

# Abschlussbericht

## **Konkrete Maßnahmen gegen den Insektenrückgang – ein Handlungsrahmen für Baden-Württemberg**

von

Teja Tschardtke, Andreas Wiedenmann, Julia Piko, Johannes Quente, Fabian Osten

Universität Göttingen

Agrarökologie

Förderkennzeichen: L7520114

Laufzeit: 01.12.2019 - 31.05.2020

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln  
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Dezember 2020



## **Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

„Verantwortlich für den Inhalt sind die Autor\*innen. Der Fördermittelgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Untersuchung geäußerten Ansichten und Meinungen stimmen nicht notwendigerweise mit denen des Fördermittelgebers überein.“

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	<i>Insektensterben – global und regional</i>	6
1.1.1	Insektenrückgang global und deutschlandweit	6
1.1.2	Insektenrückgang in Baden-Württemberg	7
1.2	<i>Ursachen des Insektenrückgangs</i>	7
1.2.1	Ursachen in der Landwirtschaft	7
1.2.2	Ursachen in der Forstwirtschaft	9
1.2.3	Ursachen im urbanen Bereich	9
1.2.4	Weitere Ursachen	9
1.3	<i>Herausforderungen und Möglichkeiten des Insektenschutzes auf unterschiedlichen Ebenen</i>	
1.3.1	Privatpersonen	11
1.3.2	Lokalpolitik	11
1.3.3	Landesebene	12
1.3.4	Bundesebene	13
1.3.5	EU-Ebene	13
<b>2</b>	<b>Maßnahmen in Agrarlandschaften</b>	<b>15</b>
2.1	<i>Hecken</i>	15
2.2	<i>Ackerrandstreifen und Blühflächen</i>	17
2.3	<i>Ackerbrachen</i>	22
2.4	<i>Fruchtfolgen, Vielfalt angebauter Kulturen und Bodenbearbeitung</i>	24
2.5	<i>Düngung</i>	28
2.6	<i>Pestizideinsatz</i>	31
2.7	<i>Binnendünen und Sandflächen</i>	35
2.8	<i>Grünland</i>	40
2.8.1	Mahd von Grünland	41
2.8.2	Beweidung von Grünland	42
2.8.3	Kalkmagerrasen	43
2.9	<i>Streuobstwiesen</i>	46
2.10	<i>Weinbau</i>	50
<b>3</b>	<b>Maßnahmen in Waldlandschaften</b>	<b>54</b>
3.1	<i>Wald: Baumartenzusammensetzung, Totholz und Altersstruktur</i>	54
3.1.1	Baumartenzusammensetzung	55
3.1.2	Totholz	55
3.1.3	Altersstruktur	56

<b>4</b>	<b>Maßnahmen in Stadtlandschaften .....</b>	<b>58</b>
4.1	<i>Urbane Grünflächen: städtische und private Begrünung .....</i>	58
4.1.1	Städtische Grünflächen.....	60
4.1.2	Private Gärten und Grünflächen.....	61
4.2	<i>Dachbegrünung und Fassadenbegrünung .....</i>	65
4.3	<i>Nisthilfen .....</i>	69
4.4	<i>Lichtverschmutzung .....</i>	73
4.4.1	Spektrale Verteilung („Lichtfarbe“) .....	74
4.4.2	Beleuchtungsstärke .....	74
4.4.3	Abstrahlungsgeometrie .....	75
<b>5</b>	<b>Maßnahmen für Gewässer .....</b>	<b>79</b>
5.1	<i>Fließgewässer.....</i>	79
5.1.1	Flüsse und Bäche .....	80
5.1.2	Gräben .....	82
5.1.3	Gewässerrandstreifen .....	82
5.2	<i>Stillgewässer .....</i>	85
5.2.1	Seen .....	86
5.2.2	Teiche.....	86
<b>6</b>	<b>Gestaltung von Kulturlandschaften.....</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick: Maßnahmen gegen den Insektenrückgang .....</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>97</b>
8.1	<i>Einleitung .....</i>	97
8.2	<i>Hecken.....</i>	102
8.3	<i>Ackerrandstreifen und Blühflächen.....</i>	103
8.4	<i>Ackerbrachen .....</i>	107
8.5	<i>Fruchtfolgen, Vielfalt angebauter Kulturen und Bodenbearbeitung .....</i>	108
8.6	<i>Düngung.....</i>	110
8.7	<i>Pestizideinsatz.....</i>	112
8.8	<i>Binnendünen und Sandflächen .....</i>	115
8.9	<i>Grünland .....</i>	118
8.10	<i>Streuobstwiesen.....</i>	121
8.11	<i>Weinbau.....</i>	123
8.12	<i>Wald: Baumartenzusammensetzung, Totholz und Altersstruktur.....</i>	126
8.13	<i>Urbane Grünflächen: städtische und private Begrünung .....</i>	129
8.14	<i>Dachbegrünung und Fassadenbegrünung .....</i>	134
8.15	<i>Nisthilfen.....</i>	136
8.16	<i>Lichtverschmutzung .....</i>	138
8.17	<i>Fließgewässer .....</i>	140
8.18	<i>Stillgewässer .....</i>	143
8.19	<i>Gestaltung von Kulturlandschaften .....</i>	146

# 1 Einleitung

„Es hat sich ausgesummt“<sup>1</sup>, „Insektensterben noch schlimmer als gedacht“<sup>2</sup>, „Das große Insektensterben und warum die Regierung nichts tut“<sup>3</sup> – seit 2017 ist das Wort Insektensterben in aller Munde. Etliche Studien haben dramatische Rückgänge von Insektenpopulationen festgestellt, das Thema wird in Talkshows aufgegriffen, Bürgerinitiativen haben sich gebildet und die Politik muss Stellung beziehen und Strategien zum Schutz von Insekten entwickeln. Auch in Baden-Württemberg wurde im Rahmen einer Studie des Landesamts für Umwelt auf 100 Probeflächen im Durchschnitt weniger als 5 g Insektenbiomasse pro Fangtag festgestellt<sup>4</sup>. Dies entspricht den täglichen Fangmengen der vielzitierten Studie des Entomologischen Vereins Krefeld<sup>5</sup> und deutet darauf hin, dass in Baden-Württemberg ein vergleichbarer Rückgang an Insektenbiomasse stattgefunden haben könnte. Durch das Volksbegehren „Rettet die Bienen“ haben 120 Projektpartner rund um den Verein proBiene den Belangen des Insektenschutzes eine Stimme verliehen. Nach Verhandlungen mit allen Interessengruppen wurde nun die Novellierung des Landesnaturschutzgesetzes beschlossen. Darin sind Ziele festgesetzt, um die Lebensbedingungen für Insekten im Land langfristig zu verbessern. Dabei ist es wichtig, die praktische Durchführung der Schutzmaßnahmen auf ein wissenschaftliches Fundament zu stellen. „Evidence-based conservation“ beschreibt im Englischen den Ansatz, naturschutzfachliche Entscheidungen auf Grundlage von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu treffen<sup>6,7</sup>.

In der folgenden Abhandlung wollen wir konkrete Handlungsoptionen für Baden-Württemberg aufzeigen - vom privaten Haushalt über die Gestaltung öffentlichen Grüns und der Landwirtschaft und das Management ganzer Landschaften bis zur Rolle der Politik auf EU-Ebene. Wir werden in einem einleitenden Kapitel kurz den Stand der Forschung zum Insektenrückgang sowie dessen vielfältigen Ursachen darstellen. Darauf folgt ein Katalog konkreter Schutzmaßnahmen, die nach Ökosystemen gegliedert sind. Wir werden dabei Maßnahmen und Strategien aufzeigen, deren Wirksamkeit für den Insektenschutz durch wissenschaftliche Veröffentlichung in Fachzeitschriften mit Peer-Review-Verfahren belegt sind. Maßnahmen in der Agrarlandschaft räumen wir dabei größeren Raum ein und behandeln diese intensiver. Bei jeder Maßnahme wird des Weiteren auf Umsetzungsmöglichkeiten auf den unterschiedlichen Ebenen hingewiesen. Dies soll eine einfache Handhabung dieses Leitfadens ermöglichen und so Entscheidungsträger\*innen in Politik und Verwaltung sowie Bürger\*innen maßnahmenspezifisch wissenschaftlich belegte Informationen zur Verfügung stellen.

Die Umsetzung sowie die Erfolgsaussichten der vorgestellten Naturschutzmaßnahmen in der Praxis hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Die Ergebnisse der zitierten wissenschaftlichen Studien lassen sich nicht immer eins zu eins übertragen, wenn beispielsweise unterschiedliche naturräumliche Gegebenheiten vorliegen. Wir wollen mit dieser Arbeit eine Art Werkzeugkasten zusammenstellen und für unterschiedliche Lebensräume eine Reihe an Werkzeugen aufzeigen. Die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen in der Praxis muss deshalb stets an die lokale bzw. regionale Situation angepasst werden. Wir wollen außerdem hervorheben, dass es keine Maßnahme gibt, die als Allheilmittel für den jeweiligen Lebensraum fungiert. Vielmehr kommt es auf die Vielfalt der Maßnahmen sowie deren Ausgestaltung an, um den häufig gegenläufigen Ansprüchen verschiedenster Insektenartengruppen gerecht zu werden. Zudem ist es wichtig, die Landschaftsebene einzubeziehen, da das Überleben der Arten auf großen räumlichen Skalen zu sichern ist. Die Darstellung macht deutlich, dass es

erfreulicherweise viele Maßnahmen gibt, mit denen bereits mit geringem finanziellem und technischem Aufwand viel erreicht werden kann.

Wir sind uns zudem bewusst, dass viele Einzelschritte für die Umsetzung hier nicht detailliert behandelt werden konnten, was an zwei Beispielen verdeutlicht werden soll. Bei der Anlage von Blühstreifen geht es oft um eine artenreiche Mischung, die auf regionales Saatgut zurückgreift. Allerdings weiß jede\*r Praktiker\*in, dass die Bodenbeschaffenheit, die Beseitigung dominanter, konkurrierender Pflanzenarten, die Saatbettbereitung, die Förderung der konkurrenzschwachen Arten in der Mischung (z.B. durch aggregiertes Ausbringen) und kritische Umweltfaktoren (z.B. Trockenheit) elementare Bedeutung für den Erfolg der Maßnahme haben<sup>8</sup>. Auch bei der Anfertigung und Ausbringung von Nisthilfen für Bienen und Wespen gibt es eine Fülle von Details zu beachten, die den Besiedlungserfolg maßgeblich bestimmen. Das fängt bei der Auswahl des Nistmaterials an (Länge und Material der Röhren), der Exposition im Gelände (Himmelsrichtung, diverse Umweltfaktoren), Landschaftsstruktur bis hin zum Schutz vor Witterungseinflüssen (Sonnenexposition, Regenschutz), wie es in den angeführten Literaturstellen auch expliziert wird<sup>9</sup>. Diese beiden Beispiele verdeutlichen, dass es eine Fülle von Faktoren bei der konkreten Umsetzung von Maßnahmen zu beachten gibt, die in diesem Bericht nicht alle im Detail besprochen werden können, aber der zitierten Literatur zu entnehmen sind.

## **1.1 Insektensterben – global und regional**

### **1.1.1 Insektenrückgang global und deutschlandweit**

Insekten stellen mit über 33.000 Arten 69 % aller Tierarten in Deutschland und sind integraler und oft dominanter Bestandteil unserer Ökosysteme<sup>10</sup>. In den letzten Jahrzehnten verschwanden allerdings dramatisch viele Populationen und Arten von Insekten<sup>11</sup>. Die Verluste wurden besonders bei Artengruppen, die gut erforscht sind und über einen langen Zeitraum im Fokus der Wissenschaft standen, dokumentiert. Die Artenvielfalt von Schmetterlingen in Europa ist seit den 1970er Jahren beispielsweise um ca. 25 % gesunken<sup>12</sup>. Auch bei Nachfaltern, Laufkäfern, anderen Käfern, sowie Wildbienen und Hummeln wurden starke Rückgänge der Artenvielfalt und Populationsgrößen bis hin zu lokalen Aussterbeereignissen nachgewiesen<sup>13–20</sup>. Mittlerweile hat sich auch der Verdacht bestätigt, dass sich der Rückgang der Insekten nicht nur auf einzelne Artengruppen beschränkt, sondern ein weitreichendes und globales Phänomen darstellt<sup>21–23</sup>.

Auch in Deutschland gibt es eine Vielzahl an Studien, die Rückgänge von Populationen und der Artenvielfalt unterschiedlichster Artengruppen wie Schmetterlingen<sup>24,25</sup> oder Laufkäfern<sup>26</sup> belegen. Auch die Roten Listen zeigen negative Bestandstrends beispielsweise bei den Bienen<sup>27</sup>. 46 % der Insektenarten (53 % der Bienen) stehen auf der Roten Liste und bei 51 % wurden selbst in jüngerer Zeit (seit 1998) noch starke Bestandsabnahmen festgestellt<sup>10</sup>. Die Trends sind jedoch nicht immer eindeutig. Bei Heuschrecken und Zikaden wurde zum Beispiel eine Abnahme der Individuenzahlen, aber ein Gleichbleiben bzw. eine Zunahme der Artenvielfalt nachgewiesen<sup>28</sup>. Die 2017 veröffentlichte Studie des Entomologischen Vereins Krefeld sorgte jedoch dann nachhaltig für Aufsehen. Die Langzeitstudie konnte über einen Zeitraum zwischen 1989 und 2016 Jahren einen Verlust der Biomasse fliegender Insekten um 76 % feststellen. Im Sommer lag der Rückgang sogar bei ca. 82 %<sup>5</sup>. In den sogenannten Biodiversitäts-Exploratorien wurde auf 150 Grünlandflächen in drei deutschen Regionen ein Rückgang von Insekten- und Spinnenarten um 34 % innerhalb von 10 Jahren (2008-2017)

festgestellt – vor allem in Landschaften mit sehr hohem Ackeranteil<sup>29</sup>. Es ist also anzunehmen, dass in den vergangenen Jahrzehnten ein dramatischer Rückgang der Insektenpopulationen Deutschlands über alle Artengruppen hinweg stattgefunden hat. Dies ist ein höchst besorgniserregender Vorgang, da Insekten eine immens wichtige Bedeutung in der Funktion von Ökosystemen zukommen, von deren Intaktheit auch der Mensch in vielfacher Weise abhängig ist.

Allerdings gab es in letzter Zeit auch den ernstzunehmenden Hinweis, dass es möglicherweise vorschnell ist, von einer weltweiten „Insekten-Apokalypse“ zu sprechen. Crossley et al. (2020)<sup>30</sup> fanden keine generellen Verluste bei Insekten-Artenzahlen in nordamerikanischen Langzeit-Untersuchungen, und raten ebenso zur Vorsicht wie Blowes et al. (2019)<sup>31</sup> und McGregor et al (2019)<sup>32</sup>. Eine wesentliche Ursache für die gegensätzlichen Befunde mag die in verschiedenen Regionen der Welt andere Intensität der Landnutzung sein. So besteht in den USA eine größere Kontinuität der Flächennutzung, da es sich meist entweder um große Schutzgebiete oder um artenarme Agrarlandschaften mit großräumigen Monokulturen handelt. In Mitteleuropa gibt es dagegen starke regionale Kontraste und eine sich relativ kurzfristig ändernde Politik und Realität der Flächennutzung. Zudem berücksichtigten Monitorings, die über lange Zeit und systematisch erhoben wurden, meist relativ stabile Lebensräume, sodass dramatische Lebensraumzerstörungen (Abholzen von Wäldern, Trockenlegen von Feuchtgebieten, Umbrechen von Grünland) und ihre dramatischen Auswirkungen auf den Insektenreichtum fehlen bzw. unterrepräsentiert sind. Nicht zuletzt bleibt bei solchen weltweiten Analysen meist unklar, welche Mechanismen hinter den Veränderungen im Insekten-Artenreichtum stecken mögen – und sie relativieren in keiner Weise die sehr gut belegten Befunde in Deutschland zu den dramatischen Insektenverlusten.

### *1.1.2 Insektenrückgang in Baden-Württemberg*

Baden-Württemberg bietet mit seiner Vielfalt an unterschiedlichen Lebensräumen einer Vielzahl unterschiedlichster Artenkombinationen an Insekten und anderen Wirbellosen ein Zuhause. Es wird davon ausgegangen, dass in Baden-Württemberg über 20.000 von den bundesweit 33.000 Insektenarten vorkommen<sup>33</sup>. Mittel- und Hochgebirge, Deutschlands größter Binnensee, ausgedehnte Waldgebiete, Flussauen sowie vom Menschen geschaffene und geprägte Bereiche wie beispielsweise Streuobstwiesen, Weinberge oder Wacholderheiden bieten ganz eigenen Artengesellschaften eine Lebensgrundlage. Neben der Studie der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)<sup>4</sup> zeigen auch die Roten Listen des Landes innerhalb vieler Artengruppen eine Verringerung der Populationen. So sind 24,8 % der Köcherfliegenarten<sup>34</sup>, 38 % der Laufkäferarten (LUBW 2005), 19,3 % der Schwebfliegenarten<sup>35</sup>, 20,2 % der Totholzkaferarten<sup>36</sup> und 19,9 % der Spinnenarten<sup>37</sup> bedroht, stark bedroht oder vom Aussterben bedroht. Bei vielen Arten sind darüber hinaus Verschlechterungen in der Einstufung im Vergleich mit älteren Roten Listen erkennbar.

## **1.2 Ursachen des Insektenrückgangs**

### *1.2.1 Ursachen in der Landwirtschaft*

In der landwirtschaftlichen Praxis gibt es zwei gegenläufige Entwicklungen, die in den letzten Jahrzehnten gleichermaßen die Lebensbedingungen für Insekten verschlechtert haben: Nutzungsintensivierung unter Ausweitung der genutzten Fläche und die Nutzungsaufgabe

traditioneller, artenreicher Lebensräume. Der Trend der landwirtschaftlichen Produktion geht dabei weg von einer Vielzahl kleinbäuerlicher Betriebe hin zu wenigen großen Betrieben. Während die durchschnittliche Betriebsgröße in Baden-Württemberg 1980 noch 10,4 ha betrug, liegt sie heute bei fast 36 ha. Die Anzahl an Betrieben mit einer bewirtschafteten Fläche unter 5 ha ist im gleichen Zeitraum von 66.298 auf 6.400 geschrumpft. Die Anzahl von Betrieben mit einer Fläche über 50 ha ist dabei von 1.886 auf 9.300 gestiegen<sup>38</sup>. Dies ging vor allem mit einer Erhöhung der Schlaggrößen und einem Verlust von Kleinstrukturen wie beispielsweise Hecken, Ackerrandstreifen und Feldgehölzen einher<sup>39</sup>. Im Rahmen der Flurbereinigung wurden so in der Nachkriegszeit bis in die 1960er und 1970er eine Vielzahl von Ackerflächen zusammengelegt<sup>40</sup>. Gerade diese Kleinstrukturen sind aber für Insekten in der Agrarlandschaft von unschätzbarem Wert für Nahrung, Fortpflanzung und Überwinterung.

Einen starken Einfluss auf Insektenlebensräume hatte die Einführung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU. Die Lebensmittelproduktion der EU sollte vereinheitlicht und produktiver gemacht werden. Diese Entwicklungen führten zu einer Intensivierung der ackerbaulichen Praxis. Ein für Insekten zunächst positiv zu bewertender Aspekt der GAP waren die Flächenstilllegungen mit im Mittel rund 10 % der Ackerfläche ab Ende der 1980er, um der Überproduktion Herr zu werden. Diese Brachflächen stellten einen wertvollen Lebensraum für eine Vielzahl an Insektenarten dar<sup>41,42</sup>. 2008 wurde diese Verpflichtung wieder aufgehoben, was in Baden-Württemberg zu einer schlagartigen Reduzierung dieser Lebensräume von ca. 40.000 ha auf ca. 15.000 ha führte<sup>43</sup>. Die zunehmende Berücksichtigung von Kulturen zur Bioenergiegewinnung, allen voran der verstärkte Anbau von Silomais, führte zu einer zunehmenden Verarmung der Landschaft<sup>44,45</sup>. Das sogenannte Greening, mit dem seit 2013 Lebensräume in der Agrarlandschaft geschaffen werden sollten, blieb weit hinter den Erwartungen zurück. Hierbei sollten 5 % der Anbauflächen pro Betrieb als ökologische Vorrangfläche zur Verfügung gestellt werden. Stattdessen bestanden die Greening-Maßnahmen zum Großteil in dem Anbau von Zwischenfrüchten und Leguminosen<sup>46</sup>.

Die Ausbringung von mineralischen Stickstoffdüngemitteln hat sich seit den 1950ern verdreifacht und liegt momentan bei ca. 80 kg pro ha/Jahr<sup>47</sup>. Besonders in den Kreisen Biberach, Ravensburg, Ostalbkreis und Schwäbisch Hall sind Stickstoffüberschüsse zwischen 110 bis 175 kg pro Hektar bewirtschafteter Flächen und Jahr weit verbreitet<sup>48</sup>. Die Zunahme an Nährstoffen führte zu einer Verarmung der Ackerwildkrautgesellschaften und damit auch der Insektengesellschaften<sup>49,50</sup>. Auch Gewässer wurden negativ von der zunehmenden Nährstofffracht beeinflusst<sup>51</sup>.

Im gleichen Zeitraum stieg die Nutzung von Pestiziden ebenfalls stark an. Während in den 50er und 60er Jahren in der Bundesrepublik Deutschland rund 11.000 t ausgebracht wurden<sup>52</sup>, stieg diese Zahl bis 1990 auf 33.146 t. Im Jahr 2019 betrug der Inlandsabsatz an Pflanzenschutzmitteln in Deutschland 44.750 t. Allerdings ist das wiederum geringer als der summierte Inlandsabsatz der BRD und DDR im Jahr 1990, der 61.646 t betrug<sup>53</sup>. Viehhaltung im Nebenerwerb war beispielsweise vor 40 Jahren noch weitaus verbreiteter als heute. So gab es im Jahr 1979 noch 87.057 Betriebe, die Rinder, und 6.122 Betriebe, die Schafe hielten. Bis 2016 sind es jeweils nur noch 14.740 bzw. 2.716 Betriebe<sup>54</sup>. Auch die Fläche von Dauergrünland hat sich in Baden-Württemberg von 628.280 ha im Jahr 1979 auf 545.269 ha im Jahr 2016 reduziert<sup>55</sup>.

Besonders kleinere Betriebe verschwinden also mehr und mehr. Sie sind es auch, die oftmals von Regulierungen überproportional schwer getroffen werden, was bis hin zur Unwirtschaftlichkeit führen und damit die Aufgabe des Betriebs zur Folge haben kann<sup>56</sup>. Dabei war es gerade die einstige Vielfalt

an Nutzungsarten durch eine Vielzahl von Nutzern, die Europas Agrarlandschaft zu einer hohen Biodiversität verholfen hat. Noch heute ist diese Entwicklung sichtbar, wenn man die Agarbiodiversität von Ländern, die schon länger im Sinne der GAP wirtschaften, mit der von Ländern vergleicht, die erst später der EU beigetreten sind. Die Landwirtschaft in vielen osteuropäischen Staaten ist noch extensiver, die Landschaft abwechslungsreicher und kleinteiliger<sup>57</sup>.

### *1.2.2 Ursachen in der Forstwirtschaft*

In der Forstwirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten das Bewusstsein für eine multifunktionelle Nutzung des Walds stark zugenommen. Wälder sind grundsätzlich schützenswerte Ökosysteme, Holzproduzenten, Klimaschützer und Erholungsgebiete in einem. Dies war allerdings nicht immer so. Lange Zeit wurde die Forstwirtschaft hauptsächlich auf die Holzproduktion ausgerichtet. Die Erhaltung alter und im Verfall befindlicher Bäume war nicht rentabel. Totholz wurde aus dem Wald entfernt. Es wurden möglichst schnellwüchsige Arten wie Kiefer und Fichte gefördert und gepflanzt, was zu großflächigen Beständen aus altersgleichen Bäumen einer Art führte<sup>58-60</sup>. All dies trug zum Verlust einer Vielzahl von für Insekten wichtigen Lebensraumstrukturen bei. Besonders Insekten, die an alte Bäume mit großem Durchmesser angewiesen sind, haben dadurch Rückgänge in ihren Populationen erlitten<sup>11,61</sup>.

### *1.2.3 Ursachen im urbanen Bereich*

Urbanisierung und Flächenversiegelung nehmen nach wie vor zu. Der tägliche Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Baden-Württemberg hat sich zwar seit den späten 1990ern und frühen 2000ern halbiert, betrug im Jahr 2019 aber immer noch ca. 5 ha<sup>62</sup>. Dadurch gehen wichtige Lebensräume verloren. Einzig Gärten, Kleingärten und Parks bleiben im urbanen Bereich als mögliche Lebensräume zurück. Die Art, wie Gärten und Grünanlagen gestaltet sind, spielt allerdings eine große Rolle in ihrer Eignung als Lebensraum für Insekten<sup>63-65</sup>.

### *1.2.4 Weitere Ursachen*

Des Weiteren darf die Emission von Abgasen durch Landwirtschaft, Verkehr, Heizanlagen und die Industrie und der dadurch entstehende Nährstoffeintrag aus der Luft nicht außer Acht gelassen werden. Vor allem im Bereich des Schwäbischen Walds und der Ostalb, in Oberschwaben und den Höhenlagen des Schwarzwalds überschreitet der Eintrag von Stickstoff 30 kg pro Hektar und Jahr<sup>66</sup>. Die Ammoniakkonzentration ist besonders im Osten des Bundeslandes erhöht und liegt besonders in den Kreisen Schwäbisch Hall, Hohenlohekreis, Biberach und Ravensburg auf großer Fläche zwischen 4 und 6 µg pro m<sup>3</sup> und darüber<sup>67</sup>. Übermäßiger Nährstoffeintrag aus der Luft führt zu einer Verarmung der Pflanzengesellschaft, da lediglich Arten mit hoher Nährstofftoleranz gefördert werden<sup>49,50</sup>. Dies führt indirekt dazu, dass auch Insektengesellschaften verarmen<sup>68</sup>.

Eine weitere Möglichkeit, die zum Rückgang von Insekten beigetragen haben könnte, ist der zunehmende Verkehr. Die Jahresfahrleistung in Baden-Württemberg hat sich von 60.253 Millionen km im Jahr 1985 auf 95.130 Millionen km im Jahr 2018 erhöht<sup>69</sup>. Im gleichen Zeitraum ist die Zahl an Kraftfahrzeugen pro 1000 Einwohner von 527 auf 723 gestiegen<sup>70</sup>. Das ist jeweils ein Anstieg um 57 bzw. 37 %. Bis 2030 werden weitere Anstiege prognostiziert<sup>71</sup>. Insekten werden einerseits durch

direkte Mortalität in Folge von Kollisionen mit Kraftfahrzeugen negativ beeinflusst. Das genaue Ausmaß ist dabei schwer abzuschätzen<sup>72</sup>. Allerdings scheinen besonders Straßen mit mittlerer Geschwindigkeitsbegrenzung für Insekten gefährlich zu sein, da Insekten bei Geschwindigkeiten über ca. 90 km/h durch die verdrängte Luft vom Fahrzeug weggedrückt werden<sup>73</sup>. Besonders vielbefahrene Landstraßen sind daher für tödliche Kollisionen von Insekten mit Kraftfahrzeugen prädestiniert. Andere negative Effekte sind der Barriere-Effekt von Straßen und die daraus resultierende Zerschneidung von Lebensräumen sowie Auswirkungen von Abgasen und Streusalz<sup>72</sup>.

Es gibt sehr wenige Studien dazu, wie sich Windkraftanlagen auf Insekten auswirken. Untersuchungen deuten darauf hin, dass die grau-weiße Färbung von Windkraftanlagen aktiv Insekten anziehen könnte<sup>74</sup>. Die Rotoren von Windkraftanlagen befinden sich außerdem auf der Flughöhe vieler ziehender, nachtaktiver Insekten. Fledermäuse scheinen Windkraftanlagen aktiv aufzusuchen, was auf eine erhöhte Insektendichte um diese schließen lässt<sup>75,76</sup>. Genaue Zahlen zur Mortalität von Insekten an Windkraftanlagen gibt es allerdings nicht. Andererseits kann die Vegetation direkt um Windkraftanlagen, wenn sie blütenreich ist, auch positive Effekte auf Blütenbesucher wie die Bienen haben<sup>77</sup>. Die Zahl der Windkraftanlagen ist in Baden-Württemberg zwischen 2010 bis 2019 von 353 auf 715<sup>78</sup> gestiegen. Es ist ein erklärtes Ziel der Landesregierung, den Anteil der Windkraft an der Energieproduktion weiter auszubauen<sup>79</sup>. Während Windkraftanlagen zunächst hauptsächlich in der Agrarlandschaft gebaut worden sind, befinden sie sich heute auch zunehmend an Waldstandorten<sup>80</sup>. Es gibt darüber hinaus auch Hinweise darauf, dass das Anhaften toter Insekten an den Rotorblättern die Energieausbeute von Windkraftanlagen beeinflussen kann<sup>81</sup>. Es sollte also auch im Interesse der Industrie sein, hier weiter zu forschen und Lösungen zu finden. Hierbei sind besonders Before-After-Control-Impact-Studien interessant, um die Auswirkungen des Ausbaus der Windkraft auf Insekten zu erfassen.

Der globale Klimawandel hat auch Auswirkungen auf die Ökosysteme Baden-Württembergs. Die Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur, die Zunahme an Extremwetterereignissen, wie zum Beispiel zunehmend länger anhaltender Dürreperioden oder Starkregenereignisse sowie Veränderungen in der Jahreszeitendauer werden negative Auswirkungen auf viele Insektenpopulationen im Land haben. Auf der anderen Seite sollten viele Artengruppen vom Temperaturanstieg profitieren. Bei manchen Arten wird es zu Arealverschiebungen und lokalem Aussterben kommen<sup>82-84</sup>. Besonders die eher kälteliebenden Arten in Mittelgebirgs- und Gebirgslebensräumen sind davon gefährdet<sup>85</sup>.

Invasive Arten, wie der in Baden-Württemberg etablierte Amerikanische Ochsenfrosch *Lithobates catesbeianus* oder Kalikokrebs *Faxonius immunis* und Signalkrebs *Pacifastacus leniusculus*, können ebenfalls zum lokalen Rückgang von Insekten beitragen<sup>86-89</sup>.

Die Lichtverschmutzung im öffentlichen Raum der Städte ist vermutlich eine ganz wesentliche Ursache für Artenverluste und deshalb besonders hervor zu heben, auch wenn es bisher nur begrenzte Belege gibt. Deswegen empfehlen wir nachdrücklich, stärker langwelliges Licht einzusetzen und Maßnahmen zur Reduzierung der Lichtmenge zu ergreifen<sup>90</sup>.

Weiterhin ist der massenhafte Bt-Einsatz in den Rheinauen, um die Stechmückenpopulationen zu reduzieren, kritisch zu sehen<sup>91</sup>. Denn das Bt-Toxin ist keineswegs so spezifisch, dass es nur Stechmücken trifft. Es werden auch andere Familien der Mücken dezimiert, insbesondere die

ökologisch sehr bedeutsamen und artenreichen Zuckmücken. Deren großer Beitrag zur Insektenbiomasse in Auenlandschaften ist auch eine wesentliche Nahrungsbasis für viele Vögel und Fledermäuse.

## **1.3 Herausforderungen und Möglichkeiten des Insektenschutzes auf unterschiedlichen Ebenen**

### **1.3.1 Privatpersonen**

Jede\*r kann etwas für den Insektenschutz tun. Im privaten Bereich ist besonders die Gestaltung von Grünflächen, die Reduzierung der Beleuchtung und das Konsumverhalten für den Insektenschutz von Relevanz. In der Gartengestaltung liegt hierbei ein großes Potenzial, und es gibt eine Vielzahl an kostengünstigen und einfach durchführbaren Maßnahmen, welche die Lebensbedingungen für Insekten im Siedlungsbereich enorm verbessern könnten. Des Weiteren können bei der Beleuchtung recht einfach Verbesserungen im Hinblick auf Verringerung der Lichtverschmutzung erzielt werden. Auch beim Konsumverhalten haben Bürgerinnen und Bürger die Möglichkeit, sich für Produkte zu entscheiden, deren Herstellung für den Insektenschutz als nicht schädlich einzustufen ist.

Die größte Herausforderung im Privatbereich liegt dabei meist am Fehlen von handlungsorientierter Information. Bürgerinnen und Bürger sind sich entweder nicht über den Insektenrückgang im Klaren oder sie sind sich nicht über den Einfluss ihres eigenen Handelns auf die Insektenvielfalt bewusst. Das Thema Insektenrückgang ist in jüngster Zeit durch die mediale Aufmerksamkeit allerdings mehr und mehr ins Bewusstsein gerückt. Dieses Momentum gilt es zu nutzen und die vermehrte Bereitschaft, etwas für den Insektenschutz zu tun, aufzugreifen. Hier ist eine zielführende Koordination der Umweltbildung gefragt, um Bürgerinnen und Bürgern die Möglichkeit zu geben, wirksame Maßnahmen umzusetzen.

Einen noch größeren Einfluss haben Bürgerinnen und Bürger, die Privatwald bewirtschaften oder in der Landwirtschaft tätig sind. Hierbei sollte nicht nur auf die Umsetzung von Schutzmaßnahmen, wie Agrarumweltmaßnahmen bzw. Regelungen zum Waldschutz, gesetzt werden, sondern auch auf die freiwillige, selbstständige Initiative. Auch hierbei ist eine gezielte Informationspolitik entscheidend.

### **1.3.2 Lokalpolitik**

Die Möglichkeiten auf lokaler Ebene, also auf kommunaler oder Kreisebene, bestehen in der Verbesserung der Lebensbedingungen auf gemeinde- oder kreiseigenen Flächen. Dazu gehören besonders Grünflächen wie Parks, Schulhöfe, Friedhöfe. Hier können mit relativ einfachen Maßnahmen Kleinlebensräume für Insekten geschaffen werden. Des Weiteren besteht auf landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Still- und Fließgewässern, die sich in kommunaler oder Kreishand befinden, ein großes Potenzial für den Insektenschutz. Hier können durch Kommune oder Kreis entweder die Bewirtschaftung direkt beeinflusst oder Bedingungen an Pächter bzw. bewirtschaftende Parteien gestellt werden.

Wichtig ist auf dieser Ebene auch eine gezielte Vernetzung von Interessengruppen, um gemeinschaftliche Maßnahmen zu planen und umzusetzen. Hier kann die Lokalpolitik eine Vernetzer- und Mediatorrolle spielen. So könnten an Runden Tischen Landwirtschafts-, Jagd-, Angel-,

Naturschutz-, Gartenbau- oder Landschaftspflege-Verbände zusammengeführt und so Arbeits- und Finanzaufwand für Maßnahmen gebündelt werden. Auch für die effektive Umsetzung von Maßnahmen auf der Fläche ist es wichtig, alle Interessengruppen an einen Tisch zu bekommen. Des Weiteren können auf lokaler Ebene veranstaltete Wettbewerbe, beispielsweise zwischen Schulen oder Gemeinden, die Informationen zum Insektenschutz verbreiten und die Umsetzung von Maßnahmen anstoßen. Die Herausforderungen liegen hierbei auch bei den fehlenden Informationsmöglichkeiten für Beteiligte, Politik wie Interessenverbände. Dieser Leitfaden soll zur Behebung dieses Wissensdefizits beitragen.

### 1.3.3 Landesebene

Naturschutz ist in Deutschland Ländersache<sup>92</sup>. Die Volksvertretungen der einzelnen Bundesländer tragen daher beim Insektenschutz eine besondere Verantwortung. Ende 2019 wurde das Eckpunktepapier zum Schutz der Insekten in Baden-Württemberg als Weiterentwicklung des Gesetzesentwurfes „Rettet die Bienen“ durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg veröffentlicht. Darin wurden die Forderungen des Volksbegehrens aufgenommen, im Hinblick auf Vereinbarkeit mit den Belangen der Landwirtschaft geprüft und als elf Eckpunkte zur künftigen Gestaltung des Insektenschutzes in Baden-Württemberg ausformuliert. Die Eckpunkte betreffen die konkrete landwirtschaftliche Praxis, Schutzbemühungen im urbanen Bereich und in Schutzgebieten, sowie Ziele im Hinblick auf Wissensvermittlung, Forschung und den Dialog zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern<sup>93</sup>.

Im Sommer 2020 wurde dann die Novellierung des Naturschutzgesetzes beschlossen, das einen Ausbau des ökologischen Landbaus, einer Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln sowie dessen Verbot in Naturschutzgebieten, die Förderung des Biotopverbunds, den Erhalt von Streuobstwiesen, das Verbot von Steingärten im privaten Bereich, die Reduzierung der Lichtverschmutzung und die Schaffung von Refugien auf 10 % der landwirtschaftlichen Fläche vorsieht. Dies soll über Ver- und Gebote, sowie Agrarumweltmaßnahmen und zielorientierte Fördermaßnahmen erreicht werden<sup>94</sup>.

Neben der Möglichkeit der legislativen Einflussnahme auf die Landnutzung, kann auf Landesebene auch Einfluss auf Verbesserungen zum Thema Insektenrückgänge im Bildungssektor genommen werden. So können Naturschutzthemen fest in Lehrplänen verankert und Kinder und Jugendlichen schon möglichst früh diese Thematiken nähergebracht werden. Generell kommt dem Land bei der Umweltbildung eine große Verantwortung zu. Eine empfehlenswerte aktuelle Veröffentlichung dazu ist die Zeitschrift der Bundeszentrale für politische Bildung aus der Reihe „Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ 11/2020)“ zum Thema „Natur- und Artenschutz“<sup>95</sup>. Wettbewerbe wie „Baden-Württemberg blüht“<sup>96</sup> und „Blühenden Verkehrsinseln“<sup>97</sup> sowie Aktionen wie der „Aktionstag Insekten-Helden“<sup>98</sup> und die vom Ministerium für Umwelt und Energiewirtschaft geförderten NABU-Projekte „Natur nah dran“ und „Blühende Gärten“<sup>99,100</sup> eignen sich hervorragend dazu gleichzeitig Informationen zu übermitteln, Aufmerksamkeit zu erregen und Maßnahmen vor Ort umzusetzen.

Die Weichen sind durch die Gesetzesnovelle und die breite Resonanz aus der Bevölkerung bereits in die richtige Richtung gestellt. Baden-Württemberg könnte so eine Vorreiterrolle in Sachen Insektenschutz in Deutschland übernehmen. Die Herausforderung besteht auf dieser Ebene darin, alle Interessengruppen ins Boot zu holen. Hier ist besonders zwischen Landnutzer- und Naturschutzseite

Fingerspitzengefühl gefragt. Mit Transparenz und Offenheit kann der Dialog gelingen und Maßnahmen zum Insektenschutz in der Gesetzgebung verankert und in der Landschaft erfolgreich umgesetzt werden.

### *1.3.4 Bundesebene*

Im September 2019 wurde durch die Bundesregierung das „Aktionsprogramm Insektenschutz“ verabschiedet, um den Bemühungen zur Erreichung einer Trendwende bei den Rückgängen von Insekten einen Rahmen zu geben. Dies beinhaltet unter anderem den gesetzlichen Schutz von Insekten-Lebensräumen, Verbot von besonders schädlichen Pestiziden in einem Großteil der Schutzgebiete und an Gewässerrändern, 100 Mio. € pro Jahr für die Förderung von Insektenschutz und die Insektenforschung, den auf mittlere Sicht geplanten Ausstieg aus Glyphosat, die Wiederherstellung von Lebensräumen für Insekten auf dem Land und in der Stadt sowie die Eindämmung der Lichtverschmutzung<sup>101</sup>.

Der Bund fördert dabei Projekte wie „FINKA – Förderung von Insekten im Ackerbau“, das insektenfreundlichere Lösungen auch für die konventionelle Landwirtschaft entwickelt und erprobt<sup>102</sup>, „DaLLi – Extensive Dachbegrünungen in urbanen Landschaften als Lebensraum für Insekten“<sup>103</sup> und zahlreiche Forschungsprojekte zum Monitoring und Schutz der Insektenvielfalt. Des Weiteren werden Handlungsempfehlungen, wie der Leitfaden „Insektenschutz in der Kommune“ des Deutschen Städte- und Gemeindebundes (DStGB) und des Bundesamts für Naturschutz (BfN)<sup>104</sup>, veröffentlicht.

Die Rolle Baden-Württembergs auf dieser Ebene ist es, im Bundesrat, in Minister- und Fachministerkonferenzen oder durch die Landesvertretung in Berlin Gesetzesinitiativen zum Wohle der Insekten voranzutreiben sowie Großprojekte im eigenen Bundesland zum Thema Insektenschutz zu initiieren oder zu unterstützen und eine Förderung beim Bund zu beantragen. Momentan übt Baden-Württemberg Kritik am Insektenschutzpaket des Bundes und bemüht sich darum, dass die bereits für das Bundesland beschlossenen Regelungen nicht durch das Insektenschutzgesetz gefährdet werden. Hier geht es vor allem um die Frage, ob es, wie im Insektenschutzgesetz des Bundes geplant, zu einem Verbot des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in Fauna-Flora-Habitat-Gebieten kommt<sup>105,106</sup>.

### *1.3.5 EU-Ebene*

Auf EU-Ebene beeinflussen vor allem die Entscheidungen zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) oder zur Finanzierung des Naturschutzes im ländlichen Raum die Lebensraumsituation von Insekten in Baden-Württemberg. Rund 400 Millionen Euro Direktzahlungen aus der 1. Säule der GAP, dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums, fließen jährlich an Landwirtinnen und Landwirte im Bundesland. Dazu kommen ungefähr 100 Millionen Euro für die Landwirtschaft und die ländlichen Räume. Damit werden in Baden-Württemberg Programme wie das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT), die Landschaftspflegerichtlinie (LPR) und die Ausgleichszulage Landwirtschaft (AZL) finanziert. So hat Baden-Württemberg beispielsweise die Regelung genutzt, 6 Prozent der Mittel aus der 1. Säule (Direktzahlungen) in die 2. Säule (Agrarumweltprogramme) umzuschichten<sup>107</sup>.

Baden-Württemberg hat in allen Belangen, in die der Bundesrat miteinbezogen wird, ein Mitspracherecht. Des Weiteren kann das Bundesland über seine Landesvertretung in Brüssel und über den Ausschuss der Regionen (AdR) Einfluss auf die EU-Politik nehmen<sup>108</sup> und so dazu beitragen, den Schutz der Insekten prioritäres Thema in der Gesetzgebung zu verankern.

## 2 Maßnahmen in Agrarlandschaften

### 2.1 Hecken

Hecken erfüllen seit jeher eine Vielzahl von Aufgaben. Sie können Besitzgrenzen anzeigen, dienen als Wind- und Erosionsschutz und tragen als gestaltende Elemente erheblich zu einem ästhetischen Landschaftsbild bei. Für die Natur sind Hecken ebenfalls von immenser Bedeutung. Sie beherbergen eine Vielzahl von Arten und dienen als grüne Korridore um verschiedenste Lebensräume miteinander zu verbinden. In unmittelbarer Nähe von Hecken lassen sich eine höhere Artenvielfalt<sup>1</sup> und höhere Individuenzahlen von Nützlingen wie Spinnen und Kurzflügelkäfern<sup>2,3</sup> sowie eine höhere Individuenzahl an Bestäubern wie Bienen und Schwebfliegen<sup>3</sup> finden. In 50 m Entfernung kann die Anzahl zwischen 10 % (Bienen) und 40 % (Wolfsspinnen) abnehmen<sup>3</sup>. Für Insektenlebensräume in der Agrarlandschaft stellt vielerorts der Eintrag von Nährstoffen wie Stickstoffen und Phosphor ein Problem dar. Hecken können dabei helfen die negativen Auswirkungen von Überdüngung zu mindern, indem sie den Abfluss dieser Stoffe ober- (69 %) und unterirdisch (34 %) verringern<sup>1</sup>. Hecken bedeuten aber auch Arbeit. Sie müssen gepflegt werden, um ihre Funktion zu erhalten. Außerdem sind mögliche Zielkonflikte zu anderen Artengruppen zu beachten. Besonders für Feldvögel sind Hecken wichtige Brut- und Nahrungshabitats. Dagegen sind für Rebhühner beispielsweise können hohe Hecken mit Einzelbäumen eher ungünstig sein, da sie das Prädationsrisiko erhöhen<sup>4</sup>. Hier muss auf Landschaftsebene abgewogen werden.

### Konkrete Maßnahmen

**Vielfalt schaffen:** Eine **hohe Vielfalt an Gehölzpflanzen** kommt Hummeln, Baldachinspinnen<sup>3</sup> und Heuschrecken<sup>5</sup> zu Gute. Eine **hohe Vielfalt an blühender krautiger Vegetation** im nahen Umfeld und im Unterholz begünstigt Schwebfliegen und andere Bestäuber<sup>3</sup>.

**Heckenstruktur:** Mit **steigender Heckenlänge in der Landschaft** steigt dann wiederum auch die Artenzahl von Insekten bestäubter krautiger Pflanzen<sup>6</sup>. Die **Integration von hohen Einzelbäumen** wirkt sich positiv auf die Anzahl und Artenvielfalt **von Nachtfaltern**<sup>7,8</sup> sowie die die Zahl von Wolfsspinnen aus<sup>3</sup>. **Lückenlose und dichte Heckenbestände** begünstigen bodenbewohnende Insekten, wie beispielsweise Springschwänze<sup>9</sup> und Baldachinspinnen<sup>3</sup>. **Hecken entlang von Landstraßen** werden besonders gerne von Hummeln genutzt<sup>10</sup>. Hecken können für Insekten **sowohl Wanderkorridore als auch Barrieren** sein<sup>11,12</sup>. Die **Planung und Anlage** sollten mit Bedacht und **unter Einbeziehung der umliegenden Landschaft** erfolgen.

**Hecken insektenfreundlich pflegen:** Werden Hecken nur **alle drei Jahre anstatt jährlich** geschnitten, wirkt sich dies positiv auf die Insektenvielfalt<sup>13</sup> sowie die Individuenzahl von beispielsweise Nachtfaltern<sup>14,15</sup>, Fliegen<sup>13</sup> und Baldachinspinnen<sup>3</sup> und die Blütenbildung aus<sup>16</sup>. **Geringere Intensität beim Rückschnitt**, der einen größeren Heckenquerschnitt hinterlässt, begünstigt die Artenvielfalt von Nachtfaltern<sup>14,17</sup>. Der **Schnitt im Winter anstatt Herbst** macht die Hecke attraktiver für eine größere

Anzahl an Nachtfalterarten<sup>14,17</sup>. **Ansägen und anschließendes Umknicken** der Stämme zur Verjüngung erhält die Anzahl an Insekten im Jahr nach dem Eingriff im Gegensatz zum Einsatz der Baumsäge auf gleichem Niveau<sup>9,18</sup>. **Blattbiomassebildung** nach einer Heckenverjüngung ist beim **Umknicken höher** als beim Schnitt mit der Baumsäge<sup>9</sup>. Das **Auf-den-Stock-setzen** ist im Hinblick auf den Insektenschutz eher nicht empfehlenswert<sup>18</sup>.

In **Kombination mit Blühstreifen** wirkt sich die Anlage von Hecken positiv auf die **Bestäubungsleistung** sowie die **natürliche Schädlingsbekämpfung** aus<sup>19</sup>

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Insektenfreundliche Hecken können von Privatpersonen in Hausgärten und Kleingärten angelegt und entsprechend der oben genannten Art und Weise gepflegt werden. Hierbei ist unbedingt der §39 des Bundesnaturschutzgesetzes zu beachten, wonach Hecken, lebende Zäune, Gebüsche und andere Gehölze in der Zeit vom 1. März bis zum 30. September nicht abgeschnitten, auf den Stock gesetzt werden dürfen<sup>20</sup>.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Auf stadteigenen Flächen wie in Parks aber auch in der landwirtschaftlich genutzten Fläche kann die Anlage neuer Hecken angestoßen und gefördert werden. Ein insektenfreundliches Management kann in die Pflegeplanung bereits bestehender Hecken einbezogen werden. Auch hier ist der § 39 Bundesnaturschutzgesetz (BNatschG) zu beachten.

**Landesebene:** Die Anlage von Hecken im Agrarland wird in Baden-Württemberg im Rahmen der Landschaftspflegerichtlinie 2015 – LPR gefördert. Im Ackerland wird das Anlegen einer Hecke mit 370 € pro ha und Jahr und im Grünland mit 520 € pro ha und Jahr vergütet. Es wäre hierbei denkbar eine besonders insektenfreundliche Heckenbewirtschaftung als gesonderte Maßnahme auszuweisen und entsprechend höher zu vergüten. Die oben genannten Hinweise zur Heckenpflege fügen sich gut ein in die schon vorhandenen Ratschläge auf den Internetseiten des Landes, z.B. beim Infodienst Landwirtschaft – Ernährung – Ländlicher Raum – Baden-Württemberg<sup>21</sup>. Auch im Fachplan Landesweiter Biotopverbund spielen Hecken eine wichtige Rolle um verschiedenste Lebensräume miteinander zu vernetzen<sup>22</sup>.

## **2.2 Ackerrandstreifen und Blühflächen**

Begrünte und nicht ackerbaulich genutzte Streifen entlang von Feldern, die diese z.B. gegenüber Straßen, Feldwegen sowie anderweitig genutzten Flächen abgrenzen, sind ein wichtiger Insektenlebensraum in der Agrarlandschaft. Die Anzahl an Insekten in Ackerrandstreifen ist bis zu zweimal so hoch wie in Getreidefeldern und nur ca. ein Drittel niedriger als in Hecken<sup>1,2</sup>. Die Art, wie die Ackerrandstreifen bewirtschaftet werden, beeinflusst, welche Insekten davon profitieren<sup>3</sup>. Eine Vielzahl an Studien zeigt, dass eine Ansaat mit einer Blühpflanzenmischung für Insekten förderlich ist. So wurden auf Randstreifen mit blütenreicher Ansaat bis zu viermal so viele Schmetterlinge und Spinnen wie im Feld und bis zu dreimal mehr Schmetterlinge und Spinnen als in Streifen mit natürlicher Sukzession nachgewiesen<sup>4,5</sup>. Bei Hummeln wurden in Streifen mit Ansaat zwischen zwei und 14 mal höhere Individuenzahlen als in Streifen mit natürlich aufkommender Vegetation nachgewiesen<sup>4,6</sup>. Auch die Artenvielfalt bei Spinnen und Laufkäfern wird durch eine Ansaat positiv beeinflusst<sup>7,8</sup>. Andererseits wurde in einer weiteren Studie eine höhere Insektenvielfalt bei natürlich aufkommender Vegetation nachgewiesen. Dies wurde mit der höheren Pflanzenvielfalt und einem größeren Anteil an Stellen mit offenem Boden begründet<sup>9</sup>. Die Ergebnisse anderer Studien zeigen wiederum, dass Grasstreifen für bodenbewohnende Nützlinge wie Kurzflügelkäfer und Spinnen besser sind. Mit Blühmischungen eingesäte Streifen sind hingegen besser geeignet für Schwebfliegen<sup>10</sup> und parasitische Wespen<sup>11</sup>.

Ackerrandstreifen bilden des Weiteren einen wichtigen Überwinterungslebensraum für Insekten in der Agrarlandschaft<sup>1</sup>. In Randstreifen mit krautiger Vegetation kann die Dichte an überwinternden Nutzinsekten beispielsweise mehr als dreimal so hoch sein wie in reinen Grasstreifen. Von dort aus ist dann im Frühjahr eine Wiederbesiedelung des Felds möglich<sup>12</sup>. Besonders alte Randstreifen können einen wichtigen Beitrag zur biologischen Schädlingsbekämpfung leisten. Eine Studie an Rapsglanzkäfern zeigt, dass die Parasitierungsrate dieses Schädling, d.h. seine Mortalität, im Zentrum eines Felds mit sechsjährigen Randstreifen um ca. 40 % höher ist als in Feldern mit einjährigen Randstreifen<sup>13</sup>.

Blühflächen oder -streifen werden immer mehr zu einem festen Bestandteil der Agrarlandschaft. Anstelle von Ackerfrüchten oder Energiepflanzen wird hier Artenvielfalt angebaut. Die Einsaat von ein- und mehrjährigen Blühpflanzen soll einer Vielzahl von Blütenbesuchern als Nahrung dienen. Auch andere Insekten, Feldvögel und Säugetiere profitieren von dieser Maßnahme. Nicht zuletzt sind sie zur Blütezeit ein echter Hingucker und werten somit Landschaftsbild und Lebensraumqualität auf. In einer Vielzahl von Studien wurde nachgewiesen, dass Blühstreifen und -flächen eine höhere Artenvielfalt und Individuenzahl an Insekten aufweisen als landwirtschaftlich genutzte Flächen, Grasstreifen oder nährstoffreiche Randstreifen mit natürlicher Regeneration<sup>14</sup>. Diese Maßnahme kommt vor allem weit verbreiteten, mobilen und nicht bedrohten Arten zu Gute, welche Blühflächen schon im Jahr der Anlage besiedeln<sup>14-16</sup>. Um seltene Arten zu unterstützen, sollten Blühflächen mit anderen Maßnahmen wie zum Beispiel Hecken kombiniert werden<sup>16-19</sup>. Auch im Hinblick auf die Förderung von Nützlingen sowie zur Erhöhung der Bestäubungsleistung sind Blühstreifen und -flächen interessant. So ließ sich bei einer Ansaat von Blühstreifen neben Weizenflächen eine Reduzierung der durch Getreidehähnchen verursachten Schäden um 61 % nachweisen<sup>20</sup>. Bei der Ansaat neben

Kartoffelfeldern konnte eine Reduktion von Blattläusen um 75 % erzielt werden<sup>21</sup>. Allerdings gibt es auch Studien, die keinen Effekt auf die Verbesserung der natürlichen Schädlingsbekämpfung nachweisen konnten<sup>14</sup>. Bei einer Anlage im Zusammenhang mit dem Obstanbau konnte eine Erhöhung der Blütenbesuche bei Apfelbäumen um 40 % und bei Erdbeerpflanzen um 25 % nachgewiesen werden<sup>22-24</sup>. Je nach Zusammensetzung der Blütmischung können stärker Herbivore, Parasitoide oder Bienen gefördert werden<sup>25</sup>.

Eine weitere Möglichkeit, Insekten in und zwischen Feldern zu fördern, sind die sogenannten „beetle banks“. Dabei handelt es sich um mit dem Pflug erzeugte Erdwälle, die zumeist ein größeres Feld in zwei kleinere Schläge teilen. Beetle banks sind ca. 1,5 bis 2,5 m breit und ca. 0,5 m hoch und zumeist mit Gräsern bepflanzt. Studien aus England zeigen, dass Laufkäfer und Kurzflügelkäfer in beetle banks genauso hohe und teilweise sogar höhere Dichten erreichen als in den Ackerrandstreifen im gleichen Feld oder angrenzenden Hecken. Besonders geeignet ist dabei die Aussaat von Gewöhnlichem Knäuelgras *Dactylis glomerata* oder Wolligem Honiggras *Holcus lanatus*. Beetle banks ziehen außerdem vor allem räuberische Insekten und Spinnen an, was sie zusätzlich interessant im Hinblick auf die biologische Schädlingsbekämpfung macht<sup>26-28</sup>.

Aus Sicht des Insektenschutzes wäre auf Landschaftsebene ein Netzwerk aus Randstreifen und Blühflächen unterschiedlichster Ausprägung das anzustrebende Ziel. Unterschiedliche Altersklassen, Selbstbegrünung auf der einen und Einsaat von regionalem Saatgut auf der anderen Seite sowie unterschiedliche Mahdregimes schaffen so wertvolle Lebensräume, die einer Vielzahl an Artengruppen zu Gute kommen<sup>14,29,30</sup>. Um die Anzahl von Bestäubern in der Landschaft zu verdoppeln, wäre ein Anteil nicht ackerbaulich genutzter Flächen von 7,5 bis 10 % nötig<sup>31</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

Bei Ansaat von **Blümmischungen sollte auf Artenzusammensetzung geachtet werden**. Wichtig ist die Bereitstellung von **Blütenressourcen über die ganze Blühsaison** hinweg, da unterschiedliche Artengruppen während unterschiedlicher Zeitpunkt das Maximum ihres Bedarfs an Nektar- und Pollennahrung benötigen<sup>17,31-33</sup>. Die **Saatmischung** sollte so zusammengestellt werden, dass **Nahrung für alle Altersstadien** (Larven und adulte Insekten) bereitgestellt wird<sup>14</sup> und im Agrarbereich insbesondere den Nützlingen dient<sup>25</sup>. Blütenpflanzen mit **langgezogenen Blüten** ziehen eher **Bestäuber** an während Arten mit eher **offenen Blüten Nützlinge** anziehen. Am besten ist eine **Mischung aus** Arten mit beiderlei **Blütenformen**<sup>34,35</sup>. Das Vorhandensein einzelner **Schlüssel-Pflanzenarten** ist für die Förderung von Bestäubern möglicherweise wichtiger als die Pflanzenvielfalt an sich: **Gewöhnliche Schafgarbe** (*Achillea millefolium*), **Färberkamille** (*Anthemis tinctoria*), **Weißer Gänsefuß** (*Chenopodium album*), **Rainfarn-Phazelle** (*Phacelia tanacetifolia*) zogen bereits 80 % der in einer Studie identifizierten Arten an<sup>17</sup>. Die nektarreiche, exotische Phacelie ist aber für solitäre Wildbienen wahrscheinlich wenig geeignet<sup>36</sup>.

Es sollte **regionales Saatgut einheimischer Arten** zum Einsatz kommen, da so ein ortsspezifisches Maximum an Blütenanzahl und Biomassebildung der Blühpflanzen erreicht werden kann<sup>19,37-40</sup>.

Einjährige Blühflächen sollten aus Sicht des Insektenschutzes **für mehrere Jahre (>3) am selben Ort angelegt werden**<sup>14,41</sup>. Auch sollte nicht nur auf diese Art der Bewirtschaftung gesetzt werden, da beim Pflügen im Boden überwinterte Insekten und Spinnen getötet werden können<sup>42</sup>.

Bei **Einsaat von Gras** sollten nur sehr **konkurrenzschwache Arten** ausgewählt werden, um einen höheren Blütenreichtum zu erreichen<sup>43</sup>. Auf Landschaftsebene empfiehlt sich eine **teilweise Neuansaat alle drei bis vier Jahre**, um Blütenreichtum aufrecht zu erhalten<sup>43</sup> und ansonsten keine Neuansaat. In 6 Jahre alten Randstreifen wurden viermal so viele Spinnen nachgewiesen wie in einjährigen. Alte Randstreifen leisten also einen wichtigen Beitrag zur natürlichen Schädlingsbekämpfung<sup>13,44</sup>.

Mit einem **höheren Anteil an naturnahen Lebensräumen** im Umfeld ist der **Artenreichtum** der für **Bienen relevanten Blühpflanzen in Randstreifen um 10 – 40 % höher**<sup>45</sup>.

Randstreifen **entlang von Baumreihen** eignen sich besonders für die Förderung der Insektenvielfalt; durch die teilweise Beschattung entstehen **eine Vielzahl von Mikrohabitaten** mit jeweils unterschiedlicher Artenzusammensetzung<sup>9</sup>.

Randstreifen mit **teilweiser Mahd im Frühjahr und Herbst** beherbergen bis zu zweimal so viele Schmetterlinge wie Randstreifen, die komplett im Sommer gemäht werden<sup>32</sup>. Auch für Spinnen ist eine Mahd im Sommer ungünstig<sup>7</sup>. Empfehlenswert ist die **Mahd einer Teilfläche im Mai oder Anfang Juni**, um Blütenreichtum zu erhalten und eine **Mahd im Herbst**. Das Mähgut sollte möglichst entfernt werden<sup>43</sup>. Die **Vielfalt an Vegetationsstruktur**, wie deren Höhe und Lückigkeit, spielt genauso wie Pflanzenvielfalt eine wichtige Rolle und kann durch eine **teilweise Mahd** ebenfalls gefördert werden<sup>46</sup>. **Einfluss von Spritzmitteln reduzieren**: Es wurden bis zu fünffach weniger Schmetterlingsindividuen an Streifen nachgewiesen, die mit Pestiziden behandelt wurden<sup>32</sup>. **Einschränkungen des Herbizideinsatzes** am Feldrand kann sich zusätzlich positiv auf Insekten auswirken, beispielsweise auf **Wanzen** mit einer **zwölffachen Steigerung der Individuenzahlen und einer Verdopplung der Artenzahl**<sup>47</sup>.

**Je breiter ein Randstreifen umso höher die Heuschreckendichte**. Ab 9 m ist diese gleich hoch wie im Grünland. Bei einer Breite von 6 – 9 m kommen mehr als doppelt so viele Individuen vor wie bei einer Breite von 0.5 – 6 m<sup>48</sup>.

**Brennnesselstreifen** sind eine effektive Maßnahme um viele **Schmetterlingsarten** wie den Kleinen Fuchs *Aglais urticae* zu fördern. Auf diesen entwickeln sich auf Grund des wärmeren Mikroklimas und des optimaleren Kohlenstoff/Stickstoff-verhältnisses Larven 20 % schneller als im Wald<sup>49</sup>. Außerdem profitieren viele **Käfer-, Zikaden- und Wanzenarten** von einem Netzwerk aus Nesselstreifen in der Landschaft<sup>50</sup>. Natürliche Gegenspieler von Getreideblattläusen können sich an Brennnessel-Blattläusen entwickeln und in die Getreidefelder ausstrahlen.<sup>51</sup>

**Beetle banks** sollten ca. **1,5 bis 2,5 m breit und ca. 0,5 m hoch** und mit Gräsern eingesät werden. Besonders geeignet ist dabei die Aussaat von **Gewöhnlichem Knäuelgras** *Dactylis glomerata* oder

**Wolligem Honiggras** *Holcus lanatus*. Beetle banks dienen besonders für räuberische Insekten als Lebensraum, die in der **biologischen Schädlingsbekämpfung** einen wichtigen Beitrag leisten<sup>26–28</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Im häuslichen Garten können Blühflächen und -streifen in kleinerem Maßstab angelegt werden. Dabei sollte regionales Saatgut einheimischer Pflanzenarten verwendet werden. Auch hier sollte zumindest ein Teil der Vegetation über den Winter stengelgelassen werden, um Insekten Überwinterungsmöglichkeiten zu bieten. Im Rahmen der Initiative „Baden-Württemberg blüht auf“ des Landesbauernverbands in Baden-Württemberg e.V. und des Badischen Landwirtschaftlichen Hauptverbands e.V. bieten Landwirtschaftsbetriebe die Möglichkeit an, Patenschaften für Blühstreifen zu übernehmen. Der Blühpate kann hierbei über die Flächengröße, Dauer der Maßnahme sowie die Höhe der finanziellen Unterstützung mitentscheiden<sup>52</sup>.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Das Land Baden-Württemberg fördert die Planung und Anlage von Blühflächen und anderen Naturschutzmaßnahmen im Siedlungs- und Außenbereich durch Gemeindeverwaltungen. Dafür wurden 7,5 Millionen € bereitgestellt<sup>53</sup>. Dieser Schritt ist aus Sicht des Insektenschutzes sehr zu begrüßen. Laut der Verwaltungsvorschrift Förderung Blühflächen und Biodiversitätspfade müssen Blühflächen dabei eine Mindestgröße von 0,5 ha aufzuweisen, können aber auch aus nicht zusammenhängenden Teilflächen mit Mindestflächengrößen von je 0,1 ha bestehen. Sie sind als mehrjährigen Blühflächen und Blühstreifen auf Ackerflächen oder Brachflächen für mindestens fünf Jahre anzulegen. Bei streifenförmiger Ansaat muss auf der überwiegenden Länge eine Mindestbreite von fünf Metern eingehalten werden. Dabei muss gebietsheimisches und standorttypisches Saatgut verwendet werden und die Aussaat bereits im Herbst des Vorjahres oder im Frühjahr bis spätestens 15. Mai erfolgen. Die Aussaatstärke muss zwischen 8 – 10 kg/ha betragen. Nach der Aussaat ist während des gesamten Förderzeitraumes, mit Ausnahme der Pflegemaßnahmen, das Befahren, Bearbeiten des Bodens oder die Nutzung der Fläche untersagt. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist generell nicht zulässig. Vom 1. April bis zum 30. Juni ist die Pflege und der Abtransport des Pflegematerials aus der Blühfläche verboten. Pflegende Schröpfschnitte mit Abräumen des Mahdguts während der Etablierungsphase bis zu drei Monate nach der Einsaat sind von dieser Regelung ausgenommen. Auch eine Pflege von Teilflächen mit Problemebeikräutern ist dabei möglich. Die Fördersumme beträgt einmalig 345 € je 0,5 ha. Für Maßnahmen größer 0,5 ha erhöht sich die Zuwendung abgerundet mit jedem weiteren 0,1 ha um 69 €<sup>54</sup>. Die Einsaat von Blühstreifen bietet sich auch in verschiedensten Grünanlagen, wie zum Beispiel Parks oder Friedhöfen, an.

