
Pflanzenvielfalt in Kurzumtriebsplantagen

Barbara Michler, Hagen S. Fischer und Frank Burger

Schlüsselwörter: Phytodiversität, Kurzumtriebsplantagen, Artenzusammensetzung, Waldarten, langjährige Beobachtungsreihe

Zusammenfassung: Kurzumtriebsplantagen (KUP) dienen in erster Linie der Energieholzproduktion, haben aber auch Einfluss auf den Wasser- und Kohlenstoffhaushalt der Landschaft und auf die Biodiversität. In diesem Beitrag wird in zwei Versuchsplantagen der LWF die Phytodiversität der Kurzumtriebsplantagen untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass KUP eine höhere Pflanzen-Artenzahl aufweisen als die sie umgebenden intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen. Die biologisch bewirtschaftete KUP bei Kaufering schnitt dabei besser ab als die dortige konventionelle KUP. Die Analyse der Lebensformenspektren, der soziologischen Artgruppen und der vorhandenen Waldarten in der langjährigen Beobachtungsreihe (1993–2016) der KUP in Wöllershof belegen eine Entwicklung zu größerer Naturnähe. Die langjährige Entwicklung verläuft zyklisch und ist von Ernteterminen geprägt. Die mehrfachen Ernten und der damit verbundene erhöhte Lichtgenuss verändern die Artzusammensetzung immer wieder kurzfristig in Richtung des Ausgangszustands. Mit zunehmender Beschattung kommen aber auch die Waldarten wieder zum Zug. Am Ende des Beobachtungszeitraums hat sich die Bodenflora völlig verändert. Das Niveau der erzielbaren Diversität ist von der lokalen Samenbank der KUP und der Diversität der umgebenden Landschaft abhängig. Freiflächen und naturnahe Hecken im Bewirtschaftungsbereich der KUP begünstigen das Einwandern neuer Arten in die KUP und führen zur Ausbildung von saumartigem Grünland. Der naturschutzfachliche Wert der gesamten Anlage steigt.

Kurzumtriebsplantagen erfreuen sich steigender Beliebtheit als Energieholzlieferanten. Darüber hinaus haben sie weitere Funktionen. Sie beeinflussen u. a. auch das Landschaftsbild und sie stellen ein Potential für die Erhöhung der Biodiversität in der Agrarlandschaft dar (Baum et al. 2009; Kroihner et al. 2010; Naturschutzbund Deutschland [NABU] e.V. 2016). Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) führt seit 1992 Projekte auf Versuchsstandorten

in Ober- und Unterfranken, Oberbayern, Niederbayern, der Oberpfalz und Schwaben durch, die sich mit Anbau, Wuchsleistung und Ernte sowie den ökologischen Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen beschäftigen (Burger 2010; Stoll et al. 2015). Im Fokus der vorliegenden Untersuchung steht die Entwicklung der Bodenvegetation in der KUP und deren Diversität.

Am Beispiel der Kurzumtriebsplantagen bei Kaufering (Landkreis Landsberg am Lech) und bei Wöllershof (Landkreis Neustadt an der Waldnaab) werden folgende Fragen beantwortet:

- Wirkt sich die Vorbehandlung mit Herbiziden auf die Anzahl der Arten aus?
- Wie entwickelt sich die Artenzahl im Beobachtungszeitraum?
- Ändert sich die Artzusammensetzung im Beobachtungszeitraum? Wenn ja, wie?
- Erhöhen Freiflächen die Diversität der KUP?

Die Energiewaldflächen bei Kaufering, liegen auf einer Höhe von 618 m ü. NN im Wuchsbezirk Lechfeld (13.1) auf der mit einer Lösslehmschicht überzogenen Landsberger Platte. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt zwischen 7 ° und 8 °C. Jährlich fallen ca. 1.000 mm Niederschlag (www.bis.bayern.de). Archäologische Funde und Pollenanalysen belegen, dass das Gebiet bereits in der Mittelsteinzeit (9.000 bis 6.500 v. Chr.) von Jägern und Sammlern bewohnt war und seit 7.500 v. Chr. ackerbaulich genutzt wird. Schon zur Römerzeit war das Gebiet waldarm (Meier 2010). Eine intensiv genutzte, von Ackerbau dominierte Agrarlandschaft prägt die direkte Umgebung der KUP. Natürlicherweise würde auf den nährstoffreichen Böden der Sternmieren-Hainbuchen-Stieleichenwald (*Stellario holostae-Carpinetum*) stocken (StMELF 2013). In der weiteren Umgebung existieren jedoch keine naturnahen Waldbestände dieses Typs mehr. Die nächstgelegenen Wälder finden sich in 300 Meter Entfernung in den Lechauen bzw. an der steil ansteigenden Kauferinger Lechleite. Sie repräsentieren jedoch einen anderen Standorttyp. Die KUP wurde erst 2008 angelegt: Sie ist mit Max3-Pappelhybriden im Pflanzverband 1 m × 2 m bestockt. Zwei Varianten wurden implementiert: Der Typ »konventionell« (1,5 ha) ist eine kon-

