

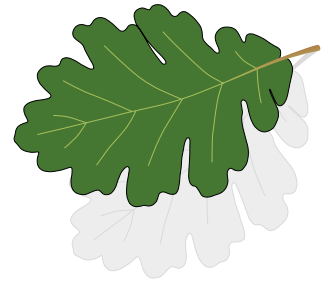
### 3.8 Flaumeiche (*Quercus pubescens*)

*Quercus pubescens* WILLD., 1796 (syn.: *Quercus lanuginosa* (LAM.) THUILL. non LAM.)

engl.: downy oak, pubescent oak

Familie: Fagaceae

Gattung: *Quercus*



#### 3.8.1 Zusammenfassende Bewertung



#### Anbauempfehlung

Als heimische Art wird die Flaumeiche (*Quercus pubescens*) durch ihre Eigenschaften, sowohl sommerliche Trockenperioden, heiße Temperaturen als auch tiefe Wintertemperaturen zu überstehen, zu einer potenziell wichtigen

Baumart bei der Anpassung der heimischen Wälder an den Klimawandel. Aktuelle Projekte beschäftigen sich bereits mit bisher ungeklärten Fragen zur Herkunftswahl sowie zur Saatgutbereitstellung.

	Merkmal	Bewertung	Erläuterung
Klimaanpassung in Anlehnung an OTTO (1993)	Standortanpassung	+++	Eine breite Nährstoffamplitude und geringe Ansprüche an die Wasserversorgung ergeben einen sehr breiten Standortsbereich, der auch unter Klimawandelszenarien von Relevanz ist
	Bodenpfleglichkeit	-	Es gibt Hinweise, dass sich die Laubstreu schlecht zersetzt. Darüber hinaus sind bisher keine negativen Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften bekannt
	Keine Krankheitsverbreitung	+	Es gibt keine biotischen oder abiotischen Gefährdungen, die explizit die Art bedroht oder auch für andere Arten zu einer Gefährdung führen könnte; die Art unterliegt den bekannten Schadpotenzialen der Gattung Eiche
	Keine Anfälligkeit	+	
	Mischbarkeit	+	Die wachstumsschwache Lichtbaumart erlangt erst auf Standorten mit angespannter Wasserversorgung, auf denen andere Baumarten im Wuchs bereits Einbußen erleiden, an Konkurrenzvorteil
	Naturverjüngung	++	In den deutschen natürlichen Flaumeichenvorkommen verjüngt sich die Flaumeiche in fast allen Populationen natürlich
	Waldstrukturen	+++	Die lichten Strukturen von Flaumeichenwäldern bieten vielen Arten einen Lebensraum und es bilden sich ökologisch bedeutsame Ökosysteme

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

#### 3.8.2 Verbreitung

Die Flaumeiche (*Quercus pubescens*) ist eine weit verbreitete Eichenart des submediterranen Klimaraums, deren Areal von der Iberischen Halbinsel über Mittel- und Südeuropa bis nach Anatolien und in den Kaukasus reicht. Im Westen erstreckt sich ihr Verbreitungsgebiet bis nach Nordspanien und Frankreich, im Osten bis zur Schwarzmeerküste und in die Bergregionen des Kaukasus. Insbesondere in Italien und in Frankreich ist sie eine der dominierenden Eichenarten und bildet dort zonale Wälder. In Frankreich nimmt sie einen Flächenanteil am Wald von 5,4 % ein, in Italien sind es sogar 9 %. Die nördliche Verbreitungsgrenze folgt weitgehend der Alpenlinie, wobei in Deutschland und der Schweiz einige Reliktvorkommen existieren (Abbildung 1) (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, KÄTZEL et al. 2012, FRITSCH u. KAMP 2013b, WELLSTEIN u. SPADA 2015, KLEBER et al. 2020a, KUNZ et al. 2020).

In Deutschland markiert die Flaumeiche die klimatische Grenze ihres Areals und tritt dort nur in kleinräumigen, isolierten Populationen auf. Ihre Reliktstandorte befinden sich vor allem in wärmebegünstigten Regionen wie der Oberrheinebene, dem Kaiserstuhl, dem Saaletal in Thüringen sowie dem Unteren Odertal. Die größten zusammenhängenden Bestände sind in Baden-Württemberg und Thüringen zu finden. Die Flaumeiche gehört somit zu den seltenen heimischen Baumarten in Deutschland (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, KÄTZEL et al. 2012, FRITSCH u. KAMP 2013b, KLEBER et al. 2020a, LIESEBACH et al. 2021).