**Landesebene:** In Baden-Württemberg ist die Anlage von Blühstreifen oder Blühflächen über das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) möglich. Mit der Maßnahme „E 2.1 - Brachebegrünung mit Blühmischungen“ können Landwirte auf maximal 10 ha je Betrieb eine Ausgleichsleistung von 710 €/ha erhalten. Dabei ist eine jährliche Aussaat von vorgegebenen ein- oder überjährigen Blühmischungen auf aus der Erzeugung genommenen Ackerflächen vorgesehen. Ab Ende November wird die Fläche gemulcht. Damit erlaubt diese Maßnahme keine Überwinterungsmöglichkeit für Insekten. Dass die Fläche über die geförderte Laufzeit hinweg gewechselt werden kann, ist aus Sicht des Insektenschutzes ebenfalls negativ zu bewerten. Die Maßnahme „E 7 - Blüh-, Brut- und Rückzugsflächen (Lebensräume für Niederwild)“ ist aus Sicht des

Insektenschutzes besser geeignet. Hierbei ist eine Winterruhe vorgeschrieben und es bleibt bei der Neuaussaat im Frühjahr mindestens 1/3 der Vorjahresvegetation stehen. Positiv hervorzuheben ist außerdem, dass die Maßnahme über fünf Jahre hinweg auf der gleichen Fläche durchgeführt werden muss. Die Ausgleichsleistung beträgt 540 €/ha und es besteht keine Flächenbegrenzung. Da die Maßnahme E 7 im Hinblick auf den Insektenschutz der Maßnahme E 2.1 überlegen ist, könnte über eine Erhöhung bzw. Angleichung der Förderprämie nachgedacht werden, um die Attraktivität zu erhöhen. Die Anlage von mehrjährigen Blühflächen wird ab 2021 mittels der Maßnahme „E 8 - Brachebegrünung mit mehrjährigen Blühmischungen (ökologische Zellen)“ gefördert. Die Fördersumme beläuft sich auf 730 €/ha und kann für maximal 10 ha des Betriebs angemeldet werden. Dabei müssen mehrjährigen Blühmischungen mit regionalem Saatgut in einer Aussaatstärke zwischen 8 - 10 kg/ha zum Einsatz kommen. Nach der Aussaat ist für fünf Jahre das Befahren, Bearbeiten, die Nutzung sowie der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln nicht mehr zulässig<sup>55</sup>. Aus Sicht des Insektenschutzes ist die Einführung dieser Maßnahme sehr zu begrüßen. Des Weiteren können Blühflächen auch innerhalb von Landschaftspflege-Richtlinie-Verträgen gefördert werden<sup>56</sup>.

Baden-Württemberg fördert Ackerrandstreifenprogramme auf Grundlage des Ziels der Biotopvernetzung in der Landschaftspflege-Richtlinie<sup>57</sup>. Wie ein solches Programm und eine informative Darstellung dessen aussieht, zeigt das seit 1992 bestehende Ackerrandstreifenprogramm der Stadt Heilbronn<sup>58,59</sup>. Solche Projektkonzepte sollten stärker beworben und auf größerer Fläche in Baden-Württemberg umgesetzt werden. Hierbei sollte die Planung möglichst auf Landschaftsebene erfolgen und sichergestellt werden, dass ein Netzwerk aus Randstreifen unterschiedlichster Ausprägung von Alter, Pflanzenbewuchs und Mahd entstehen kann. Des Weiteren wäre eine weitere Maßnahme im Rahmen des Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT), bei der eine Reduktion des Pestizideinsatzes am Feldrand finanziell gefördert wird, aus Sicht des Insektenschutzes zu befürworten.

## 2.3 Ackerbrachen

Von 1992 bis 2008 waren Brachflächen als Maßnahmen gegen Überproduktion fest in der ersten Säule der GAP verankert und brachten es auf ca. 10 % der bewirtschafteten Fläche in Europa. Seither werden Brachflächen als Agrarumweltmaßnahme in der zweiten Säule gelistet. Standen in der Vergangenheit die Regeneration des Bodens und die Bekämpfung von Unkräutern bei der Anlage von Brachflächen im Vordergrund, ist es heute die Schaffung eines für eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten attraktiven Lebensraums<sup>1,2</sup>. So lassen sich in Ackerbrachen im Vergleich zu bewirtschafteten Feldern mehr Insektenarten sowie eine höhere Insekten-dichte nachweisen<sup>3,4</sup>. Der Artenreichtum von Spinnen kann dabei das fast doppelte<sup>5</sup> und bei Ameisen und Schmetterlingen das vierfache<sup>6,7</sup> im Vergleich zum Acker erreichen. Bei anderen Artengruppen, wie zum Beispiel Bestäubern oder Heuschrecken, sind Brachen erst ab dem zweiten Jahr wirksam<sup>7-9</sup>. Für die Artenvielfalt von Wildbienen ist eine hohe Vielfalt blühender Pflanzenarten entscheidend. Ein höherer Deckungsgrad an Blühpflanzen wirkt sich wiederum positiv auf die Wildbienen-Individuenzahl aus<sup>10</sup>. Auch für die biologische Schädlingsbekämpfung können Brachflächen hilfreich sein. Ackerbrachen befördern die Individuenzahlen von Spinnen in und um Brachflächen, was sich positiv auf die Reduktion von Schadinsekten auswirken kann<sup>5,11-13</sup>.

### Konkrete Maßnahmen

Brachflächen sollten **für mehrere Jahre** angelegt werden<sup>8,10</sup>. Am besten wäre eine **Mischung aus Rotations- und Dauerbrachen**, um für eine heterogene Altersstruktur zu sorgen.

Eine **Mahd** kann auf Teilflächen **einmal im Jahr** erfolgen um die Pflanzenvielfalt zu erhalten<sup>8</sup>.

Empfehlenswert ist die **Bevorzugung großer Brachflächen** gegenüber kleinen, da sie ein günstigeres Verhältnis zwischen Nützlingen und Schädlingen aufweisen<sup>14</sup>.

Wenn eine **Einsaat von Pflanzen** erfolgt, sollten **konkurrenzschwache Kräuter und nicht Wiesengräser** gewählt werden, um eine hohe Pflanzendiversität zu erzielen<sup>2,9,15</sup>.

Besonders gut sind Brachen **in Verbindung mit** einem hohen Anteil an **ökologischer Landwirtschaft**. Bei einer Erhöhung von 5 % auf 20 % erhöht sich der Artenreichtum der Bienen auf Brachen um 50 %, die Dichte der Solitär-bienen um 60 % und die Hummeldichte um 150 %<sup>16</sup>.

### Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Auch kleinere Flächen in Garten oder Kleingarten können wie eine Brache bewirtschaftet werden. Dabei können nach Abtragen der Grasnarbe Blümmischungen ausgesät und wie oben beschrieben bewirtschaftet werden. Alternativ kann auch Selbstbegrünung zugelassen werden.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Förderprogramme könnten auch auf Kommunal- und Landkreisebene die Anlage von Ackerbrachen finanziell unterstützen. Dies könnte beispielsweise in das Förderprogramm Blühflächen und Biodiversitätspfade integriert werden<sup>17</sup>.

**Landesebene:** Brachliegendes Ackerland gilt als ökologische Vorrangfläche. Außerdem kann über das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) eine Ausgleichsleistung von 710 €/ha auf maximal 10 ha je Betrieb für eine Begrünung der Brache mit Wildblumenmischungen beantragt werden. Diese Maßnahme ist auf eine einjährige Dauer ausgelegt, da die Blütmischung jedes Jahr neu eingesät wird<sup>18,19</sup>. Ab 2021 wird im Rahmen von FAKT auch die Anlage von mehrjährigen Blühflächen „E 8 - Brachebegrünung mit mehrjährigen Blütmischungen (ökologische Zellen)“ gefördert. Die Fördersumme ist bei dieser Maßnahme mit 730 €/ha etwas höher. Dabei werden mehrjährige Blütmischungen mit regionalem Saatgut in einer Aussaatstärke zwischen 8 - 10 kg/ha ausgesät und die Fläche muss daraufhin für fünf Jahre sich selbst überlassen werden<sup>20</sup>. Die Einführung dieser Maßnahme ist aus Sicht des Insektenschutzes zu begrüßen, da durch diese Maßnahme andere Artengruppen gefördert werden, als in den einjährigen Brachflächen.

**EU-Ebene:** Die früheren Programme zur Flächenstilllegung konnten für die Anlage artenreicher Ackerbrachen genutzt werden, die zu einer Stabilisierung und Wiederherstellung zahlreicher Populationen, zum Beispiel von Wildbienen und Tagschmetterlingen, ermöglichten.

## **2.4 Fruchtfolgen, Vielfalt angebaute Kulturen und Bodenbearbeitung**

Fruchtfolgen in der Landwirtschaft gehören zu den traditionellen Verfahren, um die Bodenfruchtbarkeit aufrecht zu erhalten und gegen Unkräuter, Krankheiten und Pilze vorzubeugen. In Verbindung mit historisch kleinteiliger Bewirtschaftung hat die Fruchtfolge zu einem höchst heterogenen Landschaftsbild gesorgt, welches auch die Artenvielfalt von Insekten begünstigt hat. Durch die Vergrößerung der Feldschläge und die zunehmende Vereinfachung der Fruchtfolgen ist diese strukturelle Vielfalt der Landschaft in jüngster Vergangenheit stark zurückgegangen<sup>1</sup>.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, wie die Diversifizierung der angebaute Pflanzenarten den Schädlingsdruck bzw. Krankheiten durch Pilze oder Mikroorganismen vermindern und somit auch den Bedarf an Pestiziden reduzieren kann. Eine Theorie besagt, dass pflanzenfressende Insekten ihre bevorzugte Nahrungspflanze entweder schlechter auffinden oder mit anderen Pflanzen von der Ackerfrucht weggelockt oder vertrieben werden. Eine Metaanalyse zeigt, dass der Schädlingsdruck in Systemen mit höherer Pflanzenvielfalt im Schnitt 23 % niedriger ist als in Systemen mit niedriger Vielfalt. Die Individuenzahl an Nützlingen war hingegen um 44 % höher. Allerdings zeigte die Studie auch, dass die Ernte der angebaute Kultur in Systemen mit hoher Pflanzenvielfalt um 14 % geringer ist. Dies wird mit dem Verlust an Anbaufläche begründet, der mit der Diversifizierung einhergeht. Hier muss also ein bestimmtes Maß gefunden werden, um die positiven Effekte durch die Pflanzung von anderen Kulturen zur Förderung von natürlicher Schädlingsbekämpfung nicht durch einen zu starken Verlust an Ernte zunichte zu machen<sup>2,3</sup>.

Zur Wirksamkeit von Fruchtfolgen als Maßnahme zur Förderung der Insektenvielfalt gibt es keine eindeutige Datenlage. In einer Studie aus den USA mit einer 4-Jahres Fruchtfolge aus Mais, Weizen, Sojabohne, Mais und Klee gras ließ sich eine höhere Ernte erzielen als mit reinem Maisanbau. Außerdem konnten bis zu doppelt so viele Nützlinge pro Pflanze und bis zu halb so viele Schadinsekten nachgewiesen werden<sup>4</sup>. Längere Fruchtfolgen unter Einbeziehung von Leguminosen können die Bindung von Stickstoff im Boden fördern und damit den Bedarf an zusätzlich ausgebrachtem Stickstoffdünger verringern<sup>5</sup>. Unter Laborbedingungen konnten bei der Einsaat von Weißklee als Zwischenkultur im Winterweizen ca. 30 % weniger Individuen der Großen Getreideblattläuse pro Gramm Pflanzenmasse festgestellt werden als in der Weizenreinkultur. Auch war die Verweildauer der Getreideblattläuse auf den Weizenpflanzen beim Vorhandensein von Weißklee um ca. 40 % kürzer<sup>6</sup>. Im Hinblick auf die Artenvielfalt und Individuenzahl von Laufkäfern, Spinnen, Asseln und Doppelfüßern konnte eine über zehn Jahre andauernde Studie bei längeren Fruchtfolgen jedoch keinen Effekt nachweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass manche Kulturen wie Raps sich positiver auf viele Artengruppen auswirken als Zuckerrüben oder Silagemais. Es kommt also auch darauf an, für Insekten förderlichere Früchte in die Fruchtfolge einzubeziehen und nicht nur die Anzahl der Kulturen zu erhöhen. Das heißt, es geht auch um die Identität der Frucht, nicht nur um die erhöhte Ressourcenheterogenität durch viele Früchte. Wenn beispielsweise nur verschiedene Getreidearten in einer Fruchtfolge angebaut werden, hat dies keine besonders stark förderliche Auswirkungen, da die Vegetationsstruktur und das Mikroklima zwischen den Kulturen sehr ähnlich ist<sup>7</sup>. So gibt es klare Unterschiede in der Artenzusammensetzung von Laufkäfern zwischen Winterweizen und Winterraps<sup>8</sup>. Durch den Selektionsdruck auf eine größere Ausbreitungsfähigkeit könnten sich Schadinsekten

möglicherweise an längere Fruchtfolgen oder eine Diversifizierung von Ackerfrüchten auf Landschaftsebene anpassen<sup>9</sup>. Allerdings stellt die Umstellung auf diverse und lange Fruchtfolgen eine Schlüsselstrategie in Richtung biologisch orientierte, nachhaltige Landwirtschaft dar.

Die landschaftliche Heterogenität (viele Lebensraumtypen) und Komplexität (viel naturnaher Lebensraum) ist dabei genauso wichtig, möglicherweise sogar wichtiger als die Art der landwirtschaftlichen Praxis. So zeigen Studien, dass in Landschaften mit geringerer Feldgröße und geringerer Vielfalt angebaute Pflanzen eine höhere Artenvielfalt festgestellt werden kann als in Landschaften mit höherer Pflanzenvielfalt aber größeren Feldern<sup>10,11</sup>. Die Feldgröße ist demnach wichtiger als die Bandbreite gegenwärtiger Kulturpflanzenvielfalt, die leider auf einem sehr geringen Niveau liegt. Allerdings wiegen die positiven Effekte von kleineren Feldgrößen auf die Bestäubungsleistung nicht die Verluste durch höhere Bewirtschaftungskosten auf<sup>12</sup>. Auch wenn etliche Studien auf die langfristig positiven Auswirkungen der Diversifizierung auf Ökosystemdienstleistungen hinweisen, müssen kurzfristig Ernteeinbußen durch solche Maßnahmen finanziell kompensiert werden<sup>13</sup>.

Pflügen hat seit Urzeiten seinen Platz in der Ackerbewirtschaftung und dient der Auflockerung und Erwärmung des Erdreichs sowie der Verringerung von Unkräutern und des Schädlingsdrucks. Allerdings kann Pflügen auch Nährstoffverluste und Erosion begünstigen und die Bodenfauna empfindlich schädigen. Daher wird heute oft auf Minimalbodenbearbeitung gesetzt<sup>14,15</sup>. Besonders Spinnen reagieren positiv auf eine verringerte Bodenbearbeitung mit höheren Individuenzahlen<sup>16</sup>. Pflügen wirkt sich bei dieser Artengruppe hingegen durch direkte Mortalität oder Abwanderung aus<sup>17,18</sup>. Eine Metaanalyse zeigt ebenfalls, dass auf Feldern mit Minimalbodenbearbeitung und Direktsaat höhere Individuenzahlen bodenbewohnender Räuber nachgewiesen werden können. Bei Individuenzahlen bodenbewohnender Schädlinge konnte kein Unterschied festgestellt werden, während die Individuenzahlen von pflanzenbewohnenden Schädlingen sogar geringer ausfielen. Dies lässt darauf schließen, dass Minimalbodenbearbeitung keinen negativen Effekt wegen höherer Schädlingslast im Boden und sogar einen positiven Effekt durch eine Verbesserung der biologischen Schädlingsbekämpfung mit sich bringt<sup>15</sup>. Geht die Minimalbodenbearbeitung jedoch mit einem erhöhten Bedarf bzw. Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere von Herbiziden, einher, kann dies den Nutzen dieser Maßnahme für den Insektenschutz relativieren<sup>18</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

Die **Untersaat von Mais mit Klee/Gras/Kräuter-Mix** (Weizen 3 g/m<sup>2</sup>, Feuerbohne 27 g/m<sup>2</sup>, Blaue Lupine 67 g/m<sup>2</sup>, Weißer Senf 3 g/m<sup>2</sup>, Buchweizen 3 g/m<sup>2</sup> und Deutschem Weidelgras 3 g/m<sup>2</sup>) kann den Schaden durch Drahtwürmer um 55 % senken und den Ertrag um 38 % steigern. Bei einer **Untersaat im Weizen** kann der Schaden um 38 % gesenkt werden und 30 % mehr Ertrag erzielt werden<sup>19</sup>.

Die Aussaat einer **Ackerfrucht mit verschiedenen Sorten** auf einem Feld kann Schäden durch Insekten und Krankheiten verringern und daher einen Weg zur Reduktion des Pestizideinsatzes darstellen<sup>20</sup>.

**Minimalbodenbearbeitung ist für Insekten und besonders Spinnen förderlich**, wenn dafür nicht der Einsatz von Herbiziden stark erhöht werden muss<sup>15</sup>.

Besonders in Landschaften mit einem niedrigen Anteil an Lebensraumstrukturen wie Hecken und Brachflächen kann die **Verringerung der Feldgrößen auf unter 5 ha** die Artenvielfalt stark erhöhen. Die Verkleinerung der Feldgrößen von 5 auf 2,75 ha hat den gleichen positiven Effekt auf die Artenvielfalt wie die Erhöhung des Anteils von Lebensraumstrukturen wie Hecken und Brachen von 0,5 auf 11 % der Fläche. Ab 11 % Flächenanteil an solchen Lebensraumstrukturen wirkt sich auch die Erhöhung der Vielfalt angebaute Kulturen positiv auf die allgemeine Artenvielfalt in der Agrarlandschaft aus<sup>11</sup>.

**Spinnen profitieren von der Diversifizierung:** Die Abundanz von Spinnen kann durch Zwischenkulturen oder Ackerrandstreifen um 30 % angehoben und durch Untersaat, Mulchen und reduzierter Bodenbearbeitung um bis zu 80 % angehoben werden<sup>21</sup>. Landwirtschaftliche Flächen, insbesondere in Europa und Nordamerika, werden zunehmend durch große Monokulturen und ein Minimum an Fruchtfolgen geprägt, um die Produktionstechniken zu vereinfachen und sich auf die meistverkauften Produkte zu spezialisieren. Fruchtfolgen werden zunehmend von nur einer Kultur dominiert, darunter Weizen nach Weizen und Mais nach Mais, bis zu drei Kulturen, z.B. Weizen, Gerste und Raps, was das Risiko von Ressourcenengpässen und -unterbrechungen während der Saison erhöht, aber auch das Risiko von Ertragsrückgängen erhöht<sup>22-24</sup>. Die **Ressourcenkontinuität**, die durch ein gemischtes Muster von Nutzpflanzen allein oder in Kombination mit Landnutzungspraktiken wie Wildblumenstreifen gewährleistet wird, dürfte die Stabilität von Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und biologische Schädlingsbekämpfung wirksam erhöhen<sup>24</sup>. Beispielsweise profitieren Hummeln in der frühen Phase der Kolonieentwicklung von massenblühenden Nutzpflanzen wie Raps, benötigen aber später in der Saison zusätzliche Ackerlandressourcen wie Rotklee<sup>25,26</sup>.

In einer globalen Meta-Analyse zeigt sich<sup>27</sup>, dass sich der Biolandbau von der konventionellen Landnutzung dadurch unterscheidet, dass die **Fruchtfolgen** erwartungsgemäß länger sind. Sie sind im Schnitt nur 15 % länger (4,5 statt 3,8 Jahre), aber mit 48 % höherem Pflanzenartenreichtum. Allerdings könnten die Fruchtfolgen viel länger sein (z.B. über einen Zeitraum von sieben Jahren<sup>28</sup>), und es gibt **keine prinzipielle Grenze für die Diversifizierung der Kulturen**. Dafür gibt es aber eine geringe Akzeptanz, sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Landbau<sup>29</sup>. Stattdessen geht der aktuelle Trend im Biolandbau, ähnlich wie in der konventionellen Landwirtschaft, zu einer Spezialisierung und Intensivierung<sup>30</sup>. In einer Meta-Analyse kam heraus, dass eine Diversifizierung des Ökolandbaus durch Mehrfruchtanbau und Fruchtfolgen die Ertragslücke auf nur 8-9 % reduzieren könnte<sup>31</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Kommunal- und Landkreisebene:** Bei Ackerflächen, bei denen die Kommune oder der Kreis Eigentümer ist, kann die landwirtschaftliche Praxis an die Pachtaufgaben gekoppelt werden und so eine insektenfreundlichere Bewirtschaftung gefördert werden.

**Landesebene:** Finanzielle Anreize zu Fruchtfolgen werden in Baden-Württemberg im Rahmen des Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) geschaffen. Als Maßnahme A 1.1 wird eine Fruchtartendiversifizierung mit einer Bewirtschaftung, die mindestens eine 5-gliedrige Fruchtfolge einhält, mit 75 €/ha Ackerfläche gefördert. Im Ökolandbau wird die gleiche Maßnahme mit 50 €/ha vergütet. Dabei müssen jährlich mindestens fünf verschiedene Kulturen auf der Ackerfläche angebaut werden, wobei ein Mindestanteil von 10 Prozent und Maximalanteil von 30 Prozent je Kultur

oder Kulturgruppe eingehalten werden muss. Außerdem müssen mindestens 10 % Leguminosenanteil in Reinsaat oder als Gemenge, und maximal 2/3 der Fläche als Getreide vorliegen. Nach Leguminosen ist der Anbau einer über Winter vorhandenen Folgekultur Pflicht<sup>32</sup>. Des Weiteren wird eine Begrünung von Ackerflächen (E 1.1) und der Einsatz bestimmter Begrünungsmischungen (E 1.2) mit 70 bzw. 90 €/ha Ackerfläche gefördert. Hierbei ist das Mulchen bzw. Einarbeiten des Aufwuchses nicht vor Ende November erlaubt und der Einsatz von Herbiziden von der Aussaat der Zwischenfrucht bis zur Einsaat der Folgekultur ist nicht zulässig. Es ist außerdem ausgeschlossen, dass der Zwischenfruchtanbau gleichzeitig als ökologische Vorrangfläche für das Greening in der 1. Säule der GAP anerkannt und im Rahmen von FAKT gefördert wird<sup>33</sup>. Eine Winterbegrünung wird im Rahmen der Maßnahme F1 mit 100 €/ha Ackerfläche gefördert. Eine Nutzung des Aufwuchses ist, mit Ausnahme der Beweidung durch Wanderschäfer, nicht erlaubt. Im Folgejahr darf kein Mulchen/Einarbeitung des Aufwuchses vor dem 15. Januar erfolgen und der Einsatz von Herbiziden von der Aussaat der Zwischenfrucht bis zur Einsaat der Folgekultur ist nicht zulässig. Auch hier kann die Maßnahme nicht gleichzeitig über FAKT gefördert und als ökologische Vorrangfläche anerkannt werden<sup>34</sup>. Eine Reduzierung der Bodenbearbeitung beim Anbau von Zuckerrüben, Mais, Soja oder Feldgemüse mit der sogenannten Strip-Till-Technik kann mit 120 €/ha gefördert werden (F 4). Dabei wird die Kultur im Herbst des Vorjahres oder im Frühjahr nach streifenförmiger Bodenbearbeitung zwischen die Stoppel mit Strohaufgabe oder Zwischenfrucht gesät. Danach keine weitere Grundbodenbearbeitung zulässig<sup>34</sup>.

Diese Maßnahmen sind aus Sicht des Insektenschutzes zu begrüßen. Als Zusatz zur Maßnahme F4 wäre eine weitere Förderung der Reduktion von Pestiziden ein Ansatz, um die Maßnahme noch insektenfreundlicher zu machen. Weiterhin wäre eine Förderung für die Verkleinerung von Feldgrößen sinnvoll.

## 2.5 Düngung

Künstliche Düngemittel sind aus der modernen Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken. Dabei handelt es sich meistens um mineralischen Stickstoff, Phosphor, Potassium (Kalium) oder eine Kombination dieser Stoffe. Eine aktuelle Studie zur Auswaschung von Stickstoff zeigt, dass sowohl in der konventionellen als auch in der ökologische Landbaupraxis der Schwellenwert für Trinkwasser der EU von 11.3 mg NO<sub>3</sub>-N pro Liter nicht eingehalten wird<sup>1</sup>. Da Düngung das Wachstum von bestimmten Pflanzen (meist Gräsern) besonders stark fördert und damit weniger gut auf Düngung ansprechende Arten (meist Kräuter) verdrängt, sind auch die Auswirkungen auf pflanzenfressende Insekten je nach Artengruppe unterschiedlich. Beispielsweise zeigt sich auch in Ackerrandstreifen, dass Gräser gefördert und die Artenzahl von Pflanzen verringert wird<sup>2</sup>, und auch auf dem Acker gibt es durch starke Düngung große Verluste<sup>3</sup>.

Eine Meta-Analyse verschiedener Studien zeigt, dass Wanzen, Zikaden, Fliegen und Schmetterlinge von der Düngung mit Stickstoff im Hinblick auf Abundanz profitieren, was auf die höheren Nährwertgehalte der Futterpflanzen zurückgeführt wird<sup>4,5</sup>. Zu starke Düngung kann auch der Schädlingsbekämpfung durch natürliche Gegenspieler entgegenwirken<sup>6</sup>. Eine Studie über Grünland im Westerwald zeigt, dass Flächen, welche zur Grassilageproduktion stark gedüngt und dreimal jährlich oder öfter gemäht werden, 44 % weniger Schmetterlingsarten und 58 % weniger Schmetterlingsindividuen aufweisen als traditionell bewirtschaftetes Grünland. Traditionell bewirtschaftete Flächen wurden in diesem Fall nicht gedüngt und nur einmal im Jahr gemäht<sup>7</sup>. Eine weitere Untersuchung zu Stickstoffdüngung im Grünland fand keine Auswirkungen auf Käfer, wenn die Stickstoffmenge von 50 kg pro ha und Jahr ausgesetzt wurde<sup>8</sup>. Dies könnte aber auch an zeitverzögerten Effekten liegen. Im Einzelfall kann die Wirkung der Düngung auf pflanzenfressende Insekten recht unterschiedlich ausfallen. So zeigt eine aktuelle Studie, dass Düngemittelmengen von 150 oder 300 kg Stickstoff pro ha und Jahr die Überlebensrate der Raupen von sechs häufigen Schmetterlingsarten um mindestens ein Drittel, beim Seideneulchen *Rivula sericealis* sogar um bis zu 80 %, senken<sup>9</sup>. In einer weiteren Studie im Grünland verringerte sich bei einer Düngung von 200 kg pro ha und Jahr die Anzahl von zwei untersuchten Rüsselkäferarten und deren Parasitoid signifikant. Als Grund werden ein geringeres Wachstum bzw. eine Verdrängung der bevorzugten Nahrungspflanzen vermutet. Die Artenvielfalt an Pflanzen war auf ungedüngten Flächen höher<sup>10</sup>. Eine Erhöhung des ausgebrachten N-Düngers auf Winterweizen geht außerdem mit einer Verringerung der Individuenzahl von Bienen insgesamt und kleinen Wildbienenarten einher<sup>11</sup>. Auch auf die Vielfalt an Bestäubern kann sich die Düngung im Grünland negativ auswirken, aber positiv auf die Heuschreckenzahl<sup>12</sup>. Eine Anreicherung von Nährstoffen verändert die chemische Zusammensetzung von Pollen und Nektar von Nahrungspflanzen, und eine höhere Nährstoffzufuhr bewirkt beim Gewöhnlichen Teufelsabbiss *Succisa pratensis* eine Verringerung der Überlebenschancen von Larven und Arbeiterinnen der Dunklen Erdhummel *Bombus terrestris*<sup>13</sup>. Die Verringerung der Düngung führt des Weiteren nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Artenvielfalt aber oft zu einer starken Veränderung in der Artenzusammensetzung von Insekten<sup>14–16</sup>.

Im Biolandbau werden statt mineralischen Kunstdüngern organische Dünger, beispielsweise Mist von Nutztieren und pflanzlicher Kompost, genutzt. Die Reaktion von Schadinsekten auf die Art der Düngung ist artspezifisch. So erreicht die Kohlblattlaus höhere Dichten auf organisch gedüngten Feldern, während die Grüne Pfirsichblattlaus oder die Kohlschabe auf mit Kunstdünger behandelten Feldern

häufiger ist. Dies wird darauf zurückgeführt, dass sich die verschiedenen Dünger unterschiedlich auf die Pflanzenchemie auswirken. Stickstoffkünstdünger führt zu einem höheren Stickstoffgehalt in den Blättern, während organische Düngung bis zu dreifach höhere Glukosinolatgehalte in den Kohlpflanzen bewirkt<sup>17</sup>. Eine Metaanalyse weist darauf hin, dass im Biolandbau die Düngung mit Festmist eine Verringerung von Schädlingen bewirkt, während die Düngung mit pflanzlichem Kompost diese eher begünstigt<sup>18</sup>. Bei den Parasitierungsraten zeigt sich, dass die Kohlblattlaus in Gemüsekohlfeldern, die mit Hühnermist gedüngt werden, zu 6 % durch die Wespenart *Diaeretiella rapae* parasitiert werden, während auf Feldern, die mit Mineraldünger gemischt gedüngt werden, die Parasitierungsrate bei 28 % liegt<sup>19</sup>. Eine andere Studie stellt dagegen keine höhere Parasitierungsrate der Kohlschabe durch die parasitoide Wespenart *Cotesia vestalis* zwischen mit Hühnermist oder Mineraldünger gedüngtem Kohl fest<sup>20</sup>.

Eine öko-effiziente Düngung armer Böden ist für eine nachhaltige Landwirtschaft unerlässlich<sup>21,22</sup>. Global wurden von 1960 bis 1995 sieben Mal mehr N-Düngemittel eingesetzt, was zu einer Verdoppelung der Getreideerträge führte – damit reduzierte sich die Öko-Effizienz pro kg N von 70 auf 25 kg Getreide<sup>22</sup>. Die Umweltkosten aller N-Verluste in Europa wurden kürzlich auf 70 bis 320 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt, was den direkten wirtschaftlichen Nutzen von N in der Landwirtschaft deutlich übertrifft. Diese hohen gesellschaftlichen Kosten sind auf Verluste in der Luftqualität, Wasserqualität und insbesondere der menschlichen Gesundheit zurück zu führen<sup>23</sup>. Dabei sind die auf dem Markt nicht ökonomisch bewerteten Artenverluste<sup>24</sup> und die durch N-Düngung immer zu erwartende Zunahme von Schädlingen<sup>5</sup> noch gar nicht mitgerechnet.

## Konkrete Maßnahmen

Die **Düngung auf Dauergrünland sollte so gering wie möglich** ausfallen, da dies die Pflanzenvielfalt und damit auch die Insektenvielfalt fördert<sup>7-9</sup>. Die Einhaltung maximaler nationaler Stickstoffüberschüsse von +80 kg N pro Hektar und Jahr in der Landwirtschaft wird gefordert. Dazu gehören eine stärkere Überwachung und scharfe Sanktionen<sup>25</sup>, wie es der wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik seit langem fordert.

**Dünger sollte bevorzugt unterirdisch** (mehr als 10 cm tief) **ausgebracht werden**, z.B. über **Injektionsdüngung**, damit die Kultur besser mit Nährstoffen versorgt, die Menge reduziert und die negativen Effekte der Düngung minimiert werden<sup>26-28</sup>.

Die Berücksichtigung von **Leguminosen als Zwischenfrucht** kann helfen, den Bedarf an zusätzlich ausgebrachtem **Stickstoffdünger um bis zu 26 % zu verringern**<sup>29,30</sup>.

**Bestäubungsleistung und Düngermenge können sich additiv auf die Rapsernte** auswirken, wobei die Bestäubungsleistung sogar einen größeren Einfluss auf die Ernte als die Düngung haben kann. Eine **Erhöhung der Bestäubungsleistung könnte daher eine Einsparung von Dünger zur Folge haben**<sup>31</sup>. Der Ertragsverlust durch verringerte Düngung im Raps kann durch erhöhte Bestäubungsleistung aufgefangen werden<sup>32</sup>.

Besonders wenn **kleine Wildbienenarten mit ihrem geringen Aktionsradius** Schutzziel sind, sollte die **Düngung mit Stickstoff so weit wie möglich verringert** werden<sup>11</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Kommunal- und Landkreisebene:** Im Rahmen der Landschaftspflegeleitlinie können Gemeinden für gemeindeeigene Flächen Fördergelder für eine Umstellung zu extensiver Nutzung beantragen. Dazu gehört auch die Verringerung der Düngemengen auf Grün- und Ackerland<sup>33</sup>.

**Landesebene:** Eine Reduzierung der Düngung wird auf Landesebene über das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) unterstützt. Das Unterlassen der Düngung mit Mineraldüngern auf Dauergrünland wird in Kombination mit geringeren Viehdichten mit der Maßnahme B 1.1 „Extensive Bewirtschaftung des Dauergrünlandes mit höchstens 1,4 RGV/ha Hauptfutterfläche ohne mineralische Stickstoffdüngung“ und B 1.2 „Extensive Bewirtschaftung bestimmter Dauergrünlandflächen ohne Stickstoffdüngung in Betrieben ab 0,3 RGV/ha Dauergrünland“ mit jeweils 150 € pro ha und Jahr gefördert<sup>34</sup>. „N-Depotdüngung mit Injektion“ wird mit 60 € pro ha gefördert. Dabei erfolgt die Ausbringung der gesamten mineralischen Stickstoffdüngermenge in einer Gabe als Depotdüngung durch Injektion. Darüber hinaus kann eine Freiwillige Hoftorbilanz (F 5) erstellt werden, was mit 20 € pro ha und maximal 180 € pro Betrieb pro Jahr vergütet wird. Dabei muss eine jährliche Hoftorbilanz im Unternehmen für die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor (als Phosphat,  $P_2O_5$ ) und Kalium (als Kali,  $K_2O$ ) erstellt werden sowie die Nährstoffsalden bewertet werden. Voraussetzung ist ein Besatz von mindestens 0,5 GVE pro ha landwirtschaftlicher Fläche<sup>35</sup>. Diese Agrarumweltmaßnahmen sowie die Regelungen der im Mai 2020 in Kraft getretenen Düngeverordnung (DüV) hinsichtlich erhöhter Mindestabstände zu Gewässern in Hanglagen und der Regulierung ausgebrachter Düngermengen<sup>36</sup> sind aus Sicht des Insektenschutzes zu begrüßen. Angesichts der Tatsache, dass die Überdüngung im terrestrischen wie im aquatischen Bereich zu den zentralen Ursachen der gegenwärtigen Artenverluste zählt, wäre eine Verschärfung der Richtlinien sowie eine bessere Kontrolle (inkl. schärferen Sanktionen) zu begrüßen.

## 2.6 Pestizideinsatz

Der hohe Einsatz von Pestiziden gilt als einer der Hauptverursacher für den Artenverlust durch die Landwirtschaft.<sup>1</sup> So hat eine umfassende Literaturanalyse im Auftrag des Umweltbundesamtes, auf der Basis von 132 Studien, Pestizide (Pflanzenschutzmittel) als den Faktor (von 18 untersuchten Faktoren) mit den meisten negativen Wirkungen auf die Biodiversität identifiziert<sup>2</sup>.

Die Wirkung von Pestiziden liegt nicht nur in ihrer oft direkt tödlichen Wirkung für Organismen. Sublethale Effekte auf die Vitalität der Insekten, ihre Krankheitsanfälligkeit, ihre Reproduktion, Wirtssuche, Partnersuche und ihr Verhalten werden durch Pestizide auch stark beeinträchtigt, wie zahlreiche Untersuchungen zeigen<sup>3</sup>. Auch niedrige Neonicotinoidspiegel haben negative Auswirkungen bei einer Vielzahl freilebender Organismen<sup>4</sup>. Weiterhin sind Insekten nicht nur von Insektiziden betroffen, sondern auch von Herbiziden, Fungiziden und anderen Pestiziden, da es zahlreiche direkte und indirekte Negativwirkungen gibt, die wenig Beachtung finden. Pestizide weisen oft ein breites Wirkungsspektrum auf und sind vielfach auch für Nicht-Zielorganismen giftig. Darüber hinaus kann ihre Persistenz problematisch sein. So können die Konzentrationen durch Akkumulation in der Nahrungskette zunehmen. Andererseits entwickeln Insekten früher oder später Resistenzen gegen Pestizide und machen diese somit wirkungslos gegenüber den Zielorganismen<sup>5</sup>. Verringerung der Nichtzieltoxizität und eine strenge Risikobewertung kann Bestäubern und anderen Nichtzielorganismen helfen<sup>6 7</sup>. Der Einfluss von Pestiziden ist dabei nicht nur auf das behandelte Feld beschränkt. Durch Pestizidabdrift von angrenzenden Nutzflächen wird oft auch die Artenvielfalt in Saumstrukturen beeinflusst<sup>8</sup>. Die Pestizidexposition kann durch die stärkere Berücksichtigung integrierter Methoden zur Schädlingsbekämpfung verringert werden. Die Handlungsmaxime, wie sie auch gesetzlich beim Integrierten Pflanzenschutz gefordert ist, sollte daher lauten: Pestizideinsatz nur bei einem Schädlingsdruck, der über einer wirtschaftlich bedeutsamen Schadensschwelle liegt<sup>9</sup>.

Möhring et al. (2020)<sup>10</sup> legen einen aktuellen Fahrplan zur Pestizidreduktion vor, der auf die notwendige Berücksichtigung aller Akteure und Interessensgruppen hinweist. Zu so einer ganzheitlichen Strategie gehören Neuerungen bei den politischen Rahmenbedingungen, der Beratung von Landwirten, dem Konsumentenverhalten, den Regelungen für die Pestizidzulassung, den Pflanzenschutz-Strategien und bei der Entwicklung innovativer Bewirtschaftungspraktiken.

### Konkrete Maßnahmen

**Maßnahmen zur Einhaltung des Gebots der integrierten Schädlingsbekämpfung<sup>11,12</sup>:** Die Einhaltung des Pflanzenschutzgesetzes von 1986 (§ 2) einfordern! Danach ist der Integrierte Pflanzenschutz Teil der guten landwirtschaftlichen Praxis, mit Priorität für biologische und biotechnische Verfahren, Kulturpflanzenzucht und verbesserte landwirtschaftliche Praxis. Der Einsatz von Pestiziden soll nur bei Überschreiten eines ökonomischen Grenzwertes und nur als letzte Möglichkeit erfolgen. Der Pestizideinsatz sollte besser **kontrolliert** und bei Verfehlungen mit **Sanktionen** geahndet werden.

**Reduzierung des Risikos für Insekten durch Pestizideinsatz:** Förderung von Pestizidpräparaten mit geringer biologischer Persistenz und großer Selektivität; Reduzierung des Pestizideinsatzes durch

Precision Farming; eine Reduktion des Herbizideinsatzes zugunsten mechanischer Unkrautregulierung fördert Ackerwildkräuter und damit auch Insekten<sup>13</sup>.

**Verringerung der Abdrift beim Pestizideinsatz<sup>14</sup>:** Verbesserung der Anwendungspraktiken zur Verringerung der Pestizidabdrift,<sup>14</sup> insbesondere beim Herbizideinsatz, um blühende Unkräuter und die vielfältigen Bestäuber- Gemeinschaften zu erhalten<sup>15</sup>.

**Verzicht auf die Saatgutbeizung mit Neonicotinoiden<sup>16,17</sup>:** Hohe Halbwertszeiten von Neonicotinoiden im Boden<sup>18</sup>, hohes Risiko der Wasserverunreinigung durch Neonicotinoid-Rückstände oberhalb von ökologischen Schwellenwerten<sup>19</sup>. Nur etwa 5 % des Neonicotinoid-Wirkstoffs wird von Kulturpflanzen aufgenommen<sup>20</sup>, die Mehrheit verteilt sich stattdessen in der Umwelt<sup>21</sup>.

**Pufferstreifen:** Pufferflächen zwischen Ackerflächen und Blühstreifen<sup>22</sup> oder Brachflächenanteile in der Landschaft erhöhen. Große und breite Blühflächen (>6m breit)<sup>23,24</sup> einbauen, um den Rand vor Pestizid-Abdrift zu schützen<sup>2,25,26</sup>. Denn der direkte Eintrag am Feldrand kann 50 % der auf dem Feld aufgewendeten Menge betragen<sup>27</sup>. In Feuchtgebieten wurde durch die umgebenden Pufferstreifen eine Verringerung der angrenzenden Neonicotinoid-Konzentrationen um 50 % beobachtet<sup>28</sup>.

**Biologische Kontrolle durch natürliche Gegenspieler fördern:** Maßnahmen zur Diversifizierung der Ackerflächen, vielfältige Fruchtfolgen, Untersaaten und Zwischenfrüchte, Mischungen von Sorten und Arten<sup>29</sup> sowie die Erhaltung naturnaher Elemente (Hecken, Randstreifen) und der Verzicht auf Pestizide, um das Räuber-Beute-Verhältnis zu erhöhen und den Schädlingsdruck zu reduzieren. Altgrastreifen beherbergen besonders viele natürlichen Gegenspieler<sup>30-32</sup>.

**Die Aus- und Weiterbildung von Landwirten und der Öffentlichkeit:** erforderlich, um den Verzicht oder zumindest den sicheren und reduzierten Einsatz von Pestiziden in Landwirtschaft und Stadtgrün zu gewährleisten. Unterstützung von Feldschulen für Landwirte, von denen bekannt ist, dass sie die Einführung integrierter Methoden zur Schädlingsbekämpfung fördern und fordern<sup>33</sup>, Pläne zur Risikominderung in den Vordergrund rücken<sup>9,34</sup>.

**Pestizideinsatz im Biolandbau verringern oder entsprechende Bio-Produktkennzeichnung:** Im Allgemeinen werden im Ökolandbau die Ackerkulturen, mit Ausnahme von Kartoffeln, nicht oder nur sehr selten mit Pestiziden behandelt; das bedeutet, dass >95 % der ökologisch bewirtschafteten Flächen unbehandelt bleiben (seltene Ausnahmen sind sporadische Insektizideinsätze bei Hülsenfrüchten und Raps<sup>35</sup>). Die auf den verbleibenden 5 % der Fläche angebauten ökologischen Kulturen wie Weintrauben, Obst, Kartoffeln, Gemüse, Hopfen, Erdbeeren, Baumschulen und Blumen oder Zierpflanzen werden jedoch mehr oder weniger regelmäßig und stark mit natürlichen Pestiziden behandelt<sup>35</sup>, einschließlich mehrfachen Besprühens von Weintrauben oder Äpfeln<sup>36</sup>, was gerade einmal 20 % weniger sein kann als auf konventionellen Feldern<sup>36</sup>. **Auch im Öko-Landbau muss der Einsatz von Pestiziden sinnvoll und so gering wie möglich gehalten werden**, um die zahlreichen direkten und indirekten negativen Auswirkungen auf die Biodiversität zu vermeiden<sup>3,37</sup>.

Zu den **weit verbreiteten Pestiziden, die im ökologischen Landbau eingesetzt werden**, gehören natürliches Pyrethrin, das aus Chrysanthemen gewonnen wird, und Azadirachtin aus dem asiatischen

Neem-Baum, das gegen Schadinsekten eingesetzt wird. Kupfersulfat, das persistent ist und sich im Boden anreichert, wird sehr häufig und regelmäßig zur Bekämpfung von Pilz- und Bakterienkrankheiten eingesetzt, zum Beispiel in Weinbergen und Gemüse. Es ist auch heute noch eines der meistverwendeten Pestizide im Biolandbau, obwohl spezifischere und für Nützlinge schonendere Pestizide aus dem Chemie-Labor zur Verfügung stehen<sup>38</sup>. **Kupfer sammelt sich in der oberen Bodenschicht an.** Dort kann die natürliche Flora und Fauna, vor allem Invertebraten und Mikroorganismen des Bodens, in Mitleidenschaft gezogen werden<sup>39</sup>. Das Umweltbundesamt kam 2008 zu dem Ergebnis, dass die weitere Anwendung von Kupferpräparaten nicht vertretbare Auswirkungen auf den Naturhaushalt insbesondere auf Vögel, Kleinsäuger, Regenwürmer und aquatische Organismen haben kann<sup>40</sup>. Auch im konventionellen Obstbau sind Kupferpräparate ein wichtiges Instrument zur Bekämpfung von Schorf und Obstbaumkrebs und werden mit bis zu 6 kg pro Hektar und Jahr eingesetzt. Im ökologischen Obstbau dürfen nur maximal 3 kg Kupfer pro Hektar und Jahr eingesetzt werden<sup>40</sup>. Kupfer ist in verschiedenen Formen in Anhang IIB der VO (EWG) 2092/91 als Substanz gelistet, die traditionell im Ökologischen Landbau verwendet wird und ist hier die einzige wirksame Bekämpfungsmaßnahme gegen wichtige Pilzkrankheiten<sup>40</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Vielfältige Fruchtfolgen und Mischkulturen helfen im konventionellen Landbau wie im Garten, den Schädlingsdruck zu reduzieren. Totholz, krautreiche Saumstrukturen, Hecken, Steinhäufen und auch sandige Offenbodenstellen fördern natürliche Gegenspieler von Schadinsekten. Im Nutzpflanzenanbau mit Untersaaten arbeiten (wenn möglich mit heimischen Arten), um das Nahrungsspektrum für häufige Insektenarten zu erhöhen.

Pestizide sollten nur als letztes Mittel und bei Überschreitung von Schadschwellen ausgebracht werden. Beim Ausbringen von Insektiziden ist Abstand zu naturnahen Lebensräumen zu wahren und es sind mögliche Verwehungen durch Wind einzukalkulieren.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Als Modell kann das Projekt Bündnis „Pestizidfreie Kommune“, bisher bestehend aus über 500 Städten und Gemeinden, gelten. Hierbei werden Grünflächen im Kommunalbesitz ohne Pestizide oder zumindest ohne Glyphosat bewirtschaftet<sup>41</sup>.

**Landesebene:** Der integrierte Pflanzenschutz ist in Baden-Württemberg im Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz (LLG) verankert. Durch die Einhaltung von Fruchtfolge, einer ständigen Beobachtung der Bestandsentwicklung von Schädlingen, der Beachtung von Prognosemodellen zur Behandlung sowie vorgegebener Schadschwellen, der Verwendung von möglichst nützlingsschonenden Pflanzenschutzmitteln und dem Anlegen von Spritzfenstern zur Beurteilung der Behandlungsnotwendigkeit soll der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf ein Minimum beschränkt werden. Die Umsetzung dieser Maßnahmen ist durch die landwirtschaftlichen Betriebe zu dokumentieren<sup>42</sup>. Die Durchsetzung dieser Maxime erfordert bessere Kontrolle und im Notfall Sanktionen.

Am 22. Juli 2020 hat der baden-württembergische Landtag dem Gesetzesentwurf zur Novellierung des Naturschutzgesetzes und des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes zugestimmt. Darin enthalten

sind auch neue Regelungen über die Zukunft des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Bundesland<sup>43</sup>. So muss der Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel bis 2030 um 40 bis 50 % reduziert werden. Die oberste Landwirtschaftsbehörde ist dafür zuständig, eine jährliche Analyse des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln anhand eines repräsentativen Betriebsmessnetzes durchzuführen und 2023 und 2027 jeweils eine umfassende Evaluierung dieser Daten vorzunehmen<sup>44</sup>.

Ab dem 1. Januar 2022 ist laut Naturschutzgesetz §34 außerdem der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Naturschutzgebieten, in Kern- und Pflegezonen von Biosphärengebieten, gesetzlich geschützten Biotopen und bei Naturdenkmälern untersagt. Davon ausgenommen sind jeweils intensiv genutzte land- und fischereiwirtschaftliche Flächen. In Landschaftsschutzgebieten und Natura 2000-Gebieten sowie auf intensiv genutzten land- und fischereiwirtschaftlichen Flächen in Kern- und Pflegezonen von Biosphärengebieten, in gesetzlich geschützten Biotopen und bei Naturdenkmälern sind die Regelungen zum Integrierten Pflanzenschutz einzuhalten<sup>45</sup>. In privaten Gärten ist die Anwendung von Pestiziden in Naturschutzgebieten, Kern- und Pflegezonen von Biosphärengebieten, gesetzlich geschützten Biotopen und bei Naturdenkmälern gänzlich verboten. Der Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel ist außerdem in Entwicklungszonen von Biosphärengebieten, Landschaftsschutzgebieten, Natura 2000-Gebieten und Naturparks untersagt<sup>46</sup>.

Im Rahmen des Förderprogramms für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) werden verschiedene Maßnahmen zur landesweiten Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes gefördert. So wird der Verzicht auf den Einsatz chemisch-synthetischer Produktionsmittel im gesamten Betrieb mit einer Ausgleichsleistung von 190 €/ha honoriert (Maßnahme D1)<sup>47</sup>. Der Verzicht vom Einsatz von Herbiziden im Ackerbau bei Kulturen, in denen diese sonst eingesetzt werden, wird mit 80 €/ha gefördert (Maßnahme E3). Beim Einsatz des Nützlings *Trichogramma evanescens* gegen den Maiszünsler werden 60 €/ha ausgezahlt (E4). Der Nützlingseinsatz in Gewächshäusern im Obst- und Gemüsebau (E5) wird mit 2.500 €/ha und Pheromoneinsatz im Obstbau mit 100 €/ha vergütet<sup>48</sup>.

**Bundesebene:** Über eine gesetzliche Regelung zum weitgehenden Verzicht auf Totalherbizide sollte nachgedacht werden<sup>49</sup>.

**EU-Ebene:** Einhaltung der guten fachlichen Praxis von der EU rechtlich verankert. Schwierig ist die Behandlung des Gesamtspektrums der guten fachlichen Praxis, das sich aus der Kombination von Standortfaktoren, Witterungsverlauf und Betriebsleiterqualifikation ergibt und damit zwangsläufig einer allgemeingültigen Festschreibung entzieht<sup>50</sup>.

Der Verbrauch chemischer Pestizide soll bis 2030 um 50 % und der Einsatz gefährlicherer Pestizide um 50 % verringert werden<sup>51</sup>. Es wird die Richtlinie über den nachhaltigen Einsatz von Pestiziden überarbeitet und die Bestimmungen zur integrierten Schädlingsbekämpfung (IPM) verbessert. Die Kommission will auch das Inverkehrbringen von Pestiziden mit biologischen Wirkstoffen erleichtern und die Umweltverträglichkeitsprüfung von Pestiziden verbessern. Es soll die Dauer des Zulassungsverfahrens für Bio-Pestizide durch die Mitgliedstaaten verkürzt werden<sup>51</sup>.

## 2.7 Binnendünen und Sandflächen

Sandökosysteme kommen in Deutschland sowohl an der Küste als auch im Binnenland vor. Durch eiszeitliche Prozesse entstanden Sandflächen, die verweht wurden oder sich entlang der großen Flüsse ablagerten. Vor der Einführung des Mineraldüngers wurden solche nährstoff- und humusarmen, tiefgründigen und gut drainierten Flächen hauptsächlich beweidet, wodurch sich bodensaure Sandmagerrasen bzw. Sandtrockenrasen und Zwergstrauchheiden oder im Zuge der Sukzession lichte Kiefernwälder entwickelten. Fehlt die fixierende Vegetationsdecke, zum Beispiel durch Rodung, intensive Beweidung oder Streunutzung, wird der Sand wieder verweht, wodurch sich Binnendünen aus Flugsand mit hoher Dynamik bilden können<sup>1</sup>. Solche Binnendünen stellen ein besonderes Habitat im nördlichen Oberrhein-Tiefland dar<sup>2-4</sup>. Im Gegensatz zu den Sandfeldern in Nordwestdeutschland sind die Sande am Oberrhein durch alpine Flussablagerungen kalkreich. Wichtig für die langfristige Erhaltung der Populationen spezialisierter Arten auf Sandrasen ist ein räumliches Mosaik der Störungen.<sup>5</sup>

Das enge räumlich-zeitliche Mosaik aus verschiedenen Vegetations- und Sukzessionstypen ermöglicht eine außerordentlich hohe Arten- und Biotopvielfalt auf Landschaftsebene<sup>1,6</sup>. Die frühen Sukzessionsstadien beherbergen nicht nur seltene Flechten, Moose und Gräser, sondern auch konkurrenzschwache Arten von Stechimmen (Hymenoptera Aculeata), Laufkäfern, Heuschrecken, Weberknechten und Spinnen, die auf trockenwarme Standorte spezialisiert sind, aber in den meisten Fällen eine geringe Ausbreitungsfähigkeit zeigen<sup>1,6-8</sup>. Beispielsweise wurden in den (beweideten) Sandrasen des Emslandes 137 Laufkäferarten nachgewiesen, von denen > 50 % nach der Roten Liste Deutschlands bzw. der Roten Liste Niedersachsens als bedroht eingestuft sind. 20 % der Arten sind flugunfähig, können sich also nur langsam verbreiten. Die hohe Diversität spiegelt das Mosaik von offener bis dichter Vegetation sowie feuchten bis trockenen Standorten wieder.<sup>9</sup> Das Naturschutzgebiet „Alter Flugplatz Karlsruhe“ im Karlsruher Stadtgebiet umfasst 70ha auf Flugsandflächen und einer Binnendüne und beherbergt sehr viele seltene und gefährdete, auf solche Lebensräume spezialisierte Arten, u.v.a. die vom Aussterben bedrohte Kreiselwespe (*Bembix rostrata*) oder die Alant-Seidenbiene (*Colletes similis*)<sup>10</sup>. Eine große strukturelle und floristische Vielfalt mit trockenem Grasland, umgeben von Laubwald und Trockenbüschen, erwies sich auch als sehr attraktiver Lebensraum für Wildbienen an der Oder.<sup>6</sup>

Pionierfluren, Sandrasen und die mit ihnen verzahnten Habitate sind also wichtig für die Insektenvielfalt, sind aber durch Aufforstung, Ackerbau oder Bebauung am Oberrhein nur noch auf fragmentierten Restflächen vorhanden. Zudem kann Nährstoffeintrag aus der Atmosphäre oder von benachbarten Flächen über einer Belastungsgrenze zur Versauerung und flächenhaften Ausbreitung konkurrenzstarker Gräser führen (Ruderalisierung), die mit 3-5 Jahren Verzögerung eintreten kann<sup>1,11</sup>.<sup>5</sup> Bei der Renaturierung von Sandrasen sind daher wichtigste Ziele die Redynamisierung festgelegter Flugsandfelder oder Binnendünen, das Zurückdrängen dominanter Gräser in ruderalisierten Beständen und die Entwicklung dichter Kiefernforste zu halboffenen Weidelandschaften<sup>5</sup>. Je nach Nährstoffgehalt des Bodens, Isolation der Fläche, Nutzungsgeschichte und technischer Möglichkeiten haben sich verschiedene Maßnahmen-Kombinationen bewährt. Dabei sollten bei der Erfolgskontrolle solcher Maßnahmen neben der Entwicklung der typischen Vegetationstypen auch die Bedürfnisse anderer Taxa berücksichtigt werden. Für die Neuanlage und als Trittsteinhabitate können auch ehemalige

militärische Übungsplätze und Folgelandschaften des Braunkohle-, Kies- und Sandabbaus eine Rolle spielen, weil hier durch die regelmäßige Bodenverwundung großflächig offene Sandökosysteme mit hoher Heterogenität als Ersatzhabitat für Flugsandspezialisten erhalten geblieben sein können<sup>1,6,8,12-14</sup>. Auch Kleingewässer, die sich spontan auf trockengelegten Äckern bilden, können für zahlreiche Flugsandspezialisten und Offenlandarten unter den Stechimmen interessant sein.<sup>15</sup>

## Konkrete Maßnahmen

**Zurückdrängung von Gehölzen und konkurrenzstarken Gräsern** sowie deren Streu durch **mechanische Gehölzentfernung** oder **Ziegenbeweidung** auf Rotationsstandweiden<sup>16,17</sup>. Eine mechanische Entbuschung vor Beginn der Ziegenbeweidung kann den Renaturierungserfolg verbessern. Eine Ziegenbeweidung im Frühjahr sollte Gehölze und konkurrenzstarke Gräser zurückdrängen. Zufütterung ist zu vermeiden, aber Unterstand und Tränke sollten, sofern möglich, außerhalb der Weideflächen eingerichtet werden.<sup>16,17</sup>

**Mehrfährige, extensive Beweidung durch anspruchslose Haustierrassen** schafft Offenboden durch Bodenverwundung, senkt die Streudeckung, drängt hochwüchsige Gräser wie das Land-Reitgras (*Calamagrostis epigejos*) zurück und fördert so die Etablierung von kleinwüchsigen und konkurrenzschwachen sowie gefährdeten Zielpflanzenarten<sup>18</sup>, wovon spezialisierte Insekten mehr profitieren als von intensiver Beweidung oder einer Nutzung als Mähwiese.<sup>1</sup> **Gemischtes Weidemanagement:** Am besten sollten Weidetiere (v.a. Schafe, Esel, Rinder, aber auch Ziegen, Ponies, Wollschweine) mit verschiedenem Weideverhalten aufeinander folgen, um hohen punktuellen Nährstoffeintrag durch Exkremate (z.B. 223 kg N/ha/Jahr bei Eseln) zu vermeiden, den Offenbodenanteil zu erhöhen<sup>1,19,20</sup> und typische Strukturen wie Wälzflächen (Esel), Wühlstellen (Wollschweine)<sup>21</sup> und Trampelpfade zu ermöglichen. Ganzjährige extensive **Beweidung mit Rindern und Pferden** kann nach sieben Jahren die Ruderalisierung zurückdrängen (Heckrinder und Konik-Ponies). Bei Sandrasen und Heiden hat das einen positiven Effekt auf die Pflanzenartenvielfalt.

**Weidetiere** sollten idealerweise **innerhalb eines funktionellen Biotopverbunds** gezielt von Sandhabitaten mit gutem Erhaltungszustand (als Quelle habitattypischer Diasporen) zu Zielflächen wie ruderalisierten Sandrasen (Futtermenge) und nährstoffreicheren Rieden oder ähnlichen Flächen (für Futterquantität und -qualität) getrieben<sup>1</sup> oder transportiert<sup>6</sup> werden, damit **Diasporentansfer** und Tierversorgung gewährleistet sind.<sup>20</sup> Das Beweidungssystem sollte an die **Sicherung von Pollenressourcen** angepasst werden, z. B. durch Staffelpbeweidung mit kleinen Koppeln<sup>18</sup>. Zu frühe **Beweidungstermine** können **Blütenbesucher, Bodennister** und monophage Arten gefährden, daher ist Hoch-/Spätsommer günstiger; bei dominanten Gräsern kann aber starke Beweidung sinnvoll sein, die Gräser zurückdrängen und so das Blütenangebot fördern.<sup>11</sup> Ein Nebeneinander von Ruderalflächen und Sandrasen ist auch für die **Spinnenvielfalt** förderlich<sup>22</sup>, wobei Beweidungsausschluss für Spinnen auch förderlich sein kann<sup>23</sup>. Die **Esel-Beweidung** am Oberrhein ist wegen der Erhaltung eines hohen Offenbodenanteils und einer gehemmten Entwicklung einer Moosschicht auf den Restitutionsflächen bedeutsam.<sup>24</sup> Das **Beweidungsregime** bei Darmstadt erfolgte **mit genügsamen Schafrassen** (ca. 500 Schafe in 1-ha-Koppeln), Beweidungsdauer von Stunden in den Pionierfluren des *Koelerion glaucae* bis

zu einigen Tagen in den Sandrasen des *Armerio-Festucetum*; auch Eselbeweidung, besonders auf Flächen mit *Cynodon dactylon*<sup>25</sup>.

**Mahd oder Mulchen**, um die Vegetation kurz und offen zu halten. Mulchen ist weniger günstig, da keine Nährstoffe abgeführt werden.<sup>5</sup> Beseitigen von Gehölzjungwuchs (manuell) und von **invasiven Arten** ist sinnvoll<sup>20</sup>. Bei degradierte Heide fördert einmalige Mahd die Verjüngung<sup>26</sup>; **Mahd mit Entfernen der verfilzten Streuschicht**.

Durch **Oberbodenabtrag** renaturierte Flächen wiesen einen signifikant höheren durchschnittlichen Anteil von Zielarten auf als Kontrollflächen, auch wenn die Artenzahl auf den Kontrollflächen höher war; Kontrollflächen hatten eine höhere Vegetationsdeckung, die hauptsächlich aus Gräsern, Kräutern und der Besenheide bestand (Studie aus Schweden)<sup>27</sup>. **Oberbodenabtrag ist eine effektive Maßnahme zur Renaturierung degradierter Sandrasen**. Er sollte **mosaikartig durchgeführt** werden, so dass auch andere Vegetation erhalten bleibt<sup>28</sup>. Bereits kleinflächiges Abschieben des Oberbodens, oder besser noch Umgraben des Bodens in 30 cm Tiefe und Aufschütten des Aushubs<sup>29</sup>, schafft **Nistgelegenheiten für Stechimmen** (80 Arten innerhalb von 3 Jahren auf vier 15m<sup>2</sup> Plots (England)<sup>30</sup>.

**Ansiedlung typischer Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften**: Spontane Wiederbesiedlung von nahegelegenen Flächen oder aus Samenbank, wenn möglich; **Diasporentansfer** durch Weidetiere, aus ex-situ-Vermehrung, Sodenschüttung oder Inokulation mit Mahdgut/Rechgut von gut erhaltenen Flächen ist denkbar. **Manueller und maschineller Diasporentansfer**: Da die meisten Bestände der Sandrasen in Baden-Württemberg fragmentiert sind, sind Maßnahmen zur Wiederansiedlung der Zielpflanzenarten erfolgsversprechender als passive Ansiedlung der Zielarten von Leitbildflächen.<sup>5</sup> Bei der Verwendung von **Rechgut** werden auch Moose und Flechten sowie kleinere Insekten übertragen<sup>5,31</sup>.

