

### 3.24 Winterlinde (*Tilia cordata*)

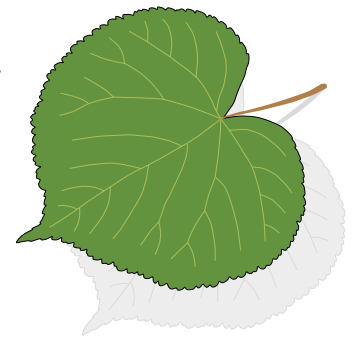
*Tilia cordata* MILLER, 1888 (syn.: *Tilia parvifolia* EHRH., *Tilia ulmifolia* SCOP. *Tilia microphylla* VENT., *Tilia europea* L.)

syn.: Steinlinde, Kleinblättrige Linde, Waldlinde, Spätlinde

engl.: small-leaved lime, little-leaf lime

Familie: Malvaceae

Unterfamilie: Tilioideae



#### 3.24.1 Zusammenfassende Bewertung



#### Anbauempfehlung

Die Winterlinde (*Tilia cordata*) zeigt sich bisher als eine Baumart, die auch nach den vergangenen Extremjahren mit ausgesprochenen Dürreperioden und extremer Hitze eine hohe Vitalität aufweist. Es gibt zwar einige Pathogene an der Winterlinde, bisher haben diese aber keine

bestandesgefährdenden Ausmaße erreichen können. Angesichts dieser Stabilität, der Trockentoleranz und ihrer Vorliebe für wärmere Temperaturen ergibt sich das Potenzial, dass diese Baumart im zukünftigen Aufbau unserer Wälder einen höheren Stellenwert bezieht als bisher.

	Merkmal	Bewertung	Erläuterung
Klimaanpassung in Anlehnung an OTTO (1993)	Standortsanpassung	+++	Eine breite Standortsamplitude, eine gewisse Trockenheitstoleranz und eine Vorliebe für Wärme ergeben im Klimawandel ein breiter Standortsspektrum zum Anbau
	Bodenpfleglichkeit	+++	Rasch zersetzende Streu mit einem niedrigen C/N-Verhältnis führt zu guten Humusformen und trägt zur Bodenverbesserung bei
	Keine Krankheitsverbreitung	+++	Es gibt zwar viele Pathogene an der Winterlinde, aber diese stellen bisher keine Bedrohung der Populationen dar
	Keine Anfälligkeit	+++	Keine bedeutenden Gefährdungsursachen, die die Art in ihrer Existenz bedroht
	Mischbarkeit	++	Die Winterlinde zeichnet sich durch eine gute waldbauliche Mischbarkeit mit heimischen Baumarten wie z. B. Buche, Eiche oder Bergahorn aus, da sie ein relativ langsames Jugendwachstum zeigt und in der Mischung kaum zur Dominanz neigt
	Naturverjüngung	-	Der Erfolg einer generativen Fortpflanzung ist durch den hohen Hohlkornanteil der Samen eingeschränkt; dennoch kommt Naturverjüngung in etablierten Beständen vor
	Waldstrukturen	++	Ihre hohe Schattentoleranz in der Jugendphase sowie ihr vergleichsweise geringer Konkurrenzdruck gegenüber wuchskräftigeren Arten machen die Winterlinde insbesondere in mehrschichtigen, strukturreichen Beständen zu einer stabilisierenden Ergänzung

+++ äußerst positiv ++ sehr positiv + positiv -- - äußerst negativ -- sehr negativ - negativ ? unklar

#### 3.24.2 Verbreitung

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *T. cordata* umfasst weite Teile Europas, wobei sich das Hauptareal von Nordspanien entlang der Atlantikküste, Großbritannien, Südschweden bis zum Ural und in die südrussische Steppe erstreckt (Abbildung 1). Im Süden reicht es bis zum Kaukasus, zur Krim, Nordgriechenland und Mittelitalien. Das Zentrum liegt in Mittel- und Osteuropa; insbesondere im Baltikum, Polen und im westlichen beziehungsweise zentralen Russland kommen größere, oft nahezu reine Bestände vor. Im Vergleich zur Sommerlinde reicht die Winterlinde deutlich weiter nach Norden und Osten, unter anderem

bis in den Süden Norwegens und Finnlands sowie nach Mittelschweden, wobei die nördliche Ausbreitungsgrenze durch klimatische Faktoren wie eine Juliisotherme von (17) 19 – 20 °C und der Jahresisotherme von +2 °C limitiert wird. Für die südliche Grenze von *T. cordata* wird teilweise die Sommerdürre angegeben. In peripheren Regionen besteht die Art meist nur noch durch Reliktorkommen; hier ist die sexuelle Reproduktion häufig durch das dort vorherrschende Klima eingeschränkt (SCHÜTT 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, RADOGLU et al. 2009, DE JAEGERE et al. 2016, AAS 2016, EATON et al. 2021).



Abb. 1: Verbreitungsgebiet von *Tilia cordata*. Quelle: CAUDULLO et al. (2023)

Die historische Entwicklung der Winterlinde reicht bis in die Kreidezeit zurück, wobei morphologische Merkmale schon in den frühtertiären Floren auf Verwandtschaft zur heutigen Art hindeuten. Nach der letzten Eiszeit wanderte die Winterlinde aus östlichen und südöstlichen Refugialgebieten nach Mitteleuropa ein. Während der postglazialen Wärmeperiode erreichte sie ihre maximale Ausdehnung und wurde Bestandteil der Eichen-Mischwälder. Mit der Abkühlung des Klimas und der Ausbreitung von Buche, Fichte und Tanne ging ihr Areal in Mitteleuropa nachhaltig zurück. Zusätzlich bewirkte die menschliche Landnutzung spätestens seit 2000 v. Chr. eine weitere Fragmentierung der Bestände (GÖTZ u. WOLF 2004, EATON et al. 2021). Im Kontext der Anthropogenese ist die Winterlinde mittlerweile nicht mehr auf ihren natürlichen Verbreitungsraum beschränkt. Aufgrund ihrer Beliebtheit als Park- und Straßenbaum wird sie auch außerhalb Europas, etwa in Nordamerika und Chile, kultiviert. Dadurch verwischen sich vielerorts die Grenzen zwischen autochthonen und anthropogen begründeten Populationen. Innerhalb des natürlichen Areals signalisiert das Vorkommen der Winterlinde häufig historisch alte, kontinuierlich bewaldete Standorte; gleichwohl sind die Bestände durch menschliche Flächennutzung heute oft kleinflächig und zersplittert (BARENGO 2001a, C.A.B. INTERNATIONAL 2013).

### 3.24.3 Standort

Die ökologische Amplitude der Winterlinde umfasst eine beachtliche Bandbreite an Klima- und Bodenbedingungen, womit sie sich von anderen heimischen Lindenarten wie etwa der Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*)

unterscheidet. Was die Bodenansprüche betrifft, ist die Winterlinde auf mittel- bis tiefgründigen, frischen, durchlüfteten, mineralstoffreichen Substraten mit hoher Basensättigung besonders vital. Sie toleriert sowohl stärker saure als auch basische Böden mit einem pH-Wert von 4 – 8, bevorzugt werden jedoch neutrale bis schwach basische Standorte. Neben Braunerde- und Lössböden besiedelt sie auch Roh-, Kalk- sowie Blockschutthänge. Bezüglich der Nährstoffansprüche ist die Winterlinde nicht so anspruchsvoll wie die Sommerlinde und kommt auch mit mäßig nährstoffversorgten Standorten zurecht. Sie ist in der Lage, Nährelementemangel in gewissen Grenzen zu kompensieren. Eine Anreicherung des Bodens mit Nitraten oder Kalium führt allerdings zu einer signifikanten Zunahme des Wachstums, was ebenso auf einen hohen Calciumgehalt im Boden zutrifft (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, RADOGLU et al. 2009, SAVILL u. WISE 2013, DE JAEGERE et al. 2016, 2016, AAS 2016, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019).

Bezüglich des Wasserhaushaltes besitzt die Art eine hohe Toleranz gegenüber Schwankungen der Bodenfeuchte. Während Staunässe eher gemieden wird, werden wechselfeuchte sowie kurzzeitig überschwemmte Standorte toleriert; ebenso werden längere Trockenperioden vergleichsweise gut überstanden. Besiedelt werden frische bis mäßig trockene Standorte. Ein Minimum an Feinerde und Humus sollte vorhanden sein, damit die Wasseraufnahme gesichert ist. Durch ihre effektive Anpassung an Wassermangel (u. a. Schließen von Spaltöffnungen und möglicherweise symbiotische Beziehungen zu Mykorrhizapilzen) kann sie in verschiedenen Klimaräumen bestehen. Auch wenn

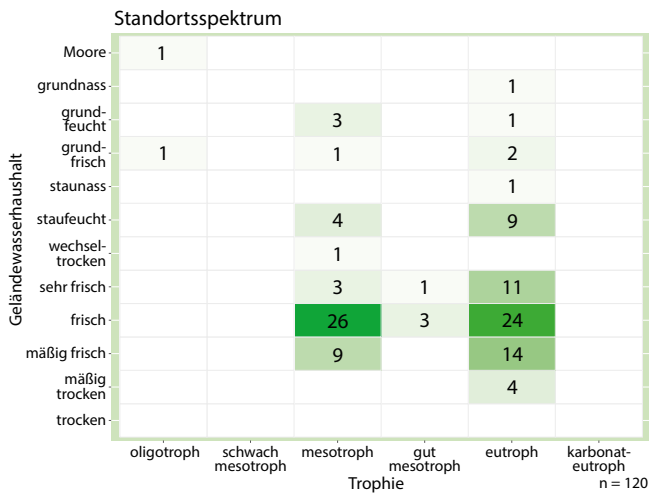


Abb. 2: Standortsspektrum der untersuchten Praxisanbauten der Winterlinde

kürzere Trockenperioden das Überleben nicht beeinträchtigen, so hat es dennoch reduzierende Auswirkungen auf das Radial- und Höhenwachstum. Als Pionierart besiedelt sie auch gestörte Standorte wie Kalkschutthalden oder Geröllfelder (SCHÜTT 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, SAVILL u. WISE 2013, DE JAEGERE et al. 2016, AAS 2016, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Die Standorte der dokumentierten Praxisanbauten geben die breite ökologische Amplitude der Winterlinde deutlich wieder (Abbildung 2). Insbesondere beim Geländewasserhaushalt wird deutlich, dass die Winterlinde mit sehr unterschiedlichen Gegebenheiten zurechtkommt. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Winterlinde auch mit einer mittleren Nährstoffversorgung auskommt.

