

Projektbericht

**Nachhaltige Waldwirtschaft zur Förderung von Lichtwaldarten
unter besonderer Berücksichtigung des Blauschwarzen Eisvogels *Limenitis reducta***

Aktenzeichen 34311/01



Projektbeginn

1. April 2019

Projektende

31. August 2022

Bearbeitung

Heiko Hinneberg (M.Sc. Geoökologie)

Amanda Frommherz (B.Sc. Forstwirtschaft)

Lukas Schätzle (B.Sc. Forstwirtschaft)

Prof. Dr. Artur Petkau

(Professur für Forstökonomie und Forstbetriebsmanagement)

Prof. Dr. Thomas Gottschalk

(Professur für Naturraum- und Regionalentwicklung)



Hochschule für Forstwirtschaft
Rottenburg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Rottenburg am Neckar, 30. November 2022

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Einführung.....	8
1.1 Anlass und Zielsetzung.....	8
1.2 Untersuchungsgebiet und Projektpartner	9
1.3 Zielarten.....	9
1.3.1 Blauschwarzer Eisvogel	10
1.3.2 Bergkronwicken-Widderchen.....	11
2. Grundlagenforschung.....	12
2.1 Arbeitsschritte und Methoden	12
2.1.1 Erhebung von Artendaten	12
2.1.2 Blauschwarzer Eisvogel: Populationsgrößen und Mobilität	12
2.1.3 Blauschwarzer Eisvogel: Eiablagepräferenzen	13
2.1.4 Blauschwarzer Eisvogel: Raupenaktivität, Entwicklungsgeschwindigkeit und Mortalitätsursachen ..	13
2.1.5 Blauschwarzer Eisvogel: Überlebensraten	14
2.1.6 Bergkronwicken-Widderchen: Eiablagepräferenzen.....	15
2.2 Ergebnisse und Diskussion.....	15
2.2.1 Artendaten	15
2.2.2 Blauschwarzer Eisvogel: Populationsgrößen und Mobilität	16
2.2.3 Blauschwarzer Eisvogel: Eiablagepräferenzen	19
2.2.4 Blauschwarzer Eisvogel: Raupenaktivität, Entwicklungsgeschwindigkeit und Mortalitätsursachen ..	21
2.2.5 Blauschwarzer Eisvogel: Überlebensraten	24
2.2.6 Bergkronwicken-Widderchen: Eiablagepräferenzen.....	26
3. Habitat-Managementmaßnahmen	29
3.1 Maßnahmenplanung und -konzeption	29
3.2 Durchführung der Habitat-Managementmaßnahmen	29
3.3 Habitat-Management für den Blauschwarzen Eisvogel: Bewertungsmethodik	29
3.3.1 Methodik zur Evaluation der Wirksamkeit von Habitat-Managementmaßnahmen.....	29
3.3.2 Methodik zur ökonomischen Bilanzierung von Habitat-Managementmaßnahmen.....	30
3.4 Habitat-Management für den Blauschwarzen Eisvogel: Ergebnisse und Diskussion	36
3.4.1 Wirksamkeit der Habitat-Managementmaßnahmen	36
3.4.2 Ökonomische Bewertung der Habitat-Managementmaßnahmen.....	38
4. Öffentlichkeitsarbeit, Publikationen und Vorträge.....	43
5. Integrierte Diskussion der Projektergebnisse und Fazit	46
6. Dank	47
7. Literaturangaben.....	48

Abbildungen

Abbildung 1: Blauschwarzer Eisvogel. Weiblicher Falter und typischer Entwicklungszyklus auf der Schwäbischen Alb.	10
Abbildung 2: Bergkronwicken-Widderchen. Falter, Raupe und Eispiegel an Bergkronwicke.	11
Abbildung 3: Erhebung von Raupenaktivität und Klimadaten.	14
Abbildung 4: Jahrweise Schwankungen der Tages- und Gesamtpopulationsgrößen des Blauschwarzen Eisvogels in den Untersuchungsgebieten Merklingen (oben) und Tiefental/Ingstetten (unten).	17
Abbildung 5: Ausbreitungsverhalten des Blauschwarzen Eisvogels.	18
Abbildung 6: Eiablagepräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. Rote Heckenkirschen in wenig vitalem Zustand werden bei der Eiablage klar bevorzugt.	20
Abbildung 7: Eiablagepräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. Nicht oder nur geringfügig überschirmte Rote Heckenkirschen werden bei der Eiablage bevorzugt.	20
Abbildung 8: Eiablagepräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. In südliche Richtung ausgerichtete Blätter des äußersten Blattkranzes werden bei der Eiablage bevorzugt.	21
Abbildung 9: Fraßaktivität von Raupen des Blauschwarzen Eisvogels nach der Überwinterung in Abhängigkeit vom Kalendertag, der Temperatur am Fraßplatz und der Feuchtigkeit der Blattoberfläche.	21
Abbildung 10: Gleitender Durchschnitt der Tagesmitteltemperatur (durchgezogene Linie) sowie der Tageshöchst- und Tagestiefsttemperatur (gestrichelte Linien) im Untersuchungsgebiet bei Merklingen während der für die Raupenentwicklung entscheidenden Monate.	22
Abbildung 11: Parasitoiden des Blauschwarzen Eisvogels.	23
Abbildung 12: Überlebensraten verschiedener Präimaginalstadien des Blauschwarzen Eisvogels.	24
Abbildung 13: Bedeutung der Sonneneinstrahlung und der Höhe des Aufenthaltsortes auf die Überlebenswahrscheinlichkeit verschiedener Präimaginalstadien des Blauschwarzen Eisvogels.	25
Abbildung 14: Überlebensrate von Raupen des Blauschwarzen Eisvogels während der Überwinterung im Hibernaculum und danach in Abhängigkeit von der Abundanz auf einer Habitatfläche.	26
Abbildung 15: Wahl der Eiablagepflanze durch das Bergkronwicken-Widderchen.	27
Abbildung 16: Die frisch ausgetriebene Bergkronwicke ist durch die Raupen des Bergkronwicken-Widderchens bereits nahezu kahlgefressen; Hartenbuch bei Schelklingen, 11.06.2021.	28
Abbildung 17: Bergkronwicken mit und ohne Eispiegel bzw. Raupenfraßspuren des Bergkronwicken-Widderchens auf zwei mehrjährig kartierten Habitatflächen im Hartenbuch bei Schelklingen.	28
Abbildung 18: Exemplarisch im Rahmen des Projekts durchgeführte Habitat-Managementmaßnahmen.	36
Abbildung 19: Effekt der unterschiedlichen Typen von Habitatmanagement-Maßnahmen auf die Siedlungsdichte der Hibernacula des Blauschwarzen Eisvogels.	37
Abbildung 20: Finanzieller Nachteil von Kahlhiebsmaßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten im Vergleich zur konventionellen Fichtenbewirtschaftung in Abhängigkeit von der Zeitdauer bis zum Eintreten der Hiebsreife.	39
Abbildung 21: Finanzieller Nachteil von Kahlhiebsmaßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten im Vergleich zur konventionellen Fichtenbewirtschaftung in Abhängigkeit vom Alter des Bestandes.	39
Abbildung 22: Modellberechnungen zur optimalen Produktionszeit (Rotationszeit) von Fichtenbeständen im rotierenden Kahlhiebsystem zur Förderung von Lichtwaldarten.	40
Abbildung 23: Projektworkshop unter Pandemie-Bedingungen in der Stadthalle Blaubeuren und auf einer Kahlhiebsfläche bei Schelklingen-Ingstetten.	43
Abbildung 24: Zeitungsartikel aus der Südwest Presse, die über das Forschungs- und Schutzprojekt zum Blauschwarzen Eisvogel informieren.	45
Abbildung 25: Informationstafeln über Lichtwaldarten.	45

Tabellen

Tabelle 1: Zielarten des Projekts mit Gefährdungsstatus und Lebensraumansprüchen.	9
Tabelle 2: Im Rahmen des Projekts erfasste Vorkommen der Zielarten und Einschätzung zu deren Bestand im Alb-Donau-Kreis.	15
Tabelle 3: Anzahl Fangereignisse sowie Anzahl markierter und wiedergefangener Blauschwarzer Eisvögel in den untersuchten Gebieten.	17
Tabelle 4: Durchschnittliche Stammholzerlöse für Fichte im Alb-Donau-Kreis in den vergangenen zehn Jahren.	31
Tabelle 5: Übersicht der Maschinen- und Personalkostensätze zur Berechnung der Holzerntesystemkosten. ...	32
Tabelle 6: Kalkulationsgrundlage für den Fichtenanbau.	33
Tabelle 7: Standardmäßiges Behandlungsmodell eines Fichtenbestandes auf einem durchschnittlichen Standort der Ertragsklasse dgZ 14 Vfm/ha.	34
Tabelle 8: Tabellarische Übersicht über die entstandenen Kosten bei Pflegemaßnahmen zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels an Sonderstandorten, Wald- und Wegerändern.	41
Tabelle 9: Kostenfaktoren und Parameterwerte in der Beispielrechnung zur Generierung von Ökopunkten über ein rotierendes Kahlhiebsystem zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels.	42

Zusammenfassung

Auf lichte Strukturen angewiesene Tier- und Pflanzenarten sind in den bewirtschafteten Wäldern Deutschlands und Mitteleuropas gefährdet, da geeignete Habitate weiträumig fehlen. Ziel des Projekts „Nachhaltige Waldwirtschaft zur Förderung von Lichtwaldarten unter besonderer Berücksichtigung des Blauschwarzen Eisvogels *Limenitis reducta*“ war es, ein Managementkonzept zur Förderung von Lichtwaldarten in bewirtschafteten Wäldern zu erarbeiten. Als Modellarten wurden der Blauschwarze Eisvogel und das Bergkronwicken-Widderchen *Zygaena fausta* gewählt. Der Blauschwarze Eisvogel ist deutschlandweit vom Aussterben bedroht und kann nur noch an wenigen Standorten auf der Schwäbischen Alb in größerer Zahl angetroffen werden. Das Bergkronwicken-Widderchen wird in der Roten Liste in Kategorie 3, „gefährdet“, geführt und hat bundesweit sowie in Baden-Württemberg ebenfalls deutliche Bestandsrückgänge zu verzeichnen.

Zur Erarbeitung eines effektiven Managementkonzepts sind umfassende Kenntnisse zur Lebensweise und zu den Habitatanforderungen von Lichtwaldarten nötig. Konkret verfolgten wir im Rahmen des Projekts die folgenden Ziele: 1.) Vertiefung der Kenntnisse zur Populationsökologie des Blauschwarzen Eisvogels; 2.) Erforschung der Eiablagepräferenzen des Bergkronwicken-Widderchens; 3.) Exemplarische Umsetzung von Management-Maßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten inklusive Maßnahmenevaluation und forstökonomischer Maßnahmenbewertung.

Die Projektergebnisse zeigen, dass die verbliebenen Populationen des Blauschwarzen Eisvogels auf der Schwäbischen Alb mit derzeit rund 100 Faltern klein und in hohem Maße aussterbegefährdet sind. Mit einem durchschnittlichen Aktionsradius von rund 500 m zeigt die Mehrzahl der Falter eine hohe Standorttreue. Jedoch erscheinen Dispersionsflüge einzelner Weibchen von mehreren Kilometern Strecke möglich. Neu geschaffene Eiablagehabitate in einer Entfernung von unter 1 km zu bestehenden Vorkommen wurden in der Regel bereits im ersten Jahr nach der Maßnahmenumsetzung besiedelt.

Als ein entscheidendes Kriterium bei der Wahl der Eiablagepflanze wurde der Zustand der Wirtspflanze identifiziert. Mäßig bis wenig vitale Rote Heckenkirschen *Lonicera xylosteum* wurden gegenüber vitalen, üppig belaubten Heckenkirschen bevorzugt. Frische Stockausschläge wurden nahezu vollständig gemieden. Die Eier wurden stets auf der Blattoberseite und bevorzugt an Blättern des äußersten Blattkranzes in Südost- bis Südwestexposition abgelegt. Für die Fraßaktivität und somit die Entwicklungsgeschwindigkeit der Eisvogelraupen war die Lufttemperatur entscheidend. Nur bei Temperaturen > 10° C am Fraßplatz nahmen die Raupen Nahrung auf. Die Fraßaktivität stieg mit zunehmender Temperatur bis circa 30° C merklich an.

Die Überlebensrate der Eisvogelraupen schwankte stark zwischen verschiedenen Habitatflächen und Jahren. Als Umweltfaktoren mit hohem Einfluss auf die Überlebensrate der Eisvogelraupen konnten die Sonneneinstrahlung sowie die Höhe der Eiablage-/Raupenfraßstelle über dem Erdboden identifiziert werden. An Sträuchern mit starker Sonneneinstrahlung in den Frühjahrsmonaten hatten die Eisvogelraupen höhere Überlebenschancen. Ebenso waren die Überlebenschancen für Eier und Raupen in höheren Positionen am Strauch besser. Im Mittel lag die Überlebensrate der Präimaginalstadien vom

Ei bis zum Schlupf der Falter bei rund 3%. Die mittlere Lebens- bzw. Verweildauer der Falter betrug rund sechs Tage für Männchen bzw. gut zwei Tage für Weibchen. Als Mortalitätsursachen von Eisvogelraupen konnten Parasitoide, Prädation durch Ameisen und Spinnen sowie Unwetter eindeutig identifiziert werden. Auch bei Kultursicherungsarbeiten können Eisvogelraupen ums Leben kommen. Während der Überwinterung im Hibernaculum sterben zudem Raupen ohne klar ersichtlichen Grund ab.

Hinsichtlich Siedlungsdichte und Überlebensrate der Raupen konnten wir keine klaren Unterschiede zwischen verschiedenen Habitattypen feststellen. Zum Artmanagement empfehlen wir daher ein dezentrales Netzwerk aus mehreren mindestens 0,5 ha großen Habitatflächen mit Vorkommen vollbesonnener Roter Heckenkirschen. Die Habitatflächen können durch Kleinkahlhiebe geschaffen, entlang von Wald- und Wegrändern entwickelt, oder durch regelmäßige Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten (z.B. lichten Hangwäldern und Blockhalden) langfristig offengehalten werden. Die Distanz zwischen etablierten und neu angelegten Habitatflächen sollte maximal 1,5 km betragen, damit eine rasche Besiedlung neuer Habitatflächen gegeben ist.

Das Bergkronwicken-Widderchen erreicht im Gegensatz zum Blauschwarzen Eisvogel lokal höhere Dichten und kann deshalb bereits auf relativ kleinflächigen Lichtungen größere Bestände aufbauen. Unsere Daten zeigen, dass in Jahren mit hoher Populationsdichte ein breites Spektrum an Bergkronwicken zur Eiablage genutzt wird. Eine gewisse Bevorzugung zeigte sich für größere, blattreiche Pflanzen umgeben von Rohboden oder Gestein. Die Zahl der abgelegten Eier je Eisvogel war weitgehend unabhängig von den erfassten Eigenschaften der Eiablagepflanzen. Auffällig waren die deutlichen Unterschiede im Anteil belegter Bergkronwicken zwischen einzelnen Habitatflächen. Als Instrument zur Förderung des Bergkronwicken-Widderchens kann die Schaffung und Offenhaltung kleinerer Lichtlöcher an geeigneten Stellen innerhalb des Waldes empfohlen werden. Entscheidend für eine stabile Population des Widderchens scheint ein reiches Angebot der Nahrungspflanze zu sein, welche sich nur an ausreichend besonnten Standorten erfolgreich vermehren kann. Auf der Schwäbischen Alb sind dies meist Störstellen (Rutschungen) und Steppenheidewälder in Südwest- bis Westexposition.

Die forstökonomische Betrachtung fiktiver, vorgeschlagener und umgesetzter Habitatmanagement-Maßnahmen hat gezeigt, dass Maßnahmen zum Schutz von Lichtwaldarten nicht teuer sein müssen, sondern je nach zugrundeliegendem Förderkonzept, dem Alter und der Lage der Bestände sogar gewinnbringend sein können. Insbesondere für Kommunen und private Waldbesitzende mit größerem Waldbesitz könnte die Vergütung von Fördermaßnahmen durch Ökopunkte wirtschaftlich attraktiv sein. Für den Blauschwarzen Eisvogel ist auch eine Schaffung neuer Habitate auf rotierenden Flächen förderfähig und aus Perspektive des Artenschutzes sinnvoll, solange eine Anbindung der neu entstehenden Flächen an bestehende Habitatflächen gegeben ist.

Basierend auf den Ergebnissen unseres Projekts wurde für das von ForstBW, Bezirk „Ulmer Alb“ betreute Staatswald-Distrikt „Behwinde“ bei Schelklingen-Ingstetten ein rotierendes Kahlhiebsystem konzipiert und in die Forsteinrichtung integriert. Das Konzept sieht vor, dass jährlich mindestens 1,5 ha Habitatfläche für den Blauschwarzen Eisvogel durch Holzernte neu

geschaffen werden. Auf denselben Flächen wird in den Jahren nach dem Hieb ein Saumstreifen zur Förderung des stark gefährdeten Platterbsen-Widderchens *Zygaena osterodensis* entwickelt.

Die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für deutschlandweit übertragbare Strategien zum Habitatmanagement für Lichtwaldarten. Durch Fachvorträge, Informationstafeln, Zeitungsartikel, Publikationen und zwei Projekt-Workshops wurden verschiedene Akteure des Waldnaturschutzes sowie die breite Öffentlichkeit über die Ergebnisse des Projekts informiert und auf die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Lichtwaldarten aufmerksam gemacht. Wir konnten während der Projektlaufzeit im Alb-Donau-Kreis und darüber hinaus ein gestiegenes Bewusstsein für den Schutz von Lichtwaldarten sowie eine wachsende Bereitschaft zur Umsetzung von Managementmaßnahmen erkennen. Dieser Trend muss sich auch in Zukunft weiter fortsetzen und intensivieren, um nachhaltige Schutzerfolge erzielen zu können.

1. Einführung

1.1 Anlass und Zielsetzung

Lichte Waldbiotope bieten zahlreichen Tier- und Pflanzenarten Lebensraum, sind in Mitteleuropa derzeit aber selten (Jotz et al. 2017). Viele der auf diese Lebensräume spezialisierten Tier- und Pflanzenarten sind in Deutschland stark gefährdet.

Das Ökosystem Wald war in den vergangenen Jahrhunderten tiefgreifenden anthropogenen Eingriffen ausgesetzt, die die Entstehung lichter Waldlebensräume zwar zum Teil begünstigt, in den letzten rund 40 Jahren aber unterbunden haben. Durch die Zurückdrängung und Ausrottung von Großherbivoren und die Einschränkung der natürlichen Fließgewässerdynamik wurde die natürliche lichtschaaffende Dynamik im Wald reduziert (Vera 2000). Der Verlust natürlicher dynamischer Prozesse wurde durch anthropogene Nutzung lange Zeit ersetzt, phasenweise vielleicht sogar überkompensiert. Waldweide, Nieder- und Mittelwaldnutzung sowie Holzernte im Kahlhiebsverfahren haben dazu geführt, dass bis Mitte des 20. Jahrhunderts ein reiches Angebot lichter Waldlebensräume verfügbar war. Seither hat sich die Waldbewirtschaftung jedoch drastisch geändert und anthropogen verursachte Offenflächen im Wald haben deutlich abgenommen (Decocq et al. 2005, Schmalfuß & Aldinger 2012). So sind historische Waldnutzungen wie Nieder- und Mittelwaldwirtschaft nicht mehr rentabel und werden allerhöchstens noch lokal betrieben, Waldweide ist gesetzlich reglementiert und kann nur unter strengen Auflagen als Artenschutzinstrument eingesetzt werden (Bolz 1999, Treiber 2003, Schmalfuß & Aldinger 2012). Staats- und Körperschaftswälder werden nach den Maßgaben der „naturnahen Waldwirtschaft“ bewirtschaftet, welche einen weitgehenden Verzicht auf Kahlhiebe einschließen (Hermann 2021). Zusätzlich zu den Nutzungsänderungen führen gestiegene atmosphärische Stickstoffeinträge zu einem dichteren Kronenschluss und einer beschleunigten Sukzession auf von Natur aus mageren Waldstandorten (Rodenkirchen 1998, WallisDeVries & Bobbink 2017). Folglich sind lichte Lebensräume in den Wäldern Mitteleuropas heutzutage unterrepräsentiert und viele „Lichtwaldarten“ vom Aussterben bedroht.

Damit die derzeit praktizierte Forstwirtschaft auch im Hinblick auf den Erhalt der Lichtwaldarten als „nachhaltig“ gelten kann, werden somit dringend Management-Konzepte benötigt, welche die Lebensraumanforderungen von Lichtwaldarten berücksichtigen. Übergeordnetes Ziel des durchgeführten Projekts war deshalb die Erhebung von Daten zur Entwicklung eines nach naturschutzfachlichen und forstökonomischen Kriterien optimierten Management-Konzepts für Lichtwaldarten. Das Projekt vereinte ökologische Grundlagenforschung und Artkartierung mit der Konzeption und Umsetzung exemplarischer Habitat-Managementmaßnahmen. Die durchgeführten Maßnahmen wurden anhand naturschutzfachlicher und ökonomischer Kriterien evaluiert. Besonderen Wert legten wir bei der Maßnahmenkonzeption darauf, dass die Managementmaßnahmen auf andere Naturräume innerhalb Deutschlands übertragen werden können. Bei der ökonomischen Bewertung der Maßnahmen war es uns wichtig, die Anforderungen verschiedener Waldbesitzarten zu berücksichtigen. Öffentlichkeitsarbeit in Form von Workshops, Informationstafeln, Zeitungsartikeln und wissenschaftlichen Veröffentlichungen sollte zur Akzeptanzförderung und zur Verbreitung der Projektergebnisse beitragen.

1.2 Untersuchungsgebiet und Projektpartner

Im Alb-Donau-Kreis (Baden-Württemberg) befindet sich eines der Hauptvorkommen des in Deutschland vom Aussterben bedrohten Blauschwarzen Eisvogels (*Limenitis reducta*). Zudem kommt das Bergkronwicken-Widderchen (*Zygaena fausta*) an drei Standorten im Landkreis vor. Bereits vor Projektstart lagen aktuelle Beobachtungen weiterer auf lichte Waldbiotope spezialisierter Tagfalterarten vor, z.B. für den Silberfleck-Perlmutterfalter (*Boloria euphrosyne*), den Schlüsselblumen-Würfelfalter (*Hamearis lucina*) und den Graubindigen Mohrenfalter (*Erebia aethiops*). Insbesondere in den höchsten Lagen des Alb-Donau-Kreises (bis 850 m ü. NN.) hatte Orkan Lothar im Jahr 1999 großflächige Sturmwürfe verursacht. Die ehemaligen Windwürfe entwickelten sich zu letzten Rückzugsorten für lichtliebende Waldschmetterlinge, haben ihre Habitateignung rund 20 Jahre nach ihrer Entstehung aber weitestgehend verloren. Ohne Schutzmaßnahmen, wie sie in den Kommunalwäldern bei Schelklingen und Merklingen und im Staatswald bei Schelklingen-Ingstetten erstmalig 2015 bzw. 2017 durchgeführt wurden, könnten die Arten unter der derzeit praktizierten Waldbewirtschaftung nicht längerfristig überleben.

