

Mitt. Bad. Landesverein Naturkunde u. Naturschutz	Bd.25	2023	DOI: 10.6094/BLNN/Mitt/25.05	Seiten 113-147	Freiburg/Breisgau Februar 2023
------------------------------------------------------	-------	------	------------------------------	----------------	-----------------------------------

Flora und Vegetation der Flaumeichen-Mischwälder (*Quercetum pubescenti-petraeae*) im Kaiserstuhl, SW-Deutschland

VON ALBERT REIF¹ UND KATHARINA TRUÉ¹



Flaumeichen am Pfaffenlochberg bei Achkarren. 25.12.2022. © Albert Reif

Zusammenfassung

Die Arbeit beschreibt den aktuellen Zustand der Flaumeichen-Wälder des Kaiserstuhls und diskutiert deren Entwicklungstendenzen. Untersucht wurden 24 entwickelte Bestände mit geschlossenem Kronendach und unter Vermeidung von Störstellen und Randeffekten. Dort wurden 55 Vegetationsaufnahmen erhoben, anschließend wurden sie klassifiziert und ordiniert.

¹ Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Reif, Katharina Trué, Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen, Professur für Standorts- und Vegetationskunde, Tennenbacher Str. 4, D-79106 Freiburg. E-Mail: albert.reif@waldbau.uni-freiburg.de, katharina.true@web.de

Die Flaumeichen-Wälder können in vier Ausbildungen unterteilt werden: (1) Ausbildung mit Knoblauchsrauke (*Alliaria petiolata*) und weiteren Nitrophyten im Unterwuchs; (2) Ausbildung mit Kriechender Rose (*Rosa arvensis*); (3) Ausbildung mit Mehlbeere (*Sorbus aria* agg.); (4) Ausbildung mit Binglekraut (*Mercurialis perennis*).

Die historische wie aktuelle Licht- und Nährstoffversorgung wurde durch Berechnung der Ellenberg-Zeigerwerte ermittelt und mit historischen Untersuchungen verglichen. Es zeigt sich, dass die Bestände insgesamt gesehen dunkler und reicher an stickstoffzeigenden Arten geworden sind. Eutrophierung durch Stickstoffeintrag, Aufgabe der traditionellen Waldnutzungen und die somit fortschreitende Sukzession führen zur Veränderung von Struktur und Artenzusammensetzung. Dies weist darauf hin, dass abschnittsweise starke Auflichtungen der Bestände mit Entzug von Biomasse und dadurch Nährstoffen für den Schutz der submediterranen Unterwuchsarten wie auch die Naturverjüngung der Eichen zielführende Pflegemaßnahmen sind.

Schlüsselworte

Quercus pubescens, submediterran, Eutrophierung, Pflege

Abstract

The thesis describes the current state of the downy oak (*Quercus pubescens*) forests of the Kaiserstuhl region, Southwest Germany, and discusses their development tendencies. 24 developed stands with a closed canopy and avoiding canopy and edge effects were examined. 55 vegetation photographs were taken there, after which they were classified and ordinated.

The downy oak forests can be divided into four forms: (1) form with garlic mustard (*Alliaria petiolata*) with nitrophytes in the undergrowth; (2) form with creeping rose (*Rosa arvensis*); (3) form with whitebeam (*Sorbus aria* agg.); (4) form with ringelwort (*Mercurialis perennis*).

The information about the current light and nutrient supply was obtained by calculating the Ellenberg indicator values, and compared with historical studies. It could be shown that the populations in general have become darker and richer in nitrogen-indicating plant species. Eutrophication through nitrogen input, the termination of traditional forest uses and the resulting succession lead to changes in stand structure and species composition. This indicates that opening the stands in sections and combined with the removal of biomass and its nutrients appear to be efficient maintenance measures for the protection of the sub-Mediterranean undergrowth species as well as the natural regeneration of the oaks.

Key words

Quercus pubescens, Submediterranean, eutrophication, management

Einleitung

Die Flaumeiche (*Quercus pubescens* WILLD.) ist eine Baumart submediterran verbreiteter Eichen-Mischwälder (Quercetalia pubescenti-petraeae). In Deutschland kommen derartige Eichen-Mischwälder kleinflächig und inselartig auf warm-trockenen („xerothermen“) Sonderstandorten mit kalk- oder basenhaltigem Gestein vor, eingebettet in die zonale Vegetation der Buchenwälder (HÄRDLE et al. 2004).

Flaumeichen-Mischwälder sind geprägt durch sommerliche Trockenheit und dadurch bedingt weitgehendes Fehlen der Buche (*Fagus sylvatica*), zugleich Winterkälte mit Frösten und an diese angepasst durch Laubfall. Auf derartigen Extremstandorten, die nahe der Trockengrenze von Wäldern liegen (SAYER 2000), konnten die Baumarten der xerothermen Eichen-Mischwälder nacheiszeitlich nicht von der Buche verdrängt werden und sind daher als „Relikte“ eines in der postglazialen Wärmezeit weiter verbreiteten Vegetationstyps anzusehen (OBERDORFER 1992, ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Aufgrund der Trockenheit der Standorte sind Flaumeichenwälder schwachwüchsig. Die oft nur 5-10 m hohen Bäume bilden lichte Wälder mit gut entwickelten und artenreichen Kraut- und Strauchschichten. Zu der Artenausstattung zählen Trockenheit und Halbschatten ertragende Wärmezeiger. Vielfach finden sich Saumarten im floristischen Grundstock (SUCK et al. 2014). In Wärmegebieten sind xerotherme Eichen-Mischwälder auch anthropogen auf noch buchenfähigen Standorten durch Nieder- oder Mittelwaldbewirtschaftung entstanden (SUCK et al. 2014), da Eichen durch den Menschen früher stark gefördert wurden und sich besser als Buchen aus Stockausschlag regenerieren können.

Auch wenn die Artenausstattung im Kaiserstuhl im Vergleich zu den Verbreitungszentren im südlichen und südöstlichen Südeuropa artenärmer ist, so zählen Flaumeichenwälder zu den artenreichsten Waldgesellschaften Mitteleuropas (HÄRDTLE et al. 2004). Unter der lichten Baumschicht oder im lichtreicheren Rand konnten sich mediterrane, submediterrane und zum Teil aus dem Südosten Europas stammende Arten halten (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Entsprechend des jeweiligen Großklimas lassen sich zwei Gruppen von xerothermen Eichen-Mischwäldern unterscheiden, nämlich ein Verband der west-submediterranen Flaumeichen-Wälder (*Quercion pubescenti-petraeae*) und der (ost-)mitteleuropäischen, subkontinental getönten xerothermen Eichenwälder (*Potentillo albae-Quercion petraeae*) (OBERDORFER 1992).

Die subkontinentale Gruppe strahlt bis in die stärker winterkalten, jedoch sommertrockenen Extremstandorte Deutschland ein, beispielsweise im Grabfeldgau Nordbayerns und in Mitteldeutschland. Sie hat ihren Verbreitungsschwerpunkt im östlichen Südeuropa (Balkanländer, Donauniederung und Ukraine). Dort bilden sie Eichen-Steppenwälder zwischen den sommergrünen Laubwäldern Mitteleuropas (*Quercio-Fagetea*) und den kontinentalen Steppenlandschaften des südöstlichen Europa. Die submediterrane Gruppe bildet zonale Schlusswaldgesellschaften in der montanen Höhenstufe der mediterranen und submediterranen Zone, so in Südfrankreich, im Südalpenraum, im Apennin und an der Adriaküste (OBERDORFER 1992, HÄRDTLE et al. 2004).

Innerhalb der xerothermen Eichen-Mischwälder der (west-)submediterranen Ausprägung (*Quercion pubescenti-petraeae*) ist der mitteleuropäische Flaumeichen-Mischwald (*Quercetum pubescenti-petraeae*) die wichtigste Assoziation in Deutschland und damit auch im Kaiserstuhl (WILMANN 2009). Auf der Roten Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands ist er als „gefährdet“ eingestuft (RENNWALD 2000). Aufgrund des kleinflächigen Vorkommens und des geringen Zuwachses besitzt die Flaumeiche keine forstwirtschaftliche Bedeutung (SAYER 2000). Hinsichtlich des Klimawandels könnte sich das in Zukunft ändern.

Die Modellierung von ILLÉS & MÓRICZ (2022) sieht für diese Baumart das Potential voraus, sich in den nächsten Jahrzehnten stärker auszubreiten und ihr Areal in Richtung Norden zu verschieben.

Die Wälder des Kaiserstuhls und speziell die seltenen Flaumeichen-Mischwälder wurden vielfach vegetationskundlich untersucht (SLEUMER 1933, V. ROCHOW 1948, MÜLLER 1962, WILMANNNS 1977, SCHUNICHT 1980, DIENST 1982, WILMANNNS & BOGENRIEDER 1995). Nach der Aufgabe der Bewirtschaftung konnte eine Abnahme der mittleren Artenzahl und der lichtliebenden Saumarten beobachtet werden, einhergehend mit lokaler Zunahme von Nährstoffzeigern (MÜLLER 1962; WILMANNNS & BOGENRIEDER 1995).

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Vegetationserfassung beschreibt den aktuellen Zustand dieser Wälder und diskutiert ihre Entwicklungstendenzen. Einbezogen wurden entwickelte Bestände mit geschlossenem Kronendach und unter Vermeidung von Störstellen und Randeffekten. Die Vegetationsdaten wurden klassifiziert und ordiniert. Die historische wie aktuelle Licht- und Nährstoffversorgung wurde durch Berechnung der Zeigerwerte ermittelt (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010) und mit historischen Untersuchungen verglichen. Der Vergleich von Strukturdaten, Artenzahlen und Zeigerwerte erlaubt Rückschlüsse auf die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte (vgl. auch LELLI et al. 2020, WÖRZ & THIV 2015).

Der Kaiserstuhl

Der Kaiserstuhl einschließlich des Limbergs im Nordwesten ist ein kleines Mittelgebirge vulkanischen Ursprungs im Süd-Westen Baden-Württembergs. Er erhebt sich aus der Mitte der südlichen Oberrheinebene (ca. 200 m NHN) um etwa 350 Meter (WILMANNNS et al. 1989). Der Kaiserstuhl liegt somit in der kollinen und submontanen Höhenstufe. In der Nord-Süd-Ausdehnung misst der Kaiserstuhl eine Länge von 15,8 km und in der Ost-West-Ausdehnung 12,5 km. Die Gesamtfläche beträgt 92,5 km² (GROSCHOPF et al. 2009).

Bedingt durch die spezielle geographische Lage des Kaiserstuhls herrscht hier sommerwarmes und wintermildes Klima. Der Regenschatten der Vogesen übt sich stärker im Westen des Kaiserstuhls aus. Gegen Osten und mit zunehmender Nähe zum Schwarzwald nehmen auch die Niederschläge wieder zu. Die mittleren jährlichen Niederschläge liegen im westlichen Bereich bei etwa 600 mm (Regenschatten der Vogesen), am Ostrand bei 800 mm (GROSCHOPF et al. 2009). Zu den geringen Niederschlägen kommen Warmlufteinbrüche aus Süd-Südwest durch die Burgundische Pforte zwischen den Vogesen und dem Schweizer Jura (WILMANNNS et al. 1989). Im Winter, wenn es durch den Kaltluftabfluss der Mittelgebirge häufig zu Temperaturinversionen kommt, ragt der Kaiserstuhl aus der mit Nebel gefüllten Rheinebene heraus. Diese Faktoren sind Grund dafür, dass die Vegetationsperiode (Tage mit >5 °C) bei durchschnittlich 250 Tagen (Angabe für Oberbergen) liegt, zumindest vor Zeiten der Klimaänderung, und hier ein submediterranges Klima vorherrscht (GROSCHOPF et al. 2009). Dieses Klima ist besonders geeignet für Landwirtschaft und speziell den Weinbau, welcher seit Jahrhunderten für den Kaiserstuhl prägend ist.