ventionell bewirtschafteten KUP, sie wurde früher als Grünland genutzt. Der Typ »Bio« (3,1 ha) wurde ohne Herbizideinsatz auf einem Bio-Acker angelegt (Zacios et al 2012). Von 2009–2014 fanden in dieser KUP vegetationskundliche Untersuchungen statt. Die Analyse der Vegetationsdaten von Kaufering soll aufzeigen, wie die Entwicklung der Bodenvegetation im ersten Umtrieb in der biologisch bewirtschafteten, im Vergleich mit der konventionell bewirtschafteten KUP verläuft.

Die KUP in Wöllershof ist eine der ältesten in Bayern. Die Versuchsfläche besteht seit 1992 und ist im Wuchsbezirk Vorderer Oberpfälzer Wald (10.3) auf einer Höhe von 420–440 m ü.NN gelegen. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt ebenfalls zwischen 7 ° und 8 °C. Der Jahresniederschlag beträgt aber nur ca. 700 mm (www.bis.bayern.de). Ausgangsmaterial für die Bodenbildung sind glimmerreiche Gneise, die grusig-lehmig verwittern. Die Standorteinheit ist zumeist ein mäßig frischer bis frischer sandig-grusiger Lehm (Burger 2010). Die potentielle natürliche Waldgesellschaft ist der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*), bei besserer Nährstoffversorgung auch der Waldmeister-Buchenwald (*Galio odorati-Fagetum*). In den Tallagen können Auwälder (*Stellario-Alnetum*) und Bruchwälder (*Alnion*) wachsen. Die Umgebung der KUP ist deutlich strukturierter als in Kaufering. Es finden sich neben Äckern auch Wälder und Hecken. Die KUP liegt auf einem nach Norden exponierten Hang. Oberhalb der KUP schließt ein Acker an, im Westen und Osten grenzt Wald an, im Tal wird eine Fischzuchtanlage betrieben. Die KUP wurde 1992 auf einer Ackerfläche angelegt und hat eine Gesamtfläche von 8 ha. Ein Teil der KUP wird im fünfjährigen Umtrieb bewirtschaftet. Im Beobachtungszeitraum liegen vier Umtriebszeiten (1992–1997, 1998–2002, 2003–2007, 2008–2013). Andere Flächen weisen eine Umtriebszeit von zehn Jahren auf (1992–2002, 2003–2013) (Burger 2010). Auf den Versuchsflächen im fünfjährigen Umtrieb wurde ein einheitlicher Pflanzverband gewählt (2,5m × 0,6m). Für die zehnjährige Umtriebszeit wurde der Abstand in der Reihe auf 1,2m verdoppelt (2,5m × 1,2m). Robinie, Roterle, die Aspensorten Ahle, Tapiau und Münden sowie zwölf Klone der Balsampappel wurden ausgebracht. In die KUP ist ein als Biotop kartierter Hohlweg mit altem Baumbestand integriert (LfU 1990, 2009). Zwei Stromtrassen durchqueren die KUP in Nord-Süd-Richtung. Die Flächen unter der Leitung werden gelegentlich gefräst um Gehölzaufwuchs zu verhindern. Bei der Holzernte werden sie befahren. Den südlichen Rand der KUP bildet eine Hecke mit naturnaher Baum- und Strauchbepflanzung.

Zwischen Hecke und KUP liegt ein ca. 10m breiter Streifen, der wie die Stromtrassen bewirtschaftet wird. Die Entwicklung der Freiflächen (Brachen) unter der Trasse und vor der Hecke wurde in die Analysen mit einbezogen. Seit 1992 wurden Vegetationsaufnahmen in der KUP, in der Freifläche der KUP, in dem angrenzenden Acker und im angrenzenden Grünland erstellt um die Entwicklung der Vegetation zu dokumentieren.

Umgestaltung von Acker zu KUP – Auswirkungen auf die Pflanzenvielfalt

Die Umgestaltung vom Acker zur KUP bedingt eine Veränderung der Standortbedingungen, die sich positiv auf die Pflanzenvielfalt auswirken kann.

Bodenbearbeitung: Äcker werden jährlich gepflügt, in der Folge finden sich in der Begleitvegetation einjährige Arten (Therophyten). Bei der Anlage der KUP wurde der Boden bis in eine Tiefe von 25cm umgepflügt und geeeggt. Danach unterblieb die Bodenbearbeitung. Mehrjährige Arten können sich ansiedeln.

