

Winterlinde – Vermehrungsgut und genetische Aspekte

Andreas Wurm, Barbara Fussi und Monika Konnert

Schlüsselwörter: Winterlinde, Forstvermehrungsgut, Saatguternte, Artunterscheidung, genetische Variation

Zusammenfassung: Saat- und Pflanzgut der Winterlinde unterliegt den Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes. In Deutschland sind acht Herkunftsgebiete für diese Baumart ausgewiesen. In Bayern sind derzeit 81 Bestände (217 Hektar reduzierte Fläche) und sechs Samenplantagen zur Ernte zugelassen. Das Saatgut der Winterlinde kann bei niedrigen Temperaturen lange Zeit ohne nennenswerten Verlust eingelagert werden. Diese Langzeitlagerung kann helfen, Versorgungsengpässe zu überbrücken. Mit Hilfe genetischer Marker können Winterlinde und Sommerlinde eindeutig getrennt werden. Trotz unterschiedlicher Blühzeiten kommt es immer wieder zu spontanen Hybridisierungen zwischen den Arten, wobei die Introgression aber gering ist. Das genetische Verbreitungsmuster ist stark geprägt durch die nacheiszeitliche Rückwanderung aber auch durch massiven menschlichen Einfluss.

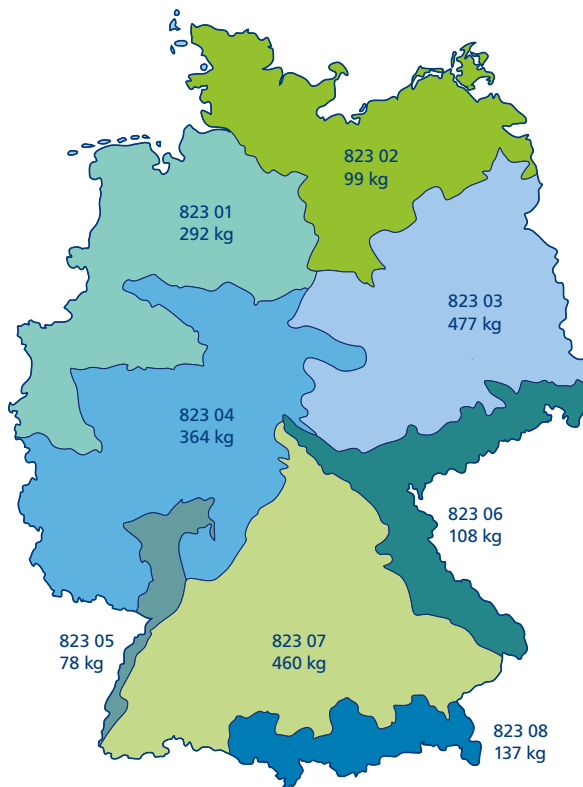


Abbildung 1: Herkunftsgebiete von Winterlinde mit durchschnittlichem Ernteaufkommen/Jahr (Angaben in Kilogramm Saatgut, Mittelwert 1995 – 2014)
Datenquelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung/BLE

Herkunft und Erntebestände

Die Winterlinde ist eine Baumart, die dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegt. Winterlindensaatgut wird in Deutschland in acht Herkunftsgebieten (HKG) bereitgestellt (siehe Abbildung 1). Herkunftsgebiete sind Regionen mit vergleichbaren ökologischen Bedingungen, in denen sich Bestände befinden, die sich regionalen Klima- und Standortverhältnissen am besten angepasst haben.

Die Auswahl der Erntebestände innerhalb der Herkunftsgebiete erfolgt überwiegend nach phänotypischen Qualitätskriterien, um Saatgut von möglichst hochwertigen Elternbäumen bereitstellen zu können. Für die Zulassung sind Geradschaftigkeit, Astreinheit sowie das Fehlen von Zwieselbildungen wichtig. Besonderes Augenmerk ist bei Winterlinde aber auch auf die Isolierung zu benachbarten Sommerlindenbeständen sowie die Beimischung von Sommerlinden im Bestand zu legen, um Arthybridisierung zu vermeiden. Hybride sind nämlich weitgehend steril. Sie haben

zwar einen üppigen, vital aussehenden Samenbehang, der Embryo der Samen ist aber nur selten lebensfähig (Fromm 2003).