*Q. pubescens* wächst häufig in Mischbeständen mit anderen thermophilen Laubbaumarten, insbesondere mit der Traubeneiche (*Q. petraea*), der Ungarischen Eiche (*Q. frainetto*) und der Zerreiche (*Q. cerris*). Aufgrund der sympatrischen Verbreitung und der hohen morphologischen Variabilität treten regelmäßig Hybridisierungen auf, was



Abb. 1: Verbreitungsgebiet von *Quercus pubescens*. Quelle: CAUDULLO et al. (2023)

eine Ansprache der Art im Gelände erschwert. Die Art kann leicht mit der Traubeneiche verwechselt werden. Teilweise kommen Hybride vor, ohne dass reine Flaumeichen noch vorhanden sind. In Mitteleuropa bestehen zahlreiche Hybridpopulationen, insbesondere an den Übergangsbereichen zu wärmeliebenden Eichenwäldern (FRITSCH u. KAMP 2013b, PASTA et al. 2021).

Paläoökologische Untersuchungen zeigen, dass die Flaumeiche während der postglazialen Eichenmischwaldzeit deutlich weiter nach Norden verbreitet war, bevor klimatische Veränderungen und anthropogene Einflüsse zu einer Rückdrängung in Reliktstandorte führten. In Deutschland wurden bisher 26 Vorkommen mit einer Gesamtpopulation von etwa 14.500 Individuen erfasst. Die Bestände stehen unter Druck durch Konkurrenz mit der Rotbuche sowie durch genetische Introgression von der Traubeneiche. Aufgrund ihrer ausgeprägten Trockenheitsresistenz könnte die Flaumeiche jedoch in einem sich verändernden Klima eine zunehmende Bedeutung erlangen und ihr Areal potenziell nach Norden ausdehnen (SCHÜTT 1992, KÄTZEL et al. 2012, FRITSCH u. KAMP 2013b).

### 3.8.3 Standort

An die Nährstoffversorgung hat die Flaumeiche generell relativ geringe Ansprüche und weist eine breite Nährstoffamplitude auf. Bevorzugt stockt sie jedoch auf sommerwarmen, nährstoffreichen Kalkböden, kommt aber auf den verschiedensten Substraten vor. Insbesondere im südlicheren Teil ihres Verbreitungsgebietes ist die Art auf

fast allen Standorten zu finden. Lediglich reiner Ton als Bodensubstrat wird gemieden, während Ton mit Anteilen sandiger oder kalkhaltiger Komponenten noch akzeptiert wird. Der bevorzugte pH-Wert liegt zwischen 6 und 8, aber auch schwach saure Standorte sind geeignet. *Q. pubescens* ist als meso-xerophil einzuordnen und weist eine ausgeprägte Licht- und Wärmepräferenz auf (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, ETH Zürich 2002, FRITSCH u. KAMP 2013b, BONFILS et al. 2015, KUNZ et al. 2020).

Auch an die Wasserversorgung stellt die Flaumeiche geringe Ansprüche. Selbst extrem trockene, felsige Habitate mit minimaler Wasserspeicherkapazität können von ihr erfolgreich besiedelt werden. In vielen Regionen ihres Areals treten regelmäßige Sommertrockenperioden von bis zu 4 Monaten auf, an die sie durch morphologische und physiologische Anpassungen hervorragend adaptiert ist. Die Art kann heiße Trockenis sehr gut vertragen. Vernässte Böden werden gemieden. Von der Bodenstruktur benötigt sie lockere, gut drainierte, zerklüftete Böden (ETH Zürich 2002, EBERT 2006, KLEBER et al. 2020a, KUNZ et al. 2020).

Unter den mitteleuropäischen Eichenarten zeigt *Q. pubescens* die beste Anpassung an ein warm-trockenes Klima. Das Verbreitungsgebiet umfasst warm-trockene bis warm-gemäßigte Bereiche. Bevorzugt werden Regionen mit einem Jahresmittel von über 10 °C, es werden aber auch kühlere Regionen besiedelt. Die Flaumeiche kann auch kalte Winter mit Januartemperaturen von 0 – 3 °C und Tiefsttemperaturen von -20 °C ertragen (BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, KUNZ et al. 2020, PASTA et al. 2021).