Licht: Die Kronen der Bäume beschatten den Unterwuchs. Mit zunehmendem Alter werden die Kronen dichter, die Beschattung nimmt zu. Lichtkeimer können sich schwerer etablieren. Die geringe Beleuchtungsstärke reduziert die Photosyntheseleistung und damit die Biomasse des Unterwuchses. Schattenpflanzen haben Konkurrenzvorteile. Waldarten können einwandern. Wird die KUP geerntet, verändern sich die Lichtverhältnisse radikal. Lichtliebende Arten sind wieder im Vorteil, schattentolerante Arten werden zurückgedrängt.

Pflanzenschutzmittel: Äcker werden jährlich mit Herbiziden behandelt, um den Kulturpflanzen Wachstumsvorteile zu verschaffen. In der KUP wurde im Herbst und im Frühjahr vor der Pflanzung einmalig ein Totalherbizid angewandt, um die Entwicklung der Begleitvegetation zu verzögern bis sich die Stecklinge der Plantage etabliert haben. Danach wurden keine Herbizide mehr ausgebracht. Noch im Boden vorhandene Samen können sich entwickeln, Arten aus der näheren Umgebung können einwandern.

Düngung: Äcker werden jährlich gedüngt, in Kurzumtriebsplantagen unterbleibt die Düngung. Die Bäume entziehen dem Boden Nährstoffe. Arten, die an nährstoffarme Verhältnisse angepasst sind, könnten sich ansiedeln.

Die Analyse der KUP Wöllershof hat zum Ziel die Entwicklung der Phytodiversität im Zeitraum von 1992–2016 zu beschreiben, zu analysieren und in Bezug zu regional üblichen Bewirtschaftungsformen (Acker, Grünland) zu stellen.

Methoden zur Datenerhebung

Vegetationsaufnahmen

Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode von Braun-Blanquet (1964) angefertigt. In der biologisch und in der konventionell bewirtschafteten KUP in Kaufering wurden von 2009 bis 2014 (sechs Beobachtungsjahre) jährlich sieben Vegetationsaufnahmen, insgesamt 84, erstellt. Hinzu kommen zwei Beobachtungsjahre (14 Vegetationsaufnahmen) in der geernteten KUP (biologisch) 2013 und 2014. Der Beobachtungszeitraum in Wöllershof umfasst 24 Jahre (1992–2016). 458 Vegetationsaufnahmen wurden im bestockten Teil der Versuchsfläche, auf Brachen im bewirtschafteten Bereich der KUP und auf benachbarten Ackerflächen sowie im benachbarten Grünland angefertigt. Folgende Nutzungstypen werden unterschieden:

- KUP, 10-jähriger Umtrieb: 104 Vegetationsaufnahmen
- KUP, 5-jähriger Umtrieb: 185 Vegetationsaufnahmen
- Acker: 77 Vegetationsaufnahmen
- Brache: 70 Vegetationsaufnahmen
- Grünland: 22 Vegetationsaufnahmen

Der Stichprobenumfang der einzelnen Nutzungstypen in Wöllershof ist unterschiedlich. Parameter wie die Häufigkeiten der Lebensformen und andere (siehe unten) können deshalb nicht direkt miteinander verglichen werden. Diese Parameter werden daher als prozentuale Anteile dargestellt. Der Untersuchungsumfang variiert innerhalb des Beobachtungszeitraums. Untersuchungen auf Ackerflächen wurden aufgegeben, da sich auf dem Acker keine Beikräuter mehr fanden. Die Beobachtungen der Grünlandfläche wurden ebenfalls eingestellt, weil sich die Nutzung der Grünlandfläche änderte. Die Aufnahmefläche betrug jeweils 50 m². Die Bearbeiter unterschieden sieben Schätzklassen. Sie wurden bei Berechnungen mit den von Ellenberg (2001) vorgeschlagenen Werten codiert (Tabelle 1). Die Werte entsprechen den Mittelwerten der Schätzklassen.

Symbol	Deckung	Mittlere Deckung
r	sehr wenige Individuen	0,01 %
+	< 1 %	0,1 %
1	1–5 %	3,0 %
2m	1–5 % sehr viele Individuen	5,0 %
2a	5–15 %	10,0 %
2b	15–25 %	20,0 %
3	25–50 %	37,5 %
4	50–75 %	62,5 %
5	75–100 %	87,5 %

Tabelle 1: Codierung der Schätzklassen für die Deckungswerte

Die Aufnahmen aller Untersuchungsjahre wurden in der relationalen Datenbank WeiVegBase (Fischer et al. 2014) integriert. Die Artnamen sind synonymbereinigt und entsprechen der Nomenklatur der GermanSL (Jansen und Dengler 2008). Die Vegetationsaufnahmen pro Nutzungstyp entsprechen einer Zufallsstichprobe. Deshalb können Kennwerte differenziert nach Jahr und Nutzung berechnet werden: z.B. der Mittelwert der Artenzahl (Anteil) differenziert nach Jahr. Die Gesamtdeckung der Arten einer Vegetationsaufnahme wurde anhand der einzelnen Deckungswerte der Arten für die Krautschicht berechnet (Fischer 2015). Die gepflanzten Kulturen und die Feldfrucht des Ackers wurden nicht bewertet.