Der Kaiserstuhl stellt die abgetragenen Überbleibsel vulkanischer Tätigkeit von vor 18-13 Millionen Jahren dar (WIMMENAUER 1977). Neben vulkanischen Laven und Tuffen besteht der

Kaiserstuhl aus Sedimentgesteinen, die den Ost-Kaiserstuhl aufbauen. Ein Kranz der mäßig sauren, doch aufgrund einer Vielzahl von Mineralien nährstoffreichen Ergussgesteine Tephrit und Essexit erstreckt sich von Norden über den Westen bis in den Süden (Abb. 1). Das Zentrum des Kaiserstuhls besteht aus dem magmatischen Karbonatgestein Karbonatit.

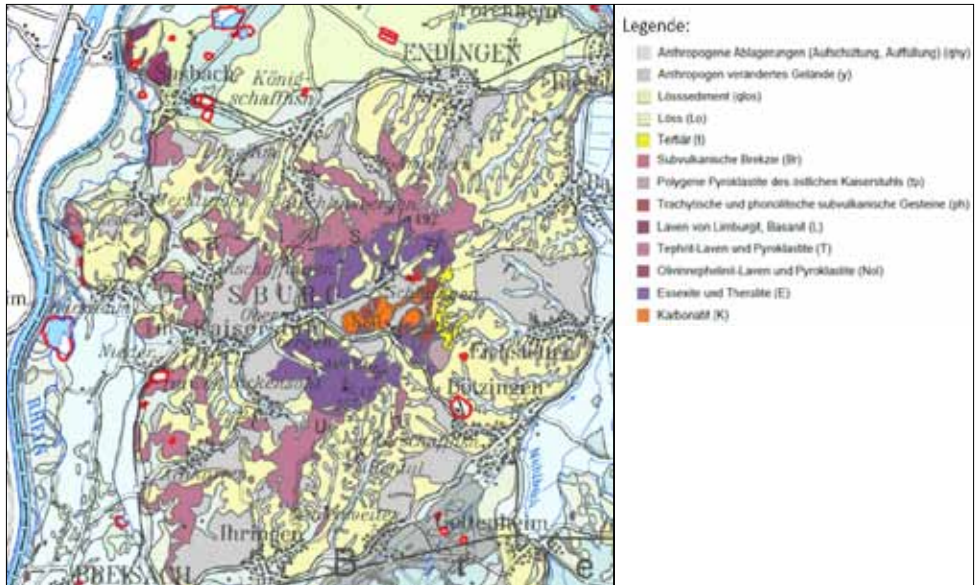


Abb. 1: Geologische Einheiten am Kaiserstuhl. Quelle: LGRB (2017a).

Die Verwitterung des Vulkangesteins und damit die Bodenbildung und Freisetzung von Nährstoffen schreitet bei den geringen Niederschlägen nur langsam voran. Grundlage für die Landwirtschaft in der Region stellt eine bis zu 60 m dicke Lössschicht dar. Nacheiszeitlich wurde dieses äolische Sediment aufgeweht, es hüllt den Kaiserstuhl heute bis zu 80 % ein und dominiert daher sein Erscheinungsbild. Nur an wenigen Stellen, beispielsweise am Schlossberg in Achkarren oder am Limberg in Sasbach, tritt das vulkanische Gestein an die Oberfläche (RP FREIBURG 2004, GROSCHOFF et al. 2009). Bezüglich der Böden bildeten sich Pararendzina aus Löss und Sandlöss; Pararendzina und Braunerde-Pararendzina aus Vulkanverwitterung; Rigosol aus Fließerden, Löss und verschiedenen Festgesteinen; Braunerde, Pelosol-Braunerde und Pseudogley-Braunerde aus Fließerden; sowie Kolluvium (GROSCHOFF et al. 2009; LGRB 2017b).

Die Landschaft des Kaiserstuhls setzt sich aus einem Mosaik von Rebanlagen, Obstplantagen, Wäldern, lokal Grünland und Äckern zusammen. Der größte Teil der Landschaft ist durch Rebterrassen und deren Böschungen geprägt. Bis zu einer Höhe von etwa 400 m ü. NHN sind sie auf den meisten Hängen zu finden. Wo sie noch erhalten sind, verbinden Hohlwege und -gassen aus Löss die verschiedenen Landschaftsmosaik (GROSCHOFF et al. 2009, RP FREIBURG 2004). Wälder finden sich in erster Linie auf dem nach Westen geöffneten hufeisenförmigen Rücken und den Hügeln und Kuppen im Westen des Kaiserstuhls.

Wälder im Kaiserstuhl

Durch das diverse Kleinklima und die lokal verschiedenen Böden, sowie bedingt durch frühere und heutige Nutzung, sind die Wälder des Kaiserstuhls reich an Baumarten und Waldstrukturen. Die Besitzstruktur setzt sich zusammen aus etwa 50 % Körperschafts- und Staatswald sowie 50% kleinparzelliertem Privatwald (GROSCHOPF et al. 2009). Auf Grund dieser Zersplitterung war und ist teilweise bis heute eine systematische Waldbewirtschaftung nicht möglich, was eine hohe Diversität von sehr verschiedenen Bewirtschaftungsformen, Baumartenzusammensetzungen und Waldstrukturen zur Folge hat (vgl. WILMANN 2009).

Insgesamt nimmt die Holzbodenfläche am Kaiserstuhl ca. 2000 ha ein. Die vorkommenden Waldbestände setzen sich zu 90 % aus Laubbaumarten und zu 10 % aus Nadelbaumarten zusammen. Letztere stammen fast ausschließlich aus Aufforstungen. Die vorherrschenden Waldgesellschaften am Kaiserstuhl sind verschiedene Buchenwälder (Carici-, Galio-odora-ti-, Luzulo-Fagetum), Eichen-Hainbuchenwälder (v.a. Galio-Carpinetum) und kleinflächig die submediterran geprägten Flaumeichen-Mischwälder.

Nutzungsgeschichte der Wälder des Kaiserstuhl

Die Nutzungsgeschichte der Wälder im Kaiserstuhl kann nur verstanden werden im Kontext mit der Geschichte der Nutzung der gesamten Landschaft. Die kleinbäuerlich geprägte gemischte Landwirtschaft diente vor allem der Selbstversorgung. Äcker, Streuobst und Gärten, Wiesen in den Talbereichen und Hängen, Tierhaltung (Kühe, daneben Pferde, Ziegen, Schweine), dazu Weinbau waren integrierte Bestandteile eines jeden Bauernhofes. Aufgrund der Realteilung waren die Betriebe an der unteren Grenze der Überlebensfähigkeit. In dieser „Armutregion“ war der Nutzungsdruck auf die Landschaft enorm (MÜLLER 1933). Vor allem die Grenzertragsflächen an steilen, steinigten Hängen litten unter Übernutzung und Nährstoffentzug, ohne dass Mist als Kompensationsdüngung dort ausgebracht werden konnte, denn dieser wurde für die Gärten und Äcker benötigt.

Obwohl die Angaben zur Grünlandnutzung fast ausschließlich späte Mahd zwischen Juli und September dokumentieren (VON ROCHOW 1951), wird zumindest vor der Stallhaltung der Tiere, also vor dem 19. Jahrhundert, und vermutlich auch danach Beweidung ebenfalls eine gewisse Rolle gespielt haben: „Vielfach werden ... Bergwiesen, wie z.B. die Schelinger Matten, auch als Weiden benutzt“ (MÜLLER in LAIS et al. 1933). Dies ist insbesondere für steile, felsig-steinige Hang- und Kuppenlagen anzunehmen, auf denen Magerrasen, stark devastierte Stockausschlagwälder und deren Auflichtungsphasen nach Holznutzung eine kümmerliche Weide geboten haben mögen. Auf zumindest lokale Be- und Überweidung weist das reliktsche Vorkommen des Wacholders (*Juniperus communis*) an verschiedenen Stellen im Offenland (u.a. nahe Vogelsangpass, Südwestrand der Hochfläche am Badberg, Böschung im Gewann „Pfaffenhölzle“ am Bitzenberg, Waldrand am Steilhang unterhalb NSG „Oberes Barzental“ nördlich Schelingen) wie auch heute noch im Flaumeichenwald östlich Kiechlingsbergen (vgl. Vegetationstabelle I im Anhang: Tab. I/31) hin. Für frühere lokale Weidenutzung spricht auch die bei SLEUMER (1933) erwähnte historische Gewinnung von „Rasenflächen“ durch Zurückdrängen von Gehölzen wie Schlehe, Liguster und Wolligem Schneeball durch Abholzen und Einsatz von Feuer. Unterbleiben diese Eingriffe, entwickelt sich hieraus Flaumeichenwald, wie etwa am Bitzenberg bei Achkarren (SLEUMER 1933).

Eine flächendeckende historische Dokumentation der Bewirtschaftung der Wälder am Kaiserstuhl ist nicht existent. Dies liegt an den kleinstrukturierten Besitzverhältnissen sowie der Grenzlandsituation zwischen (Vorder-)Österreich und Frankreich: Viele forstliche Dokumente sind den Kriegswirren zum Opfer gefallen. Forsteinrichtungswerke bestehen für einen Teil der Gemeinden, allerdings erst seit Mitte des 19. Jahrhunderts (WILMANN 2009).

Aus den Forsteinrichtungswerken kann entnommen werden, dass die Hauptfunktion der Wälder bis um die Jahrhundertwende (19./20. Jhd.) die Lieferung von Brennholz und von Laubstreu darstellte. Nach Möglichkeit wurde auch Bauholz gewonnen, indem beim Kahlhieb einzelne gut gewachsene Bäume als Oberstand belassen wurden, darunter auch Flaumeichen (so am Limberg, SLEUMER 1933). Eine weitere Nutzung war die Gewinnung von Rebstecken. Im Kaiserstuhl wurden daher viele Wälder bis in die 1920er Jahre, lokal sogar bis in die 1950er Jahre als Mittel- oder Niederwälder bewirtschaftet, der Umtrieb erfolgte alle 12-15 Jahre (SLEUMER 1933) bzw. 10 bis 25 Jahre (WILMANN & BOGENRIEDER 1995). An manchen Stellen wurden Eichen-Schälwälder, v.a. mit Traubeneiche, zur Gerbrindengewinnung angelegt (WILMANN 2009).