In Bayern sind derzeit 81 Winterlinden-Erntebestände mit einer Gesamtfläche von 2.054 Hektar und einer reduzierten Fläche von 217 Hektar zugelassen (siehe Tabelle 1). Der überwiegende Teil der Bestände liegt im HKG »823 07 Süddeutsches Hügel- und Bergland« mit Schwerpunkten im nördlichen und westlichen Bayern (vergleiche Abbildung 2). Große Einzelbestände mit jeweils circa 30 Hektar befinden sich im Wald des Juliusspitals Würzburg sowie im Bereich des Forstbetriebes Landsberg am Lech.

Unter den 81 Ernteeinheiten finden sich auch sechs Samenplantagen mit insgesamt 11 Hektar Fläche, die

Herkunftsgebiet (HKG)	Anzahl Bestände	Reduzierte Zulassungsfläche [ha]
823 04 Westdeutsches Bergland	6	45
823 05 Oberrheingraben	0	0
823 06 Südostdeutsches Hügel- und Bergland	4	9
823 07 Süddeutsches Hügel- und Bergland	70	161
823 08 Alpen und Alpenvorland	1	2

Tabelle 1: Übersicht zugelassener Winterlinden-Erntebestände in Bayern

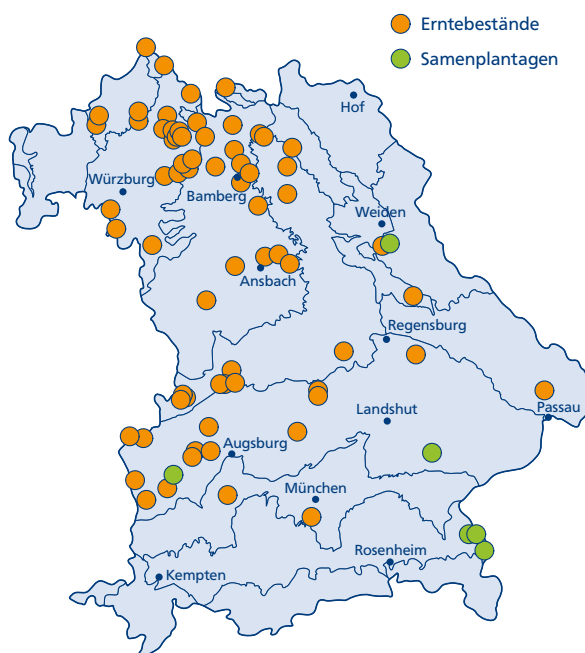


Abbildung 2: Winterlinden-Erntebestände und Samenplantagen in Bayern

durch das ASP beginnend in den 1980er Jahren angelegt worden sind. Es handelt sich um vier Plantagen für das HKG 823 07 und jeweils eine Plantage für die HKG 823 06 und 823 08. In diesen Samenplantagen werden Abkömmlinge von Ausleseebäumen mit sehr guten phänotypischen Eigenschaften in reproduktiven Kontakt gebracht, mit dem Ziel früh, häufig und kostengünstig Saatgut mit guten genetischen Eigenschaften zu erhalten.

Bei der Winterlinde muss bei der Plantagenanlage vor allem auf zwei Aspekte geachtet werden: Die Isolierung von Sommerlinden um Hybridisierung vorzubeugen und die Blühperiode. Letztere sollte bei den Plantagenmitgliedern möglichst einheitlich sein, damit die effektive Populationsgröße und damit die genetische Variation im Saatgut nicht eingeschränkt wird. Klonale Unterschiede bei Blühbeginn, Blühintensität und Samenbehang wurden z. B. auch bei der

Winterlindenplantage in Laufen beobachtet (Konnert und Fromm 2004). Um hier einer geringen genetischen Diversität im Saatgut entgegenzuwirken muss darauf geachtet werden, dass möglichst viele Klone bei Vollmast beerntet werden.