**Zulassen von Dynamik bzw. Einführung dynamisierender Faktoren (Remobilisierung)**: beispielsweise entstehen durch Deichrückverlegung neue fluviatile Sandfächer und Dünen nach Überflutungsereignissen; Weidetiere schaffen auch kleinräumige Dynamik<sup>7</sup>. Förderung von **nährstoffarmen, offenen Pionierstandorten** durch partiellem Oberbodenabtrag, Oberbodeninversion, Auftrag von nährstoffarmem Tiefensand, Aushagerung mit kleinflächigen Plaggen und Streunutzung<sup>5,11</sup>. Degradierete trockene, kalkhaltige, nährstoffarme Sandrasen mit hohem pH könnten renaturiert werden, indem die **Grasnarbe geöffnet** wird (z.B. Rechen oder Trampeln), während Flächen mit hoher Nährstoffzufuhr und niedrigem pH eine intensivere Form von Störung benötigen, welche den Oberboden entfernt oder invertiert und bis in die CaCO<sub>3</sub>-haltige Schicht reicht. Der Artenreichtum profitiert von einem **Mosaik verschiedener Sukzessionsstadien** mit einer Mischung aus starken und moderaten Bodenstörungen größeren Zeitabstände dazwischen<sup>32</sup>. **Störungen** (Pflügen, Verstärkung der Hangerosion durch Weidetiere) **begünstigten Sandrasenarten unter den Käfern**, hatten aber keinen Einfluss auf deren gesamte Artenvielfalt<sup>33</sup>. Die **Blaügelige Ödlandschrecke** (*Oedipoda caerulescens*) mag es sandig (60-100 % Oberflächenstörung, 50-70 % Vegetationsdeckung und 30-50 % Offenboden), ebenso der **Dünen-Sandlaufkäfer** (*Cicindela hybrida*) (>40 % Oberflächenstörung, 60 % Vegetationsdeckung, 40 % Offenboden)<sup>12</sup>. Kleine Arthropoden wie

auch Flechten sind dagegen oft **störungsempfindlich**, weshalb für sie ein Oberbodenabtrag, Tritt oder Freizeitaktivitäten (Reiten, Motocross etc.) kritisch zu bewerten sind<sup>11</sup>.

In der Regel ist **eine Kombination mehrerer Maßnahmen für die Restaurierung offener Sandlebensräume** zielführend<sup>1</sup>. Auf Sandäckern am Oberrhein gab es einen 3-Stufen-Ansatz mit Deposition von nährstoffarmem Tiefensand, Transfer von Pflanzenmaterial und Eselbeweidung<sup>34</sup>. Auf ehemaligen Ackerstandorten (trocken, basenreich) am nördlichen Oberrhein wurde zur Wiederherstellung eines Sandtrockenrasens eine **Oberbodeninversion**, in Kombination mit dem Auftrag von **Rechgut** (0,02–0,04 kg/m<sup>2</sup>) und **Mahdgut** von einer Spenderfläche durchgeführt<sup>35</sup> sowie eine Beweidung mit **Eseln**. Nach nur vier Jahren hatten sich ca. 80 % der Zielarten eingestellt und 10 von 13 gefährdeten Pflanzenarten<sup>1</sup>. Ähnliches erfolgte im Emsland (Oberbodeninversion, maschinelle Formung von **Dünenkomplexen, Eintrag von Rech- und Mahdgut**). Nach nur vier Jahren war die Vielfalt der Wildbienenarten auf den Renaturierungs- mit denen der Kontrollflächen gleichgezogen - mit 90 Arten<sup>1,7</sup>. **Hohe Wildbienen-Diversität korreliert mit geringer Vegetationsdeckung und trockenen, offenen Bodenverhältnissen**, wo Pollenquellen und Nistplätze kleinräumig verzahnt sind. Die Wildbienen-Diversität nimmt mit zunehmender Vegetationsdichte ab<sup>11</sup>. Auch im nordwestdeutschen Tiefland zeigte sich, dass die **Kombination aus Oberbodenabtrag, Selbstbegrünung aus der Samenbank/Diasporenbank und nachfolgender ganzjähriger Beweidung** ein besonders erfolgsversprechender Ansatz zur Renaturierung gefährdeter Sandrasen und feuchter Heiden auf ehemaligen Äckern zu sein scheint<sup>36</sup>. Beweidete Flächen besaßen mit 47 **Wildbienen**-Arten eine signifikant höhere mittlere Artenzahl an Pflanzen als unbeweidete Flächen (36 Arten) mit **positiven Beweidungseffekten auf die Blütenressourcen**<sup>11,37</sup>. Der vollständige Verlust des Blütenangebots durch großflächig intensive Beweidung führt aber zu einer starken Beeinträchtigung der Wildbienenpopulationen. Die höchste Arten- und Individuenzahl von Wildbienen werden typischerweise in Vegetationstypen gefunden, welche eine hohe Artenvielfalt und **Blütendeckung** von insektenbestäubten Pflanzen aufweisen, weswegen auch ruderalisierte Sandrasen mit ihren Blütenressourcen für artenreiche Wildbienenpopulationen wichtig sein können<sup>38</sup>. **Laufkäfer** profitierten auch von einem Habitatmix mit Offenboden, spärlicher Vegetation und Flugsand sowie trockenwarmes Mikroklima<sup>39</sup>; auch für die **Spinnenvielfalt** ist ein Habitatmosaik gut<sup>40</sup>.

**Saumhabitat Kiefernforst – Offenlandschaft:** Der Übergangsbereich zwischen lichten Kiefernwäldern bzw. -anpflanzungen und trockenwarmen Offenlandschaften, wie Binnendünen, ist das Habitat von Saumarten wie dem gefährdeten **Steppengrashüpfer** *Chorthippus vagans*. Auflichten des Waldrandes durch Fällen von beschattenden Laubbäumen und Entfernung von Unterholz und Streuschicht verbessern die Habitatqualität und erhöhen dadurch die Populationsgröße und Verbreitung dieser Art<sup>41</sup>.

**Schutz auch kleinräumiger Refugien für Flugsandspezialisten:** Bereits kleine Silbergrasfluren können überaus artenreich sein. Auf insgesamt 5,6 ha, verteilt auf mehrere Fragmente, wurden 223 Stechimmenarten (136 Anthophila) gefunden, inklusive Rote-Liste-Arten, was **Flugsandflächen zu einem der artenreichsten Lebensräume in Mitteleuropa** macht. **Die Umwandlung von Äckern zu Wiesen in der Umgebung der Steppen-Trockenrasen-Fragmenten** kann einen positiven Einfluss auf den Erhalt von deren Artenvielfalt haben und sollten unter staatlichen Schutz gestellt werden.<sup>42</sup>

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Umsetzung der genannten Maßnahmen, falls Sandflächen vorhanden sind oder angelegt werden können. Auch kleinflächige Maßnahmen sind wichtig.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Die Vegetation auf Binnendünen und Sandflächen ist trittempfindlich, so dass Freizeitaktivitäten durch Konzepte zur Besucherlenkung sinnvoll sind (z.B. Wege in trittunempfindlichen Bereichen, Sperrung von Wegen in empfindlichen Bereichen<sup>4</sup>. Öffentlichkeitsarbeit für die stärkere Wertschätzung dieses auf den ersten Blick unscheinbaren Lebensraums wichtig<sup>10</sup>.

**Landesebene:** Einrichtung und Förderung von Pufferzonen zur Verhinderung von Nähr- und Schadstoffeinträgen neben Sandflächen. Neue Rahmenbedingungen für Alternativen zu traditionellen Wirtschaftsformen wie Wanderschäfererei notwendig.

**Restoration** von Binnendünen und weiträumigen, offenen Sandflächen entlang des Rheins im Rahmen der kommenden UN Decade of Ecosystem Restoration (2021-2030). Wichtige Sandrasen und lichte Kiefernwälder und ihr Schutz auf **badischen Binnendünen**<sup>43</sup>: Lichter Kiefernwald im NSG Sandhausener Düne, Pflege Schönau-Galgenbuckel, Sandrasen im NSG Hirschacker und Dossenwald, Aufwertung der Landschaft im Umfeld der L 600 / B 535, Lichter Kiefernwald mit Sandrasen auf dem Dünenzug am Brühlweg, geplantes NSG "Brühlwegdüne".

**Bundes- und EU-Ebene:** In Deutschland sind offene Sandlebensräume (Binnendünen, Zwergstrauch-, Ginster- und Wacholderheiden, Borstgrasrasen, Trockenrasen) als Habitate gesetzlich geschützt.<sup>5</sup> Im Anhang I der **FFH-Richtlinie** sind folgende Lebensräume mit Sandrasenvegetation des Binnenlandes gelistet, die in Deutschland und auch in Baden-Württemberg vorkommen: Binnendünen mit Magerrasen<sup>2</sup>, Binnendünen mit (Zwergstrauch-)Heiden, z.B. die Dünen bei Schwetzingen<sup>44</sup>, trockene Sandheiden mit *Calluna* und *Empetrum nigrum*, trockene europäische Heiden, trockene, kalkreiche Sandrasen (subkontinentale Blauschillergrasrasen)<sup>3</sup>, noch Restbeständen auf kalkhaltigen Flugsanden des nördlichen Oberrhein-Tieflandes zwischen Sandhausen und Mannheim, subpannonischer Steppen-Trockenrasen<sup>45</sup>, isoliert am Kaiserstuhl.

Neben den **Agrarumweltmaßnahmen** aus der zweiten Säule sollten zukünftig auch deutschlandweit Direktzahlungen zum Erhalt von Binnendünen und Sandflächen ermöglicht werden.<sup>46</sup> Vor allem auf großen Flächen ist eine ganzjährige Beweidung gut umsetzbar, wenn eine entsprechende Förderung der Landwirtschaft erfolgt. Beispiele für **Hotspot-Projekte** (Bundesprogramm Biologische Vielfalt) mit regionalen Partnerschaften: „Wege zur Vielfalt – Lebensadern auf Sand“<sup>47</sup> (NRW/Nds.); „Lebensader Oberrhein – Naturvielfalt von nass bis trocken“ (Nördliche Oberrheinebene mit Hardtplatten); Reaktivierung einer Düne auf einer Unternehmensfläche (<https://lebensader-oberrhein.de/newsreader/items/duene-auf-dem-firmengelaende-der-vog-obstgenossenschaft.html>). Auf der EU-Ebene sind das integrierte **LIFE-Projekt** „Atlantische Sandlandschaften“ ([www.sandlandschaften.de](http://www.sandlandschaften.de)) und das LIFE-Projekt „Sandrasen Dahme-Seengebiet“ ([www.sandrasen.de](http://www.sandrasen.de)) zu nennen.

## 2.8 Grünland

Extensiv bewirtschaftetes Grünland gehört zu den artenreichsten Lebensräumen in Mitteleuropa. Die Jahrhunderte lang andauernde Bewirtschaftung mit geringem Besatz an Vieh oder der Mahd und anschließendem Abtransport des Heus im Rahmen kleinbäuerlicher Betriebe bot einer großen Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten ein Zuhause. Die Intensivierung der Bewirtschaftung durch hohen Viehbesatz, mehrmaliges Mähen pro Jahr und Düngung auf der einen und Aufgabe der Bewirtschaftung mit folgender Verbuschung auf der anderen Seite lassen den Lebensraum dieser Arten immer mehr schrumpfen<sup>1-3</sup>. So wurden zum Beispiel im Westerwald im Vergleich zu traditionell bewirtschafteten Flächen auf intensiv bewirtschaftetem Grünland 44 % weniger Arten und 58 % weniger Individuen an Schmetterlingen nachgewiesen. Bei bedrohten Schmetterlingsarten waren es sogar 75 % weniger Arten und 90 % weniger Individuen<sup>4</sup>.

Baden-Württemberg hat unter den Flächenbundesländern mit 39 % der Landesfläche den zweitgrößten Anteil an Grünland. Darüber hinaus ist es das Bundesland mit dem höchsten Anteil an artenreichem Grünland. Baden-Württemberg hat daher eine besondere Verantwortung für diesen Lebensraum<sup>5</sup>.

Die Intensivierung der Bewirtschaftung führt zu einer Verarmung der Artengesellschaften. Besonders kleinere Arten mit hohem Ausbreitungsradius und geringer Spezialisierung im Hinblick auf Lebensräume werden gefördert<sup>6,7</sup>. Obwohl Mahd als auch Beweidung zu einer direkten Mortalität von Insekten führt, kommen beide Maßnahmen auf lange Sicht Insekten zugute. Dominante Grasarten werden zurückgedrängt, Blühpflanzen begünstigt und ein Verbuschen verhindert<sup>8,9</sup>. Manche Artengruppen, wie zum Beispiel Heuschrecken, können allerdings auch bei intensiver Bewirtschaftung hohe Individuenzahlen erreichen<sup>10</sup>. Je nachdem wie der Lebenszyklus einer Art verläuft, können die Reaktionen auf Mahdzeitpunkte oder Maßnahmen, wie das Belassen von Refugien bei der Mahd, sehr unterschiedlich sein<sup>9</sup>.

Es gibt eine Reihe an Agrarumweltmaßnahmen, die die Artenvielfalt im Grünland fördern und erhalten sollen. Allerdings bleiben die Ergebnisse für Insekten manchmal hinter den Erwartungen zurück<sup>11,12</sup>. Ein Alternative zur Pflege einer traditionellen, extensiven Landwirtschaft, ist die Beweidung mit Robustrassen in Wildnisgebieten. Die Beweidung soll hier vielfältige Lebensräume mit hoher und niedriger Vegetation entstehen lassen, die auch Insekten zu Gute kommen sollen<sup>13,14</sup>. Allerdings führt eine zu hohe Besatzdichte an großen Pflanzenfressern oft zu negativen Bestandstrends bei Insekten<sup>15</sup>.

Ob Grünland durch Beweidung oder Mahd, in intensiver oder extensiver Weise bewirtschaftet wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Artengesellschaften. Wichtig ist daher, dass beide Formen der Bewirtschaftung in Verbindung mit kurzzeitigen Nutzungsunterbrechungen und unterschiedlichem Intensivierungsgrad gefördert und mit den Zielen des Insektenschutzes in Einklang gebracht werden<sup>2,8,16-23</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

### 2.8.1 Mahd von Grünland

**Mahdzeitpunkt:** Im Hinblick auf den Insektenschutz wird eine Mahd erst ab Mitte/Ende Juli empfohlen, da Anfang Juli der Zeitpunkt der höchsten Abundanz ist<sup>8,24</sup>; empfehlenswert ist ein System in dem auf Landschaftsebene manche Wiesen früher und manche später gemäht werden; ein einziger später Mähzeitpunkt in allen Wiesen liefert nicht genug Blütenressourcen im Spätsommer<sup>25</sup>; von einem späterem Mähzeitpunkt profitieren Pflanzenwespenlarven, Schwebfliegen und parasitische Wespen mit erhöhten Abundanzen; der Artenreichtum wird dabei nicht beeinflusst<sup>9</sup>. Bei der Wahl des richtigen Mahdzeitpunkts müssen allerdings auch eine ganze Reihe andere Faktoren, wie Standort, Witterung und der Nutzungshistorie, beachtet werden. So wird beispielsweise für FFH-Mähwiesen ein Schnitt frühestens ab dem Zeitpunkt der Blüte bestandsbildender Gräser empfohlen, was je nach Standort Anfang bis Ende Juni sein kann. Von einem zu späten Schnitt wird abgeraten, da sonst Gräser oft überhandnehmen und krautige Pflanzen, deren Blüten für viele Insekten eine wichtige Nahrungsressource darstellen, verdrängt werden<sup>26,27</sup>. Genauere Hinweise zur Bewirtschaftung von FFH-Mähwiesen finden sich im Leitfaden des Landwirtschaftlichen Zentrums Baden-Württemberg<sup>28</sup>.

**Mahdfrequenz:** mehrmaliges Mähen pro Jahr sorgt zwar für eine höhere Pflanzenartenvielfalt, hat aber eher negative Auswirkungen auf Insekten<sup>29</sup>; maximal sollte dreimal im Jahr gemäht werden<sup>19</sup>; darüber hinaus ist eine räumliche und zeitliche Staffelung der Mahd empfehlenswert<sup>30</sup>, um die Lebensraumheterogenität zu fördern und damit den diversen Ansprüchen der verschiedenen Insektenarten zu genügen.

**Auswahl des Mähwerks:** eine Studie zur Auswirkung des Mähwerks ergab: Beschädigung von Wachsimatanten in der Krautschicht (30cm): Mahd Handmäher mit Balkenmähwerk (Höhe 6 cm) – 9-11 %; Mahd mit Kreiselmäher (6 cm): 9-13 %; Mahd mit Kreiselmäher (9 cm): 12 – 16 %; Mahd mit Kreiselmäher und Konditionierer (6cm): 18-42 %; Mortalität von Schmetterlingsraupen: Mahd mit Balkenmähwerk (Höhe 6 cm) – 19 % (Boden) – 20 % (Krautschicht); Mahd mit Kreiselmäher (6 cm): 35 % (Boden) – 38 % (Krautschicht); Mahd mit Kreiselmäher (9 cm): 32 % (Boden) – 43 % (Krautschicht); Mahd mit Kreiselmäher und Konditionierer (6cm): 42 (Boden) – 69 % (Krautschicht); diese Angaben sind der zu erwartende Minimalwert der Mortalität, da bei weiteren Arbeitsschritten (Wenden, Schwaden und Pressen) zusätzliche Mortalitäten einzukalkulieren sind; besonders größere Insekten (ca. 4 cm) werden durch den Einsatz von Konditionierern getötet; der Einsatz von von Konditionierern sollte aus Sicht des Insektenschutz vermieden werden; auf sensiblen Flächen ist der Einsatz von Handmähern mit Balkenmähwerk zu empfehlen, da hier die Mortalität sowohl am Boden wie auch in der Krautschicht geringer ist; aus Naturschutzsicht generell ist eine Höhe von 8 – 10 cm für das Mähwerk zu empfehlen<sup>31,32</sup>.

**Teilweise Mahd:** die Mahd sollte möglichst nicht auf einmal auf der ganzen Fläche durchgeführt werden und kleinere Bereiche sollten als Refugien ausgespart werden; Individuenzahlen von Schmetterlingen sind nach der Mahd in diesen Streifen doppelt so hoch<sup>8,33</sup>; bei Wildbienen wurden in Wiesen mit Refugium bis zu 30 % mehr Individuen festgestellt<sup>24</sup>; bei Heuschrecken bis zu 53 % höhere

Individuenzahlen; auch Schmetterlingsraupen, Schwebfliegen, Laufkäfer weisen in Wiesen mit Refugium höhere Abundanzen auf<sup>8</sup>; empfehlenswert ist außerdem ein Mähen zum Refugium hin um mobilen Arten die Flucht zu erleichtern<sup>34</sup>; die Artenvielfalt bei Heuschrecken wird durch das Belassen eines Refugiums allerdings nicht beeinflusst<sup>35</sup>. Kleine Bestände von Althalmen, die über Jahre erhalten bleiben, können seltene Stängelbewohner schützen<sup>36</sup>.

**Mahd für die Europäische Gottesanbeterin:** die Mahd mit dem Freischneider in einer Höhe von ca. 30 cm ist der Mahd mit anderen Geräten vorzuziehen<sup>37</sup>.

## 2.8.2 Beweidung von Grünland

**Partieller Ausschluss von Beweidung:** kann Arten fördern die auf Pflanzenarten angewiesen sind, welche auf Beweidung empfindlich reagieren<sup>38</sup>; auch ein Aussparen von Teilflächen von der Beweidung kann Insektengruppen wie Schmetterlingen und Nachtfaltern zu Gute kommen<sup>39</sup>; besonders Graslandspezialisten von Käfern, Wanzen und Zikaden sowie Heuschrecken profitieren von einer Nutzungsunterbrechung von mehr als fünf Jahren<sup>40,41</sup>.

**Unterbrechung der Beweidung:** die Unterbrechung von Beweidung während der Hauptblütephase (Anfang Juni – Anfang August) wirkt sich, im Vergleich zu kontinuierlicher Beweidung, positiv auf die Vielfalt und Individuenzahl von Bestäubern (Schmetterlinge und Hummeln) aus; die Beweidung mit Kühen erzielt dabei ein besseres Ergebnis im Hinblick auf Insektenvielfalt und Angebot an Blüten als die Beweidung mit Schafen, mit nahezu doppelt so hohen Artenzahlen und Deckungsgraden an Blühpflanzen; auf die Artenvielfalt und Individuenzahl von Laufkäfern konnte kein Unterschied zwischen kontinuierlicher Beweidung und Beweidung mit Unterbrechung festgestellt werden; die Gewichtszunahme der Nutztiere unterscheidet sich ebenfalls nicht zwischen den beiden Ansätzen<sup>42–45</sup>.

**Niedrige Besatzdichten:** bei der Beweidung mit Rindern konnten Besatzdichten von ca. 1 Großvieheinheiten (GVE) und darunter im Vergleich zu 2 GVE bis zu 3,5 mal so viele Individuen und bis zu doppelt so viele Arten an Heuschrecken erreichen; auch für Schmetterlinge, oberirdisch brütende Wildbienen und Wespen sowie deren Parasitoide sind positive Ergebnisse belegt; der geringere Viehbesatz sorgt für große Heterogenität in der Vegetationshöhe<sup>41,46,47</sup>; in einer anderen Studie sind doppelt so viele Arten bei Käfern, Wanzen, Hautflüglern bei extensiver Beweidung belegt<sup>40</sup>; auch für Schafbeweidung ist ein 20 % Anstieg an Laufkäferarten bei einer Verringerung der Schafdichte von 12 auf 9 Schafe pro ha und einer daraus folgenden Anstieg der durchschnittlichen Vegetationshöhe von 3,5 auf 5,5 cm belegt<sup>48</sup>.

**Beweidung für die Europäische Gottesanbeterin:** die Art profitiert vom Ausschluss der Beweidung auf Teilflächen und Rotationsbeweidung<sup>37</sup>.

**Beweidung durch Robustrassen im „Neue Wildnis“-Ansatz:** oft ist der Viehbesatz zu hoch und die Beweidung zu intensiv, um die Insektenvielfalt zu fördern; hohes Potenzial durch Schaffung von vielfältigen Lebensräumen mit großer Bandbreite an Vegetationshöhen, Rohbodenstandorten durch

Trittschäden und Sandbaden und Totholz durch Verbiss; wichtig ist ein angepasster Besatz an Pflanzenfressern, der entweder über natürliche Prädation oder menschlichen Eingriff reguliert wird; große Wissenslücken bestehen im Hinblick auf die Wirksamkeit der Maßnahmen auf Insekten; intensive Monitoring-Programme sind nötig<sup>13-15</sup>; der Ausschluss von kleineren Flächen durch Zäunung oder Benjeshecken kann die Vielfalt von Insekten erhöhen<sup>49</sup>.

**Wildschäden durch Wildschweine:** Bodenverletzungen durch Wildschweine können einen positiven Beitrag zum Insektenschutz leisten; die Lockerung der Grasnarbe und die Entstehung von Rohbodenstellen können die Pflanzenvielfalt erhöhen und Insektenpopulationen fördern<sup>50</sup>.

### 2.8.3 Kalkmagerrasen

**Biotopverbund und Habitatstrukturen:** ein Anstieg des Anteils an Ackerland in der Umgebung von 10 auf 80 % geht mit einem Verlust der Artenvielfalt um 29 % einher; die Erhöhung der Strukturvielfalt in der Landschaft wirkt sich positiv auf den Biotopverbund und den Artenreichtum aus<sup>51,52</sup>.

**Kurzzeitige Nutzungsaufgabe (5-15 Jahre):** erhöht den Struktureichtum, führt zur Entwicklung vielfältiger Pflanzengesellschaften und erhöht damit auch die Artenvielfalt von Insekten; länger als 15 Jahre sollte die Nutzung nicht ausgesetzt werden, da sonst Verbuschung droht<sup>51</sup>.

**Beweidung und Mahd:** zu starke Beweidung kann sich negativ auf die Insektenvielfalt und -populationen (besonders auch bei Rote-Liste-Arten) auswirken; Beweidung ist nur mit geringem Viehbesatz und Aussetzen der Beweidung für ein Jahr zu empfehlen; die Mahd sollte einmal jährlich im Herbst oder Winter durchgeführt werden<sup>51</sup>; für Heuschrecken ist eine extensive Beweidung vorzuziehen, da sie mehr Offenbodenstellen und heterogenere Vegetationshöhen schafft<sup>53</sup>; je nach Art der Beweidung profitieren unterschiedliche Artengesellschaften; ein System auf Landschaftsebene, das Beweidung durch Schafe und Rinder und zeitweilige Beweidungsunterbrechungen beinhaltet, ist empfehlenswert<sup>54</sup>.

**Ausschluss von Teilflächen bei Beweidung:** bietet sich im Hinblick auf Schmetterlinge, die als Raupe in Pflanzen überwintern an; bei intensiver Beweidung ist die Mortalität durch versehentliches Fressen weitaus höher<sup>55</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Auch im privaten Bereich können Wiesenflächen anhand der oben geschilderten Grundsätze bewirtschaftet werden.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Das Land Baden-Württemberg fördert mit 7,5 Millionen € die Anlage von Blühflächen und Naturschutzmaßnahmen auf Grünland im Siedlungs- und Außenbereich auf Gemeindeflächen<sup>56</sup>. Zu den geförderten Maßnahmen gehören die extensive Bewirtschaftung von artenreichem Grünland, die Entwicklung von artenreichem Grünland mit extensiver Bewirtschaftung

sowie die Anlage von Altgrasstreifen oder -inseln auf Dauergrünland. Für die extensive Bewirtschaftung von artenreichem Grünland muss eine maximal zweischürige Mahd mit Abfuhr stattfinden. Die erste Mahd darf dabei nicht vor Juni eines jeden Jahres vorgenommen werden. Zwischen den beiden Mahdterminen müssen außerdem mindestens sechs Wochen liegen. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist nicht zulässig. Eine Nachweide im Herbst mit Schafen oder Ziegen ist erlaubt. Die extensive Bewirtschaftung von artenreichem Grünland wird einmalig mit 535 € je 0,5 ha je Maßnahme gefördert. Ist die geförderte Fläche größer als 0,5 ha, erhöht sich die Zuwendung, abgerundet auf jeden weiteren 0,1 ha um 107 €. Für die Entwicklung von artenreichem Grünland mit extensiver Bewirtschaftung kann artenarmes Grünland durch Nachsaat von zertifiziertem Regiosaatgut, regionalem Heudrusch oder durch Mähgutübertragung aufgewertet werden. Bei der Nachsaat von zertifiziertem Regiosaatgut und regionalem Heudrusch hat die Aussaatstärke 10 kg/ha zu betragen. Außerdem ist eine Störung der Grasnarbe durch sehr flache Bearbeitung mit Scheibenegge oder Stoppelgrubber erforderlich. Die Nachsaat muss mit pneumatischem Düngerstreuer und Anwalzen erfolgen. Findet eine Mähgutübertragung statt, sind betriebsübliche Maschinen zu verwenden. Eine Mähgutübertragung mit Schneidlader oder Handausbringung ist unzulässig. Eine Messerbalkenmahd, die Ausbringung mit Miststreuer und einmaliges Wenden ist vorzunehmen. Die Bewirtschaftung ist schließlich wie bei der zuvor genannten Maßnahme durchzuführen. Für die Entwicklung von artenreichem Grünland mit extensiver Bewirtschaftung ist eine einmalige Förderung von 1 025 € je 0,5 ha je Maßnahme vorgesehen. Bei einer Nachsaat mit Regiosaatgut und für Maßnahmen größer 0,5 ha erhöht sich die Zuwendung abgerundet auf jeden weiteren 0,1 ha um 205 €. Bei Nachsaat mit Heudrusch beträgt die Fördersumme einmalig 830 € je 0,5 ha und erhöht sich um 166 € mit jedem weiteren 0,1 ha bei Flächen über 0,5 ha Größe. Wird eine Nachsaat mit Mähgutübertragung vorgenommen, beträgt die Fördersumme einmalig 930 € je 0,5 ha und erhöht sich 186 € mit jedem weiteren 0,1 ha. Werden Altgrasstreifen oder -inseln auf Dauergrünland angelegt, müssen über- oder mehrjährige Altgrasstreifen oder -inseln auf mindestens 5 Prozent und höchstens 20 Prozent des Dauergrünlandschlages stehengelassen werden. Es müssen mindestens fünf Meter breite Streifen beziehungsweise fünf Meter Durchmesser bei Inseln eingehalten werden. Die Altgrasbestände müssen dann mindestens im Abstand von zwei Jahren gemäht und das Mähgut abgefahren werden. Der Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln ist nicht zulässig. Die Förderung für die Anlage von Altgrasstreifen oder -inseln auf Dauergrünland beträgt einmalig 115 € je 0,5 ha je Maßnahme. Für Maßnahmen größer 0,5 ha erhöht sich die Zuwendung abgerundet mit jedem weiteren 0,1 ha um 23 €. Die Mindestlaufzeit all dieser Maßnahmen beträgt fünf Jahre<sup>57</sup>. Diese Maßnahmen sind aus Sicht des Insektenschutz sehr zu begrüßen.

**Landesebene:** Das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) enthält eine Reihe an Maßnahmen, die auch dem Insektenschutz im Grünland dienlich sind. Die Maßnahme „B 1.1 - Extensive Bewirtschaftung des Dauergrünlandes mit höchstens 1,4 Raufutterfressende Großvieheinheit je Hektar (RGV/ha) Hauptfutterfläche ohne mineralische Stickstoffdüngung“ wird mit 150 €/ha vergütet und erfordert einen Großvieh-Besatz von maximal 1,4 GVE je ha landwirtschaftliche Fläche und einen Mindestbesatz von 0,3 RGV je ha auf Dauergrünland. Dabei ist die Düngung mit mineralischem Stickstoff, Entwässerung und Beregnung untersagt. Die Anwendung von Herbiziden ist nur im Einzelfall nach vorheriger Genehmigung durch die untere Landwirtschaftsbehörde möglich. Darüber hinaus kann für Dauergrünland, bei einem Vorkommen von mindestens vier bzw. sechs Kennarten aus einem Katalog mit gefährdeten Pflanzenarten und einer schlagbezogenen Aufzeichnung über Düngung und Schnittzeitpunkte, eine Förderung von 230 bzw. 260 €/ha beantragt werden

(Maßnahmen B3.1 und 3.2). Die Maßnahme „B 6 - Zusätzlicher Messerbalkenschnitt auf artenreichem Dauergrünland und/oder §30/§33 Biotopen und/oder kartierten Flachland- und Bergmähwiesen“ wird mit 50 €/ha gefördert und schreibt die ausschließliche Nutzung von Messerbalken bei der Mahd vor. Diese Maßnahme kann nur mit 3.1 und 3.2 kombiniert in Anspruch genommen werden<sup>58</sup>. Im Rahmen der Landschaftspflegerichtlinie wird außerdem die Umstellung von Acker- auf extensive Grünlandbewirtschaftung ohne Pflanzenschutzmittel, Grünlandbewirtschaftung ohne Pflanzenschutzmittel, Beweidung ohne Pflanzenschutz- und Düngemittel und die gesonderte Behandlung von Teilflächen, beispielsweise das Stehenlassen von Altgrasbeständen auf 5 - 20 % der Fläche, gefördert<sup>59</sup>. Eine Maßnahme, die hierbei fehlt, ist der Ausschluss von Beweidung zur Hauptblütezeit. Diese Maßnahme hat, wie oben beschrieben, nachgewiesenermaßen positive Auswirkungen auf Insekten und sollte daher in den Katalog mit aufgenommen werden. Die Maßnahme des Stehenlassens von Altgrasstreifen auf 20 % der Fläche könnte höher gefördert werden, um diese im Hinblick auf den Insektenschutz sehr wertvolle Maßnahme attraktiver zu machen.

## 2.9 Streuobstwiesen

Streuobstwiesen gehören mit über 5.000 Tier- und Pflanzenarten zu den artenreichsten Lebensräumen Mitteleuropas. Viele dieser Arten stehen auf der Roten Liste, sind also gefährdet oder vom Aussterben bedroht. Streuobstbestände stellen in strukturarmen Regionen wichtige Lebensräume für einst weit verbreitete Arten der offenen Kulturlandschaft dar<sup>1</sup>. Heute stehen sie auf der „Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik“<sup>2</sup>. In Baden-Württemberg sind etwa 30 % aller Streuobstwiesen-Bestände Deutschlands zu finden und beherbergt die größten zusammenhängenden Bestände in Europa. Das Bundesland hat daher eine besondere Verantwortung für diesen Lebensraum<sup>3,4</sup>. In Baden-Württemberg wurden im Jahre 2005 9,3 Mio. Streuobstbäumen gezählt, welches eine landesweite Streuobstfläche von ca. 116.000 Hektar ergibt. Auf dieser Fläche existieren rund 3000 unterschiedliche Obstsorten<sup>5</sup>, von denen ca. die Hälfte aller Streuobstbäume Apfelbäume, ungefähr ein Viertel Kirschbäume, 14 % zwetschgenartige Bäume, 11 % Birnenbäume und 4 % Walnussbäume sind. Innerhalb der letzten 40 Jahre hat sich die Anzahl der Streuobstbäume nahezu halbiert und seit 1990 hat sich die Anzahl der Bäume um knapp ein Fünftel verringert<sup>3,6</sup>. Seit 1965 nimmt die Zahl der „abgängigen Bäume“ zu (um ca. 12 %). Diese Zunahme ging vor allem zu Lasten der „ertragsfähigen Bäume“; hier hat sich der Anteil um 8 % verringert<sup>3</sup>.

Streuobstbestände sind aufgrund ihrer überragenden Bedeutung für die Artenvielfalt, den Boden-, Gewässer- und Klimaschutz ein unverzichtbarer Bestandteil unserer Kulturlandschaft. Der Artenreichtum an Blütenpflanzen auf moderat bewirtschaftetem Grünland sichert einer hohen Anzahl an Arten von Wildbienen, Schmetterlingen, Heuschrecken und anderen Gliederfüßern das Überleben. Die Obstbäume bieten mit besonnten sowie beschatteten Stammbereiche, unter der Rinde, im Geäst und in Baumhöhlen ein kleinräumiges Mosaik an unterschiedlichen Lebensraumnischen. Vor allem die zum Kern- und Steinobst zählenden Obstarten werden von einer großen Anzahl von holz-, laub- und fruchtfressender sowie nektarsammelnder Insekten und ihren Larven als Wirtspflanze genutzt. Diese wiederum ziehen artspezifische Parasiten und räuberische Insektenarten und Spinnen an<sup>1</sup>.

Dank des hohen Totholzanteils können Streuobstwiesen wesentlich zum Erhalt gefährdeter Käfer aus der Gruppe der Holzbewohner (Xylobionten) beitragen. Aus der Bundesrepublik Deutschland sind 1.371 xylobionte Käfer bekannt. Mehr als die Hälfte dieser Arten (59 %) werden in Deutschland als ausgestorben oder als gefährdet in der Roten Liste geführt<sup>7</sup>. Der Wert von Streuobstwiesen für die Käferfauna, speziell die xylobionter Arten, ist aber von deren Alter und Strukturausstattung abhängig. Wie in Waldökosystemen sind die Menge und Qualität von Altholz und Totholz, stehend wie liegend, sowie das Vorhandensein von Baumhöhlen und Baumveteranen für den Naturschutzwert entscheidend. Weitere wichtige Einflussgrößen sind die Habitatkontinuität und der Biotopverbund. Neu angelegte Obstwiesen können auch unter günstigen Randbedingungen entsprechend erst nach vielen Jahrzehnten einen höheren Wert für holzbewohnende Käfer entwickeln<sup>8</sup>.

Für die Artenvielfalt auf Streuobstwiesen sind der besondere Strukturreichtum, der Nahrungsreichtum und die ursprünglich extensive Bewirtschaftung von außerordentlicher Bedeutung. Genauso wichtig sind der Biotopverbund zwischen Streuobstbeständen mit unterschiedlichen, wenig genutzten Offenland- und Gehölzlebensräumen. Streuobstwiesen sind ursprünglich durch eine doppelte Nutzung geprägt: den Obstanbau und die Nutzung als Wiese, Weide, Acker oder Garten. Die Verwertung sowohl

des Obstes als auch des Heus ist heutzutage nicht mehr profitabel. Die Erhaltung der noch vorhandenen Streuobstbestände und deren Bedeutung für die Kulturlandschaft, stellt daher eine besondere Herausforderung dar.<sup>1</sup>

## Konkrete Maßnahmen

**Traditionelle Streuobstwiesenbewirtschaftung** fördert viele Artengruppen, benachteiligt aber andere<sup>9-12</sup>. Es gibt nur wenige Studien zu den konkreten Auswirkungen des Managements. Bei einem Vergleich von Laufkäfern und Kurzflügelkäfern in ökologischen, konventionellen und verlassenen Obstgärten in Kanada zeigten verlassene Obstgärten die größte Vielfalt an nicht räuberischen-Käfern, während die Häufigkeit an räuberischen-Käfern in konventionellen Obstgärten am höchsten war<sup>13</sup>. **Totholz** sollte nach Möglichkeit erhalten werden. Maximale Dichten von 60-70 Bäumen/ha und eine **Mischung von Obstarten, Obstsorten und Hochstämmen** werden empfohlen, um eine gute Belichtung des Unterwuchses und eine große Heterogenität des Lebensraums zu gewährleisten<sup>14</sup>.

**Regelmäßiger Baumschnitt ist wichtig:** 2005 war der Anteil der abgängigen Bäume (12 %) von dem der neu gepflanzten, jungen Bäume (13 %) in etwa gedeckt. Beim überwiegenden Teil wird aber kein regelmäßiger Baumschnitt durchgeführt. Lediglich jeder fünfte Baum wird regelmäßig geschnitten. Werden Obstbäume nicht richtig gepflegt, verringert sich deren Lebensdauer<sup>3</sup>. Beim Baumschnitt sollte auf die Ausbildung einer **gut belichteten Krone und ein stabiles Astgerüst** geachtet werden<sup>15</sup>.

**Ein breites Obststartenspektrum mit früh und spät blühenden Sorten:** Eine hohe Vielfalt an Obstarten, bieten Insekten durch ihre unterschiedlichen Reifezeiten von Juni bis November über einen langen Zeitraum eine reichhaltige Nahrungsquelle<sup>16</sup>. Früh- und spätblühende Sorten sollten daher gemischt angepflanzt werden. Wenn neben Apfelbäumen auch andere Obstarten wie Zwetschge oder Birne nebeneinander wachsen, kann sich die Baumblüte über einen Zeitraum von bis zu zwei Monaten erstrecken, was für Blütenbesucher eine Kontinuität der Nahrungsressourcen und damit ein besseres Überleben sichert<sup>17</sup>.

**Regelmäßige Bestandserneuerung:** Für die Erhaltung des Streuobstbaues auf dem gegenwärtigen Niveau wird eine Bestandserneuerung alle 50 Jahre vorgeschlagen. Bei gleichmäßiger Altersstruktur und unter Berücksichtigung der Ausfallsrate bei den Jungbäumen, sollten pro Jahr ca. 2,5 % der Bäume nachgepflanzt werden<sup>18</sup>.

**Lebensraum-Vernetzung und Lebensraumgröße wichtig:** Bei der Planung von Neupflanzungen ist die Anbindung der Streuobstwiese zu benachbarten Lebensräumen zu berücksichtigen, um die Populationsdichte von beispielsweise Wildbienen zu fördern. Der Artenreichtum von Lebensraumspezialisten innerhalb der Wildbienen, solitären Faltenwespen und deren Gegenspielern nimmt dabei mit der Lebensraumfläche signifikant zu, während Generalisten stärker von einer vielfältigen Landschaftsmatrix in der Umgebung profitieren<sup>19</sup>.

**Erhalt geographisch entfernter Streuobstwiesen:** Viele kleine und geografisch weit entfernte Fragmente beherbergen mehr gefährdete Rote-Liste Arten als ein einziges oder wenige große, nahe

zusammenliegende Fragmente. Denn mit der Distanz nimmt die Unterschiedlichkeit in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften und damit die gesamte Artenzahl zu<sup>11,20,21</sup>.

**Extensive Nutzung des Grünlands in Streuobstwiesen:** Mahd und Beweidung sollte am besten nur zweimal im Jahr erfolgen (siehe auch Kapitel Grünland)<sup>15</sup> Das Belassen von Vegetation um den Stammfuß fördert seltene und bedrohte Insekten<sup>22,23</sup>.

**Minimaler Einsatz von Düngern und Pestiziden:** Eine Erhaltungsdüngung ist auf Baumscheiben zu beschränken. Statt Pflanzenschutzmitteleinsatz sollte die Förderung von Nützlingen durch Anlage von zusätzlichen Biotopstrukturen wie Säumen, Blühstreifen, Hecken, Nistkästen, Insektenhotels oder Schnittguthaufen im Vordergrund stehen<sup>14</sup>.

**Blütenreichtum fördern durch ein- bis zweimalige Mahd und Abräumen des Mahdguts.** Sehr hohe Anzahl von Bienen- und Wespenarten im Vergleich zu Studien in anderen Lebensraumtypen<sup>24</sup>. Mehr Informationen zur Mahd finden sich im Kapitel zu Grünland in diesem Bericht.

**Kombinierte Bewirtschaftungssysteme:** Statt einer Mahd kann eine **extensive Beweidung** mit Schafen, Ziegen oder Rindern durchgeführt werden. Denkbar ist auch die Legehennenhaltung oder die Haltung von Weidegänsen. Geflügelhaltung birgt dabei einen Zusatznutzen für den Obstbau bei der Schädlingsreduzierung, da z.B. Kirschfruchtfliegen und Apfelwickler gefressen werden. Bei Neupflanzungen bieten sich - zumindest für die ersten 15 Jahre - zusätzliche Kulturen im Unterwuchs an, z.B. Obst-, Beeren- oder Gemüsekulturen<sup>1</sup>.

**Vermarktungsmöglichkeiten verbessern:** Die bisherigen Verwertungswege über die Keltereien und Brennereien sind zu erhalten und lukrativer zu gestalten. Zu möglichen neuen Vermarktungsmöglichkeiten gehört, den Trend nach regional und ökologisch erzeugten Lebensmitteln zu nutzen und zu stärken, ebenso die Nachfrage nach alternativen Sorten auch im Bereich der Obstweine, Cidre und Seccos.<sup>1</sup> Im Durchschnitt kommen 400.000 Tonnen und damit die Hälfte des jährlich in Bayern zu Apfelsaft verarbeiteten Obstes von Streuobstwiesen<sup>1</sup>. Die steigende Nachfrage der Verarbeitungsbetriebe nach heimischem, bio- zertifiziertem Streuobst hat zur Folge, dass für bio-zertifiziertes Streuobst im Vergleich zu nicht zertifiziertem Streuobst ein deutlicher Preisaufschlag gezahlt wird. Eine zusätzliche Wertschöpfung könnte aus dem hohen kulturlandschaftlichen Wert für Tourismus, Erholung und Umweltbildung kommen<sup>1</sup>. Die Eigenverarbeitung des Obstes und die Selbstvermarktung kann den Erlös steigern<sup>16</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Es sollten regelmäßig neue Obstbäume gepflanzt werden, um alte und sterbende Obstbäume langfristig ersetzen zu können<sup>23</sup>. Denn langfristig kann der Wert dieses Lebensraumtyps für den Naturschutz nur durch eine vorsorgende Bewirtschaftung erhalten werden.

**Kommunal-, Landkreis- und Landesebene:** Die Streuobstkonzption ist ein zentraler Bestandteil der Naturschutzstrategie Baden-Württembergs. Sie umfasst die Förderung von Pflegekonzepten für

Streuobstbäume, die Unterstützung praxisnaher Forschung, die Erfassung und Weiterentwicklung der Sortenerhaltungsgärten, Vermarktungsstrategien von Streuobstprodukten und Unterstützung von Aufpreisinitiativen und die Förderung von Weiterbildung und Wissenstransfer. Die Stelle „Streuobstkoordination“ am Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz ist hierbei für die Koordination der Maßnahmen zuständig<sup>4</sup>. Die Internetseite Streuobstportal Baden-Württemberg bietet eine fundierte Informationsquelle rund um die Streuobstwiesenbewirtschaftung. Dort werden die unterschiedlichen Fördermöglichkeiten, wie zum Beispiel über das Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT), die Landschaftspflegerichtlinie oder den Kostenzuschuss zur Ökokontrolle, vorgestellt. Außerdem werden Informationen zu Vermarktung, Bewirtschaftung sowie Wettbewerben und Modellprojekten bereitgestellt<sup>25</sup>. Aus Sicht des Insektenschutzes ist der Schritt der Landesregierung, den Erhalt von Streuobstwiesen im Naturschutzgesetz zu verankern und sie so vor der Umwandlung zu schützen, sehr zu begrüßen<sup>26</sup>. Werden Streuobstwiesen verkauft, sollte die Landschaftsschutzgebietsverordnung bzw. die geltenden Regelungen zum Schutz dieses Lebensraums im notariellen Kaufvertrag als Anlage beigefügt und der neue Besitzer über seine Rechte und Pflichten durch den Notar aufgeklärt werden müssen.

**Bundesebene:** Eine wichtige Einrichtung auf Bundesebene ist die „Genbank Obst“ am Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben in Dresden-Pillnitz. Die Genbank hat nicht nur konservierenden Charakter, sondern ist auch in der Sortenzüchtung aktiv. Neben der Bewahrung alter Obstsorten ist das Auffinden von Resistenzeigenschaften, vor allem gegen Schorf, Mehltau und Feuerbrand bei Apfel und Birne, Schwerpunkt der Tätigkeiten. Die Apfelsortenkollektion der Genbank Obst gilt als die größte geschlossene Sammlung dieser Art in Europa. Weiterhin verwaltet die Genbank in Zusammenarbeit mit der Zentralstelle für Agrardokumentation und -information (ZADI) in Bonn das sog. Bundes-Obstarten-Sortenverzeichnis. Dieses enthält alle Obstsorten in Bundes- und Landesinstituten sowie einiger nichtstaatlicher Organisationen. Insgesamt sind hier fast 6.000 Obstsorten mit über 17.000 Nachweisen registriert. Aus dieser Datei ist zu ersehen, welche Sorten an nur einem Standort vorkommen. So können gezielt Aktivitäten für deren Erhaltung in Angriff genommen werden.<sup>27</sup>

## 2.10 Weinbau

Weinbau in Baden-Württemberg hat eine jahrhundertealte Tradition. Das Bundesland wartet mit insgesamt 28.000 Hektar Rebfläche auf, wovon sich ca. 7.000 Hektar in Steillagen mit über 30 % Hangneigung befinden. Davon wiederum sind 1.000 Hektar als, aus Naturschutzsicht besonders wertvolle, terrassierte Mauerweinberge angelegt<sup>1,2</sup>. Dauerkulturen, wie die Weinrebe, sind im Vergleich zu einjährigen Kulturen meist artenreicher. Weinanbauflächen können die Artenvielfalt in der Landschaft daher wesentlich beeinflussen<sup>3-7</sup>.

Allerdings geht der große Druck durch Schädlinge und Krankheiten im Weinbau oftmals mit einem intensiven Pestizideinsatz einher<sup>8</sup>. Hierbei bedient sich der Weinbau neben einer Vielzahl an chemischen Stoffen auch biochemischer Mittel. So kommen beispielsweise Sexualpheromone gegen den Bekreuzten Traubenwickler zum Einsatz<sup>9</sup>. Ein weiteres mikrobielles Biokontrollmittel gegen diesen Schädling ist *Bacillus thuringiensis* (Bt)<sup>10-12</sup>. Modernes Schädlingsmonitoring stellt eine weitere Möglichkeit dar, den Pestizideinsatz zu verringern. Biopestizide weisen jedoch auch Nachteile auf und stoßen oft auf geringe Akzeptanz bei Winzern<sup>8,13</sup>. In Baden-Württemberg sind mittlerweile, dank des Einsatzes der Verwirrmethode gegen verschiedene Traubenwicklerarten, 70 % aller Rebflächen insektizidfrei<sup>14</sup>. Ein großes Potenzial besteht des Weiteren in der biologischen Schädlingsbekämpfung. Räuberische Insekten, wie zum Beispiel Laufkäfer, und Spinnen sind dabei besonders wichtig<sup>15-18</sup>.

Allerdings können auch Fungizide viele Bestäuber und andere Nichtzielorganismen beeinträchtigen und die Bodenfruchtbarkeit verringern<sup>19,20</sup>. Die überaus schädlichen und persistenten Kupfermittel werden auch im Ökolandbau regelmäßig appliziert<sup>21</sup>. Resistente bzw. tolerante Sorten können wesentlich zur Reduzierung von Fungizidbehandlungen beitragen. Ihr Einsatz ist jedoch insbesondere bei regional-typischen Weinen (z.B. AOC in Frankreich, DOC und DOCG in Italien) umstritten. Resistenzen gegen den Falschen Mehltau, den Echten Mehltau und weitere Erreger liegen aber für eine ganze Reihe an Sorten vor<sup>22</sup>. Deutschland ist das Land mit der höchsten Anzahl lizenzierter, mehlttauresistenter Rebsorten. Diese sind in der Datenbank des Bundessortenamtes zu finden<sup>23</sup>. Leider werden resistente Sorten oft mit Fehlgeschmack und schlechter Weinqualität assoziiert, so dass es verstärkter Bemühungen bedarf, um mit der Züchtung resistenter Sorten bei Erhalt traditioneller Aromen den Fungizideinsatz im Weinbau deutlich zu reduzieren.<sup>8</sup>

### Konkrete Maßnahmen

**Förderung des Übergangs von konventioneller zu biologischer Bewirtschaftung:** Ökologischer Landbau ist durch den Verzicht synthetischer Pestizide und mineralischer Dünger gekennzeichnet. Die Schädlingsschäden in Weinbergen können während der Umstellung zu Anfang größer werden. Sie verringern sich aber im Laufe der Zeit, da sich erst langsam Gegenspieler-Populationen aufbauen müssen<sup>24</sup>. Biologisch bewirtschaftete Systeme führen bei vielen Organismengruppen, darunter auch bei Nützlingen wie beispielsweise Raubmilben, zu einer größeren Artenvielfalt oder höheren Individuenzahlen<sup>25-30</sup>. Allerdings können konventionelle Systeme bei manchen Artengruppen, beispielsweise bei Laufkäfern und Spinnen, höhere Artenzahlen aufweisen<sup>27,31</sup>. Es gibt viele **Maßnahmen zur Diversifizierung auf lokaler Ebene und in der Landschaft, die für die Artenvielfalt wichtiger sind als die Bio-Zertifizierung.** Die erhöhte Artenvielfalt im ökologischen Weinbau liegt

wesentlich auch am Landschaftskontext<sup>27</sup>. Im Mittel bewirtschaften Biobetrieben kleinere Weinberge und die Landschaftsheterogenität in der Umgebung ist höher<sup>31</sup>. **Bedingungen für eine Öko-Zertifizierung sind also zu erweitern**, um einen effektiven Beitrag zur Erhöhung der Artenvielfalt zu leisten. Dazu gehört insbesondere die Erhöhung der Vielfalt an naturnahen Lebensraumtypen auf den Betriebsflächen und in der umgebenden Landschaft.

**Pestizideinsatz reduzieren – auch im Ökolandbau:** Im konventionellen wie im ökologischen Weinbau werden für die Behandlung von Pilzkrankheiten Pestizide in Form von **Kupfermitteln eingesetzt**. Öko-Weinbau ohne Kupfer bedeutet oft dramatische Ertrags- und Qualitätsausfälle von 50 bis 100 %. Kupfer wird mit verschiedenen Mischungspartnern regelmäßig im Abstand von etwa zehn Tagen appliziert. Seit 2006 legt die EG-Öko-Verordnung die zulässige Höchstmenge an Reinkupfer auf maximal 6 kg/ha und Jahr fest. In den Richtlinien der deutschen Bio-Verbände (z.B. Bioland) wird dieser Wert weiter auf 3 kg/ha und Jahr reduziert<sup>21,32</sup>.

**Förderung des Einsatzes von resistenten und toleranten Weinsorten:** Der Anbau pilzresistenter Rebsorten beugt dem Einsatz an Fungiziden weitgehend vor<sup>8</sup>. Bisher ist wenig über die Auswirkungen solcher Sorten auf die biologische Vielfalt bekannt. Neuere Forschungen zeigen jedoch positive Auswirkungen auf die natürlichen Schädlings-bekämpfung<sup>33</sup>, unter anderem durch eine erhöhte Dichte von Netzspinnen<sup>34</sup>.

**Bodenbearbeitung reduzieren und alte Weinberge schützen:** Bodenbearbeitung stellt eine Störung des Lebensraums im Boden dar und hat direkte und indirekte negative Auswirkungen auf Bodenorganismen<sup>35,36</sup>. Langfristig führt eine übermäßige Bodenbearbeitung zu einem Verlust an organischer Substanz, Bodenerosion, Bodenverdichtung, Krustenbildung und Verlust an Biodiversität<sup>37,38</sup>. Die Bodenbearbeitung sollte daher auf ein Minimum beschränkt werden. Ein höheres Alter von Weinbergen steht im Zusammenhang mit einer Erhöhung der Artenvielfalt. Auf diesen Flächen sollte bei Schutzbemühungen im Weinbau ein besonderes Augenmerk liegen<sup>30</sup>.

**Verzicht auf Herbizide und Förderung der Bodenbedeckung:** Der Reichtum an Pflanzenarten ist, hauptsächlich aufgrund des Fehlens von Herbizidanwendungen, unter biologischer Bewirtschaftung höher<sup>27</sup>. Im Weinbau sind die Alternativen zur Herbizidanwendung, der Deckflächenanbau und die Bodenbearbeitung. Dabei bietet sich die Bedeckung der Zwischenreihen mit Beständen **ein- oder mehrjähriger krautiger Arten** an<sup>31</sup>. Dies kann durch **Einsaat** oder durch das Zulassen der **Selbstbegrünung** geschehen. Besonders sollte auch auf die stark zurückgegangenen, typischen Weinbergstauden und Zwiebelpflanzen geachtet werden. Charakteristische Arten wie die Wilde Tulpe *Tulipa sylvestris*, der Nickende Milchstern *Ornithogalum nutans*, die Weinbergshyazinthe *Muscari neglectum* oder der Weinbergslauch *Allium vineale* bieten im Frühjahr einer Vielzahl an Insektenarten eine erste Nahrungsquelle<sup>39</sup>. Die Artenvielfalt der Bodendecker zwischen den Reihen kann außerdem die biologische Schädlingsbekämpfung, beispielsweise durch Raubmilben, verbessern<sup>40–43</sup>. **Wildbienen sind auf Blühressourcen und geeignete Nistplätze angewiesen**, die in Weinberg-Zwischenreihen zu finden sind<sup>44</sup>. Die Art der Bewirtschaftung der Bodendecke in Weinbergen kann auch einen erheblichen Einfluss auf Schwebfliegenpopulationen haben<sup>45</sup>.

**Offenbodenbereiche** sind wichtig für eine Vielzahl spezialisierter, wärme- und trockenheitsliebender Arten, wie beispielsweise der Blauflügeligen Ödlandschrecke *Oedipoda caerulea*<sup>7</sup>. Steine bieten

einen Lebensraum für eine an diese biologische Nische angepasste Blühpflanzenflora und Insektenfauna. **Offene Felsen, Steinhaufen und Mauern** in Randbereichen von Weinbergen sollten deshalb nach Möglichkeit freigehalten werden, um die mikroklimatischen Bedingungen dieses Lebensraums zu erhalten. Des Weiteren eignen sich **Steinriegel aus Lesesteinen**, um betreffende Arten zu fördern. Geschotterte Wirtschaftswege, im Gegensatz zu geteerten Wegen, stellen eine Erweiterung dieses Lebensraums dar<sup>39</sup>.

**Die Erhöhung der Landschaftskomplexität (viele naturnahe Flächen) und Landschaftsheterogenität (viele Lebensraumtypen)** ist eine Schlüsselstrategie für einen nachhaltigen Weinbau. Angrenzendes Grünland und Wald fördern natürliche Gegenspieler wie Laufkäfer und Spinnen. Der Artenreichtum in Waldgebieten neben biologisch bewirtschafteten Flächen ist dabei höher als neben konventionell bewirtschafteten Flächen.<sup>31</sup> Spinnen und diverse Insektengruppen sind stark von der Heterogenität der Landschaft im Umkreis von Weinbergen und insbesondere vom Vorhandensein von Grünland beeinflusst<sup>27,46,47</sup>. Für den Artenschutz in Weinbergen besonders wertvoll, sind regelmäßig, aber spät und **extensiv gemähte Böschungen**. Um die Vegetationsstruktur zu erhöhen, wird eine **späte Mahd ab Ende Juli**, wenn möglich und sinnvoll, kontrolliertes Brennen sowie kleinflächige Entfernung von Gehölzen auf stark verbuschten Hängen empfohlen<sup>7</sup>. **Hecken** in Weinbergen sind ein wichtiger Lebensraum für Gegenspieler von Schadinsekten. Sie beherbergen eine höhere Anzahl an Nützlingsarten, als andere Lebensräume in Weinbergen. Raubmilben beispielsweise können von Hecken aus in Weinberge einwandern und bei der biologischen Schädlingsbekämpfung von Nutzen sein<sup>48,49</sup>. Insgesamt kann eine **struktureiche Vegetation** die Verfügbarkeit von Rückzugsorten und die Vielfalt der mikroklimatischen Bedingungen verbessern, was zu günstigeren Bedingungen für viele Arten führt<sup>50-52</sup>. In Gebieten, in denen Weinberge nur zu geringem Anteil durch andere Lebensräume unterbrochen werden, können Schädlingsausbrüche zur Erntezeit um das Vierfache zunehmen. Eine Erhöhung der Landschaftskomplexität trägt also auch zur Verhinderung von wirtschaftlichen Schäden bei<sup>53</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Kommunal-, Landkreisebene und Landesebene:** Da die Häufigkeit und Vielfalt von Insekten durch die Landschaftsstruktur in relativ großen räumlichen Maßstäben (bis zu 750 m) beeinflusst wird, ist es wichtig, die Landschaft als Ganzes bei der Planung von Insektenschutzkonzepten in Weinbergen zu berücksichtigen.<sup>49</sup>

Anreizsysteme für eine verstärkte Förderung der Lebensraumvielfalt in Weinbergen sollte angebunden werden an die schon bestehende Unterstützung für Produktionsanpassungen an sich wandelnde Marktbedingungen und der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Weinbaus in Baden-Württemberg. Das Ziel dabei sollte die Diversifizierung der Weinbaulandschaften sein, worin Hecken, Waldstücke und Dauergrünland im Umland von Weinbergen insektenfreundlich bewirtschaftet und erhalten werden.

Das Land Baden-Württemberg bietet eine Vielzahl an Fördermöglichkeiten an. Hierbei wird besonders die traditionelle Bewirtschaftung von Weinbergen in steilen Hanglagen und terrassierten Weinbergen finanziell gefördert. Aus Sicht des Insektenschutzes sind diese Programme sehr zu begrüßen, da gerade

diese Weinberge eine Vielzahl wichtiger Lebensräume beherbergen<sup>54,55</sup>. Bei der Förderung könnte dabei die insektenfreundliche Bewirtschaftung von Randbereichen wie Böschungen, Grünlandflächen oder Hecken noch besser in den Vordergrund gerückt werden. Des Weiteren wird die Reduktion des Einsatzes von Insektiziden durch die Förderung biologischer und biotechnischer Maßnahmen im Pflanzenschutz finanziell unterstützt. Hierbei wird eine Verwirrtechnik mittels Pheromondispensern eingesetzt um wirtschaftliche Schäden durch Traubenwickler zu minimieren<sup>56</sup>. Finanzielle Anreize für den Anbau gegen Pilzkrankheiten resistenter Weinsorten sollte in den Förderprogrammen stärker in den Vordergrund gerückt werden. Nur damit wird es möglich sein, den hohen und sehr schädlichen Kupfermitteleinsatz zu reduzieren.

## 3 Maßnahmen in Waldlandschaften

### 3.1 Wald: Baumartenzusammensetzung, Totholz und Altersstruktur

Baden-Württemberg ist ein Waldland. Mit 1.371.886 ha und einem Anteil von fast 40 % der Landesfläche hat das Bundesland eine besondere Verantwortung für diesen Lebensraum<sup>1</sup>. Ein vom Menschen unberührter Waldbestand würde eine heterogene, mosaikartige Struktur aus Lichtungen, Naturverjüngung, mittelalten und alten Beständen sowie absterbenden und toten Bäumen aufweisen<sup>2-5</sup>. Da der Wald aber seine Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Holzressource, grüne Lunge sowie Erholungsraum für den Menschen erfüllen soll, müssen Kompromisse im Hinblick auf die Waldstruktur eingegangen werden. Ziel der Waldbewirtschaftung für den Naturschutz sollte die Schaffung eines dynamischen Lebensraums sein, der die Artenvielfalt von Insekten in den verschiedensten Altersstufen eines Waldes fördert. Etliche Studien zeigen dabei, dass die Zahl und Artenvielfalt an Insekten mit steigendem Bestandsalter zunimmt<sup>6-9</sup>. So wurden in Buchenwäldern in Frankreich in Beständen, die 300 Jahre alt waren, ein Mittelwert von 79 totholzbewohnenden Käferarten nachgewiesen. Jüngere Bestände beherbergten nur 60 (160-180 Jahre), 55 (180-200 Jahre) und 63 (200-220 Jahre) Arten. Je älter ein Bestand war desto höher war auch der Anteil an Lebensraumstrukturen<sup>10</sup>. Verschiedene Altersstufen weisen darüber hinaus unterschiedliche Artenzusammensetzungen auf<sup>7,11</sup>. Der in Baden-Württemberg als stark gefährdet<sup>12</sup> eingestufte Eremit *Osmoderma eremita* ist beispielsweise vor allem in Eichen zu finden, die zwischen 300 und 400 Jahre alt sind, und gilt als Indikator für andere Totholzbewohner<sup>13</sup>. Reine Altbaumbestände, besonders bei Dominanz der Buche, können allerdings wiederum zu einer Reduktion der Käferartenvielfalt und Individuenzahlen führen. Dies wird auf einen höheren Lichteinfall und auf ein höheres Totholzvorkommen in bewirtschafteten Wäldern zurückgeführt<sup>14</sup>.

Totholz ist kein Abfallprodukt des Waldes. Es ist vielmehr ein elementarer Bestandteil im Naturkreislauf. Es fördert das Baumwachstum, ist Nahrung und Heimat für eine vielfältige Zahl von Waldbewohnern, reguliert den Wasserhaushalt und fungiert als Kohlenstoffspeicher<sup>15</sup>. Generell kommen in Wäldern mit höherem Totholzanteil eine größere Vielfalt an totholzbewohnenden Insekten vor<sup>16-18</sup>. Ist der Waldboden mit herabgefallenem Totholz bedeckt, finden sich dort zwei bis fünfmal so viele bodenbewohnende Insekten als an Stellen wo dies nicht der Fall ist. Die Artenvielfalt ist ebenfalls um das Doppelte erhöht<sup>19,20</sup>. Totholz ist dabei aber nicht gleich Totholz. Je nachdem ob es dick oder dünn ist, sich lediglich als Ast an noch lebenden Bäumen befindet, ein noch stehender Stamm ist oder am Boden liegt und wie alt bzw. stark zerfallen es ist, entscheidet darüber welche Arten sich darin entwickeln<sup>15,21-24</sup>. Auch die Baumart, von der das Totholz stammt, hat einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung. Eine Studie zeigt hier, dass vor allem das Totholz der Traubeneiche *Quercus petraea* unter den Laubbäumen und das der Gemeinen Fichte *Picea abies* eine besonders hohe Vielfalt an totholzbewohnenden Käfern beherbergen. Auch hierbei ändert Artenzusammensetzung je nach Baumart<sup>25</sup>. Es ist also wichtig, Totholz in all seiner Vielfalt zu erhalten und zu fördern.

In einem natürlichen Wald hängt der Baumbestand außerdem eng mit dem jeweiligen Standort, also der Bodenbeschaffenheit, der Topografie und der Wasserverfügbarkeit, zusammen. In Baden-

Württemberg gibt es sieben sogenannte Wuchsgebiete, die sich in der Artenzusammensetzung der Baumarten unterscheiden<sup>26</sup>. Im Wirtschaftswald wurde über lange Zeit mit sehr einheitlichen Beständen gearbeitet. Untersuchungen zeigen aber, dass die Individuenzahlen von Bienen, Wespen, Wanzen und die Artenvielfalt der Käfer- und Wanzenarten mit steigender Anzahl an Baumarten in einem Bestand zunehmen<sup>27-29</sup>. Viele Insektenarten bevorzugen eine bestimmte Baumart und die Artenzusammensetzung ändert sich je nachdem, welche Baumarten in einem Bestand vorkommen<sup>16,30</sup>. Auch aus wirtschaftlicher Sicht sind Mischbestände von Vorteil. Schäden durch Insekten wie den Schwammspanner *Lymantria dispar* fallen geringer aus, da sich die Schädlinge nicht so einfach von Baum zu Baum ausbreiten können. Eine Studie zeigt, dass der Anteil durch Insekten beschädigten Laubs an Eichen in Monokulturen zwischen 60 und 70 % liegt. Finden sich außer Eichen noch fünf weitere Baumarten im Bestand sinkt der Grad der Beschädigung auf ca. 30 %<sup>31</sup>.