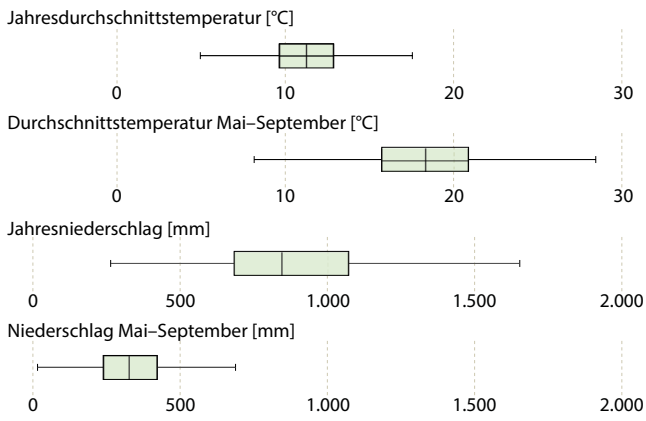


Abb. 2: Klimawerte des natürlichen Verbreitungsgebietes extrahiert aus dem CHELSA-Datensatz (KARGER et al. 2021)

Die mithilfe der Verbreitung der Flaumeiche und dem CHELSA-Datensatz (KARGER et al. 2021) ermittelten Klimakennwerte spiegeln die in der Literatur aufgeführten Werte sehr gut wider (Abbildung 2). Im Mittel beträgt die Jahrestemperatur im Verbreitungsgebiet 11,3 °C und weist eine Spanne von 9,6 – 12,8 °C auf. In den Monaten Mai bis September steigt die durchschnittliche Temperatur auf 18,4 °C an (15,7 – 20,8 °C). Es werden gebietsweise Extremtemperaturen von 38,0 °C, aber auch von -21,3 °C erreicht. Im Jahresdurchschnitt fallen rund 840 mm Niederschlag, wobei die Spanne dabei von 680 – 1.071 mm reicht. Davon entfallen im Mittel nur 326 mm (240 – 419 mm) in die Monate Mai bis September, wobei gebietsweise auch deutlich geringere Niederschlagsmengen fallen können.

Die Flaumeiche legt in ihrer Jugend zunächst eine Pfahlwurzel an, um welche sich im Alter ein intensives Herzwurzelsystem ausbildet. Sie gilt als tiefwurzeln, wodurch sie eine hohe Standfestigkeit erlangt. Bei Trockenheit verändert sich das Verhältnis von Spross- zu Wurzelwachstum. Es wird mehr Energie in die Wurzelbildung investiert als in das Sprosswachstum, was wohl dazu dienen soll die lebenswichtige Wasserversorgung aufrechtzuhalten (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, ETH Zürich 2002, EBERT 2006, BONFILS et al. 2013, 2015, FRITSCH u. KAMP 2013b, KLEBER et al. 2020a, KUNZ et al. 2020). Nach KUNZ et al. (2020) soll sich die Laubstreu der Flaumeiche nur langsam abbauen.

### 3.8.4 Wachstum und Ertrag

#### 3.8.4.1 Übersicht

*Q. pubescens* ist ein mittelgroßer Baum mit einer meist unregelmäßig verzweigten Krone. Unter günstigen Bedingungen erreicht die Flaumeiche Wuchshöhen von 10 – 20 m, vereinzelt bis zu 25 m, wobei Exemplare an optimalen Standorten auch Höhen von 30 m erreichen können. Aufgrund ihrer Fähigkeit zur Stockausschlagsbildung tritt sie häufig mehrstämmig oder strauchförmig auf. Der Brusthöhendurchmesser variiert erheblich und kann bei alten Individuen 40 – 50 cm betragen, in Extrem-

fällen sogar über 2 m. Unter optimalen Bedingungen kann die Flaumeiche ein Alter von 400 – 500 Jahren erreichen (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, ETH Zürich 2002, KLEBER et al. 2020a, PASTA et al. 2021).