Ernteaufkommen Saatgut

Das jährliche Ernteaufkommen in Deutschland betrug im Mittel der letzten zehn Jahre circa 1.600 Kilogramm Saatgut (Abbildung 3). In Bayern wurden davon circa 500 Kilogramm pro Jahr gewonnen. Im Erntejahr 2004 wurde mit etwa 4.500 Kilogramm deutschlandweit der Spitzenwert der letzten Jahre erreicht. Weitere gute Erntejahre waren 2007 und 2008. Die bereits zugelassenen Samenplantagen in Bayern werden regelmäßig beerntet. In den letzten Jahre konnte jedoch nur vergleichsweise wenig Winterlindensaatgut geerntet werden: 2014 waren es z. B. nur circa 1.180 Kilogramm. Für 2015 liegen noch keine endgültigen Zahlen vor, die Ernte war aber sehr schwach. Ernteschwerpunkt in Bayern ist das Herkunftsgebiet »Südostdeutsches Hügel- und Bergland (823 07)«, in dem mit über 70 % der Großteil des Saatgutes gewonnen wird.

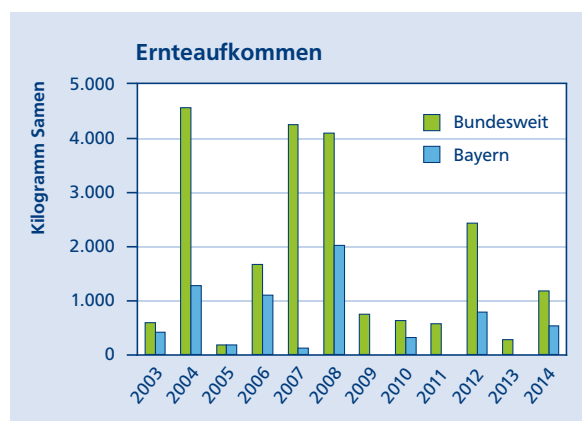


Abbildung 3: Jährliches Ernteaufkommen von Winterlinde in allen deutschen Herkunftsgebieten sowie in Bayern im Zeitraum 2003 – 2014 Quelle: BLE und EZR



Abbildung 4: Samenplantage mit Winterlinde bei Laufen Foto: M. Lukas

Eigenschaften des Saatgutes und Ernte

Die Winterlinde beginnt im Freiland mit der Fruktifikation etwa ab einem Alter von 20 bis 25 Jahren, im geschlossenen Bestand hingegen erst nach 30 bis 50 Jahren. Saatguternten sind daher erst ab dem Alter von 40 Jahren rechtlich zugelassen. Dieses Alter ist ebenso für die ausreichende Beurteilung der Bestandsqualität erforderlich. Die Winterlinde blüht sehr spät im Juni/Juli. Die Samenreife ist im September, spätestens aber Mitte Oktober erreicht. Die Früchte hängen oft bis in den Dezember hinein an den Ästen, bis sie vom Wind verweht werden. Bei der Ernte wird zwischen Früh- und Späternten unterschieden. Frühernte, auch als Grünernte bezeichnet, erfolgt Mitte August bis Mitte September. Dieses Saatgut ist sofort keimfähig. Bei den Späternten wird das Saatgut ab Ende Oktober geerntet. Das Saatgut weist in diesem Stadium der Entwicklung eine starke Keimhemmung auf, bedingt durch die geringe Wasserundurchlässigkeit der fertig ausgebildeten Samenschalen. Um die starke Keimhemmung des Saatgutes zu brechen, muss dieses sechs bis neun Monate bei 3 bis 5 °C stratifiziert werden. Das Saatgut der Winterlinde überlagert nicht nur, sondern es kann auch für lange Zeit ohne nen-

nenswerten Verlust bei niedrigen Temperaturen eingelagert werden. In der Genbank des ASP liegen positive Erfahrungen bei einer Lagertemperatur von -10 °C und einem Wassergehalt von 6–7 % für einen Zeitraum von 20 Jahren vor. Die Langzeitlagerung kann helfen Versorgungsengpässe zu überbrücken.