Bearbeitungsschwerpunkte im Rahmen des durchgeführten Projekts lagen in den Waldgebieten um Merklingen, Machtolsheim, Blaustein-Bermaringen, Blaubeuren (Teillorte Weiler und Seißen), Heroldstatt, Schelklingen, Schelklingen-Ingstetten und Allmendingen. Dort wurden im Projektzeitraum durch den Staatswaldbetrieb ForstBW, die Kommunen Blaustein, Blaubeuren und Schelklingen sowie die Privatwaldbesitzer Christoph und Hubertus von Freyberg sowie Ernst von Freyberg exemplarische Managementmaßnahmen zum Schutz von Lichtwaldarten umgesetzt. Eine weitere im Rahmen des Projekts konzipierte Maßnahme wird im Herbst/Winter 2022 im Kommunalwald bei Merklingen durchgeführt.

1.3 Zielarten

Die Zielarten des Projekts umfassen Lichtwaldarten (Tagfalter + Widderchen) mit aktuellen oder ehemaligen Vorkommen im Alb-Donau-Kreis (Tabelle 1). Besonderen Fokus legten wir im Rahmen des Projekts auf den Blauschwarzen Eisvogel (*Limenitis reducta*) und das Bergkronwicken-Widderchen (*Zygaena fausta*).

Tabelle 1: Zielarten des Projekts mit Gefährdungsstatus und Lebensraumsansprüchen.

Deutscher Name	Wiss. Name	RL D	RL BW	Lebensraumbedingungen
Schlüsselblumen-Würfelfalter	<i>Hamearis lucina</i>	3	3	Lichte Laubwaldgesellschaften, Waldwiesen und Lichtungen, breite Forstwege.
Braunfleckiger Perlmutterfalter	<i>Boloria selene</i>	V	3	Im Inneren von Wäldern gerne auf grasigen Schlagfluren und entlang breiter Forstwege, Moorränder.
Silberfleck-Perlmutterfalter	<i>Boloria euphrosyne</i>	2	3	Lichtungen und Waldränder gut besonnener, kalkreicher und damit veilchenreicher Waldtypen, Waldweiden.
Blauschwarzer Eisvogel	<i>Limenitis reducta</i>	1	2	Waldlichtungen, besonders Kahlschläge und Sturmwürfe mit Vorkommen der Roten Heckenkirsche.
Weißbindiger Mohrenfalter	<i>Erebia ligea</i>	V	V	Lichtungen und Saumbiotope, z.B. breite Forstwege in submontanen bis alpinen Wäldern.

Graubindiger Mohrenfalter	<i>Erebia aethiops</i>	3	3	Sonnige, grasige Saumbiotop in oder am Rand von Wäldern, lichte Wälder mit langgrasiger Bodenvegetation, sehr lichte Kiefernwälder.
Nördl. Platterbsen-Widderchen	<i>Zygaena osterodensis</i>	2	2	Lichte Waldbestände und saumreiche, gut strukturierte Waldränder, lichte Waldinseln, breite Waldwege und versaumte, walddnahe Halbtrockenrasen.
Bergkronwicken-Widderchen	<i>Zygaena fausta</i>	2	3	Offenstellen an südexponierten bewaldeten Hängen, Steppenheidewälder, Saumbereiche von Wäldern.
Elegans-Widderchen*	<i>Zygaena angelicae elegans</i>	2	2	Süd- oder südwestexponierte, sehr lückige Steppenheidewälder, häufig Abbruchkanten auf felsigem Untergrund.

* Die letzten gesicherten Nachweise des Elegans-Widderchens im Alb-Donau-Kreis liegen über 50 Jahre zurück.

1.3.1 Blauschwarzer Eisvogel

Der Blauschwarze Eisvogel (Abbildung 1) ist ein mittelgroßer Tagfalter aus der Familie der Edelfalter (Nymphalidae). Sein Verbreitungsschwerpunkt liegt im mediterranen Raum. In Deutschland ist die Art vom Aussterben bedroht und nur noch auf der Schwäbischen Alb anzutreffen (Reinhardt & Bolz 2011). Dort bewohnt der Blauschwarze Eisvogel vor allem offene bis halboffene Sturmwurfflächen, Kahlschläge und Waldränder. Die Art gilt in Mitteleuropa als sogenannte „low density species“, hat also in den meisten Gebieten eine geringe Siedlungsdichte (vgl. Hermann 2022, Hinneberg et al. 2022). In Normaljahren fliegt der Blauschwarze Eisvogel auf der Schwäbischen Alb von Mitte Juni bis Ende Juli.

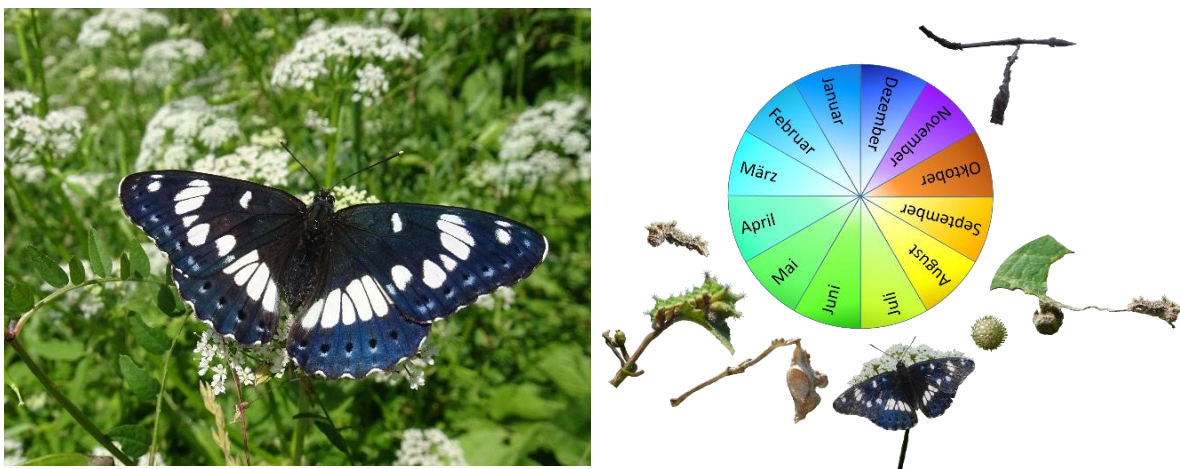


Abbildung 1: Blauschwarzer Eisvogel. Weiblicher Falter und typischer Entwicklungszyklus auf der Schwäbischen Alb.

Die Eiablage erfolgt einzeln an sonnig stehende Rote Heckenkirschen (*Lonicera xylosteum*), im Untersuchungsgebiet die einzige Fraßpflanze der Raupen. Die jungen Eisvogelraupen zeigen den für die Gattung typischen Fahnenfraß. Dabei werden die Blattspreiten abgefressen, die Blattmittelrippe bleibt jedoch stehen und wird durch eine Rippe aus Raupenkot verlängert. Zwischen Anfang August und Mitte September zieht sich die Raupe in ein Blattgehäuse, das sogenannte Hibernaculum, zurück, welches aus einem Blatt der Roten Heckenkirsche gefertigt wurde. Dieses wird mit einem Seidenfaden an einem Zweig der Fraßpflanze befestigt und dient der Raupe als Versteckplatz für die rund siebenmonatige Überwinterung. Erst Ende April des darauffolgenden Jahres verlässt die Raupe das Hibernaculum und beginnt wieder mit der

Nahrungsaufnahme an den Blättern der Roten Heckenkirsche (Hermann 2022). Mit der Häutung vom vierten ins fünfte Larvenstadium nimmt die Raupe bei einer Länge von knapp 3 cm eine leuchtend grüne Färbung an. Ganz am Ende ihrer Entwicklung verlässt die Raupe ihren angestammten Fraßplatz und spinnt sich zur Verpuppung an der Spitze eines Heckenkirschenzweiges fest. Aus der Stürzpuppe schlüpft nach zwei bis drei Wochen der prächtig schillernde Falter.

1.3.2 Bergkronwicken-Widderchen

Das Bergkronwicken-Widderchen (Abbildung 2) zählt zur Familie der Blutströpfchen (Zygaenidae) und ist ein tagaktiver Nachtfalter. Die Art mit atlanto-mediterranem Verbreitungsschwerpunkt besiedelt in Mitteleuropa nur eng begrenzte Lokalitäten in Waldrandlage bzw. mit einer halboffenen Waldstruktur („Steppenheidewälder“). Dort kann das Bergkronwicken-Widderchen lokal hohe Dichten erreichen. In Deutschland und Baden-Württemberg gilt das Bergkronwicken-Widderchen als gefährdet (Rote Liste-Kategorie 3) und hat deutliche Bestandsrückgänge zu verzeichnen (Ebert, 2005; Rennwald, Sobczyk & Hofmann, 2011). Die Unterart *Zygaena fausta suevica* ist endemisch für den süddeutschen Raum, sodass Baden-Württemberg eine besondere Schutzverantwortung zukommt. Die Raupen des Bergkronwicken-Widderchens sind zur Nahrungsaufnahme auf Bergkronwicke (*Coronilla coronata*) angewiesen. Die Eiablage erfolgt in Spiegeln aus meist 5-25 Eiern auf die Blätter der Raupennahrungspflanze. Die Widderchenraupen leben gesellig und verraten sich durch den typischen Fensterfraß. Vor Fressfeinden sind sie durch cyanogene Glykoside geschützt. Die Überwinterung der Raupen erfolgt in der oberen Bodenschicht. Im Folgejahr beginnen die Raupen im Mai wieder mit der Nahrungsaufnahme. Die Verpuppung erfolgt im Juni/Juli, die Flugzeit der Falter erstreckt sich je nach Witterungsverlauf von Anfang Juli bis Anfang August.



Abbildung 2: Bergkronwicken-Widderchen. Falter, Raupe und Eispiegel an Bergkronwicke.

2. Grundlagenforschung

Die Erhebung populationsökologischer Grundlagendaten war ein wichtiger Bestandteil des Projekts. Den Schwerpunkt der Forschungsarbeiten bildeten

- (1) die Erfassung von Lichtwaldarten und ihrer Biotope im Alb-Donau-Kreis.
- (2) Grundlagenforschung zur Populationsökologie des Blauschwarzen Eisvogels als Basis für gezielte Managementmaßnahmen.
- (3) Grundlagenforschung zu Eiablagepräferenzen des Bergkronwicken-Widderchens.

Auf Basis dieser Erkenntnisse konnten naturschutzfachliche Maßnahmen abgeleitet bzw. präzisiert werden.

2.1 Arbeitsschritte und Methoden

2.1.1 Erhebung von Artendaten

Funddaten der Zielarten wurden an über 250 Geländetagen erhoben. Zusätzlich wurde die Datenaufnahme durch den Tagfalterexperten Jörg Döring sowie durch studentische Hilfskräfte unterstützt. Beobachtungen von Bergkronwicken-Widderchen und Blauschwarzem Eisvogel wurden mittels GPS-Geräten punktgenau erfasst. Für beide Arten sind sowohl Präimaginal- als auch Imaginalstadien kartiert worden. Beobachtungen der übrigen Lichtwaldarten erfolgten im Falterstadium.

2.1.2 Blauschwarzer Eisvogel: Populationsgrößen und Mobilität

Zur Ermittlung von Populationsgrößen und Flugdistanzen des Blauschwarzen Eisvogels führten wir in drei Gebieten Fang-Wiederfang-Untersuchungen mit Individualmarkierung der Falter durch. Hierzu wurden definierte Transekte innerhalb der Untersuchungsgebiete zur Flugzeit des Blauschwarzen Eisvogels möglichst täglich begangen. Alle vorhandenen Individuen der Art wurden mit einem Schmetterlingsnetz gefangen und durch einen eindeutigen Zahlencode auf der Unterseite der Hinterflügel individuell markiert. Hierzu wurde ein wasserfester Filzstift (z.B. STABILO OHPen universal F) verwendet. Für jeden Fang sind Geschlecht, Zustand des Falters und Koordinaten des Fangortes dokumentiert worden. Die Analyse der Daten erfolgte mittels Fang-Wiederfang-Modellen für offene Populationen (POPAN) mit dem Paket RMark (Laake 2013) in R, Version 4.1.2 (R Core Team 2022).

Für mehrfach gefangene Falter konnten aus den Koordinaten der Fangorte Ausbreitungsdistanzen berechnet werden. Die Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungstrecken (largest net displacement) wurde entsprechend der räumlichen Anordnung der Untersuchungstransekte korrigiert. An die korrigierte Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungstrecken wurde eine lognormal-mixture-Verteilung angepasst, die es erlaubt, Wahrscheinlichkeitsaussagen für bestimmte Ausbreitungsdistanzen zu treffen (Hinneberg et al. in Vorbereitung). Von einer geplanten Besenderung einzelner Blauschwarzer Eisvögel zur Erhebung detaillierter Mobilitätsdaten wurde abgesehen, nachdem sich die Sender bereits beim größeren Weißen Waldportier (*Brintesia circe*) als zu schwer erwiesen.

2.1.3 Blauschwarzer Eisvogel: Eiablagepräferenzen

Rote Heckenkirschen auf Kahlhiebsflächen und entlang von Wald-/Wegrändern sind häufig besonnt und stellen somit potenzielle Eiablageplätze für den Blauschwarzen Eisvogel dar. Jedoch können in Habitaten mit mehreren Hundert Heckenkirschen meist nur an wenigen Sträuchern Eier oder Larvenstadien des Blauschwarzen Eisvogels gefunden werden. Dies könnte zufallsbedingt sein oder auf eine hohe Bedeutung individueller Pflanzeigenschaften zurückzuführen sein. Im Rahmen einer Masterarbeit (Hensel 2021) wurde 2020 ein systematischer Vergleich von je 100 Heckenkirschen mit und ohne Eiablage durch den Blauschwarzen Eisvogel durchgeführt. Die Heckenkirschen beider Vergleichsgruppen standen auf denselben Habitatflächen und unterschieden sich somit nur hinsichtlich ihrer individuellen Eigenschaften und kleinräumiger standörtlicher Gegebenheiten. Insgesamt wurden 14 strauch- bzw. standortspezifische Parameter erfasst, darunter das Mikroklima (Tagestemperaturamplitude, Luftfeuchtigkeit, Sonnenstunden) und Pflanzeigenschaften wie Größe, Phänologie, Vitalität oder Chlorophyllgehalt der Blätter. Für Heckenkirschen mit Eiablage wurden die Exposition und die Position der zur Eiablage gewählten Blätter am Strauch erfasst. Die Datenanalyse erfolgte durch Generalisierte Lineare Modelle (GLM) und mit deskriptiven statistischen Methoden in IBM SPSS Statistics 27 und R.

2.1.4 Blauschwarzer Eisvogel: Raupenaktivität, Entwicklungsgeschwindigkeit und Mortalitätsursachen

Wir untersuchten die Fraßaktivität der Eisvogelraupen in Abhängigkeit von Jahreszeit, Temperatur und Wetterverhältnissen mithilfe von Zeitrafferkameras (Brinno TLC200, Abbildung 3) und Klima-Datenloggern (USB-502, Measurement Computing GmbH). Sechzehn verschiedene Raupen des Blauschwarzen Eisvogels wurden im Zeitraum vom 23.04.2020 bis zur Verpuppung oder bis zu ihrem Tod bzw. Verschwinden durch Zeitrafferkameras gefilmt. Zwischen 6:00 Uhr und 21:00 Uhr erfolgte alle fünf Sekunden eine Fotoaufnahme. Aus den Einzelfotos wurden Zeitraffervideos erstellt. Alle 30 Minuten erfassten wir die Raupenaktivität (fraßaktiv / nicht fraßaktiv) während einer fünfminütigen Videosequenz. Zudem ermittelten wir die Feuchte des Fraßblattes sowie die Windverhältnisse (4 Kategorien von windstill bis stürmisch) aus den Videos. Ebenfalls in einem Intervall von 30 Minuten wurden durch die Klimadatenlogger Temperatur, Taupunkt und Luftfeuchtigkeit am Aufenthaltsort der Raupe aufgezeichnet. Weitere Klimadatenlogger waren in geringer Entfernung von den Kamerastandorten in Klimahütten platziert und konnten somit die Lufttemperatur ohne direkten Einfluss der Sonneneinstrahlung messen. Statistisch wurden die Zusammenhänge zwischen Fraßaktivität der Raupen und den erfassten Wetterparametern durch Generalisierte Lineare Gemischte Modelle (GLMM) untersucht. Die Datenanalyse führten wir unter Verwendung der Routine von Santon et al. mit dem Paket glmmTMB (Brooks et al. 2017) in R durch.

Beobachtungen zur Entwicklungsgeschwindigkeit der Eisvogelraupen nach der Überwinterung wurden in den Jahren 2020, 2021 und 2022 durchgeführt und wurden den Temperaturwerten gegenübergestellt, die mithilfe der strahlungsgeschützten Klimadatenlogger während der gesamten Projektlaufzeit in den Untersuchungsgebieten erhoben wurden.

Mortalitätsursachen des Blauschwarzen Eisvogels konnten wir sowohl durch den Einsatz von Zeitrafferkameras als auch durch direkte Beobachtungen ermitteln.



Abbildung 3: Erhebung von Raupenaktivität und Klimadaten. a) Eine Zeitrafferkamera filmt die Raupe des Blauschwarzen Eisvogels und hilft bei der Erforschung von Fraßverhalten und Mortalitätsursachen. Rechts im Bild ist ein Klimadatenlogger zu sehen, der Temperatur, Taupunkt und Luftfeuchte direkt am Fraßplatz der Raupe aufzeichnet. b) Durch Klimahütten wurde in jedem Untersuchungsgebiet ein Klimadatenlogger vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt.

2.1.5 Blauschwarzer Eisvogel: Überlebensraten

Die hohe Ortstreue der Präimaginalstadien des Blauschwarzen Eisvogels ermöglichte es, durch wiederholtes Aufsuchen von Ei-, Raupen- und Puppenfundstellen Überlebensraten für die verschiedenen Stadien und in unterschiedlichen Habitaten zu ermitteln. Dazu erfolgten systematische Suchen nach Eiern, Jungraupen und Hibernacula des Blauschwarzen Eisvogels. Die Fundstellen wurden mittels GPS erfasst, am Strauch mit einem farbigen Textilband markiert und in der Folge fortwährend kontrolliert. Die Kontrollen endeten, wenn an einer Fundstelle zweimal in Folge kein Nachweis mehr erbracht oder wenn der erfolgreiche Schlupf eines Falters dokumentiert werden konnte. Die der Auswertung zu Grunde liegenden Stichproben unterschieden sich zwischen den Entwicklungsstadien (Ei: $n = 191$, Jungraupe: $n = 109$, Hibernaculum: $n = 611$, Raupe zwischen Überwinterung und Verpuppung: $n = 288$, Puppe: $n = 111$). Im Rahmen der Evaluation von Management-Maßnahmen wurden während der Überwinterung Daten zur Abundanz des Blauschwarzen Eisvogels (Hibernacula) auf den Habitatflächen erhoben (siehe Kapitel 3.3.1, 3.4.1). Zudem wurde für jede Fundstelle mithilfe eines Meterstabs die Höhe am Strauch ermittelt. Die potenzielle Strahlungssumme wurde separat für die Entwicklungsstadien „Ei/Jungraupe“ (1. Juli – 14. September), „Hibernaculum“ (15. September – 14. April) und „Raupe nach der Überwinterung/Puppe“ (15. April – 30. Juni) mit dem Werkzeug „point solar radiation“ aus digitalen Oberflächendaten in ArcMap 10.5.1 berechnet.

Die statistische Datenanalyse wurde in R unter Verwendung der Routine von Santon et al. mit dem Paket glmmTMB (Brooks et al. 2017) durchgeführt. Mittels Generalisierter Linearer Gemischter Modelle (GLMM) wurde die Abhängigkeit der Überlebensrate von Standorteigenschaften (Kovariaten) untersucht. Die getesteten Standortparameter waren der Habitattyp („Kahlhieb“, „Sonderstandort“, „Wald-/Wegrand“), die Größe der Habitatfläche, die Höhe der Fundstellen am Strauch, die potenzielle Strahlungssumme am Fundort sowie die Abundanz von Artgenossen. Zusätzlich zum linearen Haupteffekt wurden die Kovariaten in

Interaktion mit dem Entwicklungsstadium getestet, um Unterschiede in der Effektstärke/Effektrichtung zwischen den Stadien identifizieren zu können. Unterschiede in der Raupenmortalität zwischen den Jahren wurde durch Berücksichtigung der Saison (2019/20, 2020/21, 2021/22) als Haupteffekt und in Interaktion mit dem Entwicklungsstadium Rechnung getragen. Mehrfache Datenaufnahmen auf denselben Habitatflächen wurden berücksichtigt, indem die Gebietsnummer als Zufallsfaktor ins Modell einging. Überlebensraten für das Falterstadium wurden mittels Cormack-Jolly-Seber-Modellen (CJS) in RMark aus den Fang-Wiederfang-Daten ermittelt.

2.1.6 Bergkronwicken-Widderchen: Eiablagepräferenzen

Die Eiablagepräferenzen des Bergkronwicken-Widderchen wurden im Jahr 2020 im Hartenbuch bei Schelklingen untersucht. Dazu wurden auf vier Habitatflächen alle Bergkronwicken detailliert vermessen (Höhe, Zahl der Blätter, Nachbarpflanzen im Umfeld, Vegetationsstruktur im Umfeld, Besonnung). Für jede Bergkronwicke wurde die Anzahl der Eispiegel, deren Position (Blattober- oder Unterseite) und die Anzahl an Eiern ermittelt. Die Datenanalyse erfolgte mittels hurdle-Modellen in R. Jeder Eispiegel wurde als Ergebnis einer unabhängigen Entscheidung eines weiblichen Falters betrachtet. Die Entscheidung der Eiablage wurde als Bernoulli-Prozess beschrieben, die Größe der Eispiegel (Anzahl an Eiern) durch ein Poisson-Modell in Relation zu den Wirtspflanzen- und Umwelteigenschaften gesetzt. Wir nutzten die Routine von Santon et al. und das Paket glmmTMB (Brooks et al. 2017).

2.2 Ergebnisse und Diskussion

2.2.1 Artendaten

Tabelle 2 gibt einen Überblick über erfasste Vorkommen der Zielarten im Alb-Donau-Kreis. Da im Rahmen des Projekts keine flächendeckenden Erfassungen im gesamten Landkreisgebiet stattgefunden haben und der Erfassungsaufwand zwischen den Arten und Gebieten zudem unterschiedlich war (siehe Kapitel 1.2), ist die Liste der Artvorkommen weder vollständig noch entspricht die Zahl der genannten Artvorkommen der Häufigkeit der Arten.

Tabelle 2: Im Rahmen des Projekts erfasste Vorkommen der Zielarten und Einschätzung zu deren Bestand im Alb-Donau-Kreis.