Niederwaldwirtschaft fördert die gut stockausschlagfähigen Arten Hasel (*Corylus avellana*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Linde (*Tilia spec.*), Feldulme (*Ulmus minor*), Feldahorn (*Acer campestre*), Eiche (*Quercus spec.*) und die Els- und Mehlbeere (*Sorbus torminalis, S. aria*). Weniger stockausschlagfähig ist die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), sie wurde durch diese Bewirtschaftung zurückgedrängt (WILMANN 1977, 2009). Die jahrhundertelange Niederwaldbewirtschaftung lässt sich auch heute noch anhand von durchgewachsenen Stockausschlägen belegen, beispielsweise in Flaumeichen-Wäldern in den NSG Bitzenberg und Büchsenberg (Abb. 2).

Im 19. Jahrhundert versuchte man auch im Kaiserstuhl, eine geregeltere Forstwirtschaft einzuführen.



Abb. 2: Überalterter Stockausschlag der Flaumeiche im NSG Büchsenberg. Der Bereich des vor Jahrzehnten abgesägten früheren Zentralstammes ist durch Holzersetzung ausgehöhlt, es bildete sich eine wassergefüllte „Phytohelme“. 25.12.2022. © Albert Reif

- Zwischen 1850 und 1880 wurden nach Kahlhieben großflächig Wald-Kiefern (*Pinus sylvestris*) gepflanzt (WILMANN 2009), die sich jedoch schnell als ungeeignet herausstellten (SLEUMER 1933). Ursache waren (Nass-)Schnee- und Eisbruch. Dadurch sind Kiefern auch heute noch immer in den wieder ausgetriebenen, heute durchwachsenden Niederwäldern „reliktisch“ anzutreffen (vgl. Tab. I/Aufnahme 1, 32, 33). Die heißen Trockensommer der letzten Jahre führten vor allem bei der Wald-Kiefer zu Ausfällen, eine Ursache sind die im Vergleich zu Eichen hohen Atmungsverluste der Kiefer bei hohen Temperaturen (UNGERSON & SCHERDIN 1968). Daher ist die Wald-Kiefer zwar als trockenheits-, nicht jedoch sehr hitzetolerant einzustufen.
- Andere Bestände wurden nach Kahlhieb mit Robinie (*Robinia pseudacacia*) bepflanzt (reliktische Vorkommen vgl. Vegetationstabelle I/1, im Anhang).

In manchen Teilen des Kaiserstuhls hielten sich diese Bewirtschaftungsformen der Nieder- und Mittelwaldbewirtschaftung ungewöhnlich lange, nämlich bis nach dem zweiten Weltkrieg (WILMANN & BOGENRIEDER 1995). Erst danach wurde die Bewirtschaftung von der heute üblichen Betriebsform des Hochwaldes abgelöst. Seither wachsen die ehemals licht gehaltenen Wälder aus den Stockausschlägen zu immer dichter schließenden Beständen heran, und der ehemals üppige lichtliebende Unterwuchs wird „ausgedunkelt“ (WILMANN 2009).

Die Flaumeiche

Die Flaumeiche (*Quercus pubescens* WILLD.) ist ein sommergrüner, meist krummwüchsiger Baum oder Strauch. Sie kann bis zu 25 m hoch und an die 500 Jahre alt werden (ELSÄSSER et al. 2003, SCHÜTT et al. 1992, SEBALD et al. 1990). Oft erreicht sie nur eine Höhe von 5-10 m. Die geringe Höhe und der krüppelige Wuchs einhergehend mit feinen Jahrringen sind Zeichen geringer Produktivität. Diese ist vor allen Dingen auf die Trockenheit der Standorte zurückzuführen (HÄRDLE et al. 2004). Auf mesophytischen Standorten in Mitteleuropa hat die Flaumeiche das Potenzial auch geradschaftige und hochwüchsige Bestände zu bilden, welche Bauholzqualität erreichen (MAYER 1984). Die Güte des Holzes der Flaumeiche ähnelt dem der Traubeneiche, das Flaumeichenholz ist jedoch etwas schwerer, dauerhafter und weniger elastisch (SCHWARZ 1937, SCHÜTT et al. 1992).

Die Flaumeiche ähnelt auch in weiteren Merkmalen der Traubeneiche (*Quercus petraea* (Matt.) LIEBL.), mit der sie eng verwandt ist (SCHÜTT et al. 1992). Flaum- und Traubeneiche können untereinander Hybriden bilden. Da sie sich immer wieder kreuzen können (Genintrogression) sind die beiden Elternarten mit unterschiedlichen Gewichtungen an den Zwischenformen beteiligt (MÜLLER 1999, SALVINI et al. 2009). Genetisch besteht zwischen mitteleuropäischer Flaum- und Traubeneiche daher ein mehr oder weniger fließender Übergang. Aufgrund der Vielzahl an Zwischenformen, die im Kontaktbereich der beiden Arten existieren, ist eine klassische taxonomische Zuordnung der Arten kaum möglich (ENDTMANN 2008). Eine Zusammenfassung des mitteleuropäischen-Formschwarms als *Quercus pubescens* sensu lato (s.l. = im weiteren Sinne) oder als *Quercus pubescens*-Gruppe ist daher gängig.

Optisch kennzeichnend für die Flaumeiche ist eine dichte flaumig-filzige Behaarung an jungen Trieben und deren Blättern, die im Spätsommer jedoch mehr oder weniger verkahlen (SCHÜTT et al. 1992). Da viele morphologische Merkmale zur Unterscheidung der mit-

teleuropäischen Eichenarten Flaumeiche, Traubeneiche und Stieleiche (*Quercus robur*) und der Hybriden nicht eindeutig oder nur graduell ausgebildet sind, hat AAs (1998) einen vereinfachten Bestimmungsschlüssel anhand der Blatt- und Sprossbehaarung erstellt (Abb. 3). Sind weder auf der Blattober- noch auf der Blattunterseite Haare zu finden, handelt es sich um die Stieleiche. Um Flaumeiche, Traubeneiche und Flaumeichen-Hybriden differenzieren zu können, ist die Unterscheidung von sogenannten Stern- und Büschelhaaren elementar. Beides sind Nichtdrüsenhaare mit zwei oder mehr Armen. Entscheidend ist die Länge der Haare und ob sie von der Blattepidermis abstehen oder nicht. Büschelhaare stehen deutlich von der Epidermis ab und sind im Schnitt doppelt so lang wie die Sternhaare (AAs 1998). Büschelhaare an einem Individuum weisen auf eine genetische Beteiligung von *Quercus pubescens* hin. Nur wenn zusätzlich keine Sternhaare zu finden sind, handelt es sich um *Quercus pubescens* sensu stricto (s.s., im engeren Sinne), die „reine Form“ der Flaumeiche. Weist die Blattunterseite neben den Büschelhaaren zusätzlich auch Sternhaare auf, handelt es sich um eine Flaumeichen-Zwischenform (*Quercus pubescens* x *Quercus petraeae*).

Das Flaumeichenholz gilt wegen der feinen Jahrringe in der Bearbeitung und Handhabung als „ruhig“ und sehr widerstandsfähig. Das Kernholz der Flaumeiche fand daher regional auch Verwendung als Holzgewinde für Obst- und Weinpressen (EBI 2013). In Ländern mit größeren Flaumeichen-Vorkommen wird die Flaumeiche heute noch zur Produktion von Weinfässern (Frankreich, Elsass), aber auch als bedeutende Wirtsart für die Herstellung von Trüffeln (z.B. Italien) verwendet (ELSÄSSER et al. 2003).

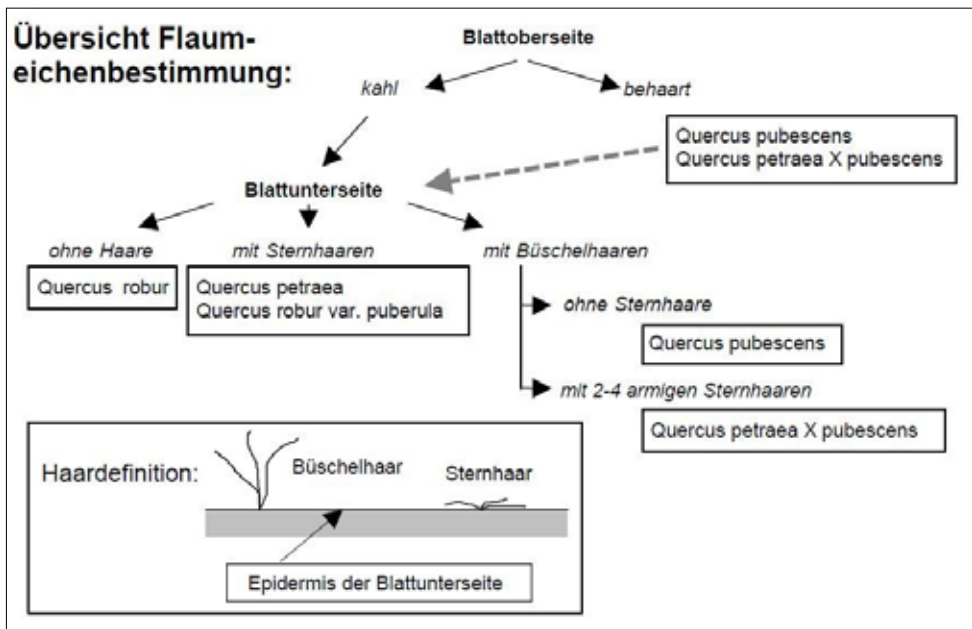


Abb. 3: Schlüssel zur morphologischen Bestimmung der drei mitteleuropäischen Eichenarten Stiel-Eiche (*Quercus robur*), Trauben-Eiche (*Q. petraeae*), Flaum-Eiche (*Q. pubescens*) und ihrer Hybriden nach AAs (1998).



Abb. 4: Verbreitungsareal der Flaum-Eiche (*Quercus pubescens* s.l.) mit geschlossenem Areal sowie isolierten bzw. disjunkten Vorposten. Quelle: PASTA et al. 2016 in CAUDULLO et al. 2017.

Die Flaumeiche ist eine vorwiegend mediterran-submediterrane Art (CAUDULLO et al. 2017, HÄRDITTE et al. 2004, PASTA et al. 2016). Ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich vom südlichen West- und Mitteleuropa über Südeuropa bis nach Kaukasien und Kleinasien (Abb. 4). In Mitteleuropa erreicht die Flaumeiche ihre nördliche Arealgrenze (SUCK et al. 2014), mit Beständen am Hochrhein (Dinkelberg, Klettgau), in der Schwäbischen Alb und dem Neckarland sowie am südlichen Oberrhein (Elsass, Kaiserstuhl) (BREUNIG & DEMUTH 1999, KÄTZEL et al. 2014).

Flaumeichenwald am Kaiserstuhl

Flaumeichenwälder finden sich am Kaiserstuhl vorzugsweise auf flachgründigen, steinigen Oberhängen und Kuppenlagen in Südwestexposition (Abb. 6). Alle Bestände weisen noch niederwaldartige Strukturen auf, wurden aber meistens seit Jahrzehnten nicht mehr als solche genutzt. Viele von diesen sind zu dichten Beständen „durchgewachsen“, manche befinden sich nach Vereinzelung ihrer Stockausschläge („nur der beste Stamm bleibt stehen“) auf dem Weg zum Hochwald (Abb. 5).