Im Labortest (Saatgutprüfung am ASP; Abbildung 5) wurden große Schwankungen bei der Lebensfähigkeit (35–95 %) und dem Tausendkorngewicht (22–45 g) festgestellt. Dementsprechend ist auch die Anzahl der lebenden Keime pro Kilogramm Saatgut mit circa 10.000 bis 30.000 Stück stark unterschiedlich. Als Gründe für die hohen Schwankungen in der Qualität des Saatgutes werden klimatische Bedingungen, Seneszenz (= genetisch gesteuerter und energieabhängiger Alterungsprozess), Unterversorgung mit Nährstoffen, physiologischer Stress durch Trockenheit und Bodenversauerung, Kronenexposition (Fromm 2001) aber auch die Aufbereitung des Rohmaterials (Jenner, persönliche Mitteilung) angesehen. Der Hohlkornanteil kann auch innerhalb eines Bestands von Baum zu Baum stark schwanken. Genetische Ursachen werden als weniger relevant eingeschätzt (Fromm 2001).



Abbildung 5: Keimlinge der Winterlinde Foto: ASP

Innerhalb eines Jahrzehnts ist laut Rohmeder (1972) bei der Winterlinde im Durchschnitt mit drei Vollmasten und drei Halbmasten zu rechnen. Diese Feststellung deckt sich mit den Statistiken zu Blüte und Fruktifikation, welche die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) seit über 20 Jahren veröffentlicht. Somit ist die Winterlinde bei ihrem Fruktifikationsverhalten vergleichbar mit Ulmen, Eschen und Birken.

Vermarktung

Das Saatgut von Winterlinde unterliegt den Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG). Es darf nur in Verkehr gebracht werden, wenn es aus zugelassenen Ernteeinheiten (Bestände, Samenplantagen) stammt. Das gleiche gilt für Pflanzen (auch Wildlinge), sofern sie für forstliche Zwecke bestimmt sind.

Winterlinde wird für den Forst als verschulte, zwei- bis dreijährige Baumschulpflanze (2+0, 1+1 bzw. 1+2) in den Größenklassen 30–50, 50–80, 80–120 und 120–150 cm auf dem Markt angeboten.

Laut Prognose der Erzeugergemeinschaft für Forstpflanzen Süddeutschland e.V. ist die Vorratslage an Pflanzen der Winterlinde derzeit knapp. Auch mittelfristig ist aufgrund von geringem Saatgutauflkommen nicht mit einer deutlichen Entspannung der Lage zu rechnen.

Genetische Aspekte

Die Gattung *Tilia* ist hexaploid mit einem einfachen Chromosomensatz von $n=41$ und hat damit eines der größten Genome unter den heimischen Waldbäumen

(Fromm 2001). Die Winterlinde bzw. die Gattung *Tilia* ist als insektenbestäubt einzustufen. Eine Bestäubung durch Wind ist zwar möglich aber selten und kleinräumig (z. B. bei isolierten Solitäräumen und/oder nach Ausbleiben von Insekten) und führt daher überwiegend zu Selbstbestäubung. Pollen wird meist über nicht spezialisierte Insekten über mehrere hundert Meter effektiv transportiert. Gerade bei einer Pollenübertragung im Stock sozial lebender Insekten (Bienen und Hummeln) sind große Pollentransportweiten denkbar. Fromm (2001) hat z. B. auf der Grundlage von Isoenzymanalysen in einem Winterlindenbestand eine durchschnittliche Pollentransportweite von circa 80 Meter berechnet, bei einer maximalen Transportweite des effektiven Pollens von circa 1.600 Meter. Die Verfrachtung von effektivem Pollen über beträchtliche Entfernungen zeigt, dass die Winterlinde gut an ein zerstreutes Vorkommen im Mischbestand angepasst ist. Je weiter jedoch vor allem kleinkronige Winterlinden von anderen Paarungspartnern entfernt stehen, desto höher ist die Selbstbefruchtungsrate in deren Nachkommen.