Diversität

Die floristische Vielfalt der KUP wird anhand der Anzahl der vorkommenden Arten ermittelt. Die Anzahl der Arten der Vegetationsaufnahme wurde berechnet und anschließend ein Mittelwert pro Jahr differenziert nach Nutzung ermittelt.

Lebensformen

Raunkiaer hat 1919 ein System der Lebensformen von Pflanzen erstellt, indem die Arten nach der Lage ihrer Überdauerungsknospen eingeteilt werden. Die Überdauerung ungünstiger Jahreszeiten umfasst neben kalten Wintern auch trockene Jahreszeiten. Es gibt folgende Lebensformen:

- Phanerophyten haben ihre Überdauerungsknospen mehr als 30 cm über dem Boden. Hierzu zählen vor allem Bäume und Sträucher.
- Chamaephyten besitzen Knospen, die zwischen einem und 30 cm über dem Boden liegen. Hierzu gehören etwa Zwergsträucher und Polsterpflanzen.

- Hemikryptophyten haben ihre Überdauerungsknospen unmittelbar an der Bodenoberfläche, sodass sie durch die Laubschicht und im Winter durch Schnee geschützt sind. Die Knospen sitzen häufig an basalen Teilen der vorjährigen Triebe. Die Gräser des Grünlands zählen beispielsweise hierzu.
- Geophyten bilden im Boden verborgene Überdauerungsorgane und -knospen (Rhizome, Knollen und Zwiebeln), die so besonders gut geschützt sind.
- Therophyten sind einmal blühende krautige Arten, die ihren Lebenszyklus in weniger als einem Jahr vollbringen und keine Überdauerungsorgane bilden. Die Überwinterung erfolgt durch die Diasporen (Samen).

Für unsere Fragestellung ist von Interesse, ob eine Entwicklung in der Zusammensetzung der Lebensformen stattfindet.

Ellenberg et al. (2003) ordneten den mitteleuropäischen Arten Lebensformen zu. Für die verschiedenen Nutzungstypen wurde der prozentuale Anteil (relative Häufigkeit) des Vorkommens der einzelnen Lebensformen in den Vegetationsaufnahmen (KUP) ermittelt und ein Mittelwert differenziert nach Jahr und Nutzung berechnet.

Waldarten

Schmidt et al (2011) erstellten eine Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen (1.216 Taxa), Moose und Flechten Deutschlands, differenziert nach naturräumlichen Großregionen. Die Beobachtungspunkte sind der Großregion Hügel- und Bergland zuzuordnen. Die Autoren unterscheiden folgende Kategorien bei der Bindung von Pflanzenarten an Wald:

- 1 weitgehend an Wald gebunden
 - 1.1 vorwiegend im geschlossenen Wald
 - 1.2 vorwiegend an Waldrändern und auf Waldverlichtungen
- 2 im Wald und im Offenland
 - 2.1 im Wald wie im Offenland
 - 2.2 auch im Wald, aber Schwerpunkt im Offenland

Bei Gefäßpflanzen werden die Buchstaben B (Bäume), S (Sträucher), K (Kräuter) verwendet. Die Anzahl der Waldarten pro Vegetationsaufnahme wurde bestimmt und der Anteil der Kategorien differenziert nach Jahr und Nutzung berechnet. Um das Ergebnis übersichtlich zu gestalten, wurden nur die Unterkategorien zu Hauptkategorien, differenziert nach Bäumen, Sträuchern und Kräutern, zusammengefasst:

- 1 weitgehend an Wald gebunden: B1, S1, K1
- 2 im Wald und im Offenland: B2, S2, K2

Soziologische Artengruppen

Die Zuordnung der vorkommenden Arten zu soziologischen Artgruppen spiegelt die Veränderung der Lebensbedingungen auf der Ebene von Pflanzengesellschaften wider.