Die Flaumeiche ist eine ausgeprägte Lichtbaumart mit geringer Schattentoleranz, wodurch sie gegenüber schattenertragenden Konkurrenten wie der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) oder der Traubeneiche (*Quercus petraea*) wachstumsschwächer ist. Ihre Wachstumsleistung bleibt hinter jener von Stiel- und Traubeneichen zurück, was sie für forstliche Nutzungen weniger attraktiv macht. Dennoch kommt ihr eine bedeutende ökologische Funktion zu, insbesondere in der Stabilisierung trockener Wälder und der Erhöhung der Biodiversität. Lichte Flaumeichenwälder gehören zu den artenreichsten Ökosystemen Europas (SCHÜTT 1992, KÄTZEL et al. 2012, FRITSCH u. KAMP 2013b, KLEBER et al. 2020a). Die Wachstumsleistung der Flaumeiche variiert in Abhängigkeit von Standortfaktoren erheblich. Auf tiefgründigen Alluvialböden kann sie Höhen von 20 m erreichen, während sie auf extrem trockenen oder flachgründigen Böden strauchförmig bleibt. Aufgrund ihrer hohen Fähigkeit zur Stockausschlagsbildung wurde sie historisch in Niederwäldern bewirtschaftet, insbesondere zur Brennholzgewinnung. In Niederwäldern mit einem Umtrieb von 15 – 16 Jahren liegt der Massenzuwachs bei etwa 2 – 3 m<sup>3</sup>/ha jährlich. In ariden Habitaten beträgt die Volumenleistung 2 – 4 m<sup>3</sup>/ha im Jahr. Die Jahrringbreiten sind im Vergleich zur Traubeneiche deutlich schmaler. In günstigen Jahren sind mittlere Zuwächse von bis zu 3,5 mm pro Jahr möglich, während die Jahrringbreiten in Trockenjahren unter 1 mm fallen können (BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, KÄTZEL et al. 2012, KLEBER et al. 2020a).

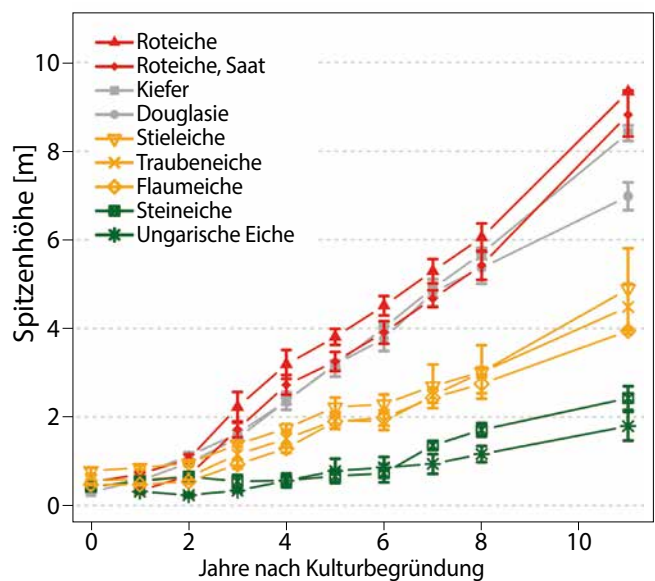


Abb. 3: Entwicklung von Oberhöhen (arithmetisches Mittel der 100 höchsten Bäume je ha) der Baumarten des Anbauversuchs Lampertheim 126 als Mittelwerte aus drei Wiederholungen mit Standardabweichungen (NAGEL 2024)

In einem Anbauversuch in der hessischen Rhein-Main-Ebene, einem der wärmsten und am stärksten subkontinental getönten Bereiche Hessens, zeigte die Flaumeiche gegenüber den dort mit angebauten Eichenarten Stiel- und Traubeneiche im Höhenwachstum als auch im Überleben nach 11 Vegetationsperioden keine signifikanten Unterschiede. Bei Betrachtung der Oberhöhe auf der Versuchsfläche zeigt die Flaumeiche eine vergleichbare Entwicklung zu den anderen beiden Eichenarten (Abbildung 3) (NAGEL 2024).

Die Flaumeiche verfügt über ausgeprägte physiologische Anpassungen an Trockenstress. Studien zeigen, dass ihre Spaltöffnungen auf der Blattunterseite auch bei hohen Temperaturen und Trockenheit lange geöffnet bleiben, wodurch eine effiziente Photosyntheseleistung gewährleistet wird. Trotz dieser Resilienz bleibt sie eine konkurrenzschwache Baumart, die sich vor allem in stark trocken-gestressten Beständen behauptet, in denen Konkurrenzarten wie Rotbuche oder Traubeneiche geschwächt sind (EBERT 2006, BONFILS et al. 2015).