Aus Sicht des Insektenschutzes ist eine System optimal, in dem der Großteil des Waldes mit Überhältern bewirtschaftet und kleinere Flächen von der Bewirtschaftung ausgeschlossen werden, bei der die Bewirtschaftung die Struktur natürlicher Waldentwicklung nachahmt und bei der Kleinstlebensräume wie Totholz, Baumhöhlen und Hohlstämmen gefördert und erhalten werden<sup>14,32</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

### 3.1.1 Baumartenzusammensetzung

**Mischbestände** sind aus Sicht des **Insektenschutzes** zu bevorzugen, da sie die lokale Artenvielfalt fördern<sup>16,25,27-29</sup>.

Es kommt insbesondere auf die **Vielfalt in der Zusammensetzung auf Landschaftsebene** an, auf der verschiedene Waldbausysteme und Baumartenzusammensetzungen anzutreffen sein sollten, um ein Maximum an Heterogenität und assoziierter Artenvielfalt (gamma Diversität) zu befördern. Zum Management gehören lokal selektive Eingriffe (Einzelbaumentnahmen), Berücksichtigung ungleicher Waldstrukturen und diverser Bestandesphasen sowie lichte Bestände mit großen Kronenöffnungen<sup>4</sup>.

### 3.1.2 Totholz

Ein Ziel sollte es sein, mehr als **20 bis 50 m<sup>3</sup> Totholz pro ha** im Wald zu belassen um von Totholz abhängige Arten zu fördern<sup>33,34</sup>.

Bäume mit **hohem Totholzanteil in der Krone** sind zu schützen<sup>35</sup>.

Besonders in Bereichen mit **kälterem Mikroklima** sollten **mehr als 40 m<sup>3</sup> / ha** Totholz im Wald belassen werden<sup>36</sup>.

**Windwurfflächen** sollten **nicht nur beräumt, sondern auch** zu einem gewissen Teil **unangetastet** bleiben, um totholzliebende und an Lichtungen gebundene Insektenarten zu fördern<sup>24,37</sup>.

**Förderung und Erhaltung** von Totholz **auf Landschaftsebene** planen, um den Biotopverbund zu fördern und die Isolation von Populationen zu vermeiden<sup>38,39</sup>.

**Baumstümpfe** sollten im Wald belassen bleiben<sup>23</sup>.

Totholz in seiner ganzen Vielfalt – **unterschiedlicher Durchmesser, Alter, Beschattungsgrad** - soll gefördert werden<sup>15,22,39</sup>.

**Schneitelung** (Baum-Rückschnitt) ausgewählter Bäume kann die **Bildung von Hohlstämmen** befördern und deren Verteilung kontrollieren<sup>40</sup>.

**Stehende, hohle Bäume** weisen eine **besonders hohe Artenvielfalt** auf und sind so weit es geht zu schützen<sup>40</sup>.

### *3.1.3 Altersstruktur*

**Umtriebszeit** sollten so **lang wie möglich** gehalten werden. Je älter ein Baum wird, desto mehr Totholz und Mikrolebensräume können sich auf ihm entwickeln<sup>6,10,41</sup>.

**Inseln mit alten Bäumen** helfen dabei, den Anteil an alten Bäumen in einem Wald konstant zu halten und so einen Lebensraum für **totholzbewohnende Arten** zu erhalten<sup>8,10,13</sup>.

Die Waldbewirtschaftung mit **Einzelbaumentnahme** und **Überhältersystem** ist aus Sicht des Insektenschutzes vorteilhaft<sup>14,32</sup>.

## **Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen**

**Privathaushalte, Kommunal- und Landkreisebene:** 492.882 ha Wald, das sind 35,9 % der Waldfläche Baden-Württembergs, sind in privater Hand. Gemeinden und Körperschaften verwalten mit 549.215 ha 40 % der Waldfläche Baden-Württembergs<sup>1</sup>. Waldbesitzer können durch die Durchführung der oben genannten Methoden die Lebensraumqualität für bedrohte Insektenarten verbessern. Seit Juni 2020 kann in Baden-Württemberg auch im Wald unter Vertragsnaturschutz bewirtschaftet werden. Darunter fällt unter anderem die Erhaltung und Entwicklung von Altbäumen, Habitatbaumgruppen, lichten, trockenen und eichenreichen Wäldern, die Einführung, Wiederaufnahme, Weiterbetrieb und der Erhaltung der Nieder- oder Mittelwaldbewirtschaftung, die Erhaltung und Entwicklung strukturierter Waldinnen und -außenränder sowie die Neuanlage, Entwicklung und flächige Erweiterung von Waldbiotopen und Lebensstätten. Die Zweckbindungsfrist zur Erhaltung der Verpflichtungen und Auflagen beträgt dabei in der Regel 10 Jahre, im Vertragsnaturschutz bis zu 20 Jahre. Die Förderung kann nur für zusammenhängende Waldgebiete von mehr als 0,5 ha beantragt werden. Private Forstbetriebe bis 200 ha können 250 €, private und körperschaftliche Forstbetriebe bis 500 ha sowie forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse 1.000 € und private und körperschaftliche Forstbetriebe über 500 ha 2.500 € an Fördergeldern erhalten<sup>42</sup>. Des

Weiteren kann für Wälder, die in FFH-Gebieten liegen, die Umweltzulage Wald mit 50 €/ha Waldlebensraumtyp-Fläche beantragt werden. Der Anteil von nicht lebensraumtypischen Baumarten darf je FFH-Gebiet und Waldlebensraumtyp dabei 25 % nicht überschreiten. Nicht lebensraumtypische Baumarten dürfen darüber hinaus innerhalb von Waldlebensraumtypen nur in Mischung vorkommen<sup>43</sup>. Aus Sicht des Insektenschutzes ist dieser Schritt zum Vertragsnaturschutz im Wald sehr zu begrüßen. Der Erfolg dieser Programme steht und fällt mit der Bereitstellung praxisorientierter und einfach zu handhabender Informationsmaterialien. Diese sollten schnellstmöglich bereitgestellt werden. Hierbei kann dann auch spezifisch auf den Stellenwert von Insektenschutz bei der Durchführung der Maßnahmen hingewiesen werden.

**Landesebene:** Mit dem Alt- und Totholzkonzept der ForstBW liegt in Baden-Württemberg ein umfassendes Programm vor, welches den Naturschutz in der Bewirtschaftung der Landeswaldflächen verankert. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Belassen geschützter Einzelbäume, dem Ausweisen, Markieren und Belassen von Habitatbaumgruppen und der Ausweisung von Waldrefugien. Bekannte Höhlen und Horstbäume sowie Bäume mit bekannten Fortpflanzungs- oder Ruhestätten von Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie, wie beispielsweise Reservoirbäume des Heldbocks, dürfen in der Regel auch außerhalb von Waldrefugien und Habitatbaumgruppen nicht genutzt werden. Die Ausweisung von Habitatbaumgruppen erfolgt vorwiegend in Hauptnutzungsbeständen und im Dauerwald, da in diesen Beständen starke Bäume, die häufig Träger von Mikrohabitaten sind, vorhanden sind. Entscheidendes Kriterium für die Auswahl ist das Vorhandensein von Mikrohabitaten wie beispielsweise Höhlen, Horste, starkes Kronentholz, starker Bewuchs der Bäume mit Epiphyten wie Efeu, Flechten oder Moose, Risse, freiliegendes Splintholz, Pilze oder Mulmhöhlen. Die Bäume der Habitatbaumgruppen bleiben bis zum natürlichen Absterben und ihrer vollständigen Zersetzung auf der Fläche, es sei denn sie müssen aus Erfordernissen der Arbeitssicherheit, der Verkehrssicherung oder des Waldschutzes entfernt werden. In diesen Fällen verbleiben die gefällten Bäume als liegendes Totholz im Bestand. In den Hauptnutzungs- und Dauerwaldbeständen ist das Ziel eine Ausstattung von einer Habitatbaumgruppe je 3 Hektar Waldfläche. Diese sollten im Mittel rund 15 Bäume umfassen, wobei die Baumzahl abhängig von Baumart und Waldtyp, Alter, Standraum, Verteilung strukturreicher Einzelbäume und anderen Faktoren schwanken kann. Bis 2020 wird eine Flächengröße von insgesamt 2.300 ha angestrebt. Waldrefugien hingegen sind Bestände oder Bestandesteile von 1-3 ha Größe, in denen mit dem Ziel der Anreicherung von Alt- und Totholz keine weitere forstliche Nutzung mehr erfolgt. Bei der Auswahl wird auf Informationen zu Artvorkommen, Bestandesalter, die Habitattradition und Bewirtschaftungsintensität, der Standort sowie die räumliche Lage und Vernetzung mit anderen alten oder besonders strukturreichen Waldteilen geachtet. Ziel bis 2020 ist eine Ausweisung von Waldrefugien auf rund 3 % der Staatswaldfläche, was 10.000 ha entspricht<sup>44</sup>. Außerdem schreiben die Waldnaturschutzziele vor, bis 2020 auf 33.000 ha bzw. 10 % der Staatswaldfläche die Nutzung einzustellen und Konzepte für den Schutz und Monitoring sowie ein Arteninformationssystem für bedrohte Tierarten zu erstellen<sup>45</sup>. Werden die Ziele für 2020 erreicht und die Schutzmaßnahmen konsequent umgesetzt, ist ein wichtiger Schritt für die nachhaltigen Schutz für waldbewohnende Insektenarten in Baden-Württemberg getan.

**Bundesebene:** Auch die Bewirtschaftung der Bundesforsten orientiert sich an naturschutzfachlichen Mindeststandards, wie zum Beispiel Aufbau und Erhalt naturnaher Wälder, Belassen von Totholz und Biotopbäumen und dem Erhalt von Horstbäumen und Altholzinseln<sup>46</sup>.

## 4 Maßnahmen in Stadtlandschaften

### 4.1 Urbane Grünflächen: städtische und private Begrünung

Die sogenannte „grüne Infrastruktur“ im Siedlungsbereich erfüllt eine Reihe wichtiger Funktionen: sie dient als Erholungsgebiet, Luftfilter, bindet CO<sub>2</sub>, spendet Schatten und bietet nicht zuletzt auch einer Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum. Dabei geht es um die gesamte Vielfalt städtischer Grünflächen wie Gärten, Parks, Alleen, Kleingärten, Friedhöfe, naturnahe Spiel- und Sportflächen, unversiegelte Brachen und Sukzessionsflächen. Sogar bepflanzte Balkone, begrünte Fassaden und Dächer (siehe das entsprechende Kapitel) dienen vielen Arten als Lebensraum und können als Teil des Biotopverbundes dienen<sup>1</sup>. Die Vielfalt der Pflanzen ist auch in städtischen Gärten eng mit der von Tieren verknüpft<sup>2-4</sup>. Doch gerade in dicht besiedelten Städten werden verschiedenste Ansprüche an den begrenzten Raum gestellt. Private und öffentliche urbane Grünflächen werden einzeln gepflegt, wobei Entscheidungen von interagierenden, sozio-ökonomischen und kulturellen Faktoren bestimmt werden. Viele der bestehenden Pflegemaßnahmen, wie die Pflege von Intensivrasen, die Entfernung von Laub und Gehölzschnitt sowie der Einsatz von Pestiziden und Herbiziden, behindern den Artenschutz im urbanen Raum. Auf der anderen Seite beherbergen urbane Grünflächen durch ihre teils extreme Heterogenität und Kleinteiligkeit neuartige Artengemeinschaften<sup>5</sup>.

Für manche Artengruppen, wie beispielsweise Wildbienen, können Städte sogar Refugien darstellen, wobei Artenzahlen höher als in umliegenden ländlichen Gebieten sein können<sup>6,7</sup>. Städtische Gärten in Europa und Nordamerika weisen oft höhere Dichten an Hummeln und Solitärbiene auf als landwirtschaftlich genutzte Gebiete, was auf eine höhere Blütendichte und -vielfalt sowie eine größere Verfügbarkeit von Nistplätzen zurückgeführt wird<sup>8-11</sup>. Dies ist allerdings nicht immer der Fall<sup>12,13</sup>. In einem Vergleich von Städten, Dörfern und landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland, war die Anzahl der Blütenbesuche von solitären Bienen, aber nicht von Hummeln, in den Städten am höchsten und auf landwirtschaftlichen Flächen am niedrigsten. Dörfer nahmen eine mittlere Position ein. Die Zahl der Schwebfliegen war hingegen in den Städten am niedrigsten. Dörfer wiederum unterstützten die reichsten Bestäuber-Gemeinschaften, da sie sowohl Arten des Ackerlands als auch eher im urbanen Bereich vorkommende Arten beherbergten<sup>14</sup>. Gärten und andere private sowie städtische Grünflächen können also in ländlichen<sup>10,15</sup>, wie in urbanen Gebieten<sup>16-18</sup> eine wichtige Ressource für blütenbesuchende Insekten darstellen. Ein Großteil der Nutzpflanzen, die in städtischen Gärten angebaut werden, sowie viele Zierpflanzen sind für den Samenansatz auf die Bestäubung durch Insekten angewiesen<sup>19,20</sup>. Städtische Gärten können auch für die Bestäubung landwirtschaftlicher Kulturen im Umland von Bedeutung sein, wenn dort naturnahe Lebensräume rar sind<sup>14,21</sup>. Alter der Grünflächen, deren Größe sowie deren Verbindung untereinander sind wichtige Parameter, die die Eignung als Lebensraum und die Artenzusammensetzung von Insekten beeinflussen<sup>22-24</sup>.

Private Gärten machen vielerorts den größten Bestandteil von städtischen Grünflächen<sup>25-27</sup> aus. Deren Größe variiert dabei von wenigen Quadratmetern bis hin zu mehreren Hektar. Gärten können eine Vielfalt an Pflanzenarten enthalten, die die Vielfalt von natürlichen oder halbnatürlichen Lebensräumen im ländlichen Raum übersteigt<sup>2,28</sup>.

Urbane Rasenflächen bieten ein großes Potenzial, mit einfachen Maßnahmen für mehr Artenvielfalt in der Stadt zu sorgen. Eine Meta-Analyse zeigt, dass die Wirbellosen- und Pflanzenvielfalt auf intensiv gepflegten Rasenflächen geringer ist als auf extensiv gepflegten<sup>29</sup>. Eine Studie zur Initiative „Bunte Wiese“ in Tübingen zeigt, dass auf Wiesen die nur zweimal im Jahr gemäht wurden eine höhere Vielfalt an Insektenarten zu finden ist als in monatlich gemähten Wiesen<sup>30</sup>. Je höher die Mahdfrequenz desto geringer ist auch die Individuenzahl von Insekten<sup>31</sup>. Eine weitere Studie aus Tübingen zeigt, dass die monatliche Mahd Wanzenpopulation um etwa 50 % pro Mahd reduziert<sup>32</sup>. Eine Reduzierung der Mahdfrequenz kommt auch der Pflanzenvielfalt zu Gute. Wird diese auf zwei Mahdtermine im Jahr heruntersgesetzt, können bis zu 30 % mehr Pflanzenarten und einer höhere Strukturvielfalt festgestellt werden<sup>33</sup>.

Einzelbäume, Alleen und kleine Waldstücke im urbanen Raum stellen einen weiteren wichtigen Lebensraum für Insekten dar. Bereits junge Straßenbäume weisen einen hohen Individuen- und Artenreichtum auf. In Würzburg beispielsweise wurden auf Eschen, Linden und Hainbuchen mehr als 245 Gliederfüßerarten, darunter Zikaden, Wanzen, Blatt- und Rüsselkäfer, Wildbienen und Spinnen nachgewiesen<sup>34</sup>. Hecken können dabei als Korridore für Waldarten dienen und verbinden Baumbestände untereinander<sup>35,36</sup>.

In Baden-Württemberg erstrecken sich entlang von Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen rund 22.000 ha extensive Gras- und Gehölzflächen. Während Straßen Lebensräume zerschneiden und der Verkehr und die mit ihm verbundenen Schadstoffe negative Auswirkungen auf Insekten haben, können Straßenränder diese negativen Effekte bei strategischer Pflege teils kompensieren oder sogar wieder wett machen<sup>37-39</sup>.

Weitere Grünflächen im urbanen Raum, auf denen es ein großes Potenzial zur insektenfreundlichen Gestaltung gibt, sind die bislang wenig beachteten Betriebsgelände. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Initiativen, brachliegende Flächen so zu begrünen, dass sie eine möglichst große Vielfalt an Pflanzen und Insekten beherbergen können<sup>40</sup>.

In den letzten Jahren hat sich ein Wandel vollzogen, wie Bürger\*innen städtische Grünflächen- und die Gartengestaltung wahrnehmen. Obwohl der Standard der Bewirtschaftung nach wie vor der einheitliche Rasenbestand ist, würden Bürger\*innen durchaus Diversifizierungen zu einem gewissen Grad begrüßen<sup>33</sup>. Eine EU-weite Umfrage hat gezeigt, dass eine hohe Akzeptanz für Naturschutzmaßnahmen im urbanen Raum erreicht werden kann, wenn diese einen ordentlichen und gepflegten Eindruck machen und in genügendem Maße über die Maßnahme informiert wird<sup>41</sup>. Auch das vom NABU Baden-Württemberg und zahlreichen Kooperationspartnern betreute Projekt „Blühende Gärten“ (Laufzeit 2018-2020) stieß mit dem umfangreichen Beratungsangebot zur naturnahen Gestaltung von Außenflächen und Gärten für Privatpersonen, Kirchengemeinden, Unternehmen und Vereine in Form von Vor-Ort-Begehungen, Vorträgen und Flyern auf große Resonanz<sup>42</sup>.

Wichtig ist, bei allen Freiflächen das ökologische Potential vor der Maßnahme zu prüfen: oft wird durch eine optimierte Pflege und Extensivierung mehr für Insekten und andere Arten getan als durch Umbruch und Neueinsaat einer „bunten Blumenwiese“. Hierbei empfehlen Sommer & Zehm (2020)

folgende Optionen in dieser Reihenfolge abzuwägen: 1. Optimierung der Pflege bzw. Extensivierung; 2. Auflockern und Selbstbegrünung; 3. Regionale Saatgutübertragung von geeigneten Spenderflächen; 4. Ansaat mit passendem Saatgut, wobei die Produktion und Verfügbarkeit von möglichst lokalem Saatgut verbessert werden sollte<sup>43</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

### 4.1.1 Städtische Grünflächen

**Insektenfreundliche Straßenränder:** Um Straßenränder für Insekten attraktiv zu machen, können diese mit **lokalem Saatgut aus Blühpflanzen und Wildkräutern** eingesät werden. Die Mahd der Streifen sollte **höchstens zweimal jährlich** (Frühsommer und ab Spätsommer) und wenn möglich **mosaikartig** erfolgen. Direkt an der Straße kann eine intensivere Mahd („Akzeptanzstreifen“) stattfinden<sup>38,44</sup>. Das Mahdgut sollte abgeräumt und beispielsweise in Biogasanlagen verwertet werden<sup>39,45–47</sup>. Die Kosten für die Instandhaltung solcher Streifen kann bis zu fünfmal niedriger ausfallen als für Randstreifen mit Gehölzen.<sup>44</sup> Bei der Anlage sollte die **Vernetzung mit anderen Lebensräumen** im urbanen Raum beachtet werden. Invasive und gebietsfremde Arten sollten bei erhöhtem Aufkommen entfernt werden<sup>38</sup>. Weitere Informationen bieten Broschüren des Verkehrsministeriums<sup>48,49</sup> oder die Straßenrand-Kampagne der britischen Naturschutzorganisation Plantlife<sup>50</sup>.

**Rasenflächen:** Die Eignung städtischer Rasenflächen als Lebensraum für Insekten kann durch die **Einsaat heimischer Pflanzenarten** erhöht werden. Dabei sollte insbesondere auf krautige Pflanzenarten und nicht nur auf Gräser gesetzt werden<sup>51–53</sup>. Um zum Beispiel Schmetterlinge gezielt zu fördern, können wichtige **Nahrungspflanzen der Raupen** in die Saatmischung miteinbezogen werden<sup>54</sup>. Die **Mahd** sollte nach Möglichkeit **zweimal im Jahr** erfolgen<sup>30–32,54,55</sup>. Dabei sollten **Teilbereiche ungemäht** belassen werden, um Schmetterlings- und Schwebfliegenlarven sowie Laufkäfer und Spinnen zu fördern<sup>51,55,56</sup>. Um diese Maßnahme mit Liegemöglichkeiten auf Wiesenflächen zu vereinbaren, empfiehlt sich die **Mosaikmahd**. Hierbei werden Teilbereiche häufiger und andere weniger oft gemäht<sup>57</sup>. Für die Akzeptanz durch die Bevölkerung sind besonders blütenreiche Wiesen sowie eine zielgerichtete Informationspolitik förderlich<sup>58</sup>.

**Bracheflächen als Chance für den Insektenschutz:** Brachliegende Flächen in urbanen Gebieten können wertvolle Lebensräume für Insekten, zum Beispiel wärme- und trockenheitsliebende Heuschrecken, bieten. Sie können als **kleinflächige Trittsteine** andere Lebensräume im urbanen Raum miteinander verbinden. Auch hierbei sollten die entsprechenden Flächen mit Informationsmöglichkeiten versehen werden<sup>59</sup>. Dies kann eingebunden werden in das Ziel der **Eindämmung der Oberflächenversiegelung**<sup>20,60</sup>.

**Blumenrabatten und Blühflächen im urbanen Raum:** Die Anlage von Blühflächen, Blühstreifen und Blumenrabatten im urbanen Raum ist besonders für Wildbienen und andere Bestäuber förderlich<sup>61</sup>. Bei der Auswahl der Saatmischungen bzw. der Artenzusammensetzung für Beete und Rabatten sollte darauf geachtet werden, dass **Blütenressourcen über den gesamten Aktivitätszeitraum** bestäubender

Insekten miteinbezogen werden<sup>62</sup>. Hierbei sollte möglichst eine **Mischung aus ein-, zwei- und mehrjährigen Arten** zusammengestellt werden<sup>63</sup>. Der Fokus ist auf **einheimische Arten** zu legen und es sollte möglichst gebietseigenes Saatgut verwendet werden<sup>43</sup>. Exotische Pflanzenarten sollten, wenn überhaupt, nur spät im Jahr eingesetzt werden, wenn weniger einheimische Arten blühen<sup>64</sup>. Weitere Informationen zu Blühflächen sind in einem zusätzlichen Kapitel zu finden.

**Baumbestände in Parks und urbanen Waldgebieten:** Bei der Bewirtschaftung sollte der Fokus auf der Schaffung von einer **Vielzahl von Baum- und Straucharten** liegen. Um den Biotopverbund zu fördern sind verbindende **Grünstreifen** empfehlenswert<sup>34</sup>. **Insektenbestäubte Baumarten** wie Berg-Ahorn, Rosskastanie, Robinie oder Lindenarten sind wertvolle Nahrungslieferanten für eine Vielzahl von Insekten. Um Massentode von Bienen und Hummeln zu vermeiden, sollten zeitversetzt blühende Lindenarten gepflanzt und darauf geachtet werden, dass besonders im Spätsommer genug alternative Nektar- und Pollenquellen vorhanden sind<sup>13,65,66</sup>. Die Anpflanzung exotischer Baumarten kann unter Umständen Einschleppung von nicht-einheimischen Forstschädlingen zur Folge haben<sup>67</sup>. **Robinien** sollten nicht in der Nähe naturschutzfachlich wertvoller Trocken-/Magerstandorte gepflanzt werden, ansonsten sind sie aber eine gute Bienenweide und können auch dem Eremiten einen Lebensraum bieten<sup>68,69</sup>. Im Hinblick auf die Bereitstellung von Totholzlebensräumen sollte die Vielfalt der totholzbildenden Baumarten, sowie eine variierende Sonnenexposition beachtet werden<sup>70</sup>. An **Habitatbäumen für den Eremiten** sollte das Abschneiden von Ästen zweiter Ordnung minimiert, Stahlseile und andere Stützen für zusammenbrechende Bäume verwendet sowie Schnitttechniken angewandt werden, welche natürliche Bruchstellen nachahmen. Nach Fällarbeiten sollten die größten Äste und Stämme als Entwicklungsstätten für totholzbewohnende Larven liegengelassen werden. Dies sollte mit einer entsprechenden Informationspolitik für die Bevölkerung einhergehen<sup>71</sup>.

**Insektenfreundliche Parks und Friedhöfe:** Für diese städtischen Grünflächen empfiehlt sich ein **mosaikartiger Pflegeansatz**. Verschieden intensiv gepflegte Bereiche können sich mit Bereichen abwechseln, die als Blühflächen angelegt oder weitgehend der Sukzession überlassen werden. Die oben genannten Maßnahmen zur Wiesenbewirtschaftung, Anlage von Blühflächen und zur Pflege von Baumbeständen sollten hierbei einfließen. Besonders auf **Friedhöfen** ist die Kommunikation mit Expert\*innen der **Denkmalpflege** wichtig, um Habitatverluste für besonders gefährdete Arten zu vermeiden<sup>72</sup>.

#### 4.1.2 Private Gärten und Grünflächen

**Management ohne Pestizide:** Der Verzicht oder zumindest die Minimierung des Pestizid-Einsatzes sollte ein wichtiges Ziel sein. Dabei hilft auch im Garten eine große Pflanzenvielfalt einheimischer Arten, den Schädlingsdruck zu reduzieren. Bei starkem Schädlingsbefall sollten **Mittel auf natürlicher Basis**, wie Brennnesseljauche oder Neemöl, bevorzugt werden<sup>73-75</sup> (siehe Kapitel Pestizideinsatz).

**Düngung und Managementintensität reduzieren:** Schmetterlingsraupen reagieren oft besonders empfindlich auf hohe Stickstoffeinträge. Auf Wiesenflächen fördert starke Düngung die Dominanz von Gräsern auf Kosten von Kräutern (siehe auch Kapitel zu Grünland und zur Düngung). Intensive

Gartenarbeiten, beispielsweise mit Mähmaschinen, Motorsensen oder Heckenscheren, können ebenfalls zu großen Verlusten bei Insektenlarven führen<sup>76,77</sup>.

**Einheimische und bienenfreundliche Pflanzenarten bevorzugen:** Ein Ziel sollte die Kultivierung bienen- und bestäuberfreundlicher Pflanzen in Gärten sein<sup>78</sup>. Empfehlenswert ist eine **Mischung aus Früh- und Spätblühern**, um die Kontinuität der Nahrungsversorgung zu gewährleisten<sup>79</sup>. Zu beachten ist, dass viele **Zuchtformen steril** sind und keine Pollenlieferanten für blütenbesuchende Insekten darstellen<sup>80</sup>. Der vom Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz herausgegebene Bienenweidekatalog<sup>81</sup> sowie die Website des mittlerweile abgeschlossenen NABU-Projektes „Blühende Gärten“<sup>82</sup> geben umfangreiche Empfehlungen für eine naturnahe Gestaltung. Pflanzenlisten für Balkon und Garten werden auch über das „Netzwerk Blühende Landschaft“ bereitgestellt<sup>83</sup>. Die Priorität sollte auf **einheimischen Pflanzenarten** liegen<sup>84</sup>. Eine Vernetzung von Hausgärten kann für Bestäuber mit kleinen Flugreichweiten wichtig sein<sup>85</sup>.

**Nisthilfen für Wildbienen und solitär lebende Wespen:** Gärten können Wildbienen ein vielfältiges Angebot an Nistplätzen bieten. Dazu gehören Totholz, z.B. an abgestorbenen Bäumen, oder Holzstapel, aber auch offener Boden<sup>80</sup>. Rund ein Viertel der heimischen Wildbienenarten kann durch oberirdische Nisthilfen relativ simpel gefördert werden. Wildbienen und Wespen brauchen für ihre Brutkammern **Hohlräume in Holz, in Pflanzenstängeln, in der Erde oder in Steinen**<sup>75,86,87</sup>. Mehr Informationen zu Nisthilfen finden sich im gleichnamigen Kapitel.

**Teiche für aquatische Insekten:** Ein kleiner Teich im Garten kann ein wertvoller Lebensraum für viele Insekten wie Wasserkäfer, Wasserwanzen oder Libellen darstellen. Am geeignetsten sind **Teiche mit verschiedenen Wassertiefen und diversen einheimischen Pflanzen**. Im Flachwasser kann z.B. Blutweiderich und Froschlöffel angepflanzt werden, in mittleren Tiefen Wasserminze und Pfeilkraut und in größeren Tiefen Froschbiss, Seekanne oder Laichkräuter<sup>75</sup>. Weitere Informationen zur Anlage von Teichen finden sich im Kapitel zu Stillgewässern.

**Förderung der Bürgerbeteiligung beim Insekten-Monitoring (Citizen Science):** Bürgerbeteiligung bei Forschungsprojekten ermöglicht den Einblick in private Hausgärten und kann auch städtische Grünflächen umfassen<sup>20</sup>. Dies sollte auch die **Förderung der Entwicklung von Bestimmungs-Apps für Smartphones** beinhalten. Gute Pflanzenbestimmungs- und Vogel-Bestimmungs-Apps existieren schon. Apps zur Insektenbestimmung wie beispielsweise die App „Insektenwelt“ des NABU sind aber noch rar und weniger entwickelt<sup>77,88</sup>.

**Insektenfreundliche Gestaltung von Betriebsgelände:** Ein gutes Beispiel hierfür ist das vom NABU Niedersachsen 2020 bei Hildesheim ins Leben gerufene Projekt zur „Förderung der Biodiversität auf Betriebsflächen“. Auf einem Firmengelände wurde beispielsweise ein Wildstaudenbeet mit heimischen und standortgerechten Stauden angelegt. Zusätzlich wurden Wildbienenhilfen und eine insektenfreundliche Vogeltränke errichtet. Firmen können durch diese Maßnahmen zeigen, dass sie sich im Naturschutz engagieren und ihre Attraktivität als Arbeitgeber erhöhen<sup>89</sup>. Auch das Bundesumweltministerium fördert die insektenfreundliche Gestaltung von Firmengeländen mit dem Projekt „**Außenstelle Natur**“. Das Projekt ist innerhalb des Bundesprogramms Biologische Vielfalt angesiedelt. Bis 2024 sollen kleine und mittlere Unternehmen zur insektenfreundlichen Gestaltung von

Firmengeländen beraten und entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden. Das Bundesumweltministerium stellt dafür 860.000 Euro bereit. Die Projekte werden inhaltlich vom Bundesamt für Naturschutz begleitet<sup>90,91</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Privatleute haben im urbanen Raum einen wesentlichen Einfluss darauf, wie hoch die Lebensraumeignung für Insekten ausfällt. Mit den oben genannten Maßnahmen kann jede Person schon mit geringem finanziellem Aufwand viel für den Insektenschutz tun.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Baden-Württemberg unterstützt Kommunen bei der Planung und Anlage von Blühflächen und Biodiversitätspfaden im Siedlungs- und Außenbereich und hat dafür 7,5 Millionen Euro bereitgestellt<sup>92</sup>. Die Konditionen für die Förderung sind in der Verwaltungsvorschrift „VwV Förderung Blühflächen und Biodiversitätspfade“ festgelegt. Um gefördert zu werden, müssen Biodiversitätspfade mindestens zwei Kilometer lang sein und mindestens vier Stationen mit Schau- bzw. Informationstafeln oder interaktiven Elementen enthalten. Wenn der Pfad länger als zwei Kilometer ist, muss je Kilometer eine Station konzipiert werden. Die maximale Länge des Pfads ist acht Kilometer bzw. umfasst 16 Stationen. Entlang des Pfads sollen biodiversitätssteigernde Maßnahmen wie mehrjährige Brachen, mehrjährige Blühflächen und Blühstreifen oder die extensive Grünlandbewirtschaftung demonstriert und über diese aufgeklärt werden. Bei der Planung von Biodiversitätspfaden und der begleitenden Maßnahmen sollte der Fachplan zum Landesweiten Biotopverbund, anderweitige Biotopverbundpläne sowie der Generalwildwegeplan berücksichtigt werden. Je Stadt- und Landkreis kann maximal ein Biodiversitätspfad gefördert werden. Pro Pfad wird jeweils eine Förderung mit bis zu 55.000 Euro zur Verfügung gestellt<sup>93</sup>. Die genaueren Angaben zur Förderung für Blühflächen sind im gleichnamigen Kapitel nachzulesen.

Kommunen können im Rahmen der Landschaftspflegerichtlinie unter Umständen bis zu 70 % Zuschuss für Pflegemaßnahmen (und deren Konzeption!) für Flächen in bestimmten Schutz- und Vorranggebieten oder in Projektgebieten (z.B. Biosphären-, Natur-, Landschaftsschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete, landesweiter Biotopverbund, Projektgebiete für den Artenschutz, PLENUM-Gebiete, Gebiete zur Biotopvernetzung und Mindestflur, LEADER-Gebiete, Fördergebiet Wolfsprävention) erhalten.<sup>94</sup>

Eine Förderung durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg erfolgte beispielsweise im Rahmen des NABU-Projektes „Natur nah dran“. Hier wurden von 2016-2021 jährlich mindestens 10 Kommunen (insgesamt 61) bei der Anlage artenreicher Wildblumenwiesen und Staudensäume unterstützt<sup>95</sup>. Eine Website und Broschüren fassen Erfahrungen der Beteiligten sowie Hinweise zur praktischen Umsetzung für Interessierte zusammen und bieten so auch nach Ende des Förderzeitraums Anregungen und Informationen<sup>96</sup>.

Das Bündnis „Kommunen für biologische Vielfalt“ ist ein Zusammenschluss von 285 Kommunen aus ganz Deutschland, welches eine Plattform für Vernetzung, Projekte und Austausch zu Themen des kommunalen Naturschutzes und auch des Insektenschutzes darstellt ([www.kommmbio.de](http://www.kommmbio.de)).

Weitergehende Informationen für Kommunen finden sich in der vom Deutschen Städte- und Gemeindebund (DStGB) und Bundesamt für Naturschutz (BfN) herausgegebenen Informationsbroschüre „Insektenschutz in der Kommune“<sup>40</sup>.

**Landesebene:** Das oberste Ziel auf dieser Ebene muss es sein, Anreizsysteme zur Umsetzung der oben genannten Maßnahmen zu schaffen. Ein Beispiel ist das Label „StadtGrün naturnah“ des Bundesprogramms Biologische Vielfalt. Hierbei werden Kommunen bei der Umsetzung eines ökologischen Grünflächenmanagements unterstützt und vorbildliches Engagement zur Erhöhung der Artenvielfalt im urbanen Raum ausgezeichnet. Bislang beteiligen sich neun Kommunen aus Baden-Württemberg bei diesem Projekt<sup>97</sup>. Landesgartenschauen bieten eine hervorragende Möglichkeit, Maßnahmen zum Insektenschutz in die jährlichen Konzepte zu integrieren. Die spezifische Erwähnung der Förderung von Insekten fehlt in den Landesprogrammen "Natur in Stadt und Land" - Grundsätze für die Durchführung 2026 - 2030 und 2031 – 2036<sup>98</sup>. Hier könnte nachgebessert werden.

Wettbewerbe, wie der ebenfalls im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt durchgeführte Wettbewerb „NaturStadt – Kommunen schaffen Vielfalt“, sind eine hervorragende Möglichkeit Maßnahmen anzustoßen<sup>99</sup>. Insgesamt drei Kommunen wurden in Baden-Württemberg ausgezeichnet. In der Stadt Vaihingen an der Enz wird nun eine monotone, innerstädtische Obstbaumwiese in eine insektenfreundliche, artenreiche Streuobstwiese umgewandelt<sup>100</sup>, während die Stadt Karlsruhe die Produktion von Naturraumsaatgut durch die Ernte auf blütenreichen Wiesen für die Anlage von Grünflächen und Wiesen fördert<sup>101</sup>. Ein Zusammenschluss der Städte Bietigheim-Bissingen, Freiberg am Neckar, Ludwigsburg und der Gemeinden Ingersheim und Tamm entwickeln über Gemarkungsgrenzen hinweg nachhaltige Naturoasen und vernetzen diese<sup>102</sup>. Auch der vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2020 schon zum zweiten Mal durchgeführte Wettbewerb „Blühende Verkehrsinseln“ mit der Auszeichnung der „Goldenen Biene“ für pollen- und nektarreich angelegte Kreisverkehre und Rastplätze, ist eine exzellente Art, Anreize für die Entwicklung neuer Lebensräume im urbanen Raum zu schaffen und Aufmerksamkeit für das Thema zu erzeugen<sup>103</sup>.

Die Konzeption und Förderung zielgerichteter Projekte zur Erhaltung und Verbesserung der Lebensraumqualität auf Gemeinde- und Landesebene durch die Landesregierung sollte ebenfalls eine hohe Priorität haben. Als Beispielprojekte zur Orientierung können die Initiative „Bunte Wiese Tübingen“ oder das BUND-Projekt „Ökologische Nische Friedhof“ angeführt werden<sup>104,105</sup>.

**Bundesebene:** Die Vermarktung bestäuberfreundlicher Pflanzen in Garten- und Baumärkten sollte durch entsprechende Öko-Labels gefördert werden. Eine Umfrage aus Großbritannien zeigt, dass Kunden eine hohe Motivation an den Tag legen, geeignete Pflanzen für Bienen und andere Bestäuber in ihre Gärten zu integrieren. 64 % der Befragten würden gezielt eine Pflanze mit einem Logo, welches auf die bienen- bzw. bestäuberfreundliche Eignung hinweist, kaufen<sup>106</sup>. Die verstärkte Ausrufung von Nationalerbe-Bäumen ist eine weitere Möglichkeit für den Bund, den Insektenschutz im urbanen Raum zu fördern<sup>107</sup>.

## 4.2 Dachbegrünung und Fassadenbegrünung

Deutschland ist in puncto Gründächer mit geschätzt 100 bis 150 Mio. m<sup>2</sup> Fläche an ausgeführter Dachbegrünung weltweit führend. Die Gesamtfläche der Gründächer beträgt in Berlin beispielsweise ca. 4 Mio. m<sup>2</sup>, in München ca. 3,15 Mio. m<sup>2</sup> und in Stuttgart ca. 2 Mio. m<sup>2</sup>.<sup>1</sup> Obligatorische Dachbegrünung existiert bereits für Gebäude mit Flachdächern in der Schweiz und einigen anderen europäischen Ländern und wird in den USA durch Anreize unterstützt<sup>2,3</sup>. In den letzten 20 Jahren hat außerdem die Forschung zu Gründächern stark zugenommen<sup>4,5</sup>.

Der Arten- und Naturschutz kann von diesen neuen Lebensräumen profitieren, wie die Nachweise zahlreicher in ihrem Bestand gefährdeter Insekten- und Spinnenarten auf naturnah begrünten Dachflächen zeigen<sup>2,6-8</sup>. Gründächer können also helfen, den Artenverlust in städtischen Gebieten zu verringern.<sup>9</sup> Zwar werden weitgehend generalistische Insektenarten unterstützt, aber die mögliche Bedeutung von Dachbegrünung für seltene Taxa ist bislang zu wenig untersucht<sup>10</sup>. Etliche Studien aus verschiedenen europäischen Städten belegen, dass Gründächer für etliche Wildbienenarten und andere Hautflügler geeignete Lebensräume bieten<sup>2,11,12</sup>. Bei Langzeituntersuchungen in Berlin und Brandenburg wurden mehr als 50 verschiedene Wildbienenarten und die Honigbiene als Blütenbesucher nachgewiesen<sup>13,14</sup>. Eine weitere Studie stellt auf begrünten Dächern in Wien 91 Bienenarten aus 20 Gattungen fest, was 20 % der aus dem Stadtgebiet bekannten 434 Wildbienenarten entspricht<sup>15</sup>.

Hierbei profitieren besonders thermophile Arten, da Dächer warme und trockene Lebensräume bieten, sowie mobile Arten wie Fluginsekten und Spinnen<sup>7,16,17</sup>. Beispielsweise profitieren bedrohte Heuschreckenarten wie die Blauflügelige Sandschrecke und die Blauflügelige Ödlandschrecke in der Schweiz von extensiven, trockenen Dachbegrünungen, da ihr Lebensraum auch sonst von Trockenheit und Vegetationsarmut geprägt ist<sup>7</sup>. Die vertikale Isolierung vom bodennahen Lebensraum kann allerdings den Wert von Gründächern für Arten mit geringer Mobilität begrenzen<sup>10</sup>. Dachbegrünungen bieten im Gegensatz zu vergleichbaren ebenerdigen Standorten ein instabileres, stör anfälligeres und Umweltfluktuationen stärker ausgesetztes Ressourcenangebot<sup>18,19</sup>. Die Dachbegrünung bietet daher oft nur einen temporären Lebensraum, der im Winter, im Gegensatz zu gewachsenem Boden, keine frostfreien Rückzugsbereiche bietet<sup>20</sup>. So weisen Laufkäfer beispielsweise ein reduziertes Artenspektrum auf, was mit dem Durchfrieren des Dachsubstrats bei geringer Substrattiefe in Verbindung gebracht wird<sup>21</sup>. Auf begrünten Dächern mit höherer Substratdicke sind die beschriebenen Probleme weit weniger ausgeprägt und die Organismen durch Frost weniger gefährdet<sup>22</sup>. Eine groß angelegte Studie mit 115 Gründächern in Frankreich zeigte eine signifikant positive Korrelation der Häufigkeit und des Reichtums von Arthropoden mit der Vegetationsdichte<sup>23</sup>. Gründächer verbessern außerdem den Biotopverbund und haben zu einem Boom in der städtischen Honigbienenhaltung beigetragen<sup>16</sup>. Selbst kleinflächige Dachbegrünungen können Trittsteinbiotope für die Biodiversität im urbanen Raum sein<sup>24-26</sup> und verbessern die Lebensraumvernetzung für Arthropoden<sup>17,20,27,28</sup>.

Zu den weiteren Vorteilen von Gründächern zählen Regenwasserretention, erhöhte Energieeffizienz von Gebäuden und kühleres Mikroklima<sup>29</sup>. Dachbegrünungen lassen sich gut mit einer Photovoltaikanlage kombinieren, da sie den Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen im Sommer erhöhen können<sup>13</sup>. Fassadenbegrünungen gehören auch zu den Maßnahmen, die bebauten Gelände

für Insekten und andere Organismen attraktiver machen, auch wenn die genaue Bedeutung grüner Wände und Dächer aufgrund ihrer begrenzten Flächengrößen, der unterschiedlichen Lebensraumqualität und der oft geringen Einbettung in städtisches Grün unklar bleibt<sup>30</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

**Dächer mit regionalen Pflanzen und deren Samen begrünen:** Wildblumen und Wildgräser aus gesicherter regionaler Herkunft (Dickblattgewächse und andere Kräuter/Gräser)<sup>31,32</sup>; die Verwendung von Insektiziden und Pestiziden ist zu vermeiden<sup>28,33</sup>. Die Herstellungskosten liegen bei 25–35 €/m<sup>2</sup> und der Pflegeaufwand bei 0,50–2 €/m<sup>2</sup>/Jahr<sup>34</sup>. *Sedum*-Dächer haben eine gleichmäßigere vegetative Bedeckung und halten die Feuchtigkeit länger im Substrat als Dächer, die mit anderen Arten bepflanzt wurden, was sie zu einem wertvollen Lebensraum für Springschwänze und ihre Gegenspieler macht<sup>25</sup>.

**Erhöhen der Lebensraum-Heterogenität von Dachbegrünungen:** Die Artenvielfalt kann durch diverse Maßnahmen erhöht werden: Variation in Substrathöhe und Substratart und auch partielle Anhäufung zu Hügeln. Dächer mit einer Heterogenität beim Substrat wie auch bei der Pflanzengemeinschaft unterstützen mehr Insektenarten<sup>10</sup>. Substratheterogenität und Spinnenvielfalt sind positiv korreliert<sup>24</sup>. Strukturelemente wie Totholz, Steinhaufen, kleine Sand- oder Kiesbereiche, Trocken- und Feuchtzonen, Nisthilfen für Vögel und Insekten sowie die Anlage von kleinen Wasserflächen als Trinkfläche für Vögel sowie als potenzieller Lebensraum für Wasserinsekten, können viele Insektenarten unterstützen<sup>13,20,28</sup>.

**Vielfältige und dicke Substratdicke auf den Dächern:** Für die Überwinterung der Insekten ist eine Mindestsubstratdicke von >15 cm notwendig, um Frost und Trockenheit zu überstehen<sup>21</sup>. Erdhummeln und Ameisen benötigen sogar deutlich dickeres Substrat für ihre Nester. Wegen der meist geringen Substratdicke ist die Bodenmakrofauna auf intensivere Begrünungsformen mit Erdhügeln angewiesen<sup>35</sup>. Eine Substratstärke von ca. 15 bis 25 cm kann ein Nahrungsnetz mit Räuber-Beute-Beziehungen und geschlossenen Stoffkreisläufen unterhalten. Der Pflegeaufwand ist aufgrund erforderlicher Mäh- und Schnitтарbeiten höher als bei einem extensiven Gründach und es fallen entsprechend höhere Unterhaltungskosten an<sup>36</sup>. Die Verwendung torffreier Substrate für Gründächer ist aus Gründen des Moorschutzes angeraten<sup>28</sup>.

**Intensivbegrünungen mit einer hohen Substratschicht von 20-40 cm** sind meist mit einer automatischen Bewässerung ausgestattet und bieten so selbst Sträuchern Überlebensmöglichkeiten. Mit dem höheren Pflegeaufwand geht eine größere Artenvielfalt von Pflanzen und eine bessere Wasserspeicherung einher als bei extensiven Dachbegrünungen<sup>20,35,37</sup>. So wiesen intensiv begrünte Dächer im Rahmen einer Studie im amerikanischen Portland ungefähr 20 % der einheimischen Käferarten auf, während die extensiv begrünten Dächer nur 5 % aufwiesen<sup>9</sup>. Eine hohe Bedeckung und Biomasse der Vegetation sowie die erhöhte Zahl an Strukturelementen, z.B. durch Gebüsche (Weiden, Zwergkiefern, Wacholder, Flieder usw.) fördert die Insektenvielfalt<sup>17,38</sup>. Des Weiteren wirken sich die größere mikroklimatische Stabilität und das erweiterte Angebot an Nahrungsressourcen und Nistgelegenheiten positiv auf die Lebensraumqualität aus<sup>37</sup>. Die Dächer müssen allerdings für Lasten ab 300 kg/m<sup>2</sup> ausgelegt sein. Außerdem sind nur flache oder flach geneigte Dächer bis max. 5° Dachneigung für diese Maßnahme geeignet<sup>2,21</sup>.

**Fassadenbegrünungen fördern!** Durch die Verankerung im Boden ist eine Bewässerung der Pflanzen z.B. bei Efeu, wildem Wein, Waldreben, Waldgeißblatt, Knöterich oder Rosen in der Regel nicht erforderlich<sup>34</sup>. Fassadenbegrünung kann eine Vernetzung der am Boden lebenden Arten mit denen des Gründachs ermöglichen. Damit wird die vertikale Isolierung verringert und der Biotopverbund gefördert<sup>27</sup>. Die Begrünung bietet für das Gebäude einen wirksamen Witterungs- und Strahlungsschutz und gleichzeitig Insekten einen dauerhaften Lebensraum<sup>39</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Die oben genannten Maßnahmen sollten von Hausbesitzern, Bauherren und Architekten bei der Planung von Dachbegrünungen berücksichtigt werden.

**Kommunal-, Landkreis- und Landesebene:** In Deutschland fördern immer mehr Kommunen die Dach- und Fassadenbegrünung und haben hierzu eigene kommunale Strategien und Förderprogramme ins Leben gerufen. Kommunen fördern die Regenwasserversickerung auf dem Dach in Form einer verringerten Niederschlagswassergebühr<sup>28</sup>. Eine Integration von möglichst vielen und großflächigen Dachbegrünungen in ein Gesamtkonzept mit Fassadenbegrünung, Park- und Teichanlagen, Friedhöfen und anderen Grünflächen ist wünschenswert<sup>20</sup>.

In der Landesbauordnung von Baden-Württemberg (LBO) heißt es bspw. in § 9 Abs. 1 LBO: „Die nicht überbauten Flächen der bebauten Grundstücke müssen Grünflächen sein, soweit diese Flächen nicht für eine andere zulässige Verwendung benötigt werden. Ist eine Begrünung oder Bepflanzung der Grundstücke nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich, so sind die baulichen Anlagen zu begrünen, soweit ihre Beschaffenheit, Konstruktion und Gestaltung es zulassen und die Maßnahme wirtschaftlich zumutbar ist.“ Dabei sollte neben der Förderung einer Vielfalt von Dachbegrünungen auch die Fassadenbegrünung berücksichtigt werden.

Zur Gebäudebegrünung besteht die Möglichkeit, über kommunale Gestaltungssatzungen örtliche Bauvorschriften zur Begrünung von baulichen Anlagen zu erlassen (§ 86 Abs. 1 Nr. 7 MBO). Dies bietet sich dort an, wo im unbeplanten Innenbereich (Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile - § 34 BauGB) kein Bebauungsplan aufgestellt werden muss. Kommunen haben so die Möglichkeit, dort, wo kein Bebauungsplan vorhanden ist, Dachbegrünungen bei Neubauvorhaben verbindlich zu regeln und umzusetzen.

Viele Landesbauordnungen ermöglichen eine Gründach-Satzung durch örtliche Bauvorschriften. Dies sind die Bundesländer **Baden-Württemberg**, Bayern, Bremen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen<sup>28</sup>.

In Hamburg müssen für begrünte Dächer nur 50 % der Niederschlagswassergebühr gezahlt werden. Der Hamburger Senat bot privaten Grundstückseigentümern bis 2019 finanzielle Unterstützung bei der freiwilligen Herstellung von einem Gründach, mit der Hamburger Gründachförderung werden bis zu 60 % der Herstellungskosten übernommen<sup>34</sup>.

**Bundesebene:** Seit 2017 gibt es das erste intelligente Gründachkataster Deutschlands<sup>13</sup>. Außerdem ist eine Zunahme der Städte, die Dachbegrünungen im Sinne des §8a des Bundesnaturschutzgesetzes als Ausgleichsmaßnahme vorschreiben, zu verzeichnen<sup>20</sup>.

### 4.3 Nisthilfen

Mit künstlichen Nisthilfen kann eine Vielzahl von Insekten in ihrem natürlichen Lebensraum beobachtet und erforscht werden.<sup>1</sup> Sie werden aber auch eingesetzt, um bestimmte Arten von z. B. Wildbienen für die Verbesserung der Bestäubungsleistung zu vermehren<sup>2,3</sup>. Durch die Bereitstellung künstlicher Nisthilfen konnte beispielsweise die Populationsgröße der Mauerbiene *Osmia bicornis* innerhalb von fünf Jahren um das 34fache erhöht werden<sup>4</sup>. In der Landwirtschaft werden auch bereits besiedelte Nisthilfen mit Larven nahe den Anbauflächen aufgestellt. Aus Sicht des Insektenschutzes sollte hingegen die Förderung bereits vorhandener lokaler Populationen möglichst vieler Arten im Vordergrund stehen.

Nisthilfen für oberirdisch nistende Wildbienen werden beispielsweise auch von Grab-, Weg-, Falten-, Schlupf-, Schmalbauch-, Erz-, Keulen- und Goldwespen, verschiedenen Familien von Käfern und Fliegen genutzt, wenn sie entsprechend angelegt werden<sup>5</sup>. Allerdings nisten etwa 75 % der heimischen nestbauenden Wildbienen im Erdboden, wobei sie mehr oder weniger spezifische Anforderungen an das Substrat stellen<sup>6,7</sup>. Sie finden im Siedlungsbereich eher weniger Nistgelegenheiten als die anpassungsfähigeren Hohlraumbewohner. Nisthilfen stellen also keinen „Ersatzlebensraum“ für alle Wildbienenarten dar. Zudem wurden in handelsüblichen Nisthilfen für Wildbienen im Schnitt in einer Saison nur 15 % aller Hohlräume besiedelt, während die Besiedlung in nach wissenschaftlichen Erkenntnissen gebauten Nisthilfen bei fast 40 % lag<sup>8</sup>. Dabei waren in der handelsüblichen Nisthilfe auch die Anzahl der Brutzellen, die Anzahl der Individuen, die Artenzahl (insgesamt 8 bzw. 22) und die Parasitierungsraten geringer<sup>8</sup>.

Artgerecht gebaute Nisthilfen können auch wertvolle Instrumente für Umweltbildung und Citizen Science-Projekte darstellen<sup>9,10</sup>. Beispielsweise wurden in einem Projekt in Städten um Lyon kombinierte Nisthilfen mit Erdhügeln und Blühflächen angelegt und 20 % aller dort bekannten Bienenarten beobachtet.<sup>10</sup>

Für blütenbesuchende Insekten ist wichtig, dass Nistplatz, Nistmaterial und Nahrungspflanzen nah beieinander liegen. Für die meisten Wildbienen gilt als Faustregel in der Stadt: 150 m.<sup>11</sup>

Von den etwa 750 Wildbienenarten, die in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Liechtenstein vorkommen, nisten 50 % in selbstgegrabenen Gängen im Erdboden, 19 % in bestehenden Hohlräumen, 3 % nagen ihre Gänge selbst in Holz oder markhaltige Pflanzenstängel, 1 % baut Nester aus Harz oder mineralischem Mörtel, 25 % legen ihre Eier in die Brutzellen anderer Wildbienenarten („Kuckucksbienen“) und bei 3 % ist die Nistweise bisher unbekannt<sup>7</sup>.

Weiterführende Informationen: Website von Paul Westrich, Kapitel Artenschutz: <http://wildbienen.de/wbschutz.htm>, <https://www.wildbienen.info/artenschutz/index.php>

## Konkrete Maßnahmen

Grundsätzlich ist die Erhaltung von qualitativ hochwertigen Habitaten mit Nistmöglichkeiten der Bereitstellung von künstlichen Nisthilfen vorzuziehen, da solche isolierten Komponenten den Verlust der komplexen, natürlichen Lebensräume nicht kompensieren können. Manche Arten sind auf sehr spezielles Material angewiesen (Mohnblüten, schluffigen Lehm, Harz...) <sup>7</sup> oder kommen in der Flugdistanz der Nisthilfe nicht vor, sodass sie diese gar nicht erst besiedeln können.

### Nisthilfen für Bewohner vorhandener Hohlräume

#### *Material und Röhrenmaße*

- Röhren sollten **horizontal, 15-20 cm lang** sein und einen **Innendurchmesser von 1-10 mm** aufweisen, wobei Röhren mit **4-8 mm überwiegen** sollten, da dieser für die meisten heimischen Wildbienenarten geeignet ist. <sup>2,3,8</sup>
- Die Eingänge und Innenwände sollten **glatt** und das hintere Ende verschlossen und fixiert sein. <sup>2,3,8</sup>
- Bei **Holzblöcken** sollte abgelagertes, entrindetes, unbehandeltes Hartholz (z. B. Esche, Eiche, Buche) verwendet <sup>3</sup> werden; um Parasitierung durch Trocknungsrisse gering zu halten, sollte quer zum Faserverlauf gebohrt und bei Buche 2 cm Abstand zwischen den Bohrlöchern gelassen werden <sup>12</sup>; außerdem sind massive Holzblöcke zerlegbaren „Beobachtungsnisthilfen“ aus mehreren Holzblöcken vorzuziehen. <sup>8</sup>
- **Schilfrohr** (*Phragmites australis*) oder andere hochwachsende Süßgräser mit hohlen Stängeln sind als Material besonders gut geeignet, weil die materialbedingte Kombination von **verschiedenen Durchmessern und Längen** attraktiv für ein breites Spektrum Hohlraumnistender Bienen und Wespen ist und ein ausgewogeneres Geschlechterverhältnis der Brut bewirkt <sup>3,8</sup>.
- Alternative Materialien: Papierzylinder, Papprollen, Glas, Polystyrol und andere Kunststoffe; bei luftdurchlässigem Material ist die Gefahr der Schimmelbildung geringer <sup>2</sup>
- Röhren mit Durchmessern zwischen 8-10 mm werden von Arten wie den Mauerbienen *Osmia bicornis* und *O. cornuta* oder der Wespe *Trypoxylon figulus* besiedelt <sup>8</sup>, können aber vereinzelt auch exotische Arten, wie die Wespe *Isodontia mexicana* und die Biene *Megachile sculpturalis*, fördern <sup>8,13</sup>.

#### *Lage*

- Nisthilfen sollten für **mehrere Jahre an derselben Stelle** angeboten, gewartet und **ergänzt** werden, da die meisten hohlraumnistenden Hautflügler bevorzugt dort nisten, wo sie selbst geschlüpft sind <sup>5</sup>
- Die Nisthilfen sollten **vor Regen geschützt** werden (Dach, Wasserablauf) <sup>3</sup>, aber stark beschattete Nisthilfen sind für Bienen ungünstig <sup>9</sup>, für Wespen jedoch eher etwas Schatten günstig <sup>3,14,15</sup>

- Der Eingang sollte für die Insekten frei zugänglich sein (zum Schutz vor Vögeln ggf. engmaschigen Draht verwenden), auf der **windabgewandten Seite** liegen<sup>15</sup>, nach **(Süd)osten** weisen<sup>3</sup>
- Je nach Lage: ca. 1- 1,30 m hohe Pfosten zum Schutz vor Ameisen und Schatten durch Vegetation und damit sie oberhalb der Blüthenhöhe liegen<sup>3</sup>

#### **Nisthilfen für Bewohner markhaltiger Stängel<sup>16</sup>**

- Abgestorbene **senkrechte Stängel** und Ranken von Brombeeren, Himbeeren, Heckenrosen, Königskerzen, Disteln, Kletten, Beifuß oder Holunder können in ca. 0,5-1 m Höhe gekappt werden und sollten 1,5 Jahre stehengelassen werden.
- Stängel können auch abgeschnitten, über den Winter getrocknet und im nächsten Frühjahr vertikal an gut besonnten Zäunen, Pfosten o.Ä. fixiert werden<sup>8</sup>.
- Die Brut schlüpft erst 10-12 Monate später, z.T. erfolgt Wiederbesiedlung der Nistgänge durch Bewohner vorhandener Hohlräume.

#### **Nisthilfen für Bewohner von Totholz<sup>12</sup>**

- Morsche Äste oder Stubben von Fichten, Pappeln, Weiden oder Obstbäumen sollten an sonnigen Stellen einzeln oder gestapelt (weißfaules Holz) mindestens zwei Jahre an geschützter Stelle gelagert und nicht entsorgt werden.
- Nester an Holzkonstruktionen (Pergolen, Zäune, Terrassen...) sind nach Möglichkeit zu schützen.
- Siehe auch die Vorschläge zum Erhalt von Totholz im Kapitel Wald

#### **Nisthilfen für Steilwandbewohner<sup>17</sup>**

- Anstehenden Löss abstechen (nicht in geschützten Biotopen) und in Rahmen (Zementfaserkasten, Hohlstein für Trockenmauern, Holzkasten) oder als Brocken an geschützter Stelle anbieten, vorher mehrere kurze Gänge mit 5-8 mm Durchmesser hineinbohren; ersatzweise sandiger Lehm
- Kleinräumig lassen sich kleine Abbruchkanten durch Spatenabstiche schaffen

#### **Nisthilfen für im Erdboden nistende Arten**

- Spontane Nestansammlungen schützen (z.B. in Pflastersteinfugen, auf Trampelpfaden, in Grünanlagen, an Heckenrändern)<sup>6</sup>, manche Arten verwenden alte Nistlöcher jahrelang wieder<sup>18</sup>
- **Offene Bodenstellen bzw. künstliche Böschungen** an besonnten, regengeschützten Stellen schaffen (Sand, sandiger Lehm, Rohboden; ohne humusreiche Oberschicht!)<sup>6</sup>, dabei am besten die Vegetationsschicht abtragen, etwa 0,5 m tief umgraben und das Material aufschütten.<sup>19,20</sup> Rohbodenstellen eignen sich auch gut als leicht maschinell durchführbare Maßnahme in der Agrarlandschaft.<sup>21</sup>

- Vorteilhaft ist das Angebot möglichst **vielfältiger Substrate** für ein breites Spektrum an Arten. Hierfür kann ausgehobener Rohboden mit variierenden Anteilen von bindigem Sand und Lehm gemischt und als Hügel mit flachen und abschüssigen Bereichen aufgeschüttet werden<sup>10,22</sup>
- Hingegen bevorzugen manche Arten, z.B. *Halictus rubicundus*, dünn mit **Flusskieseln** bedeckten Boden gegenüber Offenboden.<sup>23</sup>

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Gut angebrachte Nisthilfen für Hohlraumbewohner haben sich besonders in Schrebergärten bewährt und sollten eher an sonnigen Wänden (Hauswand, Schuppenwand, Garagenwand, Steinmauer, Balkon) als an einzelnen (insbesondere jungen) Bäumen oder Büschen, und eher in Privatgärten / Schrebergärten als in Parks oder Hinterhöfen angebracht werden<sup>9</sup>

Spontane Nestansammlungen schützen (z.B. Sandkastenrand, Trampelpfad); ggf. markieren?

Miniatur-Steilwände und Offenbodenstellen lassen sich auch im eigenen Garten anlegen.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Durch Sammelstellen kann Baumaterial für an Nisthilfen interessierten Personen zur Verfügung gestellt werden (ggf. mit Anleitungen), z. B. auch hohle Pflanzenstängel, die bei der Bekämpfung invasiver Arten (Japanischer Knöterich o.Ä.) anfallen<sup>2</sup>

Schulen: Beachtung der Ökologie der Arten für fachgerechte Konstruktion von Nisthilfen, Kopplung mit naturkundlichen Beobachtungen

Vernetzung / Citizen-Science-Projekte: z. B. Urbanbees.eu in Frankreich

Installation von Nisthilfen mit Beobachtungsmöglichkeit an frequentierten Orten; z.B. botanischer Garten, Gemeinschaftsgarten, Friedhof; Erhaltung von Lehrpfaden/Infotafeln: möglicherweise im Rahmen eines Biodiversitätspfades in Kombination mit einer Nisthilfe als „interaktives Element“ mit Schautafel förderfähig? Aufstellung am besten in Kombination mit Staudenpflanzungen oder Pioniervegetation, oder Trockenmauern;

Auf kommunalen Grünflächen können mehrjährige Stauden mit markhaltigen Stängeln gepflanzt werden, bei denen ein Teil über zwei Vegetationsperioden stehengelassen wird.

**Landesebene und Bundesebene:** Schutz von natürlichen Nistgelegenheiten in ursprünglichen Lebensräumen (Uferabbrüche an den Auen von Wildflüssen) und von Ersatzlebensräumen (Hohlwege mit sonnenbeschienenen Steilwänden, Weinberge mit Lößwänden oder aufgelassene Sand- und Lehmgruben).

Förderung der Anlage von Offenbodenstellen an geeigneten Standorten im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen wäre denkbar; oder Integration in bestehende AUM, z. B. Prämie für Anlage von Offenbodenstellen, wenn auf dem Betrieb bereits ein Blühstreifen / eine Brache angelegt wurde.

## 4.4 Lichtverschmutzung

Der natürliche Hell-Dunkel-Rhythmus im Tages- und Jahresverlauf reguliert in fast allen Lebewesen wichtige physiologische Prozesse und Verhaltensweisen. Künstliches Licht, besonders nächtliches, stört diesen Rhythmus über verschiedene Mechanismen, beispielsweise indem es bei Nachtfaltern als Tageslicht wahrgenommen wird, eine Anlock- oder Abschreckwirkung hat, nächtliches Himmelslicht verdeckt oder molekulare Schäden verursacht<sup>1</sup>. Dadurch können bei Insekten fast alle Lebensaspekte betroffen sein: Orientierung, Bewegung, Nahrungssuche, Partnerwahl und Fortpflanzungserfolg, Prädation, larvale Entwicklung, Physiologie und adaptives Verhalten<sup>1,2</sup>. Dementsprechend kann Lichtverschmutzung auch tagaktive Arten beeinträchtigen.