Trotz des hohen Pollenflusses werden selbst unter günstigen klimatischen Bedingungen im Vergleich zur Produktion von Blüten nur wenige lebensfähige Nachkommen gebildet. In kühlen Sommern ist oft ein kompletter Ausfall der sexuellen Reproduktion zu verzeichnen. Als Grund für die relativ geringen Fruchtansätze und Keim-Prozente werden physiologische und weniger genetische Ursachen vermutet.

Artunterscheidung und Nachweis von Hybridisierung mittels genetischer Untersuchungen im Labor

Die Sommerlinde blüht zwei bis drei Wochen früher als die Winterlinde (Fromm 2001). Diese zeitliche Trennung reicht aber nicht immer aus, um zwischenartigen Genfluss zu verhindern, so dass es immer wieder zu spontanen Hybridisierungen kommt. Die Introgression der Winter- und Sommerlinde ist aber eingeschränkt. Bei den ersten genetischen Untersuchungen an Winterlinde wurden Isoenzym-Genmarker eingesetzt. So fand Fromm (2001) bei der Analyse von 12 Isoenzym-Genorten, dass Winterlinde und Sommerlinde über artspezifische Allele verfügen, die eine Unterscheidung der beiden Arten und die Identifizierung von Hybriden ermöglichen. In diesem Zusammenhang ist vor allem der Genort SKDH-B zu erwähnen, der vier artspezifische Varianten der Winterlinde und drei artspezifische Varianten der Sommerlinde aufweist und damit zur Artunterscheidung und zur Hybrididentifizierung besonders geeignet ist. Andererseits

sprechen gerade die vielen artspezifischen Allele der Winter- und Sommerlinde für eine begrenzte Introgression der beiden Arten (Fromm 2001).

Ab ca. 2005 wurden Chloroplasten-Marker herangezogen, um die Lindenarten zu unterscheiden (Rajendra 2009). Zwei unterschiedliche Abschnitte im Chloroplastengenom (ccmp3 und ccmp10) kamen dabei zum Einsatz. Bei ihrer Analyse wurden fünf verschiedene Typen gefunden, zwei davon ausschließlich bei Sommerlinde. Da die Chloroplasten in den Laubbäumen mütterlicherseits vererbt werden, können damit auch die Sameneltern der Hybride festgestellt werden. Die Tatsache, dass beide Arten als Sameneltern in Hybriden festgestellt wurden, zeigt, dass Genfluss in beide Richtungen möglich ist (Rajendra 2009).

Seit wenigen Jahren stehen auch Kernmikrosatelliten-Marker für die beiden Lindenarten zur Verfügung. Bei den genetischen Untersuchungen wurden 12 Kernmikrosatelliten-Genorte eingesetzt (Tc5, Tc31, Tc6, Tc7, Tc4, Tc8, Tc915, Tc963, Tc951, Tc918, Tc920, Tc11; Phuekvilai und Wolff 2013).

Der Genort Tc918 funktioniert nur bei der Sommerlinde und kann daher zur Artunterscheidung verwendet werden. Wird für eine fragliche Probe an diesem Genort kein Signal erzielt, ist davon auszugehen, dass es sich um eine Winterlinde handelt. Auch eine sogenannte »Assignment-Analyse« (Abbildung 6), der die genetischen Strukturen der einzelnen Individuen (Samen, Pflanzen und Altbäume) an den restlichen elf Genorten zugrunde gelegt werden, ergibt eine klare Trennung von Winterlinde und Sommerlinde. Die fragliche Probe, die kein Signal am Genort Tc918 gezeigt hat, ist erwartungsgemäß den Winterlinden zugeordnet.