### Begründung

*Q. pubescens* zeigt eine ausgeprägte ökologische und genetische Anpassungsfähigkeit und ist sowohl zur generativen als auch zur vegetativen Vermehrung befähigt. Die Fruktifikation variiert erheblich und erfolgt in unregelmäßigen Intervallen von 1 – 7 Jahren. Etwa alle 3 Jahre treten Mastjahre auf, in denen eine hohe Samenproduktion verzeichnet wird. Durchschnittlich wiegen rund 600 Eicheln 1 kg. Aufgrund ihrer begrenzten Lagerfähigkeit können die Samen maximal 1 Jahr in Polyethylenbeuteln bei +4 °C aufbewahrt werden. Die hypogäische Keimung fördert die rasche Ausbildung einer kräftigen Pfahlwurzel, wodurch die Art eine effiziente Etablierung auf trockenen Standorten gewährleistet (BUSSOTTI 1998, ETH Zürich 2002, EBERT 2006, KLEBER et al. 2020a).

Die Blütezeit der Flaumeiche ist standorts- und höhenlagenabhängig und erstreckt sich von März bis Mai. Sie ist eine monözische, anemogame Baumart, die ihre generative Reife zwischen dem 10. und 12. Lebensjahr erreicht. Die männlichen Kätzchen erscheinen zahlreich an vorjährigen Zweigen und enthalten typischerweise 8 – 10 Staubblätter. Die weiblichen Blüten stehen einzeln oder in kleinen Gruppen von 2 – 5 in den Blattachsen junger Triebe. Die Bestäubung erfolgt im Frühjahr, während die eigentliche Befruchtung erst im Hochsommer abgeschlossen ist. Die Samenreife ist im ersten Jahr zwischen September und November abgeschlossen, sodass die Eicheln direkt nach dem Fall keimen können (BUSSOTTI 1998, KLEBER et al. 2020a, PASTA et al. 2021).

Die Fruktifikationsdynamik der Flaumeiche ist bemerkenswert, wobei die höchste Samenproduktion zwischen dem

40. und 100. Lebensjahr erfolgt. Die Früchte sind meist in Gruppen von 3 – 4 Eicheln angeordnet, haben eine ellip-tische Form mit einer Länge von 2,0 – 3,5 cm und sind zu einem Viertel bis zur Hälfte von einer halbkugelförmigen Cupula umschlossen, die mit dreieckigen, fein behaarten Schuppen besetzt ist. Es kann vorkommen, dass vor der Reife eine oder mehrere Früchte abgestoßen werden. Der Wassergehalt der Eicheln liegt bei etwa 40 %, was ihre schnelle Keimfähigkeit begünstigt. Die Samen sind in der Lage sehr schnell lange Wurzeln auszubilden. Das Tausendkorngewicht schwankt zwischen 1.500 und 1.800 g (BUSSOTTI 1998, KLEBER et al. 2020a, PASTA et al. 2021).

Neben der generativen Fortpflanzung verfügt die Flaumeiche über eine bedeutende vegetative Reproduktionsstrategie. Ihre Fähigkeit zur Stockausschlagsbildung ist zwar weniger ausgeprägt als bei anderen Eichenarten, dennoch kann sie nach Abholzung durch schlafende Basalknospen erneut austreiben. Diese Eigenschaft wurde insbesondere in der historischen Niederwaldbewirtschaftung zur Brennholzproduktion genutzt. Naturverjüngungsprozesse sind in etwa 90 % der deutschen Bestände dokumentiert, wobei eine leichte Beschattung die Etablierung der Keimlinge fördert. Allerdings zeigen sich junge Sämlinge gegenüber extremen klimatischen Bedingungen empfindlich, was die natürliche Regeneration in bestimmten Regionen limitiert (BUSSOTTI 1998, KLEBER et al. 2020a).

### Waldbau

Über die waldbauliche Behandlung der Flaumeiche sind in der Literatur nur sehr wenige Angaben zu finden. Dies mag bisweilen daran liegen, dass die Flaumeiche oftmals im Niederwaldbetrieb zur Brennholzgewinnung bewirtschaftet wird. Des Weiteren dürfte die geringe Wuchsleistung dieser Art auf den Extremstandorten, auf denen sie bisher weitestgehend vorkommt, dazu geführt haben, dass das forstwirtschaftliche Interesse an dieser Art gering war. KUNZ et al. (2020) geben einige Hinweise wie die Art zu pflegen ist. Sie verweisen darauf, dass eine frühzeitige Sicherung von 100 – 150 Optionen im Abstand von 8 – 10 m zu erfolgen hat. Dabei sollen Mischbaumarten mit berücksichtigt werden. Zur natürlichen Astreinigung ist eine mäßige Kronenspannung zu erhalten und Eingriffe sollten nur erfolgen, wenn die Optionen gefährdet sind. Auf wüchsigen Standorten kann bei der Flaumeiche, den Autoren nach, eine grünastfreie Schaftlänge von 4 – 6 m erreicht werden. Ab diesem Zeitpunkt sollte eine starke Umlichtung der Z-Bäume (50 – 100 Stk./ha) erfolgen.