Da diese wärmebegünstigten Standorte von Flaumeichen-Mischwäldern ideale Lagen für den Weinbau darstellen, wurden Bestände dieser Waldgesellschaft oftmals für die Anlage von Weinterrassen gerodet. Vielerorts findet man heute daher nur noch Reste davon als schmale Streifen („Traufwald“) am Oberhang von Weinbergen oder Steinbrüchen (OBERDORFER 1992) (Abb. 7, 8).

WILMANN und BOGENRIEDER (1995) schätzen die Gesamtfläche der Vorkommen dieser Waldgesellschaft am Kaiserstuhl, inklusive der weniger gut entwickelten Bestände im Übergangsbereich, auf 10 - 15 ha.



Abb. 5: Flaumeichenwald bei Sponeck - Burkheim. Die Waldstruktur ist geprägt durch die Überführung zum Hochwald. Dennoch ist die Herkunft der einzelnen Stämme aus einem gehauenen Stock noch an der Stammbasis sichtbar. 9.4.2007. Foto: A. Reif

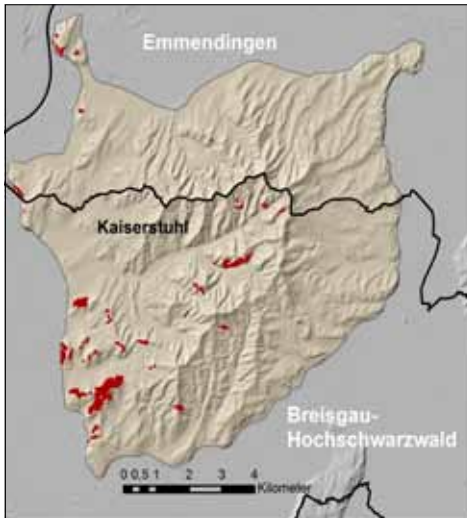


Abb. 6: Waldbiotope mit Flaumeiche am Kaiserstuhl



Abb. 7: Letzter Rest des Flaumeichenwaldes am Limberg bei Sasbach. Der größte Bereich wurde durch Steinbruchbetrieb zerstört. 8.9.2007. Foto: A. Reif



Abb. 8: Auf den flachgründigen Böden oberhalb des Steinbruchs am Büchsenberg erreicht die Flaumeiche die Trockengrenze des Waldes und bildet niedrige Buschwälder. Die Geologie besteht aus rötlichen Tephrit-Tuffbrekzien und grauen Tephrit-Lavaströmen (WIMMENAUER in GROSCHOFF et al. 2009). Links oben steht Löss an. 10.2.2020. Foto: A. Reif

Die lichtesten und artenreichsten Flaumeichen-Bestände kommen auf den trockensten Böden vor, sie sind als Naturschutzgebiete geschützt. Im Kaiserstuhl wurden zwischen 1955 und 1983 die Naturschutzgebiete Büchsenberg, Bitzenberg, Schneckenberg und Limberg ausgewiesen (RP FREIBURG 2004, LUBW 2017). Neben dem Naturschutz dienen diese der Naherholung und Bildungszwecken (Lehrpfade Limberg und Büchsenberg). Der Bestand am Limberg war vor seiner weitgehenden Zerstörung der naturschutzfachlich hervorragendste, doch fiel er bis auf einen kleinen Rest dem Weinbau zum Opfer (GROSCHOFF et al. 2009, KÄTZEL et al. 2014) (Abb. 7).

Seit der Nutzungsaufgabe der Niederwaldbewirtschaftung am Kaiserstuhl werden die Flaumeichen-Mischwälder weitestgehend nicht mehr bewirtschaftet. Durch das kleinflächige Vorkommen und die geringe Produktivität der meist krummwüchsigen Bestände war eine forstliche Nutzung ökonomisch nicht mehr attraktiv (GLATZER & SCHRAMM 2010). So wurde der Flaumeichenwald am „Büchsenberg“ in den 1930er Jahren letztmalig traditionell auf Stock gesetzt, auf den Kahlflächen entwickelte sich damals „ein Meer aus Diptam“ (*Dictamnus albus*)“ (OBERDORFER 1990, pers. Mitt.). Danach unterlagen die Bestände der Sukzession und damit zunehmenden Beschattung des Unterwuchses.

Zur Erhaltung des Charakters der Naturschutzgebiete werden seit Beginn des 21. Jahrhunderts mittel- oder niederwaldartige Pflegemaßnahmen kleinflächig durchgeführt (Abb. 9). Ziele sind die Förderung lichter Saumstrukturen mit besonderen Zielarten (z.B. Diptam,



Abb. 9: Flaumeichenwald im NSG Büchsenberg. Der frühere Niederwald wurde in den 1930-er Jahren letztmalig auf Stock gesetzt. In den Jahrzehnten danach wurde der Bestand dichter, licht- und wärmeliebende Arten verschwanden, Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) dominierte. Durch Pflegemaßnahmen wurden von jedem Stock der bestgewachsene Stamm belassen, die übrigen entfernt. Dadurch entstand eine mittelwaldartige Struktur. – Büchsenberg, 16.1.2011. Foto: A. Reif.



Abb. 10: Von der Auflichtung des durchgewachsenen Niederwaldes profitierten Arten wie Diptam und Blauroter Steinsame. Büchsenberg, 9.5.2015. Foto: A. Reif.

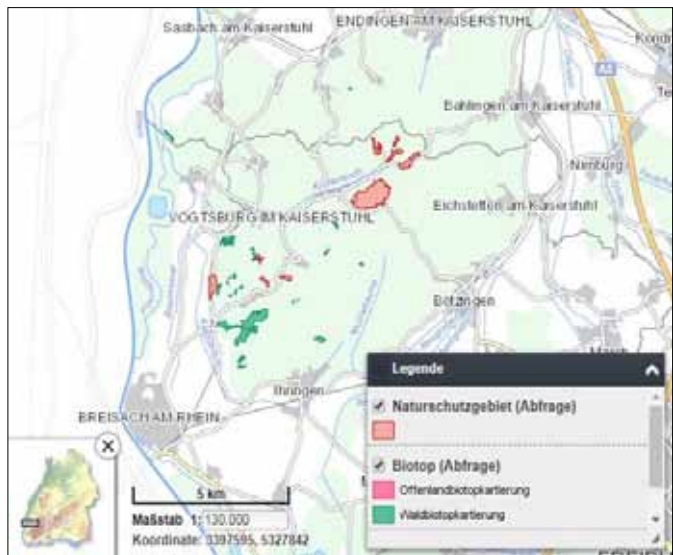
Blauroter Steinsame; Abb. 10); die Schaffung strukturreicher Wälder durch Förderung aller Waldnutzungsphasen mit ihrem Nebeneinander einzelner Waldschläge; die Erhaltung von durch historische Nutzung geprägten Lebensräumen; Erhaltung seltener Baumarten und von Habitatbäumen (TREIBER 2013). Derartige Eingriffe sind jedoch aufgrund der zersplitterten Eigentumsverhältnisse nur in wenigen Gebieten durchführbar.

Die Eichen treiben nach dem Hieb aus dem Stock wieder mehrstämmig aus, verjüngen sich jedoch im Waldbestand nicht durch Jungpflanzen aus Samen. Dies zeigt sich z.B. an den Entwicklungen nach einer sog. „Mittelwaldstellung“ im NSG Büchsenberg (Abb. 9). Ausbleibende Naturverjüngung führt mittelfristig zu einer Überalterung der Bestände bzw. langsamen Abnahme der Eichenanteile. Eine Verjüngung der Flaumeiche aus Samen ist nur an Waldrändern in mantel- und saumartigen Strukturen erfolgreich (vgl. REIF & GÄRTNER 2007), so zu sehen im NSG „Bitzenberg“, oder auch auf Böschungen von Rebterrassen.

Lage der Untersuchungsbestände

Größere Vorkommen der Flaumeiche befinden sich vor allem im trocken-warmen West- und Zentralkaiserstuhl, dort auf den süd- und südwestexponierten Hängen, auf Rücken oder Kuppen. Dort fehlt auf den vulkanischen Grundgesteinen die Lössüberlagerung, die Böden vermögen aufgrund des Steingehalts und der Flachgründigkeit kaum Wasser zu speichern (WILMANN & BOGENRIEDER 1995).

Gebietemit flächigen Flaumeichenwald-Vorkommen wurden anhand der Biotopbeschreibungen der Naturschutzgebiete und den Erhebungsbögen der Waldbiotopkartierung (WBK) identifiziert (Abb. 11). Diese konzentrieren sich auf den südwestlichen und den zentralen Kaiserstuhl. Drei Gebiete aus dem nördlichen Kaiserstuhl liegen auf den Gemarkungen von Sasbach, Jechtingen und Kiechlingsbergen.



In diesen Schutzgebieten bzw. Biotopen wurden die Probeflächen dieser

Untersuchung ausgewählt (Tab. 1). Von diesen Waldbeständen lagen zehn in Naturschutzgebieten und vierzehn in Waldbiotopen. Die ausgewählten Bestände waren in den letzten Jahrzehnten nicht forstwirtschaftlich beeinflusst worden und hatten größere Bereiche mit geschlossenem Kronendach. Dort wurden die Probeflächen für die Erfassung der Vegetation angelegt.

Abb. 11: Lage der Naturschutzgebiete und Biotope im Bereich des Kaiserstuhls.

Tab. 1: Liste der 24 untersuchten Schutzgebiete bzw. Biotope mit Anzahl und Bezeichnung der insgesamt 55 Probepunkte.

Schutzgebietsnummer/ Biotopnummer	Gebiete	Anzahl Probe- punkte	Bezeichnung der Probepunkte	Gemeinde und Gemarkung	Land- kreis
NSG 3.049	Büchsenberg	4	Büchsenberg 1 - 4	Vogtsburg, Oberrotweil	BHS
NSG 3.076	Badberg	2	Badberg 1 + 2	Vogtsburg, Oberbergen	BHS
NSG 3.096	Ohrberg	1	Ohrberg 1	Vogtsburg, Schelingen	BHS
NSG 3.103	Schneckenberg	4	Schneckenberg 1 - 4	Vogtsburg, Achkarren	BHS
NSG 3.104	Scheibenbuck- Blutenbuck	3	Schb-Blutenb. 1 - 3	Vogtsburg, Schelingen	BHS
NSG 3.125	Bitzenberg	3	Bitzenberg 1 - 3	Vogtsburg, Bickensohl	BHS
NSG 3.148	Dachslöcher Buck	2	Dachslöcher Buck 1 + 2	Vogtsburg, Schelingen	BHS
NSG 3.152	Ebnet	2	Ebnet 1 + 2	Vogtsburg, Oberrotweil	BHS
278113163021	Flaumeichenwald NW Sasbach, NSG	2	Limberg 1 + 2	Sasbach	EM
279113153114	NSG "Steinbruch Niederrotweil"	2	Steinbruch Niederrotweil 1 + 2	Vogtsburg, Niederrotweil	BHS
279123153196	Eichenwald SW Totenkopf	1	Totenkopf 1	Ihringen	BHS
279113153142	Pflanzenstandort am Blanken-hornberg	1	Blankenhornsberg 1	Ihringen	BHS
279113153138	Wald mit seltenen Pflanzen SO Achkarren	2	Brentebuck 1 + 2	Ihringen	BHS
279113154525	Seltene Tierarten in strukturr. Wäldern (1)	4	Seltene Tiere I + II, II + III	Ihringen	BHS
279113153130	Wald mit seltenen Pflanzen am Hochbuck	1	Hochbuck 1	Ihringen	BHS
279113153132	Wald mit seltenen Pflanzen SO Oberbergen	2	Seltene Pflanzen Oberbergen 1 + 2	Vogtsburg, Oberbergen	BHS
279113153135	ND "Dachsbuck" Altholz O Bickensohl	1	Dachsbuck 1	Vogtsburg, Bickensohl	BHS
279113153119	Wald S Niederrotweil	2	Wald S Niederrotweil 1 + 2	Vogtsburg, Niederrotweil	BHS
279113153120	Pflanzenstandort NW Achkarren	3	Pflanzenstandort 1 - 3	Vogtsburg, Achkarren	BHS
279113153124	Flaumeiche-nwald W Achkarren	3	Schloßberg A - C	Vogtsburg, Achkarren	BHS
279113153126	Wald mit seltenen Pflanzen S Vogtsburg	4	Seltene Pflanzen 1., 2., 3.1 + 3.2	Vogtsburg, Achkarren	BHS
279113154518	Artenvorkommen am Schloßberg W Achkarren	2	Schloßberg 2.1 + 2.2	Vogtsburg, Achkarren	BHS
278123162479	Eichenwald O Kiechlins-bergen	1	Kiechlingsbergen 1	Endingen, Kiechlingsberge n	EM
278113162500	Steinsamen-Eichen- Wald S Burg Sponeck	3	Sponeck 1 - 3	Sasbach, Jechtingen	EM