Deutscher Name	Erfasste Vorkommen im Alb-Donau-Kreis	Einschätzung der Population
Schlüsselblumen-Würfelfalter	Allmendingen, Meisenberg Allmendingen, Roteberg Nähe Nägelesstein Erbach-Ringingen, Stromtrasse am Hühnerberg Schelklingen-Hausen, Dürrhalde Schelklingen-Hausen, Erbishalde* Schelklingen-Hütten, Eichhalde Schelklingen-Ingstetten, Behwinde/Längental	Überwiegend individuenarme Vorkommen, einzige größere Population in Allmendingen am Meisenberg.
Braunfleckiger Perlmutterfalter	Merklingen, Geißbrucken/Ulmer Tal	In den Untersuchungsgebieten nur ein kleineres Vorkommen bei Merklingen.
Silberfleck-Perlmutterfalter	Allmendingen, Meisenberg Allmendingen, Weites Tal Blaubeuren/Schelklingen, Tiefental mit Seitentälern Merklingen, Geißbrucken Schelklingen, Hartenbuch	In den Untersuchungsgebieten fast flächendeckend verbreitet, z.T. mit größeren Populationen.

Blauschwarzer Eisvogel	Allmendingen, Weites Tal Blaubeuren/Schelklingen, Tiefental mit Seitentälern Blaubeuren-Sonderbuch, im Ort* Blaubeuren-Pappelau, Grund/Lehrhau Blaubeuren-Weiler, Kühnenbuch* Blaustein-Bermaringen, Kohlhalde Ehingen-Dächingen, Däffenberg* Ehingen-Granheim, Reutenbuchhäule/Niederhau* Merklingen, Geißbrucken Merklingen, Lohhau/Birkbühl Schelklingen, Hartenbuch Schelklingen, Manzenbühl* Schelklingen, Marhalde/Gollenhalde* Schelklingen-Gundershofen, Häuslesbreite	Geringe Siedlungsdichte, Schwerpunktvorkommen bei Merklingen (Geißbrucken + Lohhau/Birkbühl), im Tiefental mit Seitentälern (dort insbesondere im oberen Eis- und Erbistal sowie bei Seißen) sowie im Weiten Tal bei Allmendingen.
Weißbindiger Mohrenfalter	Blaubeuren-Seißen, Pfetschenhau/Pflins/Dürrhalde Schelklingen-Ingstetten, Behwinde/Längental	Nachweise ausschließlich im Jahr 2019 im Tiefental und seinen Seitentälern zwischen Ingstetten und Seißen; Population sehr klein.
Graubindiger Mohrenfalter	Blaustein-Bermaringen, Kohlhalde Blaubeuren/Schelklingen, Tiefental mit Seitentälern Merklingen, Geißbrucken Merklingen, Peterlingshalde Merklingen, Lohhau/Birkbühl	In den Untersuchungsgebieten fast überall vorhanden; besonders große Population am Geißbrucken bei Merklingen.
Nördl. Platterbsen-Widderchen	Schelklingen-Hausen, Dürrhalde Schelklingen-Hausen, Erbishalde Schelklingen-Ingstetten, Behwinde/Längental	Sichtungen von Einzeltieren mit Schwerpunkt im Bereich Behwinde/Längental.
Bergkronwicken-Widderchen	Schelklingen, Hartenbuch Blaubeuren-Weiler, Kühnenbuch	Eng begrenzte Vorkommen mit jahresweise stark schwankender Populationsgröße.
Elegans-Widderchen		Kein aktueller Nachweis im Alb-Donau-Kreis.

Die mit * gekennzeichneten Fundangaben beziehen sich auf sicher belegte Fundangaben Dritter (Jörg Döring, Robert Sammer, Simon Goedecke).

2.2.2 Blauschwarzer Eisvogel: Populationsgrößen und Mobilität

Im Untersuchungsgebiet bei Allmendingen konnte der Blauschwarze Eisvogel 2019 als Falter nicht erfasst werden. 2020 konnten sieben, 2021 fünf Individuen gefangen und markiert werden (Tabelle 3). Statistisch abgesicherte Aussagen zur Größe der Population ließen sich mithilfe des Softwarepakets RMark aufgrund der wenigen Funde für keines der drei Jahre ableiten. Für das Gebiet Tiefental/Ingstetten war eine Datenanalyse mittels Fang-Wiederfang-Modellen aufgrund zu geringer Falterzahlen für das Jahr 2019 ebenfalls nicht möglich. 2020 wurde die Falterpopulation dort auf 66 Individuen geschätzt, 2021 waren es 118 Falter. Im Untersuchungsgebiet bei Merklingen lagen die Falterzahlen bei 61 Individuen (2019), 113 Individuen (2020) und 112 Individuen (2021). Die geschätzten Gesamt- und Tagespopulationsgrößen sind in Abbildung 4 dargestellt. Das Geschlechterverhältnis war in allen Jahren und in beiden Gebieten ausgeglichen oder zugunsten der Männchen verschoben. Die höchste Abundanz wurde in der Regel ein bis zwei Wochen nach der ersten Falterbeobachtung eines Jahres erreicht. Die maximale Tagespopulationsgröße, also die Zahl der am selben Tag im Gebiet vorhandenen Falter, wurde auf maximal 40 Stück (Merklingen, Anfang Juli 2021) geschätzt. Männchen machten dabei mehr als zwei Drittel der gleichzeitig anwesenden Falter aus, was mit der kürzeren Lebens-/Verweildauer der Weibchen zusammenhängt.

Tabelle 3: Anzahl Fangereignisse sowie Anzahl markierter und wiedergefangener Blauschwarzer Eisvögel in den untersuchten Gebieten. Die Daten sind nach Jahren und Geschlechtern getrennt dargestellt.

Gebiet	Allmendingen						Merklingen						Tiefental/Ingstetten					
Jahr	2019		2020		2021		2019		2020		2021		2019		2020		2021	
Geschlecht	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Fänge	0	0	5	3	5	0	48	14	78	36	75	24	10	3	42	17	60	20
markierte Individuen	0	0	4	3	5	0	25	10	33	26	40	18	7	3	24	12	30	17
wiedergefangene Individuen	0	0	1	0	0	0	11	3	16	9	21	5	2	0	10	3	11	4

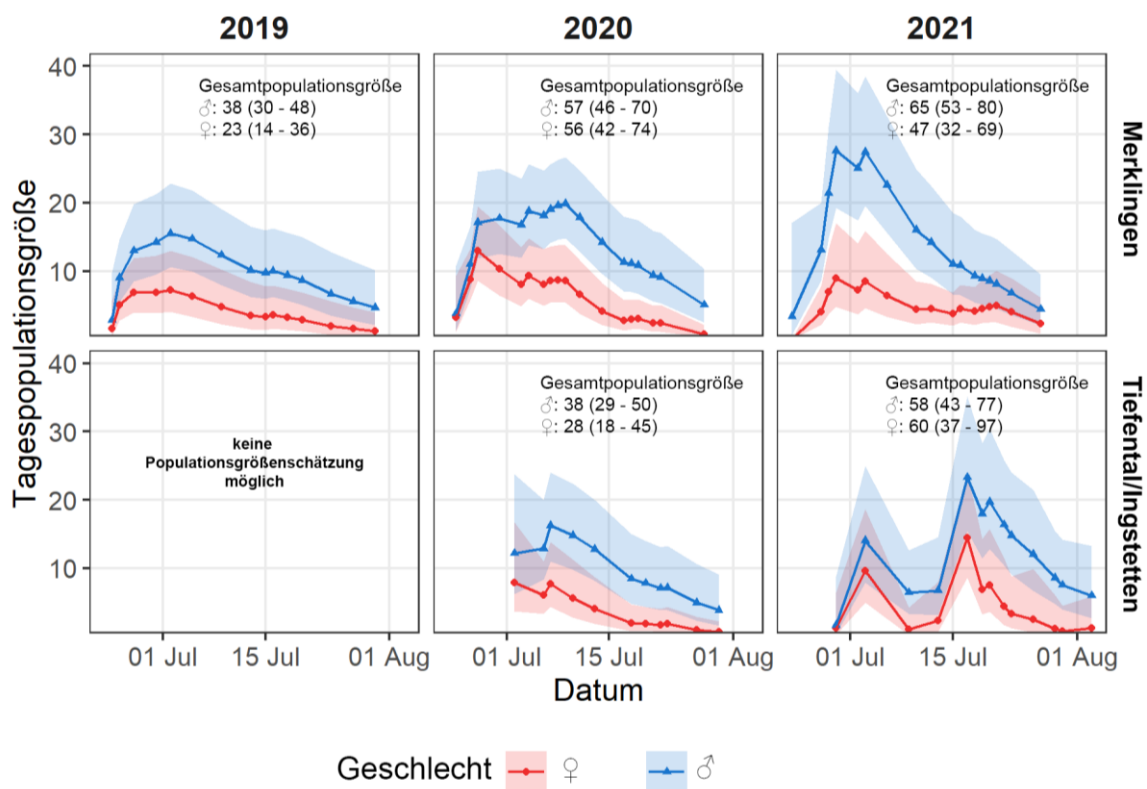


Abbildung 4: Jahrweise Schwankungen der Tages- und Gesamtpopulationsgrößen des Blauschwarzen Eisvogels in den Untersuchungsgebieten Merklingen (oben) und Tiefental/Ingstetten (unten). Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass es sich beim Blauschwarzen Eisvogel um eine Art mit geringer Siedlungsdichte („low density species“) handelt. In den Untersuchungsgebieten konnten maximale tägliche Siedlungsdichten von zwei (Tiefental/Ingstetten) bis vier (Merklingen) Faltern pro Hektar ermittelt werden. In bevorzugten Nektarhabitaten wurden lokal höhere Dichten erreicht.

Durch Wiederfang markierter Falter (n = 99) konnten Ausbreitungsdistanzen von maximal 1,6 km (Männchen) bzw. 1,1 km (Weibchen) belegt werden. Das Untersuchungsdesign hätte es ermöglicht, Ausbreitungsflüge bis zu 5,1 km zu erfassen. Jedoch zeigte die Mehrzahl aller wiedergefangenen Blauschwarzen Eisvögel eine hohe Ortstreue und entfernte sich nur wenige Hundert Meter vom Ort des Erstfangs. Beispielsweise konnte ein männlicher Falter im Untersuchungsgebiet Tiefental/Ingstetten über einen Zeitraum von 31 Tagen acht Mal

wiedergefangen werden, wobei die maximale Distanz zwischen zwei Fangorten lediglich 227 m betrug.

Das Ausbreitungsverhalten einer Art aus Beobachtungen von < 100 mehrfach gefangenen Individuen abzuleiten ist schwierig, zumal weibliche Falter unter den Wiederfängen unterrepräsentiert waren. Aus populationsökologischer Perspektive wäre gerade bei den Weibchen mit gelegentlicher Langstreckenausbreitung (> 2 km) zu rechnen. Wir konnten in unserer Untersuchung keinen Nachweis eines solchen Langstreckenflugs erbringen. Allerdings legte ein weiblicher Falter in weniger als einer Stunde eine Strecke von 1,1 km zurück. Ausbreitungsstrecken von mehreren Kilometern im Laufe der Lebensdauer eines Falters erscheinen vor diesem Hintergrund möglich, sie dürften jedoch die Ausnahme darstellen.

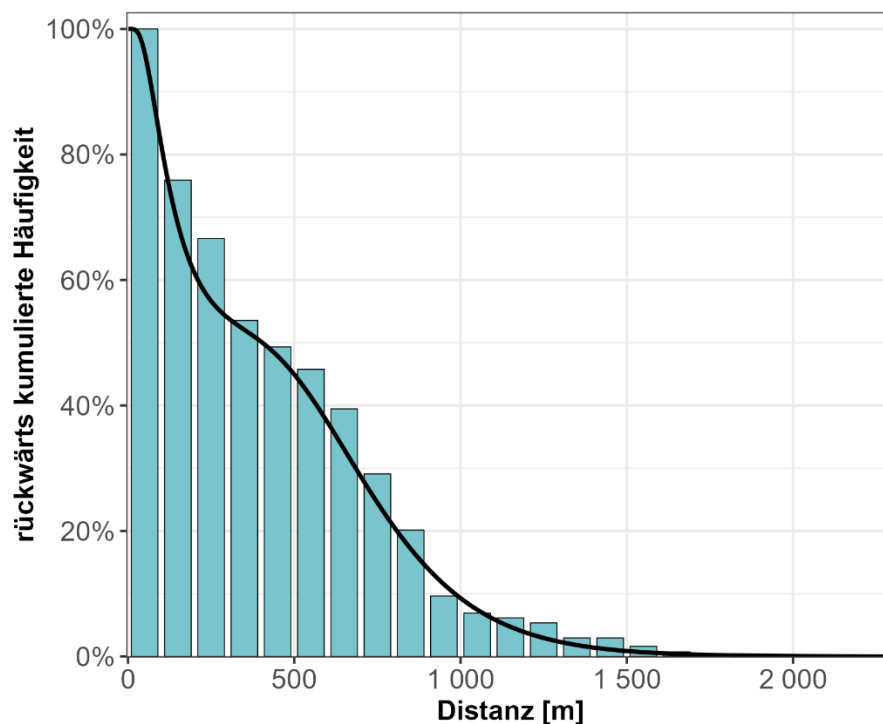


Abbildung 5: Ausbreitungsverhalten des Blauschwarzen Eisvogels. Beobachtete Häufigkeiten nach Korrektur für die Lage der Untersuchungstransecte (blaue Säulen) und durch ein lognormal-mixture-Modell prognostizierte Wahrscheinlichkeit für das Überwinden bestimmter Distanzen (schwarze Kurve).

Wir konnten für rund 45% der Falter Ausbreitungsdistanzen von mindestens 500 m ermitteln. Neun Prozent aller Individuen überwand Distanzen von mehr als 1 km. Der Anteil der Population, der sich mehr als 2 km vom Ausgangspunkt entfernt, wurde mithilfe des Ausbreitungsmodells und auf Grundlage unserer Daten allerdings auf lediglich rund 0,1% geschätzt (Abbildung 5). In Jahren mit vergleichsweise hoher Populationsdichte stellten wir signifikant größere durchschnittliche Ausbreitungsdistanzen fest (2020: 428 m, 2021: 450 m) als im populationsschwachen Jahr 2019 (158 m). Der Prozentsatz „ausbreitungswilliger“ Falter in der Population und die Wahrscheinlichkeit zur Kolonisierung weit entfernter Habitatflächen dürfte in Jahren bzw. Gebieten mit hoher Populationsdichte also erhöht sein.

Für die Konzeption von Management-Maßnahmen für den Blauschwarzen Eisvogel empfehlen wir auf Grundlage der Daten und vor dem Hintergrund der in Deutschland üblicherweise geringen Populationsdichte Distanzen zwischen besiedelten und neuen Habitatflächen von

maximal 1,5 km. Bei größeren Entfernungen ist mit einer deutlich reduzierten Besiedlungswahrscheinlichkeit zu rechnen.

2.2.3 Blauschwarzer Eisvogel: Eiablagepräferenzen

Der Vergleich von 100 Roten Heckenkirschen mit und 100 Roten Heckenkirschen ohne Ei des Blauschwarzen Eisvogels offenbarte hinsichtlich zwei der untersuchten Pflanzeigenschaften klare Präferenzen (Hensel 2021). Heckenkirschen mit mäßiger bis geringer Vitalität wurden vom Blauschwarzen Eisvogel bei der Eiablage klar bevorzugt (Abbildung 6). Ebenso konnte innerhalb der Habitatflächen eine Präferenz für nicht oder nur sehr gering überschirmte Rote Heckenkirschen festgestellt werden (Abbildung 7). Der Grund hierfür könnte die stärkere Sonneneinstrahlung an freistehenden Sträuchern sein. Wenig vitale Heckenkirschen zeichneten sich durch ein kränkliches oder schwächliches Erscheinungsbild aus. Dazu gehörten welke Blätter oder eine allgemein verringerte Blattzahl. Es erscheint möglich, dass sich die klare Bevorzugung wenig vitaler Heckenkirschen ebenfalls durch die in Folge der schütterten Belaubung stärkere Besonnung der vorhandenen Blätter erklären lässt. Ebenfalls wäre es vorstellbar, dass wenig vitale Heckenkirschen einen schwächeren Fraßschutz durch chemische Substanzen haben und ihre Blätter von den Raupen des Blauschwarzen Eisvogels dadurch besser verdaut werden können (Mithöfer & Boland 2012). Letztlich kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Erfassbarkeit von Eiern des Blauschwarzen Eisvogels an schütter belaubten und dadurch wenig vital wirkenden Sträuchern der Roten Heckenkirsche erhöht ist, weil die einzelnen Blätter im Vergleich zu üppig belaubten Sträuchern besser eingesehen werden können.

Innerhalb einzelner Sträucher wurden besonders häufig Südost- bis West-exponierte Blätter, vorzugsweise am ersten Blattpaar von außen, mit einem Ei belegt (Abbildung 8). Auch dies könnte mit der stärkeren Besonnung der nach Süden ausgerichteten Blätter, insbesondere jener des äußersten Blattkranzes zusammenhängen. Ebenfalls könnten die Blätter des äußersten Blattkranzes für eierlegende Weibchen besonders gut erreichbar sein. Auch die Erfassbarkeit von Eiern könnte auf den Blättern an den Zweigspitzen durch ihre exponierte Position besonders gut sein.

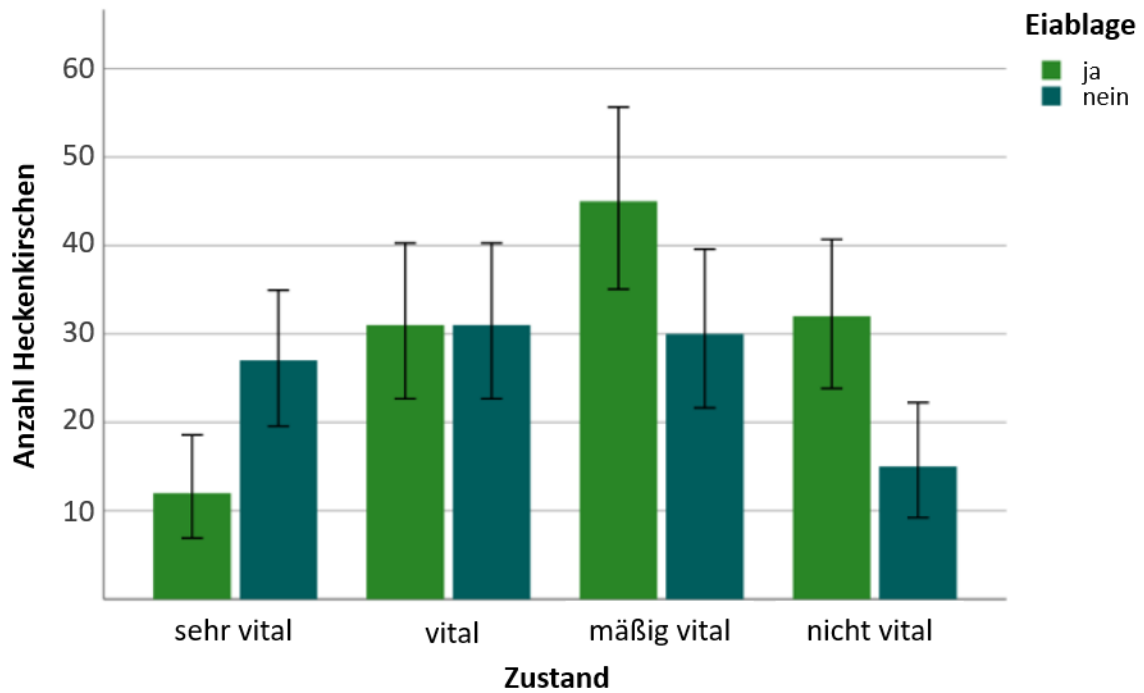


Abbildung 6: Eiablagepräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. Rote Heckenkirschen in wenig vitalem Zustand werden bei der Eiablage klar bevorzugt. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

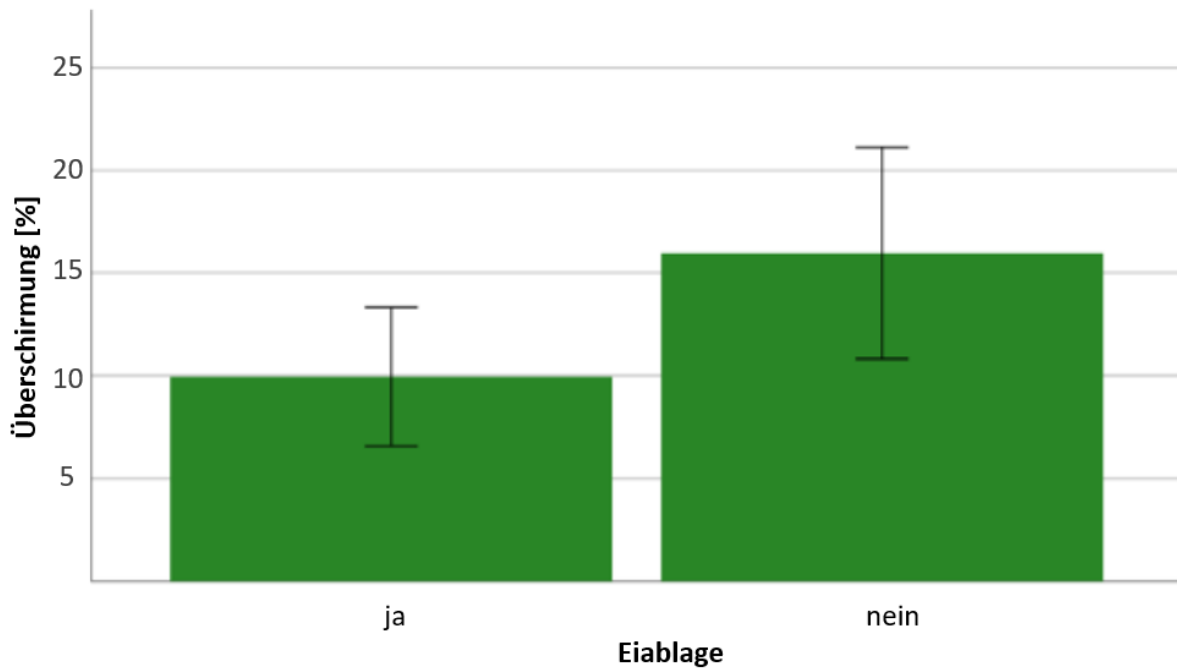


Abbildung 7: Eiablagepräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. Nicht oder nur geringfügig überschirmte Rote Heckenkirschen werden bei der Eiablage bevorzugt. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

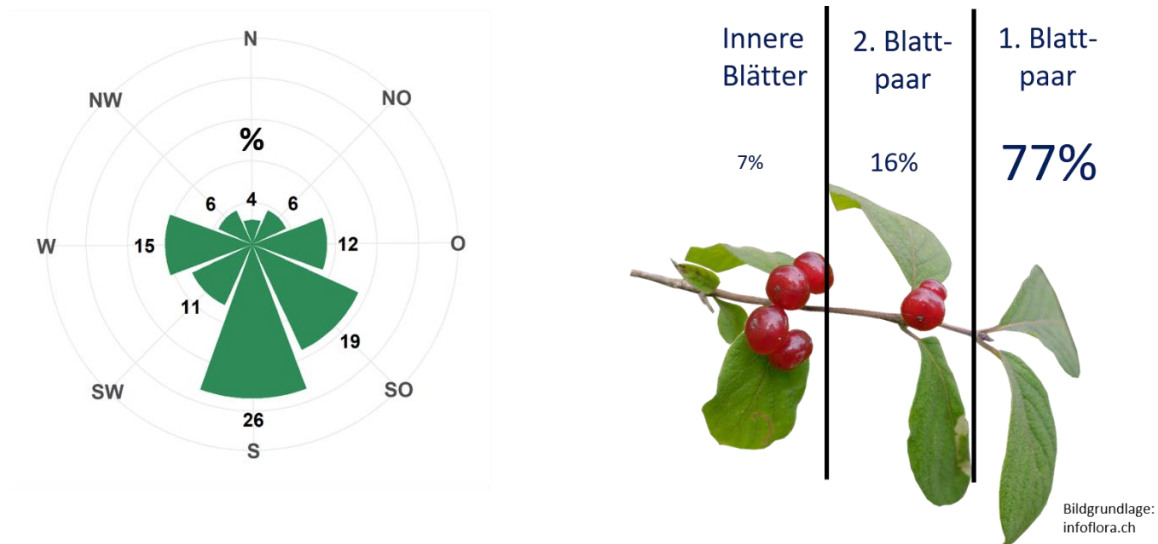


Abbildung 8: Eiblagerpräferenzen des Blauschwarzen Eisvogels. In südliche Richtung ausgerichtete Blätter des äußersten Blattkranzes werden bei der Eiablage bevorzugt.