### 3.8.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen

Im Rahmen des Projektes konnten keine gesicherten Vorkommen von *Q. pubescens* identifiziert werden, was unter Berücksichtigung zuvor erfolgter Kartierungen zu erwarten war (FRITSCH u. KAMP 2013b, KÄTZEL et al. 2014). Folglich erfolgten keine Aufnahmen und es gibt über die Literaturrecherche hinaus keine weiteren Erkenntnisse. Die ursprünglich angedachte Beteiligung dieser Baumart an den Anbauversuchen musste leider aufgrund mangelnden verfügbaren Pflanzenmaterials, welches für die forstliche Verwendung zugelassen ist, aufgegeben werden.

### 3.8.5 Gefährdungen

*Q. pubescens* unterliegt einer Vielzahl biotischer und abiotischer Gefährdungen, die ihre Vitalität und langfristige Stabilität beeinflussen können. Zu den bedeutendsten abiotischen Stressfaktoren zählen Trockenstress und Spätfröste. Während die Art generell wärmeliebend ist und Temperaturen bis  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  tolerieren kann, sind insbesondere junge Pflanzen anfällig für Spätfrost, was zu hohen Mortalitätsraten führt. Lang andauernde Dürreperioden beeinträchtigen das Wachstum erheblich und erhöhen die Prädisposition für biotische Schadfaktoren (BUSSOTTI 1998, ETH Zürich 2002, KLEBER et al. 2020a).

Zu den wesentlichen biotischen Gefährdungen zählen blattfressende Insekten, die erhebliche Fraßschäden verursachen können. Besonders relevant sind der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*), der Schwammspinner (*Lymantria dispar*), der Grüne Eichenwickler (*Tortrix viridana*) und der Goldafter (*Euproctis chryorrhoea*), deren Massenvermehrungen zu vollständigem Kahlfraß führen können. Der Eichenprozessionsspinner zeigt zyklische Massenvermehrungen in Intervallen von etwa 15 Jahren, wobei einzelne Ausbrüche über mehrere Jahre anhalten können. Schwammspinner-Populationen treten in Abständen von 5 – 10 Jahren auf und können durch massive Fraßschäden zu deutlichen Vitalitätsverlusten führen. Zur Bekämpfung beider Arten hat sich der gezielte Einsatz von *Bacillus thuringiensis* als wirksam erwiesen. Der Eichenwickler verursacht Fraßschäden, indem er Blätter mit Gespinstfäden zusammenrollt, während der Goldafter als polyphager Schädling bereits im Herbst mit der Nahrungsaufnahme beginnt, in Gespinsten überwintert und seinen Fraß im Frühjahr fortsetzt (BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, BONFILS et al. 2015, KUNZ et al. 2020).

Pilzliche Erkrankungen stellen eine weitere ernstzunehmende Bedrohung dar. Während der Eichenmehltau (*Erysiphe alphitoides*) meist nur moderate Schäden verursacht, sind Schwächeparasiten wie der Hallimasch (*Armillaria* spp.) und der Spindelige Rübbling (*Gymnopus fusipes*) für erhebliche Beeinträchtigungen der Standfestigkeit verantwortlich. Letzterer befällt die Starkwurzeln und führt

zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Windwurf. Besonders problematisch ist das als „oak decline“ bekannte Eichensterben, das durch eine komplexe Interaktion aus klimatischen Stressfaktoren, Nährstoffungleichgewichten und biotischer Belastung hervorgerufen wird. Charakteristische Symptome sind die Bildung von Nottrieben, Blattchlorosen, Borkenrisse und exsudierender Schleimfluss. Sekundärinfektionen durch opportunistische Pilze wie *Cylindrocarpon* spp., *Diplodia mutila*, *Hypoxyton mediterraneum*, *Phoma cava*, *Phomopsis quercina* und *Sporothrix* spp. verschärfen den Krankheitsverlauf zusätzlich (BUSSOTTI 1998, BONFILS et al. 2015, KUNZ et al. 2020).