Methodik

Datenerhebung

In den 24 ausgewählten Waldbeständen wurde per GPS-Gerät Falk LUX 32 jeweils der Mittelpunkt eingemessen und dokumentiert. Von diesem Mittelpunkt aus wurden die Probestellen eingemessen, die Eckpunkte markiert. Die Probestellenwahl und das Aufnahmedesign auf den Probestellen mussten folgenden Kriterien genügen (vgl. DIERSCHKE 1994):

- 1) Homogenität: Die Probestelle muss physiognomisch-strukturell, floristisch und standörtlich möglichst gleichartig (homogen) sein.
- 2) Zentrität: Die Mitte der Aufnahmefläche liegt im Zentrum des jeweiligen Bestandes. Dieses Kriterium wurde gewählt, da die Flaumeichen-Vorkommen nur kleinflächig und eingebettet in Fagalia-Wälder oder angrenzend an Weinberge vorkommen.
- 3) Randeffekte und kleinstrukturelle Sonderstandorte wurden ausgeschlossen, indem drei Meter Mindestabstand zu Wegen, Waldrändern, Störstellen eingehalten wurde.
- 4) Flächengröße von 100 m², Form quadratisch oder rechteckig.

In Ausnahmefällen konnten einzelne Kriterien, wie etwa Lage oder Größe der Probestelle, nicht eingehalten werden. An den Probestellen Steinbruch Niederrotweil 1 und 2 und Büchsenberg 4 wurden daher kleinere Probestellen angelegt, um auch die dort vorkommenden Flaumeichen-Bestände einbeziehen zu können. Das Kriterium Homogenität wurde bei allen Probestellen eingehalten, indem je nach Topographie eine angepasste Probestellenform festgelegt wurde.

Mit dieser Vorgehensweise wurde eine möglichst vollständige, repräsentative Zustandsaufnahme der „größeren“ Flaumeichen-Bestände am Kaiserstuhl ermöglicht. Die Feldarbeit fand beginnend von der zweiten Maihälfte bis Anfang Juli 2017 statt.

Jede Probestelle wurde durch Meereshöhe, Exposition und Hangneigung sowie das Grundgestein (LGRB 2017a, b) standörtlich charakterisiert. Bezüglich der Flora wurde die Artenzusammensetzung aller Kormophyten und Bryophyten auf Mineralboden erfasst. Arten im Umfeld der Probestelle wurden nicht ergänzend einbezogen.

Zur Aufnahme der Gefäßpflanzen wurde die in Anlehnung an VAN DER MAAREL (1979) modifizierte Skala verwendet. Diese Skala kombiniert den Deckungsgrad mit der Häufigkeit der Individuen einer jeden Art.

Zur Aufnahme der Vegetation erfolgte eine Unterteilung in Kraut-, Strauch- und Baumschicht. Kriterien zur Einteilung waren vor allem die Wuchshöhe der vorkommenden Pflanzenindividuen sowie ihrer Lebensformen. Individuen <1 m wurden zur Krautschicht, Individuen zwischen 1 und 5 m Höhe zur Strauchschicht, und Individuen >5 m Höhe zur Baumschicht gezählt.

Für jede der drei Schichten wurde die Gesamtdeckung geschätzt. Von Arten, die in allen Schichten auftreten (z.B. *Hedera helix* oder Baumarten), wurde das Vorkommen in jeder Schicht aufgenommen. Aufgrund von Überlagerungen unterschiedlicher Pflanzenteile von verschiedenen Arten übersteigt die Summe der einzelnen Deckungsgrade (Deckung

der einzelnen Arten) häufig 100 % (TREMP 2005). Der Deckungsgrad ist ein leicht erfassbarer Wert, der Hinweise auf Wüchsigkeit, Konkurrenzkraft und bestandsbildende Bedeutung einer Art gibt.

Die Bestimmung der Eichenarten erfolgte anhand von makroskopischen Merkmalen nach AAS (1998) (vgl. Abb. 3). Da eine klare Differenzierung anhand der Morphologie schwierig ist, wurde die Flaum-Eiche mit ihren Hybriden als *Quercus pubescens* sensu lato in die Analyse einbezogen. Die Gefäßpflanzen wurden nach JÄGER (2017) benannt, die Moose nach LÜTH (2013). Einzig *Porella laevigata* (Schrad.) Pfeiff folgt der Bezeichnung nach FRAHM & FREY (1992).

Datenanalyse: Klassifikation und Ordination

Für eine Klassifikation und Ordination wurde die floristische Unähnlichkeit der Probestellen durch das Verschiedenheitsmaß des Bray-Curtis-Koeffizienten verwendet (BRAY & CURTIS 1957).

Zur Berechnung der floristischen Unähnlichkeiten (Distanzen) wurden die Daten der nach von VAN DER MAAREL (1979) modifizierten Braun-Blanquet-Skala in eine ordinale Skala von 1 bis 9 transformiert. Diese Transformation führt bei der Distanzberechnung zu ökologisch zufriedenstellenden Ergebnissen, da sie die hochdeckenden Arten in ihrer Gewichtung reduziert und die selten vorkommenden Arten angemessen aufwertet (VAN DER MAAREL 1979). Einbezogen wurden die Arten der Baum-, Strauch- und Krautschicht, jede Art wurde jedoch aus Gründen der Repräsentanz nur einmal mit dem jeweils höchsten Deckungswert aus einer Schicht verwendet.

Als Cluster-Algorithmus wurde die Ward-Methode gewählt (WARD Jr 1963). Die Anzahl der Gruppen wurde unter Anwendung der Multi-Response Permutation Procedure (MRPP) und für die Arten die Ergebnisse der Indicator Species Analysis (ISA) ermittelt (MCCUNE & GRACE 2002).

Für die Ordination wurde die nicht-metrische Multidimensionale Skalierung (NMDS) verwendet (MCCUNE & GRACE 2002).

In die numerischen Analysen wurden die Bryophyten nicht einbezogen, sie wurden jedoch in die Liste der vorkommenden Arten bzw. die Vegetationstabelle ergänzend eingetragen (Tab. I, im Anhang).

Die Analysen und die Anfertigung der Grafiken wurden in RStudio mittels der Pakete vegan (OKSANEN et al. 2017), cluster (MAECHLER et al. 2017), tidyr (WICKHAM & HENRY 2017), dplyr (WICKHAM & HENRY 2017), labdsv (ROBERTS 2016), indicpecies (DE CACERES & JANSEN) und colourlovers (LEEPER 2016) durchgeführt.

Für jede Probestelle wurde der qualitative (mZqual) als auch der quantitative mittlere Zeigerwert (mZquant) berechnet (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Historischer Vergleich

Für den historischen Vergleich wurden Strukturdaten des eigenen Datensatzes mit den Auswertungen von Zeigerwerten von historischen Daten von V. ROCHOW (1951), MÜLLER (1962) und WILMANN & BOGENRIEDER (1995) verglichen. Diese enthalten die durchschnittli-

chen Deckungsprozente der Baum-, Strauch- und Krautschicht als Strukturinformation, die durchschnittliche Artenzahl und Stetigkeitswerte der Arten. Sofern die Schichten in zwei Baumschichten unterteilt waren, wurde nur der jeweils höhere Wert berücksichtigt.

Weiterhin wurden die Ellenberg-Zeigerwerte in ihrer zeitlichen Veränderung verglichen. Es wurden jeweils drei Zeigerartengruppen (1-3, 4-7 und 8-9) des Licht(L)- und Stickstoff(N)-Wertes gebildet, innerhalb dieser Gruppen wurde die durchschnittliche Stetigkeit der Arten berechnet und durch die Anzahl der Arten jeder Gruppe geteilt. Dadurch wurde der Wert der Veränderung als Verschiebungen zwischen den Anteilen der drei Zeigerartengruppen fassbar. Zur Zeigerwertberechnung wurden jeweils die Arten der Kraut- und Strauchschicht verwendet. Kam eine Art in beiden Schichten vor, wurde sie nur einmal mit dem jeweils höheren Wert verwendet.

Die Schwierigkeit der Vergleichbarkeit beruht vor allem darin, dass die historischen Aufnahmen nicht bestimmten Lokalitäten zugeordnet werden konnten und bei den Kriterien für die Auswahl der Probeflächen in älteren Untersuchungen ein anderes Aufnahmedesign zugrunde lag. Ein Vergleich der Ergebnisse ist daher mit Vorbehalt zu interpretieren.

Ergebnisse

In den Flaumeichenwäldern (*Quercetum pubescenti-petraeae*) des Kaiserstuhls dominiert die Flaumeiche (inkl. Hybriden) die Baumschicht. Weniger häufige, weniger stark das Bestandesbild prägende Baumarten sind Elsbeere (*Sorbus torminalis*), Feld-Ahorn (*Acer campestre*), Vogelkirsche (*Prunus avium*) und Feld-Ulme (*Ulmus campestris*). Der Efeu (*Hedera*



Abb. 12: Die submediterran verbreitete Strauch-Kronwicke (*Hippocrepis emerus*; bis vor kurzem *Coronilla emerus*) findet sich häufig in den Flaumeichenwäldern des Kaiserstuhls. Sponeck – Burkheim, Waldbiotop 278113162500, 20.4.2008. Foto: A. Reif.

helix) ist hochstet, bedeckt den Boden teilweise mit hohen Deckungen und erreicht häufig die Baumschicht. Die häufigste Strauchart im Unterwuchs ist der Liguster (*Ligustrum vulgare*), wesentlich geringere Stetigkeiten besitzen Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Heckenkirsche (*Lonicera xylosteum*), Pfaffenhütchen (*Euonymus europaeus*), Schlehe (*Prunus spinosa*), Strauch-Kronwicke (*Hippocrepis emerus*; Abb. 12), Kreuzdorn (*Rhamnus cathartica*) und weitere Arten. In der Bodenflora sind Maiglöckchen (*Convallaria majalis*), Vielblütige Weißwurz (*Polygonatum multiflorum*) und Wald-Veilchen (*Viola reichenbachiana*) häufig.