Ellenberg et al. (2003) differenzieren in der Übersicht der Pflanzengesellschaften Mitteleuropas neun übergeordnete Gruppen von Klassen. Im Datenmaterial treten Arten der folgenden Gruppen auf:

- Klasse 3: krautige Vegetation oft gestörter Plätze (Ruderalarten)
- Klasse 5: anthrozoogene Heiden und Rasen (Grünlandarten)
- Klasse 6: waldnahe Staudenfluren und Gebüsche (Arten der Staudenfluren)
- Klasse 7: Nadelwälder und verwandte Heiden (Nadelwaldarten)
- Klasse 8: Laubwälder und verwandte Gebüsche (Laubwaldarten)

Der Anteil der vorkommenden Arten der soziologischen Artgruppen wurde pro Vegetationsaufnahme bestimmt und der prozentuale Anteil der Artgruppen pro Aufnahme differenziert nach Jahr und Nutzung ermittelt.

Multivariate Analysen

Die Vegetationsaufnahmen wurden multivariat statistisch analysiert. Damit kann zum einen die floristische Entwicklung der KUP im Beobachtungsraum aufgezeigt werden und zum anderen können die Kurzumtriebsplantagen mit Äckern und Brachen und Grünland verglichen werden.

Die statistische Analyse orientiert sich an einer Veröffentlichung von Wildi (1989). Die Analyse der Daten erfolgte mit dem Statistikpaket R (R development core team 2010) mit den Zusatzpaketen vegan (Oksanen et al. 2011), dave (Wildi 2013), RColorBrewer (Neuwirth 2014) sowie ggplot (Wickham 2016) und gclus (Hurley 2012). Die Daten wurden wegen der linkssteilen, rechtsschiefen Verteilung der Deckungswerte transformiert, um den Einfluss einzelner hoher Deckungswerte zu mindern. Die Vegetationsaufnahmen der verschiedenen Bewirtschaftungsformen wurden für die Auswertung differenziert nach Jahren gemittelt. Das Ergebnis der Analysen wird tabellarisch und als Dendrogramm dargestellt. Bei der Klassifikation der Aufnahmen werden Aufnahmegruppen gebildet. Wesentliche Elemente sind die Berechnung einer Ähnlichkeitsmatrix zwischen allen Paaren von Aufnahmen und die Verschmelzung floristisch ähnlicher Aufnahmen zu Gruppen. Als Ähnlichkeitsmaß wird für die Aufnahmen die »Jaccard-Ähnlichkeit« eingesetzt. Die Aufnahmen wur-

den mit einem hierarchischen Clusterverfahren nach Ward (1963) zu Gruppen verschmolzen. Das Ergebnis wird als Dendrogramm dargestellt, das wie folgt interpretiert wird: Die Verschmelzung erfolgt von unten nach oben. Je niedriger die Verschmelzungsebene, desto ähnlicher sind sich Vegetationsaufnahmen, je höher die Verschmelzungsebene desto unähnlicher. Im Diagramm (Dendrogramm der Clusteranalyse und Vegetationstabelle, Abbildung 7) sind verschiedene Gruppen von Vegetationsaufnahmen zu erkennen. Probestellen in unterschiedlichen Gruppen unterscheiden sich in ihrer floristischen Zusammensetzung. Probestellen einer Gruppe sind sich floristisch sehr ähnlich. In der Vegetationstabelle des Diagrammes sind nur Arten dargestellt, die die Aufnahmegruppen signifikant differenzieren. Anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse (Jancey's F-rank: Jancey 1979; Wildi und Orłóci 1996) werden die signifikanten Arten identifiziert.

Ergebnisse aus sechs Jahren Beobachtung

KUP in intensiver, konventioneller Agrarlandschaft im Vergleich zu Bio

Vergleicht man die Entwicklung der Artenzahlen in der biologisch und der konventionell bewirtschafteten KUP, so wird deutlich, dass in beiden Typen die Anzahl der Arten im Beobachtungszeitraum kontinuierlich abgenommen hat. Die biologisch bewirtschaftete

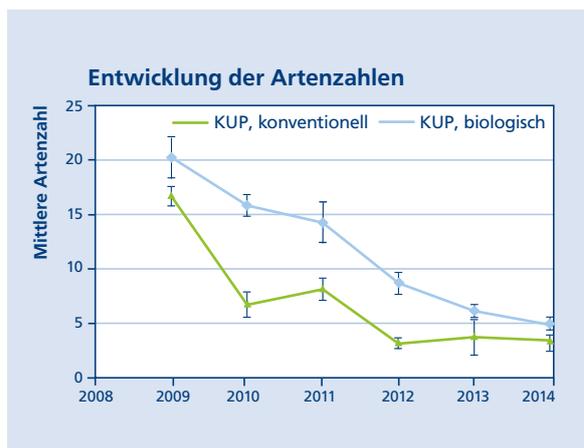


Abbildung 1: Entwicklung der Artenzahlen von 2009 bis 2014 in der konventionell und der biologisch bewirtschafteten KUP in Kaufering; Fehlerbalken: Standardfehler des Mittelwertes. Die Artenzahl nimmt in beiden Bewirtschaftungsformen kontinuierlich ab. In der biologisch bewirtschafteten KUP ist die Artenzahl in jedem Jahr bis 2013 signifikant höher als in der konventionell bewirtschafteten KUP. Der Unterschied verringert sich von Jahr zu Jahr und ist 2014 nicht signifikant.