Durch Wechselwirkungen zwischen Räuber und Beute bzw. Insekten(larven) und ihren Nahrungspflanzen oder Pflanzen und ihren Bestäubern treten auch indirekte Effekte auf, sodass sich Effekte auf der individuellen Ebene auch auf Populations- und Gemeinschaftsebene fortpflanzen, Ökosystemfunktionen (z.B. Bestäubung<sup>3-5</sup> oder Schädlingskontrolle<sup>6</sup>) beeinträchtigen sowie Stoffflüsse zwischen Ökosystemen verändern können<sup>7</sup>. Auch in unbeleuchteten, aber an künstlich beleuchtete Flächen angrenzenden Habitaten können sich Pflanze-Insekten-Interaktionen verschieben<sup>3</sup>. Dadurch hat Lichtverschmutzung das Potential, Ökosysteme zu destabilisieren<sup>8,9</sup>. Allerdings besteht hier erheblicher Bedarf an experimentellen Feldstudien, da sich aus den wenigen bisherigen Studien zu Effekten auf Populations- und Gemeinschaftsebene keine einheitlichen Schlussfolgerungen ableiten lassen<sup>10,11</sup>. Laut einer aktuellen Meta-Studie wirkt sich Lichtverschmutzung typischerweise nur schwach auf Abundanz und Artenreichtum auf Gemeinschaftsebene aus – dies könne jedoch einen verdeckten Austausch von lichtempfindlichen durch lichttolerante Arten darstellen<sup>12,13</sup>. Unklar ist außerdem, ob und wie schnell sich Insektenpopulationen an wechselnde Beleuchtungsregimes anpassen können<sup>14</sup>. Daten aus Lichtfallen sollten also nicht als alleiniges Maß für Beeinträchtigungen herangezogen werden.

Aufgrund unterschiedlicher Lichtempfindlichkeit zwischen Lebensstadien, Geschlechtern und Insektenarten ist es schwierig, bestimmte Grenzwerte festzulegen<sup>1,2,6,8,13</sup>. Insbesondere kann bereits schwaches Licht (unter 1lx) biologische Funktionen beeinträchtigen<sup>13</sup>, aber die Langzeitfolgen sind für die meisten Insekten unbekannt, insbesondere in Wechselwirkung mit anderen anthropogenen Einflussfaktoren. In einer Feldstudie mit Nachtfaltern in naturnäheren Bereichen wurde der negative Einfluss von rotem, grünem und weißem Licht auf die Population erst nach zwei Jahren signifikant.<sup>15</sup> Deshalb sollten anthropogene Lichtemissionen nach dem Vorsorgeprinzip soweit wie möglich vermieden werden<sup>1,2,6,8,13</sup>.

Allerdings nimmt die Lichtverschmutzung global zu und betrifft längst nicht mehr nur Städte und deren Umgebung<sup>2,16</sup>. Lichtglocken („Skyglow“), die sich durch Streulicht in der Atmosphäre bilden, und das weitverzweigte Straßennetz erreichen auch ansonsten unberührte Gebiete<sup>2,17</sup>. Global tragen schwach beleuchtete Gebiete mehr zur Gesamtemission bei als stark beleuchtete.<sup>18</sup> Im Jahr 2014 waren schon 88 % der Fläche Europas von erhöhter Beleuchtung des Nachthimmels betroffen<sup>18</sup>. Laut Satellitenaufnahmen zwischen 2012-2016 wiesen die meisten Bundesländer einen Trend zu steigenden Lichtemissionen auf, wobei in Bayern und Baden-Württemberg sowohl die (neu)beleuchtete Fläche als auch die Helligkeit bereits beleuchteter Flächen zunahmen<sup>19</sup>. In Baden-Württemberg nahm die beleuchtete Fläche insgesamt um 18 %, die Radianz um 15 % zu<sup>19</sup>. Dabei stieg die Radianz in moderat beleuchteten Gebieten steiler an als in schwach beleuchteten Gebieten<sup>19</sup>. Zu

beachten sind dabei die Limitierungen von Fernerkundung beim Erfassen von Lichtverschmutzung<sup>18</sup>, u.a., dass in die Atmosphäre abgestrahltes Licht in einem bestimmten Wellenlängenbereich erfasst wird, was nur bedingt Aussagen über die vom Boden aus wahrgenommene Helligkeit durch Organismen mit verschiedenen Sehsystemen zulässt. In Kombination mit Vor-Ort-Messungen, z.B. aus Citizen-Science-Projekten, lassen sich daraus aber Prioritäten für den Schutz lichtempfindlicher Arten in deren Verbreitungsgebiet ableiten.<sup>20</sup>

## Konkrete Maßnahmen

### 4.4.1 Spektrale Verteilung („Lichtfarbe“)

Zurzeit vollzieht sich einerseits ein Bewusstseinswandel bezüglich des Insektenrückgangs und andererseits ein Technologiewandel in der Außenbeleuchtung zu LED-Leuchten<sup>21</sup>. In Berlin reduzierte der Wechsel von Quecksilberdampf- zu LED-Leuchten die Anlockwirkung auf nachtaktive Insekten sowohl im urbanen als auch im peri-urbanen Raum, allerdings traf dies nicht auf alle Insektengruppen zu<sup>22</sup>. Im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln weisen LEDs eine hohe Energieeffizienz auf (höhere Photonenflussdichte bei gleicher Leistung), sodass sich beim Wechsel Energieeinsparungen ergeben können; allerdings führt dies häufig zu erhöhter Helligkeit („Rebound-Effekt“), (a) weil Leuchtmittel mit derselben Leistung eingebaut werden und (b) weiß leuchtende LEDs hohe Emissionen im blauen Bereich aufweisen<sup>19</sup>. Daher sollte darauf geachtet werden, dass gut gemeinte Umrüstung auf energieeffiziente Technologien nicht zu erhöhter Lichtverschmutzung führt:

- **UV- und IR-Emissionen vermeiden**; diese sind irrelevant für die visuelle Wahrnehmung des Menschen, beeinträchtigen aber viele Organismen.<sup>23</sup>
- **Langwelliges Licht (rot oder gelborange) bevorzugen**; dieses scheint für die meisten Insektenarten am wenigsten anziehend zu sein und die Melatoninproduktion am wenigsten zu beeinträchtigen<sup>2</sup>.
- **Blaulichtanteil** reduzieren, besonders in und um Schutzgebiete, wobei Leuchtmittel wie Natriumdampf-Niederdruckleuchten oder PC Amber LED empfohlen werden<sup>23</sup>. „Blaues“ Licht beeinträchtigt bei vielen Organismen (inkl. Menschen) die Melatoninproduktion, wird in der Atmosphäre besonders stark gestreut und vom dunkeladaptierten menschlichen Auge als besonders hell wahrgenommen.
- Die **Farbtemperatur** für neu installierte Straßenbeleuchtung mit LEDs sollte 3000 Kelvin oder weniger betragen<sup>23</sup>.

### 4.4.2 Beleuchtungsstärke

- **„So viel wie nötig, so wenig wie möglich.“**<sup>23</sup>
- In schützenswerten Nachtlandschaften werden für leuchtende Flächen maximale Leuchtdichten von 1 - 2 cd/m<sup>2</sup> empfohlen, wobei in städtischen Bereichen die maximale Leuchtdichte von 50 - 100 cd/m<sup>2</sup> für kleinere Flächen unter 10 m<sup>2</sup> empfohlen wird und 2 – 5 cd/m<sup>2</sup> für größere Flächen.<sup>23</sup>
- **Intelligente Steuerung**: Für alle Beleuchtungsanlagen, auch bestehende, sollte ein Anforderungsprofil erstellt werden, um Überbeleuchtung zu vermeiden. Bei Straßenbeleuchtungen sollte der Bedarf vom tatsächlichen zeitlichen Verkehrsaufkommen abhängen.<sup>23</sup> In einer Schweizer Studie wurde die Intensität der Straßenbeleuchtung bei

geringem Verkehr um 35 % reduziert, wodurch weniger Insekten bei den Laternen gefangen wurden und Wanzen besonders profitierten. Allerdings sei die Insektenabundanz v.a. von warmen, trockenen Nächten beeinflusst und die Maßnahme genüge nicht, um lichtempfindliche Arten zu schützen.<sup>24</sup>

- **Indirekte Beleuchtung** nutzen, um die Beleuchtungsstärke zu reduzieren (z. B. durch reflektive Elemente und farbliche Untergründe für einen höheren Kontrast von Gefahrenpunkten und Verkehrsregelungen)<sup>23</sup>
- **Dunkle Refugien erhalten:** um Lichtemissionen in ökologisch sensible Bereiche (Gewässer, Schutzgebiete) zu vermeiden, sollten in deren Pufferzonen schützende Maßnahmen wie das Herabsetzen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit Vorrang vor der Erhöhung der Beleuchtungsstärke haben.<sup>23</sup>

#### 4.4.3 Abstrahlungsgeometrie

- Lichtemissionen in den oberen Halbraum und in die Horizontale vermeiden durch **Abschirmung**<sup>23,25</sup>
- Licht mit möglichst geringen Leuchtdichten in möglichst steilen Winkeln von oben nach unten lenken (**gezielt** auf relevante Wege konzentrieren)<sup>23</sup>; aber: nach unten gerichtetes Licht ist besonders ungünstig für sesshafte Insekten, z.B. Teichbewohner, und die meisten weiblichen Glühwürmchen<sup>2</sup>.
- **Lichtemissionen aus Innenräumen** (besonders bei großen Fenstern und Gewächshäusern) durch Vorhänge etc. verdecken<sup>23</sup>

### Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte, Unternehmen:** Auf private bzw. gewerbliche Außenbeleuchtungen sollten die gleichen Handlungsempfehlungen wie für öffentliche Beleuchtungsanlagen angewandt werden, um die Nachteile künstlichen Lichtes zu vermeiden oder zu reduzieren. Ländliche Gebiete können höhere Pro-Kopf-Lichtemissionen aufweisen als städtische, wie eine Studie aus England zeigte<sup>16</sup>; dementsprechend können gerade hier Maßnahmen einzelner Personen viel bewirken. Es bietet sich die zeitliche Eindämmung durch Bewegungsmelder und / oder automatische Zeitschalter an, die das Licht ausschalten, wenn es nicht gebraucht wird, oder wenn gefährdete Arten am aktivsten sind (z. B. Paarungszeit von Glühwürmchen). Für Wege und Gartenanlagen sollten keine Bodenleuchten verwendet werden. Gartenbeleuchtung (z.B. solarbetriebene LED-Leuchten) für begrenzte Zeit und bei Bedarf einschalten, mit warmer Lichtfarbe<sup>26</sup>; während der Sommermonate darauf verzichten. Lichtemissionen aus dem Innenraum vermeiden, z.B. durch Vorhänge/Jalousien.

Citizen Science Projekte wie „Globe at Night“<sup>27</sup> oder „My Sky at Night“<sup>28</sup> informieren über nachhaltige Beleuchtung und bieten die Möglichkeit, per Smartphone Daten zur lokalen Lichtverschmutzung zu erheben und damit zu internationalen Forschungsprojekten beizutragen.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Das Bundesamt für Naturschutz hat einen Leitfaden mit Empfehlungen für die Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen herausgebracht<sup>23</sup>, der auf der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Praktikern im Rahmen einer EU COST Aktion ES1204 „Loss of the Night Network“ (LoNNe) basiert<sup>29</sup>. Darin wird empfohlen, mittels regionaler oder kommunaler

Beleuchtungskonzepte Grenzwerte für die Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte öffentlicher und gewerblicher Beleuchtungsanlagen festzulegen. Sogenannte Lichtmasterpläne gibt es bereits in mehreren Städten<sup>30</sup>. Beispielsweise hat die Stadt Fulda in Zusammenarbeit mit der RhönEnergie Fulda und dem nahegelegenen Sternenpark UNESCO-Biosphärenreservat Rhön eine freiwillige Selbstverpflichtung zu „nachtfreundlicher“ Beleuchtung in Form einer Richtlinie entwickelt<sup>31</sup>. Hierfür wurde ihr im Januar 2019 von der in den USA ansässigen International Dark-Sky-Association (IDA) der Status „Dark-Sky-Community“ („Sternenstadt“) verliehen. Auch in Baden-Württemberg gibt es private ehrenamtliche Initiativen, die sich für den Erhalt geschützter Nachtlandschaften (auch für astronomische Beobachtungen) einsetzen: Das im Jahr 2011 gestartete Projekt „Sternenpark Schwäbische Alb“ (<https://www.sternenpark-schwaebische-alb.de/>) veranstaltet 2021 den „Umweltwettbewerb Außenbeleuchtung“<sup>32</sup> und stellt auf seiner Website Informationsmaterial zu energiesparender und umweltgerechter Außenbeleuchtung und weiteren Initiativen bereit.

Die Beleuchtung von Kulturdenkmälern sollte aus Blickrichtung und mit Schablone erfolgen, um nach oben und seitlich abgestrahltes Licht zu minimieren<sup>33</sup>. Durch den Wechsel von der ursprünglichen Kirchenaußenbeleuchtung zu gelben oder blauen Gasentladungslampen mit individuell angepassten Silhouetten-Schablonen<sup>33</sup> konnte die Anzahl von angezogenen Motten um den Faktor 4 (blau) bzw. 6 (gelb), und die Artenzahl um den Faktor 3 (blau) bzw. 4 (gelb) gesenkt werden<sup>34</sup>.

Sensitive Bereiche sollten bei der Umrüstung bevorzugt werden: z. B. kann bei bekannten Empfindlichkeiten für bestimmte Wellenlängen auf Wanderrouten entlang von Gewässern eine gezielte Lenkung von Insektenschwärmen an Brücken verhindern, dass sie statt der Eiablageplätze in die umgebenden urbanen Bereiche fliegen bzw. mit Fahrzeugen kollidieren<sup>35</sup>. Solch eine Beleuchtungskonstruktion wurde nach wissenschaftlichen Begleituntersuchungen bereits dauerhaft an einer Donaubrücke in Nordungarn installiert<sup>36</sup>. Allgemein sollte Habitatvernetzung auch lichtplanerisch umgesetzt werden<sup>23</sup>.

**Landesebene:** In Baden-Württemberg wurde am 23.07.2020 die Änderung des Naturschutzgesetzes beschlossen (§ 21 NatSchG)<sup>37</sup>. Darin wird u.a. bis auf Ausnahmen der Einsatz von „Werbeanlagen, Himmelsstrahlern und Einrichtungen mit ähnlicher Wirkung“ im Außenbereich verboten. Die Fassaden baulicher Einrichtungen der öffentlichen Hand dürfen im Zeitraum vom 1. April bis zum 30. September ganztägig und vom 1. Oktober bis zum 31. März in den Stunden von 22 Uhr bis 6 Uhr nicht beleuchtet werden. Im Außenbereich sollen „Eingriffe in die Insektenfauna durch künstliche Beleuchtung“ vermieden werden. „Beim Aufstellen von Beleuchtungsanlagen im Außenbereich müssen die Auswirkungen auf die Insektenfauna, insbesondere deren Beeinträchtigung und Schädigung, überprüft und die Ziele des Artenschutzes berücksichtigt werden.“ (§1, Satz (1)). Ferner heißt es in Satz 1: „Beleuchtungen, die sich in Naturschutzgebieten, Nationalparks, Naturdenkmälern, geschützten Landschaftsbestandteilen und gesetzlich geschützten Biotopen befinden oder in diese hineinstrahlen, sind, soweit sie nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit erforderlich sind, nur in Ausnahmefällen von der zuständigen Naturschutzbehörde oder mit deren Einvernehmen zu genehmigen.“ Dies ist im Sinne des Schutzes von lichtsensitiven Arten zu begrüßen, wobei allerdings nicht klar ist, auf welche Leuchtdichte sich „hineinstrahlen“ bezieht. Ein der baden-württembergischer Gesetzeslage angepasster Leitfaden für Kommunen könnte ihnen wichtige Hilfestellungen bei der Planung und Umsetzung bieten. Solch ein Leitfaden wurde beispielsweise im September 2020 von der bayerischen Landesregierung veröffentlicht.<sup>38</sup>

Im Zuge neuerer Forschungsergebnisse ist empfehlenswert, Angaben in Satz 3 zu konkretisieren: „ Ab dem 1. Januar 2021 neu errichtete Beleuchtungsanlagen an öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen sind mit einer den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechenden insektenfreundlichen Beleuchtung auszustatten, soweit die Anforderungen an die Verkehrssicherheit eingehalten sind, Gründe der öffentlichen Sicherheit nicht entgegenstehen oder durch oder auf Grund von Rechtsvorschriften nichts Anderes vorgeschrieben ist. Gleiches gilt für erforderlich werdende Um- und Nachrüstungen bestehender Beleuchtungsanlagen. Im Übrigen sind bestehende Beleuchtungsanlagen unter den in Satz 1 genannten Voraussetzungen bis zum Jahr 2030 um- oder nachzurüsten.“ Hier könnte auf entsprechende Referenzen für die „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ für „insektenfreundliche Beleuchtung“ verwiesen werden. Beispielsweise könnte, wie im Leitfaden des Bundesamtes für Naturschutz empfohlen, „eine zeitliche und örtliche Beleuchtungsstärkesteuerung nach Bedarf [...] bei einer Förderung moderner, effizienter Beleuchtungsanlagen vorausgesetzt werden“<sup>23</sup>. Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative werden seit 2019 nur noch Beleuchtungsanlagen mit zeit-, präsenz- oder witterungsabhängiger Steuerung über die Kommunalrichtlinie gefördert<sup>39</sup>.

**Bundes- und EU-Ebene:** Im Rahmen des „Aktionsplans Insektenschutz“ verpflichtet sich der Bund, Maßnahmen zur Reduktion der Lichtverschmutzung durchzuführen<sup>39</sup>. Diese beinhalten u.a. die Vorbereitung von gesetzlichen Regelungen bezüglich der Anforderungen an Außenbeleuchtung, das Verbot unspezifischer Insektenfallen, die Weiterentwicklung kommunaler Förderprogramme für mehr Synergien zwischen Klima- und Arten- bzw. Insektenschutz und spezifische Regelungen für LED-Technologien, die Anwendung von insektenbezogenen Kriterien bei Labels wie dem „Blauen Engel“ und Einsatz für eine „Überprüfung und Überarbeitung des einschlägigen Regelwerkes (zum Beispiel EN-/DIN 13201, 12464-2, 12193) für alle Beleuchtungsarten im Außenbereich nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik“. Zudem sollen zivile Liegenschaften als Vorbilder für insektenfreundliche Beleuchtung dienen und es sollen Empfehlungen für Länder, Kommunen, Schutzgebietsverwaltungen, Planende, Unternehmen und Privatpersonen erarbeitet werden.

Die Europäische Kommission hat 2019 eine Neuauflage der Kriterien für umweltfreundliche öffentliche Straßenbeleuchtungen und Verkehrssignale herausgegeben, in der sie betont, dass die technische Norm DIN 13201 nicht rechtlich verbindlich sei<sup>21</sup>. Werde nach dieser Norm beleuchtet, so sollten „die jeweils niedrigsten Beleuchtungsklassen der Norm gewählt und die Begrenzung der Beleuchtungsstärke durch die jeweilige darüber liegende Klasse eingehalten werden“<sup>21,23</sup>. Das Europäische Recht schreibt also zurzeit keine rechtlich bindenden Verpflichtungen vor, die ökologischen Beeinträchtigungen von künstlichem Licht zu begrenzen<sup>40</sup> (im Gegensatz zu Baden-Württemberg, siehe NatSchG §21, Satz 1). Auch auf Bundesebene fehlen laut Schroer et al. spezifische Regelungen zu künstlichem Licht und das Immissionsschutzgesetz sowie die FFH-Richtlinie böten nur wenigen Arten Schutz<sup>40</sup>. Die Autoren empfehlen daher die gesetzliche Festlegung von Mindestanforderungen bezüglich Lichtintensität, Lichtfarbe und Abstrahlungsgeometrie<sup>40</sup>.

Forschung und Weiterentwicklung der Technologie in folgenden Feldern sollte gefördert werden (Auswahl):

- Wie beeinflussen unsichtbare Eigenschaften wie Polarisation und Flimmern Insekten? Implikationen für das Design von Leuchtmitteln und sie umgebende Oberflächen
- Beobachtung mehrerer Generationen für evolutionäre Effekte<sup>14</sup>

- Lichtverschmutzung in der Agrarlandschaft bzw. an Straßenrändern<sup>6</sup>
- Wie beeinflusst die Konfiguration und Komposition künstlichen Lichtes auf Landschaftsebene die Ökosysteme und deren Funktionen?<sup>8</sup>
- Wie interagiert Lichtverschmutzung mit anderen anthropogenen Einflüssen (insbesondere Klimawandel) und welche relative Bedeutung hat sie?<sup>13</sup>

Im Rahmen des Bundesprogramms für Biologische Vielfalt wird zurzeit beispielsweise das Projekt „Tatort Straßenbeleuchtung – Naturschutz durch umweltverträgliche Beleuchtung“ gefördert<sup>41</sup>.

Besonders bei der Einbindung in existierende Monitoringprogramme und bei der Konzeption von durch das aktuelle Interesse an diesem Forschungsbereich angestoßenen Studien sollte eine Reihe von Best-Practice-Aspekten berücksichtigt werden, um aussagekräftige und vergleichbare Ergebnisse zu den Langzeitfolgen künstlicher Beleuchtung liefern zu können. Einen Überblick über die Erwägungen beim Studiendesign liefern Kalinkat et al.<sup>11</sup>.

Pérez Vega et al. schlagen einen Rahmen für inklusive, kollaborative, transdisziplinäre Forschung im Bereich der umweltfreundlichen Stadtbeleuchtung vor, der den Prozess der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Fortschritte in die Praxis und Entscheidungsprozesse erleichtern soll<sup>42</sup>.

# 5 Maßnahmen für Gewässer

## 5.1 Fließgewässer

Der menschliche Einfluss auf Fließgewässer hat durch Einleitung von industriellen und häuslichen Abwässern, Abfluss von Nährstoffen, Pestiziden und Sediment aus der Landwirtschaft, Begradigung und Vertiefung der Gewässerläufe sowie Querverbauungen dazu geführt, dass sich die Wasserqualität verschlechtert hat, wichtige Kleinstlebensräume verloren gegangen und die Ausbreitungsmöglichkeiten von Tier- und Pflanzenarten stark eingeschränkt worden sind<sup>1-3</sup>. Auch der Klimawandel wird durch eine Erhöhung der Gewässertemperatur und die höhere Wahrscheinlichkeit von Trockenperioden voraussichtlich negative Auswirkungen auf die Insektenfauna in Fließgewässern haben<sup>4,5</sup>. Ein hoher Anteil an urbaner und intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteter Fläche in der Umgebung des Fließgewässers hat nachweislich einen negativen Effekt auf Artenindizes von Wasserinsekten<sup>6-8</sup>. Schutzmaßnahmen sind also besonders in diesem Raum gefragt. Die Beschaffenheit des Untergrunds hat hierbei einen entscheidenden Einfluss auf das Ausmaß der negativen Effekte. Baumbewuchs mit Laubbäumen und extensives Grünland in der Aue wirken sich hingegen positiv aus<sup>6,7</sup>.

Nach der Wasserrahmenrichtlinie der EU soll in allen Oberflächengewässern ein guter ökologischer Zustand erreicht werden<sup>1,2</sup>. Dies soll durch Renaturierungsmaßnahmen geschehen. Renaturierung ist dabei ein recht dehnbarer Begriff und schwer zu definieren. Zumeist wird ein Idealzustand als Richtlinie oder ein Referenzgewässer als Vergleich genutzt, um die Maßnahmen daran auszurichten. Das Ziel von Renaturierungsmaßnahmen sollte 1. die Wiederherstellung vielfältiger Lebensräume innerhalb des Gewässers, 2. der Schutz der Gewässeraue vor negativen Umwelteinflüssen und 3. die Verbesserung der Lebensraumbedingungen im Einzugsgebiet sein<sup>9</sup>. Des Weiteren ist ein konsequenter Schutz von Fließgewässern mit weitgehend intaktem Ökosystem erforderlich<sup>2</sup>.

Wichtige Parameter für die Bewertung der Eignung eines Fließgewässers als Lebensraum für eine diverse Insektenfauna sind eine hohe Vielfalt an Korngrößen im Gewässerbett, eine hohe Variabilität an Strömungsgeschwindigkeiten, Wasseraufkommen und Wassertiefen, eine Vielzahl an Mikrohabitaten (Wurzeln, Altarme, Gumpen usw.), Durchgängigkeit und die Möglichkeit, sich vertikal und horizontal auszubreiten<sup>10</sup>. Ebenso spielt die Art der Landnutzung im Einzugsgebiet und die Wasserqualität eine entscheidende Rolle<sup>11</sup>. Gewässerrandstreifen und bewaldete Auebereiche sind dabei ein wichtiger Lebensraum für viele Fließgewässerarten und dienen außerdem als Puffer gegen den übermäßigen Eintrag von Nährstoffen und Feinsedimenten aus dem landwirtschaftlich genutzten und urbanen Raum<sup>12-14</sup>. Intakte Gürtel mit Auwald an Bächen in der Agrarlandschaft weisen eine Vegetation von Wasserpflanzen im Wasser auf, die dem naturnahen Zustand nahekommt. Makroinvertebraten reagieren allerdings nicht auf diesen Unterschied, wenn der diffuse Stoffeintrag aus der Umgebung gleich ist<sup>12</sup>.

Renaturierungsmaßnahmen können nachweislich die Populationen und Artenvielfalt von beispielsweise Libellen<sup>15</sup> oder Laufkäfern<sup>16</sup> fördern. Allerdings bleiben die Ergebnisse von

Renaturierungsmaßnahmen oft hinter den Erwartungen zurück. Wichtig für eine erfolgreiche Wiederbesiedelung von renaturierten Fließgewässern ist das Vorhandensein von Quellpopulationen von Insekten innerhalb von deren Ausbreitungsradius. Oft kann die Besiedlung besonders von seltenen Arten und Arten mit geringer Ausbreitungsgeschwindigkeit mehrere Jahre dauern. Dies muss beim Erfolgsmonitoring solcher Maßnahmen mitbeachtet werden<sup>16,17</sup>.

Großflächige Bestände von exotischen Arten wie dem Drüsigen Springkraut *Impatiens glandulifera* oder dem Japanischen Staudenknöterich *Fallopia japonica* können sich negativ auf die Artenvielfalt von Insekten an Fließgewässern auswirken. Die Bekämpfung bzw. Eindämmung der Ausbreitung solcher invasiver Pflanzenarten ist daher aus Sicht des Insektenschutzes wünschenswert, wenn auch in der Praxis nicht flächendeckend umsetzbar<sup>18,19</sup>. Auch invasive Tierarten, wie der Signalkrebs *Pacifastacus leniusculus*<sup>20,21</sup> oder der Große Höckerflohkrebs *Dikerogammarus villosus*<sup>22</sup> bedrohen einheimische Artengesellschaften. Der Signalkrebs kann durch spezielle Querverbauungen, sogenannte Krebssperren, in seiner Ausbreitung erfolgreich gebremst werden. Genauere Informationen hierüber sind im vom Landesfischereiverband Baden-Württemberg e.V. herausgegebenen Leitfaden nachzulesen<sup>23</sup>.

Nicht nur natürliche Fließgewässer, sondern auch Gräben und die sie umgebende Ufervegetation stellen ein wichtiges Habitat für Insekten in intensiv bewirtschafteten Flächen dar. Die Artenvielfalt an Insekten in der Ufervegetation bleibt zum Beispiel im Grasland auch bei Erhöhung der Mahdfrequenz stabil<sup>24</sup>. Die Vegetation an Gräben ist darüber hinaus ein wichtiges Überwinterungshabitat für räuberische Insekten, mit nur geringfügig niedrigeren Individuenzahlen als in Ackerrandstreifen<sup>25</sup>. Eine Studie aus England zeigt, dass sich die Artengesellschaften in Flüssen und künstlich angelegten Entwässerungsgräben teilweise stark überlappen können. Entwässerungsgräben könnten so als Quellhabitat zur Wiederbesiedelung degradierter Fließgewässer beitragen<sup>26</sup>.

Die Wiederherstellung eines dem Standort angepassten und naturnahen Gewässerzustandes stellt eine komplexe Herausforderung dar. Die Eignung von einzelnen Maßnahmen hängt stark von der Größe des Fließgewässers, der Historie der menschlichen Beeinflussung sowie von naturräumlichen Gegebenheiten ab. Die im Folgenden genannten Maßnahmen sind wissenschaftlichen Studien entnommen, die an einem bestimmten Gewässertyp durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse könnten daher nicht auf alle Fließgewässer eins zu eins übertragen werden. Sie sind eher als Vorschläge anzusehen, die jeweils an die vorliegenden Gegebenheiten angepasst werden müssen. Des Weiteren gibt es eine Reihe guter Informationen zur Renaturierung von Fließgewässern im Netz, beispielsweise von Umweltbundesamt<sup>27</sup>, dem Regierungspräsidium Tübingen<sup>28</sup> und dem Bundesamt für Naturschutz<sup>29</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

### 5.1.1 Flüsse und Bäche

**Mäanderbildung, Vergrößerung des Bachbetts, die Anlage von Altarmen** und die Anlage von Habitatstrukturen im Gewässer (**Weidenwurzeln und -faschinen**) können die **Artenvielfalt von Libellen verdoppeln**<sup>15</sup>.

Die **Beschattung von Fließgewässern** durch die Anlage oder die Erhaltung von **Auwaldvegetation** kann die **Wassertemperatur regulieren** und somit dem klimawandelbedingten Anstieg von Wassertemperaturen entgegenwirken<sup>5,8</sup>; zudem verhindert die Beschattung (mit vor allem Schwarzerlen) das Zuwachsen und eine dadurch bedingte Verringerung des Abflusses<sup>30</sup>.

**Renaturierungsmaßnahmen, die allein die Hydromorphologie des Gewässers verbessern** (Einbringung von Kies, künstlicher Rippel, Mäander oder Aufschüttungen in Bach bzw. Flussbett) zur Erhöhung der Strukturvielfalt sind wichtig, **reichen als alleinige Maßnahme aber oftmals nicht aus**, um die Insektenvielfalt zu erhöhen. Es ist wichtig, **das gesamte Einzugsgebiet, externe Stoffeinträge, die Wasserqualität und die Entfernung zu Quellhabitaten** in die Betrachtung miteinzubeziehen<sup>11,31-35</sup>; dabei ist vor allem der Eintrag und die folgende Ablagerung von Feinsedimenten zu verhindern<sup>2</sup>.

Verläuft die **Straßenführung quer zu einem Fließgewässer**, sind **Brücken** Unterführungen über **Kanäle und Düker vorzuziehen**. Fliegende Wasserinsekten können sich dadurch besser entlang des Fließgewässers bewegen<sup>36</sup>.

Bei der Anlage von **Fischtreppen** sollten **Umgehungen mit unterschiedlichen Strömungsbereichen bevorzugt** werden, da sie neben der Aufhebung der Querverbauung auch Kleinstlebensräume entstehen lassen, die sonst in den betroffenen Fließgewässern oft selten geworden sind<sup>2</sup>.

Für eine **hohe Artenvielfalt von Spinnen und Laufkäfern** ist eine **vielfältige Ausgestaltung von Kiesbänken** mit niedrigen, temporär überfluteten als auch höheren und nur selten überfluteten Bereichen wichtig; dies kann durch Aufschüttung von Kies und Schaffung eines natürlichen Abflussregimes erreicht werden. Auch die Vernetzung der Kiesbänke ist wichtig um Wanderbewegungen zu ermöglichen<sup>37,38</sup>.

**Totholz, Baumstämme und Wurzelstöcke** schaffen **wichtige Mikrohabitate**, in dem sie die Fließgeschwindigkeit lokal verringern, die Korngröße und den Anteil an organischem Material in der direkten Umgebung abgelagerten Sediments erhöhen. Um diese Strukturen konnte eine **Erhöhung der Artenzahl um bis zu 110 %** im Vergleich zu Flussabschnitten ohne größere Holzstrukturen festgestellt werden<sup>17,39,40</sup>.

Werden im Rahmen der **Gewässersanierung verschlammter und zugewachsener Fließgewässer (meist Gräben) Schlamm und Vegetation entfernt**, dauert es zwischen einigen Wochen bis Monate, bis die Artenvielfalt und Individuenzahl wieder auf dem Stand vor der Maßnahme liegt; der Stand der Insektenbiomasse vor dem Eingriff wird meist erst nach einem Jahr erreicht. Die Maßnahme führt zu einer **Veränderung der Artenzusammensetzung** und ist förderlich für Arten, die strömungsliebender sind und gröberes Sediment und weniger Beschattung bevorzugen. Die Maßnahme kann also, wenn sie **nach und nach in Teilbereichen von Fließgewässern durchgeführt** wird, zu einer **Diversifizierung** der im Gewässer vorhandenen **Lebensräume** beitragen<sup>41,42</sup>.

Soll ein **abgetrennter Mäander** wieder an ein Fließgewässer **angeschlossen** werden, ist die **Blockierung des Hauptstroms empfehlenswert**, um natürliche Strömungsverhältnisse und

Lebensräume für Insekten im angeschlossenen Mäander herzustellen. Eine Lösung mit einem Durchbruch des Damms bei gleichzeitiger Offenhaltung des Hauptkanals ist ungenügend<sup>17</sup>.

Die **Translokation von Insekten**, also das Aussetzen gefangener oder gezüchteter Individuen in ein Gewässer, in dem diese vormals vorgekommen sind, wurde bislang hauptsächlich bei Libellen, Stein- und Eintagsfliegen versucht. Eine Metaanalyse zeigt, dass nur in ungefähr der Hälfte der 17 untersuchten Projekte zumindest teilweise eine erfolgreiche Wiederbesiedelung erreicht werden konnte. Sehr wichtig sind dabei **ähnliche Umweltbedingungen in Quell- und Zielgebiet** (Prädation, Vorhandensein von Mikrohabitaten über den gesamten Lebenszyklus, Wasserqualität), der **richtige Zeitpunkt der Aussetzung** unter Beachtung des Abflussregimes und das **Erfolgsmonitoring**. Es besteht darüber hinaus ein Risiko **pathogene oder invasive Arten** einzuschleppen. Eine Umsetzung von Insekten muss daher wohlüberlegt erfolgen<sup>43</sup>.

### 5.1.2 Gräben

Die **Artenzahl und der Deckungsgrad zweikeimblättriger Pflanzen** im Uferbereich von Gräben sind ungefähr **doppelt so hoch**, wenn im angrenzenden Weizenfeld die **äußeren 3 bis 6 m ungespritzt** bleiben<sup>44</sup>.

**Randstreifen an Uferbereichen von Gräben** sollten **gemäht** und das **Mähgut abgeräumt** werden, um das Verkrauten mit nährstoffliebenden Arten zu verhindern und die Artenvielfalt an Pflanzen zu erhöhen; im Hinblick auf Insekten ist eine **Mahd im Spätsommer** empfehlenswert. Dabei sollten **kleinere Teilflächen von den Pflegemaßnahmen ausgeschlossen** werden. So können Arten, die negativ auf Räumungsmaßnahmen und die Entfernung von Vegetation reagieren, diese Bereiche wiederbesiedeln<sup>45-49</sup>.

Wird ein **3 m breiter Pufferstreifen** entlang von Gräben beim Spritzen von Pestiziden eingehalten, wird die **Menge durch den Wind verdrifteter Pestizide um 95 % reduziert**. Bei einem **6 m breiten Streifen** kommt durch Abdrift **kein Pestizid** mehr im Graben an<sup>50</sup>.

### 5.1.3 Gewässerrandstreifen

Die **Anlage von Pufferstreifen, die Reduzierung des Maisanbaus, die Ansaat von Zwischenfrüchten und die Mulchansaat** bei Mais helfen, den **Eintrag von Feinsedimenten** zu verringern<sup>51</sup>.

Eine **Erhöhung der Breite von Gewässerrandstreifen** könnte sich positiv auf die **biologische Schädlingsbekämpfung** auswirken. So wurden in breiteren Randstreifen weniger Schädlinge und mehr Nützlinge aus der Ordnung der Schnabelkerfen (Wanzen und Zikaden) nachgewiesen<sup>52</sup>.

Randstreifen sollten auf **lange Sicht angelegt und gepflegt** werden<sup>53</sup>.

Besonders bei **stark durchlässigen Böden** sind Gewässerrandstreifen oft **ungenügend**, um den Eintrag von Nährstoffen und Pestiziden aufzuhalten. Hier muss über eine Verringerung des Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden im Einzugsbereich nachgedacht werden<sup>13</sup>.

Betonierte **Feldwege und Erosionsrillen** können besonders bei Starkregenereignissen einen großen Einfluss auf den Eintrag von Pestiziden aus der Landwirtschaft haben und die Effektivität von Gewässerrandstreifen verringern. Mögliche Gegenmaßnahmen sind die **Anlage von unbefestigten Feldwegen** entlang von Gewässern oder die Anlage von mit **Wasserpflanzen bestandene Gräben** bzw. **künstlichen Feuchtgebieten**, die als Filter dienen<sup>54</sup>.

Die **Pflanzung von standortgerechten Bäumen** im Rahmen der Anlage von Gewässerrandstreifen kann die Heterogenität der Maßnahme durch **teilweise Beschattung** erhöhen, **Nährstoffe aufnehmen und das Ufer stabilisieren**<sup>13</sup>.

Randstreifen **im Grünland** sollten **über 5,5 m breit** sein und zum Großteil von der Beweidung ausgeschlossen werden, um Insekten zu fördern. Bei **umzäunten Flächen war die Abundanz bis zu doppelt so hoch**<sup>55,56</sup>. Eine weitere Studie aus Frankreich zeigt, dass auch die **Artenvielfalt** an Wirbellosen in umzäunten Gewässerschnitten **höher** ist<sup>56</sup>.

## Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen

**Privathaushalte:** Gräben und Bäche, die entlang oder durch private Gärten laufen, können an Hand der oben genannten Grundsätze insektenfreundlich gepflegt werden.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Die Pflege und das Management der Fließgewässer zweiter Ordnung obliegen der Verantwortung von Gemeinden. Renaturierungsmaßnahmen sollte eine gründliche Planung vorausgehen, um den Erfolg der Maßnahmen zu garantieren. Die Checkliste für die Planung von Fließgewässerrevitalisierungen des Regierungspräsidium Tübingen gibt Gemeinden hierbei sehr gute Informationen an die Hand<sup>28</sup>. Die momentan für den Fachplan Landesweiter Biotopverbund erarbeitete Planungsgrundlage „Biotopverbund Gewässerlandschaften“ soll Akteuren auf Kommunal- und Landkreisebene weitere Informationen an die Hand geben<sup>57</sup>.

**Landesebene:** Die Belange des Insektenschutzes sollten im dritten Bewirtschaftungszyklus der Wasser-Rahmen-Richtlinie stärker in den Fokus gerückt werden. Besonders bei der Planung von Renaturierungsarbeiten sollten die Lebensraumansprüche wasserbewohnender Insekten genauer analysiert und die Maßnahmen entsprechend angepasst werden. Im Agrarland sollte besonders die Anlage von Blüh- oder Brachestreifen entlang von Gewässer gefördert und beworben werden. Im Rahmen des Fachplans Landesweiter Biotopverbund erscheint in Kürze die Planungsgrundlage „Biotopverbund Gewässerlandschaften“<sup>57</sup>. Aus Sicht des Insektenschutzes ist die Konnektivität zwischen Fließgewässern im Hinblick auf Renaturierungsbemühungen besonders entscheidend. Nur wenn Fließgewässer wieder in hinreichendem Maße miteinander verbunden sind können sich Arten, die durch menschliche Einflüsse aus Gewässern verdrängt wurden, diese nach einer Renaturierung wieder besiedeln.

Der § 29 des Wassergesetzes Baden-Württemberg (WG) gibt die Rahmenbedingungen bezüglich Gewässerrandstreifen vor. Gewässerrandstreifen sind im Außenbereich zehn Meter und im Innenbereich fünf Meter breit. Ausgenommen davon sind Gewässer von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung. Im Außenbereich kann die zuständige Gemeinde im Innenbereich breitere oder schmalere Gewässerrandstreifen festsetzen, solange dies im Einvernehmen mit der Wasserbehörde durch Rechtsverordnung geschieht. Bäume und Sträucher entlang von Gewässerrandstreifen sind zu erhalten, soweit eine Beseitigung nicht für den Ausbau oder die Unterhaltung der Gewässer, zur Pflege des Bestandes oder zur Gefahrenabwehr erforderlich ist. In einem Bereich von fünf Metern ist außerdem die Nutzung des Streifens als Ackerland und der Einsatz und die Lagerung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln untersagt. Ausgenommen davon sind Wundverschlussmittel zur Baumpflege und Wildbiss-Schutzmittel. Ebenso ist die Errichtung von baulichen und sonstigen Anlagen, soweit sie nicht standortgebunden oder wasserwirtschaftlich erforderlich sind, verboten. Ausgenommen davon ist die Anpflanzung von Gehölzen mit Ernteintervallen von mehr als zwei Jahren oder die Anlage und der umbruchlose Erhalt von mehrjährigen Blühstreifen<sup>58</sup>. Nach § 38 des Wasserhaushaltsgesetz (WHG) untersagt darüber hinaus die Umwandlung von Grün- in Ackerland und die Ablagerung von Gegenständen, die den Wasserabfluss behindern oder die fortgeschwemmt werden können<sup>59</sup>. Landwirte können im Amtlichen Digitalen Wasserwirtschaftlichen Gewässernetz (AWGN), das im Internet im Daten- und Kartendienst der LUBW unter <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de> abrufbar ist, einsehen, ob es sich bei einem bestimmten Fließgewässer um ein Gewässer von wasserwirtschaftlich untergeordneter Bedeutung handelt. Taucht das betreffende Gewässer im AWGN nicht auf, gelten die rechtlichen Vorgaben bezüglich eines Gewässerrandstreifens nicht. Die 10 bzw. 5 m werden bei Gewässern mit steiler Böschung ab der Böschungsoberkante gemessen. Bei Gewässern mit flachem Ufer wird ab der Mittelwasserlinie gemessen. Diese und weitergehende Informationen zu Gewässerrandstreifen finden sich im Leitfaden zu Gewässerrandstreifen der WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Hier wird auch auf Belange des Insektenschutzes eingegangen<sup>60</sup>.

## 5.2 Stillgewässer

Über 4500 Stillgewässer gibt es in Baden-Württemberg. Dabei handelt es sich zumeist um kleine, natürliche Seen. An Stillgewässer werden eine ganze Reihe von Ansprüchen gestellt: sie dienen der Trinkwassergewinnung, sind wichtig für die Binnenfischerei und Baustoffgewinnung, sind wichtiger Erholungsraum und gleichzeitig ein schützenswerter Lebensraum für eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten<sup>1</sup>. Im Laufe der Geschichte haben sich die Lebensbedingungen für diese Arten gewandelt. Besonders Nährstoffeinträge aus Industrie, Landwirtschaft und Abwässern führten vielerorts zu Überdüngung<sup>2</sup>. Kleinstgewässer, besonders in der landwirtschaftlich genutzten Fläche, wurden vielerorts trockengelegt. So sind gebietsweise bis zu 80 % dieser Lebensräume verloren gegangen<sup>3</sup>. Die Eindämmung von Flüssen und der Verlust an natürlichen Deltas verstärkte diesen Prozess. Invasive Arten sind eine weitere Herausforderung. Der aus Nordamerika stammende Kalikokrebs *Faxonius immunis* beispielsweise ist am Oberrhein fest etabliert. Durch seine Fähigkeit über Land zu wandern hat er viele Kleingewässer besiedelt und fügt dort der Insektenfauna erheblichen Schaden zu<sup>4,5</sup>.

Verstärkter Wellengang durch Bootsverkehr, die Anlage von Badeplätzen und Veränderungen des Wasserstands haben darüber hinaus negative Einflüsse auf die Uferbereiche von Seen und größeren Teichen<sup>6-8</sup>. So ist in 1 m Entfernung zu Ufern mit Stützmauer die Dichte an Macroinvertebraten um ca. ein Viertel niedriger als an unberührten Uferstellen. Auch der Artenreichtum ist an Ufern mit Stützmauer niedriger. Bei Seen mit einer schmalen sublittoralen Zone sind die negativen Effekte von Uferbefestigungen besonders stark<sup>9</sup>. Im urbanen Bereich sind es besonders Teiche, die an Wasser gebundenen Insekten einen Lebensraum bieten. Löschteiche, Hochwasserrückhaltebecken und Teiche auf öffentlichen und privaten Grünflächen können bei richtiger Bewirtschaftung wertvolle Insektenlebensräume sein sowie als Trittsteinbiotope die Seen und Teiche in der übrigen Landschaft miteinander verbinden<sup>10,11</sup>. Besonders bei Stillgewässern ist zu bedenken, dass eine Wiederbesiedlung mit Arten oft eine längere Zeit in Anspruch nimmt oder weitere Biotopvernetzungsmaßnahmen erfordert<sup>12</sup>.

Teiche in der Agrarlandschaft sind wertvolle Lebensräume und erfüllen eine Vielzahl an Funktionen. Sie nehmen Sedimente und Nährstoffe auf und wirken so als Puffer, sie speichern Kohlenstoff, wirken sich positiv auf den Wasserhaushalt des Umlands aus und bieten einer Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten ein Zuhause<sup>13,14</sup>. Teiche können unter optimalen Bedingungen 50 % mehr seltene Insektenarten beherbergen als Flüsse, Bäche und Gräben<sup>14</sup>. In der Agrarlandschaft ist die Pflege von Teichen wichtig, um ein Zuwachsen zu verhindern. Eine große offene Wasserfläche mit ausgeprägter Randvegetation und reichem Vorkommen an Wasserpflanzen wirkt sich positiv auf die Individuenzahl und Artenvielfalt von Insekten wie Fliegen, Eintagsfliegen, Zuckmücken und Libellen aus<sup>15-17</sup>. Pufferstreifen schützen den Teich vor potenziell schädlichen Stoffflüssen und erhöhen damit nachgewiesenermaßen die Artenvielfalt von beispielsweise Libellen<sup>17,18</sup>. Des Weiteren ist bei der Planung zur Anlage von Teichen ein Ansatz auf Landschaftsebene wichtig. Dabei sind die Ausbreitungsradien der Zielarten zu beachten. Idealerweise entsteht so ein Netzwerk aus schon bestehenden und neu angelegten Gewässern in unterschiedlichen Stadien der Sukzession. Damit wird die Besiedlung neu angelegter Teiche vereinfacht und lokale Insektenpopulationen werden miteinander vernetzt. Sie sind somit weniger anfällig für mögliche negative Umwelteinflüsse<sup>15,17,19-24</sup>.

## Konkrete Maßnahmen

### 5.2.1 Seen

**Schadstoffgrenzwerte** sollten auf deren Wirksamkeit im Hinblick auf den Insektenschutz geprüft werden<sup>25</sup>. Dabei müssen sowohl die aquatischen als auch die terrestrischen Lebensstadien von Wasserinsekten miteinbezogen werden<sup>26</sup>.

Ist eine **Mahd in Schilfbereichen** notwendig, sollte in jedem Fall eine angrenzende **Teilfläche ungemäht** bleiben um eine Wiederbesiedelung schilfbewohnender Insekten zu ermöglichen<sup>27</sup>. **Bodenabtrag in Schilfbereichen** sollte **räumlich gestaffelt** durchgeführt werden um eine heterogene Altersstruktur zu erzielen<sup>28</sup>.

**Monitoring von Insekten in der eulittoralen Zone** sollte möglichst **nah am Seeufer** erfolgen, da dort die stärksten negativen Auswirkungen von Uferbefestigungen auszumachen sind<sup>9</sup>.

Die negativen Auswirkungen von mit Stützmauern befestigten Ufern können teilweise durch die **Aufschüttung eines keilförmigen Damms** mit Kies behoben werden<sup>9</sup>.

In Uferbereichen kann die teilweise **Entfernung von Bäumen das Wachstum von Wasserpflanzen anregen** und die Artenvielfalt von Libellen verdoppeln<sup>29</sup>.

Die Anzahl an durch Wellenschlag weggeschwemmten Wirbellosen kann um 50 - 75 % reduziert werden, wenn der **Mindestabstand für Motorboote zum Ufer** von 20 auf 35 m erhöht wird und die Fahrgeschwindigkeit max. 11 km/h beträgt<sup>8</sup>. **Struktureichtum im Uferbereich wie Schilfgürtel und Baumwurzeln**, mindert die schädliche Wirkung von Wellen durch Bootsverkehr; des Weiteren können Deckwerke in geeignetem Abstand zum Seeufer als Wellenbrecher wirken und so Insekten im Uferbereich schützen<sup>8</sup>.

**Citizen-Science-Projekte** unter Mithilfe von Angel- und Naturschutzverbänden können dabei helfen, Störungen in der Insektenfauna zu erfassen und Gegenmaßnahmen einzuleiten<sup>30</sup>.

### 5.2.2 Teiche

Die **Dichte an Teichen** im urbanen Raum korreliert mit der **Artenvielfalt wirbelloser Tiere**. Die **Anlage von neuen Teichen** sollte daher gefördert/ermutigt werden<sup>10</sup>.

Je größer die **Teichfläche** desto höher die Artenvielfalt an Wasserinsekten. Empfehlenswert ist ein Netzwerk größerer und kleinerer Teiche in der Landschaft um den Ansprüchen aller Artengruppen gerecht zu werden<sup>31</sup>.

Die **durch Schwimmpflanzen bedeckte Wasserfläche** sollte **zwischen 30 und 50 %** liegen. Auch hier sollte am besten ein heterogenes Netzwerk mit Teichen, die entweder mehr oder weniger stark mit Wasserpflanzen bedeckt sind, geschaffen werden<sup>31</sup>.

Die **beschattete Wasserfläche** sollte möglichst klein sein (am besten **unter 10 %**). Ab 40 % Beschattung ist ein starker negativer Effekt auf die Artenvielfalt zu erwarten<sup>15,32</sup>.

Ein **hoher Deckungsgrad** (mindestens 30 %) von **Wasserpflanzen** sowie eine **hohe Artenvielfalt** dieser fördert Insektenvielfalt<sup>19,32-34</sup>. Die **Randvegetation** sollte dabei **vielfältig** sein und nur einige **wenige Bäume oder Sträucher** beinhalten<sup>33-35</sup>

**Starke Eutrophierung** ist zu **verhindern**, da sie die Artenvielfalt reduziert<sup>19,36</sup>.

**Fischbesatz** ist zu **vermeiden** da dies sich negativ auf Insektenvielfalt und Individuenzahl auswirkt<sup>35,37</sup>.

Bei **künstlich angelegten Teichen** steigert der **Besatz mit Wasserpflanzen**, die Einbringung von **natürlichem Substrat wie Sand und Steinen** oder **Boden aus nahegelegenen Stillgewässern** die Insektenvielfalt und vereinfacht die Besiedelung<sup>33,35,36</sup>. Anzustreben ist ein Mosaik-Design mit einer **hohen Varianz an Wassertiefen** und **genügend Flachwasserzonen** (ca. 80 % unter 0.5 m tief)<sup>35,36</sup>. Als **Teichfolienmaterial** ist im Hinblick auf den Insektenschutz **Polyethylen mit geringer Dichte** PVC-Folien oder Polyethylen mit hoher Dichte vorzuziehen<sup>33</sup>. Das **Verhältnis zwischen Länge und Breite** sollte **zwischen 2.2 und 1** betragen um den Phosphoreintrag aus dem Umland gering zu halten<sup>35</sup>.

Grundsätzlich gilt: **Je größer ein Teich desto höher ist die Artenvielfalt**<sup>14,24,38</sup>.

Mit **schwimmenden Inseln** lässt sich der Anteil von Randstrukturen und der von Wasserpflanzen und Insekten besiedelbarer Fläche vergrößern<sup>35</sup>.

Bei Teichen **im Grünland** ist die **direkte Einwirkung von Vieh zu minimieren** und die **Beweidung möglichst zu extensivieren**<sup>39,40</sup>.

**Baumstammbarrerien** um Kleingewässer können die Besiedelung durch den invasiven **Kalikokrebs** verhindern. Das Ausbringen einer **breiten Kiesschicht am Ufer** verhindert, dass sich die Krebse Röhren zum Schutz vor Trockenheit bauen können. Mit diesen Maßnahmen können befallene Gewässer von der invasiven Art befreit werden<sup>4,5</sup>.

## **Umsetzung der Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen**

**Privathaushalte:** Teiche im privaten Raum können im kleineren Maßstab mit den oben genannten Maßnahmen insektenfreundlich gestaltet werden. Befinden sich Fische im Teich, ist es möglich durch die Abschirmung von Flachwasserbereichen einen fischfreien Rückzugsort für Insekten zu schaffen. Bei

Einbringung von Bodenmaterial aus bereits bestehenden Gewässern sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen einzuhalten.

**Kommunal- und Landkreisebene:** Die Bewirtschaftung und Pflege von Seen, Teiche und weiterer Stillgewässer unterliegt in den meisten Fällen der Gemeinde. Mit den oben genannten Maßnahmen kann diese Bewirtschaftung insektenfreundlich gestaltet werden. Wenn entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden, kann dazu ein Informationsschild auf das insektenfreundliche Management hinweisen und so zu Umweltbildung beitragen. Das Projekt „Kleingewässer für die Bodenseeregion“, das die Bodensee Stiftung in Zusammenarbeit mit der Heinz-Sielmann-Stiftung sowie etlicher weiterer Verbände und Gemeinden rund um den Bodensee durchgeführt hat, zeigt beispielsweise wie auf regionaler Ebene eine Vielzahl an neuen Kleinstgewässern geschaffen und schon vorhandene aufgewertet werden können<sup>41</sup>.

**Landesebene:** Baden-Württemberg ist verpflichtet die Wasser-Rahmen-Richtlinie der EU umzusetzen. Darin ist vorgegeben, dass bis 2021 sämtliche Oberflächengewässer in einen guten ökologischen Zustand zu bringen sind. Da dies in Baden-Württemberg aus verschiedensten Gründen wohl nicht erreicht werden kann, soll ein dritter Bewirtschaftungszyklus in Anspruch genommen werden. Hierbei sollte verstärkt auf Renaturierungs- und Schutzmaßnahmen gesetzt werden, die auch Wasserinsekten zu Gute kommen. Im Hinblick auf die Gefährdung von Wasserinsekten durch den Bootsverkehr gibt es eine Reihe von Gesetzen, die dieses Risiko bereits einschränken. Wird die Fahrtgeschwindigkeit beispielsweise nicht an Gegebenheiten angepasst, kann ein Bußgeld in Höhe von 250 bis 1.500 € verhängt werden<sup>42</sup>. Sportbootfahrer werden dabei je nach Höhe der Geschwindigkeitsüberschreitung geahndet<sup>43</sup>. Für den Bodensee werden Vergehen über die Bodensee-Schiffahrts-Ordnung (EinfVO-BSO) geregelt. In Artikel 6.11 ist festgelegt, dass zum Ufer ein Abstand von 300 m eingehalten werden muss. Beim An- oder Ablegen darf mit höchstens 10 km/h gefahren werden und der direkteste Weg muss gewählt werden. Des Weiteren dürfen Wasserpflanzenbestände nicht befahren werden und ein Abstand von 25 m ist einzuhalten<sup>44</sup>. Diese Regelungen sind im Hinblick auf den Schutz von wasserbewohnenden Insekten zu begrüßen und können als Richtwert für andere größere Stillgewässer mit Bootsverkehr gelten. Die Anlage und Pflege von Teichen in der Agrarlandschaft könnte im Rahmen von Agrarumweltprogrammen finanziell gefördert werden. Dabei sind die Zusammenarbeit bzw. Abstimmung zur Maßnahme mit den unteren Naturschutzbehörden wichtig.

## 6 Gestaltung von Kulturlandschaften

Der Schutz der Artenvielfalt erfordert eine **Erweiterung der Perspektive auf die Struktur der Landschaft**, da die lokale Biodiversität in einem Feld oder einer Wiese durch den verfügbaren Pool von Populationen und Arten in der umgebenden Landschaft bestimmt ist<sup>1,2</sup>. In strukturarmen, einfach strukturierten Landschaften ist die Biodiversität stark reduziert, so dass auch lokal nur wenige Arten zu erwarten sind - unabhängig von der Art der lokalen Bewirtschaftung. Diese Diskrepanz in der Skala (spatial scale mismatch), d.h. die gängige Konzentration auf das lokale Management bei Nichtbeachtung der Landschaftsstruktur, welche die Artenpools steuert, muss für eine erfolgreiche Gestaltung oder für Anreizsysteme zum Biodiversitätsschutz überwunden werden. Zum Beispiel würde die **Bio-Zertifizierung viel effektiver werden, wenn die Landschaftsvielfalt Teil der zertifizierten Einheit wäre**<sup>3</sup>. Der dramatische Rückgang des lokalen Insektenartenreichtums entlang eines Gradienten der Grünland-Intensivierung (67 % der Biomasse, 34 % der Arten weniger innerhalb von zehn Jahren, 2008-2017) war hauptsächlich in vereinfachten Landschaften zu beobachten, die von einjährigen Kulturen dominiert werden<sup>4</sup>. Eine Zunahme des naturnahen Lebensraums in der Landschaft von 10 % auf 40 % bedeutet eine Verdoppelung des Artenreichtums der Wildbienen in Blühstreifen am Rand von Getreidefeldern<sup>1</sup>. Umgekehrt führt landwirtschaftliche Intensivierung mit der Erhöhung des Anteils an Ackerland in der Landschaft von 10 % auf 80 % zum Verlust von 29 % des lokalen Insekten-Artenreichtums auf den sehr artenreichen Kalkmagerrasen (Berücksichtigung von Pflanzen, Schmetterlingen, Bienen, Heuschrecken, Schwebfliegen, Spinnen, Käfer, Laufkäfer und Zikaden)<sup>5</sup>.

In ähnlicher Weise steht auch beim Schutz der Biodiversität in Wäldern die Landschaftsperspektive im Vordergrund, nicht die Fokussierung auf das lokale Management. Es geht um ein **Mosaik vieler Waldtypen und Bewirtschaftungsweisen auf einer größeren räumlichen Skala**, um den vielfältigen, sehr unterschiedlichen Ansprüchen der Arten gerecht zu werden und die sogenannte Gamma Diversität zu maximieren<sup>6,7</sup>. Das Nebeneinander verschiedener Altersklassen, Bestandsphasen und Bewirtschaftungsformen fördert die räumliche und zeitliche Heterogenität und damit die Koexistenz vieler artenreicher taxonomischer Gruppen.

**Auch hinsichtlich der Biodiversität von fließenden und stehenden Gewässern ist eine Landschaftsperspektive angemessen**, die die Unterschiedlichkeit in der Zusammensetzung der lokalen Lebensgemeinschaften und ihren Beitrag für die Landschafts-weite Biodiversität berücksichtigt<sup>8</sup>. Beispielsweise trägt in Agrarlandschaften die Biodiversität von jedem der untersuchten fünf Wasserkörpertypen (Gräben, Seen, Teiche, Flüsse und Bäche) einen Beitrag zum regionalen Artenreichtum der Pflanzen- und Makroinvertebraten bei. Bei dieser Untersuchung steuerten Teiche die höchste Anzahl von Arten bei, wobei mit den verschiedenen Wasserkörpertypen ganz unterschiedliche Einzugsgebiete verbunden sind, bei Flüssen die größten und bei Teichen die kleinsten. Die Herausforderung für die Zukunft liegt im Schutz der ökologischen Integrität und der biologischen Vielfalt aller aquatischer Systeme angesichts des zunehmenden Drucks auf unsere Süßwasserressourcen. Dies erfordert ein **Management, das auch Überschwemmungsgebiete und Grundwasser als integrale Bestandteile von Flüssen** anerkennen und auf die Erhaltung ökologischer Heterogenität achtet<sup>9</sup>. Viele Flusslandschaften in Deutschland sind in keinem guten ökologischen Zustand, was für Risiken wie die Zunahme von Überschwemmungen in Zeiten Klimawandels mit sich

bringt. Naturbasierte Lösungen unter Berücksichtigung aller sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen sind hier notwendig<sup>10</sup>.

**In Agrarlandschaften geht es um die Restaurierung von Landschaften durch Erhöhung des Anteils naturnaher Landschaftselemente.** Eine höhere Landschaftskomplexität, d.h. die Menge an semi-natürlichem Habitat pro Landschaft, vergrößert den Artenpool erheblich<sup>2,11,12</sup>. Komplexe Landschaften verbessern auch die lokale Verfügbarkeit von Prädatoren und Parasitoiden für die Schädlingsbekämpfung<sup>13-15</sup>. Die Parasitierung des Rapsglanzkäfers liegt in komplexen Landschaften zehn Mal höher als in simplen Landschaften, wodurch die Rapsschäden halbiert werden<sup>16</sup>. Im Gegensatz zur weitläufigen Meinung, dass Restaurierungsmaßnahmen auf die artenreichsten Landschaften ausgerichtet sein müssen, ist ihre **Wirksamkeit am größten, wenn die lokale ökologische Verbesserung in starkem Kontrast zur Umgebung steht**, z.B. in Kontrast zu einer intensiv bewirtschafteten, monotonen Umgebung<sup>11,17</sup>. So zeigt sich z.B. eine höhere Diversität von Pflanzen und Bienen im ökologischen Landbau als bei konventionellem Weizen nur in einfach strukturierten Landschaften<sup>18-21</sup>. **Daher kann die kontinuierliche Besiedlung von Organismen aus dem großen Artenpool in komplexen Landschaften ein lokales, hochintensives Management kompensieren.**

Es gibt Belege dafür, dass ein **Schwellenwert von 20 % an naturnahen Lebensräumen** in Agrarlandschaften ein Minimum an Biodiversität am Leben erhält. In einfachen Landschaften mit <20 % Lebensraum sinken Parasitismus von Rapsglanzkäfer und Getreideläusen unter 35 %<sup>16,22</sup>, und ein Erfolg in der klassischen biologischen Schädlingsbekämpfung wurde noch nie auf einem so niedrigen Niveau beobachtet<sup>23</sup>. Gemäß der Perkolationstheorie<sup>24</sup> führt ein Habitatverlust von mehr als 20 % zu einer disproportional starken Isolation der Lebensraumvernetzung, was auch als starkes Indiz für die Bedeutung dieses Grenzwerts gesehen werden kann<sup>25</sup>.

Zu den Maßnahmen, welche die Biodiversität bei konventioneller wie ökologischer Landwirtschaft in großem Umfang fördern können, gehören wesentlich auch **die Reduzierung der Feldgröße und der Anbau einer großen Kulturarten-Vielfalt** in der Landwirtschaft. Eine vielfältige und kleinteilige Agrarstruktur in der gesamten Landschaft kann den Artenreichtum vervielfachen, ohne dass es zu einer Verringerung der landwirtschaftlich genutzten Fläche oder zu Ertragseinbußen kommen muss (wie es beim ökologischen Landbau der Fall ist). Der Schlüssel zur Wiederherstellung der Biodiversität in großem Maßstab ist ein kleinräumiges Landnutzungsmosaik mit Feldern, deren Größe im Mittel deutlich unter sechs Hektar liegt, und durch eine Erhöhung der Kulturpflanzenvielfalt sowohl zeitlich (durch lange Fruchtfolgen) als auch räumlich (durch Mischkulturen, Streifenanbau etc.)<sup>26-28</sup>. Eine solche Veränderung in der Struktur der Agrarlandschaften sollte viel stärker die Artenvielfalt fördern als eine großflächige Zertifizierung als Öko-Landbau, soweit diese nur mit dem Verzicht auf synthetische Agrochemikalien verbunden ist<sup>27,28</sup>.

Zusammenfassend stellt sich die Frage, wie in Agrarlandschaften durch eine Kombination von Maßnahmen auf lokaler und Landschafts-Ebene zur Restauration der Artenvielfalt vorzugehen ist. So ein Ansatz entspricht auch den Erwartungen für die kommende **UN-Dekade (2021-2030) zur Wiederherstellung von Ökosystemen** (UN Decade on Ecosystem Restoration).