2.2.4 Blauschwarzer Eisvogel: Raupenaktivität, Entwicklungsgeschwindigkeit und Mortalitätsursachen

Die Fraßaktivität der Eisvogelraupen hing wesentlich von ihrem Entwicklungsstadium ab und nahm ab dem Verlassen des Hibernaculums bis zur Verpuppung kontinuierlich zu (Abbildung 9). Während die Raupen bis Mitte Mai meist weniger als 1,5 h am Tag mit fressen verbrachten, wurden gegen Ende der Raupenentwicklung Mitte Juni bis zu 6 h täglich für die Nahrungsaufnahme aufgewendet. Durch den Einfluss der Sonneneinstrahlung konnten an den Raupenfraßplätzen Temperaturen bis über 40° C gemessen werden, während die Temperaturen in sonnengeschützter Lage nur zu einem einzigen Messzeitpunkt über 30° C lagen. Bis zu einer Temperatur von knapp 30° C am Fraßplatz stieg die Fraßaktivität der Eisvogelraupen kontinuierlich an. Nur ausnahmsweise wurde bei Temperaturen unter 10° C

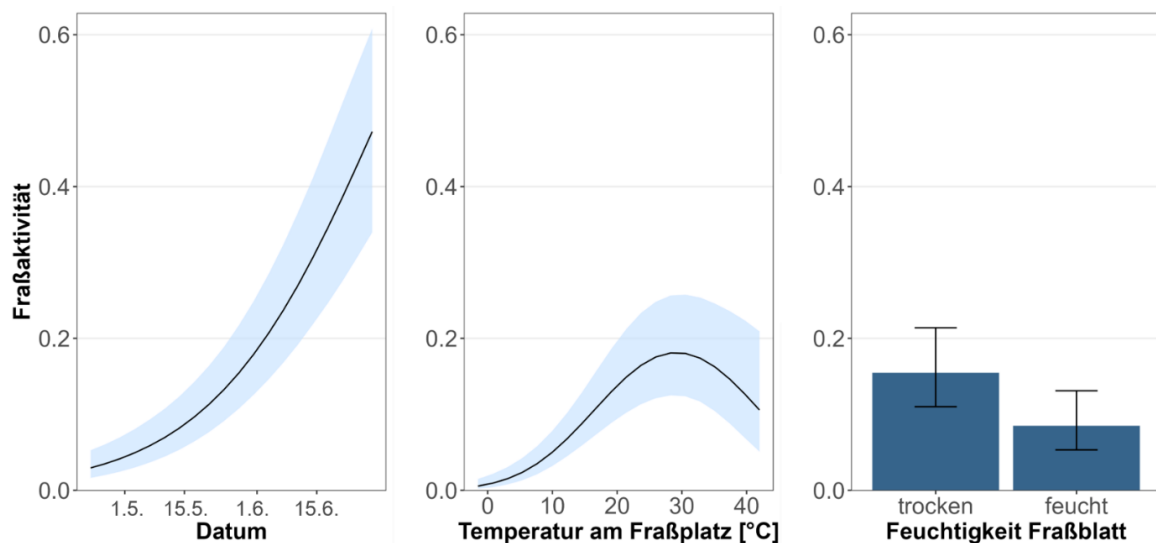


Abbildung 9: Fraßaktivität von Raupen des Blauschwarzen Eisvogels nach der Überwinterung in Abhängigkeit vom Kalendertag, der Temperatur am Fraßplatz und der Feuchtigkeit der Blattoberfläche. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

Nahrungsaufnahme beobachtet. Bei Tau und Regen war die Fraßaktivität der Eisvogelraupen gehemmt. Möglicherweise kann nasses Blattmaterial von den Raupen schlechter verdaut werden. Wind hatte keinen Einfluss auf das Verhalten der Raupen.

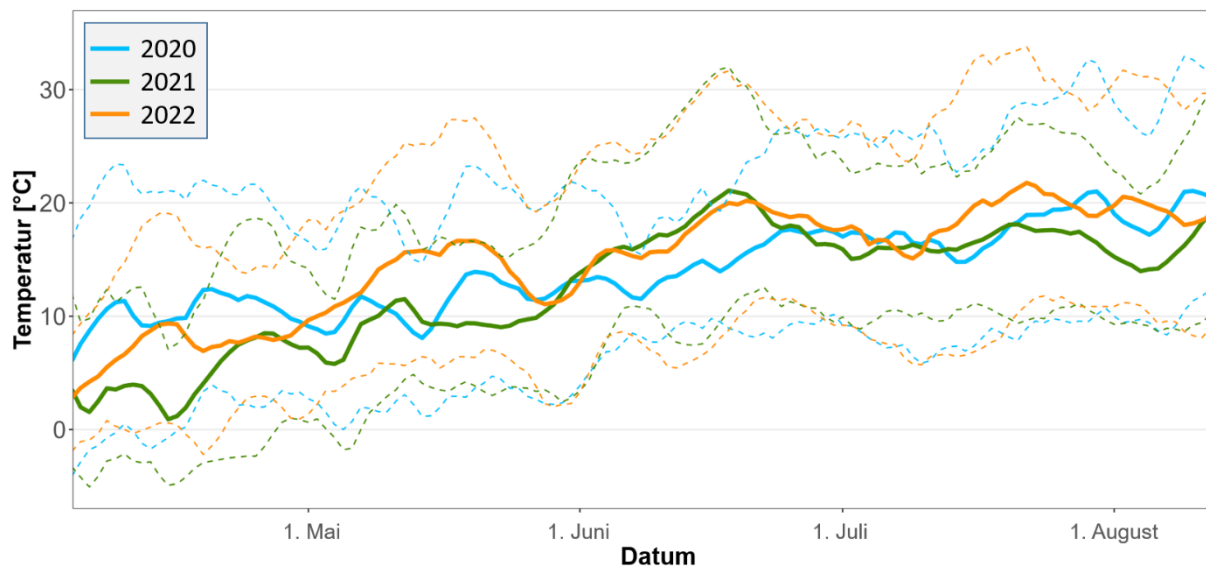


Abbildung 10: Gleitender Durchschnitt der Tagesmitteltemperatur (durchgezogene Linie) sowie der Tageshöchst- und Tagesniedrigsttemperatur (gestrichelte Linien) im Untersuchungsgebiet bei Merklingen während der für die Raupenentwicklung entscheidenden Monate. 2020 und 2021 konnte der erste Falter des Jahres am 24. bzw. 23. Juni beobachtet werden. 2022 wurde der erste Falter bereits zwei Wochen früher, am 9. Juni, erfasst.

Im Jahr 2022 startete die Flugzeit des Blauschwarzen Eisvogels auf der Schwäbischen Alb ungewöhnlich früh. Bereits am 9. Juni konnte bei Merklingen der erste Falter gesichtet werden. Mitte/Ende Juni 2022 waren dann bereits die ersten Raupen des Blauschwarzen Eisvogels zu finden. Während sich die Mehrzahl der Raupen bereits zeitig auf die Überwinterung einstellte und mit dem Bau des Hibernaculums begann, entwickelten sich schätzungsweise 20 – 30% bis zur Verpuppung. Somit konnte Anfang August erstmalig für die Schwäbische Alb eine partielle zweite Generation des Blauschwarzen Eisvogels beobachtet werden (N. Anthes, 1 Falter am 07.08.2022 bei Buttenhausen; J. Döring, 7 Falter am 11.08.2022 in Allmendingen und 4 Falter am 14.08.2022 in Ingstetten). Ob dies Auswirkungen auf die Bestandszahlen im Folgejahr haben wird, bleibt abzuwarten. Sowohl positive als auch negative Effekte auf die Populationsgrößen wären vorstellbar. Der Grund für das Auftreten der partiellen zweiten Faltergeneration im Sommer 2022 dürfte vor allem in den hohen Maitemperaturen des Jahres 2022 zu suchen sein (Abbildung 10). Diese haben den Raupen gute Fraß- und Entwicklungsbedingungen geboten und dadurch einen besonders frühen Beginn der Falterflugzeit ermöglicht. Somit fand auch die Eiablage des Blauschwarzen Eisvogels 2022 früher als gewöhnlich statt und es blieb den frisch geschlüpften Raupen genügend Zeit, um die gesamte Larvalentwicklung bei weiterhin guten Entwicklungsbedingungen noch vor Mitte August abzuschließen.

Die Ursachen für Mortalität des Blauschwarzen Eisvogels unterscheiden sich zwischen den Entwicklungsstadien. Immer wieder konnte Eiparasitismus beobachtet werden, welcher zu einer dunkelgrauen Verfärbung und letztlich zum Absterben des Eisvogeleis führte. Im Spätsommer stürzten einige junge Raupen auf welken Blättern, teilweise in Folge von Unwettern, samt Fraßblatt vom Strauch. Auch Attacken von Ameisen auf junge Raupenstadien

konnten dokumentiert werden. In einem Fall wurde Prädation durch eine Spinne beobachtet. Während der Wintermonate verschwanden einige Raupen des Blauschwarzen Eisvogels aus ihren Hibernacula, was auf Prädation durch Vögel zurückzuführen sein dürfte. Die leeren Hibernacula verblieben am Zweig. Nur selten verschwand eine Raupe mitsamt ihres Hibernaculums. Zahlreichen Raupen gelang es im Frühjahr nicht, das Hibernaculum zu verlassen, ohne dass dafür ein klarer Grund erkennbar gewesen wäre. Es erscheint möglich, dass Infektionen während der Überwinterung zum Tod der Raupen im Hibernaculum geführt haben. Ebenso könnte es sein, dass es manchen Raupen aufgrund sehr trockener Witterungsverhältnisse im April nicht möglich war, die spröden und harten Hibernacula aufzubrechen.

Für Raupen in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien konnten wir nur in einem Fall eine klare Ursache für den Tod einer Raupe ermitteln. Die Raupe verstarb in der Folge eines Gewitters, bei dem sie vermutlich zwischen den Zweigen ihres Wirtsstrauchs zerrieben wurde. Die Zeitrafferaufnahmen deuten als eine weitere Todesursache auf Prädation durch Vögel hin, wengleich diese nicht zweifelsfrei dokumentiert werden konnte. Kurz vor der Verpuppung mehrten sich Beobachtungen von Eisvogelraupen mit Kokons von Parasitoiden. Die Entwicklung der parasitierten Raupen stagnierte, letztlich führte die Parasitierung ausnahmslos zum Tod. Parasitierung ist in hohem Maße auch für Mortalität im Puppenstadium verantwortlich. Zwei verschiedene Parasitoiden konnten beim Schlupf aus der Puppenhülle eines Blauschwarzen Eisvogels beobachtet werden (Abbildung 11). In einigen Fällen verschwand die komplette Puppe, was auf Prädation, vermutlich durch einen Vogel, hindeutet. Für alle Präimaginalstadien konnten auch Todesfälle im Zusammenhang mit der Waldbewirtschaftung (Heckenschnitt, Holzernte, Kultursicherung) dokumentiert werden. Eine relevante Gefährdung für die Population des Blauschwarzen Eisvogels dürfte aber allenfalls von der Kultursicherung ausgehen, wenn diese mit dem Freischneider und ohne Schonung der Roten Heckenkirsche durchgeführt wird. Als „Eisvogel-freundliche“ Alternative zum Freischneider hat sich auf einigen im Projekt untersuchten Flächen der Einsatz eines Brombeerchens erwiesen. Mit diesem kann Konkurrenzvegetation im Umfeld der Jungbäume zur Seite gedrückt werden. Die Rote Heckenkirsche wird dadurch nicht nennenswert geschädigt.



Abbildung 11: Parasitoiden des Blauschwarzen Eisvogels. a) Raupe mit Kokons einer Schlupfwespe (*Micogasterinae*), b) aus einer Puppenhülle geschlüpfte Erzwespe (*Pteromalidae*), c) aus einer Puppenhülle geschlüpfte Schlupfwespe (*Ichneumonidae*).

Im Falterstadium beobachteten wir kein Todesereignis. Die einzige Attacke eines Singvogels auf einen fliegenden Eisvogel blieb folgenlos. Eine gewisse Gefahr für die Falter könnte von Auto- und Fahrradverkehr auf sonnigen Waldwegen ausgehen.

2.2.5 Blauschwarzer Eisvogel: Überlebensraten

Über alle Entwicklungsstadien hinweg konnten wir eine erhebliche Sterblichkeit feststellen. Nur 3% der Individuen überlebte alle Entwicklungsstadien bis zum Falter. Vor allem in den späten Entwicklungsstadien beobachteten wir eine hohe Mortalität (Abbildung 12). Bezieht man die unterschiedliche Dauer der Stadien mit ein, so war die Sterblichkeit während der rund siebenmonatigen Überwinterung im Hibernaculum am niedrigsten.

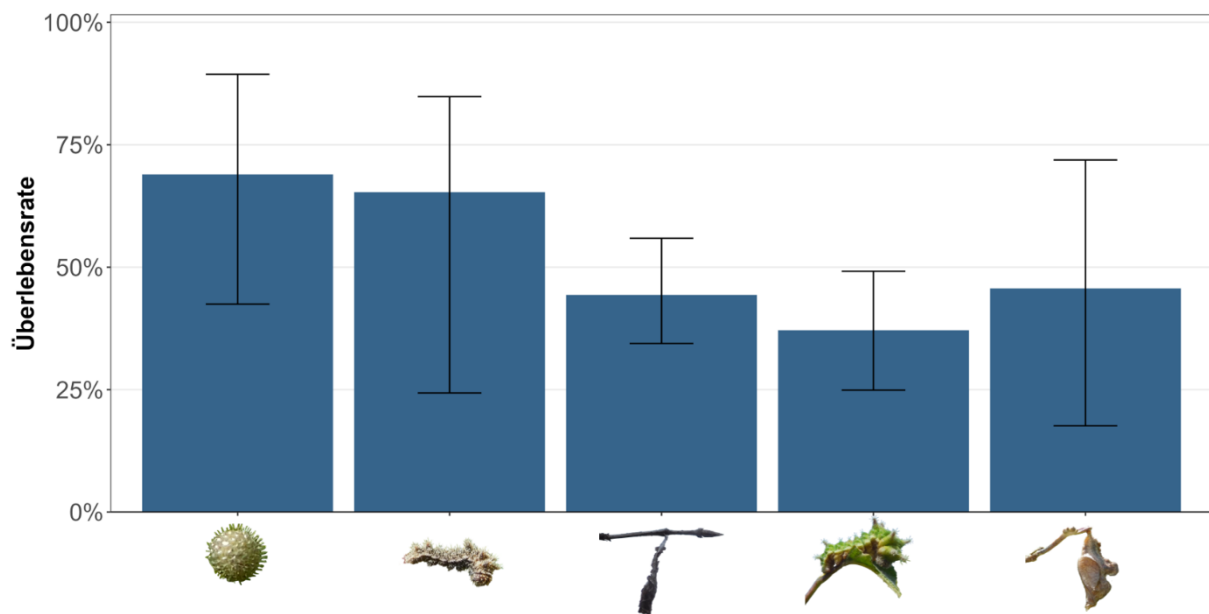


Abbildung 12: Überlebensraten verschiedener Präimaginalstadien des Blauschwarzen Eisvogels. Von links nach rechts: Ei, Jungraupe (vor Überwinterung), Raupe im Hibernaculum, Raupe zwischen Überwinterung und Verpuppung, Puppe. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

Während Eier und Jungraupen an Waldrändern ein besonders hohes Mortalitätsrisiko hatten, unterschieden sich die Überlebensraten der späteren Lebensstadien nicht zwischen den Habitattypen. Sowohl die Sonneneinstrahlung am Fundort als auch die Höhe des Eiablage-/Aufenthaltortes hatten einen positiven Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit. Beide Faktoren waren während der Raupenüberwinterung unbedeutend für die Überlebenswahrscheinlichkeit, spielten jedoch gegen Ende des Entwicklungszyklus eine zunehmend wichtige Rolle (Abbildung 13). Die Überlebenswahrscheinlichkeit für Raupen nach der Überwinterung war negativ mit der Abundanz von Artgenossen auf der Habitatfläche korreliert (Abbildung 14). Möglicherweise suchten Prädatoren gezielt nach den Raupen, wenn diese in größerer Stückzahl auf einer Habitatfläche vorhanden waren. Während der Überwinterung im Hibernaculum konnten wir hingegen keinen negativen Effekt der Artabundanz auf die Überlebenswahrscheinlichkeit des einzelnen Individuums feststellen.

Für das Untersuchungsgebiet bei Merklingen wurde die Überlebensrate im Falterstadium mithilfe der Fang-Wiederfang-Modelle auf 0,89/Tag (Männchen) bzw. 0,75/Tag (Weibchen) geschätzt. Für das Untersuchungsgebiet Tiefental/Ingstetten lagen die Werte bei 0,88/Tag (Männchen) bzw. 0,67/Tag (Weibchen). Daraus resultierten mittlere Verweildauern von gut

zwei Tagen für Weibchen und rund sechs Tagen für Männchen. Zu beachten ist, dass nicht zwischen dem Tod und der permanenten Abwanderung von Individuen unterschieden werden kann. Tendenziell stellten wir mit zunehmender Abnutzung der Flügel eine verringerte tägliche Überlebenswahrscheinlichkeit fest. Die längste durch Fang und Wiederfang belegte Lebensdauer eines Blauschwarzen Eisvogels lag bei 31 Tagen.

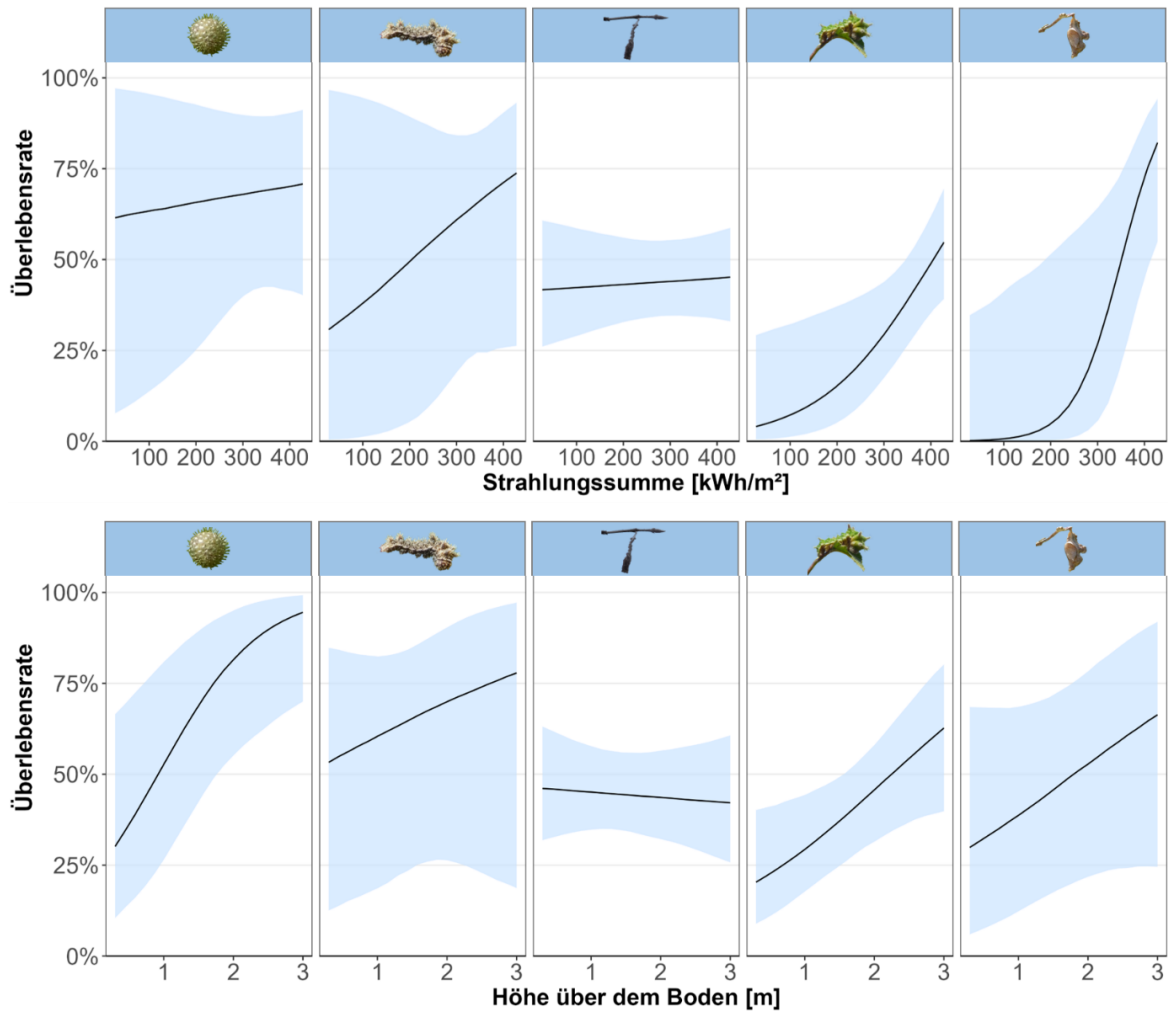


Abbildung 13: Bedeutung der Sonneneinstrahlung und der Höhe des Aufenthaltsortes auf die Überlebenswahrscheinlichkeit verschiedener Präimaginalstadien des Blauschwarzen Eisvogels. Von links nach rechts: Ei, Jungraupe (vor Überwinterung), Raupe im Hibernaculum, überwinterte Raupe, Puppe. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