Im Bereich der Standorts- und Gesellschaftszugehörigkeit bevorzugt *T. cordata* das Tiefland, kommt aber auch in mittleren Gebirgslagen vor. In kontinentalen Regionen wie Polen, den baltischen Staaten und der russischen Laubwaldzone bildet sie oftmals Mischbestände mit Eichen, seltener mit Buchen, und kann dort auch als dominante Baumart auftreten. Östlich der Buchen-Arealgrenze wird sie regelmäßig in bodensauren Laubmischwäldern zur Hauptbaumart. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist

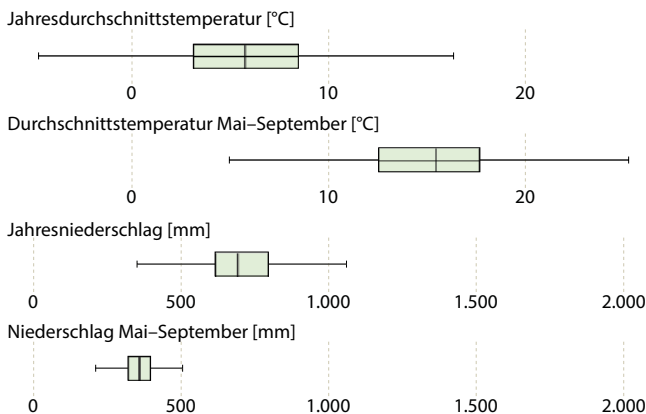


Abb. 3: Klimawerte des natürlichen Verbreitungsgebietes der Winterlinde extrahiert aus dem CHELSA-Datensatz (KARGER et al. 2021)

die Winterlinde ein bedeutender Bestandteil sommerwarmer Mischwälder, insbesondere der Hartholzauen- und Buchenmischwälder (SCHÜTT 1992, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019).

Die Winterlinde besitzt eine breite klimatische Amplitude, welche durch die extrahierten Klimawerte aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet und dem CHELSA-Datensatz (KARGER et al. 2021) ersichtlich werden (Abbildung 3). Nach den vorgenommenen Auswertungen wächst die Winterlinde bei einer Jahresdurchschnittstemperatur zwischen 3,2 und 8,5 °C, wobei die gesamte Spanne hier von rund -6 – +17 °C reicht. Im Zeitraum zwischen Mai und September erhöht sich die Durchschnittstemperatur demgegenüber deutlich auf Werte zwischen 12,5 und 17,7 °C und beträgt im Mittel 15,5 °C. Es treten Extremtemperaturen von -23,0 °C, aber auch von +34,6 °C auf. Im Jahresmittel fallen im natürlichen Verbreitungsgebiet rund 690 mm (616 – 794 mm) Niederschlag. Davon entfallen rund 360 mm (320 – 395 mm) auf die Monate Mai bis September. Abweichend von den in den Auswertungen identifizierten Höchsttemperaturen geben DE JAEGERE et al. (2016) als kritische Höchsttemperatur +44 °C an, verweisen aber darauf, dass hohe Temperaturen im Allgemeinen nur bei ausreichender Wasserversorgung kein Problem darstellen. Die kritische Mindesttemperatur schwankt diesem Autorenkollektiv nach regional zwischen -45 und -48 °C. Die Laubstreu der Winterlinde ist besonders bodenpfleglich und besitzt bodenverbessernde Eigenschaften. Sie zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an mineralischen Nährstoffen und Basenkationen aus, der signifikant höher ist als beispielsweise bei Buchenlaub. Die Streu enthält vergleichsweise wenig Lignin und weist ein niedrigeres C/N-Verhältnis auf, was zu einer rascheren und umfassenderen Zersetzung führt. Dadurch werden dem Boden schnell große Mengen an verfügbaren Nährstoffen zugeführt, was auf ärmeren Standorten den Nährstoffkreislauf und die Bodenfruchtbarkeit deutlich verbessert. Die Winterlinde trägt zur Erhöhung von pH-Wert, Basensättigung und Humusgehalt im Oberboden bei und wirkt damit der Versauerung entgegen (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, SAVILL u. WISE 2013, DE JAEGERE et al. 2016, FALK et al. 2016).

Die in den Praxisanbauten durchgeführte Humusansprache in den Winterlindenbeständen bestätigt die gute Zersetzbarkeit der Laubstreu (Abbildung 4). Es wurden vornehmlich gute bis sehr gute Humusformen angesprochen. Das Wurzelsystem der Winterlinde entwickelt sich von einer kräftigen, rübenförmigen Pfahlwurzel im Jugendstadium zu einem vielstrahligen Herzwurzelsystem im Alter, wobei mehrere Hauptachsen schräg und tief in den Boden reichen. Die hohe Anzahl und Dichte an Feinwurzeln, besonders im Vergleich zu anderen Laubbaumarten,

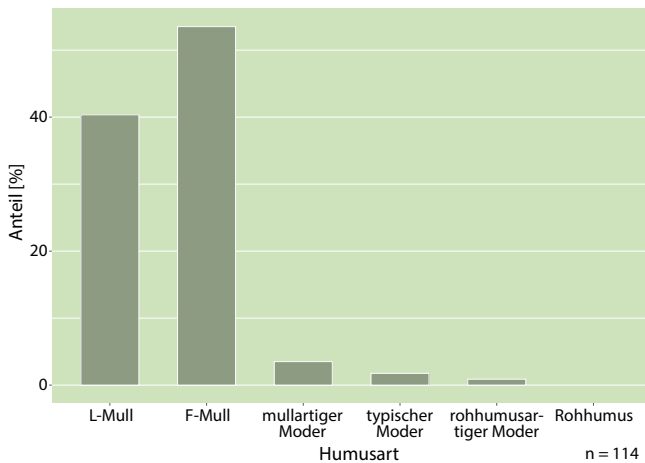


Abb. 4: Humusansprache in den Beständen der Praxisanbauten der Winterlinde

sorgt für eine intensive Erschließung des Bodens, was die Nährstoff- und Wasseraufnahme auch in tieferen Schichten erleichtert. Das Wurzelsystem wird durch einen dichten Besatz von Mykorrhizen ergänzt, was den Zugang zu Mineralien und Wasser zusätzlich verbessert. Insgesamt wird aber nur ein vergleichsweise kleiner Bodenraum vom Wurzelsystem erschlossen, was auf die relativ geringe mechanische Wurzelenergie der Winterlinde zurückzuführen ist. Sie wurzelt aber tief, was dazu führt, dass die Art auf tiefgründigen Böden Dürreperioden gut überstehen kann (KÖSTLER et al. 1968, SCHÜTT 1992, 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, SAVILL u. WISE 2013).

Im Bereich der Interaktionen mit Bodenorganismen begünstigt die Winterlinde in ihren Beständen die Ansiedlung von Regenwürmern, deren Dichte nachweislich höher ist als unter Beständen anderer Baumarten. Der hohe Basen- und Nährstoffeintrag fördert zudem die mikrobielle Aktivität. Die Lindenzierlaus (*Eucallipterus tiliae*) produziert große Mengen Honigtau, was wiederum das Wachstum stickstoffbindender Bakterien im Umfeld der Winterlinde begünstigt und so für eine erhöhte Stickstoffverfügbarkeit sorgt (C.A.B. INTERNATIONAL 2013, SAVILL u. WISE 2013).

### 3.24.4 Wachstum und Ertrag

#### 3.24.4.1 Übersicht

Die Winterlinde zeichnet sich durch eine bemerkenswerte Lebensdauer von bis zu 1.000 Jahren aus, wobei erste Anzeichen von Fäulnis im Stamminneren etwa ab einem Alter von 250 Jahren auftreten. Sie kann Höhen von 25 bis über 35 m und Stammdurchmesser von bis zu 1 m (BHD), in Einzelfällen sogar von 4 – 5 m (BHD) bei sehr alten, freistehenden Bäumen erreichen. In jungen Jahren wächst *T. cordata* vergleichsweise schnell. Beispielsweise werden innerhalb von 20 Jahren Oberhöhen von 11,7 – 13,5 m erreicht, wobei sich das Höhenwachstum ab dem 70. Lebensjahr deutlich verlangsamt und mit etwa 150 – 180 Jahren abgeschlossen ist (BÖCKMANN 1990, SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a,

GÖTZ u. WOLF 2004, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, DE JAEGERE et al. 2016, EATON et al. 2021).

Die Schattentoleranz der Winterlinde ist hoch und wird häufig zwischen Arten wie Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) eingeordnet. Allerdings variiert die Schattentoleranz übers Alter und auch auf verschiedenen Standorten. Während die Winterlinde in der Jugend eine ausgeprägte Fähigkeit besitzt, Schatten zu ertragen, nimmt ihr Lichtbedarf mit steigendem Alter zu. Grundsätzlich beschreiben unterschiedliche Studien die Schattentoleranz von *T. cordata* als mäßig bis hoch, wobei sich diese Ausprägung wohl, neben dem Alter, auch je nach Bodengüte und klimatischen Bedingungen unterscheiden kann. Auf nährstoffreichen, tiefgründigen und gut wasserversorgten Standorten verträgt sie mehr Schatten, wohingegen sie auf ärmeren Böden eher lichtbedürftig ist. Generell wird die Winterlinde aber als Halbschatt- bis Schattbaumart betrachtet. Ihre Lichtbedürftigkeit fällt im Vergleich zur Sommerlinde aber niedriger aus (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, DE JAEGERE et al. 2016, AAS 2016, FALK et al. 2016).

Die Wachstums- und Ertragsdynamik der Winterlinde unterscheidet sich substantziell von derjenigen der Rotbuche sowie weiterer verbreiteter Laubbaumarten. Frühere Studien, insbesondere von BÖCKMANN (1990), zeigen, dass die Winterlinde bis zu einem Alter von etwa 50 Jahren gegenüber der Buche vor- bis gleichwüchsig ist. Ab einem Alter von 100 Jahren weist die Buche jedoch einen um etwa 30 % höheren Vorrat auf, was auf ihren kontinuierlichen und spät kulminierenden Zuwachsverlauf zurückzuführen ist. Die Analyse der Höhenentwicklung belegt ebenfalls deutliche Unterschiede: Während die Winterlinde in der Jugend ein stärkeres Höhenwachstum zeigt, verlangsamt sich dieses mit zunehmendem Alter deutlich. Der Höhenzuwachs kulminiert im Alter von 10 – 20 Jahren. Die Buche hingegen entfaltet ihr Höhenwachstum verzögert, jedoch anhaltend. Im Vergleich zu Lichtbaumarten wie Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Roteiche (*Quercus rubra*) liegt die Winterlinde im Jugendalter höhenmäßig zurück, übertrifft diese jedoch im weiteren Verlauf hinsichtlich der erreichbaren Endhöhe (BÖCKMANN 1990, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, BÜRVENICH et al. 2012, DE JAEGERE et al. 2016, FALK et al. 2016).

