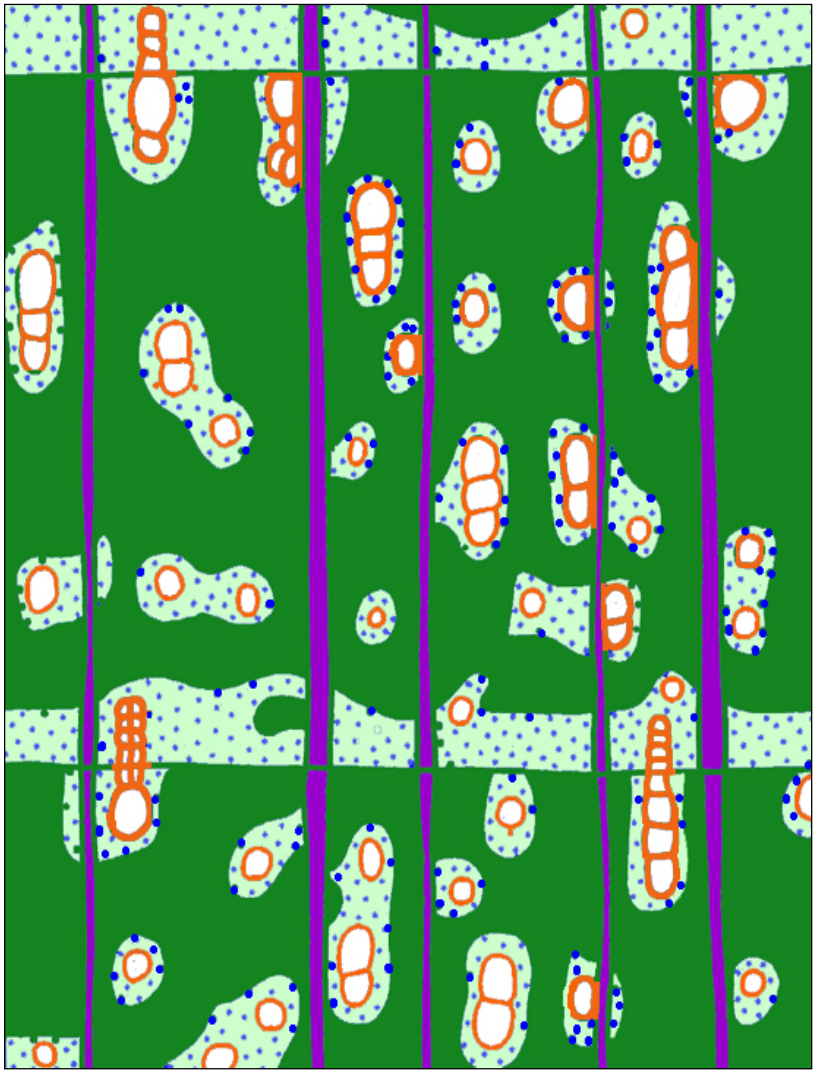


Tabelle 19. Organisationsstufen des Hydrosystems (Aus Braun, 1970).

Stufe IV: Gefäße – Libriformfasern		
Grundgewebe besteht aus toten oder lebenden Libriformfasern		
Acer campestre	*Ficus carica*	*Paulownia tomentosa*
Acer ginnala	*Fraxinus angustifolia*	*Robinia pseudoacacia*
Acer japonicum	*Fraxinus excelsior*	*Shorea talura*
Acer negundo	*Fraxinus ornus*	*Sophora japonica*
Acer platanoides	*Gleditsia triacanthos*	*Sterculia oblonga*
Acer pseudoplatanus	*Gymnocladus dioica*	*Tectona grandis*
Acer saccharum	*Hura crepitans*	*Terminalia superba*
Aesculus hippocastanum	*Lagerstroemia indica*	*Triplochiton*
Aesculus x carnea	*Lophira alata*	*scleroxylon*
Afzelia pachyloba	*Morus alba*	
Albizia odoratissima	*Morus nigra*	
Dipterocarpus indicus	*Nothofagus dombeyi*	