Genetische Variation bei Populationen der Winterlinde

In den wenigen Untersuchungen zur genetischen Vielfalt von Populationen der Winterlinde wurden Isoenzym-Genmarker sowie Chloroplasten- und Kernmikrosatelliten (unveröffentlichte Untersuchungen des ASP) eingesetzt.

Dabei zeigte eine Plantagenernte eine geringere genetische Diversität als eine Bestandsernte im selben Erntejahr (Konnert und Fromm 2004). Als Ursachen wurden die schwache Fruktifikation in den Plantagen und die Beerntung nur weniger Klone angesehen.

Bei einer anderen Bestands-Saatgutpartie (unveröffentlichte Untersuchungen des ASP) wurden 48 Samen an zehn Kernmikrosatelliten-Genorten untersucht. Die genetische Vielfalt, ausgedrückt als effektive Anzahl von Allelen ($N_e = 3,1$), lag weit unter dem Wert für Stieleiche (N_e zwischen 8 und 10) und eher im Bereich der

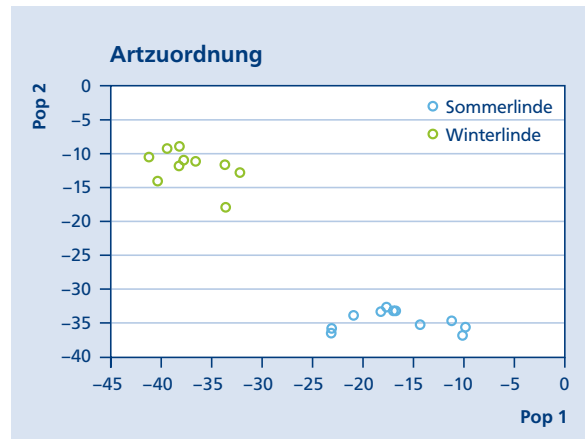


Abbildung 6: Trennung der Lindenarten auf Basis von elf Kernmikrosatelliten-Genorten (Assignment-Analyse)

Vogelkirsche (N_e zwischen 3 und 4). Ein Grund dafür könnte, ähnlich wie bei der Vogelkirsche, vegetative Vermehrung sein. In einem Bestand von 50 Bäumen wurden z. B. drei Paare von vegetativ vermehrten Bäumen gefunden. Gerade an den Grenzen der Verbreitung nimmt die Vermehrung über Samen ab und man findet vermehrt klonale Strukturen in den Beständen.

In einer europaweiten Studie mit Chloroplasten-Markern wurde eine im Vergleich zu anderen Baumarten, wie z. B. der Stieleiche, geringe genetische Differenzierung der Winterlindenbestände gefunden (Fineschi et al. 2003). Als Gründe dafür werden die Rückwanderungsgeschichte nach der letzten Eiszeit, aber auch der starke Einfluss des Menschen angegeben.

Klonüberprüfung in einer Samenplantage

Bei der Anlage von Samenplantagen ist die Klonreinheit, das heißt die genetische Identität der Replikationen (Ramets) desselben Klons, wichtig. Zu Verunreinigungen kann es durch Durchwachsen der Unterlagen aber auch durch Verwechslungen kommen. Zur Überprüfung der Klonreinheit bei Winterlindenplantagen eignen sich die hochvariablen Kernmikrosatelliten, mit deren Hilfe der genetische Fingerabdruck eines Klons erstellt werden kann. Bei der Überprüfung von sechs Klonen einer Plantage erwiesen sich zwei Klone als unrein, jeweils ein Ramet wich vom Referenzklon ab. Diese Klone wurden aus der Plantage entfernt.