Die Vorratsentwicklung der Winterlinde ist charakterisiert durch steile Zuwachskurven in der frühen Jugend, die mit zunehmendem Alter rasch abflachen. Diese Form des Wachstumsverlaufs unterscheidet sich signifikant von der Entwicklung der Buche, die eine langsamere, dafür aber länger anhaltende Zuwachsphase zeigt. Besonders markant ist die frühe Kulmination des laufenden und durchschnittlichen Volumenzuwachses bei der Winterlinde im Alter von 30 – 50 Jahren, wie man sie sonst nur bei den

Lichtbaumarten kennt. Im Gegensatz dazu erreicht die Buche das Zuwachsmaximum deutlich später. Im Alter von 90 Jahren können bei *T. cordata* bei einer guten Bonität Gesamtwuchseleistungen (GWL) von bis zu 1.090 m<sup>3</sup>/ha erreicht werden (BÖCKMANN 1990, GÖTZ u. WOLF 2004, BÜRVENICH et al. 2012, FALK et al. 2016).

Morphologisch bildet die Winterlinde im geschlossenen Bestand hohe, geradschaftige Stämme mit zylindrischer Form und einer hoch ansetzenden, relativ kleinen Krone; freistehend zeigt sie oft eine mächtigere Krone und größere Stammdurchmesser (GÖTZ u. WOLF 2004, FALK et al. 2016).

Ein wesentliches Merkmal von *T. cordata* ist ihre ausgeprägte vegetative Verjüngungsfähigkeit durch Stockausschlag und die Ausbildung von Adventivknospen am Stamm und an den Wurzeln, wobei Wurzelbrut jedoch seltener vorkommt als Stockausschläge. Diese Regenerationsfähigkeit erklärt auch die hohe Bedeutung der Winterlinde in historischen Nieder- und Mittelwaldbetrieben (BARENGO 2001a, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, AAS 2016, FALK et al. 2016).

### Begründung

Die Blühbiologie der Winterlinde ist durch ihre typischen Sommerblütezeiten charakterisiert, wobei sie etwa 2 Wochen später blüht als die Sommerlinde. Die Winterlinde erreicht ihre Blühreife im Freiland im Alter von 20 – 25 Jahren, während sie unter geschlossenem Kronendach erst nach 30 – 50 Jahren blüht. In Mischbeständen blüht die Art sowohl regelmäßiger als auch intensiver als in Reinbeständen. Die Blütezeit beginnt Ende Juni bis Mitte Juli und damit am spätesten unter den einheimischen Baumarten, wobei die Blühperiode je nach geographischer Breite und Höhenlage variiert. Eine volle Blüte erfolgt alle 2 – 4 Jahre (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, SAVILL u. WISE 2013, WURM et al. 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, EATON et al. 2021).

Die Blüten der Winterlinde sind zwittrig, beinhalten jedoch selten auch funktionell eingeschlechtliche Strukturen. Die Blüten sind dichogam, d. h. die männlichen Organe reifen vor den weiblichen, was der Einschränkung von Selbstbefruchtung dient, wenngleich Selbstbefruchtungen aufgrund der Überschneidung der Reifezeiten nicht ausgeschlossen werden können. Das Bestäubungssystem der Linde gilt als generalistisch, sodass eine Vielzahl von Insekten – darunter Honigbienen, Hummeln, Schwebfliegen und Motten – an der Bestäubung beteiligt sind. Die Blüten produzieren einen besonders zuckerreichen Nektar mit einer Konzentration zwischen 25 und 70 %, dessen Produktion abends und nachts besonders hoch ist (GÖTZ u. WOLF 2004, AAS 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017).

Die Früchte sind gestielte, dünnschalige, ellipsenförmige, meist einsamige Nüsse, die in der Reife hellbraun erscheinen und eine Länge von 5 – 8 mm erreichen. Jede Blüte enthält ursprünglich 10 Samenanlagen, von denen im Regelfall 1 bis selten 3 zur Reife gelangen. Die reifen Samen werden überwiegend durch Wind mithilfe des charakteristischen Hochblatts verbreitet, wobei Distanzen bis zu 60 m dokumentiert sind. Das Tausendkorngewicht liegt bei etwa 40 g und 1 kg enthält rund 25.000 Samen (BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, AAS 2016).

Die Samenreife ist im September, spätestens aber Mitte Oktober, erreicht und die Früchte verbleiben häufig bis in den Winter oder sogar bis ins folgende Frühjahr am Baum. Für die Aussaat relevant sind die unterschiedlichen Keimfähigkeiten der Samen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Ernte. Frühernte-Saatgut ist sofort keimfähig, während Späternten wegen ausgeprägter Keimhemmung eine 6 – 9-monatige Stratifikation bei 3 – 5 °C erfordern, um die Dormanz zu brechen. Die Keimhemmung beruht primär auf einer wasserundurchlässigen Schicht der Samenschale. Deshalb überliegen Samen oft und keimen erst im zweiten Jahr oder noch später. Die professionelle Vermehrung erfolgt mit einer Saatgutmenge von etwa 60 g/m<sup>2</sup> in der Baumschule, aus der sich pro Kilogramm unter optimalen Bedingungen bis zu 10.000 Sämlinge entwickeln. Die Qualität und Lebensfähigkeit des Saatguts sind erheblichen Schwankungen unterworfen, die durch klimatische Bedingungen, genetische Faktoren, Nährstoffversorgung sowie physiologischen Stress und die Aufbereitung beeinflusst werden. Auch der Anteil hohler, also nicht entwickelter Samen, steigt mit zunehmendem Baumalter und kann in alten Beständen bis zu 97 % erreichen. Günstige Bedingungen für eine hohe Keimrate sind Temperaturen über 20 °C während der Blüte und Samenreife, während kühlere oder trockenere Phasen den Fruchtansatz und die Samenqualität deutlich verschlechtern. Samen der Winterlinde können bei 10 – 12 % Feuchtigkeitsgehalt und weniger als 0 °C über 3 Jahre lang aufbewahrt werden (BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, AAS 2016, WURM et al. 2016).

Die Verjüngungsstrategie der Winterlinde ist insgesamt trotz reichlicher Fruktifikation durch einen vergleichsweise niedrigen Keimerfolg gekennzeichnet. Die generative Verjüngung aus Samen ist schwach ausgeprägt; die Vegetation verjüngt sich deshalb überwiegend vegetativ durch Wurzel- und Stockausschläge, letztere durch ein ausgeprägtes Stockausschlagsvermögen, wie es besonders im Mittelwaldsystem genutzt wurde. Die epigäische Keimung der Winterlinde verläuft so, dass die Nussfrucht an der Basis aufspringt und die handförmigen Keimblätter zum Vorschein treten. Zur erfolgreichen Naturverjüngung

ist ein günstiges Feuchtigkeitsangebot des Bodens unverzichtbar. Die Lindenarten verjüngen sich am besten unter Schirm und in Femellöchern von Mischbeständen. In der forstlichen Praxis wird die Winterlinde neben der natürlichen Verjüngung auch häufig gepflanzt. Zum Einsatz kommen meist zwei- bis dreijährige Pflanzen (1/1 oder 1/2), seltener werden Heister gepflanzt. Als Pflanzverband wird häufig ein Abstand von 2,0 x 1,0 m verwendet. GÖTZ u. WOLF (2004) schlagen für den Unterbau einen Verband von 2,0 x 1,0 m bzw. 2,0 x 2,0 m vor und für die Verwendung als Hauptbestand einen Verband von 1,0 x 1,5 m bzw. 1,5 x 1,5 m. Trupp- und gruppenweise Mischungen haben sich bewährt, um die Winterlinde nahezu allen Laub- und Nadelhölzern beizumischen, insbesondere zu raschwüchsigen Edellaubhölzern wie Esche, Ahorn, Kirsche und Ulme. Für die Pflanzung als Nebenbestand ist ein ausreichender Zeitabstand zum Hauptbestand einzuhalten. BARENGO (2001a) schreibt von 30 – 40 Jahren zu Eichen und von 5 – 15 Jahren zu Eschen (BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, FALK et al. 2016).

### Waldbau

Die Winterlinde wird in der waldbaulichen Praxis vorrangig als dienende Baumart genutzt. Sie trägt in Beständen mit Eichen oder anderen Edellaubhölzern zur Stabilisierung, Humusbildung und Qualitätssteigerung bei, indem sie das Umfeld potenzieller Wertholzbäume günstig beeinflusst. In der Jugendphase zeichnet sich die Lindenverjüngung durch ein überlegenes Höhenwachstum im Vergleich zu Hain- oder Rotbuche aus. Mit Eichen kann sie vergleichsweise leicht gemeinsame Kronenstrukturen ausbilden, während sie von Buchen eher bedrängt wird (BÖCKMANN 1990, GÖTZ u. WOLF 2004, BÜRVENICH et al. 2012, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019).

Ein früher und dauerhafter Dichtschluss zur optimalen Erziehung der Zielbäume ist erforderlich. Die frühe Auswahl und schrittweise Pflege von rund 100 – 150 zukünftigen Wertbäumen pro Hektar einschließlich der Mischbaumarten gilt als zentral, wobei ein Abstand von 8 – 10 m zwischen diesen Optionen zu wahren ist. Nach EBERT (2006) erfolgt die Auswahl der Z-Bäume bei einer Bestandeshöhe von etwa 17 – 20 m im Alter von 40 – 60 Jahren. Eine regelmäßige Kontrolle der Z-Bäume etwa alle 5 Jahre wird empfohlen. Die Kronenspannung sollte zur Astreinigung erhalten bleiben und Eingriffe sollten nur bei unmittelbarer Gefährdung der Wertträger erfolgen (BARENGO 2001a, FORSTER et al. 2019).