## **Grundsätze für Biodiversitäts-freundliches Management in Agrarlandschaften**

### **(A) Auf der Ebene des lokalen Managements**

(1) Untersagen und Sanktionieren der dramatischen Überdüngung durch organische und mineralische Düngemittel<sup>29,30</sup>

(2) Minimierung des Pestizideinsatzes durch synthetische und natürliche Pestizide<sup>31-34</sup>

(3) Ertragsverbesserung durch ökologische Intensivierung: Entwicklung neuer Sorten für Mischkulturen und Diversifizierung, auch unter Berücksichtigung der Genschere<sup>35-39</sup>

(4) Diversifizierung der Fruchtfolge und des Anbaus von Kulturpflanzen, Berücksichtigung der Ressourcenkontinuität während der gesamten Saison<sup>40,41</sup>

(5) Wiederherstellung naturnaher Lebensräume (Feldgrenzen, Hecken, Teiche, Bäume), um die Vielfalt in Agrarlandschaften zu erhöhen<sup>40,42,43</sup>

(6) Pflege und Schutz traditioneller Landnutzungssysteme: High Nature Value Farmland<sup>43,44</sup>

### **(B) Auf der Ebene des Landschafts-Managements**

(7) Erhöhen der Komplexität in der Landschaft, bis mindestens 20 % an naturnahen Landschaftselementen wiederhergestellt sind<sup>5,25</sup>

(8) Schutz von Lebensräumen in allen Landschaften und Regionen, um die Beta-Diversität zu erhöhen<sup>2,25,45,46</sup>

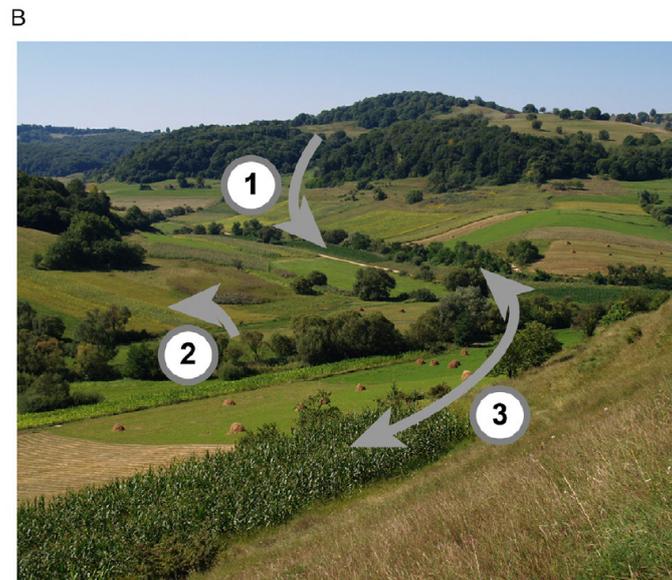
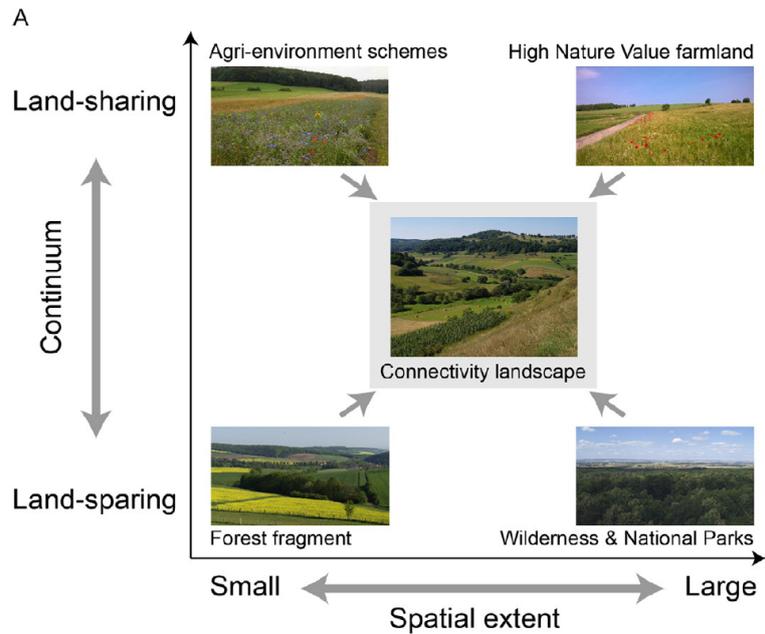
(9) Steigerung der Nutzpflanzenvielfalt pro Landschaft unter Beibehaltung naturnaher Lebensräume von >11 %<sup>26,47-49</sup>

(10) Ausweitung der Kriterien für ökologische Zertifizierung landwirtschaftlicher Produktion, die Maßnahmen zur Förderung naturnaher Lebensräume und der Artenvielfalt berücksichtigen<sup>3</sup>

(11) Reduktion der mittleren Feldgröße pro Landschaft auf unter 6 ha, da dies ein großer Beitrag zur Artenvielfalt ist<sup>26,27,50</sup>

(12) Vermehren von Ackerrandstreifen pro Landschaft<sup>26,48</sup>

(13) Zusammenarbeit von Landwirten und weiteren Interessengruppen im Sinne einer gemeinsamen Gestaltung biodiversitätsfreundlicher Landschaften<sup>51-53</sup>



**Abb. 1:** Vernetzte Landschaften mit land-sharing und land-sparing Komponenten. **(A)** Diese Landschaften kombinieren land sharing (Integration von Biodiversitätsschutz und Produktion auf einer Fläche) und land sparing Maßnahmen (Separierung von Biodiversitätsschutz und Produktion auf verschiedenen Flächen) auf Landschaftsebene zur Förderung der biologischen Vielfalt und von Ökosystemdienstleistungen.

**(B)** Eine strukturell vielfältige Landschaft fördert die Vernetzung bzw. den Biotopverbund in der Landschaft, um sicherzustellen, dass (1) artenreiche naturnahe Landschaftselemente erhalten bleiben und (2) Saumbiotope an Feldern (Ackerrandstreifen) einen Beitrag zur funktionellen Artenvielfalt in Agrarökosystemen leisten. Zudem fördert (3) eine hohe Vernetzung von Agrarökosystemen mit naturnahen Lebensräumen die Besiedlung (Ein- und Auswanderungsprozesse) und damit die Wahrscheinlichkeit, dass die Aussterbe-Wahrscheinlichkeit in fragmentierten Landschaften verringert wird. (Grass et al. 2021<sup>28</sup>; siehe auch den Fachplan Landesweiter Biotopverbund: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/84948>).

## 7 Zusammenfassung und Ausblick: Maßnahmen gegen den Insektenrückgang

In den letzten Jahrzehnten verschwanden dramatisch viele Populationen und Arten von Insekten. Insekten stellen mit über 33.000 Arten 69 % aller Tierarten in Deutschland und sind integraler und oft dominanter Bestandteil unserer Ökosysteme. Dennoch stehen in Deutschland fast die Hälfte aller Insektenarten auf der Roten Liste, von denen die Hälfte seit 1998 weitere starke Bestandsabnahmen erfahren haben. In dieser Literaturarbeit zeigen wir konkrete Handlungsoptionen für Baden-Württemberg und Deutschland auf, wie sie lokalen Akteuren (Haushalten, landwirtschaftlichen Betrieben, Forstbetrieben und anderen privaten Trägern) zur Verfügung stehen. Zudem geht es um die Gestaltung öffentlichen Grüns, das Management ganzer Landschaften bis zu Konzepten auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Die Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahmen und Strategien wird überwiegend durch begutachtete, wissenschaftliche Veröffentlichungen belegt (evidence-based conservation). Wir präsentieren einen Katalog konkreter Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Insektenlebensräumen, der nach Ökosystemtyp thematisch gegliedert ist.

Wir machen deutlich, dass es nicht um eine einzige, besonders wichtige Maßnahme für jeden Lebensraum geht, sondern um eine Vielfalt von Maßnahmen, da nur so den oft gegenläufigen Ansprüchen der so unterschiedlichen Insektenartengruppen Rechnung getragen werden kann. Dabei verweisen wir immer wieder auf einige Grundprinzipien des Naturschutzes. So hängt die Wirksamkeit lokaler Maßnahmen von der Größe und der Zusammensetzung des Artenpools auf Landschaftsebene ab. Denn Insekten (wie generell Pflanzen und Tiere) können nur mit großen Populationen in großen Naturräumen überleben. Eine Homogenisierung von Landschaften durch Intensivierung der Landnutzung (hoher Agrochemikalieneinsatz, einheitliche Bewirtschaftung mit großen Feldern) erlaubt nur wenigen Arten das Überleben. Es geht um die Förderung großräumiger Heterogenität auf Landnutzungsflächen (Ackerland, Grünland, Wald, Forst, Stadtgrün, Gewässer) und in naturnahen Gebieten, um den Ansprüchen der zahllosen Arten zu genügen. Nicht nur große Schutzgebiete sind gefragt, sondern auch eine Vielzahl kleiner Maßnahmen, deren Fläche zusammengenommen genauso bedeutsam werden kann und einen Biotopverbund ermöglicht. Dies führt zu einer erhöhten Besiedlungs- und einer verringerten Aussterbe-Wahrscheinlichkeit durch eine gute Vernetzung bzw. Durchlässigkeit der Landschaft.

Die Intensivierung der Landwirtschaft kann als Schlüssel zur Erklärung des dramatischen Insektenrückgangs gesehen werden. Sie geht mit der Vergrößerung der Felder, einem hohen Einsatz von Düngern und Pestiziden sowie dem Verlust von Kleinstrukturen einher. Wir diskutieren konkrete Maßnahmen zum Erhalt oder Neuanlage von Randstreifen, Blühflächen, Hecken und Ackerbrachen. Solche Kleinstrukturen sind für Insekten der Agrarlandschaft von besonderem Wert für Nahrung, Fortpflanzung und Überwinterung. Zudem geben wir Hinweise zur oft unterschätzten Bedeutung erweiterter Fruchtfolgen, dem Mosaik verschiedener Feldfrüchte, eingeschränkter Ausbringung von Düngern und Pestiziden und reduzierter Bodenbearbeitung. Bei Mahd und Beweidung verweisen wir auf eine reduzierte Intensität und eine Management-Vielfalt. Sandflächen und Binnendünen sowie andere magere Standorte sollten besondere Beachtung finden.

In der Forstwirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten das Bewusstsein für eine multifunktionelle Nutzung des Walds stark zugenommen, nachdem lange Zeit die Holzproduktion im Vordergrund stand.

Inzwischen wird der Wert besonders alter Bäume und von Totholz für den Naturschutz anerkannt und es wird auf eine vielfältige und kleinräumige Nutzung gesetzt. Damit steht zu hoffen, dass mit der Wiederherstellung des räumlichen Nebeneinanders einer Vielzahl von Waldtypen und Bewirtschaftungsweisen auch der Rückgang an Lebensräumen für Insekten aufgehalten wird, insbesondere bei Arten, die auf Totholz und alte, große Bäume angewiesen sind.

Urbanisierung und Flächenversiegelung nehmen in Deutschland wie auch weltweit stark zu. Das öffentliche wie private Stadtgrün hat besondere Bedeutung für die Förderung der Insektenvielfalt. Mancherorts ist es sogar artenreicher als die Flächen im umgebenden ländlichen Raum. Gärten, Kleingärten, Wiesen, Gehölze und Parks können im urbanen Bereich wichtige Lebensräume für Insekten darstellen, insbesondere wenn sie auf großer räumlicher Skala miteinander vernetzt sind. Dazu gehört auch die Dach- und Fassadenbegrünung und der Einsatz von Nisthilfen für Insekten. Die Lichtverschmutzung im öffentlichen Raum der Städte ist vermutlich eine ganz wesentliche Ursache für Artenverluste und deshalb besonders zu beachten, auch wenn es bisher nur eine begrenzte Zahl an wissenschaftlichen Studien gibt. Deswegen empfehlen wir nachdrücklich, stärker langwelliges Licht einzusetzen und Maßnahmen zur Reduzierung der Lichtmenge zu ergreifen.

Wir schlagen auch eine Reihe konkreter Maßnahmen für den Schutz und die Sanierung von Gewässern vor. Fließgewässer haben durch Abwassereinleitungen und Begradigung nicht nur viele Kleinlebensräume für Insekten verloren, sondern bieten auch nur noch eine schlechte Wasserqualität, die dem Sauerstoffbedarf vieler Fließgewässer-Organismen nicht genügt. Entwässerungsgräben werden in ihrer potentiellen Bedeutung für die Artenvielfalt oft vernachlässigt, können aber bei entsprechendem Management wichtig werden. Seen und Teiche sind auch ein wichtiger Lebensraumtyp und durch Stoffeinträge in ihrer Bedeutung für die Artenvielfalt bedroht. Besonders fatal ist, dass Kleinstgewässer, besonders in der landwirtschaftlich genutzten Fläche, vielerorts trockengelegt wurden, so dass heute nur noch ein Bruchteil dieses wichtigen Ökosystems vorhanden ist. In Agrarlandschaften können alle Wasserkörpertypen, von Gräben, Seen, Teichen, bis hin zu Bächen und Flüssen, einen wichtigen Beitrag zum regionalen Artenreichtum der Makroinvertebraten leisten.

Jede\*r kann etwas für den Insektenschutz tun. Im privaten Bereich ist besonders die Gestaltung von Grünflächen, die Reduzierung der Beleuchtung und das Konsumverhalten für den Insektenschutz von Relevanz. Beispielsweise kann in Gärten durch eine Vielzahl an einfach durchführbaren Maßnahmen die Insektenvielfalt enorm verbessert werden. Das Momentum der öffentlichen Aufmerksamkeit für den dramatischen Insektenrückgang gilt es zu nutzen und die vermehrte Bereitschaft, etwas für den Insektenschutz zu tun, durch Informationen und Anreizsysteme aufzugreifen.

Auf kommunaler Ebene schlagen wir Maßnahmen zur Verbesserung der Grünflächen (Parks, Schulhöfe, Friedhöfe) vor, aber auch Initiativen zur Verbesserung der Grünbereiche bei privaten Unternehmen und Bürgern. Denn auch hier können mit einfachen Maßnahmen Kleinlebensräume für Insekten geschaffen werden. Des Weiteren können Gemeinden die in ihrem Besitz befindlichen, landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Still- und Fließgewässer für den Insektenschutz umbauen. Oft hilft ein Runder Tisch mit allen Interessensvertreter\*innen aus Landwirtschaft, Jagd-, Fischerei, Naturschutz und Landschaftspflege.

Naturschutz ist in Deutschland Ländersache. Ende 2019 wurde das Eckpunktepapier zum Schutz der Insekten in Baden-Württemberg als Weiterentwicklung des Gesetzesentwurfes „Rettet die Bienen“

durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg veröffentlicht. Darin wurden die Forderungen des Volksbegehrens aufgenommen und wichtige Eckpunkte für den Insektenschutz in der Landwirtschaft, aber auch für den urbanen Bereich und Schutzgebiete, sowie für die Wissensvermittlung, Forschung und den Dialog zwischen den unterschiedlichen Stakeholdern gesetzt. Im Sommer 2020 wurde dann die Novelle des Naturschutzgesetzes beschlossen, das einen Ausbau des ökologischen Landbaus, eine Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln sowie dessen Verbot in Naturschutzgebieten, die Förderung des Biotopverbunds, den Erhalt von Streuobstwiesen, das Verbot von Steingärten im privaten Bereich, die Reduzierung der Lichtverschmutzung und die Schaffung von Refugien auf 10 % der landwirtschaftlichen Fläche vorsieht. Neben der Möglichkeit der legislativen Einflussnahme auf die Landnutzung, kann auf Landesebene auch Einfluss auf Verbesserungen zum Thema Insektenrückgänge im Bildungssektor genommen werden. So können Naturschutzthemen fest in Lehrplänen verankert und Kinder und Jugendliche schon möglichst früh diese Thematiken nähergebracht werden.

Im September 2019 wurde durch die Bundesregierung das „Aktionsprogramm Insektenschutz“ verabschiedet, um den Bemühungen zur Erreichung einer Trendwende bei den Rückgängen von Insekten einen Rahmen zu geben. Dies beinhaltet unter anderem den gesetzlichen Schutz von Insekten-Lebensräumen, das Verbot von besonders schädlichen Pestiziden in einem Großteil der Schutzgebiete und an Gewässerrändern, die Förderung von Insektenschutz und Insektenforschung, den auf mittlere Sicht geplanten Ausstieg aus Glyphosat, die Wiederherstellung von Lebensräumen für Insekten auf dem Land und in der Stadt sowie die Eindämmung der Lichtverschmutzung. Die Rolle Baden-Württembergs sollte es sein, im Bundesrat, in Minister- und Fachministerkonferenzen oder durch die Landesvertretung in Berlin weitere Gesetzesinitiativen zum Wohle der Insekten voranzutreiben sowie Großprojekte im eigenen Bundesland zum Thema Insektenschutz zu initiieren oder zu unterstützen und entsprechende Fördergelder beim Bund zu beantragen.

Auf EU-Ebene beeinflussen vor allem die Entscheidungen zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und zur Finanzierung des Naturschutzes im ländlichen Raum die Lebensraumsituation von Insekten, wobei die erste wie die zweite Säule der GAP grundsätzlich Chancen böte, den Insektenschutz zu fördern. Allerdings dominieren hier oft gegenläufige wirtschaftliche Interessen. Baden-Württemberg hat in allen Belangen, in die der Bundesrat miteinbezogen wird, ein Mitspracherecht. Des Weiteren kann das Bundesland über seine Landesvertretung in Brüssel und über den Ausschuss der Regionen (AdR) Einfluss auf die EU-Politik nehmen und so dazu beitragen, den Schutz der Insekten als prioritäres Thema in der Gesetzgebung zu verankern.

Diese Literaturübersicht zu den wissenschaftlich gut begründeten Maßnahmen zum Insektenschutz verdeutlicht, dass zahlreiche konkrete Projekte im terrestrischen wie aquatischen Bereich zu deutlichen Verbesserungen im Naturschutz führen können. Der Schutz der Artenvielfalt erfordert eine Landschafts-Perspektive, da die lokale Biodiversität durch den Pool von Populationen und Arten in der umgebenden Landschaft bestimmt ist. Es geht darum, mit einer Vielfalt an Managementweisen zu einer großräumigen Lebensraum-Heterogenität zu gelangen, bei der die Form der Bewirtschaftung, die Wiederherstellung von Lebensräumen und der Schutz großer naturnaher Flächen wie auch kleiner Strukturelemente gleichermaßen zu berücksichtigen ist.

## Kernforderungen zum Insektenschutz

- Den Anteil naturnaher Lebensräume auf >20 % erhöhen!
- Den Schutz der Artenvielfalt an eine Landschaftsperspektive (Habitat-Heterogenität, Biotopverbund) koppeln!
- Priorität der Maßnahmen auf ausgeräumte Landschaften setzen!
- Alle Regionen für den Schutz der Artenvielfalt berücksichtigen!
- Felder deutlich verkleinern und auf eine mosaikartige Struktur setzen - für kleinstrukturierte und vielfältige Agrarlandschaften!
- Landnutzungsflächen zeitlich und räumlich heterogener gestalten!
- Die Landnutzungs-Intensität deutlich reduzieren!
- Die Maßnahmen diversifizieren wegen der unterschiedlichen, oft gegensätzlichen Ansprüche der Arten!



# 8 Literatur- und Quellenverzeichnis

## 8.1 Einleitung

1. Insektensterben: Es hat sich ausgesummt | Wissen. <https://www.fr.de/wissen/insektensterben-sich-ausgesummt-13184169.html>.
2. mdr.de. Insektensterben noch schlimmer als gedacht | MDR.DE. <https://www.mdr.de/wissen/umwelt/insektensterben-noch-schlimmer-als-gedacht-100.html>.
3. Ulrich, Bernd. Die Wahrheit auf sechs Beinen. *Die Zeit* (2017).
4. Massives Insektensterben in Baden-Württemberg. *Baden-Württemberg.de* <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/massives-insektensterben-in-baden-wuerttemberg/>.
5. Hallmann, C. A. *et al.* More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* **12**, e0185809 (2017).
6. Dicks, L. V., Walsh, J. C. & Sutherland, W. J. Organising evidence for environmental management decisions: a '4S' hierarchy. *Trends Ecol. Evol.* **29**, 607–613 (2014).
7. Dicks, L. V. *et al.* A Transparent Process for “Evidence-Informed” Policy Making. *Conserv. Lett.* **7**, 119–125 (2014).
8. Wassmuth, B. E., Stoll, P., Tschardtke, T. & Thies, C. Spatial aggregation facilitates coexistence and diversity of wild plant species in field margins. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **11**, 127–135 (2009).
9. Staab, M., Pufal, G., Tschardtke, T. & Klein, A. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments—A systematic overview and user guide. *Methods Ecol. Evol.* **9**, 2226–2239 (2018).
10. BfN (Bundeamt für Naturschutz). *Artenschutz-Report*. (2015).
11. Seibold, S. *et al.* Association of extinction risk of saproxylic beetles with ecological degradation of forests in Europe: Beetle Extinction and Forest Degradation. *Conserv. Biol.* **29**, 382–390 (2015).
12. van Swaay, C., Warren, M. & Loïs, G. Biotope Use and Trends of European Butterflies. *J. Insect Conserv.* **10**, 189–209 (2006).
13. Conrad, K. F., Woiwod, I. P., Parsons, M., Fox, R. & Warren, M. S. Long-term population trends in widespread British moths. 18.
14. Fox, R. The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes. *Insect Conserv. Divers.* **6**, 5–19 (2013).
15. Brooks, D. R. *et al.* Large carabid beetle declines in a United Kingdom monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. *J. Appl. Ecol.* **49**, 1009–1019 (2012).
16. Harris, B. A., Braman, S. K. & Pennisi, S. V. Influence of Plant Taxa on Pollinator, Butterfly, and Beneficial Insect Visitation. *HortScience* **51**, 1016–1019 (2016).
17. Hallmann, C. A. *et al.* Declining abundance of beetles, moths and caddisflies in the Netherlands. *Insect Conserv. Divers.* **13**, 127–139 (2020).
18. Goulson, D., Nicholls, E., Botias, C. & Rotheray, E. L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* **347**, 1255957–1255957 (2015).
19. Powney, G. D. *et al.* Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nat. Commun.* **10**, 1018 (2019).

20. Kosior, A. *et al.* The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. *Oryx* **41**, 79–88 (2007).
21. Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K. A. G. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.* **232**, 8–27 (2019).
22. van Klink, R. *et al.* Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *4* (2020).
23. Wagner, D. L. Insect Declines in the Anthropocene. *Annu. Rev. Entomol.* **65**, 457–480 (2020).
24. Filz, K. J., Engler, J. O., Stoffels, J., Weitzel, M. & Schmitt, T. Missing the target? A critical view on butterfly conservation efforts on calcareous grasslands in south-western Germany. *Biodivers. Conserv.* **22**, 2223–2241 (2013).
25. Hannappel, I. & Fischer, K. Grassland intensification strongly reduces butterfly diversity in the Westerwald mountain range, Germany. *J. Insect Conserv.* **24**, 279–285 (2020).
26. Homburg, K. *et al.* Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. *Insect Conserv. Divers.* **12**, 268–277 (2019).
27. Westrich, P. *et al.* *Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands.* (Bundesamt für Naturschutz, 2009).
28. Schuch, S., Bock, J., Krause, B., Wesche, K. & Schaefer, M. Long-term population trends in three grassland insect groups: a comparative analysis of 1951 and 2009. *J. Appl. Entomol.* **136**, 321–331 (2012).
29. Seibold, S. *et al.* Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* **574**, 671–674 (2019).
30. Crossley, M. S. *et al.* No net insect abundance and diversity declines across US Long Term Ecological Research sites. *Nat. Ecol. Evol.* **4**, 1368–1376 (2020).
31. Blowes, S. A. *et al.* The geography of biodiversity change in marine and terrestrial assemblages. *Science* **366**, 339–345 (2019).
32. Macgregor, C. J., Williams, J. H., Bell, J. R. & Thomas, C. D. Moth biomass increases and decreases over 50 years in Britain. *Nat. Ecol. Evol.* **3**, 1645–1649 (2019).
33. Neues Konzept zum landesweiten Insektenmonitoring. *Baden-Württemberg.de*  
<https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/neues-konzept-zum-landesweiten-insektenmonitoring/>.
34. Maier, D. K.-J. Rote Listen und Artenverzeichnis der Köcherfliegen Baden-Württembergs, 1. Auflage 2005). 42.
35. May, A. Rote Liste der Schwebfliegen Baden-Württembergs. 52.
36. Bense, V. U. Verzeichnis und Rote Liste der Totholzkäfer Baden-Württembergs. 77.
37. Rote Listen und Checklisten der Spinnen in Baden-Württemberg. 204.
38. Entwicklung der Betriebsgrößenstruktur. <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Agrarstruktur/Betriebe-LFGK.jsp>.
39. Poniowski, D. *et al.* Relative impacts of land-use and climate change on grasshopper range shifts have changed over time. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **29**, 2190–2202 (2020).
40. Geschichte der Flurneuordnung. <https://www.lgl-bw.de/unsere-themen/Flurneuordnung/Wissenswertes/Geschichte-der-Flurneuordnung/>.
41. Morris, A. J., Hegarty, J., Báldi, A. & Robijns, T. Setting aside farmland in Europe: The wider context. *Agric. Ecosyst. Environ.* **143**, 1–2 (2011).
42. Tschardtke, T., Batáry, P. & Dormann, C. F. Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agric. Ecosyst. Environ.* **143**, 37–44 (2011).

43. Anbau auf dem Ackerland nach Fruchtarten und -gruppen. <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Bodennutzung/AnbFruArtGrp-LR.jsp>.
44. Hass, A. L. *et al.* Maize-dominated landscapes reduce bumblebee colony growth through pollen diversity loss. *J. Appl. Ecol.* **56**, 294–304 (2019).
45. Anbau in Baden-Württemberg 2019: Deutlicher Rückgang bei Raps zu verzeichnen - Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2019178>.
46. Pe'er, G. *et al.* Adding Some Green to the Greening: Improving the EU's Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers. *Conserv. Lett.* **10**, 517–530 (2017).
47. Wichtige Zahlen 2018-2019 | Industrieverband Agrar. <https://www.iva.de/publikationen/wichtige-zahlen-2018-2019>.
48. Karte: Überschuss der Stickstoff-Hoftorbilanz (hier Typ 3) im Mittel der Gemeinden - Daten- und Kartendienst der LUBW. <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml?mapId=b7fd1a13-82ba-469e-859a-a50d89fd1928&overviewMapCollapsed=false&mapSrs=EPSG%3A25832&mapExtent=201397.99157894735%2C5247658%2C797008.0084210527%2C5518131>.
49. Payne *et al.*, R. J. Disparities between plant community responses to nitrogen deposition and critical loads in UK semi-natural habitats. *Atmos. Environ.* **239**, 117478 (2020).
50. Wamelink *et al.* Prediction of plant species occurrence as affected by nitrogen deposition and climate change on a European scale. *Environ. Pollut.* **266**, 115257 (2020).
51. Belle, S. *et al.* 20th century human pressures drive reductions in deepwater oxygen leading to losses of benthic methane-based food webs. *Quat. Sci. Rev.* **137**, 209–220 (2016).
52. Hanf, M. Entwicklung und Ausmaß der Pflanzenschutzmittel-Anwendung. *Z. Für Pflanzenkrankh. Pflanzenpathol. Pflanzenschutz* **73**, 522–536 (1966).
53. BVL - Berichte über Inlandsabsatz und Export von Pflanzenschutzmitteln. [https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04\\_Pflanzenschutzmittel/01\\_Aufgaben/02\\_ZulassungPSM/03\\_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm\\_PSMInlandsabsatzAusfuhr\\_node.html](https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/03_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm_PSMInlandsabsatzAusfuhr_node.html).
54. Entwicklung der Viehhaltung in landwirtschaftlichen Betrieben. <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Viehwirtschaft/Entw-VH.jsp?f=VH>.
55. Landwirtschaftlich genutzte Fläche seit 1979 nach Hauptnutzungsarten - Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Bodennutzung/05025033.tab?R=LA>.
56. Dr. Olaf Zinke, *agrarheute*. Die Heuchelei vom Höfesterben. *agrarheute* <https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/heuchelei-hoefesterben-559691> (2019).
57. Sutcliffe, L. M. E. *et al.* Harnessing the biodiversity value of Central and Eastern European farmland. *Divers. Distrib.* **21**, 722–730 (2015).
58. Schmidt, U. E. Geschichte des Waldeigentums und der Forstwirtschaft. in *Waldeigentum: Dimensionen und Perspektiven* (eds. Depenheuer, O. & Möhring, B.) 23–42 (Springer, 2010). doi:10.1007/978-3-642-00232-8\_2.
59. Waldflächen. <https://www.forstbw.de/wald-im-land/zahlenwunder/waldflaechen/>.
60. Strukturen. <https://www.forstbw.de/wald-im-land/zahlenwunder/strukturen/>.
61. Grove, S. J. Saproxyllic Insect Ecology and the Sustainable Management of Forests. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **33**, 1–23 (2002).

62. Täglicher Flächenverbrauch. <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/GB-FV-LR.jsp>.
63. Daniels, B., Jedamski, J., Ottermanns, R. & Ross-Nickoll, M. A “plan bee” for cities: Pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces. *PLOS ONE* **15**, e0235492 (2020).
64. Somme, L. *et al.* Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban Ecosyst.* **19**, 1149–1161 (2016).
65. Lanner, J. *et al.* City dwelling wild bees: how communal gardens promote species richness. *Urban Ecosyst.* **23**, 271–288 (2020).
66. Karte: Stickstoff-Hintergrunddeposition 2012-2016 - Daten- und Kartendienst der LUBW. <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml?mapId=918523fe-e7c4-4cc5-8b1b-0fedf0f06e94&overviewMapCollapsed=false&mapSrs=EPSG%3A25832&mapExtent=246951.33894736826%2C5212923.572631581%2C842561.3557894735%2C5483396.572631581>.
67. Karte: Ammoniak-Hintergrundkonzentration 2012-2016 - Daten- und Kartendienst der LUBW. <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml?mapId=0bd70e9f-ae1b-41fd-aeab-12b01502709c&overviewMapCollapsed=false&mapSrs=EPSG%3A25832&mapExtent=201397.99157894735%2C5247658%2C797008.0084210527%2C5518131>.
68. Nicholls, C. I. & Altieri, M. A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **33**, 257–274 (2013).
69. Fahrleistungen im Straßenverkehr. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/v5c01.jsp>.
70. Bestand an Kraftfahrzeugen. <https://www.statistik-bw.de/Verkehr/KFZBelastung/LRt1503.jsp>.
71. Verkehrsinfrastruktur 2030 - Ein Klimaschutzenszenario für Baden-Württemberg. *Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg* <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/service/publikation/did/verkehrsinfrastruktur-2030-ein-klimaschutzenszenario-fuer-baden-wuerttemberg/>.
72. Muñoz, P. T., Torres, F. P. & Megías, A. G. Effects of roads on insects: a review. *Biodivers. Conserv.* **24**, 659–682 (2015).
73. McKenna, D. D., McKenna, K. M., Malcom, S. B. & Berenbaum, M. R. Mortality of lepidoptera along roadways in Central Illinois. *J. Lepidopterists Soc.* **55**, 63–68 (2001).
74. Long, C. V., Flint, J. A. & Lepper, P. A. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *Eur. J. Wildl. Res.* **57**, 323–331 (2011).
75. Rydell, J. *et al.* Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur. J. Wildl. Res.* **56**, 823–827 (2010).
76. Foo, C. F. *et al.* Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ* **5**, e3985 (2017).
77. Pustkowiak, S., Banaszak-Cibicka, W., Mielczarek, Ł. E., Tryjanowski, P. & Skórka, P. The association of windmills with conservation of pollinating insects and wild plants in homogeneous farmland of western Poland. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **25**, 6273–6284 (2018).
78. Wind - Energieatlas. <https://www.energieatlas-bw.de/wind>.
79. Windenergie. *Baden-Württemberg.de* <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/windenergie/>.
80. Windkraftanlagen im Wald. <https://www.forstbw.de/produkte-angebote/windkraftanlagen-im-wald/>.

81. Corten, G. P. & Veldkamp, H. F. Insects can halve wind-turbine power. *Nature* **412**, 41–42 (2001).
82. Robinet, C. & Roques, A. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integr. Zool.* **5**, 132–142 (2010).
83. Altermatt, F. Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **277**, 1281–1287 (2010).
84. Bale, J. S. & Hayward, S. a. L. Insect overwintering in a changing climate. *J. Exp. Biol.* **213**, 980–994 (2010).
85. Birrell, J. H. *et al.* Insects in high-elevation streams: Life in extreme environments imperiled by climate change. *Glob. Change Biol.* **n/a**, (2020).
86. Invasive Arten. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/invasive-arten>.
87. Mathers, K. L. *et al.* Invasive crayfish alter the long-term functional biodiversity of lotic macroinvertebrate communities. *Funct. Ecol.* 1365-2435.13644 (2020) doi:10.1111/1365-2435.13644.
88. Silva, E. T. da, Both, C. & Filho, O. P. R. Food Habits of Invasive Bullfrogs and Native Thin-Toed Frogs Occurring in Sympatry in Southeastern Brazil. *South Am. J. Herpetol.* **11**, 25–33 (2016).
89. Erfolgreicher Kampf gegen den Kalikokrebs. *wissenschaft.de*  
<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/erfolgreicher-kampf-gegen-den-kalikokrebs/> (2020).
90. Schroer, S., Huggins, B. J., Böttcher, M. & Hölker, F. *Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung.* vol. 543 (Bundesamt für Naturschutz, 2019).
91. Török, E., Hochkirch, A., Soltész, Z., Tschardtke, T. & Batáry, P. Unmeasured side effects of mosquito control on biodiversity. *Eur. J. Ecol.* **6**, 71–76 (2020).
92. § 3 BNatSchG - Einzelnorm. [https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/\\_\\_3.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/__3.html).
93. Eckpunktepapier zum Volksbegehren. *Baden-Württemberg.de* <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/umweltminister-franz-untersteller-und-landwirtschaftsminister-peter-hauk-legen-eckpunktepapier-zum-v/>.
94. Gesetzentwurf zur Änderung des Naturschutzgesetzes und des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes - Pressemitteilung. *Baden-Württemberg.de* <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/landesregierung-billigt-novelle-fuer-ein-neues-naturschutz-sowie-neues-landwirtschafts-und-landesku-1/>.
95. bpb. Natur- und Artenschutz | bpb. *bpb.de*  
<https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/305899/natur-und-artenschutz>.
96. Der Landeswettbewerb „Baden-Württemberg blüht“ startet am 16. September 2020 in die zweite Runde. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/biodiversitaet-und-landnutzung/bw-blueht/>.
97. Blühende Verkehrsinseln – RUNDE 2. *Baden-Württemberg.de* <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-umwelt/naturschutz/bluehende-verkehrsinseln/bluehende-verkehrsinseln-2-runde/>.
98. Wettbewerb Insekten-HeldeN! – N!-Netzwerk. <https://www.n-netzwerk.de/wettbewerb-insekten-helden/>.
99. Natur nah dran - NABU Baden-Württemberg. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.*  
<https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/naturnahdran/>.

100. Projekt 'Blühende Gärten' – damit es summt und brummt! - NABU BW. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.* <https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/bluehendeGaerten/index.html>.
101. Aktionsprogramm Insektenschutz - BMU Pressemitteilung. *bmu.de* <https://www.bmu.de/PM8688>.
102. FINKA - BMU-Pressemitteilung. *bmu.de* <https://www.bmu.de/PM9073>.
103. Grüne Dächer für mehr Insektenvielfalt - BMU-Pressemitteilung. *bmu.de* <https://www.bmu.de/PM9059>.
104. DStGB - Insektenschutz in Kommunen. *DStGB* <https://www.dstgb.de/dstgb/Homepage/Aktuelles/2020/Insektenschutz%20in%20Kommunen/>.
105. Hauk kritisiert Insektenschutzpaket des Bundes. *Baden-Württemberg.de* <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/hauk-kritisiert-insektenschutzpaket-des-bundes/>.
106. Aktuell, S. W. R. & Aktuell, S. W. R. Umstrittenes Insektenschutzgesetz beschlossen - Wer hat gewonnen? *swr.online* <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/wer-profitiert-vom-insektenschutzgesetz-tiere-oder-bauern-100.html>.
107. Gemeinsame Agrarpolitik (GAP). *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/laendlicher-raum/politik-fuer-den-laendlichen-raum/eu-agrarpolitik/>.
108. Die Mitwirkung der Bundesländer in der Europapolitik. *Bundesregierung* <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/europa/die-mitwirkung-der-bundeslaender-in-der-europapolitik-479734>.

## 8.2 Hecken

1. Van Vooren, L. *et al.* Ecosystem service delivery of agri-environment measures: A synthesis for hedgerows and grass strips on arable land. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **244**, 32–51 (2017).
2. Van Vooren, L. *et al.* Monitoring the Impact of Hedgerows and Grass Strips on the Performance of Multiple Ecosystem Service Indicators. *Environmental Management* **62**, 241–259 (2018).
3. Garratt, M. P. D., Senapathi, D., Coston, D. J., Mortimer, S. R. & Potts, S. G. The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **247**, 363–370 (2017).
4. Gottschalk, E. & Beeke, W. Wie ist der drastische Rückgang des Rebhuhns (*Perdix perdix*) aufzuhalten? Erfahrungen aus zehn Jahren mit dem Rebhuhnschutzprojekt im Landkreis Göttingen. *Berichte zum Vogelschutz* **51**, 24 (2014).
5. Gardiner, T. Hedgerow species richness influences the presence of Orthoptera and Dermaptera along green lanes in Essex, U.K. **61**, 12 (2010).
6. Power, E. F., Kelly, D. L. & Stout, J. C. Organic Farming and Landscape Structure: Effects on Insect-Pollinated Plant Diversity in Intensively Managed Grasslands. *PLoS ONE* **7**, e38073 (2012).
7. Merckx, T. *et al.* Shelter benefits less mobile moth species: The field-scale effect of hedgerow trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **138**, 147–151 (2010).
8. Merckx, T., Marini, L., Feber, R. E. & Macdonald, D. W. Hedgerow trees and extended-width field margins enhance macro-moth diversity: implications for management. *J Appl Ecol* **49**, 1396–1404 (2012).

9. Amy, S. R. *et al.* Hedgerow rejuvenation management affects invertebrate communities through changes to habitat structure. *Basic and Applied Ecology* **16**, 443–451 (2015).
10. Hanley, M. E. & Wilkins, J. P. On the verge? Preferential use of road-facing hedgerow margins by bumblebees in agro-ecosystems. *J Insect Conserv* **19**, 67–74 (2015).
11. Klaus, F. *et al.* Hedgerows Have a Barrier Effect and Channel Pollinator Movement in the Agricultural Landscape. *Journal of Landscape Ecology* **8**, 22–31 (2015).
12. Coulthard, E., McCollin, D. & Littlemore, J. The use of hedgerows as flight paths by moths in intensive farmland landscapes. *J Insect Conserv* **20**, 345–350 (2016).
13. Froidevaux, J. S. P., Boughey, K. L., Hawkins, C. L., Broyles, M. & Jones, G. Managing hedgerows for nocturnal wildlife: Do bats and their insect prey benefit from targeted agri-environment schemes? *J Appl Ecol* **56**, 1610–1623 (2019).
14. Staley, J. T. *et al.* Little and late: How reduced hedgerow cutting can benefit Lepidoptera. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **224**, 22–28 (2016).
15. Froidevaux, J. S. P., Broyles, M. & Jones, G. Moth responses to sympathetic hedgerow management in temperate farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **270–271**, 55–64 (2019).
16. Staley, J. T. *et al.* Long-term effects of hedgerow management policies on resource provision for wildlife. *Biological Conservation* **145**, 24–29 (2012).
17. Facey, S. L., Botham, M. S., Heard, M. S., Pywell, R. F. & Staley, J. T. Moth communities and agri-environment schemes: Examining the effects of hedgerow cutting regime on diversity, abundance, and parasitism. *Insect Conserv Divers* **7**, 543–552 (2014).
18. Staley, J. T. *et al.* Re-structuring hedges: Rejuvenation management can improve the long term quality of hedgerow habitats for wildlife in the UK. *Biological Conservation* **186**, 187–196 (2015).
19. Sutter, L., Albrecht, M. & Jeanneret, P. Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services. *Journal of Applied Ecology* **55**, 612–620 (2018).
20. § 39 BNatSchG - Einzelnorm. [https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/\\_\\_39.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/__39.html).
21. Maier, C. Hecken und Feldholzinseln. [https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/,Lru/3650826\\_3651464\\_2304248\\_2311955](https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/,Lru/3650826_3651464_2304248_2311955) (2015).
22. Biotopverbund. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/biotopverbund>.

### **8.3 Ackerrandstreifen und Blühflächen**

1. Thomas, C. F. G. & Marshall, E. J. P. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *14* (1999).
2. Feber, R. E., Johnson, P. J., Firbank, L. G., Hopkins, A. & Macdonald, D. W. A comparison of butterfly populations on organically and conventionally managed farmland. *J Zoology* **273**, 30–39 (2007).
3. Denys, C., Thies, C., Fischer, R., & Tschardtke, T. Die ökologische Bewertung von Ackerrandstreifen im integrierten Landbau. *Mitteilungen aus der NNA* **8(3)**, 2–11.
4. Meek, B. *et al.* The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity. *Biological Conservation* **106**, 259–271 (2002).
5. Wix, N., Reich, M. & Schaarschmidt, F. Butterfly richness and abundance in flower strips and field margins: the role of local habitat quality and landscape context. *Heliyon* **5**, e01636 (2019).

6. Carvell, C. *et al.* Bumble bee species' responses to a targeted conservation measure depend on landscape context and habitat quality. *Ecological Applications* **21**, 1760–1771 (2011).
7. Baines, M., Hambler, C., Johnson, P. J., Macdonald, D. W. & Smith, H. The effects of arable field margin management on the abundance and species richness of Araneae (spiders). *Ecography* **21**, 74–86 (1998).
8. Ditner, N. *et al.* Effects of experimentally planting non-crop flowers into cabbage fields on the abundance and diversity of predators. *Biodivers Conserv* **22**, 1049–1061 (2013).
9. De Cauwer, B., Reheul, D., De Laethauwer, S., Nijs, I. & Milbau, A. Effect of light and botanical species richness on insect diversity. *Agron. Sustain. Dev.* **26**, 35–43 (2006).
10. Pollier, A., Tricault, Y., Plantegenest, M. & Bischoff, A. Sowing of margin strips rich in floral resources improves herbivore control in adjacent crop fields: Floral resources improve herbivore control. *Agr Forest Entomol* **21**, 119–129 (2019).
11. Mansion-Vaquié, A., Ferrante, M., Cook, S. M., Pell, J. K. & Lövei, G. L. Manipulating field margins to increase predation intensity in fields of winter wheat ( *Triticum aestivum* ). *J. Appl. Entomol.* **141**, 600–611 (2017).
12. Geiger, F., Wäckers, F. L. & Bianchi, F. J. J. A. Hibernation of predatory arthropods in semi-natural habitats. *BioControl* **54**, 529–535 (2009).
13. Thies, C. & Tscharntke, T. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science* **285**, 893–895 (1999).
14. Haaland, C., Naisbit, R. E. & Bersier, L.-F. Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation. *Insect Conservation and Diversity* **4**, 60–80 (2011).
15. Aviron, S., Herzog, F., Klaus, I., Schüpbach, B. & Jeanneret, P. Effects of Wildflower Strip Quality, Quantity, and Connectivity on Butterfly Diversity in a Swiss Arable Landscape. *Restoration Ecology* **19**, 500–508 (2011).
16. Hofmann, M. M. & Renner, S. S. One-year-old flower strips already support a quarter of a city's bee species. *JHR* **75**, 87–95 (2020).
17. Warzecha, D., Diekötter, T., Wolters, V. & Jauker, F. Attractiveness of wildflower mixtures for wild bees and hoverflies depends on some key plant species. *Insect Conserv Divers* **11**, 32–41 (2018).
18. Mader, V. *et al.* Trade-offs in arthropod conservation between productive and non-productive agri-environmental schemes along a landscape complexity gradient. *Insect Conserv Divers* **10**, 236–247 (2017).
19. Rollin, O. *et al.* Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **179**, 78–86 (2013).
20. Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H. & Jacot, K. High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proc. R. Soc. B* **282**, 20151369 (2015).
21. Tschumi, M. *et al.* Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *J Appl Ecol* **53**, 1169–1176 (2016).
22. Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P. & Wäckers, F. L. Do sown flower strips boost wild pollinator abundance and pollination services in a spring-flowering crop? A case study from UK cider apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **239**, 20–29 (2017).
23. Feltham, H., Park, K., Minderman, J. & Goulson, D. Experimental evidence that wildflower strips increase pollinator visits to crops. *Ecol Evol* **5**, 3523–3530 (2015).
24. Tscharntke, T., Karp, D.S. *et al.* When natural habitat fails to enhance biological pest control - five hypotheses. *Biol. Conserv.* 449–458 (2016).

25. Campbell, A. J., Biesmeijer, J. C., Varma, V. & Wäckers, F. L. Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity. *Basic and Applied Ecology* **13**, 363–370 (2012).
26. MacLeod, A., Wratten, S. D., Sotherton, N. W. & Thomas, M. B. 'Beetle banks' as refuges for beneficial arthropods in farmland: long-term changes in predator communities and habitat. *Agric Forest Ent* **6**, 147–154 (2004).
27. Collins, K. L., Boatman, N. D., Wilcox, A. & Holland, J. M. A 5-year comparison of overwintering polyphagous predator densities within a beetle bank and two conventional hedgebanks. 10.
28. Collins, K. L., Boatman, N. D., Wilcox, A., Holland, J. M. & Chaney, K. Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **93**, 337–350 (2002).
29. Frank, T., Aeschbacher, S. & Zaller, J. G. Habitat age affects beetle diversity in wildflower areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **152**, 21–26 (2012).
30. Frank, T. & Kunzle, I. Effect of early succession in wildflower areas on bug assemblages (Insecta: Heteroptera). *Eur. J. Entomol.* **103**, 61–70 (2006).
31. Holland, J. M., Smith, B. M., Storkey, J., Lutman, P. J. W. & Aebischer, N. J. Managing habitats on English farmland for insect pollinator conservation. *Biological Conservation* **182**, 215–222 (2015).
32. Feber, R. E., Smith, H. & MacDonald, D. W. The Effects on Butterfly Abundance of the Management of Uncropped Edges of Arable Fields. *The Journal of Applied Ecology* **33**, 1191 (1996).
33. Ouvrard, P., Transon, J. & Jacquemart, A.-L. Flower-strip agri-environment schemes provide diverse and valuable summer flower resources for pollinating insects. *Biodivers Conserv* **27**, 2193–2216 (2018).
34. Campbell, A., Wilby, A., Sutton, P. & Wäckers, F. Getting More Power from Your Flowers: Multi-Functional Flower Strips Enhance Pollinators and Pest Control Agents in Apple Orchards. *Insects* **8**, 101 (2017).
35. Balzan, M. V., Bocci, G. & Moonen, A.-C. Augmenting flower trait diversity in wildflower strips to optimise the conservation of arthropod functional groups for multiple agroecosystem services. *J Insect Conserv* **18**, 713–728 (2014).
36. Gathmann, A., Greiler, H.-J. & Tscharrntke, T. Trap-nesting bees and wasps colonizing set-aside fields: succession and body size, management by cutting and sowing. *Oecologia* **98**, 8–14 (1994).
37. Bucharova, A. *et al.* Genetic differentiation and regional adaptation among seed origins used for grassland restoration: lessons from a multispecies transplant experiment. *Journal of Applied Ecology* **54**, 127–136 (2017).
38. Tscharrntke, T., Batáry, P. & Dormann, C. F. Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **143**, 37–44 (2011).
39. Tscharrntke, T. *Parasitoid populations in the agricultural landscape. In: Parasitoid Population Biology.* (Princeton University Press).
40. Bucharova, A. *et al.* Plant ecotype affects interacting organisms across multiple trophic levels. *Basic and Applied Ecology* **17**, 688–695 (2016).
41. Frank, T. *et al.* Beneficial Arthropods Respond Differentially to Wildflower Areas of Different Age. *Annales Zoologici Fennici* **46**, 465–480 (2009).

42. Ganser, D., Knop, E. & Albrecht, M. Sown wildflower strips as overwintering habitat for arthropods: Effective measure or ecological trap? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **275**, 123–131 (2019).
43. Pywell, R. F. *et al.* Management to enhance pollen and nectar resources for bumblebees and butterflies within intensively farmed landscapes. *J Insect Conserv* **15**, 853–864 (2011).
44. Denys, C. & Tschardtke, T. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia* **130**, 315–324 (2002).
45. Denisow, B. & Wrzesień, M. The Importance of Field-Margin Location for Maintenance of Food Niches for Pollinators. *Journal of Apicultural Science* **59**, 27–37 (2015).
46. Woodcock, B. A. *et al.* The importance of sward architectural complexity in structuring predatory and phytophagous invertebrate assemblages. *Ecol Entomol* **32**, 302–311 (2007).
47. Frampton, G. K. & Dorne, J. L. C. M. The effects on terrestrial invertebrates of reducing pesticide inputs in arable crop edges: a meta-analysis: Pesticides and invertebrates in arable crop edges. *Journal of Applied Ecology* **44**, 362–373 (2007).
48. Bundschuh, R., Schmitz, J., Bundschuh, M. & Brühl, C. A. Does insecticide drift adversely affect grasshoppers (Orthoptera: Saltatoria) in field margins? A case study combining laboratory acute toxicity testing with field monitoring data. *Environmental Toxicology and Chemistry* **31**, 1874–1879 (2012).
49. Merckx, T., Serruys, M. & Van Dyck, H. Anthropogenic host plant expansion leads a nettle-feeding butterfly out of the forest: consequences for larval survival and developmental plasticity in adult morphology. *Evol Appl* **8**, 363–372 (2015).
50. Zabel, J. & Tschardtke, T. Does fragmentation of *Urtica* habitats affect phytophagous and predatory insects differentially? *Oecologia* **116**, 419–425 (1998).
51. Rand, T. A. & Tschardtke, T. Contrasting effects of natural habitat loss on generalist and specialist aphid natural enemies. *Oikos* **116**, 1353–1362 (2007).
52. Blühpate werden - Baden-Württemberg blüht auf. <https://www.bwbluehtauf.de/Machen-Sie-mit/Bluehpate-werden/188725.html?UID=FABE9E18D6094D0008921ECC96410B9E2FA66B31E1174A>.
53. Ministerium legt neues Förderprogramm mit 7,5 Millionen Euro zu Blühflächen und Biodiversitätspfaden für Kommunen auf. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/ministerium-legt-neues-foerderprogramm-mit-75-millionen-euro-zu-bluehflaechen-und-biodiversitaetspfaden/>.
54. Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Verwaltungsvorschrift zu VwV Förderung Blühflächen und Biodiversitätspfade.
55. Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum. E - Umweltschonende Pflanzenerzeugung und Anwendung biologischer/biotechnischer Maßnahmen (FAKT). [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E\\_Ackerbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E_Ackerbau) (2017).
56. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Landschaftspflegerichtlinie Baden-Württemberg (Förderung von Naturschutzmaßnahmen).
57. Baden-Württemberg, U. Landschaftspflegerichtlinie Baden-Württemberg (Förderung von Naturschutzmaßnahmen). 44.
58. Frey, U. & Rukwied, J. Ackerrandstreifen Ein Ratgeber für Kommunen, Bewirtschafter, Planer und Behörden. 16.

59. Ackerrandstreifenprogramm Heilbronn. <https://www.ackerrandstreifen-heilbronn.de/>.

## 8.4 Ackerbrachen

1. Morris, A. J., Hegarty, J., Báldi, A. & Robijns, T. Setting aside farmland in Europe: The wider context. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **143**, 1–2 (2011).
2. Tschardtke, T., Batáry, P. & Dormann, C. F. Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **143**, 37–44 (2011).
3. Buskirk, J. V. & Willi, Y. Enhancement of Farmland Biodiversity within Set-Aside Land. *Conservation Biology* **18**, 987–994 (2004).
4. Dauber, J. *et al.* Local vs. landscape controls on diversity: a test using surface-dwelling soil macroinvertebrates of differing mobility: Local versus landscape controls on diversity. *Global Ecology and Biogeography* **14**, 213–221 (2005).
5. Schmidt, M. H. & Tschardtke, T. The role of perennial habitats for Central European farmland spiders. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **105**, 235–242 (2005).
6. Dauber, J. & Wolters, V. Edge effects on ant community structure and species richness in an agricultural landscape. *Biodiversity and Conservation* **13**, 901–915 (2004).
7. Kovács-Hostyánszki, A., Kőrösi, Á., Orci, K. M., Batáry, P. & Báldi, A. Set-aside promotes insect and plant diversity in a Central European country. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **141**, 296–301 (2011).
8. Gathmann, A., Greiler, H.-J. & Tschardtke, T. Trap-nesting bees and wasps colonizing set-aside fields: succession and body size, management by cutting and sowing. *Oecologia* **98**, 8–14 (1994).
9. Kuussaari, M., Hyvönen, T. & Härmä, O. Pollinator insects benefit from rotational fallows. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **143**, 28–36 (2011).
10. Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. Succession of bee communities on fallows. *Ecography* **24**, 83–93 (2001).
11. Toivonen, M., Huusela-Veistola, E. & Herzon, I. Perennial fallow strips support biological pest control in spring cereal in Northern Europe. *Biological Control* **121**, 109–118 (2018).
12. Drapela, T., Frank, T., Heer, X., Moser, D. & Zaller, J. G. Landscape structure affects activity density, body size and fecundity of Pardosa wolf spiders (Araneae: Lycosidae) in winter oilseed rape. *Eur. J. Entomol.* **108**, 609–614 (2011).
13. Thies, C. & Tschardtke, T. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science* **285**, 893–895 (1999).
14. Denys, C. & Tschardtke, T. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia* **130**, 315–324 (2002).
15. Toivonen, M., Herzon, I. & Helenius, J. Environmental fallows as a new policy tool to safeguard farmland biodiversity in Finland. *Biological Conservation* **159**, 355–366 (2013).
16. Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos* **117**, 354–361 (2008).
17. Förderprogramm Blühflächen und Biodiversitätspfade. <https://rp.baden-wuerttemberg.de/Themen/Wirtschaft/Foerderungen/Seiten/Biodiversitaetsfoerderung.aspx>.
18. Müller, R. E\_Ackerbau. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderungweiser/E\\_Ackerbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderungweiser/E_Ackerbau) (2017).

19. Leppert, C. Glossar Foerderung. <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Glossar#anker2330101> (2015).
20. Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum. E - Umweltschonende Pflanzenerzeugung und Anwendung biologischer/biotechnischer Maßnahmen (FAKT). [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E\\_Ackerbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E_Ackerbau) (2017).

## **8.5 Fruchtfolgen, Vielfalt angebauter Kulturen und Bodenbearbeitung**

1. Nuppenau, E.-A. Soil Fertility Management by Transition Matrices and Crop Rotation: On Spatial and Dynamic Aspects in Programming of Ecosystem Services. *Sustainability* **10**, 2213 (2018).
2. Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. & Habib, R. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* **32**, 273–303 (2012).
3. Letourneau, D. K. *et al.* Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* **21**, 9–21 (2011).
4. Brust, G. E. & King, L. R. Effects of crop rotation and reduced chemical inputs on pests and predators in maize agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **48**, 77–89 (1994).
5. Stanger, T. F. & Lauer, J. G. Corn Grain Yield Response to Crop Rotation and Nitrogen over 35 Years. *Agron. J.* **100**, AGJ2AGRONJ20070280 (2008).
6. Mansion-Vaquié, A., Ferrer, A., Ramon-Portugal, F., Wezel, A. & Magro, A. Intercropping impacts the host location behaviour and population growth of aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **168**, 41–52 (2020).
7. Meyer, M., Ott, D., Götze, P., Koch, H. & Scherber, C. Crop identity and memory effects on aboveground arthropods in a long-term crop rotation experiment. *Ecol Evol* **9**, 7307–7323 (2019).
8. Boetzel, F. A., Schuele, M., Krauss, J. & Steffan-Dewenter, I. Pest control potential of adjacent agri-environment schemes varies with crop type and is shaped by landscape context and within-field position. *J Appl Ecol* **57**, 1482–1493 (2020).
9. Onstad, D. W., Spencer, J. L., Guse, C. A., Levine, E. & Isard, S. A. Modeling evolution of behavioral resistance by an insect to crop rotation. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **100**, 195–201 (2001).
10. Martin, A. E. *et al.* Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **288**, 106698 (2020).
11. Sirami, C. *et al.* Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**, 16442–16447 (2019).
12. Kirchweger, S., Clough, Y., Kapfer, M., Steffan-Dewenter, I. & Kantelhardt, J. Do improved pollination services outweigh farm-economic disadvantages of working in small-structured agricultural landscapes? – Development and application of a bio-economic model. *Ecological Economics* **169**, 106535 (2020).
13. Rosa-Schleich, J., Loos, J., Mußhoff, O. & Tschardtke, T. Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. *Ecological Economics* **160**, 251–263 (2019).

14. Regan, K. H., Voortman, C. A., Wallace, J. M. & Barbercheck, M. E. Prevalence of Early- and Late-Season Pest Damage to Corn in Cover Crop-Based Reduced-Tillage Organic Systems. *Environ Entomol* **49**, 865–875 (2020).
15. Rowen, E. K., Regan, K. H., Barbercheck, M. E. & Tooker, J. F. Is tillage beneficial or detrimental for insect and slug management? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **294**, 106849 (2020).
16. Witmer, J. E., Hough-Goldstein, J. A. & Pesek, J. D. Ground-Dwelling and Foliar Arthropods in Four Cropping Systems. *Environ Entomol* **32**, 366–376 (2003).
17. Thorbek, P. & Bilde, T. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *J Appl Ecology* **41**, 526–538 (2004).
18. Rodríguez, E., Fernández-Anero, F. J., Ruiz, P. & Campos, M. Soil arthropod abundance under conventional and no tillage in a Mediterranean climate. *Soil and Tillage Research* **85**, 229–233 (2006).
19. Staudacher, K. *et al.* Plant diversity affects behavior of generalist root herbivores, reduces crop damage, and enhances crop yield. *Ecological Applications* **23**, 1135–1145 (2013).
20. Tooker, J. F. & Frank, S. D. Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields. *J Appl Ecol* **49**, 974–985 (2012).
21. Sunderland, K. & Samu, F. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **95**, 1–13 (2000).
22. Steinmann, H.-H. & Dobers, E. S. Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications on plant health and crop protection. *J Plant Dis Prot* **120**, 85–94 (2013).
23. Bennett, A. J., Bending, G. D., Chandler, D., Hilton, S. & Mills, P. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews* **87**, 52–71 (2012).
24. Schellhorn, N. A., Gagic, V. & Bommarco, R. Time will tell: resource continuity bolsters ecosystem services. *Trends Ecol Evol* **30**, 524–530 (2015).
25. Rundlöf, M., Persson, A., Smith, H. & Bommarco, R. Late-season mass-flowering red clover increases bumble bee queen and male densities. *Biological Conservation* **172**, 138–145 (2014).
26. Westphal, C., Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. Mass flowering oilseed rape improves early colony growth but not sexual reproduction of bumblebees. *Journal of Applied Ecology* **46**, 187–193 (2009).
27. Barbieri, P., Pellerin, S. & Nesme, T. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Scientific Reports* **7**, (2017).
28. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., FRIED, P. & Niggli, U. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science (Washington)*. 1694–1694 (2002).
29. Seufert, V., Mehrabi, Z., Gabriel, D. & Benton, T. G. Current and Potential Contributions of Organic Agriculture to Diversification of the Food Production System. *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* 435–452 (2019) doi:10.1016/B978-0-12-811050-8.00028-5.
30. Tittarelli, F. Organic Greenhouse Production: Towards an Agroecological Approach in the Framework of the New European Regulation—A Review. *Agronomy* **10**, 72 (2020).
31. Ponisio, L. C. *et al.* Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **282**, 20141396 (2015).

32. Müller, R. A\_Betriebsmanagement. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/A\\_Betriebsmanagement](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/A_Betriebsmanagement) (2017).
33. Müller, R. E\_Ackerbau. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E\\_Ackerbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E_Ackerbau) (2017).
34. Müller, R. F\_Gewässerschutz. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/F\\_Gewaesserschutz](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/F_Gewaesserschutz) (2017).

## 8.6 Düngung

1. Biernat, L. *et al.* Is organic agriculture in line with the EU-Nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **298**, 106964 (2020).
2. Kleijn, D. & Snoeiijing, G. I. J. Field Boundary Vegetation and the Effects of Agrochemical Drift: Botanical Change Caused by Low Levels of Herbicide and Fertilizer. *Journal of Applied Ecology* **34**, 1413–1425 (1997).
3. Kleijn, D. & Verbeek, M. Factors affecting the species composition of arable field boundary vegetation. *Journal of Applied Ecology* **37**, 256–266 (2000).
4. Butler, J., Garratt, M. P. D. & Leather, S. R. Fertilisers and insect herbivores: a meta-analysis. *Ann Appl Biol* **11** (2012).
5. White, T. C. R. The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia* **63**, 90–105 (1984).
6. Wang, L., Cui, H., Chang, X., Zhu, M. & Zhao, Z. Increased nitrogen fertilization inhibits the biocontrol activity promoted by the intercropping partner plant. *12* (2020).
7. Hannappel, I. & Fischer, K. Grassland intensification strongly reduces butterfly diversity in the Westerwald mountain range, Germany. *J Insect Conserv* **24**, 279–285 (2020).
8. Dennis, P. *et al.* Consequences for biodiversity of reducing inputs to upland temperate pastures: effects on beetles (Coleoptera) of cessation of nitrogen fertilizer application and reductions in stocking rates of sheep. *Grass and Forage Sci* **59**, 121–135 (2004).
9. Kurze, S., Heinken, T. & Fartmann, T. Nitrogen enrichment in host plants increases the mortality of common Lepidoptera species. *Oecologia* **188**, 1227–1237 (2018).
10. Hancock, C. *et al.* Fertilizer application decreases insect abundance on *Plantago lanceolata*: a large-scale experiment in three geographic regions. *Arthropod-Plant Interactions* **7**, 147–158 (2013).
11. Kovács-Hostyánszki, A., Batáry, P. & Báldi, A. Local and landscape effects on bee communities of Hungarian winter cereal fields. *Agricultural and Forest Entomology* **13**, 59–66 (2011).
12. Hudewenz, A. *et al.* Herbivore and pollinator responses to grassland management intensity along experimental changes in plant species richness. *Biological Conservation* **150**, 42–52 (2012).
13. Ceulemans, T., Hulsmans, E., Vanden Ende, W. & Honnay, O. Nutrient enrichment is associated with altered nectar and pollen chemical composition in *Succisa pratensis* Moench and increased larval mortality of its pollinator *Bombus terrestris* L. *PLoS ONE* **12**, e0175160 (2017).
14. Helden, A. J., Anderson, A., Finn, J. & Purvis, G. The response of sward-dwelling arthropod communities to reduced grassland management intensity in pastures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* **15** (2020).