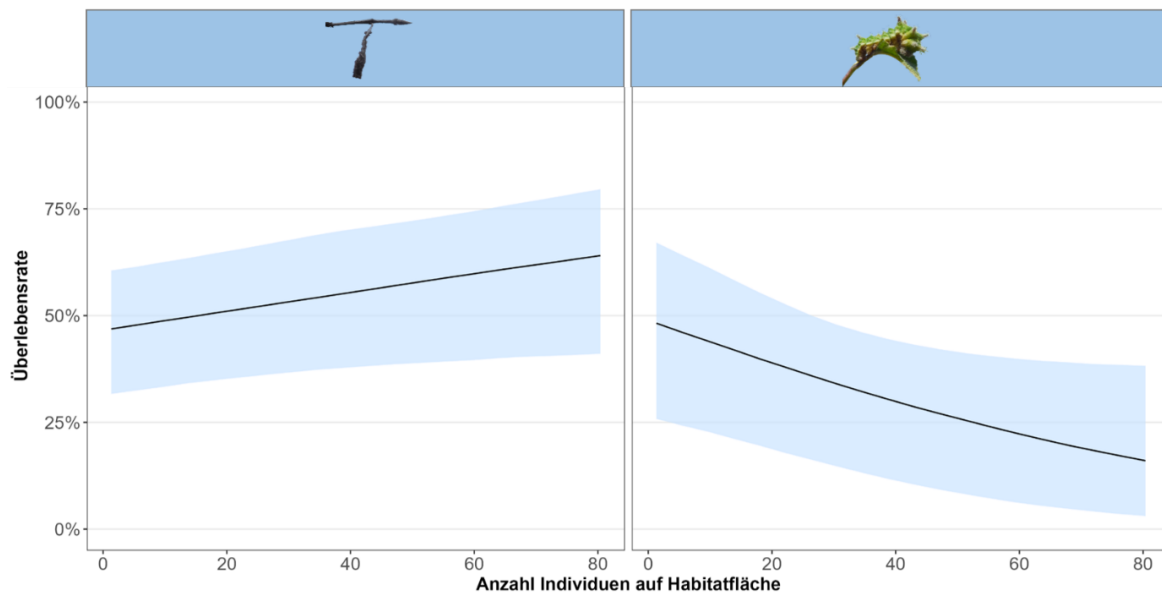


Abbildung 14: Überlebensrate von Raupen des Blauschwarzen Eisvogels während der Überwinterung im Hibernaculum und danach in Abhängigkeit von der Abundanz auf einer Habitatfläche. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

2.2.6 Bergkronwicken-Widderchen: Eiablagepräferenzen

Verteilt auf vier verschiedene Habitatflächen im Hartenbuch bei Schelklingen konnten wir im August 2020 796 Eispiegel des Bergkronwicken-Widderchens, bestehend aus insgesamt 6.725 Einzeleiern oder frisch geschlüpften Raupen, erfassen. Die Eispiegel waren auf 257 verschiedene Einzelpflanzen der Bergkronwicke verteilt. 112 der abgesuchten Bergkronwicken waren ohne Eispiegel. Der Prozentsatz mit Eispiegeln belegter Bergkronwicken schwankte deutlich zwischen den Habitatflächen und lag zwischen 9% und 83%. An vom Bergkronwicken-Widderchen genutzten Pflanzen waren im Durchschnitt drei Eispiegel zu finden. Der Prozentsatz bleigrau verfärbter und somit offensichtlich parasitierter Eier lag bei rund 45%. Ein durchschnittlicher Eispiegel bestand aus acht Einzeleiern, wobei Gelegegrößen zwischen einem und 40 Einzeleiern registriert wurden. In rund 80% der Fälle befanden sich die Eispiegel auf der Blattunterseite.

An Bergkronwicken mit einer hohen Zahl an Blättern konnten wir häufiger Eispiegel finden (Abbildung 15). Dieser Effekt war unabhängig vom Blattangebot im unmittelbaren Umfeld der Eiablagepflanze. An hohen Bergkronwicken konnten ebenfalls vermehrt Eispiegel gefunden werden. Die Höhe einer Bergkronwicke spielte für die Eiablageentscheidung der Widderchen vor allem dann eine Rolle, wenn im direkten Umfeld alternative Eiablagepflanzen zur Verfügung standen. Für die Bevorzugung hoher und blattreicher Bergkronwicken kommen zwei Erklärungsansätze in Frage: a) Hohe und blattreiche Bergkronwicken bieten mehr Raupennahrung und könnten von den weiblichen Faltern deshalb im Sinne einer evolutionsökologischen Fitness-Maximierung gezielt selektiert werden; b) Hohe und blattreiche Bergkronwicken sind für die Weibchen bei der Eiablage leichter erreichbar. Zudem besteht bei zufälliger Verteilung der Eispiegel an blattreichen Wirtspflanzen rein statistisch eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Eiablage. Die Häufung von Eispiegeln an hohen und blattreichen Bergkronwicken könnte somit auch auf ein rein opportunistisches

Eiablageverhalten hindeuten. Dass wir vor allem bei Vorhandensein mehrerer alternativer Eiablagepflanzen eine große Bedeutung der Wirtspflanzenhöhe, jedoch weitestgehend unabhängig vom Nahrungsangebot im Umfeld eine große Bedeutung des Blattreichtums der Wirtspflanze feststellen konnten, unterstützt den zweiten Erklärungsansatz.

Eine klare Präferenz konnten wir für Bergkronwicken, die von Gestein oder Offenboden umgeben waren, feststellen (Abbildung 15). Als Erklärung hierfür kommen sowohl mikroklimatische Faktoren (schnelle Erwärmung, Wärmespeicherung) sowie eine vergleichsweise gute Erreichbarkeit durch eierlegende Weibchen in Frage.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass 2020 ein sehr hoher Prozentsatz der Bergkronwicken auf den Untersuchungsflächen mit Eispiegeln belegt war. Bedingt durch die hohe Dichte an Eispiegeln könnten deshalb auch solche Bergkronwicken zur Eiablage genutzt worden sein, die in durchschnittlichen Jahren nicht den Präferenzen der Widderchen entsprechen.

Die Größe der abgelegten Eispiegel war in unserer Untersuchung weitgehend unabhängig von den erfassten Pflanzen- und Umgebungseigenschaften. Möglicherweise ist die Zahl der abgelegten Eier unabhängig von der Qualität der Wirtspflanze und richtet sich nach der Körperkondition der einzelnen Weibchen oder nach der Zahl der reifen Oocyten.

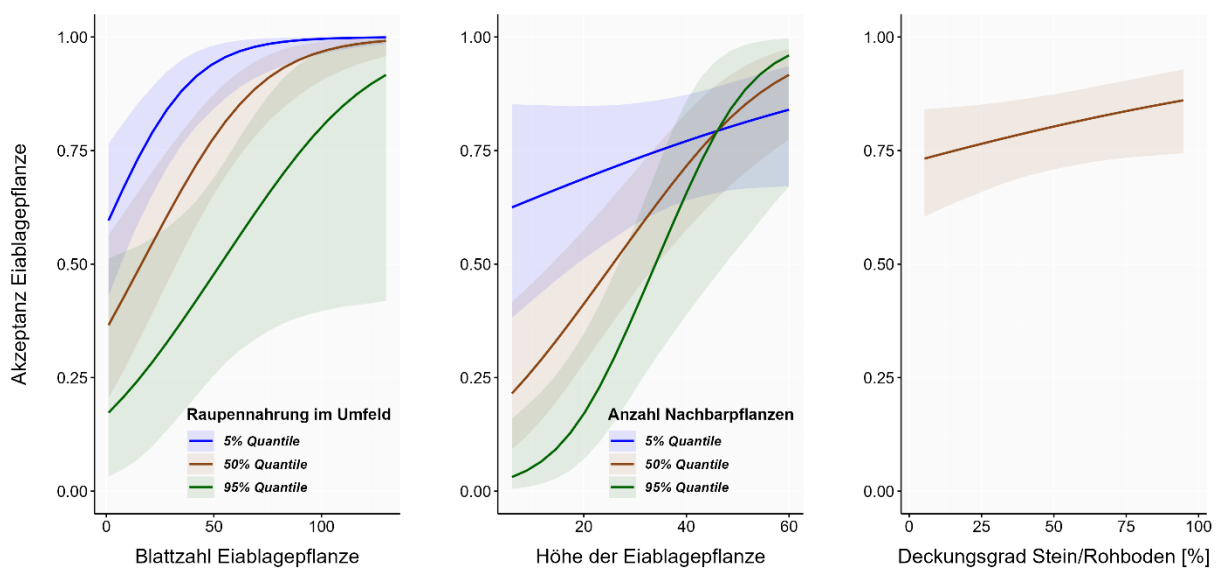


Abbildung 15: Wahl der Eiablagepflanze durch das Bergkronwicken-Widderchen. Auf blattrreichen, hohen Bergkronwicken, die zu großen Teilen von Stein/Offenboden umgeben sind, wurden besonders viele Eispiegel gefunden. Die Höhe der Eiablagepflanze spielte vor allem dann eine entscheidende Rolle, wenn viele alternative Eiablagepflanzen in der unmittelbaren Umgebung der Wirtspflanze vorhanden waren. Der Unsicherheitsbereich zeigt das 95%-Konfidenzintervall an.

Auf zwei der untersuchten Habitatflächen hatte bereits im Sommer 2019 eine detaillierte Eispiegelkartierung stattgefunden. Während die Zahl der auf den beiden Flächen vorhandenen Wirtspflanzen im Sommer 2019 bei 147 bzw. 340 Bergkronwicken gelegen hatte, standen im Sommer 2020 nur 89 bzw. 179 Wirtspflanzen zur Verfügung (Abbildung 17). Dementsprechend waren 2020 auf beiden Flächen mehr als Dreiviertel der zur Verfügung stehenden Bergkronwicken mit Eispiegeln belegt. Ein Teil der Bergkronwicken trieb im Frühjahr sehr spät aus, sodass diese Pflanzen zur Zeit der größten Fraßaktivität der Widderchenraupen Ende Mai/Anfang Juni noch nicht zur Verfügung standen. Im Frühjahr

herrschte für die Widderchenraupen im Untersuchungsgebiet deshalb Nahrungsknappheit. Besonders deutlich zeigte sich dies im Frühjahr 2021 als auf beiden Habitatflächen an mehr als 80% aller vorhandenen Bergkronwicken deutliche Fraßspuren oder Widderchenraupen bei der Nahrungsaufnahme festgestellt werden konnten. Einige Wirtspflanzen waren von den Raupen nahezu kahlgefressen (Abbildung 16).

Das zu geringe Nahrungsangebot dürfte in Verbindung mit ungünstigen Witterungsbedingungen im Verlauf der Raupenentwicklung dazu geführt haben, dass die Falterpopulation im Sommer 2021 einen Tiefstand erreichte und bei drei Begehungen zwischen dem 20.7.2020 und dem 06.08.2020 eine maximale Falterzahl von lediglich neun Individuen registriert werden konnte. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen wurden im Herbst 2021 Auflichtungsmaßnahmen durchgeführt. Im Sommer 2022 deutete sich mit 17 erfassten Faltern eine leichte Erholung der Population an.

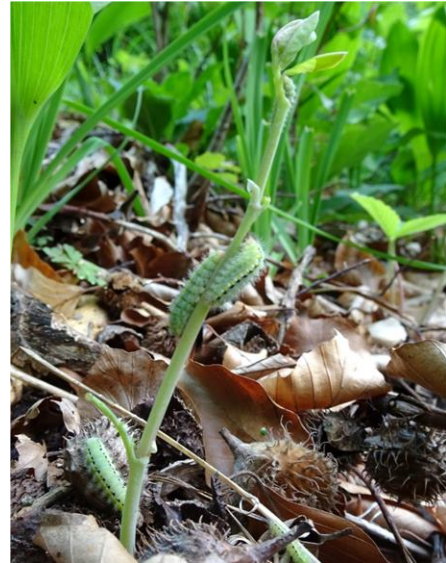


Abbildung 16: Die frisch ausgetriebene Bergkronwicke ist durch die Raupen des Bergkronwicken-Widderchens bereits nahezu kahlgefressen; Hartenbuch bei Schelklingen, 11.06.2021.

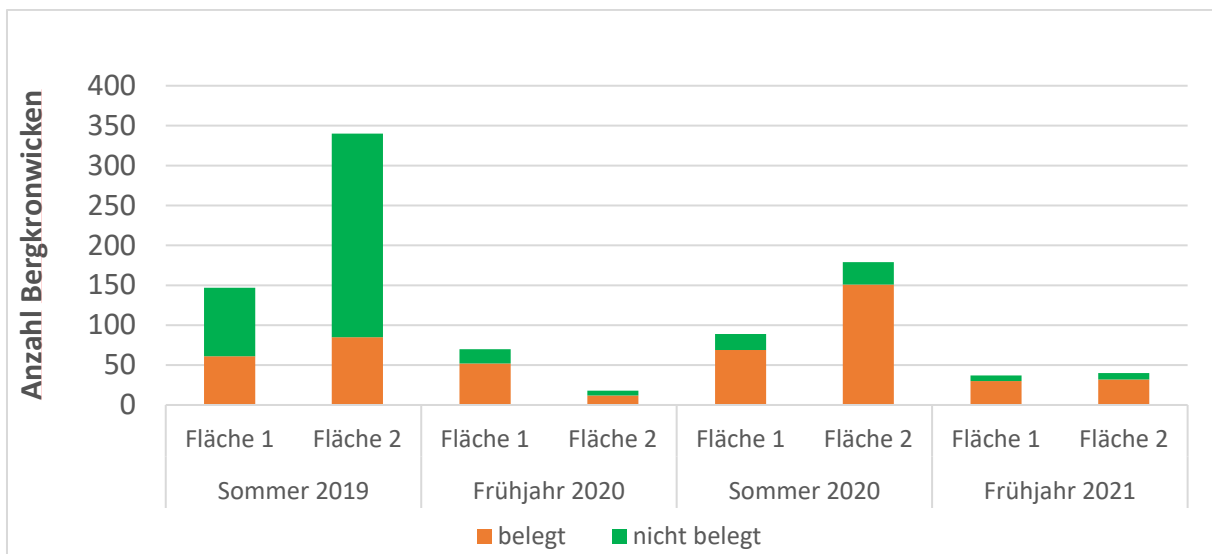


Abbildung 17: Bergkronwicken mit und ohne Eispiegel bzw. Raupenfraßspuren des Bergkronwicken-Widderchens auf zwei mehrjährig kartierten Habitatflächen im Hartenbuch bei Schelklingen.

3. Habitat-Managementmaßnahmen

3.1 Maßnahmenplanung und -konzeption

Auf Grundlage von Vor-Ort-Eindrücken sowie Geodaten- und Luftbildanalysen und unter Berücksichtigung von Daten aus der Forsteinrichtung wurden Vorschläge zur Förderung von Lichtwaldarten erarbeitet und mit den Waldeigentümern bzw. Forstrevierleiter*innen abgestimmt. Maßnahmenvorschläge der Projektpartner wurden ebenfalls aufgegriffen. Drei Maßnahmentypen wurden unterschieden: 1.) Kleinkahlhiebe von ca. 0,3 bis 1,0 ha Flächengröße, 2.) Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten wie Blockhalden oder Steilhängen, 3.) Pflegemaßnahmen an Wald- und Wegrändern.

3.2 Durchführung der Habitat-Managementmaßnahmen

Die Umsetzung der abgestimmten Maßnahmen erfolgte in Eigenregie durch die Forstbetriebe bzw. durch beauftragte Unternehmer in den Wintern 2019/20 und 2020/21. Die Kosten für die Umsetzung von Maßnahmen im Staatswald wurden von ForstBW getragen. In den Kommunalwäldern wurden die Maßnahmen in Abstimmung mit dem Landschaftserhaltungsverband Alb-Donau-Kreis und den jeweiligen Gemeinden mit Mitteln der Landschaftspflegeberichtlinie oder aus Projektmitteln finanziert oder auf das kommunale Ökokonto angerechnet. Die Maßnahmenumsetzung im Privatwald erfolgte aus Projektmitteln oder wurde vom Waldbesitzer selbst getragen. Für alle durchgeführten Maßnahmen fand eine Dokumentation der Kosten statt (siehe Kapitel 3.4.2.3).

3.3 Habitatmanagement für den Blauschwarzen Eisvogel: Bewertungsmethodik

3.3.1 Methodik zur Evaluation der Wirksamkeit von Habitat-Managementmaßnahmen

Zur Evaluation des Maßnahmenerfolgs fanden systematische Zählungen von Hibernacula des Blauschwarzen Eisvogels in den Monaten Dezember bis April statt. Auf 25 Flächen wurde die Hibernacula-Erfassung in drei Jahren, auf fünf Flächen in zwei Jahren durchgeführt. Unter den kartierten Flächen waren 15 Maßnahmenflächen (5 Kahlhiebsflächen, 3 Sonderstandorte, 7 Wald-/Wegränder) und 15 Referenzflächen (4 Kahlhiebsflächen, 4 Sonderstandorte, 7 Wald-/Wegränder). Auf jeder Maßnahmenfläche fand jeweils mindestens eine Hibernacula-Erfassung vor und nach Maßnahmenumsetzung statt. Als Referenzflächen dienten benachbarte Gebiete, in denen während des Projektzeitraums keine Maßnahmen durchgeführt wurden, d.h. ältere Kahlhiebsflächen (3-10 Jahre) sowie Wald-/Wegränder und Sonderstandorte mit Vorkommen der Roten Heckenkirsche, an denen im Projektzeitraum keine gezielten Auflichtungsmaßnahmen durchgeführt wurden.

Zur Bestimmung der Hibernacula-Erfassungswahrscheinlichkeit wurde im Februar 2021 ein großes Freilandexperiment unter Beteiligung mehrerer Experten durchgeführt (Hinneberg et al. 2022). Dadurch war es möglich, von der Zahl der erfassten Hibernacula auf die Gesamtzahl der auf einer Habitatfläche vorhandenen Hibernacula (Abundanz) zu schließen. Ebenfalls war es durch die Ergebnisse des Experiments möglich, einzelne bereits vor der systematischen Suche bekannten Hibernacula gewichtet mit der Detektionswahrscheinlichkeit zum Ergebnis der systematischen Hibernacula-Erfassung hinzuzurechnen.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit einem hurdle-Modell. Dabei wurde die Präsenzwahrscheinlichkeit von Hibernacula auf einer Habitatfläche in Abhängigkeit von der Saison (2019/20, 2020/21, 2021/22), dem Flächentyp (Kahlhieb, Sonderstandort, Wald-/Wegrand), der Anzahl Roter Heckenkirschen, der Entfernung zum nächstgelegenen Artnachweis aus dem Vorjahr und der Strahlungssumme im Monat Juli durch ein Bernoulli-Modell berechnet. Die Präsenz des Blauschwarzen Eisvogels vorausgesetzt, wurde dann die Siedlungsdichte (Abundanz pro Hektar) in Abhängigkeit von Saison, Flächengröße, Strahlungssumme im Monat Juli, Flächentyp und Maßnahmenkategorie (keine Maßnahme, 1. Jahr nach Maßnahmenumsetzung, 2. Jahr nach Maßnahmenumsetzung) durch ein Poisson-Modell beschrieben. Flächentyp und Maßnahmenkategorie wurden in Interaktion getestet, um eine zwischen den Flächentypen verschiedene Reaktion auf die Maßnahmendurchführung abbilden zu können. Die Modellierung erfolgte unter Verwendung der Routine von Santon et al. mit dem Paket glmmTMB (Brooks et al. 2017) in R.

3.3.2 Methodik zur ökonomischen Bilanzierung von Habitat-Managementmaßnahmen

Die ökonomische Maßnahmenbewertung wurde überwiegend im Zeitraum von April bis Oktober 2021 durchgeführt. Der Schwerpunkt der forstökonomischen Maßnahmenbewertung lag dabei auf kleinflächigen Kahlhieben in Fichtenbeständen ab einem Alter von ca. 50 Jahren. Daneben wurden Pflegemaßnahmen zur Aufwertung von Sonderstandorten und Wald-/Wegerändern nach ökonomischen Maßstäben untersucht. Alle Berechnungen wurden mithilfe von Microsoft Excel 2016 durchgeführt.

3.3.2.1 Bewertungsmethodik für Kahlhiebsmaßnahmen

Kleinflächige Kahlhiebe können ein wichtiges Instrument zur Schaffung von Habitatflächen für Lichtwaldarten sein. Eine besondere Eignung zur Durchführung von Kahlhieben zeigen Fichtenbestände, in deren Unterwuchs einzelne Rote Heckenkirschen in halb- bis vollschattiger Lage in der Regel vorhanden sind. Bei gesteigerter Lichtgabe nach einem Hieb erlangen einerseits die bereits vorhandenen, vormals im Schatten der Fichten stehenden, Heckenkirschen Eignung für den Blauschwarzen Eisvogel, andererseits bieten verrottende Fichtenstümpfe ideale Keimungsbedingungen für die Rote Heckenkirsche.

In die ökonomische Bilanzierung von Fichten-Kleinkahlhieben wurden neben der im Rahmen des Projekts durchgeführten Kahlhiebe weitere „fiktive Kahlhiebe“ einbezogen. Die rein ökonomische Bewertung einer Hiebsmaßnahme ist auch ohne deren tatsächliche Durchführung möglich. Somit dienten die „fiktiven Kahlhiebe“ dazu, trotz der geringen Zahl der im Rahmen des Projekts realisierten Kahlhiebe eine valide Datenbasis für die ökonomischen Berechnungen zu erhalten. Insgesamt wurden 13 Maßnahmen kalkuliert, von denen lediglich eine Maßnahme zum Zeitpunkt der Bewertungen umgesetzt war. Zusätzlich wurden drei Kahlhiebe in bereits hiebsreifen Fichtenbeständen modellhaft untersucht. Der Auswahl von Fichtenbeständen für „fiktive Kahlhiebe“ und den Flächenvorschlägen für realisierte Kahlhiebsmaßnahmen lagen dieselben Kriterien zugrunde, d.h. die Auswahl der Bestände erfolgte unter Beachtung rechtlicher und naturschutzfachlicher Maßgaben. Bevorzugt wurden südexponierte Fichtenbestände mit einem Mindestalter von 50 Jahren gewählt. Die ökonomische Maßnahmenbewertung erfolgte über die Differenz zweier alternativer Bestandesbehandlungsszenarien: a) Kleinkahlhieb im aktuellen Bestandesalter

zur Förderung von Lichtwaldarten, b) konventionelle Behandlung des Bestandes. Es wurden also die für den Waldbesitzer entstehenden Opportunitätskosten betrachtet.