FORSTER et al. (2019) empfehlen die Winterlinde im Hauptbestand mit seitlichem Dichtschluss aber hohem Lichtgenuss zu erziehen. Im Nebenbestand sollte sie dagegen durch gezielte Lichtsteuerung unterdrückt, aber erhalten bleiben. Untersuchungen von BÜRVENICH et al. (2012) zur

Kronenkonzurrenz der Winterlinde in Naturwaldreservaten haben gezeigt, dass sich Linden und Eichen in ihren Eigenschaften der Kronenform sehr ähnlich sind. Die Buche überragt hingegen die anderen beiden Arten. Benachbarte Linden berühren sich i. d. R., wohingegen Linden und Eichen überdurchschnittlich oft ihre Kronen ineinanderschoben. Die Buche verdrängt dagegen die Linde deutlich (BARENGO 2001a, EBERT 2006, BÜRVENICH et al. 2012, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019).

Durchforstungsmaßnahmen sollten grundsätzlich schwach, aber regelmäßig ausfallen, um die Neigung der Linde zur Wasserreiserbildung zu begrenzen. Gerade in der Jugendphase erweisen sich enge Verbände und konsequente Schaftpflge als vorteilhaft, um der natürlichen Verzweigung entgegenzuwirken und hochwertige astfreie Schaftlängen von mindestens 7 – 12 m zu erreichen. Die Durchforstungen sollten ab einer Höhe von 26 m (65 – 100 Jahren) abgeschlossen sein. Pflege- und Formschnitte, inklusive der Entfernung unerwünschter Vorwüchse, sind besonders in Naturverjüngungstrupps essenziell anzuwenden (BARENGO 2001a, EBERT 2006, FALK et al. 2016, FORSTER et al. 2019).

Für die Wertholzproduktion orientieren sich die Produktionsziele an klassischen Edellaubholzverfahren: Ziel sind astfreie, laubholztypische Stämme mit einem Brusthöhendurchmesser von etwa 60 cm (BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, FORSTER et al. 2019).

Die Umtriebszeit für erntefähiges Stammholz beträgt 100 – 140 Jahre. Mit zunehmendem Alter, vor allem ab etwa 150 Jahren, tritt verstärkt Fäulnis im Stamm- oder Wurzelbereich auf, wodurch die wertholzbemessene Nutzung begrenzt ist (BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006).

#### 3.24.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen

In den Auswertungen der Praxisanbauten konnten insgesamt **ertragskundliche Aufnahmen** aus 43 durchgeführten einmaligen Aufnahmen berücksichtigt werden (Abbildung 5). Als Referenz fand die für diese Baumart vorliegende Ertragstafel der Winterlinde von BÖCKMANN (1990) Anwendung. Bei Betrachtung der ermittelten Oberhöhen ( $H_{100}$ ) der Praxisanbauten erkennt man, dass diese fast den gesamten Ertragstafelfächer der Winterlinde abdecken. Hier spiegelt sich die breite Standortsamplitude der Winterlinde (Abbildung 2) wider, welche sich auf den Wuchs auswirkt. Ein Großteil der gemessenen Bestände entfällt dabei auf den Bereich der 1. Ertragsklasse und besser. Dies unterstreicht die bereits beschriebene Wuchsleistung dieser Art. Diese wird auch bei den ermittelten Derbholzvolumina der Praxisanbauten deutlich. Auch hier liegt ein Großteil der Bestände im Bereich der 1. Ertragsklasse und besser. Die hohen Vorräte im Alter von 40 – 50 Jahren

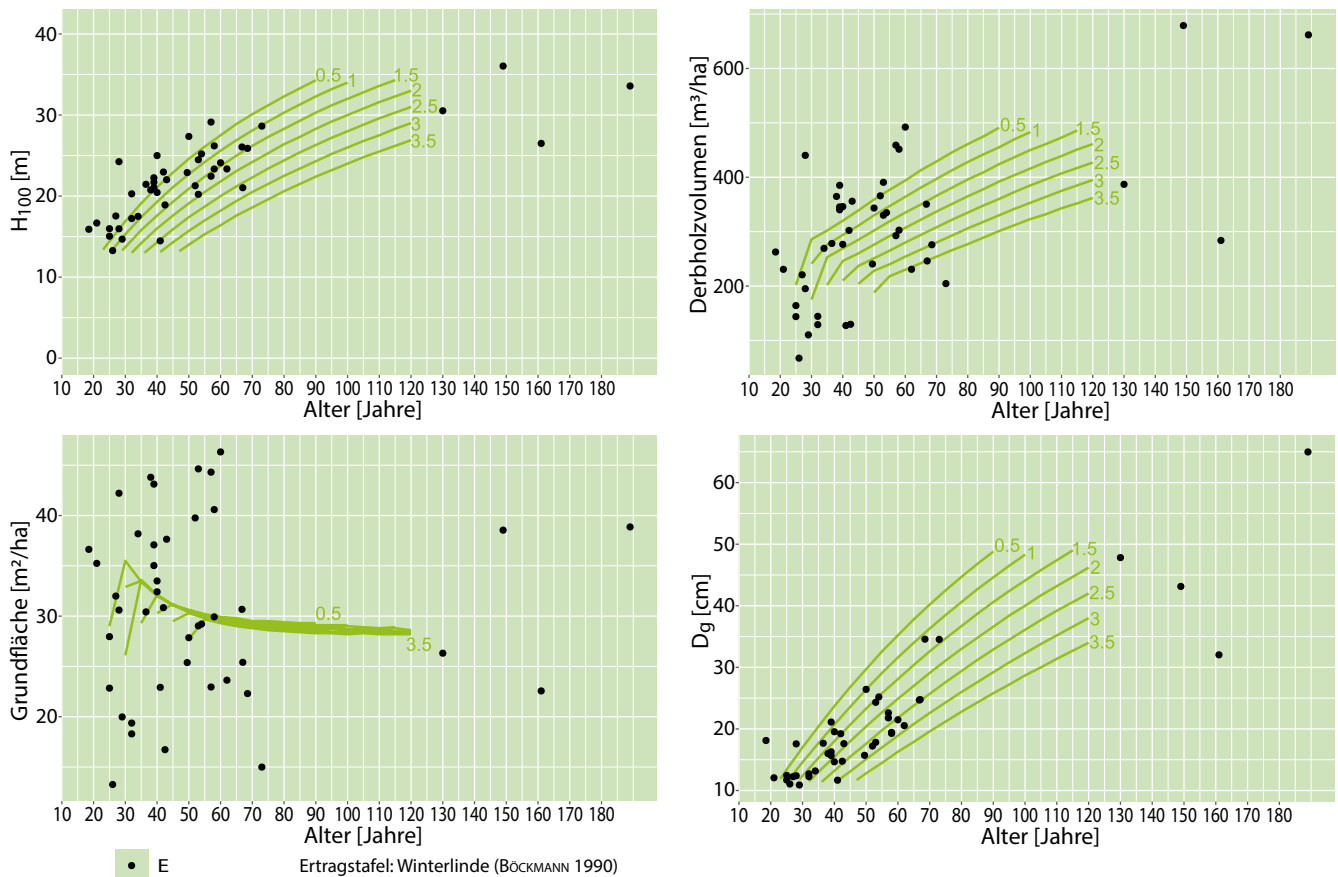


Abb. 5: Oberhöhen-, Derbholzvolumen-, Grundflächen- sowie Durchmesserentwicklung der untersuchten Praxisanbauten der Winterlinde im Vergleich zur Winterlindenertragstafel (Böckmann 1990). E: Einmalige Aufnahmen

bestätigen die steile Zuwachskurve der Winterlinde in der frühen Jugend. Bedingt durch die Altersverteilung der Aufnahmen lässt sich das Abflachen dieser Kurve nur anhand des Verlaufs des Ertragstafelfächers erahnen. Die 4 Aufnahmen mit einem Bestandesalter über 100 Jahren liegen auf sehr unterschiedlichem Niveau. Da die Bestandesgeschichten der Bestände weitestgehend unbekannt sind, sind die Gründe hierfür nicht sicher zu nennen. Neben Standortunterschieden sind unterschiedliche Nutzungs-

intensitäten potenzielle Erklärungen. Diese Erklärung ergibt sich auch, wenn man die zugehörigen Durchmesser (D<sub>g</sub>) der Bestände betrachtet. So weist der ältere Winterlindenbestand mit den geringsten Vorräten gleichzeitig den geringsten D<sub>g</sub> auf, was ein Indiz für eine durchgeführte Zielstärkennutzung sein könnte. Gleichzeitig weist aber der älteste Bestand mit sehr hohem Vorrat den größten D<sub>g</sub> auf, was man wiederum als Nutzungsverzicht in diesem Bestand interpretieren könnte. Anhand dieser Daten wird

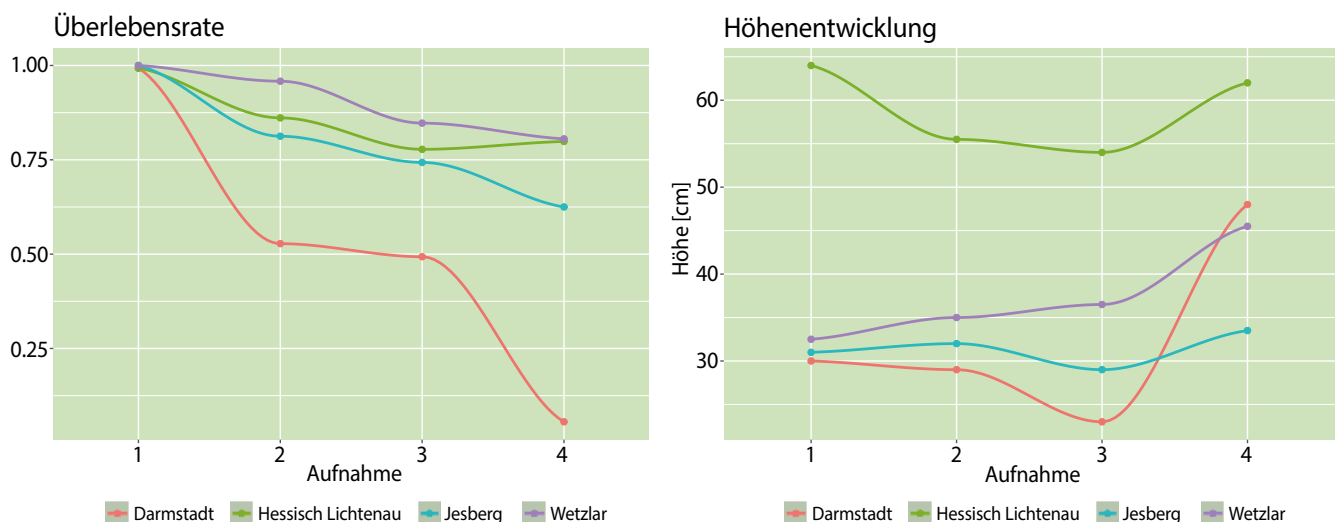


Abb. 6: Überlebensrate (links) sowie Höhenentwicklung (rechts) der Winterlinde auf den vier Anbauversuchen in Darmstadt, Hessisch Lichtenau, Jesberg und Wetzlar in Hessen. Bei der Höhenentwicklung wurden jeweils nur die zum Aufnahmezeitpunkt noch lebenden Exemplare berücksichtigt.

deutlich, dass bei der Winterlinde für den Altersbereich ab 70 Jahren für sicherere Aussagen weitere Daten und Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung nötig sind. Insbesondere Wiederholungsaufnahmen könnten die Aussage zum Wuchsverlauf der Baumart deutlich verbessern.