### 3.8.6 Holzverwendung und Stammqualitäten begutachteter Bestände

Das Holz der Flaumeiche weist strukturelle Parallelen zu dem der Stiel- und Traubeneiche auf, unterscheidet sich jedoch durch eine höhere Dichte, ausgeprägte Dauerhaftigkeit und eine geringere Elastizität. Als ringporiges Holz besitzt es großlumige Frühholzgefäße die makroskopisch sichtbar sind. Im Gegensatz zu anderen Eichenarten zeigt das Holz der Flaumeiche eine geringe Farbdifferenzierung zwischen Splint- und Kernholz, wodurch es eine einheitlich gelbliche Färbung aufweist. Die breiten und dichten Markstrahlen tragen zur hohen mechanischen Festigkeit bei, wodurch es sich in seinen strukturellen Eigenschaften von *Quercus robur* unterscheidet (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, FRITSCH u. KAMP 2013b, KUNZ et al. 2020).

Die Bearbeitung des Holzes wird durch eine ausgeprägt gekrümmte Faserstruktur erschwert, was insbesondere zu einer starken Neigung zum Verziehen und Schwinden während der Trocknung führt. Diese physikalischen Eigenschaften begrenzen die Eignung für konstruktive Holzverwendungen erheblich, weshalb es selten für hochwertige Bauzwecke eingesetzt wird. Ein weiterer limitierender Faktor ist die geringe Dimensionierung der Stämme, da die Flaumeiche selbst in Hochwäldern oft nur kurze Stämme erzielt, die damit nicht für Konstruktionszwecke geeignet sind (BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, KUNZ et al. 2020).

Das Holz der Flaumeiche wird aufgrund seines hohen Brennwertes bevorzugt als Brennholz genutzt und ist darüber hinaus für die Herstellung von Holzkohle von wirtschaftlicher Bedeutung. Es findet selektive Anwendung im Wasser- und Schiffsbau sowie in der Produktion von Bahnschwellen. Seine hohe natürliche Dauerhaftigkeit und Resistenz gegenüber Fäulnis prädestinieren es für den Einsatz im Außenbereich, etwa für Zaunpfähle, Terrassenbeläge oder andere feuchtigkeitsresistente Konstruktionen (FRITSCH u. KAMP 2013b, KUNZ et al. 2020, PASTA et al. 2021).

### 3.8.7 Sonstige Ökosystemleistungen

*Q. pubescens* nimmt eine Schlüsselrolle in xerothermen Waldökosystemen ein und trägt maßgeblich zur Biodiversität in lichtreichen, trockenen Habitaten bei. Diese Standorte bieten vielen spezialisierter Tier- und Pflanzenarten essenzielle Lebensbedingungen. Besonders wärmeliebende Vogelarten wie die Turteltaube (*Streptopelia turtur*), der Pirol (*Oriolus oriolus*) und der Halsbandschnäpper (*Ficedula albicollis*) sowie Insekten wie der Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) profitieren von den offenen Beständen. Die lichte Kronenstruktur fördert die Ausbildung einer artenreichen Krautschicht, in der seltene und gefährdete Pflanzenarten wie Purpurklee (*Trifolium rubens*), Kamm-Wachtelweizen (*Melampyrum cristatum*) und Hallers Segge (*Carex halleriana*) optimale Wachstumsbedingungen vorfinden (KLEBER et al. 2020, KUNZ et al. 2020).

Flaumeichenwälder sind zudem ein bedeutender Lebensraum für xylobionte Insekten und andere Wirbellose. In Mitteleuropa sind etwa 300 – 500 Arten mit der Eiche assoziiert, darunter zahlreiche Insektenarten, die ausschließlich Eichen als Wirtspflanzen nutzen. Auch Pilze, Flechten und Moose sind häufig an Flaumeichen gebunden, was die ökologische Funktion dieser Baumart zusätzlich unterstreicht (BUSSOTTI 1998, BONFILS et al. 2015).

Ein weiterer relevanter Aspekt ist die historische und gegenwärtige Nutzung der Flaumeiche in der Weidewirtschaft. Ihre Eicheln stellen eine wertvolle Futterquelle dar und wurden traditionell insbesondere zur Schweinemast verwendet. Ergänzend dazu finden sich in Flaumeichenwäldern zahlreiche weitere Futterpflanzen, die die Ernährungsgrundlage extensiver Weidesysteme verbessern. Die Rinde der Flaumeiche wurde über Jahrhunderte hinweg aufgrund ihres hohen Gerbstoffgehalts für die Lederherstellung genutzt (FRITSCH u. KAMP 2013, KUNZ et al. 2020).