Für die fiktiven Kahlhiebsmaßnahmen konnten weder Einschlagsmenge noch Sortenverteilung aus Vermessungsprotokollen entnommen werden. Für die Erhebung des theoretisch zu erntenden Bestandes erfolgte die Vorratsmessung in forstwirtschaftlich üblichen Stichprobenverfahren. Der Stichprobenumfang lag zwischen 71 und 117 (Mittelwert: 89) Probebäumen je Aufnahme. Durch die ergänzende Aufnahme von Baumhöhen konnte auf Basis einer Bestandeshöhenkurve, basierend auf 10 bis 15 Höhenmessungen je Bestand, der Holzvorrat der Bestände ermittelt werden. Die Baumhöhenmessungen wurden mit einem elektronischen Baumhöhenmesser durchgeführt. Auf Grundlage der erhobenen Daten konnte mithilfe des Volumen- und Sortenprogramms BDat der FVA Baden-Württemberg (FVA 2022) der Holzvorrat ermittelt werden.

Bei den Holzerntemaßnahmen, wie beispielsweise Durchforstungen, im Rahmen der konventionellen Waldbewirtschaftung oder einem Kahlhieb zur Förderung von Lichtwaldarten, fallen in Abhängigkeit der Dimension des Fichtenbestandes unterschiedliche Sortimente an. Die Sortimentsverteilung entstammt bei diesen Berechnungen der Hilfstabellen für die Forsteinrichtung der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (1993). Mithilfe dieser Tabellen kann anhand des durchschnittlichen BHD des ausscheidenden Bestandes die Verteilung der anfallenden Sorten aus der entsprechenden Bestandessortentafel entnommen und für die Berechnungen herangezogen werden. Die Qualitätseinstufung der Bestände entstammt einer gutachterlichen Einschätzung aus Feldaufnahmen vor Ort. Dabei wurde für die Berechnungen angenommen, dass sich die Qualitätsverteilung der Bestände im Stammholz in 70% B und 30% C aufgliedert. Außerdem wurde pauschal ein minderwertiger Stammholzanteil (Güte D) von 10% an der gesamten Holzeinschlagsmenge veranschlagt, um der auftretenden Rotfäule Rechnung zu tragen. Mithilfe von Holzpreisinformationen aus dem Alb-Donau-Kreis (Mittel der letzten 10 Jahre) wurde aus den erhobenen Daten der Holzerlös errechnet. Der durchschnittliche Holzerlös für Fichtenstammholz ist in Tabelle 4 dargestellt. Für Industrieholz beträgt der Durchschnittspreis 22,00 €/Fm.

Tabelle 4: Durchschnittliche Stammholzerlöse für Fichte im Alb-Donau-Kreis in den vergangenen zehn Jahren.

Stärkeklasse	B	C
L1b	73,60 €/Fm	58,88 €/Fm
L2a	82,60 €/Fm	66,08 €/Fm
L2b	90,60 €/Fm	72,48 €/Fm
L3a	90,60 €/Fm	72,48 €/Fm
L3b	90,60 €/Fm	72,48 €/Fm
L4a	90,60 €/Fm	72,48 €/Fm
L4b	90,60 €/Fm	72,48 €/Fm
L5	87,60 €/Fm	70,08 €/Fm
L6	81,60 €/Fm	65,28 €/Fm

Während die bei einem Kahlhieb anfallende Holzeinschlagsmenge exakt dem jeweils aktuell ermittelten Holzvorrat in Erntefestmetern entspricht, muss für das Szenario der

konventionellen Bewirtschaftung der Waldflächen ein waldwachstumskundliches Modell der o. g. Kalkulation vorgeschaltet werden. Damit wird der Zuwachs vom Zeitpunkt der Erhebung bis zum gewählten Erntezeitpunkt in der Zukunft simuliert. Verwendet wurden dafür die Zuwachstabellen der FVA Baden-Württemberg. Die Durchführung von Holzerntemaßnahmen verursacht neben den zuvor beschriebenen Erlösen auch Kosten. Diese sind vor allem von der Wahl des Holzernteverfahrens abhängig. Die Auswahl des jeweiligen Verfahrens erfolgte im Rahmen der Datenaufnahmen vor Ort und berücksichtigt somit die individuellen Gegebenheiten der Bestände. Dabei zeigte sich, dass sich die überwiegende Mehrheit der für Maßnahmen vorgeschlagenen Bestände für eine teilmechanisierte Holzernte eignet. Lediglich ein Bestand brachte nicht die notwendigen Voraussetzungen zur teilmechanisierten Holzernte mit und wurde daher in einem motormanuellen Holzernteverfahren kalkuliert. Das teilmechanisierte Holzerntesystem setzt sich aus einem aufarbeitenden Harvester mittlerer Größe und einem Forwarder, der die anschließende Holzbringung übernimmt, zusammen. Der Mittelblock, der sich außerhalb der Kranzone des Harvesters befindet, wird durch motormanuell zugefällt. Die Bestände zeigen ein regelmäßiges Rückegassennetz mit mittleren Abständen von 40 m, sodass der Mittelblock 50% der aufzuarbeitenden Fläche einnimmt. Im Vergleich zum teilmechanisierten Holzernteverfahren setzt sich das motormanuelle Holzerntesystem aus einem Forstspezialschlepper zur Bringung der Hölzer und Forstwirten zur Aufarbeitung des Holzes zusammen. Die Bringung des Holzes erfolgt dabei im Rohschaftverfahren. Der spätere Einschnitt in die vorgesehenen Sortimenten wird durch Forstwirte am Maschinenweg durchgeführt. Zur Berechnung der Holzerntekosten kam das Holzernteproduktivitätsmodell HeProMo von der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in der aktuellen Version 2.4 (2020) zum Einsatz. In Tabelle 5 sind die zur Kalkulation verwendeten Maschinen- und Personalkostensätze dargestellt. Die Kostensätze entsprechen den Marktpreisen in der Region. Um den Arbeitsschritt des Zufällens im teilmechanisierten Holzerntesystem entsprechend abzubilden, wurden zunächst die Kosten der motormanuellen Aufarbeitung berechnet und diese anschließend um einen Korrekturfaktor von 0,25 bereinigt. Der Korrekturfaktor leitet sich aus 50% der Fläche und 50% des Zeitaufwands im Vergleich zur motormanuellen Aufarbeitung ab.

Tabelle 5: Übersicht der Maschinen- und Personalkostensätze zur Berechnung der Holzerntesystemkosten.

Kostenfaktor	Kosten
Forstwirt	35,00 €/h
Motorsäge	8,50 €/h
Harvester (mittel)	110,00 €/h
Forwarder	50,00 €/h
Forstspezialschlepper	50,00 €/h

Wird ein Bestand im Kahlhiebsverfahren geerntet, muss die Fläche anschließend wieder in Bestockung gebracht werden. Für die Berechnungen nahmen wir an, dass an der Stelle eines ehemaligen Fichtenbestands wieder Fichte gepflanzt wird. In Tabelle 6 wird die Kalkulationsgrundlage zur Berechnung der Fichtenwiederbegründung abgebildet. Der ausgewählte Quadratverband zur Pflanzung beträgt 2,5 x 2,5 m. Aus diesen Annahmen resultieren Wiederbegründungskosten für den Fichtenanbau in Höhe von 1.733,33 €/ha. Würden die Maßnahmenflächen nicht im Kahlhiebsverfahren geerntet, sondern eine

Begründung des Folgebestands aus Naturverjüngung angestrebt, wäre nach den letzten beiden Erntehieben jeweils eine Schlagpflege erforderlich, bei der beschädigte Bäume aus der Naturverjüngung entfernt werden. Für die Schlagpflege wurde mit einem Zeitaufwand von 15 h/ha kalkuliert, was zu Schlagpflegekosten von 525 €/ha führt. Zudem gingen wir bei den Berechnungen davon aus, dass sich auch bei konventioneller Bestandesbehandlung mit natürlicher Verjüngung auf 20% der Fläche keine Naturverjüngung einstellt oder diese beschädigt ist und somit künstlich ausgebessert werden muss.

Tabelle 6: Kalkulationsgrundlage für den Fichtenanbau.

Verfahren	Leistung	Pflanzzahl	Preis je Pflanze	Forstwirt
Rhodener Verfahren	60 St/h	2.000 St/ha	0,60 €/St	35,00 €/h

Die ökonomische Bewertung der Kahlhiebsmaßnahmen basiert auf den Grundsätzen der dynamischen Investitionsrechnung (z.B. Oesten & Roeder 2012). Hierzu wurden jahresbezogene Nettoein- und -auszahlungen mithilfe eines Zinssatzes zu Kapitalwerten (Barwerten) diskontiert. Auf diese Weise konnte der finanzielle Vor- oder Nachteil durch die Ernte der Bestände im Kahlhiebsverfahren im Vergleich zur konventionellen Bestandesbewirtschaftung in Form eines Kapitalwerts beziffert werden. Für die Diskontierung der Ein- und Auszahlungen wird ein Zinssatz von 2,0% gewählt. Um das mit Steigerung von Bestandesalter und -höhe kontinuierlich wachsende Risiko der Fichtenbewirtschaftung adäquat in die Berechnungen einfließen zu lassen, berücksichtigten wir einen Risikozuschlag von 0,25% für jeden zusätzlichen Höhenmeter ab einer Bestandeshöhe von 25 m. Die mittlere Bestandeshöhe konnte dabei aus der Oberhöhe der Bestände abgeleitet werden. Dazu wurde das entsprechende Tabellenwerk aus den Hilfstabellen für die Forsteinrichtung der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg herangezogen.

Neben den Berechnungen der tatsächlich oder fiktiv durchgeführten Kahlhiebe in nicht hiebsreifen Beständen wurden modellhafte Kalkulationen über die finanziellen Vor- oder Nachteile von Kahlhieben in bereits hiebsreifen Beständen durchgeführt. Als hiebsreif wurden Fichtenbestände angesehen, die einen mittleren BHD von 40 bis 45 cm aufweisen und eine Bestandeshöhe von 25 m überschreiten. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass der Folgebestand bei einer Ernte der Bestände im Kahlhiebsverfahren künstlich begründet werden muss und bei konventioneller Behandlung auf Naturverjüngung zurückgegriffen werden kann. Zusätzlich kann ein gewisser Anteil des laufenden Zuwachses durch den verlängerten Verjüngungszeitraum genutzt werden. Daher wurden drei Modellberechnungen für die drei unterschiedlichen Ertragsklassen der vorgefundenen Fichtenbestände durchgeführt. Das Vorgehen war analog zur oben beschriebenen Bewertung von Kahlhieben in nicht-hiebsreifen Beständen.

3.3.2.2 Modellrechnungen rotierendes Kahlhiebssystem

Ein möglicher Managementansatz zur Förderung von Lichtwaldarten in Wäldern besteht in der permanenten Bereitstellung frischer Kahlhiebsflächen, sofern diese in einem räumlichen und zeitlichen Verbund zueinander angelegt werden und somit ein „rotierendes System“ bilden. Durch waldertragskundliche Modellrechnungen wurde die optimale forstliche Produktionszeit von Fichtenbeständen für ein rotierendes Kahlhiebssystem untersucht. Die

Wahl der Produktionszeit entscheidet über den Anteil an Lichtwaldflächen und nimmt gleichzeitig einen wesentlichen Einfluss auf die Rentabilität der Bestandesbewirtschaftung.

Table 7: Standardmäßiges Behandlungsmodell eines Fichtenbestandes auf einem durchschnittlichen Standort der Ertragsklasse dgZ 14 Vfm/ha.

Bestandesalter	Ereignis	Höhe	BHD
1	Begründung	-	-
10	1. Jungbestandspflege	-	6 cm
20	2. Jungbestandspflege	-	12 cm
30	1. Durchforstung	12 m	15 cm
35	2. Durchforstung	15 m	18 cm
40	3. Durchforstung	17 m	21 cm
45	4. Durchforstung	20 m	24 cm
50	5. Durchforstung	22 m	27 cm
55	6. Durchforstung	23 m	30 cm
60	7. Durchforstung	25 m	33 cm
65	8. Durchforstung	27 m	36 cm
70	9. Durchforstung	28 m	39 cm
75	Kahlhiebsmaßnahme	29 m	42 cm
76	Wiederbegründung	-	45 cm

Table 7 stellt exemplarisch die standardmäßige Bestandesentwicklung auf einem durchschnittlichen Standort der Ertragsklasse dgZ 14 Vfm/ha dar. Das Produktionsziel liegt in diesem Standardmodell bei einem Zieldurchmesser von 45 cm, der in einem Zeitraum von 75 Jahren erreicht werden soll. Dieses Modell entspricht den aktuellen waldbaulichen Vorstellungen und Empfehlungen einer risikogeminderten Fichtenbewirtschaftung (FVA 2014). In den Modellrechnungen untersuchten wir, wie sich eine schrittweise Absenkung der Produktionszeit bis zu einem Alter von 50 Jahren auf den Anteil der Lichtwaldfläche und die Rentabilität auswirken würde. Für die Behandlungsmodelle bedeutet dies, dass mit jeder Absenkung der Produktionszeit der Zeitpunkt der Kahlhiebsmaßnahme zeitlich früher eintreten und sich die Anzahl der Durchforstungen reduzieren würde. Es wurden auf diese Weise drei unterschiedliche Ertragsklassen analysiert, die eine möglichst große Bandbreite an Fichtenbeständen repräsentieren sollen. Während die Höhenentwicklung der Bestände als von der jeweiligen Ertragsklasse abhängig angenommen wurde, wurde über alle Ertragsklassen hinweg eine konstante Durchmesserentwicklung von 6 mm/Jahr angenommen, da die Durchmesserentwicklung von Beständen in erster Linie von der Art der Durchforstung abhängt, während die Güte eines Standorts über Höhenzuwachs und Volumenleistung entscheidet. In jedem Berechnungsmodell wurde zwischen motormanueller und teilmechanisierter Holzernte unterschieden. Es wurde die Annahme getroffen, dass im Rahmen der Durchforstung bei jedem Eingriff 80% des laufenden Volumenzuwachses abgeschöpft werden.

Als Habitateignungszeitraum für Lichtwaldarten setzten wir – konservativ, jedoch entsprechend unserer Erfahrungen aus dem Alb-Donau-Kreis – fünf Jahre im Anschluss an den Hieb an.

Zur Einschätzung der Rentabilität der Bestandesbewirtschaftung wurden erneut die Grundsätze der dynamischen Investitionsrechnung herangezogen. Der Kapitalwert aus den diskontierten Nettoein- und -auszahlungen wurde als jährliche Annuität berechnet. Die Modellberechnungen enthalten einen Zinssatz von 2,0% und einen Risikozuschlag von 0,25% ab der Bestandeshöhe von 25 m (vgl. Kapitel 3.3.2.1). Die Methodik zur Herleitung der Sortimente und Preise, der Holzerntekosten sowie der Kosten zur Wiederbegründung kann aus Kapitel 3.3.2.1 entnommen werden.

3.3.2.3 Bewertungsmethodik für Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten und Waldrändern

Neben Kahlhieben stellen auch Pflege- und Auflichtungsmaßnahmen an Sonderstandorten, Wald- und Wegerändern eine Möglichkeit zur Förderung von Lichtwaldarten dar. Im Vergleich zu Kahlhieben, die in der Regel auf produktiven Holzbodenflächen von Forstbetrieben durchgeführt werden, konzentrieren sich Pflegemaßnahmen normalerweise auf Bereiche, die keiner oder nur einer stark eingeschränkten forstlichen Nutzung unterliegen. Teilweise können Synergien mit der herkömmlichen Bewirtschaftung durch die Forstbetriebe entstehen (z.B. Offenhalten des Lichtraumprofils an Fahrwegen). Ziel der im Rahmen des Projekts durchgeführten Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten und Wald-/Wegrändern war es, Rote Heckenkirschen von konkurrierender Vegetation zu befreien und somit sonnig zu stellen. Wir zeigen auf, welche Kosten durch die Umsetzung der exemplarischen Habitat-Managementmaßnahmen im Rahmen des Projekts entstanden sind.

3.3.2.4 Methodik zur Potenzialanalyse für die Generierung von Ökopunkten

Obwohl der Blauschwarze Eisvogel in Baden-Württemberg stark gefährdet ist, ist die Art derzeit nicht in der spezifischen Artentabelle für das naturschutzrechtliche Ökokonto gelistet. Durch eine Anfrage bei der Unteren Naturschutzbehörde im Alb-Donau-Kreis wurde allerdings geklärt, inwiefern Maßnahmen zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels auf das Ökokonto von Kommunen und privaten Waldbesitzenden angerechnet werden können und ob eine Anrechenbarkeit auch im Falle wechselnder Habitatflächen (rotierendes System) gegeben ist.

Basierend auf der Einschätzung der Naturschutzbehörde wurde das Potenzial zur Generierung von Ökopunkten über ein System rotierender Habitatflächen für eine fiktive Gemeinde mit einer geeigneten Waldfläche von rund 20 ha analysiert. Waldflächen in ebener Lage oder mit Südost- bis Südwestexposition und mit einem Fichtenanteil von mindestens 75% können als potenziell geeignete Hiebsflächen für ein rotierendes Kahlhiebsystem erachtet werden. Eine Kulisse von rund 20 ha geeigneter Waldflächen dürfte für viele mittelgroße und große kommunale Waldbesitzer auf der Schwäbischen Alb realistisch sein. Die Beispielrechnung basiert auf den Grundsätzen der Kapitalwertmethode (vgl. Kapitel 3.3.2.1), das heißt, es wurden Nettoein- und -auszahlungen in einer Zahlungszeitreihe über einen Zeitraum von 30 Jahren dargestellt und mit Hilfe eines Zinssatzes von 2,0% auf den Barwert diskontiert. Der abgebildete Zeitraum von 30 Jahren repräsentiert den über die Ökokonto-Verordnung vertraglich geregelten Zeitraum für den eine Habitatbereitstellung gesichert sein muss. Basierend auf unseren Ergebnissen aus Kapitel 3.4.2.2 wurde eine Produktionszeit (Rotationszeit) der Fichtenbestände von 60 Jahren angenommen. Wir gingen davon aus, dass Kahlhiebe nach ihrer Entstehung für mindestens fünf Jahre Habitateignung für den Blauschwarzen Eisvogel aufweisen und dass ein 1 ha großes Ankergrundstück als permanente Habitatfläche während des gesamten Zeitraums zur Verfügung steht und durch gezielte

Pflegemaßnahmen in einem dreijährigen Turnus offengehalten wird. Als Kosten für die Offenhaltung setzten wir entsprechend unserer Ergebnisse aus Kapitel 3.4.2.3 3.511,99 €/ha (durchschnittliche Maßnahmenkosten) an. Desweiteren bezogen wir Kosten von 383,00 €/ha für die Ergänzungspflanzung von 100 Roten Heckenkirschen je Hektar ein, damit auch auf Flächen mit einem anfangs spärlichen Vorkommen der Roten Heckenkirsche eine schnelle Habitategnung für den Blauschwarzen Eisvogel hergestellt werden kann. Die Kosten für die Pflanzung von Fichte wurden auf 2.950,00 €/ha geschätzt. In der Beispielrechnung wurde von einer gesicherten Etablierung des Blauschwarzen Eisvogels auf den Kahlhiebsflächen ausgegangen. Für die Berechnungen erstellten wir eine Kalkulationsvorlage in Microsoft Excel 2016.

Um die Rentabilität der Ökopunkte-Generierung mit der Annuität der konventionellen Fichtenbewirtschaftung vergleichen zu können, berechneten wir unter Annahme eines Verkaufspreises von 0,60€/ÖP aus der Zahl der generierten Ökopunkte den diskontierten Geldwert und die Annuität bezogen auf eine Zeitdauer von 30 Jahren. Der angenommene Verkaufspreis von 0,60€/ÖP ist im Vergleich mit derzeit im Alb-Donau-Kreis üblichen Handelswerten konservativ gewählt.

3.4 Habitatmanagement für den Blauschwarzen Eisvogel: Ergebnisse und Diskussion

3.4.1 Wirksamkeit der Habitat-Managementmaßnahmen

Im Rahmen des Projekts konnten 16 verschiedene Fördermaßnahmen für den Blauschwarzen Eisvogel und andere Lichtwaldarten umgesetzt werden. Für 14 Maßnahmenflächen konnte eine Maßnahmeevaluation hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den Blauschwarzen Eisvogel durchgeführt werden. Die durchgeführten Maßnahmen umfassten Kleinkahlhiebs sowie Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten und Wald-/Wegrändern (siehe Abbildung 18).



Abbildung 18: Exemplarisch im Rahmen des Projekts durchgeführte Habitat-Managementmaßnahmen. a) Kleinkahlhieb im Staatswald bei Allmendingen, b) Auflichtung eines felsdurchsetzten Steilhangs (Sonderstandort) und c) Pflegemaßnahme an einem Waldrand im Blaubeurer Kommunalwald. Die Aufnahmen sind ein halbes bzw. eineinhalb Jahre nach Umsetzung der Maßnahme entstanden.

Die Präsenzwahrscheinlichkeit des Blauschwarzen Eisvogels stieg mit der Anzahl der auf einer Habitatfläche vorhandenen Roten Heckenkirschen und mit zunehmender Sonneneinstrahlung im Monat Juli an. Zudem waren in den Jahren 2020/21 und 2021/22 generell mehr Habitatflächen vom Blauschwarzen Eisvogel besiedelt als im Winter 2019/20. Dies kann sowohl auf jährliche Populationsschwankungen als auch auf die Zunahme an

Habitat eignungsflächen zurückzuführen sein. Auf „Sonderstandorten“ war die Präsenzwahrscheinlichkeit gegenüber „Kahlhieben“ und „Wald-/Wegrändern“ erhöht.

Auch die Siedlungsdichten des Blauschwarzen Eisvogels lagen auf den besiedelten Flächen in den Jahren 2020/21 und 2021/22 deutlich höher als 2019/20. Zudem zeigte sich hinsichtlich der Abundanz ein positiver Effekt der potenziellen sommerlichen Sonneneinstrahlung. Darüber hinaus waren deutliche Effekte der durchgeführten Management-Maßnahmen zu erkennen (Abbildung 19). Auf Sonderstandorten und an Wald-/Wegrändern erhöhten sich die Siedlungsdichten bereits unmittelbar nach Maßnahmenumsetzung auf fast das Dreifache. Während der Effekt an Sonderstandorten auch im zweiten Jahr nach Maßnahmenumsetzung anhielt, ging die Siedlungsdichte an Wald-/Wegrändern im zweiten Jahr nach Maßnahmenumsetzung wieder zurück, lag aber weiterhin bei rund dem Zweifachen des Ausgangswerts. Die besonders hohe Wirksamkeit der Maßnahmen im ersten Jahr könnte möglicherweise in einer geringeren Zahl von Fressfeinden/Parasitoiden in neuen Habitaten begründet sein. Auch auf Kahlhiebsflächen war eine schnelle Wirksamkeit der Maßnahmen zu verzeichnen. Bereits im zweiten Jahr nach dem Hieb waren die Siedlungsdichten vergleichbar mit älteren Kahlhiebsflächen, die als Referenz erfasst wurden.