Die Winterlinde war auch Teil der **Anbauversuche** (Kapitel 2.1.3) in Hessen. Dort sollte sie zum einem als heimische Referenzbaumart dienen, um die Leistung der fremdländischen Laubbaumarten besser einzuschätzen. Des Weiteren sollte aber auch ein Erkenntnisgewinn zum Anwuchsverlauf und Jugendwachstum der Baumart erreicht werden. Abbildung 6 zeigt die Überlebensrate (links) sowie die Höhenentwicklung (rechts) auf den vier Flächen. Bei der Überlebensrate sticht die Fläche bei Darmstadt deutlich hervor, auf der die Winterlinde eine erhebliche Mortalität aufwies. Zum Abschluss der Vegetationsperiode 2024 (Aufnahme 4) lebten dort nur noch gut 5 % der beobachteten Individuen. Dies steht im starken Kontrast zu den anderen drei Flächen, wo eine deutlich höhere Überlebensrate nach drei Vegetationsperioden zu verzeichnen ist. In Jesberg überlebten rund 62 %, in Hessisch Lichtenau und Wetzlar rund 80 % der Pflanzen. In Anbetracht der schwierigen Wuchsbedingungen in der Etablierungsphase sind dies durchaus positive Überlebensraten. Die schwierigen Wuchsbedingungen spiegeln sich in unterschiedlicher Ausprägung auch in der Höhenentwicklung der Winterlinde auf den Flächen wider. Insbesondere in Hessisch Lichtenau zeigt sich die trockene Witterung zunächst in einem Rückgang der mittleren Höhe, was auf Zurückrocknungsprozesse des oberirdischen Pflanzenteils zurückzuführen ist. Solche Prozesse konnten auch auf den anderen Flächen beobachtet werden und zeigen sich auch in unterschiedlicher Ausprägung in den Verläufen der mittleren Höhe in den ersten beiden Vegetationsperioden (Aufnahmen 2 und 3). Erst in der Vegetationsperiode 2024 wurde auf allen Flächen einheitlich an den noch lebenden Exemplaren eine positive Höhenentwicklung ermittelt. Die besonders starke Höhenzunahme in Darmstadt darf dabei jedoch mit Verweis auf die hohe Mortalität nicht überinterpretiert werden, da in die Auswertung nur noch 8 Pflanzen eingeflossen sind. Zum Ende der Vegetationsperiode 2024 lag die mittlere Höhe in Hessisch Lichtenau bei 62 cm, in Darmstadt bei 48 cm, in Wetzlar bei 45 cm und in Jesberg bei 33 cm.

### 3.24.5 Gefährdungen

Die Lindenarten sind im Allgemeinen nur geringen Gefährdungen ausgesetzt, ihre Populationsrückgänge stehen vorrangig im Zusammenhang mit waldbaulichen Veränderungen wie der Umwandlung von Nieder- und Mittelwäldern in Hochwälder, wodurch sie lokal zurückgedrängt

wurden. Hinsichtlich biotischer Schaderreger gilt für Sommer- und Winterlinde, dass weder Insekten noch Pilze üblicherweise zu existenziellen Gefährdungen führen. In Bayern wurde jedoch ein verstärkter Befall durch blattparasitische Pilze wie *Gloeosporium tiliae* und *Phyllosticta tiliae* beobachtet, was zu vorzeitiger Blattverfärbung und vorzeitigem Blattfall führen kann. Berichte über Blattlausbefall sowie Mistelbefall liegen ebenfalls vor, wobei insbesondere die Winterlinde als widerstandsfähig beschrieben wird (BARENGO 2001a, EBERT 2006, FORSTER et al. 2019).

Beide Lindenarten sind klimatolerant, wobei die Spätfrostgefährdung diskutiert wird. Es gibt sowohl Quellen, wonach die Lindenarten spätfrosthart sind als auch solche, die die Lindenarten als spätfrostgefährdet einstufen. Die Sommerlinde gilt aufgrund ihres früheren Austriebs generell als anfälliger, während die Winterlinde wegen ihres späteren Austriebs seltener von Spätfrösten betroffen ist. Früh austreibende Herkünfte sind hier natürlich dennoch besonders spätfrostgefährdet. Auch Herbstfröste sollen der Winterlinde weniger schaden, da ein frühzeitiger Blattfall Frostschäden verhindert. Junge Pflanzen werden durch Wild gerne verbissen und durch den Rehbock gefressen (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, EBERT 2006, DE JAEGERE et al. 2016, FALK et al. 2016, EATON et al. 2021).

Insekten spielen als Schadorganismen bei der Winterlinde eine untergeordnete Rolle. Der Lindenschwärmer (*Mimas tiliae*) und der Wollflafer (*Eriogaster lanestris*) sind auffällig, jedoch harmlos. Auch die aus Japan stammende Lindenminiermotte (*Phyllonorycter issikii*) tritt auf, wird aber stark durch Parasitoide dezimiert. Weitere relevante Schadinsekten sind der Schwammspinner (*Lymantria dispar*), für den besonders die Winterlinde empfänglich ist, sowie die Nonne (*Lymantria monacha*), die bevorzugt bei der Sommerlinde auftritt (GÖTZ u. WOLF 2004, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Blatt- und Triebkrankheiten stehen im Vordergrund der pathogenen Gefährdungen. Zahlreiche Pilzarten verursachen Blattbräune, Nekrosen und Blattflecken, darunter insbesondere die *Apiognomonium*-Blattbräune (*Apiognomonium tiliae*), die *Cercospora*-Blattfleckenkrankheit und die *Verticillium*-Welke. Der Rußtau wird durch verschiedene Pilze verursacht, die sich von den Ausscheidungen der Blattläuse ernähren und zu einer Beeinträchtigung der Photosynthese führen können. Kleinschmetterlingsraupen sowie Blattwespenlarven können die Blätter der Linde minieren, während Welkeerscheinungen an Blättern und Zweigen auf bodenbürtige Pilze zurückzuführen sind (GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, BLASCHKE u. NANNIG 2016, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Die Winterlinde scheint grundsätzlich gegenüber Dürre relativ widerstandsfähig zu sein, insbesondere im Vergleich zur Sommerlinde, was auf eine ausgeprägte Einschränkung

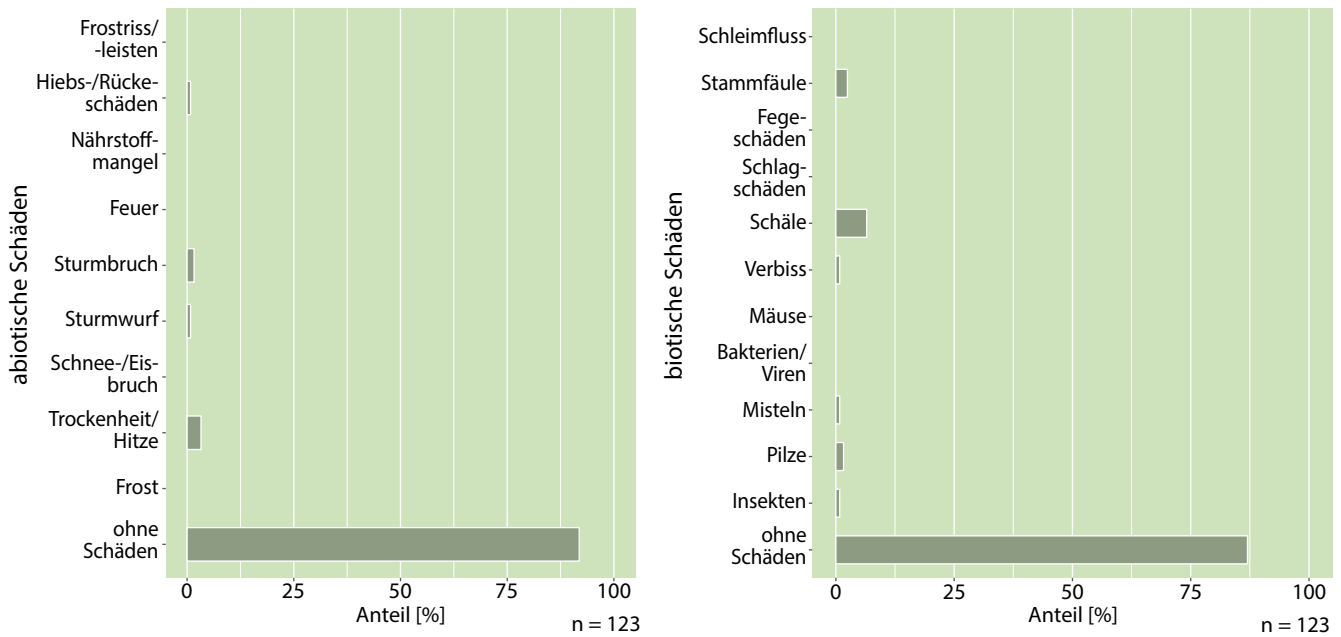


Abb. 7: In den Praxisanbauten vorgefundene abiotische und biotische Schäden an *T. cordata*