tete KUP startet mit höheren Werten als die konventionell bewirtschaftete KUP. Nach sechs Jahren weist sie jedoch nur eine geringfügig höhere Artenzahl als die konventionell bewirtschaftete KUP auf. Der Unterschied ist 2014 nicht signifikant. Nach der ersten Ernte stieg die Artenzahl in der biologisch bewirtschafteten KUP wieder an. Wie sich die konventionell bewirtschaftete KUP entwickelt ist noch nicht absehbar. Bisher sind wenige neue Arten hinzugekommen. Spenderpopulationen für Waldarten existieren in der näheren Umgebung nicht.

Entwicklung der Anzahl der Arten von 1992–2016

Auf der KUP in Wöllershof wird die Entwicklung der Anzahl der Arten in den langjährigen Zeitreihen der KUP und der Brachen betrachtet (Abbildung 2).

Die Entwicklung der Artenzahlen verläuft zyklisch und wird von den Ernteterminen geprägt. Die höchsten Artenzahlen finden sich zu Beginn des Beobachtungszeitraums in den KUP: durchschnittlich 29 Arten pro Probestelle. In den Flächen mit 5-jähriger Umtriebszeit nimmt die Anzahl der Arten im ersten Aufwuchs (1993–1997) kontinuierlich ab. Nach der ersten Ernte (1998) steigt sie wieder an und fällt bis Ende des zweiten Aufwuchses (1998–2002) abermals ab. Nach der zweiten Ernte (2003) steigt sie erneut an und fällt bis Ende des dritten Aufwuchses (2003–2007) wieder ab. Im Frühjahr 2008 erfolgte die vierte Ernte, die Anzahl der Arten stieg aufs Neue. Die letzte Ernte erfolgte 2014. Der aktuelle Stand (2016) gleicht der Situation von 2008.

In den Flächen mit 10-jähriger Umtriebszeit ist ähnliches zu beobachten: während der ersten Umtriebszeit (1992–2002) fällt die Artenzahl kontinuierlich. Nach der Ernte (2002) steigt sie an und sinkt bis zum Ende der zweiten Umtriebszeit (2003–2014) wieder ab.

Der Erntebetrieb wirkt sich auch auf die Brachen aus. Die Entwicklung der Artenzahl folgt dem zyklischen Verhalten der KUP. Seit 1999 zeigen die Brachen höhere Artenzahlen wie die angrenzenden Kurzumtriebsplantagen. Am Ende der Zeitreihe weisen die Brachen die höchsten Werte für die Artenzahlen auf.