15. Mangels, J., Fiedler, K., Schneider, F. D. & Blüthgen, N. Diversity and trait composition of moths respond to land-use intensification in grasslands: generalists replace specialists. *Biodivers Conserv* **26**, 3385–3405 (2017).
16. Villa-Galaviz, E., Smart, S. M., Clare, E. L., Ward, S. E. & Memmott, J. Differential effects of fertilisers on pollination and parasitoid interaction networks. *J Anim Ecol* 1365-2656.13373 (2020) doi:10.1111/1365-2656.13373.
17. Staley, J. T. *et al.* Varying responses of insect herbivores to altered plant chemistry under organic and conventional treatments. *Proc. R. Soc. B.* **277**, 779–786 (2010).
18. Garratt, M. P. D. The effects of farming system and fertilisers on pests and natural enemies: A synthesis of current research. *10* (2011).
19. Pope, T. W. *et al.* Effects of organic and conventional fertilizer treatments on host selection by the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae*: Parasitism by *D. rapae* changes with fertilizer type. *Journal of Applied Entomology* **136**, 445–455 (2012).
20. Staley, J. T. *et al.* Organic and conventional fertilizer effects on a tritrophic interaction: parasitism, performance and preference of *Cotesia vestalis*: Fertilizer type affects parasitism by *Cotesia vestalis*. *Journal of Applied Entomology* **135**, 658–665 (2011).
21. Tilman, D. *et al.* Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science* **292**, 281–284 (2001).
22. Keating, B. A. *et al.* Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities. *Crop Science* **50**, S-109-S-119 (2010).
23. Sutton, E. M. A., Howard, C. M., Erisman, J. W., Billen, G. & Bleeker, A. The European Nitrogen Assessment. *Cambridge University Press* 30.
24. Isbell, F. *et al.* Nutrient enrichment, biodiversity loss, and consequent declines in ecosystem productivity. *PNAS* **110**, 11911–11916 (2013).
25. Taube, F. *et al.* Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. *Berichte über Landwirtschaft* <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/download/28/wiss-beiraete-html?inline=1>.
26. Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Bar-Tal, A. & Müller, T. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research* **196**, 389–401 (2016).
27. Williams, M. R., King, K. W., Duncan, E. W., Pease, L. A. & Penn, C. J. Fertilizer placement and tillage effects on phosphorus concentration in leachate from fine-textured soils. *Soil and Tillage Research* **178**, 130–138 (2018).
28. Öffentlichkeitsarbei, R. K. und. Injektionsdüngung. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14931>.
29. Stanger, T. F. & Lauer, J. G. Corn Grain Yield Response to Crop Rotation and Nitrogen over 35 Years. *Agron. J.* **100**, AGJ2AGRONJ20070280 (2008).
30. Jensen, E. S., Carlsson, G. & Hauggaard-Nielsen, H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **40**, 5 (2020).
31. van Gils, S. Can above-ground ecosystem services compensate for reduced fertilizer input and soil organic matter in annual crops? *9* (2016).
32. Mosca, G. Crop management modifies the benefits of insect pollination in oilseed rape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

33. Baden-Württemberg, U. Landschaftspflegeleitlinie Baden-Württemberg (Förderung von Naturschutzmaßnahmen). 44.
34. Müller, R. B\_Kulturlandschaft. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/B\\_Kulturlandschaft](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/B_Kulturlandschaft) (2017).
35. Müller, R. F\_Gewässerschutz. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/F\\_Gewaesserschutz](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/F_Gewaesserschutz) (2017).
36. Merkblatt zur Düngeverordnung - MLR Stuttgart.

## 8.7 Pestizideinsatz

1. Meehan TD, Werling BP, Landis DA, Gratton C. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 11500–11505 (2011) doi:10.1073/pnas.1100751108.
2. Brühl CA, Alscher A, Hahn M, Berger G, Bethwell C, Graef F, Schmidt T, Weber B. Protection of biodiversity in the risk assessment and risk management of pesticides (plant protection products & biocides) with a focus on arthropods, soil organisms and amphibians. Federal Environment Agency, Dessau, Germany. (2015).
3. Müller, C. Impacts of sublethal insecticide exposure on insects—Facts and knowledge gaps. *Basic and Applied Ecology*. 1–10 (2018).
4. Wood, K. A. *et al.* Herbivore regulation of plant abundance in aquatic ecosystems: Herbivory in aquatic ecosystems. *Biol Rev* **92**, 1128–1141 (2017).
5. Schröter, H. Biodiversität und integrierter Waldschutz. *Gesunde Pflanzen* **55**, 93–97 (2003).
6. Cross, P. Pesticide hazard trends in orchard fruit production in Great Britain from 1992 to 2008: a time-series analysis. *Pest Manag. Sci.* 768–774 (2013).
7. Recommendations for Future Research in Pesticide Risk Assessment for Pollinators. in *Pesticide Risk Assessment for Pollinators* 173–177 (John Wiley & Sons, Ltd, 2014). doi:10.1002/9781118852408.ch14.
8. Roß-Nickoll M., Lennartz G, Fürste A, Mause R, Ottermanns R, Schäfer S, Smolis M, Theißen B, Toschki A, Ratte HAT. Die Arthropodenfauna von Nichtzielflächen und die Konsequenzen für die Bewertung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf den terrestrischen Bereich des Naturhaushaltes. (UBA). (2004).
9. Ekström, G. & Ekbohm, B. Pest control in agro-ecosystems: an ecological approach. *Crit. Rev. Plant Sci.* 74–94 (2011).
10. Möhring, N. *et al.* Pathways for advancing pesticide policies. *Nat Food* **1**, 535–540 (2020).
11. Brader, L. Integrated Pest Control in the Developing World. *Annual Review of Entomology* **24**, 225–254 (1979).
12. Zonderwijk, P. Grenzgebiete beim Einsatz von Herbiziden — Schutz der Wildflora und Fauna / Limitations in the use of herbicides — the protection of wild flora and fauna. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz / Journal of Plant Diseases and Protection* **82**, 271–285 (1975).
13. Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos* **117**, 354–361 (2008).
14. Johansen, E., Hooven, L. A. & Sagili, R. R. How to Reduce Bee Poisoning from Pesticides, Oregon State Univ. Extension Service. (2013).

15. Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. & Tscharrntke, T. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *J. Appl. Ecol.* 41–49 (2007).
16. Dubey, A., Lewis, M. T., Dively, G. P. & Hamby, K. A. Ecological impacts of pesticide seed treatments on arthropod communities in a grain crop rotation. *Journal of Applied Ecology* **57**, 936–951 (2020).
17. Heimbach, F., Russ, A., Schimmer, M. & Born, K. Large-scale monitoring of effects of clothianidin dressed oilseed rape seeds on pollinating insects in Northern Germany: implementation of the monitoring project and its representativeness. *Ecotoxicology* **25**, 1630–1647 (2016).
18. Bonmatin, J.-M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D. P., Krupke, C., Tapparo, A. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research*. 35–67 (2015).
19. Morrissey, C. A., Mineau, P., Devries, J. H., Sanchez-Bayo, F., Liess, M., Cavallaro, M. C., & Liber, K. Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: A review. *Environment International*. 291–303 (2015).
20. Sur R, Stork A. Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. *Bull Insectol.* 35–40 (2003).
21. Goulson D. Pesticides linked to bee declines. *Nature* 295–296 (2014).
22. Swarowski, K., Matetzki, S., Frische, T. et al.,. No Insect Respect. A critical analysis of pesticide risk assessment and management against the background of insect decline. – *Natur und Landschaft*, 94. Jahrg. 271–278 (2019).
23. Wix, N., Rode, M. & Reich, M. et al. Blühstreifen – Biodiversität und produktionsintegrierte Kompensation. – *Repositorium der Leibniz Universität Hannover, Umwelt und Raum*. 322 (2018).
24. Dunn, A.M., Julien, G., Ernst, W.R., Cook, A., Doe, K.G., Jackman, P.M. Evaluation of buffer zone effectiveness in mitigating the risks associated with agricultural runoff in Prince Edward Island. *Sci. Total Environ.* 868–882 (2011).
25. Schmitz, J., Schäfer, K. & Brühl, C. A.,. Agrochemicals in field margins-assessing the impacts of herbicides, insecticides, and fertilizer on the common buttercup (*Ranunculus acris*). – *Environ. Toxicol. Chem.* 1124–1131 (2013).
26. Botías, C., David, A. & Hill, E. M. Contamination of wild plants near neonicotinoid seed-treated crops, and implications for non-target insects. – *Science of the Total Environment*. 269–278 und 566–567 (2016).
27. Fluhr-Meyer, G. & Adelman, w., G. & Adelman, W. Blühstreifen und Pestizide – Falle oder Lebensraum? – *Anliegen Natur*. 12 (2020).
28. Schepker, T. J., Webb, E. B., Tillitt, D. & LaGrange, T. Neonicotinoid insecticide concentrations in agricultural wetlands and associations with aquatic invertebrate communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **287**, 106678 (2020).
29. Letourneau D.K., Armbrrecht I., Salguero Rivera B., Montoya Lerma J., Jiménez Carmona E., Constanza Daza M., Escobar S., Galindo V., Gutiérrez C. & Duque López S. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 9–21 (2011).
30. Denys C, Tscharrntke T. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia*. 315–324 (2002).
31. Bengtsson J, Ahnström J, Weibull A-C. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. 261–269 (2005) doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x.

32. Thies C, Denys C, Tschardt T. Die Förderung der biologischen Schädlingsbekämpfung durch Ackerrandstreifen und Ackerbrachen (Facilitation of biological control by field margin strips and fallows). In: Nentwig W: Streifenförmige ökologische Ausgleichsflächen in der Kulturlandschaft: Ackerkrautstreifen, Buntbrache, Feldränder. Verlag Agrarökologie, Bern. 219–228 (2000).
33. Waddington, H. et al. Farmer field schools for improving farming practices and farmer outcomes in low- and middle-income countries: a systematic review. *Campbell Syst. Rev.* 1–335 (2014).
34. Barzman, M. & Dachbrodt-Saaydeh, S. Comparative analysis of pesticide action plans in five European countries. *Pest Manag. Sci.* 1481–1485 (2011).
35. BÖLW. Branchen Report 2020: Ökologische Lebensmittelwirtschaft. (2020).
36. Tamm, L., Speiser, B., & Niggli, U. Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz: Beitrag des Biolandbaus. *Agrarforschung Schweiz* 52–59 (2018).
37. Geiger, F. et al. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* **11**, 97–105 (2010).
38. Kaufmann J. Bio bedeutet ungespritzt. Salonkolumnisten. *Mythenjagd* (2016).
39. S. Jänsch & J. Römbke, Eds. Umweltbundesamt (UBA): Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden. (2009).
40. Stefan Kühne, Britta Friedrich. *Fachgespräch: „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“*. [https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/dokumente/upload/c39a9\\_heft142.pdf](https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/dokumente/upload/c39a9_heft142.pdf) (2008).
41. Mewes, M., & Stahmer, J. DStGB DOKUMENTATION N° 155 INSEKTENSCHUTZ. (2020).
42. Landesrecht BW § 17c LLG | Landesnorm Baden-Württemberg | - Integrierter Pflanzenschutz | Landwirtschafts- und Landeskultugesetz (LLG) vom 14. März 1972 | gültig ab: 31.07.2020. [http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1a/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=p&eventSubmit\\_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-Lw\\_KultGBWV26P17c&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint](http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1a/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=p&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-Lw_KultGBWV26P17c&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint).
43. Gesetzesnovelle stärkt Biodiversität. *Baden-Württemberg.de* <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/gesetzesnovelle-staerkt-biodiversitaet/>.
44. Landesrecht BW § 17b LLG | Landesnorm Baden-Württemberg | - Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes | Landwirtschafts- und Landeskultugesetz (LLG) vom 14. März 1972 | gültig ab: 31.07.2020. [http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1k/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=o&eventSubmit\\_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-Lw\\_KultGBWV26P17b&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint](http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1k/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=o&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-Lw_KultGBWV26P17b&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint).
45. Landesrecht BW § 34 NatSchG | Landesnorm Baden-Württemberg | - Verbot von Pestiziden | Gesetz des Landes Baden-Württemberg zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft ... | gültig ab: 31.07.2020. [http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1q/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=17&eventSubmit\\_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-NatSchGBW2015V2P34&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint](http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1q/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=17&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-NatSchGBW2015V2P34&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint).
46. Landesrecht BW § 34a NatSchG | Landesnorm Baden-Württemberg | - Verbot von Pflanzenschutzmitteln in privaten Gärten | Gesetz des Landes Baden-Württemberg zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft ... | gültig ab: 31.07.2020. [http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1r/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=18&eventSubmit\\_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-NatSchGBW2015V2P34a&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint](http://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/1r/page/bsbawueprod.psmi/action/portlets.jw.MainAction?p1=18&eventSubmit_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-NatSchGBW2015V2P34a&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint).

- bw.de/jportal/portal/t/w8/page/bsbawueprod.psml/action/portlets.jw.MainAction?p1=18&eventSubmit\_doNavigate=searchInSubtreeTOC&showdoccase=1&doc.hl=0&doc.id=jlr-NatSchGBW2015V2P34a&doc.part=S&toc.poskey=#focuspoint.
47. Müller, R. D\_Oekolandbau. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/D\\_Oekolandbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/D_Oekolandbau) (2017).
  48. Müller, R. E\_Ackerbau. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E\\_Ackerbau](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/E_Ackerbau) (2017).
  49. Adelmann, W. Wie können wir unseren einheimischen Insekten helfen? – Anliegen Natur 41(1). 7–16 (2019).
  50. Jungehülsing, J. Agrarumweltprogramme in der EU – ein Instrument der Anreizpolitik im Spannungsfeld zwischen guter fachlicher Praxis und Vertragsnaturschutz. In: von Alvensleben, R.; Koester, U.; Langbehn, C.: Wettbewerbsfähigkeit und Unternehmertum in der Land- und Ernährungswirtschaft. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. **36**, 185–193 (2000).
  51. Momeni, M. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions. 1–9 (2020).

## 8.8 Binnendünen und Sandflächen

1. Zerbe, S. Sandmager- bzw. Sandtrockenrasen der Küsten und des Binnenlandes. in *Renaturierung von Ökosystemen im Spannungsfeld von Mensch und Umwelt: Ein interdisziplinäres Fachbuch* (ed. Zerbe, S.) 375–392 (Springer, 2019). doi:10.1007/978-3-662-58650-1\_16.
2. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg). FFH-Lebensraumtyp 2330 Binnendünen mit Magerrasen. [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT\\_2330.pdf/8ee0f5ae-6de1-4e51-b574-861cab9bca70](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT_2330.pdf/8ee0f5ae-6de1-4e51-b574-861cab9bca70) (2013).
3. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg). FFH-Lebensraumtyp 6120\* Blauschillergrasrasen\*. [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT\\_6120.pdf/543ad52a-8a1b-431d-a418-844f40673b4c](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT_6120.pdf/543ad52a-8a1b-431d-a418-844f40673b4c) (2013).
4. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg). FFH-Lebensraumtyp 2310 Binnendünen mit Heiden. [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT\\_2310.pdf/679d28c1-63d9-45b4-819c-436414051c88](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT_2310.pdf/679d28c1-63d9-45b4-819c-436414051c88) (2013).
5. Kollmann, J. Sandrasen. in *Renaturierungsökologie* (eds. Kollmann, J., Kirmer, A., Tischew, S., Hölzel, N. & Kiehl, K.) 311–328 (Springer, 2019). doi:10.1007/978-3-662-54913-1\_18.
6. Banaszak, J. & Twerd, L. Importance of thermophilous habitats for protection of wild bees (Apiformes). *Community Ecology* **19**, 239–247 (2018).
7. Exeler, N., Kratochwil, A. & Hochkirch, A. Restoration of riverine inland sand dune complexes: implications for the conservation of wild bees. *Journal of Applied Ecology* **46**, 1097–1105 (2009).
8. Heneberg, P. & Řezáč, M. Dry sandpits and gravel-sandpits serve as key refuges for endangered epigeic spiders (Araneae) and harvestmen (Opiliones) of Central European steppes aeolian sands. *Ecological Engineering* **73**, 659–670 (2014).

9. Lehmann, S. *et al.* Struktur von Laufkäfer-Gemeinschaften (Coleoptera: Carabidae) in größtenteils beweideten Sandfluren des Emslandes. in *Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz?* (eds. Schwabe, A. & Kratochwil, A.) vol. 1 147–159 (2004).
10. ZIMMERMANN, P. Der „Alte Flugplatz Karlsruhe“—ein neues Naturschutzgebiet. *Carolinea* **69**, 139–163 (2011).
11. Schwabe, A. & Kratochwil, A. Renaturierung von Sandökosystemen im Binnenland. in *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa* (eds. Zerbe, S. & Wiegler, G.) 235–263 (Springer, 2009). doi:10.1007/978-3-662-48517-0\_9.
12. Warren, S. D. & Büttner, R. Active military training areas as refugia for disturbance-dependent endangered insects. *J Insect Conserv* **12**, 671–676 (2008).
13. Hendrychová, M. & Bogusch, P. Combination of reclaimed and unreclaimed sites is the best practice for protection of aculeate Hymenoptera species on brown coal spoil heaps. *J Insect Conserv* **20**, 807–820 (2016).
14. Heneberg, P., Hesoun, P. & Skuhrovec, J. Succession of arthropods on xerothermophilous habitats formed by sand quarrying: Epigeic beetles (Coleoptera) and orthopteroids (Orthoptera, Dermaptera and Blattodea). *Ecological Engineering* **95**, 340–356 (2016).
15. Heneberg, P., Bogusch, P. & Řezáč, M. Numerous drift sand “specialists” among bees and wasps (Hymenoptera: Aculeata) nest in wetlands that spontaneously form de novo in arable fields. *Ecological Engineering* **117**, 133–139 (2018).
16. Elias, D., Hölzel, N. & Tischew, S. Goat paddock grazing improves the conservation status of shrub-encroached dry grasslands. *Tuexenia* **38**, 215–233 (2018).
17. Elias, D. & Tischew, S. Goat pasturing—A biological solution to counteract shrub encroachment on abandoned dry grasslands in Central Europe? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **234**, 98–106 (2016).
18. Schwabe, A., Süß, K. & Storm, C. What are the long-term effects of livestock grazing in steppic sandy grassland with high conservation value? Results from a 12-year field study. *Tuexenia* **33**, 189–212 (2013).
19. Süß, K. & Schwabe, A. Sheep versus donkey grazing or mixed treatment: results from a 4-year field experiment in *Armerio-Festucetum trachyphyllae* sand vegetation. *phyto* **37**, 135–160 (2007).
20. Schwabe, A., Eichberg, C., Stroh, M. & Storm, C. Gefährdete Sandvegetation der nördlichen Oberrheinebene: vegetationsökologische Untersuchungen der Technischen Universität Darmstadt 1995-2013 im Landkreis Darmstadt-Dieburg und im Bereich der Stadt Darmstadt. *Braunschweiger Geobotanische Arbeiten* **11**, 249–300 (2015).
21. Zehm, A., Süß, K., Eichberg, C. & Häfele, S. Effekte der Beweidung mit Schafen, Eseln und Wollschweinen auf die Vegetation von Sand-Ökosystemen. in *Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz?* (eds. Schwabe, A. & Kratochwil, A.) vol. 1 111–125 (2004).
22. Hemm, V. & Höfer, H. Effects of Grazing and Habitat Structure on the Epigeic Spider Fauna in an Open Xerothermic Area in Southern Germany. *Arachnology* **15**, 260–268 (2012).
23. Řezáč, M. & Heneberg, P. Grazing as a conservation management approach leads to a reduction in spider species richness and abundance in acidophilous steppic grasslands on andesite bedrock. *J Insect Conserv* **23**, 777–783 (2019).
24. Freund, L., Carrillo, J., Storm, C. & Schwabe, A. Restoration of a newly created inland-dune complex as a model in practice: impact of substrate, minimized inoculation and grazing. (2015) doi:10.14471/2014.35.022.

25. Storm, C., Cezanne, R., Eichler, M. & Schwabe, A. Multi-stress-affected sandy grasslands: Livestock-grazing as a tool for nature conservation under the impact of drought events and rabbit population fluctuations? *Tuexenia* **39**, 215–248 (2019).
26. Henning, K., Lorenz, A., von Oheimb, G., Härdtle, W. & Tischew, S. Year-round cattle and horse grazing supports the restoration of abandoned, dry sandy grassland and heathland communities by suppressing *Calamagrostis epigejos* and enhancing species richness. *Journal for Nature Conservation* **40**, 120–130 (2017).
27. Henriksson, N. D., Hydbom, S., Schmid, B. C. & Olsson, P. A. Topsoil removal enhances plant target species occurrence in sandy calcareous grassland. *Flora* **256**, 7–15 (2019).
28. Řehouňková, K., Jongepierová, I., Šebelíková, L., Vítovcová, K. & Prach, K. Topsoil removal in degraded open sandy grasslands: can we restore threatened vegetation fast? *Restor Ecol rec*.13188 (2020) doi:10.1111/rec.13188.
29. Wesserling, J. & Tschardtke, T. Habitatwahl von bodennistenden Wildbienen und Grabwespen - Pflegemaßnahmen im Experiment (Habitat selection of bees and digger wasps - experimental management of plots). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie* **9**, 697–701 (1995).
30. Gregory, S. & Wright, I. Creation of patches of bare ground to enhance the habitat of ground-nesting bees and wasps at Shotover Hill, Oxfordshire, England. *Conservation Evidence* 139–141 (2005).
31. Persigehl, M. *et al.* Kolonisation restituierter Sandrasen im Darmstädter Flugsandgebiet und im mittleren Emsland durch Laufkäfer. in *Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz?* (eds. Schwabe, A. & Kratochwil, A.) vol. 1 161–178 (2004).
32. Ödman, A. M., Schnoor, T. K., Ripa, J. & Olsson, P. A. Soil disturbance as a restoration measure in dry sandy grasslands. *Biodivers Conserv* **21**, 1921–1935 (2012).
33. Olsson, P. A., Sjöholm, C. & Ödman, A. M. Soil disturbance favours threatened beetle species in sandy grasslands. *J Insect Conserv* **18**, 827–835 (2014).
34. Storm, C., Eichberg, C., Stroh, M. & Schwabe, A. Restoration of steppic sandy grassland using deep-sand deposition, inoculation with plant material and grazing: a 10-year study. (2016) doi:10.14471/2016.36.010.
35. Eichberg, C., Storm, C., Stroh, M. & Schwabe, A. Is the combination of topsoil replacement and inoculation with plant material an effective tool for the restoration of threatened sandy grassland?: Combination of topsoil replacement and inoculation. *Applied Vegetation Science* **13**, 425–438 (2010).
36. Gilhaus, K., Vogt, V. & Hölzel, N. Restoration of sand grasslands by topsoil removal and self-greening. *Appl Veg Sci* **18**, 661–673 (2015).
37. Beil, M. & Kratochwil, A. Zur Ressourcennutzung von Wildbienen (Hymenoptera, Apoidea) in beweideten und unbeweideten Sand-Ökosystemen. in *Beweidung und Restitution als Chancen für den Naturschutz?* (eds. Schwabe, A. & Kratochwil, A.) vol. 1 179–189 (2004).
38. Beil, M., Kratochwil, A., Storm, C. & Schwabe, A. Community structure and diversity of vegetation and flower-visiting wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in sandy dry grassland: are there congruent characteristics? *Phytocoenologia* 175–192 (2014) doi:10.1127/0340-269X/2014/0044-0587.
39. Buchholz, S., Hannig, K. & Schirmel, J. Losing uniqueness - shifts in carabid species composition during dry grassland and heathland succession: Carabid species and dry grassland succession. *Anim Conserv* **16**, 661–670 (2013).

40. Buchholz, S. Ground spider assemblages as indicators for habitat structure in inland sand ecosystems. *Biodivers Conserv* **19**, 2565–2595 (2010).
41. Hochkirch, A., Gärtner, A.-C. & Brandt, T. Effects of forest-dune ecotone management on the endangered heath grasshopper, *Chorthippus vagans* (Orthoptera: Acrididae). *Bull. Entomol. Res.* **98**, 449–456 (2008).
42. Heneberg, P., Bogusch, P. & Řezáč, M. Tiny fragments of acidophilous steppic grasslands serve as yet unknown habitats of endangered aeolian sand specialists among Aculeata (Hymenoptera). *Biodivers Conserv* **28**, 183–195 (2019).
43. Land Baden-Württemberg. Sandrasen und lichte Kiefernwälder auf badischen Binnendünen. *Regierungspräsidium Karlsruhe* <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref56/Binnenduenen/Seiten/default.aspx> (2020).
44. 2310 - Binnendünen mit Heiden. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/2310-binnenduenen-mit-heiden>.
45. LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg). FFH-Lebensraumtyp 6240\* Subpannonische Steppenrasen\*. [https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT\\_6240.pdf/30c34e00-4e93-430f-9eb3-c2084fb25a35](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT_6240.pdf/30c34e00-4e93-430f-9eb3-c2084fb25a35) (2013).
46. Lorenz, A., Seifert, R., Osterloh, S. & Tischew, S. Renaturierung großflächiger subkontinentaler Sand-Ökosysteme - Was kann extensive Beweidung mit Megaherbivoren leisten? *Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege* **91**, 12 (2016).
47. Starkmann, T. *et al.* Wege zur Vielfalt - Lebensadern auf Sand. *Natur und Landschaft* **95**, 16–22 (2019).

## 8.9 Grünland

1. Habel, J. C. *et al.* European grassland ecosystems: threatened hotspots of biodiversity. *Biodivers Conserv* **22**, 2131–2138 (2013).
2. Mangels, J., Fiedler, K., Schneider, F. D. & Blüthgen, N. Diversity and trait composition of moths respond to land-use intensification in grasslands: generalists replace specialists. *Biodivers Conserv* **26**, 3385–3405 (2017).
3. Chisté, M. N. *et al.* Losers, winners, and opportunists: How grassland land-use intensity affects orthopteran communities. *Ecosphere* **7**, (2016).
4. Hannappel, I. & Fischer, K. Grassland intensification strongly reduces butterfly diversity in the Westerwald mountain range, Germany. *J Insect Conserv* **24**, 279–285 (2020).
5. Artenreiches Grünland schützen. *Baden-Württemberg.de* <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/artenreiches-gruenland-schuetzen/>.
6. Simons, N. K., Weisser, W. W. & Gossner, M. M. Multi-taxa approach shows consistent shifts in arthropod functional traits along grassland land-use intensity gradient. *Ecology* **15-0616.1** (2015) doi:10.1890/15-0616.1.
7. Simons, N. K. *et al.* Effects of land-use intensity on arthropod species abundance distributions in grasslands. *J Anim Ecol* **84**, 143–154 (2015).
8. Mazalova, M. *et al.* Responses of grassland arthropods to various biodiversity-friendly management practices: Is there a compromise? *Eur. J. Entomol.* **112**, 734–746 (2015).
9. Klink, R. *et al.* Larval and phenological traits predict insect community response to mowing regime manipulations. *Ecol Appl* **29**, e01900 (2019).

10. Hudewenz, A. *et al.* Herbivore and pollinator responses to grassland management intensity along experimental changes in plant species richness. *Biological Conservation* **150**, 42–52 (2012).
11. Berg, Å. *et al.* Assessing agri-environmental schemes for semi-natural grasslands during a 5-year period: can we see positive effects for vascular plants and pollinators? *Biodivers Conserv* **28**, 3989–4005 (2019).
12. Batáry, P. *et al.* Effect of conservation management on bees and insect-pollinated grassland plant communities in three European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **136**, 35–39 (2010).
13. van Klink, R. & WallisDeVries, M. F. Risks and opportunities of trophic rewilding for arthropod communities. *Phil. Trans. R. Soc. B* **373**, 20170441 (2018).
14. Garrido, P. *et al.* Experimental rewilding enhances grassland functional composition and pollinator habitat use. *J Appl Ecol* **56**, 946–955 (2019).
15. van Klink, R., van der Plas, F., van Noordwijk, C. G. E. (Toos), WallisDeVries, M. F. & Olf, H. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biol Rev* **90**, 347–366 (2015).
16. Fiedler, K., Wrabka, T. & Dullinger, S. Pluralism in grassland management promotes butterfly diversity in a large Central European conservation area. *J Insect Conserv* **21**, 277–285 (2017).
17. Šumpich, J. & Konvička, M. Moths and management of a grassland reserve: regular mowing and temporary abandonment support different species. *Biologia* **67**, (2012).
18. Littlewood, N. A. Grazing impacts on moth diversity and abundance on a Scottish upland estate. *Insect Conservation and Diversity* **1**, 151–160 (2008).
19. Zahn, A. FOOD AVAILABILITY FOR INSECTIVORES IN GRASSLANDS – ARTHROPOD ABUNDANCE IN PASTURES, MEADOWS AND FALLOW LAND. *Appl Ecol Env Res* **8**, 87–100 (2010).
20. Marini, L., Fontana, P., Battisti, A. & Gaston, K. J. Response of orthopteran diversity to abandonment of semi-natural meadows. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **132**, 232–236 (2009).
21. Sjödin, N. E., Bengtsson, J. & Ekbom, B. The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects: Flower-visitor diversity and grazing intensity. *Journal of Applied Ecology* **45**, 763–772 (2007).
22. Zurbrügg, C. & Frank, T. Factors Influencing Bug Diversity (Insecta: Heteroptera) in Semi-Natural Habitats. *Biodivers Conserv* **15**, 275–294 (2006).
23. Pöyry, J., Lindgren, S., Salminen, J. & Kuussaari, M. Restoration of butterfly and moth communities in semi-natural grasslands by cattle grazing. *Ecological Applications* **14**, 1656–1670 (2004).
24. Buri, P., Humbert, J.-Y. & Arlettaz, R. Promoting Pollinating Insects in Intensive Agricultural Matrices: Field-Scale Experimental Manipulation of Hay-Meadow Mowing Regimes and Its Effects on Bees. *PLoS ONE* **9**, e85635 (2014).
25. Johansen, L. *et al.* Traditional semi-natural grassland management with heterogeneous mowing times enhances flower resources for pollinators in agricultural landscapes. *Global Ecology and Conservation* **18**, e00619 (2019).
26. Seither, M., Engel, S., King, K. & Elsäßer, M. *FFH – Mähwiesen Grundlagen – Bewirtschaftung – Wiederherstellung*. (Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg – Grünlandwirtschaft).
27. Raufer, B., Seither, M., Bauer, R., Thumm, U. & Elsäßer, M. Erhaltungszustand und derzeitige Situation von Mageren Flachland-Mähwiesen in Baden-Württemberg am Beispiel des Landkreises Esslingen. *59. Jahrestagung der AGGF in Aulendorf (2015), Tagungsband* **23 – 28**,

28. liches Zentrum Baden-Württemberg. FFH-Mähwiesen: Grundlagen - Bewirtschaftung - Wiederherstellung. <https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/index.php?dsnr=49&kathaupt=601> (2017).
29. Everwand, G., Rösch, V., Tschardtke, T. & Scherber, C. Disentangling direct and indirect effects of experimental grassland management and plant functional-group manipulation on plant and leafhopper diversity. *BMC Ecol* **14**, 1 (2014).
30. Braschler, B., Marini, L., Thommen, G. H. & Baur, B. Effects of small-scale grassland fragmentation and frequent mowing on population density and species diversity of orthopterans: a long-term study. *Ecological Entomology* **34**, 321–329 (2009).
31. Humbert, J.-Y., Ghazoul, J. & Walter, T. Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **130**, 1–8 (2009).
32. Humbert, J.-Y., Ghazoul, J. & Walter, T. Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. 8 (2009).
33. Lebeau, J., Wesselingh, R. A. & Van Dyck, H. Butterfly Density and Behaviour in Uncut Hay Meadow Strips: Behavioural Ecological Consequences of an Agri-Environmental Scheme. *PLoS ONE* **10**, e0134945 (2015).
34. Humbert, J.-Y., Ghazoul, J., Richner, N. & Walter, T. Uncut grass refuges mitigate the impact of mechanical meadow harvesting on orthopterans. *Biological Conservation* **152**, 96–101 (2012).
35. Kaláb, O., Šipoš, J. & Kočárek, P. Leaving uncut refuges during meadow harvesting increases the functional diversity of Orthoptera. *Entomological Science* **23**, 95–104 (2020).
36. Dubbert, M., Tschardtke, T. & Vidal, S. Stem-boring insects of fragmented Calamagrostis habitats: Herbivore-parasitoid community structure and the unpredictability of grass shoot abundance. *Ecol Entomol* **23**, 271–280 (1998).
37. Linn, C. A. & Griebeler, E. M. Habitat Preference of German *Mantis religiosa* Populations (Mantodea: Mantidae) and Implications for Conservation. *Environ Entomol* **45**, 829–840 (2016).
38. Vandegehuchte, M. L. *et al.* Mammalian herbivores affect leafhoppers associated with specific plant functional types at different timescales. *Funct Ecol* **32**, 545–555 (2018).
39. Pöyry, J. *et al.* Different responses of plants and herbivore insects to a gradient of vegetation height: an indicator of the vertebrate grazing intensity and successional age. *Oikos* **115**, 401–412 (2006).
40. Kruess, A. & Tschardtke, T. Contrasting responses of plant and insect diversity to variation in grazing intensity. *Biological Conservation* **106**, 293–302 (2002).
41. Kruess, A. & Tschardtke, T. Grazing Intensity and the Diversity of Grasshoppers, Butterflies, and Trap-Nesting Bees and Wasps. *Conservation Biology* **16**, 1570–1580 (2002).
42. Ravetto Enri, S. *et al.* A biodiversity-friendly rotational grazing system enhancing flower-visiting insect assemblages while maintaining animal and grassland productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **241**, 1–10 (2017).
43. Farruggia, A. *et al.* An alternative rotational stocking management designed to favour butterflies in permanent grasslands: Stocking management designed to favour butterflies. *Grass and Forage Science* **67**, 136–149 (2012).
44. Scohier, A., Ouin, A., Farruggia, A. & Dumont, B. Is there a benefit of excluding sheep from pastures at flowering peak on flower-visiting insect diversity? *J Insect Conserv* **17**, 287–294 (2013).
45. Franzén, M. & Nilsson, S. G. How can we preserve and restore species richness of pollinating insects on agricultural land? *Ecography* **31**, 698–708 (2008).

46. Jerrentrup, J. S., Wrage-Mönnig, N., Röver, K.-U. & Isselstein, J. Grazing intensity affects insect diversity via sward structure and heterogeneity in a long-term experiment. *J Appl Ecol* **51**, 968–977 (2014).
47. Wallis De Vries, M. F., Parkinson, A. E., Dulphy, J. P., Sayer, M. & Diana, E. Effects of livestock breed and grazing intensity on biodiversity and production in grazing systems. 4. Effects on animal diversity. *Grass and Forage Sci* **62**, 185–197 (2007).
48. Dennis, P. *et al.* Consequences for biodiversity of reducing inputs to upland temperate pastures: effects on beetles (Coleoptera) of cessation of nitrogen fertilizer application and reductions in stocking rates of sheep. *Grass and Forage Sci* **59**, 121–135 (2004).
49. van Klink, R., Ruifrok, J. L. & Smit, C. Rewilding with large herbivores: Direct effects and edge effects of grazing refuges on plant and invertebrate communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **234**, 81–97 (2016).
50. de Schaetzen, F., van Langevelde, F. & WallisDeVries, M. F. The influence of wild boar (*Sus scrofa*) on microhabitat quality for the endangered butterfly *Pyrgus malvae* in the Netherlands. *J Insect Conserv* **22**, 51–59 (2018).
51. Kormann, U. *et al.* Local and landscape management drive trait-mediated biodiversity of nine taxa on small grassland fragments. *Diversity Distrib.* **21**, 1204–1217 (2015).
52. Rösch, V., Tschardtke, T., Scherber, C. & Batáry, P. Landscape composition, connectivity and fragment size drive effects of grassland fragmentation on insect communities. *J Appl Ecol* **50**, 387–394 (2013).
53. Weiss, N., Zucchi, H. & Hochkirch, A. The effects of grassland management and aspect on Orthoptera diversity and abundance: site conditions are as important as management. *Biodivers Conserv* **22**, 2167–2178 (2013).
54. Woodcock, B. A., Pywell, R. F., Roy, D. B., Rose, R. J. & Bell, D. Grazing management of calcareous grasslands and its implications for the conservation of beetle communities. *Biological Conservation* **125**, 193–202 (2005).
55. van Noordwijk, C. G. E., Flierman, D. E., Remke, E., WallisDeVries, M. F. & Berg, M. P. Impact of grazing management on hibernating caterpillars of the butterfly *Melitaea cinxia* in calcareous grasslands. *J Insect Conserv* **16**, 909–920 (2012).
56. Ministerium legt neues Förderprogramm mit 7,5 Millionen Euro zu Blühflächen und Biodiversitätspfaden für Kommunen auf. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unser-service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/ministerium-legt-neues-foerderprogramm-mit-75-millionen-euro-zu-bluehflaechen-und-biodiversitaetspfaden/>.
57. Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Verwaltungsvorschrift zu VwV Förderung Blühflächen und Biodiversitätspfade.
58. Müller, R. B\_Kulturlandschaft. [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/B\\_Kulturlandschaft](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/B_Kulturlandschaft) (2017).
59. Maier, C. Extensivgrünland. [https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/,Lde/3650826\\_3651464\\_2304248\\_2311917](https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/,Lde/3650826_3651464_2304248_2311917) (2015).

## 8.10 Streuobstwiesen

1. Stefan Kilian. Bestands- und Bedarfssituation zum Streuobstbau in Bayern aus fachlicher Sicht. – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. 9ff. (2016).

2. Riecken, U., P. Finck, U. Raths, E. Schröder, und A. Symank. Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung, Naturschutz und Biologische Vielfalt, H. 34. Bonn. (2006).
3. Küpfer, C. & Balko, J. Streuobstwiesen in Baden-Württemberg – Wie viele Obstbäume wachsen im Land und in welchem Zustand sind sie? S. 5 (2010).
4. Naturräume mit hoher Artenvielfalt – Streuobstwiesen. *Baden-Württemberg.de*  
<https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/biodiversitaet-und-landnutzung/streuobstkonzeption/>.
5. Der Bienenweidepflanzenkatalog Baden-Württembergs.  
[http://144.41.33.58/4DACTION/W\\_Init/BWPKBW\\_index\\_de.shtml](http://144.41.33.58/4DACTION/W_Init/BWPKBW_index_de.shtml). (2019).
6. Schmieder, K. Landesweite Streuobsterhebung in Baden-Württemberg, Schwerpunktthema Streuobst. *Landinfo* S. 6 (2010).
7. Geiser, R. Rote Liste der Käfer (Coleoptera), In: Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz Heft 55. (1998).
8. S. Gürlich. Alte Obstwiesen in Hamburg und deren Bedeutung für Alt- und Totholz bewohnende Käfer. (2011).
9. Curry J.P. Grassland Invertebrates Ecology, Influence on Soil Fertility and Effects of Plant Growth. Chapman & Hall, London. (1994).
10. Balmer O. and Erhardt A. Consequences of succession on extensively grazed grasslands for Central European butterfly communities: rethinking conservation practices. *Conservation Biology*. 746–757 (2000).
11. Steffan-Dewenter I. and Tscharrntke T. Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands – a mini review. *Biological Conservation*. 275–284 (2002).
12. Erhardt A. Diurnal Lepidoptera: sensitive indicators of cultivated and abandoned grassland. *Journal of Applied Ecology*. 849–861 (1985).
13. Pearsall I.A. and Walde S.J. A comparison of epigeaic Coleoptera assemblages in organic, conventional, and abandoned orchards in Nova Scotia, Canada. *The Canadian Entomologist*. 641–658 (1995).
14. Streuobst: Erhalten—Pflegen—Nutzen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).  
[https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/streuobst-erhalten-pflegen-nutzen\\_lfl-information.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/streuobst-erhalten-pflegen-nutzen_lfl-information.pdf). (2020).
15. Der Bienenweidepflanzenkatalog Baden-Württembergs.  
[http://144.41.33.58/4DACTION/W\\_Init/BWPKBW\\_3\\_9\\_de.shtml](http://144.41.33.58/4DACTION/W_Init/BWPKBW_3_9_de.shtml).
16. Zehnder, M. & Weller, F. Streuobstbau – Obstwiesen erleben und erhalten. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag. S.60 (2006).
17. Schellhorn, N. A., Gagic, V. & Bommarco, R. Time will tell: resource continuity bolsters ecosystem services. *Trends Ecol. Evol.* **30**, 524–530 (2015).
18. Holler, C. Internationale Streuobst-Fachtagung Pomillennium, & Wieseninitiative, Verein zur Erhaltung und Förderung Ländlicher Lebensräume (Hrsg.). Beiträge zum Streuobstbau in Europa: Stand, Entwicklungen und Probleme. Umweltbundesamt. (2001).
19. Steffan-Dewenter, I. & Leschke, K. Effects of habitat management on vegetation and above-ground nesting bees and wasps of orchard meadows in Central Europe. *Biodivers. Conserv.* **12**, 1953–1968 (2003).

20. Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. CONTRIBUTION OF SMALL HABITAT FRAGMENTS TO CONSERVATION OF INSECT COMMUNITIES OF GRASSLAND–CROPLAND LANDSCAPES \*. *Ecol. Appl.* **12**, 354–363 (2002).
21. Tschardtke, T. *et al.* Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* **87**, 661–85 (2012).
22. Kremer, B. P.,. Streuobstwiesen-Glanzlichter der Kulturlandschaft. (1997).
23. Niemeyer-Lüllwitz, A. Kulturbiotop Obstwiese: Ohne Nutzung keine Zukunft. In: Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): LÖLF-Mitteilungen. Streuobstwiesen – Kulturbiotop mit ungewisser Zukunft? (1993).
24. Gathmann A. Bienen, Wespen und ihre Gegenspieler in der Agrarlandschaft: Artenreichtum und Interaktionen in Nisthilfen, Aktionsradien und Habitatbewertung. Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany. (1998).
25. Sattler, H. Streuobstportal Baden-Württemberg. <https://streuobst.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite> (2014).
26. Landesregierung billigt Novelle für ein neues Naturschutz- sowie neues Landwirtschafts- und Landeskultugesetz. *Baden-Württemberg.de* <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/landesregierung-billigt-novelle-fuer-ein-neues-naturschutz-sowie-neues-landwirtschafts-und-landesku-1/>.
27. *Beiträge zum Streuobstbau in Europa: Stand, Entwicklungen und Probleme.* (Umweltbundesamt, 2001).

## 8.11 Weinbau

1. Steillagenweinbau. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/landwirtschaft/weinbau/steillagenweinbau/>.
2. Weinbau. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/landwirtschaft/weinbau/>.
3. Bruggisser, O.T., Schmidt-Entling, M.H., Bacher, S. Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels. *Biol Conserv* 1521–1528 (2010) doi:10.1016/j.biocon.2010.03.034.
4. Costello, M., Daane, K.M. Spider and leafhopper (*Erythroneura* spp.) response to vineyard ground cover. *Env. Entomol* 1085–1098 (2003).
5. Thomson, L.J., Hoffmann, A.A. Effects of ground cover (straw and compost) on the abundance of natural enemies and soil macro invertebrates in vineyards. *Agric Entomol* 173–179 (2007) doi:10.1111/j.1461-9563.2007.00322.x.
6. Trivellone, V., Paltrinieri, L.P., Jermini, M., Moretti, M. Management pressure drives leafhopper communities in vineyards in Southern Switzerland. *Insect Conserv Divers* 75–85 (2012) doi:10.1111/j.1752-4598.2011.00151.x.
7. Bernhardt, V. K.-G. *et al.* Anwendungsmöglichkeit eines Zielarten- konzepts in einem niederösterreichischen Weinbauggebiet. *Naturschutz Landschaftsplanung* 10 (2005).
8. Pertot, I. *et al.* A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Prot.* **97**, 70–84 (2017).
9. Ioriatti, C. & Lucchi, A. Semiochemical Strategies for Tortricid Moth Control in Apple Orchards and Vineyards in Italy. *J. Chem. Ecol.* **42**, 571–583 (2016).

10. Shahini, S., Kullaj, E., Cakalli, A., Cakalli, M., Lazarevska, S., Pfeiffer, D.G., Gumeni, F. Population dynamics and biological control of European grapevine moth (*Lobesia botrana*: Lepidoptera: tortricidae) in Albania using different strains of *Bacillus thuringiensis*. *Int J Pest Manag* 281–286 (2010).
11. Ifoulis, A.A., Savopoulou-Soultani, M. Biological control of *Lobesia botrana* (Lepidoptera : tortricidae) larvae by using different formulations of *Bacillus thuringiensis* in 11 vine cultivars under field conditions. *J Econ Eeonomic Entomol* 340–343 (2004).
12. Vassiliou, V.A. Effectiveness of insecticides in controlling the first and second generations of the *Lobesia botrana* (Lepidoptera: tortricidae) in table grapes. *J Econ Entomol* 580–585 (2011).
13. Lamichhane, J. R. *et al.* Identifying obstacles and ranking common biological control research priorities for Europe to manage most economically important pests in arable, vegetable and perennial crops. *Pest Manag. Sci.* **73**, 14–21 (2017).
14. *Der Bienenweidepflanzenkatalog Baden-Württembergs*. [http://144.41.33.58/4DAction/W\\_Init/BWPKBW\\_index\\_de.shtml](http://144.41.33.58/4DAction/W_Init/BWPKBW_index_de.shtml) (2019).
15. Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu Rev Entomol* 175–201 (2000) doi:10.1146/annurev.ento.45.1.175.
16. Schmidt, M.H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M., Tschardtke, T. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 1905–1909 (2003) doi:10.1098/rspb.2003.2469.
17. Symondson, W.O.C., Sunderland, K.D., Greenstone, M.H. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annu Rev Entomol* 561–594 (2002) doi:10.1146/annurev.ento.47.091201.145240.
18. Östman, Ö., Ekbom, B., Bengtsson, J. Yield increase attributable to aphid predation by ground-living polyphagous natural enemies in spring barley in Sweden. *Ecol Econ* 149–158 (2003) doi:10.1016/S0921-8009(03)00007-7.
19. Power, A.G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2959–2971 (2010) doi:10.1098/rstb.2010.0143.
20. Swift, M.J., Izac, A.-M.N., van Noordwijk, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions? *Agric Ecosyst Env.* 113–134 (2004) doi:10.1016/j.agee.2004.01.013.
21. Kühne, S., Strassemer, J. & Rossberg, D. Use of copper containing plant protection products in Germany. *J. Für Kult.* **61**, 126–130 (2009).
22. Lacombe, T., Audeguin, L. *et al.* Grapevine European catalogue: towards a comprehensive list. *Vitis* 65–68 (2011).
23. Bundessortenamt. Beschreibende Sortenliste - Reben 2015.
24. Nina Margaret Engelbrecht, N. Transitioning to organic agriculture: the changes in arthropod biodiversity and pests over time. (2018).
25. Bengtsson J, Ahnström J and Weibull AC. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *J Appl Ecol* 261–269 (2005).
26. Fuller, R.J., Norton, L.R., Feber, R.E., Johnson, P.J., Chamberlain, D.E., Joys, A.C., *et al.* Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biol Lett* 431–434 (2005) doi:10.1098/rsbl.2005.0357.

27. Döring, J., Collins, C., Frisch, M. & Kauer, R. Organic and Biodynamic Viticulture Affect Biodiversity and Properties of Vine and Wine: A Systematic Quantitative Review. *Am. J. Enol. Vitic.* **70**, 221–242 (2019).
28. Kolb, S., Uzman, D., Leyer, I., Reineke, A. & Entling, M. H. Differential effects of semi-natural habitats and organic management on spiders in viticultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* **287**, 106695 (2020).
29. Peverieri GS, Simoni S, Goggioli D, Liguori M and Castagnoli M. Effects of variety and management practices on mite species diversity in Italian vineyards. *B Insectol* 53–60 (2009).
30. Muneret, L. *et al.* Organic farming expansion drives natural enemy abundance but not diversity in vineyard-dominated landscapes. *Ecol. Evol.* **9**, 13532–13542 (2019).
31. Caprio, E., Nervo, B., Isaia, M., Allegro, G. & Rolando, A. Organic versus conventional systems in viticulture: Comparative effects on spiders and carabids in vineyards and adjacent forests. *Agric. Syst.* **136**, 61–69 (2015).
32. S. Jänsch & J. Römbke, Eds. Umweltbundesamt (UBA): Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden. (2009).
33. Pennington, T., Reiff, J.M., Theiss, K., Entling, M.H., Hoffmann, C. Reduced fungicide applications improve insect pest control in grapevine. *BioControl* 687–695 (2018).
34. Pennington, T., Kolb, S., Kaiser, J., Hoffmann, C., Entling, M.H. Does minimal pruning and reduced fungicide use impact spiders in the grapevine canopy? *J Arachnol* (2019).
35. Altieri, M.A., The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 19–31 (1999).
36. Thiele-Bruhn, S., BLOEM, J., DE VRIES, F.T., Kalbitz, K. & Wagg, C.,. Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 523–528 (2012).
37. Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., FRIED, P. & Niggli, U. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science (Washington).* 1694–1694 (2002).
38. Montgomery, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 13268–13272 (2007).
39. Höning, P. & Deppisch, C. Biodiversität – Was ist im Weinbau möglich? 5.
40. van Helden, M., Guenser, J. & Fulchin, E. Evaluation of different ground covers to maintain botanical biodiversity in viticulture. 4.
41. Krauss, J., Gallenberger, I., Steffan-Dewenter, I. Decreased functional diversity and biological pest control in conventional compared to organic crop fields. *PLoS ONE* 6, e19502. (2011) doi:10.1371/journal.pone.0019502.
42. Boller, E.F., Häni, F. & Poehling, H.M. (Ed). Ecological infrastructures; ideabook on functional biodiversity at the farm level - temperate zones of Europe. IOBC/WPRS Commission on Integrated Production Guidelines and Endorsement. 212 pp. (2004).
43. Thomson L.J. & Hoffman A.A. Vegetation increases the abundance of natural enemies in vineyards. *Biol. Control* 259–269 (2009).
44. Kratschmer, S. *et al.* Response of wild bee diversity, abundance, and functional traits to vineyard inter-row management intensity and landscape diversity across Europe. *Ecol. Evol.* **9**, 4103–4115 (2019).
45. Pétremand, G., Speight, M. C. D., Fleury, D., Castella, E. & Delabays, N. Hoverfly diversity supported by vineyards and the importance of ground cover management. 10.

46. Lacasella, F., Gratton, C., Felici, S.D., Isaia, M., Zapparoli, M., Marta, S., et al. Asymmetrical responses of forest and “beyond edge” arthropod communities across a forest–grassland ecotone. *Biodivers Conserv* 1–19 (2014) doi:10.1007/s10531-014-0825-0.
47. Puig-Montserrat X, Stefanescu C, Torre I, Palet J, Fàbregas E, Dantart J, Arrizabalaga A and Flaquer C. Effects of organic and conventional crop management on vineyard biodiversity. *Agr Ecosyst Env.* 19–26 (2017).
48. Stefan Otto, Filippo Maria Buzzetti, Giuseppe Zanin, Carlo Duso. Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC wprs Bulletin, Evaluating predator diversity and abundance in vineyards and the contiguous hedgerows, Institute of Agro-Environmental and Forest Biology Landscape Management for Functional Biodiversity, Rossing, W. A. H., & International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants. 77–80 (2008).
49. Maarten van Helden, Guillaume Pain, Josephine Pithon, Marie-Anne Simonneau. Experimenting with landscape management to control pest populations in viticulture, Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC wprs Bulletin. 117–120 (2008).
50. Entling, W., Schmidt, M.H., Bacher, S., Brandl, R., Nentwig, W. Niche properties of Central European spiders: shading, moisture and the evolution of the habitat niche. *Glob Ecol Biogeogr* 440–448 (2007).
51. Langellotto, G.A., Denno, R.F. Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. *Oecologia* 1–10 (2004).
52. Rypstra, A.L., Carter, P.E., Balfour, R.A., Marshall, S.D. Architectural features of agricultural habitats and their impact on the spider inhabitants. *J Arachnol* 371–377 (1999).
53. Paredes, D., Rosenheim, J. A., Chaplin-Kramer, R., Winter, S. & Karp, D. S. Landscape simplification increases vineyard pest outbreaks and insecticide use. *Ecol. Lett.* **24**, 73–83 (2021).
54. Müller, R. Umstrukturierung Rebflächen. <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/MLR.Foerderung,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Umstrukturierung+Rebflaechen> (2014).
55. Stock, M. Handarbeitsweinbau. <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Handarbeitsweinbau> (2017).
56. Leppert, C. Pheromonverfahren. <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Pheromonverfahren> (2015).

## **8.12 Wald: Baumartenzusammensetzung, Totholz und Altersstruktur**

1. Waldland Baden-Württemberg. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/wald-und-naturerlebnis/waldland-baden-wuerttemberg/>.
2. Bauhus, J., Puettmann, K. & Messier, C. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* **258**, 525–537 (2009).
3. Willim, K. et al. Spatial Patterns of Structural Complexity in Differently Managed and Unmanaged Beech-Dominated Forests in Central Europe. *Remote Sensing* **12**, 1907 (2020).
4. Ammer, C. et al. Waldbewirtschaftung und Biodiversität: Vielfalt ist gefragt. *AFZ der Wald* **72**, 20–25 (2017).
5. Schall, P. et al. The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *J Appl Ecol* **55**, 267–278 (2018).

6. Jeffries, J. M., Marquis, R. J. & Forkner, R. E. Forest Age Influences Oak Insect Herbivore Community Structure, Richness, And Density. *Ecological Applications* **16**, 901–912 (2006).
7. Johansson, T., Hjältén, J., Olsson, J., Dynesius, M. & Roberge, J.-M. Long-term effects of clear-cutting on epigaeic beetle assemblages in boreal forests. *Forest Ecology and Management* **359**, 65–73 (2016).
8. Brunet, J. & Isacson, G. Restoration of beech forest for saproxylic beetles—effects of habitat fragmentation and substrate density on species diversity and distribution. *Biodivers Conserv* **18**, 2387–2404 (2009).
9. Lange, M. *et al.* Effects of forest management on ground-dwelling beetles (Coleoptera; Carabidae , Staphylinidae ) in Central Europe are mainly mediated by changes in forest structure. *Forest Ecology and Management* **329**, 166–176 (2014).
10. Lassauce, A., Larrieu, L., Paillet, Y., Lieutier, F. & Bouget, C. The effects of forest age on saproxylic beetle biodiversity: implications of shortened and extended rotation lengths in a French oak high forest. *Insect Conservation and Diversity* **6**, 396–410 (2013).
11. Warnaffe, G. du B. de & Dufrêne, M. To what extent can management variables explain species assemblages? A study of carabid beetles in forests. *Ecography* **27**, 701–714 (2004).
12. Eremit - *Osmoderma eremita* (Scopoli, 1763) - Artensteckbriefe. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/-/eremit-osmoderma-eremita-scopoli-1763>.
13. Ranius, T., Svensson, G. P., Berg, N., Niklasson, M. & Larsson, M. C. The Successional Change of Hollow Oaks Affects their Suitability for an Inhabiting Beetle, *Osmoderma eremita*. *Annales Zoologici Fennici* **46**, 205–216 (2009).
14. Leidinger, J. *et al.* Formerly managed forest reserves complement integrative management for biodiversity conservation in temperate European forests. *Biological Conservation* **242**, 108437 (2020).
15. Parisi, F. *et al.* Linking deadwood traits with saproxylic invertebrates and fungi in European forests - a review. *iForest* **11**, 423–436 (2018).
16. Zehetmair, T., Müller, J., Zharov, A. & Gruppe, A. Effects of Natura 2000 and habitat variables used for habitat assessment on beetle assemblages in European beech forests. *Insect Conserv Divers* **8**, 193–204 (2015).
17. Seibold, S. *et al.* An experimental test of the habitat-amount hypothesis for saproxylic beetles in a forested region. *Ecology* **98**, 1613–1622 (2017).
18. Müller, J., Bußler, H. & Kneib, T. Saproxylic beetle assemblages related to silvicultural management intensity and stand structures in a beech forest in Southern Germany. *J Insect Conserv* **12**, 107–124 (2008).
19. Jabin, M., Mohr, D., Kappes, H. & Topp, W. Influence of deadwood on density of soil macroarthropods in a managed oak–beech forest. *Forest Ecology and Management* **194**, 61–69 (2004).
20. Topp, W., Kappes, H., Kulfan, J. & Zach, P. Litter-dwelling beetles in primeval forests of Central Europe: Does deadwood matter? *J Insect Conserv* **10**, 229–239 (2006).
21. Schiegg, K. Saproxylic insect diversity of beech: limbs are richer than trunks. *Forest Ecology and Management* **149**, 295–304 (2001).
22. Brin, A., Bouget, C., Brustel, H. & Jactel, H. Diameter of downed woody debris does matter for saproxylic beetle assemblages in temperate oak and pine forests. *J Insect Conserv* **15**, 653–669 (2011).
23. Brin, A., Bouget, C., Valladares, L. & Brustel, H. Are stumps important for the conservation of saproxylic beetles in managed forests? - Insights from a comparison of assemblages on logs and

- stumps in oak-dominated forests and pine plantations: *Stumps and saproxylic beetle conservation*. *Insect Conservation and Diversity* **6**, 255–264 (2013).
24. Bouget, C. & Duelli, P. The effects of windthrow on forest insect communities: a literature review. *Biological Conservation* **118**, 281–299 (2004).
  25. Vogel, S. *et al.* Diversity and conservation of saproxylic beetles in 42 European tree species: an experimental approach using early successional stages of branches. *Insect Conservation and Diversity* **n/a**,.
  26. Wuchsgebiete. <https://www.forstbw.de/wald-im-land/zahlenwunder/strukturen/wuchsgebiete/>.
  27. Sobek, S., Steffan-Dewenter, I., Scherber, C. & Tscharntke, T. Spatiotemporal changes of beetle communities across a tree diversity gradient. *Diversity and Distributions* **15**, 660–670 (2009).
  28. Sobek, S., GOßNER, M. M., Scherber, C., Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. Tree diversity drives abundance and spatiotemporal  $\beta$ -diversity of true bugs (Heteroptera). *Ecological Entomology* **34**, 772–782 (2009).
  29. Sobek, S., Tscharntke, T., Scherber, C., Schiele, S. & Steffan-Dewenter, I. Canopy vs. understory: Does tree diversity affect bee and wasp communities and their natural enemies across forest strata? *Forest Ecology and Management* **258**, 609–615 (2009).
  30. Goßner, M. Heteroptera (Insecta: Hemiptera) communities in tree crowns of beech, oak and spruce in managed forests: Diversity, seasonality, guild structure, and tree specificity. 27.
  31. Alalouni, U., Brandl, R., Auge, H. & Schädler, M. Does insect herbivory on oak depend on the diversity of tree stands? *Basic and Applied Ecology* **15**, 685–692 (2014).
  32. Schall, P. *et al.* Can multi-taxa diversity in European beech forest landscapes be increased by combining different management systems? *Journal of Applied Ecology* **57**, 1363–1375 (2020).
  33. Müller, J. & Bütler, R. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur J Forest Res* **129**, 981–992 (2010).
  34. Gossner, M. M. *et al.* Current Near-to-Nature Forest Management Effects on Functional Trait Composition of Saproxylic Beetles in Beech Forests: Functional Diversity of Beetles. *Conservation Biology* **27**, 605–614 (2013).
  35. Seibold, S. *et al.* Experiments with dead wood reveal the importance of dead branches in the canopy for saproxylic beetle conservation. *Forest Ecology and Management* **409**, 564–570 (2018).
  36. Müller, J. *et al.* Increasing temperature may compensate for lower amounts of dead wood in driving richness of saproxylic beetles. *Ecography* **38**, 499–509 (2015).
  37. Thorn, S. *et al.* New Insights into the Consequences of Post-Windthrow Salvage Logging Revealed by Functional Structure of Saproxylic Beetles Assemblages. *PLoS ONE* **9**, e101757 (2014).
  38. Schiegg, K. Are there saproxylic beetle species characteristic of high dead wood connectivity? *Ecography* **23**, 579–587 (2008).
  39. Jonsson, B., Kruys, N. & Ranius, T. Ecology of species living on dead wood – lessons for dead wood management. *Silva Fenn.* **39**, (2005).
  40. Müller, J., Jarzabek-Müller, A., Bussler, H. & Gossner, M. M. Hollow beech trees identified as keystone structures for saproxylic beetles by analyses of functional and phylogenetic diversity: Hollow beech trees identified as keystone structures. *Anim Conserv* **17**, 154–162 (2014).
  41. Lindenmayer, D. B. *et al.* New Policies for Old Trees: Averting a Global Crisis in a Keystone Ecological Structure: Rapid loss of large old trees. *Conservation Letters* **7**, 61–69 (2014).

42. Stock, M. Nachhaltige Waldwirtschaft (NWVW). [https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderungswegweiser/Nachhaltige+Waldwirtschaft+\\_NWVW\\_\(2014\).](https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderungswegweiser/Nachhaltige+Waldwirtschaft+_NWVW_(2014).)
43. Müller, R. Umweltzulage Wald (UZW). <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/1962019> (2014).
44. AuT-Konzept - naturschutzrelevante Details. <https://www.forstbw.de/schuetzen-bewahren/waldnaturschutz/alt-totholzkonzept/aut-konzept-naturschutzrelevante-details/>.
45. Waldnaturschutzziele 2020. <https://www.forstbw.de/schuetzen-bewahren/waldnaturschutz/gesamtkonzeption-waldnaturschutz/waldnaturschutzziele-2020/>.
46. Naturschutz & | Bundesanstalt für Immobilienaufgaben. <https://www.bundesimmobilien.de/7619362/naturschutz-landschaftspflege>.

### **8.13 Urbane Grünflächen: städtische und private Begrünung**

1. Urbane grüne Infrastruktur – Grundlage für attraktive und zukunftsfähige Städte. 32 (2017).
2. Smith, R.M., Thompson, K., Hodgson, J.G., Warren, P.H. & Gaston, K.J. Urban domestic gardens (IX): composition and richness of the vascular plant flora, and implications for native biodiversity. *Biological Conservation*. 312–322 (2006).
3. Iuliano, B. M. Socio-economic Drivers of Community Garden Location and Quality in Urban Settings and Potential Effects on Native Pollinators. *Mich. J. Sustain.* **5**, (2017).
4. Angold PG, et al. Biodiversity in urban habitat patches. *Science of the Total Environment*. 196–204 (2006).
5. Aronson, M. F. *et al.* Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Front. Ecol. Environ.* **15**, 189–196 (2017).
6. Theodorou, P. *et al.* Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nat. Commun.* **11**, 576 (2020).
7. Hall, D. M. *et al.* The city as a refuge for insect pollinators: Insect Pollinators. *Conserv. Biol.* **31**, 24–29 (2017).
8. Fetridge, E., Ascher, J.S. & Langellotto, G.A. The bee fauna of residential gardens in a suburb of New York City (Hymenoptera: Apoidea). *Annals of the Entomological Society of America*. 1067–1077 (2008).
9. Goulson D. *Bumblebees; their behaviour, ecology and conservation*. Oxford University Press, Oxford. (2010).
10. Bates AJ, Sadler JP, Fairbrass AJ, Falk SJ, Hale JD, Matthews TJ. Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PLOS ONE* **6**(8):e23459. (2011) doi:10.1371/journal.pone.0023459.
11. Osborne, J.L., Martin, A.P., Shortall, C.R., Todd, A.D., Goulson, D., Knight, M.E., Hale, R.J. & Sanderson, R.A. Quantifying and comparing bumblebee nest densities in gardens and countryside habitats. *Journal of Applied Ecology*. 784–792 (2008).
12. Wenzel, A., Grass, I., Belavadi, V.V., Tschardt, T. How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation* 108321. (2019).
13. Daniels, B., Jedamski, J., Ottermanns, R. & Ross-Nickoll, M. A “plan bee” for cities: Pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces. *PLOS ONE* **15**, e0235492 (2020).
14. Udy, K. L., Reininghaus, H., Scherber, C. & Tschardt, T. Plant–pollinator interactions along an urbanization gradient from cities and villages to farmland landscapes. *Ecosphere* **11**, (2020).