kung der Transpiration bei Wassermangel zurückgeführt wird. Dennoch gilt die Art nach physiologischen Messungen nicht als trockenheitstolerant im engeren Sinne, sondern erholt sich eher rasch nach Trockenperioden, insbesondere im Vergleich zu Esche und Eiche. Dafür sprechen die vergleichsweise niedrigen Wurzel-Wasserpotenziale bei dieser Art. Nach Untersuchungen von AASAMAA et al. (2004) (zitiert nach KORN 2004) gilt die Winterlinde hingegen als nicht-trockentolerante Baumart. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Winterlinde im Kronenbereich ein verhältnismäßig großes Wasserpotenzial bei einer starken Einschränkung der Blattleitfähigkeit aufweist. Aus Kronen erwachsener Bäume sowie an Keimlingen sind aber auch Hitzeschäden bekannt, welche meist infolge unzureichender Wasserversorgung der Bäume auftreten. Die Folgen sind Vergilbungen der Blätter sowie vorzeitiger Laubfall. Zurückzuführen sind die Schäden auf eine Überhitzung der besonnten Blätter aufgrund einer verminderten Transpiration (KORN 2004, GÖTZ u. WOLF 2004, EATON et al. 2021). Schäden an Rinde und Holz sind durch diversen Insekten- und Larvenfraß möglich, wobei relevante Holzschädlinge etwa *Bostrychiden*, *Cerambyciden* und *Anobiiden* umfassen. Des Weiteren ist die sogenannte Brandkrustenfäule (*Kretschmaria deusta*) hervorzuheben, die durch die Ausbildung kohleartiger Fruchtkörper schwer zu diagnostizieren ist, aber zu plötzlichem Baumbruch führen kann. Weitere typische Stammfäulen werden durch Arten der Gattungen *Armillaria* (Hallimasch), *Pholiota squarrosa*, *Fomes fomentarius*, *Ganoderma applanatum*, *Polyporus squamosus*, *Pleurotus ostreatus* und *Meripilus giganteus* verursacht, wobei letztere ebenfalls oft zu unerwarteten Umstürzen durch Entwurzelung auch bei scheinbar vitalen Bäumen führt (GÖTZ u. WOLF 2004, BLASCHKE u. NANNIG 2016, FORSTER et al. 2019).

Bezogen auf den urbanen Kontext ist das als *Stigmina*-Triebsterben bekannte Schadbild relevant, das durch den Pilz *Stigmina pulvinata* verursacht wird. Es führt zu zögerlichem Austrieb und deutlicher Kronenverlichtung, wobei sich die meisten Linden nach Johannistrieb wieder regenerieren können. Weitere Triebsschäden, beispielsweise Rotpustelkrankheiten durch *Nectria galligena* und *N. ditissima*, verursachen ebenfalls lokale Nekrosen und Astverluste (BLASCHKE u. NANNIG 2016, FORSTER et al. 2019). Sowohl die Dokumentation der vorgefundenen abiotischen und biotischen Schäden in den Praxisanbauten (Abbildung 7) als auch deren Vitalitätsansprache (Abbildung 8), bestätigen die in der Literatur getätigten Aussagen zur geringen Anfälligkeit der Winterlinde gegenüber Schadfaktoren und weisen ihr auch nach den zum Zeitpunkt der Aufnahme überdauernden Trockenjahren eine durchweg

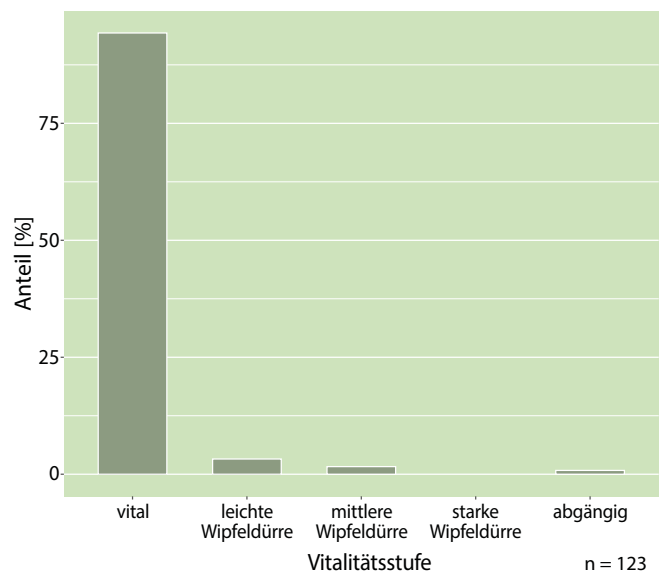


Abb. 8: Vitalitätsansprache der Praxisanbauten von *T. cordata*

hohe Vitalität nach. Bäume mit Beschädigungen wurden nur in geringem Umfang dokumentiert. Darunter finden sich im Wesentlichen die bereits beschriebenen Schadsachen. Hinzu kommt die Schale durch Rotwild, welche in nennenswertem Umfang in den Praxisanbauten beobachtet wurde. Dies macht deutlich, dass bei nicht angepassten Wildbeständen ein Schutz dieser Baumart über einen längeren Zeitraum vonnöten sein kann.

### 3.24.6 Holzverwendung und Stammqualitäten begutachteter Bestände

Das Holz der Winterlinde ist durch seine gelblich- bis rötlich-weiße Farbe sowie gelegentlich auftretende grünliche Zonen gekennzeichnet, wobei zwischen Splint- und Kernholz kein Farbkern ausgebildet wird. Aufgrund der fehlenden farblichen Unterscheidbarkeit zählt die Linde zu den sogenannten Reifholzbäumen. Die Jahresringgrenzen sind sehr undeutlich, das Holz ist zerstreutporig mit feinen, gleichmäßig angeordneten Gefäßen und schwach voneinander abgesetzten Jahrringen (SACHSSE 1984, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, GROSSER u. EHMCKE 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Die Oberflächenstruktur wird meist als matt oder seidig-glänzend beschrieben. Die Markstrahlen sind schmal, homogen und ein- bis sechsreihig. Sie können im Radialschnitt als sogenannte Spiegel deutlich erkennbar werden. Im Vergleich der Arten weisen Holzproben von Winter- und Sommerlinde keine relevante anatomische Unterscheidbarkeit auf, weder makroskopisch noch mikroskopisch. Das Holz ist weich, von gleichmäßig dichter und feiner Struktur und zählt zu den mittelschweren Hölzern (SCHÜTT 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, GROSSER u. EHMCKE 2016, FORSTER et al. 2019).

In Bezug auf die technischen Eigenschaften sticht die leichte Bearbeitbarkeit hervor: Es lässt sich schneiden, hobeln, dreheln und besonders leicht schnitzen. Auch das Splatten ist möglich, wenn auch die Flächen nicht immer glatt werden. Die geringen Unterschiede zwischen Tangential- und Radialschwindung bedingen ein gutes Stehvermögen, das heißt, nach der Trocknung arbeitet das Holz kaum noch. Es zeigt sich jedoch anfällig für Rissbildung und Verfärbungen bei rascher oder unsachgemäßer Trocknung. Aus diesem Grund sollte Rundholz möglichst mit Rinde gelagert werden (SACHSSE 1984, SCHÜTT 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, GROSSER u. EHMCKE 2016, FORSTER et al. 2019). Nachteilig ist die geringe natürliche Dauerhaftigkeit gegenüber Pilz- und Insektenbefall, insbesondere gegen Bläuepilze und den Gewöhnlichen Nagekäfer, sodass Lindenholz für eine Verwendung im Außenbereich ungeeignet ist. Bei Kontakt mit Metallen kann es zu chemisch bedingten Grün- oder Graufärbungen kommen. Die mechanischen Eigenschaften werden als wenig elastisch, von

geringer Festigkeit und Tragfähigkeit beschrieben; daher eignet sich das Holz nicht für Bau- oder Konstruktionszwecke (SACHSSE 1984, SCHÜTT 1992, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, GROSSER u. EHMCKE 2016, FORSTER et al. 2019).

Hinsichtlich der Färbbarkeit, Lackierbarkeit und Polierbarkeit zeigt Lindenholz hervorragende Eigenschaften, da es Farben, Beize und Leime gut aufnimmt. Die Oberflächenbehandlung ist unkompliziert, allerdings ist die Klebfestigkeit gelegentlich unbefriedigend (GÖTZ u. WOLF 2004, GROSSER u. EHMCKE 2016, 2016, FORSTER et al. 2019).

Die Verwendungsschwerpunkte liegen traditionell im Bereich der Bildhauerei, Schnitzerei und Drechslerei. Zu weiteren Verwendungsbereichen zählen die Herstellung von Sperr- und Blindholz, Möbeln, Furnieren, Spielwaren, Küchengeräten sowie Musikinstrumenten wie Harfenteilen, Klaviaturen, Orgelpfeifen und Holzschuhen. Die feine, gleichmäßige Struktur macht das Holz auch im Modellbau sowie bei Zeichenbrettern und Bilderrahmen beliebt. Aufgrund der Spaltfestigkeit wurde es für Bögen und Schilde genutzt. Seine historische Bedeutung lässt sich unter anderem daran festmachen, dass es im Hoch- und Spätmittelalter häufig in der Sakralkunst Verwendung fand und als „Heiligenholz“ bezeichnet wurde (SACHSSE 1984, SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, SAVILL u. WISE 2013, GROSSER u. EHMCKE 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Die Rolle im Musikinstrumentenbau war besonders im Mittelalter bis ins 18. Jahrhundert bedeutsam, vor allem für Resonanzböden von Klavieren sowie Tastenbelegung, da das Holz stabil ist und sich wenig verzieht. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurde es im Instrumentenbau allerdings zunehmend ersetzt (C.A.B. INTERNATIONAL 2013, SAVILL u. WISE 2013, GROSSER u. EHMCKE 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017).

Im Bereich der technischen Anwendungen spielte Lindenholz eine Rolle als Zellstoff- und Papierholz sowie in der Herstellung von Span- und Faserplatten. Ebenfalls wurde es verwendet zur Herstellung von Bleistiften, Zündhölzern, Zeichen- und Filterkohle, wobei die Kohle auch für Räucherkerzen und als Bestandteil von Schießpulver genutzt wurde (GÖTZ u. WOLF 2004, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, GROSSER u. EHMCKE 2016).