Die numerische Analyse ergab vier floristisch differenzierte Ausbildungen des Quercetum pubescenti-petraeae (Abb. 13).

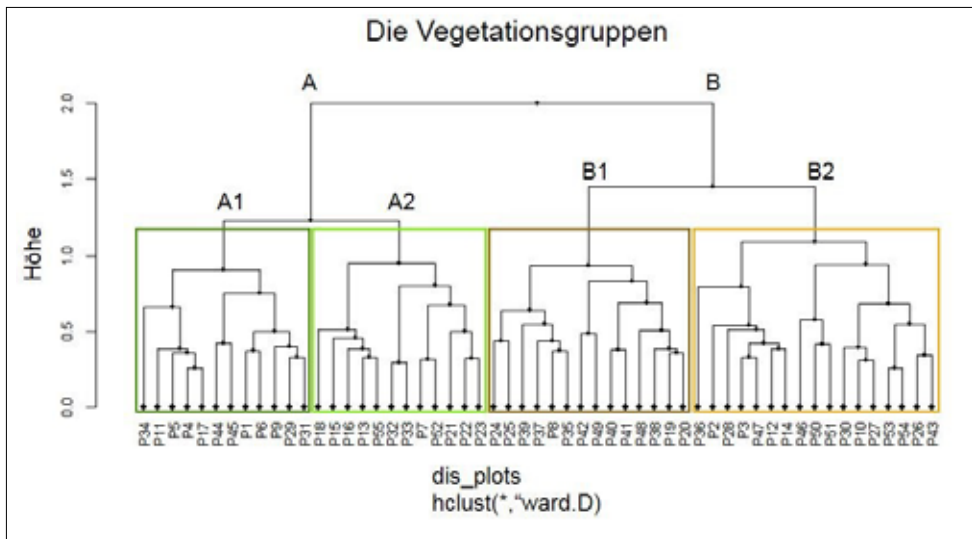


Abb. 13: Numerische Klassifikation der Vegetation der Flaumeichenwälder des Kaiserstuhls. Auf der x-Achse als Distanzmaß sind die 55 Probenpunkte (vergl. Tab. 1) aufgeführt.

Insgesamt lassen sich 4 Ausbildungen unterscheiden (Tab. I; Abb. 13):

- (1) In der Ausbildung mit Knoblauchsrauke (*Alliaria petiolata*) dominieren vor allem Nitrophyten im Unterwuchs, darunter neben der namensgebenden Knoblauchs-Rauke (Abb. 13), Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia* ssp. *lucorum*) und Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) (Tab. I/1-12). Stachel-Segge (*Carex muricata* agg.) und Klebkraut (*Galium aparine*) haben hier ihren Schwerpunkt.
- (2) Die Ausbildung mit Kriechender Rose (*Rosa arvensis*) (Tab. I/13-24) kann in eine Aufnahme-Gruppe mit Hainbuche (*Carpinus betulus*), den mesophilen Waldbodenarten Wald-Segge (*Carex sylvatica*) und Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) (Tab. I/13-17) sowie eine Aufnahme-Gruppe mit wärme- und lichtliebende Unterwuchs- und Saumarten wie Doldige Wucherblume (*Tanacetum corymbosum*), Wald-Labkraut (*Galium sylvaticum*), Wald-Erdbeere (*Fragaria vesca*), Berg-Segge (*Carex montana*) und Schwarzwerdende Platterbse (*Lathyrus niger*) (Tab. I/18-24) weiter unterteilt werden.

- (3) In der Ausbildung mit Mehlbeere (*Sorbus aria* agg.) (Tab. I/25-38) sind neben der Mehlbeere tendenziell mesophile Arten enthalten, darunter Gehölze wie Hasel (*Corylus avellana*), Waldnuß (*Juglans regia*) und in 2 Aufnahmen Rot-Buche, im Unterwuchs Behaartes Veilchen (*Viola hirta*) und Nickendes Perlgras (*Melica nutans*). Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Heckenkirsche (*Lonicera xylosteum*), Waldrebe (*Clematis vitalba*) und Schlehe (*Prunus spinosa*) sind nicht häufig, haben jedoch in dieser Ausbildung ihren Schwerpunkt.
- (4) Ausbildung mit Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) (Tab. I/39-55). Hier besitzt die Esche (*Fraxinus excelsior*) ihren Schwerpunkt.

Einige Arten sind für zwei Ausbildungen differenzierend, so für (1) und (2) Zweigrifflicher Weißdorn (*Crataegus laevigata*); für (2) und (3) Wolliger Schneeball (*Viburnum lantana*) und Weiß-Segge (*Carex alba*); für (3) und (4) Eingrifflicher Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Esche (*Fraxinus excelsior*) und Winter-Linde (*Tilia cordata*) (vgl. Tab. I).



Abb. 14: In den Flaumeichen-Wäldern des Kaiserstuhls prägen stickstoffzeigende Arten halbschattiger Säume wie die Knoblauchsrauke (*Alliaria petiolata*) – hier fruktifizierend - an vielen Stellen den Unterwuchs. – Büchsenberg, 11.7.2017. Foto: A. Reif.

Veränderungen der Waldstruktur und Vegetation

Um die Veränderungen der Flaumeichenwälder in den letzten Jahrzehnten analysieren zu können, müssen historische, methodisch vergleichbar erhobene Daten vorliegen. Aussagen zu früheren Zuständen der Flaumeichenwälder des Kaiserstuhls finden sich insbesondere in den Studien durch von V. ROCHOW 1942-44 (V. ROCHOW 1951), MÜLLER (1962) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1985-86). Allerdings leidet die Vergleichbarkeit durch (1) die oft unklare Dokumentation der Methoden, (2) die inhaltlich sehr unterschiedliche Methodik

(Auswahl der Bestände, Auswahl und Größe der Probeflächen, Abgrenzung der Probeflächen; Definition der Bestandesschichten) sowie (3) durch die Heterogenität der Ergebnispräsentation, beispielsweise wurden durch von Rochow (1942-44) lediglich Stetigkeitstabellen publiziert. Dennoch sei der Versuch gewagt, Tendenzen der Veränderung aufzuzeigen.

Die Tendenzen der Veränderungen der Waldstruktur können durch Veränderungen der Deckungsgrade der jeweils erhobenen Baum-, Strauch- und Krautschicht angedeutet werden (Tab. 2). Insgesamt gesehen scheinen die Deckungsgrade im Vergleich zu den historischen Aufnahmen zugenommen zu haben. Dies bedeutet, dass die Bestände dunkler und dichter geworden sind.

Tab. 2: Vergleich der erhobenen Strukturdaten der vier vorliegenden Bearbeitungen der Flaumeichenwälder des Kaiserstuhls, in Anlehnung an WILMANN und BOGENRIEDER (1995), ergänzt durch die Daten aus TRUÉ (2017).

	v. Rochow (1942-44)	Müller (1961)	Wilmanns und Bogenrieder (1971, 85-86)	Trué (2017)
Deckung [%]	66	78	64	82
Baumschicht	(7 Aufn.)	(25 Aufn.)	(16 Aufn.)	(55 Aufn.)
Deckung[%]	71	22	31	54
Strauchschicht	(7 Aufn.)	(25 Aufn.)	(19 Aufn.)	(55 Aufn.)
Deckung [%]	76	51	52	68
Krautschicht	(8 Aufn.)	(25 Aufn.)	(22 Aufn.)	(55 Aufn.)
mittlere Artenzahl (ohne Kryptogamen)	38,6	25,6	33,7	22,4
	(9 Aufn.)	(25 Aufn.)	(23 Aufn.)	(55 Aufn.)

Im Vergleich zu den Artenzahlen bei V. ROCHOW (1942-44) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1995) zeigt sich eine starke Abnahme der Gefäßpflanzenarten. Im Vergleich mit den Artenzahlen bei MÜLLER (1962) liegen die in dieser Studie ermittelten Werte jedoch nur geringfügig darunter. Erklärung hierfür könnte sein, dass (1) die Probeflächen bei v. Rochow (1942-44) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1995) größer waren; oder (2) die Probeflächen so gewählt wurden, dass sie möglichst viele als repräsentativ erachtete Arten enthielten, was eine Tendenz zu höheren Artenzahlen zur Folge hatte.

Dies legt nahe, dass MÜLLER (1962) einen ähnlichen Inventuransatz wie in dieser Studie hatte, also vor allem möglichst die waldartigen Bestände erfassen wollte. Dies würde auch die höhere Deckung der Baumschicht bei MÜLLER (1961) wie in dieser Studie im Vergleich zu den Arbeiten von V. ROCHOW (1942-44) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1995) erklären. Dies würde bedeuten, dass die Kernbereiche der Flaumeichenwälder bereits vor 60 Jahren eine ähnlich stark deckende Baumschicht mit einer ähnlich (wenig) diversen Bodenflora hatten.

Hinweise zu Veränderungen der Flaumeichenwälder bezüglich der Artenzusammensetzungen geben Auswertungen der Licht- und der Stickstoff-Zeigerwerte nach ELLENBERG & LEUSCHNER (2010) (Abb. 15, 16). Verglichen wurden die Vorkommen von jeweils 3 Gruppen von Pflanzenarten (Gruppe mit den L-Zeigerwerten 1-3: Tiefschattenpflanzen bis Schattenpflanzen; Gruppe 4-6: Halbschattenpflanzen; Gruppe 7-9: Halblicht- bis Volllichtpflanzen),

dies zu den verschiedenen Zeitpunkten bzw. Autoren auf der Basis der Stetigkeitsvergleiche als der gemeinsamen Schnittmenge an Daten.

Die Häufigkeiten von Tiefschattenpflanzen bis Schattenpflanzen (1-3) unterscheiden sich zwischen den 4 Studien kaum (Abb. 15). Halblicht- und Lichtpflanzen sind bei v. Rochow

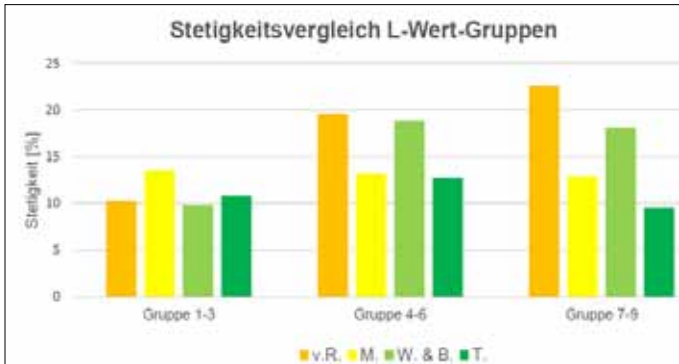


Abb. 15: Vergleich der drei Licht-Zeigerwert-Klassen zwischen den Autoren V. ROCHOW (1951; v.R.), MÜLLER (1962; M) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1995) und den eigenen Aufnahmen (2017; T).