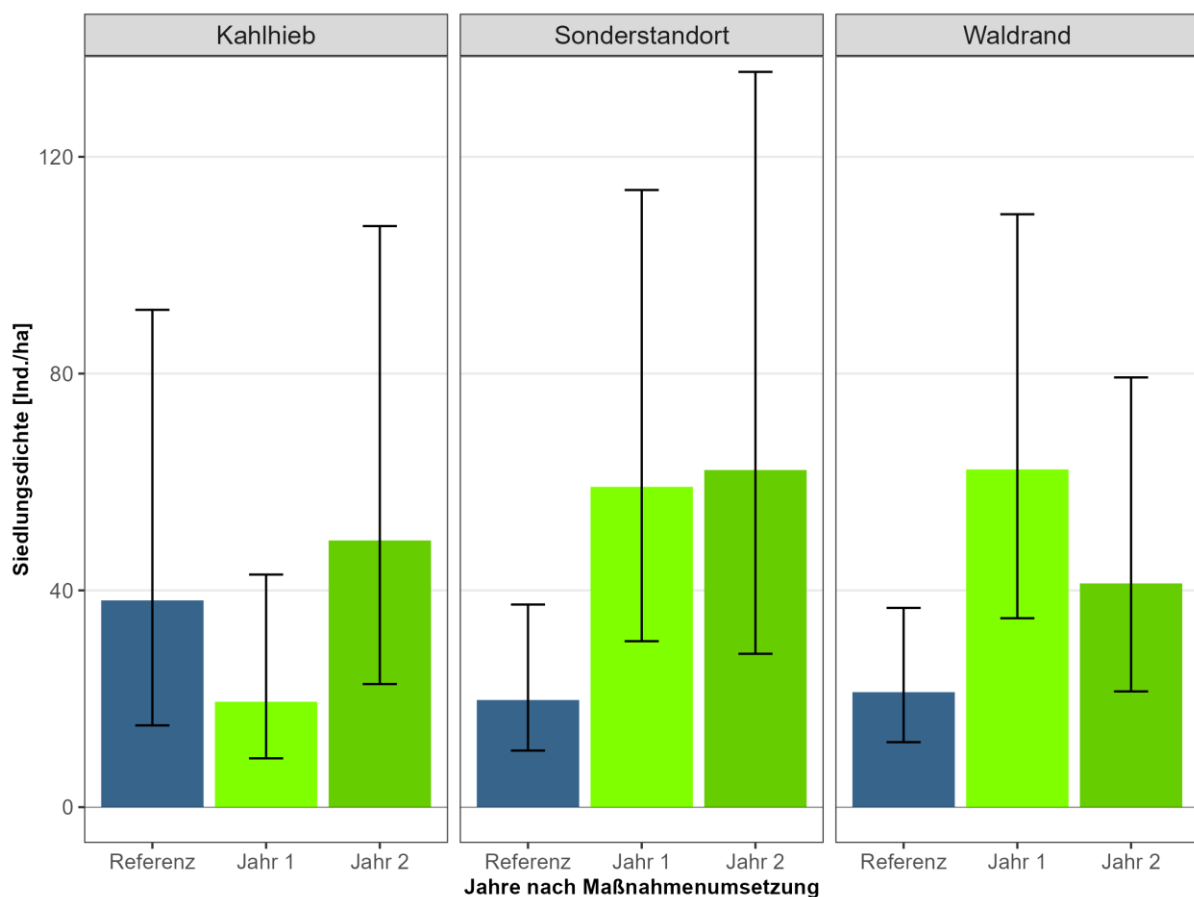


Abbildung 19: Effekt der unterschiedlichen Typen von Habitatmanagement-Maßnahmen auf die Siedlungsdichte der *Hibernacula* des Blauschwarzen Eisvogels. Die im Projektzeitraum realisierten Kahlhiebe erreichten bereits im zweiten Jahr nach Maßnahmenumsetzung eine mindestens so hohe Flächeneignung wie bestehende, ältere Kahlschlagsflächen (Median \pm 95% Konfidenzintervall). Auf Sonderstandorten und entlang von Wald-/Wegrändern waren bereits im ersten Jahr nach Maßnahmenumsetzung deutlich höhere Siedlungsdichten als vor der Maßnahmenumsetzung zu verzeichnen.

Abschließend betrachtet halten wir daher sowohl Kleinkahlhiebe als auch landschaftspflegerische Eingriffe an Sonderstandorten und entlang von Wald- und Wegrändern zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels für geeignet.

3.4.2 Ökonomische Bewertung der Habitat-Managementmaßnahmen

Eine wichtige Zielsetzung des Forschungsprojekts war die transparente Darlegung der Kosten, die im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten, insbesondere des Blauschwarzen Eisvogels, entstehen. Hierzu wurden die Maßnahmen neben einer naturschutzfachlichen Evaluation auch einer ökonomischen Bewertung unterzogen.

3.4.2.1 Bewertung der Kahlhiebsmaßnahmen

Die Ergebnisse zur Bewertung der Kahlhiebsmaßnahmen in Fichtenbeständen basieren auf 13 konkreten Maßnahmen in noch nicht hiebsreifen Beständen und drei Modellrechnungen für hiebsreife Bestände. Errechnet wurde dabei der monetäre Vor- bzw. Nachteil, der sich aus einem Vergleich zwischen einer Kahlhiebsmaßnahme zur Förderung von Lichtwaldarten und der konventionellen Bewirtschaftung der Fichtenbestände ergibt. Es handelt sich hierbei also um Opportunitätskosten, die für einen Waldbesitzer durch die Maßnahmenumsetzung entstehen – ausgedrückt als Kapitalwert aus diskontierten Nettoein- und -auszahlungen.

In Abbildung 20 werden diese Kapitalwerte in Abhängigkeit von der Zeitdauer bis zum Eintreten der Hiebsreife dargestellt. In allen untersuchten Fallbeispielen und Modellrechnungen entstand dem Waldbesitzer durch den Kahlhieb ein finanzieller Nachteil. Dieser lag in hiebsreifen Beständen bei 2.409,40 €/ha. Die finanzielle Belastung erhöhte sich mit zunehmender Zeitdauer bis zur Hiebsreife und lag zehn Jahre vor der Hiebsreife bei 7.460,10 €/ha, 20 Jahre vor der Hiebsreife bei 10.513,20 €/ha und 30 Jahre vor der Hiebsreife bei 11.568,70 €/ha. Die abnehmende Steigerungsrate bei zunehmender Zeitdauer bis zur Hiebsreife ist vor allem auf den Zinseszinsseffekt zurückzuführen, dessen Einfluss bei längeren Zeiträumen immer mehr zum Tragen kommt. Der durch eine Holzernte im Kahlhiebsverfahren verursachte monetäre Schaden resultierte dabei vor allem aus den entgangenen Zuwächsen, die bei konventioneller Bestandesbehandlung durch regelmäßige Durchforstungen bis zum Zeitpunkt der Ernte entnommen werden können. Zudem steigt mit zunehmendem Bestandesalter die Stückmasse der Einzelbäume, was eine Reduktion der Holzerntekosten zur Folge hat. Zuletzt bietet eine konventionelle Behandlung der Bestände im Vergleich zur Kahlhiebswirtschaft den Vorteil, dass der Folgebestand überwiegend aus Naturverjüngung begründet werden kann.

In Abbildung 21 sind die Opportunitätskosten, die bei der Durchführung eines Kahlhiebs zur Förderung von Lichtwaldarten entstehen, als Funktion des Bestandesalters dargestellt. Zwischen dem errechneten Kapitalwert und dem Bestandesalter zum Zeitpunkt des Hiebs besteht ein sehr starker Zusammenhang ($R^2 = 0,92$). Bei Ernte eines Fichtenbestandes im Alter von 50 Jahren entstehen für den Forstbetreib monetäre Belastungen in Höhe von 13.023,50 €/ha. Für 60- und 70-jährige Fichtenbestände liegt der entsprechende Wert bei 9.043,00 €/ha bzw. 5.062,50 €/ha. Die finanzielle Belastung für die Auswahl von Beständen im Alter von 75 Jahren entstammt einer Modellrechnung für hiebsreife Bestände und beträgt 3.072,25 €/ha.

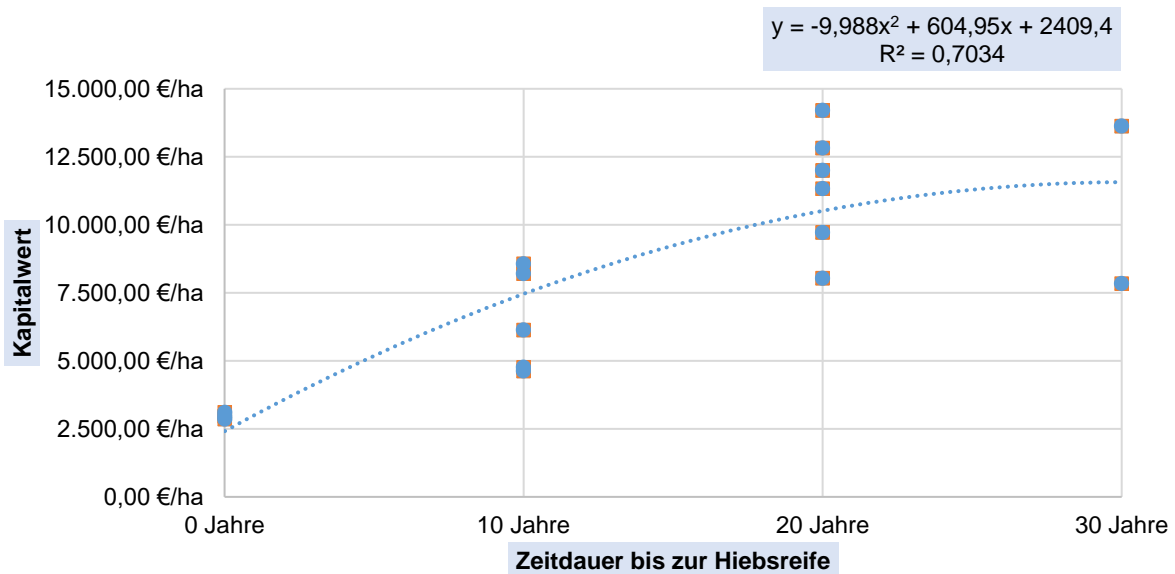


Abbildung 20: Finanzieller Nachteil von Kahlhiebsmaßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten im Vergleich zur konventionellen Fichtenbewirtschaftung in Abhängigkeit von der Zeitdauer bis zum Eintreten der Hiebsreife. Den Berechnungen liegt ein Zinssatz von 2,0% zugrunde. Das Risiko der zunehmenden Bestandeshöhe wird durch einen Risikozuschlag von 0,25% für jeden zusätzlichen Höhenmeter ab einer Bestandeshöhe von 25 m abgebildet.

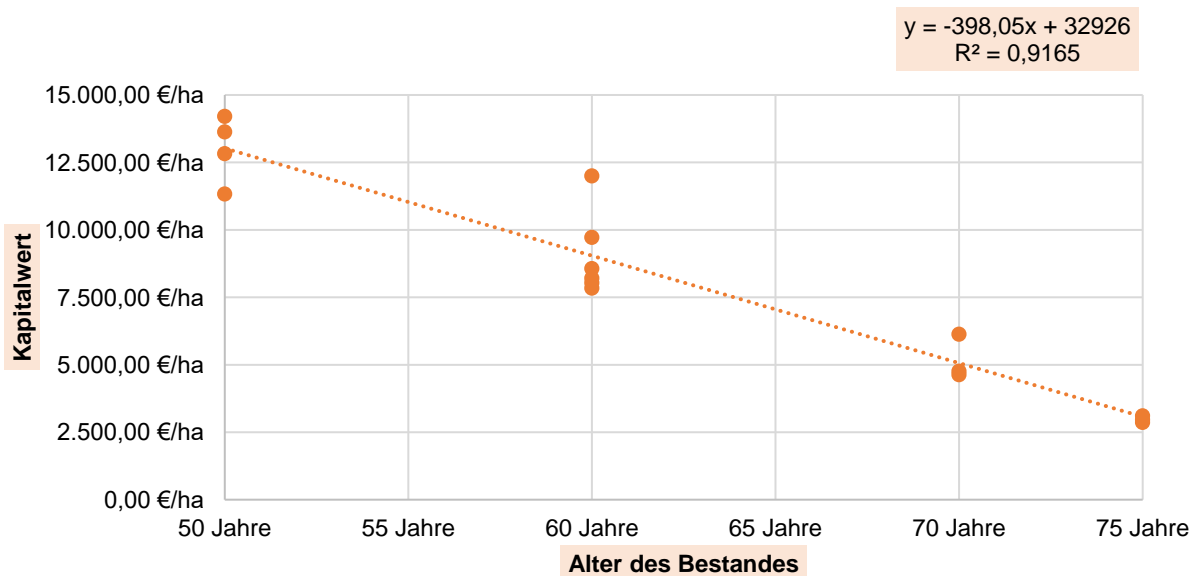


Abbildung 21: Finanzieller Nachteil von Kahlhiebsmaßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten im Vergleich zur konventionellen Fichtenbewirtschaftung in Abhängigkeit vom Alter des Bestandes. Den Berechnungen liegt ein Zinssatz von 2,0% zugrunde. Das Risiko der zunehmenden Bestandeshöhe wird durch einen Risikozuschlag von 0,25% für jeden zusätzlichen Höhenmeter ab einer Bestandeshöhe von 25 m abgebildet.

In erster Linie ist diese Belastung auf die Notwendigkeit der Bestandesneubegründung (keine Naturverjüngung) zurückzuführen. Dieser finanzielle Mehraufwand fällt auch bei Beständen jenseits eines Alters von 75 Jahren an und kann als Mindestbelastung für Forstbetriebe angesehen werden, die Kahlhiebsmaßnahmen zur Förderung von Lichtwaldarten durchführen.

Auf Grundlage unserer Ergebnisse empfehlen wir Kahlhiebe zur Förderung von Lichtwaldarten vor allem in Fichtenbeständen mit einem Mindestalter von 70 Jahren, da sich dadurch Opportunitätskosten minimieren lassen.

3.4.2.2 Modellrechnungen rotierendes Kahlhiebssystem

Die optimale Produktionszeit für Fichtenbestände dreier unterschiedlicher Ertragsklassen ist in Abbildung 22 dargestellt. Für jede Ertragsklasse wird zwischen motormanueller und teilmechanisierter Holzernte unterschieden. Der Anteil an Lichtwaldflächen (Bestandesalter ≤ 5 Jahre) innerhalb des Systems nimmt für alle Ertragsklassen und unabhängig vom Holzernteverfahren mit sinkender Produktionszeit zu. Die Rentabilität der Bestandesbewirtschaftung, ausgedrückt als Annuität, fällt bei Produktionszeiten unter 60 Jahren deutlich ab. Einzige Ausnahme stellen hierbei Fichtenbestände der Ertragsklasse dgZ 16 Vfm/ha dar, die in einem motormanuellen Holzerntesystem aufgearbeitet werden. Für Fichtenbestände in einem rotierenden Kahlhiebssystem kann folglich eine Produktionszeit (Rotationszeit) von 60 Jahren empfohlen werden.

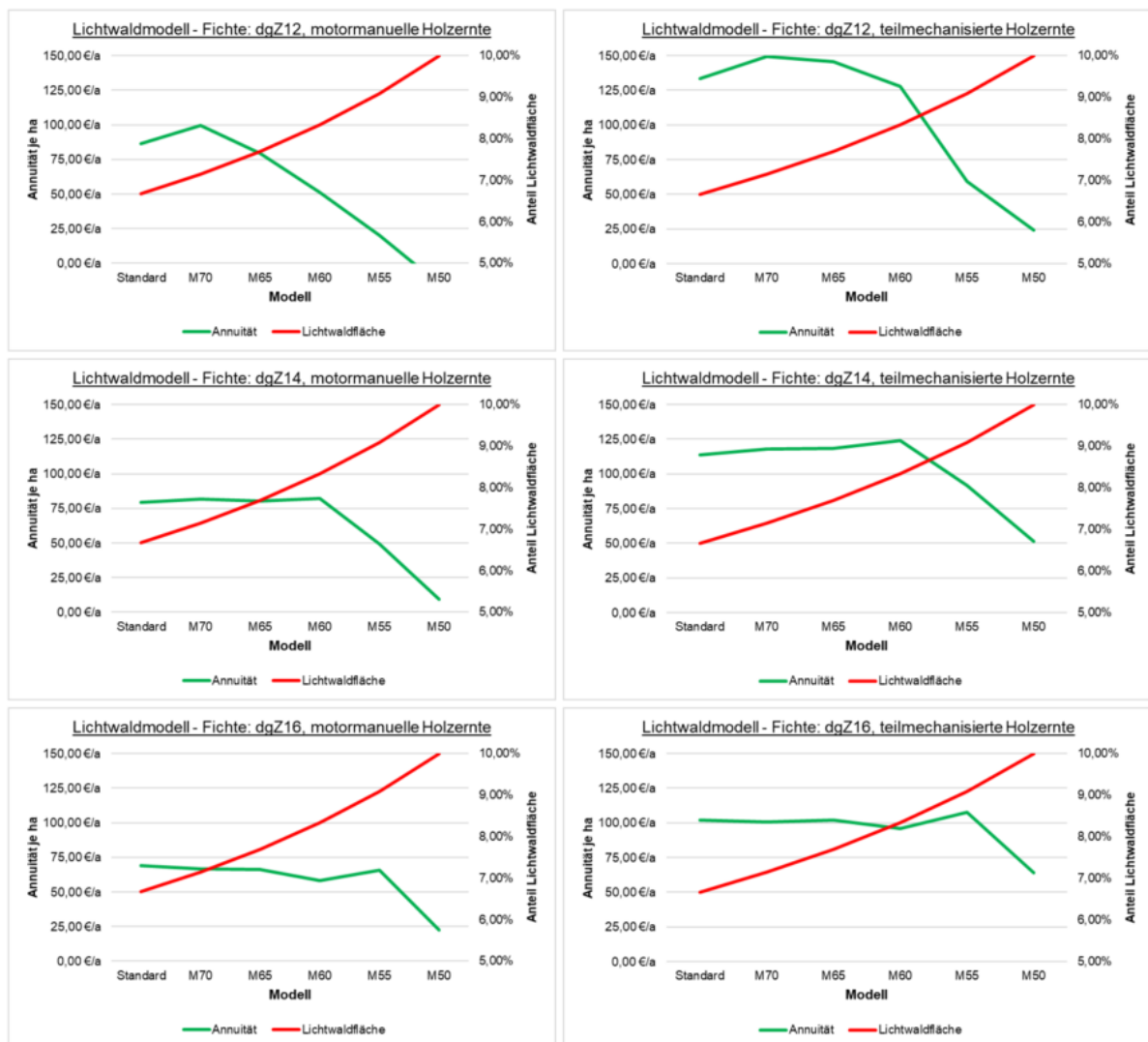


Abbildung 22: Modellberechnungen zur optimalen Produktionszeit (Rotationszeit) von Fichtenbeständen im rotierenden Kahlhiebssystem zur Förderung von Lichtwaldarten. Den Berechnungen liegt ein Zinssatz von 2,0% zugrunde. Das Risiko der zunehmenden Bestandeshöhe wird durch einen Risikozuschlag von 0,25% für jeden zusätzlichen Höhenmeter ab einer Bestandeshöhe von 25 m abgebildet.

Im Vergleich zur üblichen risikogeminderten Behandlungsvariante mit einer Produktionszeit von 75 Jahren (Modellvariante Standard) kann durch eine Verkürzung der Produktionszeit um 15 Jahre der Anteil an Lichtwaldflächen innerhalb des Gesamtsystems von 6,7% auf 8,3% gesteigert werden. Die für Lichtwaldarten verfügbare Habitatfläche wird dadurch um fast 25% erhöht.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass Überlegungen zur Optimierung ökonomischer und ökologischer Parameter nicht immer als „Trade-Off“ gesehen werden müssen. Im hier dargelegten Beispiel kann durch eine Reduktion der Produktionszeit (Rotationszeit) der Fichtenbestände das Lebensraumangebot für Lichtwaldarten gesteigert werden ohne dafür eine verringerte Rentabilität in Kauf nehmen zu müssen. Aus forstökonomischer Sicht bietet eine Absenkung der Produktionszeit zudem den Vorteil das Produktionsrisiko der Fichtenwirtschaft zu reduzieren. Diesem Vorteil wird insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels eine besondere Bedeutung zuteil.

3.4.2.3 Bewertung von Pflegemaßnahmen an Sonderstandorten und Waldrändern

Auflichtungen von Blockhalden und steilen Hangwäldern (Sonderstandorten) sowie entlang von Wald- und Wegerändern stellen neben der gezielten Durchführung von Kahlhieben eine weitere Möglichkeit zur Förderung von Lichtwaldarten dar. Für den Blauschwarzen Eisvogel ist hierbei insbesondere die Freistellung der Roten Heckenkirsche entscheidend. Im Rahmen des Projekts wurden an verschiedenen Standorten landschaftspflegerische Auflichtungsmaßnahmen durchgeführt. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Maßnahmenkosten.

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht über die entstandenen Kosten bei Pflegemaßnahmen zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels an Sonderstandorten, Wald- und Wegerändern.

Kommune	Besitzart	Forstrevier	Distrikt (Abteilung)	Fläche	Kosten	
Allmendingen	Privatwald	-	-	0,89 ha	1.015,00 €	1.140,45 €/ha
Blaubeuren	Kommunalwald	16	4 (8), 3 (11), 4 (13), 4 (16)	1,00 ha	3.315,00 €	3.315,00 €/ha
Schelklingen	Staatswald	4	46 (29)	0,27 ha	1.247,70 €	4.621,11 €/ha
Schelklingen	Staatswald	4	46 (28, 29)	0,48 ha	837,50 €	1.744,79 €/ha
Blaustein	Kommunalwald	15	2 (1)	0,29 ha	1.954,20 €	6.738,62 €/ha

Mit einer Spanne von 1.140,45 €/ha bis 6.738,62 €/ha war eine große Variabilität der Maßnahmenkosten in Abhängigkeit vom Standort und der Art der Ausführung festzustellen. Im Mittel betragen die Kosten zur Habitatpflege 3.511,99 €/ha. Entscheidende Kostenfaktoren waren das Relief der Maßnahmenfläche, die Ausprägung der vorhandenen und zu entfernenden Gehölze sowie das Abräumen und der Abtransport des Nichtderbholzes. Mit Ausnahme der Maßnahmenfläche bei Allmendingen wurde das Schnittmaterial in allen Fällen abgeräumt und abtransportiert.

Ein Vergleich zwischen einzelnen im Projekt durchgeführten Maßnahmen ist bedingt durch die örtlich sehr unterschiedlichen Ausgangssituationen schwierig. Viele der im Rahmen des Projekts realisierten Maßnahmen wurden (anteilig) über die Landschaftspflegerichtlinie finanziert. Ebenso wäre es möglich, bei einer entsprechenden Dauerhaftigkeit Maßnahmen auf das kommunale Ökokonto anzurechnen. Auch Maßnahmen auf rotierenden Flächen

könnten bei entsprechender konzeptioneller Grundlage durch Ökopunkte vergütet werden (vgl. Kapitel 3.4.2.4). Erwähnenswert ist auch, dass Pflegemaßnahmen an Wald- und Wegrändern oft Synergien mit der Wegeunterhaltung (Offenhaltung des Lichtraumprofils) bieten.