Eine besondere forstwirtschaftliche Relevanz ergibt sich durch die symbiotische Beziehung der Flaumeiche zu Mykorrhizapilzen, insbesondere zu wirtschaftlich bedeutsamen Trüffelarten. Als Wirtsbaum für *Tuber melanosporum*, die Perigord-Trüffel, ermöglicht die Flaumeiche gezielte Trüffelkultivierung, die durch künstliche Inokulation von Mykorrhiza-Pilzen optimiert werden kann. Diese Eigenschaft macht sie zu einer wertvollen Baumart in Trüffelanbaugebieten mit kalkhaltigen, nährstoffarmen Böden (BUSSOTTI 1998, KUNZ et al. 2020, PASTA et al. 2021).

### 3.8.8 Genetik

Die genetische Diversität der Flaumeiche ist durch eine hohe morphologische Variabilität sowie eine komplexe Hybridisierungsdynamik geprägt. Die Art bildet zahlreiche natürliche Hybriden mit anderen Eichenarten, insbesondere mit der Stieleiche (*Q. robur*) und der Traubeneiche

(*Q. petraea*), was intermediäre Formen hervorbringt und die taxonomische Abgrenzung erschwert. Aufgrund fehlender strikter Reproduktionsbarrieren kann es zu genetischem Austausch zwischen heimischen Eichenarten kommen, wodurch morphologisch variierende Individuen entstehen. Untersuchungen zeigen jedoch, dass dieser Genfluss begrenzt bleibt, da unterschiedliche Blühzeiten, physiologische Inkompatibilitäten und spezifische Pollen-Keimungsmechanismen eine vollständige Durchmischung der Populationen verhindern (SCHÜTT 1992, BUSSOTTI 1998, EBERT 2006, HÖLTKEN et al. 2012, BONFILS et al. 2015).

Die hohe Variabilität der Flaumeiche ist das Ergebnis einer komplexen evolutionären Entwicklung, die maßgeblich durch pleistozäne Klimaschwankungen, Fragmentierungsprozesse und anthropogene Einflüsse gesteuert wurde. Während in der Literatur zwischen 3 – 6 Unterarten diskutiert werden, fehlen bislang umfassende genetische Analysen, die eine eindeutige taxonomische Differenzierung und forstliche Relevanz dieser Einheiten belegen könnten. Die Art unterliegt dem Forstvermehrungsgesetz (FoVG). In Deutschland existieren jedoch bislang keine definierten Herkunftsgebiete für die Flaumeiche, da ihre wirtschaftliche Bedeutung bisher als gering eingeschätzt wurde. Ähnliche Rahmenbedingungen gelten für Frankreich, wo keine Saatgutbestände der Kategorie „ausgewählt“ gemäß dem FoVG anerkannt sind. Stattdessen basiert die genetische Differenzierung ausschließlich auf Chloroplasten-DNA-Analysen größerer Herkunftsregionen wie Südwestfrankreich, Languedoc, der Provence und Korsika. Saatgut wird dort häufig ohne definierte geographische Abgrenzung geerntet, was die forstliche Nutzbarkeit im Hinblick auf eine gezielte Herkunftsanpassung einschränkt (KUNZ et al. 2020, LIESEBACH et al. 2021, PASTA et al. 2021, SCHIRMER 2022).

Die genetische Differenzierung der Flaumeiche bleibt ein weitgehend unerforschtes Feld. Ihre ausgeprägte Hybridisierungsfähigkeit und hohe innerartliche Variabilität verdeutlichen jedoch die Notwendigkeit weiterführender genetischer Studien, um die strukturelle Diversität und adaptive Kapazität dieser Art besser zu verstehen. Dies ist insbesondere unter den Bedingungen des Klimawandels von Bedeutung, da genetische Vielfalt eine zentrale Rolle für die Resilienz der Bestände gegenüber sich verändernden Umweltbedingungen spielt. Diese und weitere Fragestellungen werden aktuell im Projekt „Anpassungspotenziale heimischer Eichenarten im Klimawandel“, welches durch den Klimaplan Hessen des Hessischen Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat finanziert wird, an der NW-FVA in der Abteilung Waldgenressourcen untersucht.