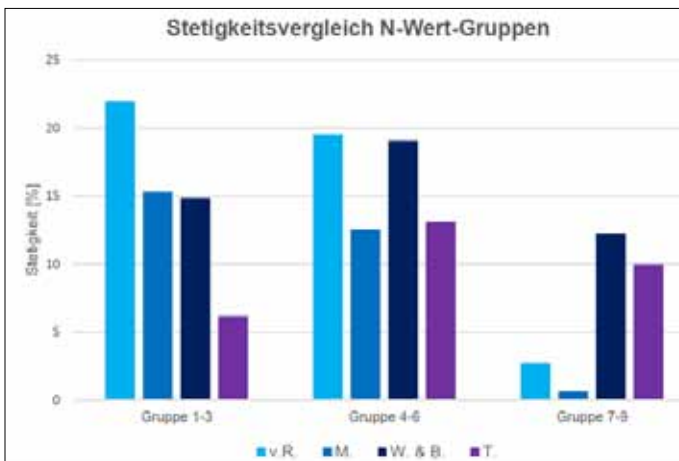


Abb. 16: Vergleich der drei Stickstoffwert-Klassen zwischen den Autoren V. ROCHOW (1951; v.R.), MÜLLER (1962; M) sowie WILMANN & BOGENRIEDER (1995; W & B) und den eigenen Aufnahmen (2017; T).

und bei WILMANN & BOGENRIEDER (1995) häufiger, verglichen mit den Befunden von MÜLLER (1962) und dieser Studie bzw. TRUÉ (2017). Dies stützt die Befunde aus dem Strukturvergleich der Deckungen der Baumschicht, dass nämlich die Flaumeichenwälder bereits vor 60 Jahren ein dichtes Kronendach hatten, jedoch in der Zwischenzeit noch dunkler geworden sind.

Weitere Hinweise auf Veränderungen ergeben sich bei Betrachtung der Veränderungen der Stickstoffzeigerwerte (Abb. 16). Auch hier wurden die zeitlichen Trends von drei Gruppen von Arten gegeneinander verglichen (Gruppe mit den N-Zeigerwerten 1-3: stickstoffärmste bis stickstoffarme Standorte anzeigende Arten; Gruppe 4-6: mäßig stickstoffreiche Standorte anzeigende Arten; Gruppe 7-9: stickstoffreiche bis übermäßig stickstoffreiche Standorte anzeigende Arten).

Die größten Unterschiede bestehen in der starken Zunahme von Stickstoffzeigern (Gruppe 7-9) seit den 1970er - 1980er Jahren (Zeitpunkt der Datenaufnahme) (WILMANN & BOGENRIEDER 1995; TRUÉ 2017). Diese fehlten in den beiden ersten Zeitperioden fast vollständig.

Auch floristisch dokumentieren die aktuellen Vegetationsaufnahmen eine Zunahme nährstoffzeigender Arten. Allerdings sind deren mittlere Stetigkeitsprozente in den aktuellen Untersuchungen etwas niedriger als bei WILMANN & BOGENRIEDER (1995). Möglicherweise hängt dies mit einem Rückgang der Stickstoffeinträge seit dieser Zeit zusammen (UMWELTBUNDESAMT 2021).

Diskussion

Die wärmeliebenden Eichen-Mischwälder gelten mit als die artenreichsten Waldökosysteme Europas (GLATZER & SCHRAMM 2010). Günstige Lichtverhältnisse ermöglichen eine gut ausgebildete Strauch- und Krautschicht. Allerdings muss diese Aussage bei Betrachtung der Kernbereiche der Flaumeichenwälder, also unter Ausschluss der von Seitenlicht beeinflussten Mantel- und Saumbereiche, zumindest für den Kaiserstuhl stark relativiert werden (Abb. 17). In den aktuellen Vegetationsaufnahmen finden sich submediterrane Flaumeichenwaldarten mit nur niedriger Stetigkeit und Deckungsgraden, darunter Strauch-Kronwicke (*Hippocrepis emerus*), Salomonsiegel (*Polygonatum odoratum*) oder Diptam (*Dictamnus albus*). Auch in den Aufnahmen von MÜLLER (1962) sind die Zahlen der Gefäßpflanzenarten ähnlich niedrig. Allerdings zeichnet sich in den letzten Jahrzehnten ein starker Wandel der Artenzusammensetzung ab: Seit Ende der 1970er Jahre wurde eine starke und bislang unerklärte Ausbreitung von Stickstoffzeigern wie Knoblauchsrauke (*Alliaria petiolata*) im



Abb. 17: Durchgewachsener Flaumeichenwald am Hochbuck bei Achkarren-Bickensohl. Die Stockausschläge sind überaltert und machen sich gegenseitig Konkurrenz. Der Unterwuchs ist relativ artenarm und von Stickstoffzeigern geprägt. Nach Absterben einzelner Eichen-Individuen, etwa durch Windwurf, ist eine erfolgreiche Naturverjüngung aus Samen nicht anzutreffen. 2.2.2008. Foto: A. Reif.

Unterwuchs der Wälder und insbesondere der lichten Wälder auf exponierten Standorten ab (WILMANN & BOGENRIEDER 1995; WILMANNS et al. 1986). Diese Eutrophierung scheint inzwischen etwas abgeklungen zu sein (WILMANNS 2009). Dennoch ist auch der heutige Zustand der Flaumeichenwälder durch einen hohen Anteil an Stickstoffzeigern geprägt.

Neben der Eutrophierung trägt die fortschreitende Sukzession zur Veränderung von Struktur und Artenzusammensetzung der Flaumeichenwälder bei. Derartige Phänomene sind auch für submediterrane Eichenwälder Italiens dokumentiert (LELLI et al. 2020). Die historischen Nutzungen, also Brennholzgewinnung durch Stockhieb und vermutlich temporäre Beweidung, haben im Kaiserstuhl spätestens in den 1950er Jahren ihr Ende gefunden. Die Wälder wurden dichter, im Unterwuchs macht sich eine relativ stark deckende Strauchschicht breit. All diese Faktoren führen dazu, dass die Flaumeiche auf keiner einzigen Probestfläche als samenbürtige verholzte Jungpflanze gefunden wurde. Allerdings verjüngt sich die Flaumeiche spontan an Waldrändern, auf Böschungen von Rebbergen und in „versau-menden“ Magerrasen (vgl. REIF & GÄRTNER 2007). Hieraus kann für die Pflege von Flaumeichenwäldern abgeleitet werden, dass abschnittsweise starke Auflichtungen der Bestände sowie Entfernung der Biomasse und dadurch von Nährstoffen für die Naturverjüngung der Eichen essentiell sind.

Literatur

- AAS, G. (1998): Morphologische und ökologische Variation mitteleuropäischer *Quercus*-Arten: Ein Beitrag zum Verständnis der Biodiversität. IHW-Verlag, Echingen: 221 S.
- BRAY, J. R. & CURTIS, J. T. (1957): An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs* 27(4):325-349
- BREUNIG, T. & DEMUTH S. (1999): Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Baden-Württemberg. Webseite: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/29039/> (Stand: 12.10.17)
- CAUDULLO, G., WELK., E. & SAN-MIGUEL AYANZ, J. (2017): Chronological maps for the main European woody species. Elsevier, 12:662-666. Webseite: doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007 (Stand: 20.09.17)
- DE CACERES, M. & JANSEN, F. (2016): indicpecies: Relationship Between Species and Group of Sites. R package version: 1.7.6
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 683 S.
- DIENST, M. (1982): Trockenwälder und ihre Kontaktgesellschaften in der Vorbergzone zwischen Basel und Emmendingen. Diplomarbeit, Fak. f. Biologie, Albert-Ludwigs-Universität.
- EBI, A. (2013): Flaumeichenwälder oder der letzte Wald vor der Steppenbildung. Eine Baumart im Grenzbereich von Trockenheit in flachgründigen, steilen Hangpartien. *Zürcher Wald* 3/2013: 24-26.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen – in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 1095 S.
- ELLENBERG, H., WEBER H.E., DÜLL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. (2001): Indicator values of plants in Central Europe. Erich Goltze Verlag, Göttingen: 262 S.
- ELSÄSSER, A., MENTH, D. & RIOS, E. (2003): Gehölzportrait Dendrologie. Flaumeiche. Wädenswil. Webseite: <http://www.gehoelze.ch/flaumeiche.pdf> (Stand: 31.10.17)
- ENDTMANN, K.J. (2008): Natur- und Landschaftsschutz im Gebiet um Bielinek und Lubiechów Górny. Eberswalder Forstliche Schriftentenreihe 37:42-74
- FRAHM, J. P. & FREY, W. (1992): Moosflora. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 528 S.
- GLATZER, K. & SCHRAMM, E. (2010): Klimabezogener Umbau der Eichenwälder mit mediterranen

- Eichen – Eine vorläufige Wirkungs- und Folgenabschätzung. Biodiversität und Klima Forschungszentrum. Knowledge Flow Paper Nr. 5: 1-14
- GROSCHOFF, R., HOFFRICHTER, O., KOBEL-LAMPARSKI, A., MEINEKE, J.-U., SEITZ, B.-J., STAUB, F., VILLINGER, E., WILMANN, O. & WIMMENAUER, W. (2009): Der Kaiserstuhl – Einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern: 387 S.
- HÄRDTLE, W., EWALD, J. & HÖLZEL, N. (2004): Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 252 S.
- ILLÉS, G. & MÓRICZ, N. (2022): Climate envelope analyses suggests significant rearrangements in the distribution ranges of Central European tree species. - *Annals of Forest Science* 79: 35. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01154-8>.
- JÄGER, E.J. (2017): Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. 924 S., Springer Spektrum, Berlin – Heidelberg.
- KÄTZEL, R., KAMP T., HÖLTKEN A. M., BECKER F., RIEDERER H. J. & SCHRÖDER J. (2014): Die Vorkommen der Flaum-Eiche und ihrer Hybriden nördlich der Alpen. *Applied Agricultural and Forestry Research*, 64: 73-84.
- LAIS, R., LITZELMANN, E., MÜLLER, K., PFAFFENSTIEL, M., SCHREPFER, H., SIEBERT, K., SLEUMER, H. & STROHM, K. (Hrsg) (1933): Der Kaiserstuhl. Eine Naturgeschichte des Vulkangebirges am Oberrhein. Badischer Landesverein f. Naturkunde u. Naturschutz, Freiburg. 517 S. LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) (2017a): GK50 Geologische Einheiten. http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_geola_bod_ke. Zugriff 11.08.2017.
- LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) (2017b): BK50 Bodenkundliche Einheiten. http://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_geola_bod_ke. Zugriff 11.08.2017.
- LEEPER, T.J. (2016): colourlovers: R Client for the COLOURlovers API. R package version: 0.2.2
- LELLI, CH., NASCIBENE, J., ALBERTI, D., AGOSTINI, N., ZOCCOLA, A., PIOVESAN, N. & CHIARUCCI, A. (2020): Long-term changes in Italian mountain forests detected by resurvey of historical vegetation data. – *J. Veg. Sci.* 2021; 32:e12939. <https://doi.org/10.1111/jvs.12939>.
- LÜTH, M. (2013): Bildatlas der Moose Deutschlands.
- MAECHLER, M., ROUSSEEUW, P., STRUYF, A., HUBERT, M., HORNIK, K., STUDER, M., ROUDIER, P., GONZALEZ, P. (2017): cluster: „Finding Groups in Data“: Cluster Analysis Extended Rousseeuw et al. R package version: 2.0.6
- MAYER, H. (1984): Wälder Europas. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 691 S.
- MCCUNE, B. & GRACE, J. B. (2002): Analysis of ecological communities. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- MÜLLER, B. (1999): Variation und Hybridisierung von *Quercus pubescens*. Dissertation 138 S., ETH Zürich. <file:///D:/Downloads/eth-22996-02.pdf>
- MÜLLER, K. (1933): Landwirtschaft, Weinbau, Obstbau, Forstwirtschaft. – S. 465-517 in: LAIS R, LITZELMANN E, MÜLLER K, PFAFFENSTIEL M, SCHREPFER H, SIEBERT K, SLEUMER H, STROHM K (Hrsg): Der Kaiserstuhl. Eine Naturgeschichte des Vulkangebirges am Oberrhein. Badischer Landesverein f. Naturkunde u. Naturschutz, Freiburg. 517 S.
- MÜLLER TH. (1962): Die Saumgesellschaften der Klasse Trifolio-Geranietea sanguinei. – *Mitt. Flor.-Soz. Arb.-Gem. N.F.* 9: 25-140.
- OBERDORFER, E. (1992): Süddeutsche Pflanzengesellschaften – Wälder und Gebüsche (Teil IV: A. Text, B. Tabellen). Gustav Fischer Verlag, Jena: 282 S. OKSANEN, J., BLANCHET, F.G., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN P.R., O'HARA, R.B., SIMPSON, G. L., SOLYMOS P., STEVENS, M.H.H., SZOEC, E., WAGNER, H. (2017): vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-4
- PASTA S., DE RIGO, D. & CAUDILLO, G. (2016): *Quercus pubescens* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. - S. 156-157 in: SAN MIGUEL AYANZ, J., DE RIGO, D., CAUDILLO, G., HOUSTON DURRANT, T., MAURI, A. (Eds.) (2016): European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01aa69+

- REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (HRSG.) (2004): Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern: 679 S.
- REIF, A. & GÄRTNER, S. (2007): Die natürliche Verjüngung der laubabwerfenden Eichenarten Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.) -eine Literaturstudie mit besonderer Berücksichtigung der Waldweide. Waldökologie online (5), 79–116.
- RENNWALD, E. (2000): Verzeichnis und Rote Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Bundesamt für Naturschutz. Bonn. BfN-Skripten 348:
- ROBERTS, D.W. (2016): labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 1.8-0
- SALVINI, D., BRUSCHI, P., FINESCHI, S., GROSSONI, P., KJÆR, E. D. & VENDRAMIN, G. G. (2009): Natural hybridisation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. within an Italian stand revealed by microsatellite fingerprinting. - Plant Biology 11(2009) 758–765. doi:10.1111/j.1438-8677.2008.00158.x
- SAYER, U. (2000): Die Ökologie der Flaumeiche (*Quercus pubescens* Willd.) und ihrer Hybriden auf Kalkstandorten an ihrer nördlichen Arealgrenze – Untersuchungen zu Boden, Klima und Vegetation. Dissertationes Botanicae 340. Berlin, Stuttgart.
- SCHWARZ, O. (1937): Monographie der Eichen Europas und des Mittelmeergebietes. (Textband). Repertorium specierum nov. Regni vegetabilis, Sonderbeilage D, 200 S.. Berlin-Dahlem.
- SEBALD O., SEYBOLD, S. & PHILLIP, G. (1990): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 1: Allgemeiner Teil. Spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta). Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 613 S.
- SCHUNICHT, K.-H. (1980): Pflanzensoziologische Untersuchungen an den Wäldern des Kaiserstuhls. Staatsexamensarbeit, Fakultät f. Biologie, Albert-Ludwigs-Universität.
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H. J. & STIMM, B. (1992): Lexikon der Baum- und Straucharten - Das Standardwerk der Forstbotanik. Wileyvch Verlag, Weinheim: 581 S.
- SLEUMER, H. (1933): Die Pflanzenwelt des Kaiserstuhls. – S. 158-268 in: LAIS, R., LITZELMANN, E., MÜLLER, K., PFAFFENSTIEL, M., SCHREPFER, H., SIEBERT, K., SLEUMER, H. & STROHM, K. (Hrsg): Der Kaiserstuhl. Eine Naturgeschichte des Vulkangebirges am Oberrhein. Badischer Landesverein f. Naturkunde u. Naturschutz, Freiburg. 517 S.
- SUCK, R., BUSHART, M., HOFMANN, G. & SCHRÖDER, L. (2014): Karte der Potentiellen Natürlichen Vegetation Deutschlands - Band I Grundeinheiten. Bundesamt für Naturschutz. Bonn. Schriftenreihe für Vegetationskunde 35: 800 S.
- TREIBER, R. (2013): Auswirkung der mittelwaldartigen Nutzung der Flaumeichenwälder des NSG Büchsenberg (Stadt Vogtsburg, Oberrotweil). Unveröffentl. Gutachten.
- TREMP, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 141 S.
- TRUÉ, K. (2017): Flora und Vegetation der Flaumeichen-Mischwälder (Quercetum pubescenti-petraeae) im Kaiserstuhl. Masterarbeit, 50 S., Fak. f. Umwelt u. Nat. Ress., Univ. Freiburg.
- UNGERSON, J. & SCHERDIN, G. (1968): Jahresgang von Photosynthese und Atmung unter natürlichen Bedingungen bei *Pinus silvestris* L. an ihrer Nordgrenze in der Subarktis. – Flora 157: 391-434.
- UMWELTBUNDESAMT (2021): Stickstoff – Element mit Wirkung. Ein integrierter Zielwert setzt einen neuen Rahmen. Hintergrund Mai 2021: 30 S. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_stickstoff-element_mit_wirkung_bf.pdf
- VAN DER MAAREL, E. (1979): Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. Plant ecology, 39(2):97-114.
- VON ROCHOW, M. (1951): Die Pflanzengesellschaften des Kaiserstuhls. Gustav Fischer Verlag, Jena: 140 S.
- WARD JR., J. H. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58: 236-244.

- WICKHAM, H. & HENRY, L. (2017): tidy: Easily Tidy Data with 'spread ()' and 'gather ()' Functions. R package version 0.7.2
- WICKHAM, H., HENRY, L., & MÜLLER, K. (2017): dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version: 0.7.4
- WILMANN, O. (1977): Vegetation. - S. 80-215 in: Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg): Der Kaiserstuhl. Gesteine und Pflanzenwelt.
- WILMANN, O., BOGENRIEDER, A. & MÜLLER, W.H. (1986): Der Nachweis spontaner, teils autogener, teils immissionsbedingter Änderungen von Eichen-Hainbuchen-Wäldern. Eine Fallstudie im Kaiserstuhl/Baden. – Natur und Landschaft 61:415-422.
- WILMANN, O., WIMMENAUER, W., FUCHS, G., RASBACH, H. & RASBACH, K. (1989): Der Kaiserstuhl – Gesteine und Pflanzenwelt. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 244 S.
- WILMANN, O. & BOGENRIEDER, A. (1995): Die Entwicklung von Flaumeichenwäldern im Kaiserstuhl im Laufe des letzten halben Jahrhunderts. Forstarchiv, 66(4): 167-174.
- WILMANN, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. Eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas. Quelle und Meyer Verlag, Wiesbaden: 405 S.
- WILMANN, O. (2009): Die Lebensräume und ihre Vegetation. – S. 131-240 in: GROSCOPF, R., HOFFRICHTER, O., KOBEL-LAMPARSKI, A., MEINEKE, J.-U., SEITZ, B.-J., STAUB, F., VILLINGER, E., WILMANN, O. & WIMMENAUER, W. (Hrsg.): Der Kaiserstuhl – Einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern.
- WIMMENAUER, W. (1977): Gesteine und Minerale. - S. 37-79 in: Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg): Der Kaiserstuhl. Gesteine und Pflanzenwelt.
- WIMMENAUER, W. (2009): Magmatische Gesteine und ihre Minerale. - S. 96-130 in: GROSCOPF, R. et al. (2009): Der Kaiserstuhl – Einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein. Jan Thorbecke Verlag, Ostfildern.
- WÖRZ, A. & THIV, M. (2015): The temporal dynamics of a regional flora – The effects of global and local impacts. - Flora 217: 99-108.

Internetquellen:

- BREUNIG, T., & DEMUTH S. (1999): Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Baden-Württemberg. Webseite: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/29039/> Zugriff 12.10.2017
- LUBW (2017): Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg; Daten und Kartendienst. <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41531/>, Zugriff 23.04.2017

24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55

. A 4
 A A
 r A . r +

. 2m + 2a 5 5 . 5 . . . + 3 5 4 2m 2a . . . +

. A r 1 . . . + r . + .
 + r r
 M M

. M A 4 A r + + . A
 1 r 1 B B . 1 A 1 A 1 r A
 + r . + A 1 A + 1 1 + r + r A B 1 . + r

r A + 1 . + .

. 1 1
 . 1 . A . 3 B A A 1 A r A 1 1 A B 4 r r + r . 1 A
 r . 1 r 1 + + . . + M A A . 1 r + . A + . . .
 A A A . B B A . 3 . A .
 + 1 A A . A + + A . B . 1 A A A
 M . 1 1 1 1 . M A r + M + r . 1 A + + . . . r + M +

. 4 . . . 1 A A A
 . B A 1 . 1 A +
 . 1 r r + . r 1

5 A A B 4 4 4 4 3 4 5 B 4 4 4 3 4 4 5 4 B A 5 4 4 5 3 B . 5 4 5
 . 1 . A r . A B B 1 . r . A . 1 A A . A A A 1 +
 + + 1 1 r + + . 1 M 1 1 1 1 + + . + . . . + 1 1
 A A . B A . A
 1 . . . 1 A 1 B 1 1 A 1 1 B
 M r r . . . r r + . 1 1 + . r r + + .
 A 1 . . . A A . B A . A 4 . 3 B A B + . . . 3 1 1 A
 B 1 A 1 3 A . 3 3 . A 4 . 4 A 3 A 1 1 . . A 4 A B
 + A A 1 . . . + + r + . 1 + 1 1 1 + . 1 A r + r r r . 1 + .
 3 B M .
 . A . . . 1 r + . . . 1 . . . r . . .
 + 3 . . . + r + + . r + r 1 + . . . r . 1 1
 3 A . A 1 + .
 1 A B B A 1 . 4 1 .
 A 1 . 1 r . r 1 r . M + + r

 r +
 r + . r 1 . . . r . r . . . + + r r
 1 . r A 3 A
 3 . A . r r . . . B B 3
 . + . r + + A . r 1 r . . . 1 1
 A A
 4 1
 r + r

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.](#)

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: [NF_25](#)

Autor(en)/Author(s): Reif Albert, True Katharina

Artikel/Article: [Flora und Vegetation der Flaumeichen-Mischwälder \(Quercetum pubescenti-petraeae\) im Kaiserstuhl, SW-Deutschland 113-147](#)