3.4.2.4 Generierung von Ökopunkten

Auf Anfrage bei der Unteren Naturschutzbehörde im Alb-Donau-Kreis wurde die Anrechenbarkeit von Schutzmaßnahmen zum Erhalt des Blauschwarzen Eisvogels auf das Ökokonto geprüft. Eine Anrechenbarkeit von Fördermaßnahmen für den Blauschwarzen Eisvogel auf das Ökokonto ist nach Einschätzung der Naturschutzbehörde grundsätzlich möglich, da die Art stark gefährdet und Baden-Württemberg in hohem Maße für ihren Erhalt verantwortlich ist. Die Anrechnung der Ökopunkte für eine jeweilige Maßnahme würde in zwei Schritten erfolgen: Zunächst würden nach Durchführung der Maßnahme 20% der Ökopunkte gutgeschrieben. Die übrigen 80% der Ökopunkte wären dann nach konstanter Etablierung einer Population des Blauschwarzen Eisvogels anrechenbar. In Anbetracht der hohen Gefährdung des Blauschwarzen Eisvogels hält die Untere Naturschutzbehörde einen Ökopunkteansatz von ca. 15 Ökopunkten je Quadratmeter Habitatfläche für angemessen. Die Anrechenbarkeit von Maßnahmen auf das kommunale Ökokonto ist sowohl für die dauerhafte Offenhaltung von Sonderstandorten, Weg- und Waldrändern als auch für Habitatflächen in einem System rotierender Kahlhiebs gegeben. Im Falle wechselnder Habitatflächen ist nach Einschätzung der Unteren Naturschutzbehörde ein „Ankergrundstück“, dies ist eine Fläche, die dauerhaft offengehalten wird, zur dinglichen Sicherung im Grundbuch vorzuhalten.

Tabelle 9: Kostenfaktoren und Parameterwerte in der Beispielrechnung zur Generierung von Ökopunkten über ein rotierendes Kahlhiebsystem zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels.

Parameter	Wert	Bemerkung
geeignete Waldfläche	20,0 ha	≥ 75% Fichte, eben oder Südost- bis Südwest-exponiert.
Ankerfläche	1,0 ha	Dauerhafte Offenhaltung durch Pflege in 3-jährigem Turnus.
Produktionszeit	60 Jahre	Entsprechend Ergebnissen aus Kapitel 3.4.2.2.
Pflanzkosten Rote Heckenkirsche	383,00 €/ha	Ergänzungspflanzung von 100 Sträuchern (0,80 m – 1,20 m).
Pflanzkosten Fichte	2.950,00 €/ha	Pflanzung von 2000 Fichten zur Bestandesbegründung.
Pflegekosten Ankerfläche	3.511,99 €/ha	Pflege in 3-jährigem Turnus; Kalkulation der Pflegekosten entsprechend Ergebnissen aus Kapitel 3.4.2.3.
Ökopunkteansatz	15 ÖP/m ²	Entsprechend Einschätzung UNB Alb-Donau-Kreis vom 18.12.2019
Verkaufspreis Ökopunkte	0,60 €/ÖP	Wert bei derzeitiger Marktlage konservativ.
Zinsfuß	2,0%	

Die Beispielrechnung zur Generierung von Ökopunkten durch Fördermaßnahmen für den Blauschwarzen Eisvogel in einem rotierenden System weist klar auf die ökonomische Attraktivität dieses Ansatzes hin. Die der Beispielrechnung zugrundeliegenden Annahmen sind in Tabelle 9 aufgelistet. Bei einer Gesamtfläche der für ein rotierendes Kahlhiebsystem geeigneten Bestände von 20 ha würde das rotierende Kahlhiebsystem mit Ankerfläche die dauerhafte Bereitstellung von 2,6 ha Habitatfläche für den Blauschwarzen Eisvogel ermöglichen. Gleichzeitig könnten über die Maßnahmen 387.500 Ökopunkte generiert werden. Unter Berücksichtigung aller Nettoein- und auszahlungen gehen hieraus ein diskontierter Geldwert von 177.612,70 € und eine Annuität von 7.930,39 €/ha hervor. Die somit erzielte Annuität liegt deutlich über dem Wert, der durch konventionelle

Fichtenbewirtschaftung auf Standorten mit vergleichbarer Güte erzielt werden kann. Fördermaßnahmen für den Blauschwarzen Eisvogel auf das kommunale Ökokonto anzurechnen, könnte für Waldbesitzer also ein attraktives Geschäftsmodell sein.

4. Öffentlichkeitsarbeit, Publikationen und Vorträge

Projekthinhalte und -ergebnisse wurden in verschiedener Form in die Öffentlichkeit transportiert. Projektpartner und besonders am Projekt interessierte Personen wurden in insgesamt sieben Rundbriefen regelmäßig über die Entwicklung des Projekts und interessante Beobachtungen informiert. Zudem fanden am 27. Oktober 2020 und am 17. Februar 2022 zwei Workshops mit mehr als 25 bzw. über 70 Teilnehmenden statt (Abbildung 23). Die Workshops dienten dem Austausch der am Schutz der Lichtwaldarten beteiligten Akteure sowie der Präsentation der Projektergebnisse. Nicht zuletzt ging es auch darum, bestehende Zielkonflikte zwischen der Förderung von Lichtwaldarten und weiteren forstwirtschaftlichen Zielsetzungen anzusprechen und nach Lösungsmöglichkeiten zu suchen. Nach unserem Empfinden ist das Interesse am Schutz von Lichtwaldarten und die Bereitschaft zur Durchführung von Maßnahmen seit Projektbeginn deutlich gestiegen, wenngleich weiterhin gewisse Vorbehalte bestehen.



Abbildung 23: Projektworkshop unter Pandemie-Bedingungen in der Stadthalle Blaubeuren und auf einer Kahlhiebsfläche bei Schelklingen-Ingstetten.

Die breite Öffentlichkeit wurde über Artikel in zwei lokalen Tageszeitungen auf den Blauschwarzen Eisvogel und die Notwendigkeit der Förderung von Lichtwaldarten aufmerksam gemacht (Abbildung 24). Zudem wurde das Projekt im Gemeinderat von Merklingen und im Ortschaftsrat von Blaustein-Bermaringen vorgestellt. An ausgewählten Maßnahmen-Standorten informieren seit August 2020 vier Schautafeln über die lokalen faunistischen Besonderheiten und die im Rahmen des Projekts durchgeführten Auflichtungsmaßnahmen (Abbildung 25). Während der Geländearbeiten wurden zudem zahlreiche Gespräche mit interessierten Spaziergängern geführt. Die Projektergebnisse wurden in den nachfolgenden Publikationen, Konferenz- und Tagungsbeiträgen vorgestellt. Weitere wissenschaftliche Fachveröffentlichungen stehen noch aus. Vom Digitalisierungsteam der Hochschule Rottenburg wird derzeit ein Videoporträt des Projekts erstellt.

Publikationen

- Hinneberg, H., Döring, J., Hermann, G., Markl, G., Theobald, J., Aust, I., Bamann, T., Bertscheit, R., Budach, D., Niedermayer, J., Rissi, A., Gottschalk, T. K. (2022): Multi-surveyor capture-mark-recapture as a powerful tool for butterfly population monitoring in the pre-imaginal stage. *Ecology and Evolution* 12 (8), e9140. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9339765/>
- Hinneberg, H., Kőrösi, A., Gottschalk, T. K. (in Vorbereitung): Recording population size and dispersal of the Southern White Admiral (*Limenitis reducta*) to inform conservation measures in the species' last habitats in Germany.
- Hinneberg, H., Gottschalk, T. K. (in Vorbereitung): Oviposition preferences of the chalk burnet (*Zygaena fausta*).
- Hinneberg, H. (in Vorbereitung): Tagfalter und Widderchen. In: Müller, J. (Hrsg.): Naturschutz im Wirtschaftswald. Ulmer Verlag.

Konferenz- und Tagungsbeiträge

- Frommherz, A., Hinneberg, H., Petkau, A., Gottschalk, T. K.: Mehr Falter für den Forst – eine Lichtwaldkonzeption für den Alb-Donau-Kreis. Vortrag und Poster im Rahmen des Forschungstags der Hochschule Rottenburg, 6. Dezember 2019.
- Hinneberg, H., Gottschalk, T.K., Tielbörger, K.: Bright light for butterflies – building a conservation concept on scientific evidence. Poster beim “meeting StEvE 2019” an der Universität Tübingen, 6. Dezember 2019.
- Hinneberg, H.: Mehr Falter für den Forst – ein Konzept zum Erhalt des Blauschwarzen Eisvogels (*Limenitis reducta*) in Deutschland. Vortrag im Rahmen des 22. UFZ-Workshop zur Populationsbiologie von Tagfaltern & Widderchen, 20. – 22. Februar 2020.
- Hinneberg, H., Gottschalk, T. K.: Managing forests for butterfly conservation: a case study on the Southern White Admiral. Vortrag auf der 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie, 30. August – 1. September 2021.
- Hinneberg, H.: Make a lot out of a few – building a conservation plan for one of Germany's rarest butterflies. Präsentation im Rahmen des “meeting StEvE 2021” an der Universität Tübingen, 26. November 2021.
- Hinneberg, H., Hensel, S., Gottschalk, T. K.: Licht am Ende des Tunnels? – Wissenschaftliche Grundlagen zum Schutz des Blauschwarzen Eisvogels (*Limenitis reducta*) und weiterer Lichtwaldarten auf der Schwäbischen Alb. Vortrag im Rahmen des 24. UFZ-Workshop zur Populationsbiologie von Tagfaltern & Widderchen, 26. Februar 2022.



Abbildung 24: Zeitungsartikel aus der Südwest Presse, die über das Forschungs- und Schutzprojekt zum Blauschwarzen Eisvogel informieren.



Abbildung 25: Informationstafeln über Lichtwaldarten. Diese vier Tafeln wurden im Rahmen des Projekts erstellt, um die Öffentlichkeit über die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen zu informieren.

5. Integrative Diskussion der Projektergebnisse und Fazit

Der Schutz hochbedrohter Arten kann nur gelingen, wenn ein breites Wissen über deren Lebenszyklus und Habitatanforderungen vorhanden ist. Ebenso wichtig sind Schutzstrategien, die von der Bevölkerung akzeptiert und im besten Fall in bestehende Bewirtschaftungsweisen integriert werden können. Im Falle unseres Projekts konnten wir aufzeigen, dass vergleichsweise kleinflächige Auflichtungsmaßnahmen im Wald innerhalb kurzer Zeit eine positive Wirkung auf die Population des in Deutschland vom Aussterben bedrohten Blauschwarzen Eisvogels entfalten konnten. Es war dabei unerheblich, ob die Auflichtungen in Form von Kleinkahlhieben (mind. 0,5 ha), auf forstwirtschaftlich schwer nutzbaren Sonderstandorten oder entlang von Wald- und Wegrändern erfolgten. Entsprechend örtlicher Gegebenheiten und in Abhängigkeit von der Zielsetzung des Waldeigentümers kann somit eine ökonomisch möglichst günstige Maßnahmenform gewählt werden. Unsere Berechnungen haben gezeigt, dass bei der Fichtenbewirtschaftung in einem rotierenden System kleinflächiger Kahlhiebe im Vergleich zur konventionellen Bestandesbehandlung nur geringfügige Mindererlöse zu erwarten sind. Zugleich lässt sich dadurch aber die für Lichtwaldarten zur Verfügung stehende Habitatfläche erheblich steigern und somit ein wesentlicher Beitrag zum Erhalt dieser gefährdeten Artengemeinschaft leisten. Auf Grundlage der Daten unseres Projekts hat ForstBW im Forstbezirk Ulmer Alb, Revier Ingstetten, ein Konzept rotierender Kahlhiebe zur Förderung von Blauschwarzem Eisvogel und Platterbsen-Widderchen (*Zygaena osterodensis*) in die Forsteinrichtung integriert (Hinneberg 2022). Für kommunale und private Waldbesitzer kann die Förderung des Blauschwarzen Eisvogels durch eine Anrechnung der Maßnahmen aufs Ökokonto auch wirtschaftlich rentabel sein.

Wichtig ist hervorzuheben, dass die im Projekt beispielhaft am Blauschwarzen Eisvogel gewonnenen Erkenntnisse zwar auf eine große Zahl an Lichtwaldarten und auf verschiedene Naturräume übertragen werden können, letztlich bei der Konzeption von Habitat-Managementmaßnahmen aber immer die Habitatanforderungen und die Mobilität der zu fördernden Arten und ihrer Raupennahrungspflanzen im Vordergrund stehen müssen.

Für den Blauschwarzen Eisvogel können aus unseren Daten eindeutige Empfehlungen für Fördermaßnahmen abgeleitet werden:

- Habitatflächen müssen im Wald liegen oder an den Wald angrenzen und zahlreiche sonnig stehende Rote Heckenkirschen aufweisen.
- Die Distanz zwischen bestehenden und neu angelegten Habitatflächen sollte 1,5 km nicht übersteigen.
- Zum Erhalt einer langfristig überlebensfähigen Population ist selbst bei hoher Habitateignung ein Verbund aus mehreren Habitatflächen mit einer Gesamtflächengröße von deutlich über 10 ha erforderlich (vgl. Hermann 2022).

Ebenso lassen sich Anforderungen an Schutzmaßnahmen für das Bergkronwicken-Widderchen formulieren:

- Da das Bergkronwicken-Widderchen lokal hohe Bestandsdichten erreichen kann, sind Fördermaßnahmen auch auf kleiner Fläche möglich. Hierbei ist allerdings ein Bestand

von deutlich über 500 Raupennahrungspflanzen anzustreben, sodass auch im Frühjahr ausreichend Raupennahrung vorhanden ist.

- Eine regelmäßige Gehölzrücknahme ist an Standorten mit Vorkommen des Bergkronwicken-Widderchens unerlässlich, da einerseits die Falterweibchen von Offenboden umgebende Wirtspflanzen bei der Eiablage bevorzugen und andererseits die Bergkronwicke zur Blüte und Samenreife ausreichend Sonne benötigt.

Durch den intensiven fachlichen Austausch mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, der Geschäftsstelle des Biosphärengebiets Schwäbische Alb sowie der Umsetzer des Artenschutzprogramms Schmetterlinge in Baden-Württemberg konnten wir unsere Ergebnisse auch in den Kontext weiterer Forschungs- und Schutzprojekte für Lichtwaldarten einordnen. Klar ist, dass eine Fortführung und Intensivierung der Bemühungen zum Erhalt der Lichtwaldarten erforderlich ist, um die negativen Bestandstrends zu stoppen. Eine landesweite Konzeption zum Schutz von Lichtwaldarten wäre dafür hilfreich und die Projektergebnisse leisten dazu einen wichtigen Beitrag.

Neben der Ausarbeitung einer landesweiten Fachkonzeption ist vor dem Hintergrund der akuten Gefährdungslage vieler Lichtwaldarten auch die zeitnahe Umsetzung gezielter Fördermaßnahmen entscheidend. Wir sind der Meinung, in diesem Projekt praxistaugliche Lösungsansätze für die Lebensraumproblematik der Lichtwaldarten entwickelt zu haben. Im Rahmen eines durch das Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekts, testen wir die Übertragbarkeit der Habitat-Managementmaßnahmen bis Ende 2024 explizit in Teilen der mittleren und östlichen Schwäbischen Alb. Ein steigendes Bewusstsein für die Problematik der Lichtwaldarten unter Waldbesitzenden und Forstrevierleiter*innen können wir erkennen und erhoffen uns deshalb für die Zukunft eine weiter steigende Bereitschaft zur Umsetzung von Habitat-Managementmaßnahmen.

6. Dank

Viele verschiedene Personen haben durch wertvolle Hinweise und großes Engagement entscheidend zum Gelingen des Projektes beigetragen. Auch wenn hier nicht alle namentlich genannt werden können, bedanken wir uns herzlich für die Unterstützung!

Unser ganz besonderer Dank gilt den Projektpartnern und Behörden, die unser Projekt wesentlich unterstützt haben. Und natürlich danken wir unseren tatkräftigen Unterstützern bei der Datenerhebung.

- Landratsamt Alb-Donau-Kreis, Fachdienst Forst und Naturschutz, insbesondere Dr. Jan Duvenhorst, Schirin Acher, Timo Allgaier, Hans-Peter Eisele, Manfred Dupke & Ferdinand Menholz.
- ForstBW, Forstbezirk Ulmer Alb, insbesondere Thomas Hermann, Daniel Nägele, Matthias Bechler, Ralf Kölle & Dieter Mattenschlager.
- Christoph und Hubertus Freiherr von Freyberg GbR
- Ernst Freiherr von Freyberg

- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, insbesondere Astrid Grauel & Julia Schwandner
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, insbesondere Nora Dalüge & Dr. Mattias Rupp.
- Regierungspräsidium Tübingen, insbesondere Dr. Thomas Bamann & Klaus Knoblich
- Landschaftserhaltungsverband Alb-Donau-Kreis, insbesondere Melanie Schober-Mühlberger.
- Susanne Hensel
- Gabriel Hermann
- Jörg Döring

7. Literaturangaben

Bolz, R. (1999): Mittel- und Hudewälder als Leitbild für eine "natürliche" Waldform in Mitteleuropa. *Natur- und Kulturlandschaft* 3: 198-207.

Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Maechler, M., Bolker, B.M. (2017): glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling." *The R Journal* 9 (2): 378–400.

Decocq, G., Aubert, M., Dupont, F., Bardat, J., Wattez-Franger, A., Saguez, R., de Foucault, B., Alard, D., Delelis-Dusollier, A. (2005): Silviculture-driven vegetation change in a European temperate deciduous forest. *Annals of Forest Science* 62: 313-323.

Ebert, G., Hofmann, A., Meineke, J.-U., Steiner, A., Trusch, R. (2005): Rote Liste der Schmetterlinge (Macrolepidoptera) Baden-Württembergs (3. Fassung). In: Ebert, G. (Hrsg.). *Die Schmetterlinge Baden-Württembergs*. Band 10, Ergänzungsband. Ulmer-Verlag: 110-133.

FVA (2014): Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen. In: https://www.fva-bw.de/fileadmin/user_upload/Daten_und_Tools/Monitoring/Natura_2000/Erhaltungsmanagement/natura2000_erhaltungsmanagement_forst_bw_waldentwicklung_web.pdf, zuletzt aufgerufen am 24.11.2022.

FVA (2022): Das Sorten- und Volumenprogramm BDat. In: <https://www.fva-bw.de/daten-und-tools/tools/das-sorten-volumenprogramm-bdat>, zuletzt aufgerufen am 24.11.2022.

Hensel, S. (2021): Untersuchung verschiedener biotischer und abiotischer Parameter an der Roten Heckenkirsche *Lonicera xylosteum* im Hinblick auf die Eiablage des Blauschwarzen Eisvogels *Limenitis reducta*. Masterarbeit an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.

Hermann, G. (2021): Schaden Kahlschläge und andere „Desaster“ der Biodiversität im Wald? Erkenntnisse aus umfangreichen Daten zur Tagfalter- und Widderchenfauna in zwei Naturräumen. *Artenschutz und Biodiversität* 2 (3): 1 – 46.

Hermann, G. (2022): Blauschwarzer Eisvogel *Limenitis reducta*. Waldnaturschutz-Informationssystem der FVA, <https://wnsinfo.fva-bw.de/arten/blauschwarzer-eisvogel/>, zuletzt aufgerufen am 30.11.2022.

Hinneberg, H. Döring, J., Hermann, G., Markl, G., Theobald, J., Aust, I., Bamann, T., Bertscheit, R., Budach, D., Niedermayer, J., Rissi, A., Gottschalk, T. K. (2022): Multi-surveyor capture-mark-recapture as a powerful tool for butterfly population monitoring in the pre-imaginal stage. *Ecology and Evolution* 12 (8): e9140.

Hinneberg (2022): Naturschutzfachliches Konzept zur Förderung des Blauschwarzen Eisvogels (*Limenitis reducta*) und des Platterbsen-Widderchens (*Zygaena osterodensis*) durch ein System rotierender Kahlhiebe im Forstbezirk Ulmer Alb, Revier Ingstetten, Distrikt 46. Konzept im Auftrag von ForstBW, Forstbezirk Ulmer Alb.

Hinneberg, H., Kőrösi, A., Gottschalk, T. K. (in Vorbereitung): Recording population size and dispersal of the Southern White Admiral (*Limenitis reducta*) to inform conservation measures in the species' last habitats in Germany.

Jotz, S., Konold, W., Suchomel, C., Rupp, M. (2017): Lichte Wälder und biotische Vielfalt. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau 107: 13 – 153.

Laake, J. L. (2013): RMark: An R Interface for analysis of capture-recapture data with MARK. AFSC Processed Report 2013-01, Alaska Fisheries Science Center: 25 Seiten.

Mithöfer, A., & Boland, W. (2012): Plant defense against herbivores: Chemical aspects. Annual Review of Plant Biology, 63: 431 – 450.

Oesten, G., Roeder, A. (2012): Management von Forstbetrieben. Band 1: Grundlagen, Betriebspolitik. 3., überarbeitete Auflage. Universität Freiburg, Institut für Forstökonomie.

R Core Team (2022): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien. <https://www.R-project.org/>.

Reinhardt, R., Bolz, R. (2012): Rote Liste und Gesamtartenliste der Tagfalter (Rhopalocera) (Lepidoptera: Papilionoidea et Hesperioidea) Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (3): 167–194.

Rennwald, E., Sobczyk, T., Hofmann, A. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Spinnerartigen Falter (Lepidoptera: Bombyces, Sphinges s.l.) Deutschlands. In: Binot-Hafke, M., Balzer, S., Becker, N., Gruttke, H., Haupt, H., Hofbauer, N., Ludwig, G., Matzke-Hajek, G., Strauch, M. (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (3): 243-283.

Rodenkirchen, H. (1998). Veränderung der Waldbodenvegetation süddeutscher Wälder durch Stoffeinträge. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 2: 74 – 81.

Santon, M., Michiels, N. K., Anthes, N. (in Vorbereitung): Generalised Linear Mixed Models made easy: a versatile routine for linear models in R.

Schmalfuß, N., Aldinger, E. (2012): Lichte Wälder – Warum sind sie uns wichtig? FVA-einblick 16 (3): 6-9.

Treiber, R. (2003): Genutzte Mittelwälder – Zentren der Artenvielfalt für Tagfalter und Widderchen im Südsass. Nutzungsdynamik und Sukzession als Grundlage für ökologische Kontinuität. Naturschutz und Landschaftsplanung 35 (1): 50 – 63.

Vera, F. W. M. (2000): Grazing ecology and forest history. CABI Publishing, Wallingford: 506 Seiten.

WallisDeVries, M. F, Bobbink, R. (2017): Nitrogen deposition impacts on biodiversity in terrestrial ecosystems: Mechanisms and perspectives for restoration. Biological Conservation 212: 387 – 389.