Die Qualitätsansprache eines potenziellen Z-Baumkollektivs in den Praxisanbauten weist mit annähernd 70 % Anteil an der Güteklasse „B“ einen hohen Anteil an qualitativ gut ausgestatteten Beständen auf (Abbildung 9). Dieser wird jedoch gefolgt von einem mit rund 25 % recht hoher Anteil an Beständen, die in die Güteklasse „schlechter als B“ einsortiert wurden. Neben einer waldbaulich untergeordneten Rolle in den Beständen waren für diese Einschätzungen auch relativ häufig die überwiegend schlechten phänotypischen Merkmale ausschlaggebend. Selbst in

künstlich begründeten Beständen wurden oftmals viele Zwiesel und eine hohe Starkastigkeit beobachtet, was die Wahl von hochwertigem, quellengesichertem Vermehrungsgut verdeutlicht. Nur ein geringer Teil der Bestände konnte in die Güteklasse „besser als B“ einsortiert werden, was aber auch zeigt, dass genetisch hochwertiges Material zur Verfügung steht und eine Wertholzerzeugung mit dieser Art möglich ist.

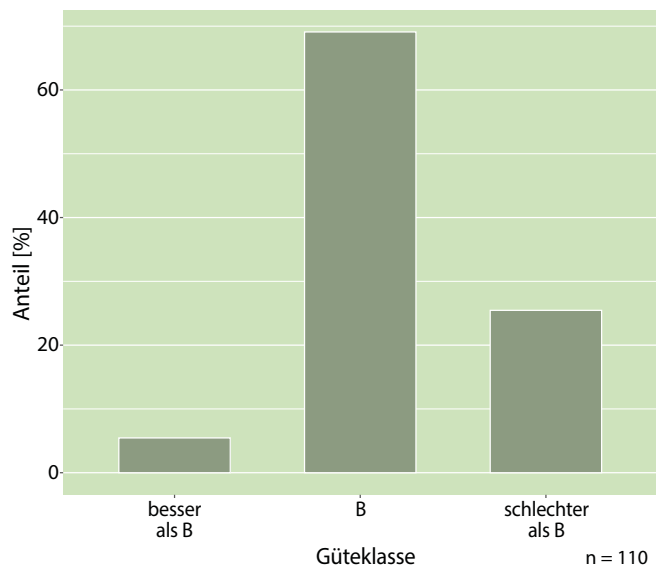


Abb. 9: Qualitätseinschätzung der Praxisanbauten von *T. cordata* anhand einer optischen Stehendansprache eines potenziellen Z-Baumkollektivs.

### 3.2.4.7 Sonstige Ökosystemleistungen

Der Bast der Lindenrinde wurde in früheren Zeiten vielseitig genutzt; insbesondere diente er zur Herstellung von Flecht- und Seilerwaren wie Seilen, Schnüren, Säcken, Körben und Matten sowie als Bindematerial im Garten- und Obstbau. Aus mehreren Lagen geflochtenem Lindenbast fertigte man darüber hinaus Schuhe, Kleidungsstücke und sogar Schilde, und Schreiner stellten Leimpinsel aus dem Bast her. Im landwirtschaftlichen Bereich nutzten Landwirte Lindenlaub und Holzmehl, gelegentlich auch ganze Zweige, als Futter für Haustiere. In Russland wurden Lindenholzspäne von ärmeren Bevölkerungsschichten zur Matratzenfüllung verwendet (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, GROSSER u. EHMCKE 2016, DÖRKEN u. STEINECKE 2017).

Lindenblüten stellen traditionell ein bedeutendes Heilmittel dar. Sie werden zur Hochblüte geerntet – idealerweise unmittelbar nach dem Aufblühen und nur bei trockenem Wetter –, im Schatten getrocknet und lichtgeschützt gelagert. Charakteristisch ist ihr Gehalt an ätherischen Ölen, Flavonoiden, Schleimstoffen und Gerbstoffen, woraus sich der medizinisch verwendbare Teeaufguss herleiten lässt. Lindenblütentee wird in der Hausmedizin gegen Erkältungskrankheiten, Fieber und zur Linderung von Hustenreiz sowie in der Volksmedizin auch als schweiß- und

krampflösend, magenstärkend und blutreinigend eingesetzt. Wissenschaftlich gesichert erscheint vorrangig die reizlindernde Wirkung durch den Schleimstoffgehalt; der schweißtreibende Effekt ist vermutlich auch auf den Konsum heißer Flüssigkeit zurückzuführen. Neuere medizinische Studien bestätigen biochemische Effekte zur Stärkung der körpereigenen Abwehrkräfte. Neben Tee aus den Blüten besitzen Sud und Umschläge aus Lindenblättern und -blüten ebenfalls eine Bedeutung in der traditionellen Heilpraxis (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, FORSTER et al. 2019, EATON et al. 2021).

Die Winterlinde spielt ökologisch eine zentrale Rolle als Bienenweide und Nahrungsquelle für zahlreiche Insektenarten sowie viele Wirbeltierarten. Sie bietet ein überdurchschnittliches Angebot an Nektar und Pollen, das vor allem gegen Ende der Vegetationsperiode wichtig für Honig- und Wildbienen, Hummeln, Schwebfliegen, aber auch für Tag- und Nachtfalter ist. Die Blüten sind sowohl tagsüber als auch nachts geöffnet und ermöglichen verschiedenen Insektenarten jederzeit Zugang zu Pollen und Nektar, was durch morphologische Anpassungen der Blütenstruktur begünstigt wird. Auch andere fliegende Insekten und Wildbienen nutzen das Angebot, wenn auch in geringerer Häufigkeit. Der intensive Duft der Lindenblüten wirkt insbesondere auf Bienen, Hummeln, Fliegen und Schwebfliegen anziehend. Die hohe Attraktivität als Bienenweide führte in früheren Jahrhunderten dazu, dass das Verbreitungsgebiet der Linde vermutlich auch anthropogen durch Imkerei gesteuert wurde (SCHÜTT 1992, BARENGO 2001a, GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, C.A.B. INTERNATIONAL 2013, DÖRKEN u. STEINECKE 2017, FORSTER et al. 2019, GROTEHUSMANN unveröffentlicht).

Lindenhonig, insbesondere der aus den Blüten stammende Lindenblütenhonig, zeichnet sich durch seine hellgelbe bis grünliche Färbung und den charakteristischen Duft aus und gilt als besonders wertvoll. Im gesamten Verbreitungsgebiet trägt *Tilia cordata* erheblich zur Honigproduktion bei, wobei einzelne alte Bäume bis zu 30 kg Honig pro Saison liefern können; in einigen Regionen stammt bis zu 75 % des Honigs von Linden. Neben frischem Nektar verarbeiten Bienen auch Honigtau von Blattläusen, der insbesondere zur Endphase der Blüte reichhaltig eingetragen wird (GÖTZ u. WOLF 2004, EBERT 2006, C.A.B. INTERNATIONAL 2013).

Die Rolle der Winterlinde für andere Organismen ist vielgestaltig. Verschiedene Vogelarten finden in den Baumkronen Nahrung sowie Nistmöglichkeiten. Die Pilzflora ist sehr artenreich und umfasst neben Mykorrhizapilzen wie dem Netzstieligen Hexenröhrling (*Suillellus luridus*) und dem Mehrärling (*Clitopilus prunulus*) über 200 holzbesiedelnde Arten. Die Früchte der Linde stellen für viele Tiere, darunter diverse Vogelarten, wichtige Nahrung dar (DÖRKEN u. STEINECKE 2017, FORSTER et al. 2019).

### 3.24.8 Genetik

Die Qualität der vorhandenen Lindenbestände ist häufig sehr unterschiedlich. Neben den hervorragenden Beständen in Wuchleistung und Schaftform gibt es auch immer wieder unbefriedigende Bestände. Es liegen bisher nur wenige Untersuchungen zur natürlichen Variabilität von Winterlinden vor. Aus diesem Grund wurden Winterlinden-Herkunftsversuche und Nachkommenschaftsprüfungen in Deutschland, Rumänien, Österreich und der Schweiz durchgeführt, die 23 Herkünfte und 162 Einzelstammabsaaten umfassen. Diese sollen die Phänologie, Wuchleistung und Wuchsform der unterschiedlichen Lindenvorkommen ermitteln und gleichzeitig Aufschluss über die Variabilität innerhalb von Herkünften geben. Des Weiteren können so Informationen über die geographische Variation der Art gesammelt werden, um zukünftig Empfehlungen für Saatgutimporte geben zu können. Eine deutliche Variation konnte bei der Auswertung der bisherigen Ergebnisse der Nachkommenschaftsprüfungen festgestellt werden. Die jüngeren Versuche zeigen sich aufgrund ihres größeren Umfangs als deutlich variabler. Vor allem das ausländische Material, welches im Umfang in den Versuchsserien begrenzt war, wurde durch Spätfröste teilweise erheblich verringert. Als ebenfalls problematisch zeigte sich die unterschiedliche Zusammensetzung der angelegten Nachkommenschaftsprüfungen. So stellte sich in den älteren Versuchen eine tschechische Herkunft aus dem Forstamt Loučné als durchaus positiv heraus. Diese wurde aber lediglich auf zwei Flächen getestet und ist in den jüngeren Versuchen nicht vertreten. Generell bestehen die jüngeren Versuche aber aus einer höheren Vielfalt an heimischem wie auch an ausländischem Material. Über alle Versuche hinweg konnte festgestellt werden, dass sich die verwendeten rumänischen Herkünfte für die an den Versuchsorten herrschenden Bedingungen als ungeeignet herausstellten. In den Versuchen präsentieren sich die wenigen Herkünfte aus Österreich und der Schweiz, etwa auf dem Niveau der besseren deutschen Absaaten. Besonders hervorzuheben sind hier die deutschen Nachkommenschaften der Samenplantage bei Laufen-Lebenau, da hier keine signifikant negativen Beziehungen zwischen Qualität und Leistung nachgewiesen werden konnten. Im Unterschied zu den in Beständen ausgewählten Plusbäumen handelt es sich bei den Einzelklonabsaaten dieser Samenplantage um bereits vorselektiertes Material, welches vermutlich durch die genetisch besser veranlagten Plusbaum-Klone einen wesentlichen Anteil an der Bestäubung und folglich auch an den Nachkommenschaften dieser Absaat besitzt (GROTHEUSMANN unveröffentlicht).