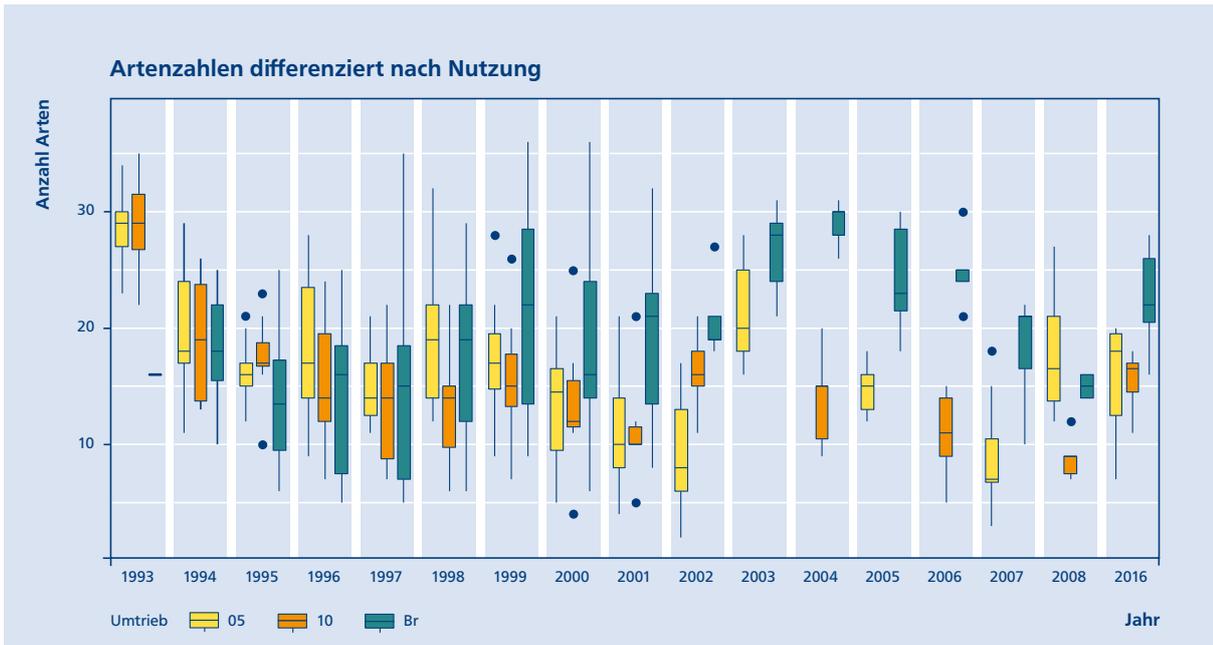


Abbildung 2: Entwicklung der durchschnittlichen Artenzahlen (Median) von 1993 bis 2016; differenziert nach Umtrieb: 05=5-jähriger Umtrieb; 10=10-jähriger Umtrieb; Br=Brache; Ernte des 5-jährigen Umtriebs 1998, 2003, 2008; 2014, Ernte des 10-jährigen Umtriebs 2002, 2014; der Erntetermin liegt im Frühjahr. Die Vegetationsaufnahmen wurden im Sommer erstellt. Die Entwicklung der Artenzahlen verläuft zyklisch und wird von den Ernteterminen geprägt.

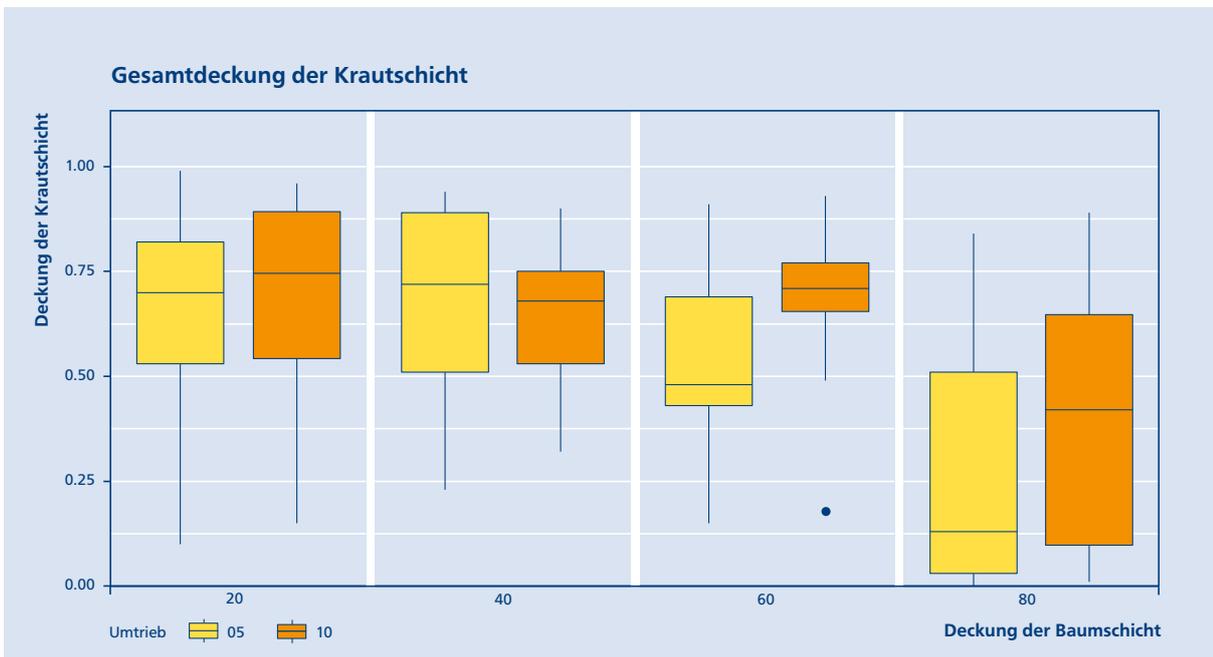


Abbildung 3: Entwicklung der Gesamtdeckung der Krautschicht in Abhängigkeit von der Deckung der Baumschicht in der KUP bei Wöllershof.