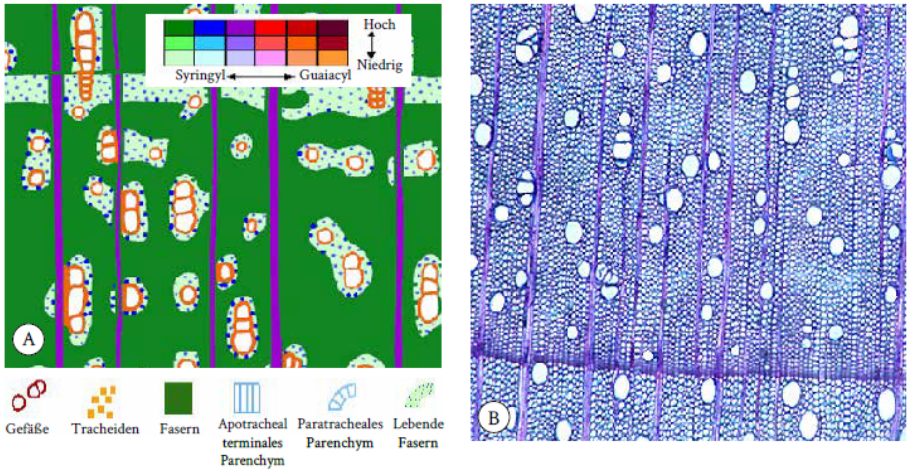
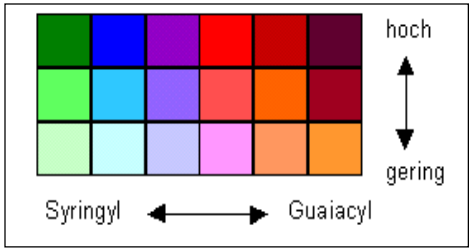
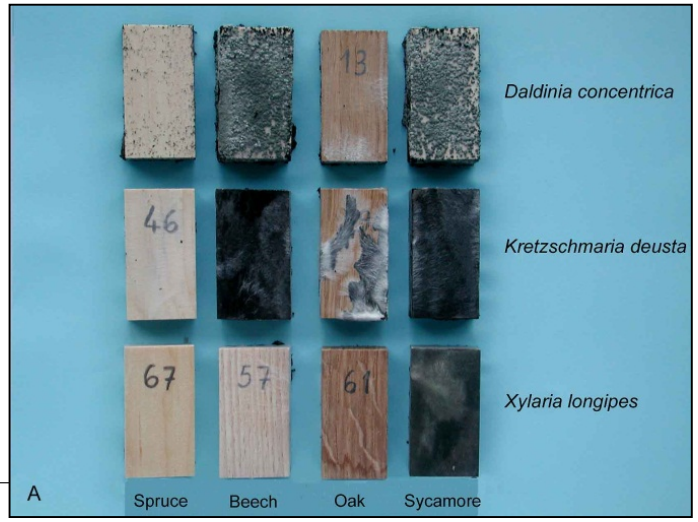
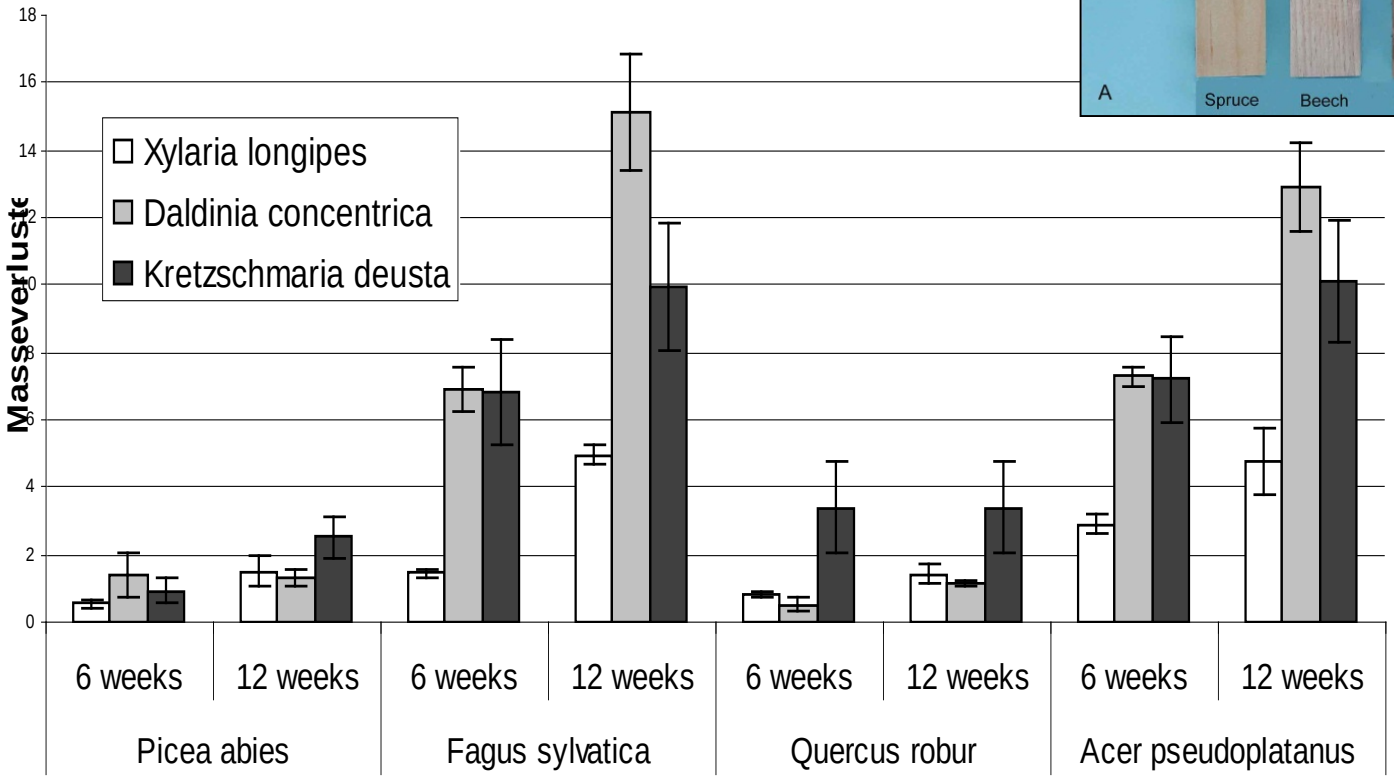


***Abb. 37:** Entwicklungsstufen des Hydrosystems in Bäumen (Braun 1970). **A:** Stufe 4 - Gefäße und Libriformfasern (z. B. Bergahorn). Die Farbintensität repräsentiert die Ligninmenge, der Farbton die Zusammensetzung aus den Monomereinheiten von reinem Syringyl (grün) bis hin zu reinen Guaiacyl (rot) (Baum 2001). **B:** Querschnitt durch Holz von Acer pseudoplatanus. Maßstab, 30 µm.*

Masseverluste von Ascomyceten an verschiedenen Holzarten







Weiterführende Literatur zum Thema