Literatur

Fineschi, S.; Salvini, D.; Turchini, D.; Carnevale, S.; Vendramin G.G. (2003): Chloroplast DNA variation of *Tilia cordata* (Tiliaceae) Can. J. For. Res. 33: 2503–2508

Fromm, M. (2001): Reproduktion einer entomophilen Baumart in geringer Populationsdichte – Das Beispiel der Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.). Dissertation der Universität Göttingen. 236. Seiten <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2001/Fromm/index.html>.

Fromm, M. (2003): Die Lindenarten im Forstvermehrungsgutgesetz: Unterscheidung von Sommer- und Winterlinde. AFZ/ Der Wald, 804–805 KONNERT, M.

Konnert, M.; Fromm, M. (2004): Genetische Variation in kommerziellen Saatgutpartien aus Erntebeständen und Samenplantagen von Winterlinde (*Tilia cordata*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 52, 204–212

Phuekvilai P. and Kirsten; Wolff K. (2013): Characterization of Microsatellite Loci in *Tilia platyphyllos* (Malvaceae) and Cross-Amplification in Related Species. Applications in Plant Sciences, 1(4) 2013.

Rajendra, K. C. (2009): Species Differentiation in *Tilia*: A Genetic Approach, Rajendra K.C. (Dissertation der Universität Göttingen)

Rohmeder, E. (1972): Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Parey Verlag, Berlin/Hamburg

Keywords: *Tilia cordata*, forest reproductive material, genetic variation and differentiation

Summary: For *Tilia cordata* the production and trade of forest reproductive material (FRM) is regulated by the German law on FRM. Eight provenance regions are delineated in Germany. In Bavaria 81 stands and six seed orchards are approved for seed harvesting. Seed of *Tilia cordata* can be stored at low temperatures for more than 20 years without substantial loss in germination power. Long seed storage therefore can help to avoid supply bottlenecks. Even if the flowering period of *Tilia cordata* and *Tilia platyphyllos* is different, spontaneous hybridization can happen. The two species and their hybrids can be distinguished by means of isozyme and molecular markers (nSSR). The genetic pattern has been shaped by the recolonisation history after the last ice age but also by human influence.

Die Linde von Grimmental

Zu Grimmental in Franken
Steht ein gewaltiger Baum.
Zehn Bären mit ihren Pranken
Umspannen die Linde kaum.
Sie stand als Wacht der Marken
Schon manches liebe Jahr,
Als Asathor, dem starken
Rauchte der Steinaltar.

Ich weiß nicht, wie die Linde
Der Christenaxt entging
Und wer an ihre Rinde
Heilige Bilder hing.
Ich weiß nicht, wer die Quelle,
Die dorten rinnt, gestaut,
Wer Steinhaus und Kapelle
Daneben hat gebaut.

Viel tausend Kranke kamen
Gewallt zum Gnadenort.
Die Krüppel und die Lahmen
Ließen die Krücken dort.
Die Sehkraft fand der Blinde,
Der Stumme die Sprache fand. –
Der Ruhm der heiligen Linde
Erscholl von Land zu Land.

Wo blutend einst verendet
Des Donar Opferbock,
Ward Gold und Silber gespendet
Dem eisernen Opferstock.
Es wurden ausgeschlossen,
Die kamen mit leerer Hand;
Das hat die Heil'gen verdrossen,
Sie räumten grollend das Land. (...)

Heut sind die Wunder vergessen,
Die Baum und Born einst bot,
Und in dem Steinhaus essen
Arme das Gnadenbrot.
Es kühlt der müde Schnitter
Am Quell den heißen Gaum,
Und Mädchen singen zur Zither
Unter dem Lindenbaum.

Noch ladet tausend Immen
Der Baum zum Sonnenfest,
Und süße Vogelstimmen
Tönen in seinem Geäst.
Die Erdmännlein, die braunen
Pflegen ihn dienstbereit,
Und seine Zweige raunen
Mären aus alter Zeit.

Rudolf Baumbach (1840–1905)