Innerhalb des Verbreitungsgebietes der Winterlinde sind neben weiteren einheimischen Arten auch mehrere natürliche Bastardverbindungen dokumentiert, beispielsweise

die holländische Linde (*Tilia × vulgaris*; Kreuzung aus *T. cordata* und *T. platyphyllos*). Dieser Hybrid ist seit langem als Park- und Alleebaum verbreitet. Die Blühphänologie beeinflusst die Hybridisierung: Die Sommerlinde blüht 2 – 3 Wochen früher als die Winterlinde. Trotz dieser zeitlichen Trennung kommt es unregelmäßig zu spontanem Genfluss zwischen beiden Arten, da die Barrieren für Introgression nicht vollständig wirksam sind. Dass sowohl Sommer- als auch Winterlinde mütterliche Eltern in Hybriden sein können, weist auf einen möglichen Genfluss in beide Richtungen hin. Die Bedeutung der Introgression und deren Auswirkung auf die genetische Integrität beider Arten unter natürlichen Bedingungen ist bislang in der Forschung nur unzureichend geklärt. Allozym-Analysen erlauben eine zuverlässige Differenzierung zwischen Elternarten und Hybriden. Neben der Holländischen Linde sind auch andere Bastardverbindungen bekannt, etwa mit der Amerikanischen Linde (*Tilia × flavescens*). Hybride zwischen der Winter- und Sommerlinde sind weitgehend steril. Der Embryo des häufig üppigen und vital erscheinenden Samenbehangs der Hybride ist nur selten lebensfähig (SCHÜTT 1992, FROMM 2001, GÖTZ u. WOLF 2004, DE JAEGERE et al. 2016, AAS 2016, WURM et al. 2016).

Morphologisch gestaltet sich die Unterscheidung des Hybrids *Tilia × vulgaris* zu den Elternarten als ausgesprochen schwierig, da sich die anatomischen Eigenschaften stark ähneln. Der Hybrid ist nicht völlig steril, sein Fruchtsatz bleibt jedoch gering und die Fruchtbildung ist schlecht. Obschon spezifischere Studien zur Ausbreitung und zu den ökologischen Folgen einer Hybridisierung angeraten werden, ist bereits ersichtlich, dass *T. × vulgaris* insbesondere in West- und Mitteleuropa einen beträchtlichen Anteil an Stadtbaumpopulationen besitzt. Ähnliche Hybridisierungen werden zudem für die Krim-Linde (*T. × euchlora*) und weitere interspezifische Bastarde berichtet (DE JAEGERE et al. 2016, AAS 2016).

Die genetische Vielfalt innerhalb der europäischen *Tilia*-Populationen wurde in mehreren Studien mithilfe moderner molekularer Marker wie Mikrosatelliten untersucht. Diese Analysen bestätigen sowohl für *T. cordata* als auch für *T. platyphyllos* den Diploidie-Status, die ausgeprägte Fremdbefruchtung und eine hohe genetische Diversität innerhalb wie zwischen den Arten. Auffällig ist eine Abnahme der genetischen Vielfalt von *T. cordata* mit zunehmendem Breitengrad. Diese Muster werden darauf zurückgeführt, dass in Südeuropa während der Eiszeit stabile klimatische Bedingungen herrschten, was zur Konservierung einer hohen Diversität beitrug (PHUEKILAI 2011, zitiert nach DE JAEGERE et al. 2016). Andererseits ist die genetische Vielfalt von *T. cordata* gegenwärtig durch die Fragmentierung der Populationen bedroht. Aufgrund der weit auseinanderliegenden Bestände und der limitierten Samenverbreitung ist der Genfluss

eingeschränkt; für *T. cordata* wird eine nahezeitliche Migrationsrate von 5 – 500 m/Jahr angenommen, verglichen mit wesentlich höheren Raten anderer Baumarten wie *Alnus* spp., *Picea abies* und *Acer* spp. Historisch ist weiterhin zu beachten, dass der Mensch durch selektive Nutzung die genetischen Ressourcen von *Tilia* zusätzlich dezimiert haben könnte (De JAEGERE et al. 2016).

Die Winterlinde unterliegt dem Forstvermehrungsgutgesetz, das in Deutschland gezielte Auswahlprozesse und verpflichtende Herkunftsgebiete für Saatgut vorsieht. Bei

der Auswahl der Erntebestände werden vorwiegend phänotypische Qualitätskriterien wie Geradschaftigkeit und Astreinheit berücksichtigt und besondere Aufmerksamkeit auf die Isolierung zu benachbarten Beständen der Sommerlinde gelegt, um Arthybridisierung zu minimieren (WURM et al. 2016).

Tabelle 1 enthält einen Auszug aus den Herkunftsempfehlungen der NW-FVA für die Winterlinde, welche bei der künstlichen Verjüngung beachtet werden sollten.

Tab. 1: Von der Nordwestdeutsche Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung C – Waldgenressourcen, empfohlene Herkünfte forstlichen Vermehrungsgutes (Herkunftsempfehlungen) (Auszug, für eine abschließende Auflistung bitte in den jeweiligen Empfehlungen für die Länder nachschlagen)<sup>1</sup>

Land	Anbau- gebiet	Kategorie	Rang	Registernummer	Ausgangsmaterial	Stand
Hessen	823 04	geprüft		09 1 823 08 002 4	SP Laufen-Lebenau I (Süd- u. Südostdeutsches Hügel- und Bergland, Berchtesgaden, BY)	2024
	823 04	qualifiziert		06 2 823 04 003 3	SP Jungviehweide (Reinhardshagen, HE)	2024
	823 04	qualifiziert		06 2 823 04 001 3	SP Hessisches Bergland (Hanau-Wolfgang, HE)	2024
	823 04	qualifiziert		03 1 823 04 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2024
	823 04	qualifiziert		06 2 823 04 002 3	SP Ziegenberg (Wehretal, HE)	2024
	823 04	qualifiziert		03 4 823 03 001 3	SP Südniedersachsen/Nordhessen (Liebenburg, NDS)	2024
	823 05	qualifiziert		03 1 823 04 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2024
	823 05	qualifiziert		06 2 823 04 003 3	SP Jungviehweide (Reinhardshagen, HE)	2024
	823 05	qualifiziert		03 4 823 03 001 3	SP Südniedersachsen/Nordhessen (Liebenburg, NDS)	2024
	823 05	qualifiziert		16 1 823 04 006 3	SP Vitzeroda (TH)	2024
Niedersachsen	823 01	qualifiziert	1	03 4 82303 001 3	SP Südniedersachsen/Nordhessen (Liebenburg, NDS)	2022
	823 01	qualifiziert	2	15 3 82303 001 3	SP Mittel- u. ostdeutsches Tief- und Hügelland (Anhalt, ST)	2022
	823 01	qualifiziert	2	03 1 82304 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2022
	823 02	geprüft	2	09 1 82308 002 4	SP Laufen-Lebenau I (Süd- u. Südostdeutsches Hügel- und Bergland, Berchtesgaden, BY)	2022
	823 02	qualifiziert	1	06 2 82304 001 3	SP Hessisches Bergland (Hanau-Wolfgang, HE)	2022
	823 02	qualifiziert	1	15 3 82303 001 3	SP Mittel- u. ostdeutsches Tief- und Hügelland (Anhalt, ST)	2022
	823 02	qualifiziert	1	03 1 82304 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2022
	823 02	qualifiziert	1	03 4 82303 001 3	SP Südniedersachsen/Nordhessen (Liebenburg, NDS)	2022
	823 02	qualifiziert	1	16 1 82304 006 3	SP Vitzeroda (TH)	2022
	823 03	geprüft	1	09 1 82308 002 4	SP Laufen-Lebenau I (Süd- u. Südostdeutsches Hügel- und Bergland, Berchtesgaden, BY)	2022
	823 03	qualifiziert	1	15 3 82303 001 3	SP Mittel- u. ostdeutsches Tief- und Hügelland (Anhalt, ST)	2022
	823 03	qualifiziert	1	16 1 82304 006 3	SP Vitzeroda (TH)	2022
	823 03	qualifiziert	2	06 2 82304 001 3	SP Hessisches Bergland (Hanau-Wolfgang, HE)	2022
	823 03	qualifiziert	2	03 1 82304 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2022
	823 03	qualifiziert	2	06 2 82304 002 3	SP Ziegenberg (Wehretal, HE)	2022
	823 04	geprüft	1	09 1 82308 002 4	SP Laufen-Lebenau I (Süd- u. Südostdeutsches Hügel- und Bergland, Berchtesgaden, BY)	2022

<sup>1</sup>Für Schleswig-Holstein befindet sich die Empfehlung aktuell in der Überarbeitung, sodass leider zum Redaktionsschluss keine Empfehlungen zur Verfügung standen.

Fortsetzung Tabelle 1

Land	Anbau- gebiet	Kategorie	Rang	Registernummer	Ausgangsmaterial	Stand
<b>Niedersachsen</b>	823 04	qualifiziert	1	06 2 82304 001 3	SP Hessisches Bergland (Hanau-Wolfgang, HE)	2022
	823 04	qualifiziert	1	03 1 82304 001 3	SP Niederrheinische Bucht (Oldendorf, NDS)	2022
	823 04	qualifiziert	1	16 1 82304 006 3	SP Vitzeroda (TH)	2022
	823 04	qualifiziert	1	06 2 82304 002 3	SP Ziegenberg (Wehretal, HE)	2022
<b>Sachsen-Anhalt</b>	823 02	qualifiziert		15 3 823 03 001 3	SP Stackelitz, LFB BT Anhalt 1237 x	2023
	823 02	qualifiziert		15 3 823 03 002 3	SP Nedlitz, LFB BT Anhalt 1897 x 1	2023
	823 02	ausgewählt/ geprüft		** * 823 02 *** *	Erntebestände aus dem HKG 823 02	2023
	823 02	ausgewählt/ geprüft		** * 823 03 *** *	Erntebestände aus dem HKG 823 03	2023
	823 03	qualifiziert		15 3 823 03 001 3	SP Stackelitz, LFB BT Anhalt 1237 x	2023
	823 03	qualifiziert		15 3 823 03 002 3	SP Nedlitz, LFB BT Anhalt 1897 x 1	2023
	823 03	ausgewählt		15 3 823 03 *** 2	SHK Mittlere Elbe, FA Dessau	2023
	823 03	ausgewählt/ geprüft		** * 823 03 *** *	Erntebestände aus dem HKG 823 03	2023
	823 04	ausgewählt/ geprüft		** * 823 04 *** *	Erntebestände aus dem HKG 823 04	2023
	823 04	ausgewählt/ geprüft		** * 823 06 *** *	Erntebestände aus dem HKG 823 06	2023