15. Samnegård, U., Persson, A.S. & Smith, H.G. Gardens benefit bees and enhance pollination in intensively managed farmland. *Biological Conservation*. 2602–2606 (2011).
16. Ahrné K, Bengtsson J, Elmqvist T. Bumble Bees (*Bombus* spp) along a gradient of increasing urbanization. *PLOS ONE* 4(5):e5574. (2009) doi:10.1371/journal.pone.0005574.
17. Gunnarsson, B. & Federsel, L. M. Bumblebees in the city: abundance, species richness and diversity in two urban habitats. *J. Insect Conserv.* **18**, 1185–1191 (2014).
18. Baldock KCR, Goddard MA, Hicks DM, Kunin WE, Mitschunas N, Morse H, Osgathorpe LM, Potts SG, Robertson KM, Scott AV, Staniczenko PPA, Stone GN, Vaughan IP, Memmott J. A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities. *Nature Ecology & Evolution*. 363–373 (2019) doi:10.1038/s41559-018-0769-y.
19. Matteson, K.C.; Langellotto, G.A. Bumble bee abundance in New York City community gardens: Implications for urban agriculture. *Cities Environ.*, 2, Article 5. (2009).
20. Levé, M., Baudry, E. & Bessa-Gomes, C. Domestic gardens as favorable pollinator habitats in impervious landscapes. *Sci. Total Environ.* **647**, 420–430 (2019).
21. Langellotto, G. A., Melathopoulos, A., Messer, I., Anderson, A., McClintock, N., & Costner, L. Garden Pollinators and the Potential for Ecosystem Service Flow to Urban and Peri-Urban Agriculture. *Sustainability*. 2047 (2018).
22. Beninde, J., Veith, M. & Hochkirch, A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecol. Lett.* **18**, 581–592 (2015).
23. Banaszak-Cibicka, W., Ratyńska, H. & Dylewski, Ł. Features of urban green space favourable for large and diverse bee populations (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Urban For. Urban Green.* **20**, 448–452 (2016).
24. Buchholz, S., Gathof, A. K., Grossmann, A. J., Kowarik, I. & Fischer, L. K. Wild bees in urban grasslands: Urbanisation, functional diversity and species traits. *Landsc. Urban Plan.* **196**, 103731 (2020).
25. Davies ZG, Fuller RA, Loram A, Irvine KN, Sims V, Gaston KJ. A national scale inventory of resource provision for biodiversity within domestic gardens. *Biological Conservation*. 761–771 (2009).
26. Goddard, M. A., Dougill, A. J. & Benton, T. G. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends Ecol. Evol.* **25**, 90–98 (2010).
27. Owen J. *Wildlife of a Garden. A Thirty-Year Study*. Royal Horticultural Society. (2010).
28. Loram, A., Thompson, K., Warren, P.H. & Gaston, K.J. Urban domestic gardens (XII): the richness and composition of the flora in five UK cities. *Journal of Vegetation Science*. 321–330 (2008).
29. Watson, C. J., Carignan-Guillemette, L., Turcotte, C., Maire, V. & Proulx, R. Ecological and economic benefits of low-intensity urban lawn management. *J. Appl. Ecol.* **57**, 436–446 (2020).
30. Wastian, L., Unterweger, P. A. & Betz, O. Influence of the reduction of urban lawn mowing on wild bee diversity (Hymenoptera, Apoidea). *J. Hymenopt. Res.* **49**, 51–63 (2016).
31. Helden, A. J., Morley, G. J., Davidson, G. L. & Turner, E. C. What can WE do for urban insect biodiversity? Applying lessons from ecological research. *Zoosymposia* **12**, 51–63 (2018).
32. Unterweger, P. A., Rieger, C. & Betz, O. The influence of urban lawn mowing regimes on diversity of Heteroptera (Hemiptera). (2017) doi:10.15496/PUBLIKATION-16026.
33. Sehrt, M., Bossdorf, O., Freitag, M. & Bucharova, A. Less is more! Rapid increase in plant species richness after reduced mowing in urban grasslands. *Basic Appl. Ecol.* **42**, 47–53 (2020).
34. Böll, S., Mahsberg, D., Albrecht, R. & Peters, M. K. Urbane Artenvielfalt fördern. *Naturschutz Landschaftsplanung* **51**, 576–583 (2019).

35. Vergnes, A., Chantepie, S., Robert, A. & Clergeau, P. Are urban green spaces suitable for woodland carabids? First insights from a short-term experiment. *J. Insect Conserv.* **17**, 671–679 (2013).
36. Requier, F. & Leonhardt, S. D. Beyond flowers: including non-floral resources in bee conservation schemes. *J. Insect Conserv.* **24**, 5–16 (2020).
37. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM). Straßenbegleitgrün. *Baden-Württemberg.de* <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-umwelt/naturschutz/strassenbegleitgruen/strassenbegleitgruen/> (2020).
38. Phillips, B. B. *et al.* Enhancing road verges to aid pollinator conservation: A review. *Biol. Conserv.* **250**, 108687 (2020).
39. Phillips, B. B., Bullock, J. M., Osborne, J. L. & Gaston, K. J. Ecosystem service provision by road verges. *J. Appl. Ecol.* **57**, 488–501 (2020).
40. Deutscher Städte- und Gemeindebund (DStGB) & Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.). Insektenschutz in der Kommune. <https://www.dstgb.de/aktuelles/archiv/archiv-2020/insektenschutz-in-kommunen/doku155-insektenschutz-web.pdf?cid=5ux> (2020).
41. Fischer, L. K. *et al.* Public attitudes toward biodiversity-friendly greenspace management in Europe. *Conserv. Lett.* **13**, (2020).
42. „Blühende Gärten – damit es summt und brummt!“ feiert Erfolgsbilanz. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.* <https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/bluehendeGaerten/27772.html>.
43. Sommer, M. & Zehm, A. Hochwertige Lebensräume statt Blühflächen - In wenigen Schritten zu wirksamem Insektenschutz. *Naturschutz Landschaftsplanung NuL* **53**, 20–27 (2020).
44. Mody, K. *et al.* Flower power in the city: Replacing roadside shrubs by wildflower meadows increases insect numbers and reduces maintenance costs. *PLOS ONE* **15**, e0234327 (2020).
45. AG Wegraine Niedersachsen. Positionspapier: Biomasseverwertung (Grünschnitt) von Wegrainen, Gewässerrändern und Straßenseitenräumen. (2020).
46. Piepenschneider, M. Energy recovery from grass of urban roadside verges by anaerobic digestion and combustion after pre-processing. *Biomass Bioenergy* **10** (2016).
47. Jakobsson, S., Bernes, C., Bullock, J. M., Verheyen, K. & Lindborg, R. How does roadside vegetation management affect the diversity of vascular plants and invertebrates? A systematic review. *Environ. Evid.* **7**, 17 (2018).
48. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM) (Hrsg.), Unterseher, B. & Stottele, T. Straßenbegleitgrün - Handreichung zur Pflege von Grasflächen an Straßen. [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren/Strassenbegleitgruen\\_Handreichung.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/Brosch%C3%BCren/Strassenbegleitgruen_Handreichung.pdf) (2016).
49. Straßenbegleitgrün - Hinweise zur ökologisch orientierten Pflege von Gras- und Gehölzflächen an Straßen. (2016).
50. Plantlife’s Road Verge Campaign. <https://plantlife.love-wildflowers.org.uk/roadvergecampaign>.
51. Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł. & Banaszak-Cibicka, W. Are all urban green spaces a favourable habitat for pollinator communities? Bees, butterflies and hoverflies in different urban green areas. *Ecol. Entomol.* **44**, 678–689 (2019).
52. Rudolph, M., Velbert, F., Schwenzfeier, S., Kleinebecker, T. & Klaus, V. H. Patterns and potentials of plant species richness in high- and low-maintenance urban grasslands. *Appl. Veg. Sci.* **20**, 18–27 (2017).

53. Norton, B. A. *et al.* Urban meadows as an alternative to short mown grassland: effects of composition and height on biodiversity. *Ecol. Appl.* **29**, (2019).
54. Aguilera, G., Ekroos, J., Persson, A. S., Pettersson, L. B. & Öckinger, E. Intensive management reduces butterfly diversity over time in urban green spaces. *Urban Ecosyst.* **22**, 335–344 (2019).
55. Garbuzov, M., Fensome, K. A. & Ratnieks, F. L. W. Public approval plus more wildlife: twin benefits of reduced mowing of amenity grass in a suburban public park in Saltdean, UK. *Insect Conserv. Divers.* **8**, 107–119 (2015).
56. Buchholz, S., Hannig, K., Möller, M. & Schirmel, J. Reducing management intensity and isolation as promising tools to enhance ground-dwelling arthropod diversity in urban grasslands. *Urban Ecosyst.* **21**, 1139–1149 (2018).
57. Unterweger, P. A., Klammer, J., Unger, M. & Betz, O. Insect hibernation on urban green land: a winter-adapted mowing regime as a management tool for insect conservation. *BioRisk* **13**, 1–29 (2018).
58. Southon, G. E., Jorgensen, A., Dunnett, N., Hoyle, H. & Evans, K. L. Biodiverse perennial meadows have aesthetic value and increase residents' perceptions of site quality in urban green-space. *Landsc. Urban Plan.* **158**, 105–118 (2017).
59. Eckert, S., Möller, M. & Buchholz, S. Grasshopper diversity of urban wastelands is primarily boosted by habitat factors. *Insect Conserv. Divers.* 248–257 (2017) doi:10.1111/icad.12221.
60. Wilke, S. Bodenversiegelung. *Umweltbundesamt*  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung> (2013).
61. Hofmann, M. M. & Renner, S. S. One-year-old flower strips already support a quarter of a city's bee species. *J. Hymenopt. Res.* **75**, 87–95 (2020).
62. Hicks, D. M. *et al.* Food for Pollinators: Quantifying the Nectar and Pollen Resources of Urban Flower Meadows. *PLOS ONE* **11**, e0158117 (2016).
63. Blackmore, L. M. & Goulson, D. Evaluating the effectiveness of wildflower seed mixes for boosting floral diversity and bumblebee and hoverfly abundance in urban areas. *Insect Conserv. Divers.* **7**, 480–484 (2014).
64. Staab, M., Pereira-Peixoto, M. H. & Klein, A.-M. Exotic garden plants partly substitute for native plants as resources for pollinators when native plants become seasonally scarce. *Oecologia* (2020) doi:10.1007/s00442-020-04785-8.
65. Somme, L. *et al.* Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban Ecosyst.* **19**, 1149–1161 (2016).
66. Koch, H. & Stevenson, P. C. Do linden trees kill bees? Reviewing the causes of bee deaths on silver linden (*Tilia tomentosa*). *Biol. Lett.* **13**, 20170484 (2017).
67. Branco, M. *et al.* Urban trees facilitate the establishment of non-native forest insects. *NeoBiota* **52**, 25–46 (2019).
68. *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung.* (Universitätsverlag Göttingen, 2015).
69. Buchholz, S., Tietze, H., Kowarik, I. & Schirmel, J. Effects of a Major Tree Invader on Urban Woodland Arthropods. *PLOS ONE* **10**, e0137723 (2015).
70. Vogel, S., Gossner, M. M., Mergner, U., Müller, J. & Thorn, S. Optimizing enrichment of deadwood for biodiversity by varying sun exposure and tree species: An experimental approach. *J. Appl. Ecol.* **57**, 2075–2085 (2020).

71. Carpaneto, G. M., Mazziotta, A., Coletti, G., Luiselli, L. & Audisio, P. Conflict between insect conservation and public safety: the case study of a saproxylic beetle (*Osmoderma eremita*) in urban parks. *J. Insect Conserv.* **14**, 555–565 (2010).
72. Kowarik, I., Buchholz, S., von der Lippe, M. & Seitz, B. Biodiversity functions of urban cemeteries: Evidence from one of the largest Jewish cemeteries in Europe. *Urban For. Urban Green.* **19**, 68–78 (2016).
73. Adelmann, W. Wie können wir unseren einheimischen Insekten helfen? – Anliegen Natur 41(1). 7–16 (2019).
74. Meunier, C. Pflanzenschutz im Garten: Startseite. *Umweltbundesamt* <https://www.umweltbundesamt.de/pflanzenschutz-im-garten-startseite> (2016).
75. Bundesministerium für Umwelt, Natur- schutz und nukleare Sicherheit (BMU). Insekten- freundlich gärtnern, Praktische Tipps für Ihr Zuhause. (2020).
76. Kurze, S., Heinken, T. & Fartmann, T. Nitrogen enrichment in host plants increases the mortality of common Lepidoptera species. *Oecologia* **188**, 1227–1237 (2018).
77. Grill, A. Was tun wir für Insekten? – Internationale Aktivitäten zum Insektenschutz. *ANLIEGEN Nat.* **41(1)**, 10 (2019).
78. Garbuzov M, Ratnieks FLW. Quantifying variation among garden plants in attractiveness to bees and other flower-visiting insects. *Functional Ecology.* 364–374 (2014).
79. Schellhorn, N. A., Gagic, V. & Bommarco, R. Time will tell: resource continuity bolsters ecosystem services. *Trends Ecol. Evol.* **30**, 524–530 (2015).
80. Der Bienenweidepflanzenkatalog Baden-Württembergs. [http://144.41.33.58/4DAction/W\\_Init/BWPKBW\\_index\\_de.shtml](http://144.41.33.58/4DAction/W_Init/BWPKBW_index_de.shtml). (2019).
81. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. *Bienenweidekatalog - Verbesserung der Bienenweide und des Artenreichtums.* (2019).
82. Projekt 'Blühende Gärten' – damit es summt und brummt! - NABU BW. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.* <https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/bluehendeGaerten/index.html>.
83. Netzwerk Blühende Landschaft - aktiv gegen das Artensterben tätig werden. *Netzwerk Blühende Landschaft* <https://bluehende-landschaft.de/>.
84. Rollings, R. & Goulson, D. Quantifying the attractiveness of garden flowers for pollinators. *J. Insect Conserv.* **23**, 803–817 (2019).
85. Lerman, S. B., Contosta, A. R., Milam, J. & Bang, C. To mow or to mow less: Lawn mowing frequency affects bee abundance and diversity in suburban yards. *Biol. Conserv.* **221**, 160–174 (2018).
86. Gaston, K.J., Smith, R.M., Thompson, K., Warren, P.H. Urban domestic gardens (II): Experimental tests of methods for increasing biodiversity. *Biodivers. Conserv.* 395–413 (2005).
87. MacIvor, J. S. & Packer, L. 'Bee Hotels' as Tools for Native Pollinator Conservation: A Premature Verdict? *PLOS ONE* **10**, e0122126 (2015).
88. NABU-App „Insektenwelt“. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.* <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/insektensommer/mitmachen/24466.html>.
89. Biodiversität auf Betriebsflächen - NABU Niedersachsen. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.* <https://niedersachsen.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/Betriebsflaechen/index.html>.
90. Außenstelle Natur. *Aussenstelle Natur* <https://ausstellenatur.de/>.

91. Mehr Insektenvielfalt auf den Firmengeländen - BMU-Pressemitteilung. *bmu.de*  
<https://www.bmu.de/PM8819>.
92. Ministerium legt neues Förderprogramm mit 7,5 Millionen Euro zu Blühflächen und Biodiversitätspfaden für Kommunen auf. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/ministerium-legt-neues-foerderprogramm-mit-75-millionen-euro-zu-bluehflaechen-und-biodiversitaetspfaden/>.
93. Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Verwaltungsvorschrift zu VwV Förderung Blühflächen und Biodiversitätspfade.
94. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Landschaftspflegeleitlinie Baden-Württemberg (Förderung von Naturschutzmaßnahmen). (2018).
95. Natur nah dran - NABU Baden-Württemberg. *NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V.*  
<https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/naturnahdran/>.
96. NABU Baden-Württemberg. Biologische Vielfalt in Kommunen fördern: Erfahrungen und Tipps aus dem Projekt „Natur nah dran“.  
[http://imperia.verbandsnetz.nabu.de/imperia/md/content/badenwuerttemberg/themen/broschuere\\_natur\\_nah\\_dran2018\\_ansicht.pdf](http://imperia.verbandsnetz.nabu.de/imperia/md/content/badenwuerttemberg/themen/broschuere_natur_nah_dran2018_ansicht.pdf) (2018).
97. Label Stadtgrün naturnah - StadtGrün naturnah. <https://www.stadtgruen-naturnah.de/home/>.
98. Landesgartenschauen. *Baden-Württemberg.de* <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/laendlicher-raum/foerderung/landesgartenschauen/>.
99. Home - Wettbewerb Naturstadt. <https://www.wettbewerb-naturstadt.de/>.
100. Vaihingen - Wettbewerb Naturstadt. <https://www.wettbewerb-naturstadt.de/zukunftsprojekte/vaihingen.html>.
101. Karlsruhe - Wettbewerb Naturstadt. <https://www.wettbewerb-naturstadt.de/zukunftsprojekte/karlsruhe.html>.
102. Ludwigsburg - Wettbewerb Naturstadt. <https://www.wettbewerb-naturstadt.de/zukunftsprojekte/ludwigsburg.html>.
103. Blühende Verkehrsinseln. *Baden-Württemberg.de* <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mensch-umwelt/naturschutz/bluehende-verkehrsinseln/>.
104. Ökologische Nische Friedhof. *BUND - BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland*  
<https://www.bund-niedersachsen.de/ueber-uns/bund-projekte/aktuelle-projekte/oekologische-nische-friedhof/>.
105. Initiative Bunte Wiese Tübingen. *Bunte Wiese Tübingen* <http://www.buntewiese-tuebingen.de/>.
106. Wignall, V. R., Alton, K. & Ratnieks, F. L. W. Garden centre customer attitudes to pollinators and pollinator-friendly planting. *PeerJ* **7**, e7088 (2019).
107. Roloff, A. Ausrufung von Nationalerbe-Bäumen Deutschlands gestartet. 4 (2020).

## **8.14 Dachbegrünung und Fassadenbegrünung**

1. Zentralverbands des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH), Faktenblatt Dachbegrünung. Dachbegrünung: klimafreundlich und kostensparend. (2016).

2. Brenneisen, S. Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban Habitats*. 27–36 (2006).
3. Stutz, B. Green roofs are starting to sprout in American cities. *Yale Environment*. (2010).
4. Blank, L., Vasl, A., Levy, S., Grant, G., Kadas, G., Dafni, A., Blaustein, L. Directions in green roof research: A bibliometric study. *Build. Environ.* 23–28 (2013).
5. Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landsc. Urban Planning*. 147–155 (2010).
6. Brenneisen, S., Baumann, N. & Tausendpfund, D. Ökologischer Ausgleich auf dem Dach: Vegetation und bodenbrütende Vögel. 40 (2009).
7. Brenneisen, S. Ökologisches Ausgleichspotential von Extensiven Dachbegrünungen: Bedeutung des Ersatz-Ökotopts für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung. Geographisches Institut der Universität Basel. (2003).
8. Kadas, G. Rare invertebrates colonizing green roofs in London. *Urban Habitats*. 66–86 (2006).
9. Gonsalves, S. *Green Roofs and Urban Biodiversity: Their Role as Invertebrate Habitat and the Effect of Design on Beetle Community*. <http://archives.pdx.edu/ds/psu/17657> (2000) doi:10.15760/etd.2998.
10. Williams, N. S. G., Lundholm, J. & Scott MacIvor, J. FORUM: Do green roofs help urban biodiversity conservation? *J. Appl. Ecol.* **51**, 1643–1649 (2014).
11. Witt, R. Wildbienen und Wespen auf Gründächern. *Stadt Grün* 35–40 (2015).
12. Riedmiller, J. Untersuchungen zur Anlage, Besiedlung und Vernetzung von anthropogenen Sekundärbiotopen auf Dachflächen. – Diss Univ. Heidelberg. (1994).
13. Klärle, M., Langendörfer, U., Lanig, S. & Popp, F. GREEN-AREA – Intelligentes Gründachkataster auf der Basis von GIS-Daten. *Zfv – Z. Für Geodäsie Geoinformation Landmanagement* 146–150 (2017) doi:10.12902/zfv-0167-2017.
14. Köhler, M. Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin. *Urban Habitats*. 3–26 (2006).
15. Kratschmer, S.-A. Summen auf den Dächern Wiens. Wildbienen (Apidae) auf begrünten Dachflächen und Möglichkeiten ihrer Förderung. Masterarbeit am Department Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung (DIB) / Institut für Integrative Naturschutzforschung an der Universität für Bodenkultur. Wien. (2015).
16. Hofmann, M. M. & Renner, S. S. Bee species recorded between 1992 and 2017 from green roofs in Asia, Europe, and North America, with key characteristics and open research questions. *Apidologie* **49**, 307–313 (2018).
17. Hietel, Elke & Panfyorov, Oleg & Rößner, Ute. Extensive Dachbegrünungen im urbanen Raum. *Transforming Cities*. 18–22 (2016).
18. B. Klausnitzer. *Ökologie der Großstadtf fauna*. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart. (1993).
19. H. J. Mader. Warum haben kleine Inselbiotope hohe Artenzahlen? *Nat. Landsch.* 367–370 (1983).
20. Mann, G. Die Rolle begrünter Dächer in der Stadtökologie. *Biol. Unserer Zeit* **26**, 292–299 (1996).
21. Hirschfelder, A; Zucchi, H. Zur Besiedlung begrünter Gebäudedächer durch Carabiden – ein Beitrag zur Stadtökologie. In: *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz*. 59–66 (1992).
22. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Nr. 88. 490 (1998).
23. Madre, F., Vergnes, A., Machon, N. & Clergeau, P. A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods. *Ecol. Eng.* **57**, 109–117 (2013).

24. Gedge, D. & Kadas, G. Green roofs and biodiversity. *Biologist*. 161–169 (2005).
25. Schrader, S. & Böning, M. Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia*. 347–356 (2006).
26. Hui, S. C. M. & Chan, K. L. Biodiversity assessment of green roofs for green building design. In: *Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*, 22, Hong Kong. (2011).
27. Braaker, S., Ghazoul, J., Obrist, M. K. & Moretti, M. Habitat connectivity shapes urban arthropod communities: the key role of green roofs. *Ecology* **95**, 1010–1021 (2014).
28. Schmauck, S. *Dach- und Fassadenbegrünung. neue Lebensräume im siedlungsbereich. Fakten, Argumente und Empfehlungen*. (Bundesamt für Naturschutz, 2019).
29. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N. et al. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience* 823–833 (2007).
30. Mayrand, F. & Clergeau, P. Green Roofs and Green Walls for Biodiversity Conservation: A Contribution to Urban Connectivity? *Sustainability* **10**, 985 (2018).
31. J. Stotz, N. R. Umweltbericht mit integriertem Gründordnungsplan zum Bebauungsplan „Sandweg-Erweiterung“ in Winterbach. (2018).
32. MacIvor, J. S.; Ruttan, A. und Salehi, B. Exotics on exotics: Pollen analysis of urban bees visiting *Sedum* on a green roof. In: *Urban Ecosystems*. (2014).
33. Schönberg, L. Grünflächenmanagement unter dem Gesichtspunkt der Biodiversität und Nachhaltigkeit. In: Mesago Messe Frankfurt GmbH (Hrsg.): *Tagungsband Facility Management. Messe und Kongress, Frankfurt/ Main, 09.-11.03.2010*. VDE,. 137–146 (2010).
34. Freie und Hansestadt Hamburg, B. für U. und E. (BUE), *Grüne Vielfalt im Wohnquartier*. (2016).
35. Mann, G. Vorkommen und Bedeutung von Bodentieren (Makrofauna) auf begrünten Dächern in Abhängigkeit von der Vegetationsform. - Dissertation Univ. Tübingen. (1998).
36. Kolb, W. *Dachbegrünung. Planung, Ausführung, Pflege*. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. (2016).
37. Köhler, M. *Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung – Konstruktion – Ausführung*. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller. Köln. (2012).
38. Borer, E. T., Seabloom, E. W., & Tilman, D. Plant diversity controls arthropod biomass and temporal stability. *Ecology Letters*. 1457–1464 (2012).
39. Pfoser, N. *Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Diss., Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. (2016).

## **8.15 Nisthilfen**

1. Tschardtke, T., Gathmann, A. & Steffan-Dewenter, I. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. *J. Appl. Ecol.* **35**, 708–719 (1998).
2. MacIvor, J. S. Cavity-nest boxes for solitary bees: a century of design and research. *Apidologie* **48**, 311–327 (2017).
3. Staab, M., Pufal, G., Tschardtke, T. & Klein, A. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments—A systematic overview and user guide. *Methods Ecol. Evol.* **9**, 2226–2239 (2018).
4. Steffan-Dewenter, I. & Schiele, S. Do resources or natural enemies drive bee population dynamics in fragmented habitats? *Ecology* **89**, 1375–1387 (2008).

5. Westrich, P. Nisthilfen für Bewohner vorhandener Hohlräume -A-. *Faszination Wildbienen* [https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen\\_02a.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_02a.php) (2020).
6. Westrich, P. Nisthilfen für im Erdboden nistende Arten. *Faszination Wildbienen* [https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen\\_06.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_06.php) (2020).
7. Zurbuchen, A. & Müller, A. *Wildbienenenschutz - von der Wissenschaft zur Praxis*. Zürich, Bristol Stiftung. (Haupt, 2012).
8. Königslöw, V. von, Klein, A.-M., Staab, M. & Pufal, G. Benchmarking nesting aids for cavity-nesting bees and wasps. *Biodivers. Conserv.* **28**, 3831–3849 (2019).
9. Everaars, J., Strohbach, M. W., Gruber, B. & Dormann, C. F. Microsite conditions dominate habitat selection of the red mason bee (*Osmia bicornis*, Hymenoptera: Megachilidae) in an urban environment: A case study from Leipzig, Germany. *Landsc. Urban Plan.* **103**, 15–23 (2011).
10. Fortel, L., Henry, M., Guilbaud, L., Mouret, H. & Vaissière, B. E. Use of human-made nesting structures by wild bees in an urban environment. *J. Insect Conserv.* **20**, 239–253 (2016).
11. Hofmann, M. M., Fleischmann, A. & Renner, S. S. Foraging distances in six species of solitary bees with body lengths of 6 to 15 mm, inferred from individual tagging, suggest 150 m-rule-of-thumb for flower strip distances. *J. Hymenopt. Res.* **77**, 105–117 (2020).
12. Westrich, P. Nisthilfen für Bewohner von Totholz. *Faszination Wildbienen* [https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen\\_04.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_04.php) (2020).
13. Geslin, B. *et al.* Bee hotels host a high abundance of exotic bees in an urban context. *Acta Oecologica* **105**, 103556 (2020).
14. Taki, H., Kevan, P. G., Viana, B. F., Silva, F. O. & Buck, M. Artificial covering on trap nests improves the colonization of trap-nesting wasps. *J. Appl. Entomol.* **132**, 225–229 (2008).
15. Martins, C. F., Ferreira, R. P. & Carneiro, L. T. Influence of the Orientation of Nest Entrance, Shading, and Substrate on Sampling Trap-Nesting Bees and Wasps. *Neotrop. Entomol.* **41**, 105–111 (2012).
16. Westrich, P. Nisthilfen für Bewohner markhaltiger Stengel. *Faszination Wildbienen* [https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen\\_03.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_03.php) (2020).
17. Westrich, P. Nisthilfen für Steilwandbewohner. *Faszination Wildbienen* [https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen\\_05.php](https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_05.php) (2020).
18. Polidori, C., Casiraghi, M., Lorenzo, M. D., Valarani, B. & Andrietti, F. Philopatry, nest choice, and aggregation temporal–spatial change in the digger wasp *Cerceris arenaria* (Hymenoptera: Crabronidae). *J. Ethol.* **24**, 155–163 (2006).
19. Wesserling, J. & Tschardtke, T. Habitatwahl von bodennistenden Wildbienen und Grabwespen - Pflegemaßnahmen im Experiment (Habitat selection of bees and digger wasps - experimental management of plots). *Mitteilungen Dtsch. Ges. Für Allg. Angew. Entomol.* **9**, 697–701 (1995).
20. Gregory, S. & Wright, I. Creation of patches of bare ground to enhance the habitat of ground-nesting bees and wasps at Shotover Hill, Oxfordshire, England. *Conserv. Evid.* 139–141 (2005).
21. Nichols, R. N., Holland, J. & Goulson, D. Methods for creating bare ground on farmland in Hampshire, UK, and their effectiveness at recruiting ground-nesting solitary bees. 4 (2020).
22. Martin, A., Diestelhorst, O. & Lunau, K. Das alternative Bienenhotel: Künstliche Nistgelegenheiten für erdnistende Bienen und Wespen. 12 (2017).
23. Cane, J. H. Landscaping pebbles attract nesting by the native ground-nesting bee *Halictus rubicundus* (Hymenoptera: Halictidae). *Apidologie* **46**, 728–734 (2015).

## 8.16 Lichtverschmutzung

1. Boyes, D. H., Evans, D. M. & Fox, R. Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity* **21** (2020).
2. Owens, A. C. S. *et al.* Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* **241**, 108259 (2020).
3. Giavi, S., Blösch, S., Schuster, G. & Knop, E. Artificial light at night can modify ecosystem functioning beyond the lit area. *Sci Rep* **10**, 1–11 (2020).
4. Knop, E. *et al.* Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* **548**, 206–209 (2017).
5. Macgregor, C. J. & Scott-Brown, A. S. Nocturnal pollination: an overlooked ecosystem service vulnerable to environmental change. *Emerging Topics in Life Sciences* ETL520190134 (2020) doi:10.1042/ETLS20190134.
6. Grubisic, M., Grunsven, R. H. A. van, Kyba, C. C. M., Manfrin, A. & Hölker, F. Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology* **173**, 180–189 (2018).
7. Parkinson, E., Lawson, J. & Tiegs, S. D. Artificial light at night at the terrestrial-aquatic interface: Effects on predators and fluxes of insect prey. *PLoS ONE* **15**, e0240138 (2020).
8. Svechkina, A., Portnov, B. A. & Trop, T. The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: a systematic literature review. *Landscape Ecol* **35**, 1725–1742 (2020).
9. Kehoe, R. *et al.* Longer photoperiods through range shifts and artificial light lead to a destabilizing increase in host–parasitoid interaction strength. *J Anim Ecol.* **89**, 2508–2516 (2020).
10. Stewart, A. J. A. Impacts of artificial lighting at night on insect conservation. *Insect Conserv Divers* **14**, 163–166 (2021).
11. Kalinkat, G. *et al.* Assessing long-term effects of artificial light at night on insects: what is missing and how to get there. *Insect Conserv Divers* **14**, 260–270 (2021).
12. Bolliger, J. *et al.* Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment. *J Insect Conserv* (2020) doi:10.1007/s10841-020-00235-1.
13. Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C. & Gaston, K. J. A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution* **10** (2020) doi:https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x.
14. Desouhant, E., Gomes, E., Mondy, N. & Amat, I. Mechanistic, ecological, and evolutionary consequences of artificial light at night for insects: review and prospective. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **167**, 37–58 (2019).
15. van Grunsven, R. H. A. *et al.* Experimental light at night has a negative long-term impact on macro-moth populations. *Current Biology* **30**, R694–R695 (2020).
16. Cox, D. T. C., Sánchez de Miguel, A., Dzurjak, S. A., Bennie, J. & Gaston, K. J. National Scale Spatial Variation in Artificial Light at Night. *Remote Sensing* **12**, 1591 (2020).
17. Garrett, J. K., Donald, P. F. & Gaston, K. J. Skyglow extends into the world’s Key Biodiversity Areas. *Anim Conserv* **23**, 153–159 (2020).
18. Falchi, F. *et al.* The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci. Adv.* **2**, e1600377 (2016).
19. Kyba, C. C. M., Kuester, T. & Kuechly, H. U. Changes in outdoor lighting in Germany from 2012–2016. *IJSL* **19**, 112 (2017).
20. Schuler, L. D., Schatz, R. & Berweger, C. D. From global radiance to an increased local political awareness of light pollution. *Environmental Science & Policy* **89**, 142–152 (2018).

21. S. Donatello *et al.* Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals: technical report and criteria proposal, EUR 29631 EN. in (Publications Office of the European Union, 2019).
22. van Grunsven, R. H. A., Becker, J., Peter, S., Heller, S. & Hölker, F. Long-Term Comparison of Attraction of Flying Insects to Streetlights after the Transition from Traditional Light Sources to Light-Emitting Diodes in Urban and Peri-Urban Settings. *Sustainability* **11**, 6198 (2019).
23. Schroer, S., Huggins, B. J., Böttcher, M. & Hölker, F. *Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung*. vol. 543 (Bundesamt für Naturschutz, 2019).
24. Bolliger, J. *et al.* Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology* **47**, 44–56 (2020).
25. Gaston, K. J., Davies, T. W., Bennie, J. & Hopkins, J. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *J Appl Ecol* **49**, 1256–1266 (2012).
26. Eccard, J. A., Scheffler, I., Franke, S. & Hoffmann, J. Off-grid: solar powered LED illumination impacts epigeal arthropods. *Insect Conserv Divers* **11**, 600–607 (2018).
27. NOIRLab, Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), & National Science Foundation. Globe at Night - About. <https://www.globeatnight.org/about.php>.
28. My Sky at Night. <http://www.myskyatnight.com/#about>.
29. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) & im Forschungsverbund Berlin e.V. COST | Loss of the Night Network | LoNNe. <http://www.cost-lonne.eu/>.
30. Küster, I. Verbreitung und Verwendung von Lichtmasterplänen in Großstädten im deutschsprachigen Raum. 100.
31. Stadt Fulda, Der Oberbürgermeister. Dark Sky City – Richtlinie der Stadt Fulda zum nachhaltigen Umgang mit funktionalem und gestalterischem Licht im Außenbereich. [https://www.sternenstadt-fulda.de/d67/beleuchtungs-richtlinie/Web\\_Flyer\\_Lichtrichtlinien.pdf](https://www.sternenstadt-fulda.de/d67/beleuchtungs-richtlinie/Web_Flyer_Lichtrichtlinien.pdf) (2019).
32. Engel, M., Przygoda, C., Credner, T. & Hänel, A. Umweltwettbewerb Außenbeleuchtung - jetzt mitmachen! *Sternenpark Schwäbische Alb* <https://www.sternenpark-schwaebische-alb.de/neues-2021/umweltwettbewerb-aussenbeleuchtung-jetzt-mitmachen.html>.
33. Kyba, C. C. M., Mohar, A., Pintar, G. & Stare, J. Reducing the environmental footprint of church lighting: matching façade shape and lowering luminance with the EcoSky LED. *IJSL* **20**, 1 (2018).
34. Verovnik, R., Fišer, Ž. & Zakšek, V. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. *Journal for Nature Conservation* **28**, 105–111 (2015).
35. Egri, Á. *et al.* Method to improve the survival of night-swarming mayflies near bridges in areas of distracting light pollution. *R. Soc. open sci.* **4**, 171166 (2017).
36. Mészáros, Á., Kriska, G. & Egri, Á. Spectral optimization of beacon lights for the protection of night-swarming mayflies. *Insect Conserv Divers* **14**, 225–234 (2021).
37. Staatsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.). Gesetz zur Änderung des Naturschutzgesetzes und des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes. Vom 23. Juli 2020. *Gesetzblatt für Baden-Württemberg* 651–657 (2020).
38. Leitfaden zur Eindämmung der Lichtverschmutzung - Handlungsempfehlungen für Kommunen. [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop\\_app000007?SID=1763172341&ACTIONxSESxSHOWPIC\(BILDxKEY:%27stmuv\\_natur\\_0025%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=1763172341&ACTIONxSESxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_natur_0025%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)) (2020).

39. Aktionsprogramm Insektenschutz – Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben. *Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, Frankfurt am Main* 68 (2019).
40. Schroer, S., Huggins, B. J., Azam, C. & Hölker, F. Working with Inadequate Tools: Legislative Shortcomings in Protection against Ecological Effects of Artificial Light at Night. *Sustainability* **12**, 2551 (2020).
41. Bundesamt für Naturschutz (BfN). biodiversität - schützen.nutzen.leben: Artenschutz durch umweltverträgliche Beleuchtung.  
<https://biologischevielfalt.bfn.de/bundesprogramm/projekte/projektbeschreibungen/artenschutz-durch-umweltvertraegliche-beleuchtung.html>.
42. Pérez Vega, C., Zielinska-Dabkowska, K. M. & Hölker, F. Urban Lighting Research Transdisciplinary Framework—A Collaborative Process with Lighting Professionals. *IJERPH* **18**, 624 (2021).

## 8.17 Fließgewässer

1. Søndergaard, M. & Jeppesen, E. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration: Ecological quality of lakes and streams. *Journal of Applied Ecology* **44**, 1089–1094 (2007).
2. Geist, J. & Hawkins, S. J. Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges: Aquatic restoration. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* **26**, 942–962 (2016).
3. Palmer, M. & Ruhi, A. Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration. *Science* **365**, eaaw2087 (2019).
4. Leigh, C., Aspin, T. W. H., Matthews, T. J., Rolls, R. J. & Ledger, M. E. Drought alters the functional stability of stream invertebrate communities through time. *J Biogeogr* **46**, 1988–2000 (2019).
5. Haidekker, A. & Hering, D. Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study. *Aquat Ecol* **42**, 463–481 (2008).
6. Wasson, J.-G. *et al.* Large-scale relationships between basin and riparian land cover and the ecological status of European rivers: Relationships between land cover and ecological status. *Freshwater Biology* **55**, 1465–1482 (2010).
7. Song, M.-Y. *et al.* Impact of agricultural land use on aquatic insect assemblages in the Garonne river catchment (SW France). *Aquat Ecol* **43**, 999–1009 (2009).
8. Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Schulz, R. & Liess, M. Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **60**, 140–146 (2005).
9. Riley, W. D. *et al.* Small Water Bodies in Great Britain and Ireland: Ecosystem function, human-generated degradation, and options for restorative action. *Science of The Total Environment* **645**, 1598–1616 (2018).
10. Elosegi, A., Díez, J. & Mutz, M. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. *Hydrobiologia* **657**, 199–215 (2010).
11. Palmer, M. A., Menninger, H. L. & Bernhardt, E. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshwater Biology* **55**, 205–222 (2010).
12. Turunen, J., Markkula, J., Rajakallio, M. & Aroviita, J. Riparian forests mitigate harmful ecological effects of agricultural diffuse pollution in medium-sized streams. *Science of The Total Environment* **649**, 495–503 (2019).

13. Stutter, M. I., Chardon, W. J. & Kronvang, B. Riparian Buffer Strips as a Multifunctional Management Tool in Agricultural Landscapes: Introduction. *J. Environ. Qual.* **41**, 297–303 (2012).
14. Petersen, I., Masters, Z., Hildrew, A. G. & Ormerod, S. J. Dispersal of adult aquatic insects in catchments of differing land use. *Journal of Applied Ecology* **41**, 934–950 (2004).
15. Chovanec, A., Schindler, M. & Rubey, W. Assessing the success of lowland river restoration using dragonfly assemblages (Insecta: Odonata). 16.
16. Jähnig, S. C., Brunzel, S., Gacek, S., Lorenz, A. W. & Hering, D. Effects of re-braiding measures on hydromorphology, floodplain vegetation, ground beetles and benthic invertebrates in mountain rivers. *Journal of Applied Ecology* **46**, 406–416 (2009).
17. Lorenz, A. W., Jähnig, S. C. & Hering, D. Re-Meandering German Lowland Streams: Qualitative and Quantitative Effects of Restoration Measures on Hydromorphology and Macroinvertebrates. *Environmental Management* **44**, 745–754 (2009).
18. Seeney, A., Pattison, Z., Willby, N. J., Boon, P. J. & Bull, C. D. Stream invertebrate diversity reduces with invasion of river banks by non-native plants. *Freshw Biol* **64**, 485–496 (2019).
19. Seeney, A., Eastwood, S., Pattison, Z., Willby, N. J. & Bull, C. D. All change at the water's edge: invasion by non-native riparian plants negatively impacts terrestrial invertebrates. *Biol Invasions* **21**, 1933–1946 (2019).
20. Mathers, K. L., Rice, S. P. & Wood, P. J. Temporal variability in lotic macroinvertebrate communities associated with invasive signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) activity levels and substrate character. *Biol Invasions* **20**, 567–582 (2018).
21. Mathers, K. L. *et al.* Invasive crayfish alter the long-term functional biodiversity of lotic macroinvertebrate communities. *Funct Ecol* 1365–2435.13644 (2020) doi:10.1111/1365-2435.13644.
22. Leuven, R. S. E. W. *et al.* The river Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species. *Biol Invasions* **11**, 1989 (2009).
23. Chucholl, C. Artenschutz durch Krebs Sperren.
24. Li, P. *et al.* The relative importance of green infrastructure as refuge habitat for pollinators increases with local land-use intensity. *J Appl Ecol* **57**, 1494–1503 (2020).
25. Geiger, F., Wäckers, F. L. & Bianchi, F. J. J. A. Hibernation of predatory arthropods in semi-natural habitats. *BioControl* **54**, 529–535 (2009).
26. Gething, K. J. & Little, S. The importance of artificial drains for macroinvertebrate biodiversity in reclaimed agricultural landscapes. *Hydrobiologia* **847**, 3129–3138 (2020).
27. Umweltbundesamt. Gewässerrenaturierung. *Umweltbundesamt* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/gewaesserrenaturierung-start> (2019).
28. Regierungspräsidien Baden-Württemberg. Planungsgrundlagen für gewässerökologische Maßnahmen. <https://rp.baden-wuerttemberg.de/Themen/WasserBoden/Gewaesseroekologie/Seiten/Downloadbereich.aspx>.
29. BfN: Bundesweite Übersicht zu Auenrenaturierungsprojekten. <https://www.bfn.de/themen/gewaesser-und-auenschutz/bundesweiter-auenschutz/gewaesser-und-auenentwicklung/bundesweite-uebersicht.html>.
30. Lagrue, C. *et al.* Experimental shading alters leaf litter breakdown in streams of contrasting riparian canopy cover. *Freshwater Biology* **56**, 2059–2069 (2011).

31. Sarriquet, P. E., Bordenave, P. & Marmonier, P. Effects of bottom sediment restoration on interstitial habitat characteristics and benthic macroinvertebrate assemblages in a headwater stream. *River Res. Applic.* **23**, 815–828 (2007).
32. Harrison, S. S. C. *et al.* The effect of instream rehabilitation structures on macroinvertebrates in lowland rivers: Rehabilitation structures for steam macroinvertebrates. *Journal of Applied Ecology* **41**, 1140–1154 (2004).
33. Sundermann, A. *et al.* Hydromorphological restoration of running waters: effects on benthic invertebrate assemblages: Benthic invertebrate response to restoration. *Freshwater Biology* **56**, 1689–1702 (2011).
34. Verdonschot, R. C. M., Kail, J., McKie, B. G. & Verdonschot, P. F. M. The role of benthic microhabitats in determining the effects of hydromorphological river restoration on macroinvertebrates. *Hydrobiologia* **769**, 55–66 (2016).
35. Baumgartner, S. D. & Robinson, C. T. Short-term colonization dynamics of macroinvertebrates in restored channelized streams. *Hydrobiologia* **784**, 321–335 (2017).
36. Blakely, T. J., Harding, J. S., Mcintosh, A. R. & Winterbourn, M. J. Barriers to the recovery of aquatic insect communities in urban streams. *Freshwater Biol* **51**, 1634–1645 (2006).
37. Lambeets, K. *et al.* Assemblage structure and conservation value of spiders and carabid beetles from restored lowland river banks. *Biodivers Conserv* **17**, 3133–3148 (2008).
38. van Looy, K., Vanacker, S., Jochems, H., de Blust, G. & Dufrêne, M. Ground beetle habitat templates and riverbank integrity. *River Res. Applic.* **21**, 1133–1146 (2005).
39. Pilotto, F., Bertocin, A., Harvey, G. L., Wharton, G. & Pusch, M. T. Diversification of stream invertebrate communities by large wood. *Freshw Biol* **59**, 2571–2583 (2014).
40. Pilotto, F., Harvey, G. L., Wharton, G. & Pusch, M. T. Simple large wood structures promote hydromorphological heterogeneity and benthic macroinvertebrate diversity in low-gradient rivers. *Aquat Sci* **78**, 755–766 (2016).
41. Dabkowski, P. *et al.* The impact of dredging of a small lowland river on water beetle fauna (Coleoptera). *J Limnol* (2016) doi:10.4081/jlimnol.2016.1270.
42. Zawal, A. *et al.* Early post-dredging recolonization of caddisflies (Insecta: Trichoptera) in a small lowland river (NW Poland). *Limnology* **17**, 71–85 (2016).
43. Jourdan, J. *et al.* Reintroduction of freshwater macroinvertebrates: challenges and opportunities: Reintroduction of freshwater macroinvertebrates. *Biol Rev* **94**, 368–387 (2019).
44. de Snoo, G. R. & van der Poll, R. J. Effect of herbicide drift on adjacent boundary vegetation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **73**, 1–6 (1999).
45. Rasran, L. & Vogt, K. Ditches as species-rich secondary habitats and refuge for meadow species in agricultural marsh grasslands. *Appl Veg Sci* **21**, 21–32 (2018).
46. Whatley, M. H., van Loon, E. E., Vonk, J. A., van der Geest, H. G. & Admiraal, W. The role of emergent vegetation in structuring aquatic insect communities in peatland drainage ditches. *Aquat Ecol* **48**, 267–283 (2014).
47. Noordijk, J., Musters, C. J. M., van Dijk, J. & de Snoo, G. R. Vegetation development in sown field margins and on adjacent ditch banks. *Plant Ecol* **212**, 157–167 (2011).
48. Musters, C. J. M. *et al.* Development of biodiversity in field margins recently taken out of production and adjacent ditch banks in arable areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **129**, 131–139 (2009).
49. Best, E. P. H. The impact of mechanical harvesting regimes on the aquatic and shore vegetation in water courses of agricultural areas of the Netherlands. *Vegetatio* **112**, 57–71 (1994).

50. de Snoo, G. R. Unsprayed <sup>®</sup>eld margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. *Landscape and Urban Planning* 10 (1999).
51. Knott, J., Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. Effectiveness of catchment erosion protection measures and scale-dependent response of stream biota. *Hydrobiologia* 830, 77–92 (2019).
52. Gilbert, S. *et al.* Reverse influence of riparian buffer width on herbivorous and predatory Hemiptera. *J. Appl. Entomol.* 139, 539–552 (2015).
53. Stockan, J. A., Baird, J., Langan, S. J., Young, M. R. & Iason, G. R. Effects of riparian buffer strips on ground beetles (Coleoptera, Carabidae) within an agricultural landscape. *Insect Conserv Divers* 7, 172–184 (2014).
54. Bereswill, R., Golla, B., Strelöke, M. & Schulz, R. Entry and toxicity of organic pesticides and copper in vineyard streams: Erosion rills jeopardise the efficiency of riparian buffer strips. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146, 81–92 (2012).
55. McCracken, D. I., Cole, L. J., Harrison, W. & Robertson, D. Improving the Farmland Biodiversity Value of Riparian Buffer Strips: Conflicts and Compromises. *J. Environ. Qual.* 41, 355–363 (2012).
56. Harrison, S. S. C. & Harris, I. T. The effects of bankside management on chalk stream invertebrate communities. *Freshwater Biol* 47, 2233–2245 (2002).
57. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Biotopverbund. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/biotopverbund>.
58. Landesrecht BW § 29 WG | Landesnorm Baden-Württemberg | - Gewässerrandstreifen | Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) vom 3. Dezember 2013 | gültig ab: 13.08.2014. <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&docid=jlr-WasGBW2014V1P29&psml=bsbawueprod.psml&max=true>.
59. § 38 WHG - Einzelnorm. [https://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/\\_38.html](https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/_38.html).
60. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg & WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH. Leitfaden zu Gewässerrandstreifen.

## 8.18 Stillgewässer

1. Seen in Baden-Württemberg. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/seen-in-baden-wuerttemberg>.
2. Belle, S. *et al.* 20th century human pressures drive reductions in deepwater oxygen leading to losses of benthic methane-based food webs. *Quaternary Science Reviews* 137, 209–220 (2016).
3. Pretscher, P. *Kleingewässer schützen und schaffen*. (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID)).
4. Erfolgreicher Kampf gegen den Kalikokrebs. *wissenschaft.de* <https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/erfolgreicher-kampf-gegen-den-kalikokrebs/> (2020).
5. Kalikokrebs: Erstmals Gewässer vollständig von invasiver Tierart befreit. *Badische Neueste Nachrichten* <https://bnn.de/karlsruhe/rheinstetten/kalikokrebs-erstmals-gewaesser-vollstaendig-von-invasiver-tierart-befreit> (2020).
6. Ostendorp, W. *et al.* Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some Central European lakes. *Ecological Engineering* 5, 51–75 (1995).
7. Søndergaard, M. & Jeppesen, E. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration: Ecological quality of lakes and streams. *Journal of Applied Ecology* 44, 1089–1094 (2007).

8. Gabel, F., Garcia, X. F., Schnauder, I. & Pusch, M. T. Effects of ship-induced waves on littoral benthic invertebrates. *Freshwater Biology* **57**, 2425–2435 (2012).
9. Ostendorp, W., Hofmann, H., Teufel, L. & Miler, O. Effects of a retaining wall and an artificial embankment on nearshore littoral habitats and biota in a large Alpine lake. *Hydrobiologia* **847**, 365–389 (2020).
10. Gledhill, D. G., James, P. & Davies, D. H. Pond density as a determinant of aquatic species richness in an urban landscape. *Landscape Ecol* **23**, 1219–1230 (2008).
11. Yamanaka, S. *et al.* Role of flood-control basins as summer habitat for wetland species - A multiple-taxon approach. *Ecological Engineering* **142**, 105617 (2020).
12. Geist, J. & Hawkins, S. J. Habitat recovery and restoration in aquatic ecosystems: current progress and future challenges: Aquatic restoration. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* **26**, 942–962 (2016).
13. Céréghino, R., Boix, D., Cauchie, H.-M., Martens, K. & Oertli, B. The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia* **723**, 1–6 (2014).
14. Biggs, J., Williams, P., Whitfield, M., Nicolet, P. & Weatherby, A. 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* **15**, 693–714 (2005).
15. Lewis-Phillips, J. *et al.* Ponds as insect chimneys: Restoring overgrown farmland ponds benefits birds through elevated productivity of emerging aquatic insects. *Biological Conservation* **241**, 108253 (2020).
16. Ruse, L. P., Greaves, H. M., Sayer, C. D. & Axmacher, J. C. Consequences of pond management for chironomid assemblages and diversity in English farmland ponds: Consequences of pond management for chironomid assemblages. *J Limnol* (2018) doi:10.4081/jlimnol.2018.1789.
17. Raebel, E. M. *et al.* Identifying high-quality pond habitats for Odonata in lowland England: implications for agri-environment schemes: *Odonate conservation and agri-environment schemes*. *Insect Conservation and Diversity* **5**, 422–432 (2012).
18. Raebel, E. M. *et al.* Multi-scale effects of farmland management on dragonfly and damselfly assemblages of farmland ponds. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **161**, 80–87 (2012).
19. Stamenković, O. *et al.* Anthropogenic pressure explains variations in the biodiversity of pond communities along environmental gradients: a case study in south-eastern Serbia. *Hydrobiologia* **838**, 65–83 (2019).
20. Gall, M. L., Chaput-Bardy, A. & Husté, A. Context-dependent local movements of the blue-tailed damselfly, *Ischnura elegans*: effects of pond characteristics and the landscape matrix. *J Insect Conserv* **21**, 243–256 (2017).
21. Iversen, L. L., Rannap, R., Briggs, L. & Sand-Jensen, K. Time-restricted flight ability influences dispersal and colonization rates in a group of freshwater beetles. *Ecol Evol* **7**, 824–830 (2017).
22. Florencio, M., Díaz-Paniagua, C., Gómez-Rodríguez, C. & Serrano, L. Biodiversity patterns in a macroinvertebrate community of a temporary pond network. *Insect Conserv Divers* **7**, 4–21 (2014).
23. Trekels, H., Van de Meutter, F. & Stoks, R. Habitat isolation shapes the recovery of aquatic insect communities from a pesticide pulse: Habitat isolation shapes community recovery. *Journal of Applied Ecology* **48**, 1480–1489 (2011).
24. Santi, E. *et al.* Dependence of animal diversity on plant diversity and environmental factors in farmland ponds. *Community Ecology* **11**, 232–241 (2010).

25. de Haas, E. M. & Kraak, M. H. S. Species-specific responses of two benthic invertebrates explain their distribution along environmental gradients in freshwater habitats. *Science of The Total Environment* **406**, 430–435 (2008).
26. Rasmussen, J. J. *et al.* Identifying potential gaps in pesticide risk assessment: Terrestrial life stages of freshwater insects. *J Appl Ecol* **55**, 1510–1515 (2018).
27. Schmidt, M. H., Lefebvre, G., Poulin, B. & Tschardtke, T. Reed cutting affects arthropod communities, potentially reducing food for passerine birds. *Biological Conservation* **121**, 157–166 (2005).
28. Knoblauch, A. & Gander, A. Reed bed soil stripping as wetland management method: implications for water beetles. *Wetlands Ecol Manage* **28**, 151–161 (2020).
29. Janssen, A., Hunger, H., Konold, W., Pufal, G. & Staab, M. Simple pond restoration measures increase dragonfly (Insecta: Odonata) diversity. *Biodivers Conserv* **27**, 2311–2328 (2018).
30. Moolna, A., Duddy, M., Fitch, B. & White, K. *Citizen science and aquatic macroinvertebrates: public engagement for catchment-scale pollution vigilance*. <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/842559> (2019) doi:10.1101/842559.
31. Blicharska, M. *et al.* Effects of management intensity, function and vegetation on the biodiversity in urban ponds. *Urban Forestry & Urban Greening* **20**, 103–112 (2016).
32. Hassall, C., Hollinshead, J. & Hull, A. Environmental correlates of plant and invertebrate species richness in ponds. *Biodivers Conserv* **20**, 3189–3222 (2011).
33. Abellán, P. *et al.* Irrigation pools as macroinvertebrate habitat in a semi-arid agricultural landscape (SE Spain). *Journal of Arid Environments* **67**, 255–269 (2006).
34. Briggs, A., Pryke, J. S., Samways, M. J. & Conlong, D. E. Macrophytes promote aquatic insect conservation in artificial ponds. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst* **29**, 1190–1201 (2019).
35. Becerra-Jurado, G., Harrington, R. & Kelly-Quinn, M. A review of the potential of surface flow constructed wetlands to enhance macroinvertebrate diversity in agricultural landscapes with particular reference to Integrated Constructed Wetlands (ICWs). *Hydrobiologia* **692**, 121–130 (2012).
36. Fuentes-Rodríguez, F. *et al.* Diversity in Mediterranean farm ponds: trade-offs and synergies between irrigation modernisation and biodiversity conservation: *Macroinvertebrate diversity in farm ponds*. *Freshwater Biology* **58**, 63–78 (2013).
37. Abjornsson, K., Bronmark, C. & Hansson, L.-A. The relative importance of lethal and non-lethal effects of fish on insect colonisation of ponds. *Freshwater Biol* **47**, 1489–1495 (2002).
38. Ruggiero, A., Céréghino, R., Figuerola, J., Marty, P. & Angélibert, S. Farm ponds make a contribution to the biodiversity of aquatic insects in a French agricultural landscape. *Comptes Rendus Biologies* **331**, 298–308 (2008).
39. Bloechl, A., Koenemann, S., Philippi, B. & Melber, A. Abundance, diversity and succession of aquatic Coleoptera and Heteroptera in a cluster of artificial ponds in the North German Lowlands. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* **40**, 215–225 (2010).
40. Declerck, S. *et al.* Ecological characteristics of small farmland ponds: Associations with land use practices at multiple spatial scales. *Biological Conservation* **131**, 523–532 (2006).
41. Kromrey |, von V. Kleingewässer für die Bodenseeregion – Bodensee-Stiftung. <https://www.bodensee-stiftung.org/kleingewaesser-fuer-die-bodenseeregion/>.
42. Bußgeldkatalog in der Binnenschifffahrt - Bußgeldkatalog 2020. [bussgeldkatalog.org](https://www.bussgeldkatalog.org/binnenschifffahrt/) <https://www.bussgeldkatalog.org/binnenschifffahrt/>.

43. Bußgeldkatalog für Sportboote: Alle Infos - Schifffahrt 2020. *bussgeldkatalog.org*  
<https://www.bussgeldkatalog.org/sportboote/>.
44. EinfVO-BSO Verordnung des Verkehrsministeriums zur Einführung der Bodensee-Schifffahrts-Ordnung (EinfVO-BSO) vom 10. Dezember 2001. GBl. 2001, 709 (2002).

## **8.19 Gestaltung von Kulturlandschaften**

1. Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. & Thies, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecol. Lett.* **8**, 857–874 (2005).
2. Tscharntke, T. *et al.* Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* **87**, 661–85 (2012).
3. Tscharntke, T. *et al.* Conserving biodiversity through certification of tropical agroforestry crops at local and landscape scales. *Conserv. Lett.* **8**, 14–23 (2015).
4. Seibold, S. *et al.* Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* **574**, 671–674 (2019).
5. Kormann, U. *et al.* Local and landscape management drive trait-mediated biodiversity of nine taxa on small grassland fragments. *Divers. Distrib.* **21**, 1204–1217 (2015).
6. Ammer, C. *et al.* Waldbewirtschaftung und Biodiversität: Vielfalt ist gefragt. *AFZ Wald* **72**, 20–25 (2017).
7. Schall, P. *et al.* The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *J. Appl. Ecol.* **55**, 267–278 (2018).
8. Davies, B. R., Biggs, J., Williams, P. J., Lee, J. T. & Thompson, S. A comparison of the catchment sizes of rivers, streams, ponds, ditches and lakes: implications for protecting aquatic biodiversity in an agricultural landscape. in *Pond Conservation in Europe* (eds. Oertli, B. *et al.*) 7–17 (Springer Netherlands, 2010). doi:10.1007/978-90-481-9088-1\_2.
9. Ward, J. V. Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biol. Conserv.* **83**, 269–278 (1998).
10. Albert, C. *et al.* Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights. *Ambio* (2020) doi:10.1007/s13280-020-01365-1.
11. Kleijn, D., Rundlöf, M., Scheper, J., Smith, H. G. & Tscharntke, T. Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? *Trends Ecol. Evol.* **26**, 474–481 (2011).
12. Gámez-Virués, S. *et al.* Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. *Nat. Commun.* **6**, 1–8 (2015).
13. Rusch, A. *et al.* Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.* **221**, 198–204 (2016).
14. Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tscharntke, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. Biol. Sci.* **273**, 1715–1727 (2006).
15. Tschumi, M. *et al.* Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *J. Appl. Ecol.* **53**, 1169–1176 (2016).
16. Thies, C. & Tscharntke, T. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. *Science* **285**, 893–895 (1999).

17. Marja, R. *et al.* Effectiveness of agri-environmental management on pollinators is moderated more by ecological contrast than by landscape structure or land-use intensity. *Ecol. Lett.* **22**, 1493–1500 (2019).
18. Roschewitz, I., Hücker, M., Tscharntke, T. & Thies, C. The influence of landscape context and farming practices on parasitism of cereal aphids. *Agric. Ecosyst. Environ.* **108**, 218–227 (2005).
19. Gabriel, D., Thies, C. & Tscharntke, T. Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **7**, 85–93 (2005).
20. Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. & Tscharntke, T. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *J Appl Ecol* 41–49 (2007).
21. Batáry, P., Báldi, A., Kleijn, D. & Tscharntke, T. Landscape-moderated biodiversity effects of agri-environmental management: a meta-analysis. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **278**, 1894–1902 (2011).
22. Thies, C., Roschewitz, I. & Tscharntke, T. The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **272**, 203–210 (2005).
23. Hawkins, B. & Cornell, H. Maximum Parasitism Rates and Successful Biological Control. *Science* **266**, 1886 (1995).
24. Andrén, H. Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review. *Oikos* **71**, 355–366 (1994).
25. Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. Contribution of Small Habitat Fragments to Conservation of Insect Communities of Grassland-Cropland Landscapes. *Ecol. Appl.* **12**, 354–363 (2002).
26. Sirami, C. *et al.* Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **116**, 16442–16447 (2019).
27. Batáry, P. *et al.* The former Iron Curtain still drives biodiversity-profit trade-offs in German agriculture. *Nat. Ecol. Evol.* **1**, 1279–1284 (2017).
28. Grass, I., Batáry, P. & Tscharntke, T. Combining land-sparing and land-sharing in European landscapes. *Adv. Ecol. Res.* **64**, 251–303 (2021).
29. Büchi, L. *et al.* Performance of eleven winter wheat varieties in a long term experiment on mineral nitrogen and organic fertilisation. *Field Crops Res.* **191**, 111–122 (2016).
30. Klimek, S., Marini, L., Hofmann, M. & Isselstein, J. Additive partitioning of plant diversity with respect to grassland management regime, fertilisation and abiotic factors. *Basic Appl. Ecol.* **9**, 626–634 (2008).
31. Bahlai, C. A., Xue, Y., McCreary, C. M., Schaafsma, A. W. & Hallett, R. H. Choosing organic pesticides over synthetic pesticides may not effectively mitigate environmental risk in soybeans. *PLOS ONE* **5**, e11250 (2010).
32. Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G. & Zappalà, L. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere* **87**, 803–812 (2012).
33. Geiger, F. *et al.* Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic Appl. Ecol.* **11**, 97–105 (2010).
34. Müller, C. Impacts of sublethal insecticide exposure on insects — Facts and knowledge gaps. *Basic Appl. Ecol.* **30**, 1–10 (2018).
35. Kleijn, D. *et al.* Ecological intensification: Bridging the gap between science and practice. *Trends Ecol. Evol.* **34**, 154–166 (2019).

36. Chacón-Labela, J., García Palacios, P., Matesanz, S., Schöb, C. & Milla, R. Plant domestication disrupts biodiversity effects across major crop types. *Ecol. Lett.* **22**, 1472–1482 (2019).
37. Lammerts van Bueren, E. T. *et al.* The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.* **58**, 193–205 (2011).
38. Andersen, M. M. *et al.* Feasibility of new breeding techniques for organic farming. *Trends Plant Sci.* **20**, 426–434 (2015).
39. Ponisio, L. C. *et al.* Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **282**, 20141396 (2015).
40. Rosa-Schleich, J., Loos, J., Mußhoff, O. & Tschardtke, T. Ecological-economic trade-offs of Diversified Farming Systems – A review. *Ecol. Econ.* **160**, 251–263 (2019).
41. Schellhorn, N. A., Gagic, V. & Bommarco, R. Time will tell: resource continuity bolsters ecosystem services. *Trends Ecol. Evol.* **30**, 524–530 (2015).
42. Kremen, C. & Miles, A. Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecol. Soc.* **17**, (2012).
43. Lichtenberg, E. M. *et al.* A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. *Glob. Change Biol.* **23**, 4946–4957 (2017).
44. Pe’er, G. *et al.* Adding Some Green to the Greening: Improving the EU’s Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers. *Conserv. Lett.* **10**, 517–530 (2017).
45. Rösch, V., Tschardtke, T., Scherber, C. & Batáry, P. Biodiversity conservation across taxa and landscapes requires many small as well as single large habitat fragments. *Oecologia* **179**, 209–222 (2015).
46. Flohre, A. *et al.* Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. *Ecol. Appl. Publ. Ecol. Soc. Am.* **21**, 1772–1781 (2011).
47. Hass, A. L. *et al.* Maize-dominated landscapes reduce bumblebee colony growth through pollen diversity loss. *J. Appl. Ecol.* **56**, 294–304 (2019).
48. Hass, A. L. *et al.* Landscape configurational heterogeneity by small-scale agriculture, not crop diversity, maintains pollinators and plant reproduction in western Europe. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **285**, 20172242 (2018).
49. Baillod, A. B., Tschardtke, T., Clough, Y. & Batáry, P. Landscape-scale interactions of spatial and temporal cropland heterogeneity drive biological control of cereal aphids. *J. Appl. Ecol.* **54**, 1804–1813 (2017).
50. Clough, Y., Kirchweger, S. & Kantelhardt, J. Field sizes and the future of farmland biodiversity in European landscapes. *Conserv. Lett.* **13**, e12752 (2020).
51. Prager, K. Agri-environmental collaboratives for landscape management in Europe. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **12**, 59–66 (2015).
52. McKenzie, A. J., Emery, S. B., Franks, J. R. & Whittingham, M. J. Landscape-scale conservation: collaborative agri-environment schemes could benefit both biodiversity and ecosystem services, but will farmers be willing to participate? *J. Appl. Ecol.* **50**, 1274–1280 (2013).
53. Landis, D. A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic Appl. Ecol.* **18**, 1–12 (2017).