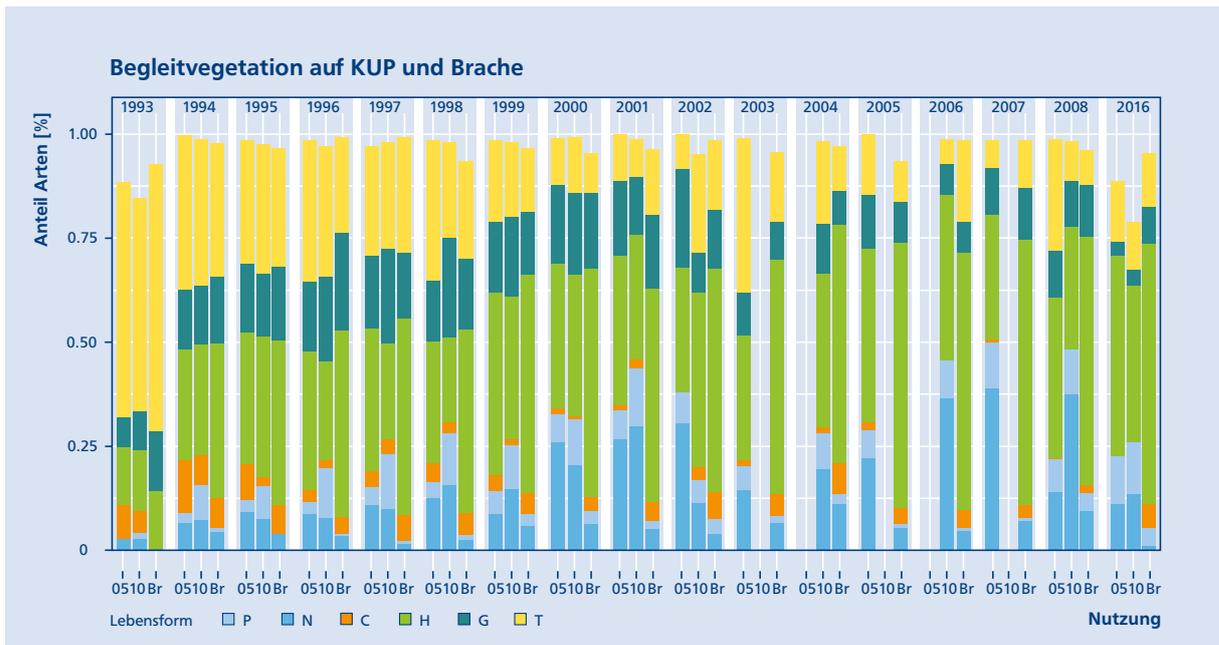


Abbildung 4: Entwicklung der prozentualen Häufigkeit des Vorkommens der Lebensformen von 1993 bis 2016; differenziert nach Nutzung: 05=5-jähriger Umtrieb; 10=10-jähriger Umtrieb; Br=Brache;

P: Phanerophyten (v. a. Bäume und Sträucher)

N: Nanophanerophyten (Strauch oder Kleinbaum, meist 0,5–5 m hoch)

C: Chamaephyten (v. a. Zwergsträucher und Polsterpflanzen)

H: Hemikryptophyten (z. B. Gräser des Grünlands)

G: Geophyten (Überdauerungsorgane im Boden)

T: Therophyten (einmal blühende krautige Arten, Überwinterung durch Diasporen [Samen])

Zu Beginn des Beobachtungsraumes finden sich in allen drei Nutzungsformen der KUP vor allem Therophyten.

Sie weisen auf die frühere Nutzung als Acker hin. Ihr Anteil verringert sich kontinuierlich bis 2016.

Hemikryptophyten nehmen zu. KUP und Brachen entwickeln sich unterschiedlich: In die KUP wandern Bäume und Sträucher ein, in die Brachen Zwergsträucher.

Deckungswerte

Die Deckungswerte der Krautschicht stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Deckung der sie beschattenden Baumschicht. Die Krautschicht weist bei einer Gesamtdeckung der Baumschicht von weniger als 40 Deckungsprozenten im 5- und 10-jährigen Umtrieb Werte zwischen 68 und 75% (Median) auf. Die Unterschiede sind nicht signifikant. Steigt die Deckung der Baumschicht auf 60 Deckungsprozent an, weist die Krautschicht des 10-jährigen Umtriebs mit 71% einen signifikant höheren Wert als der 5-jährige Umtrieb mit 48% auf. Eine Erklärung hierfür mag der weitere Pflanzabstand im 10-jährigen Umtrieb sein, der einen seitlichen Lichteinfall begünstigt. Bei 80% ist eine starke Streuung bei beiden Nutzungsvarianten zu beobachten. Der Unterschied im Medianwert von nahezu 30 Deckungsprozenten ist deshalb nicht signifikant (Abbildung 3).

Entwicklung der Lebensformen

Im ersten Beobachtungsjahr stellen einjährige Lebensformen (T) mit 56% (Median) den Hauptanteil der vorkommenden Arten. Nach der Ernte des 5-jährigen Umtriebs (1998, 2003, 2008) und des 10-jährigen Umtriebs (2002) steigt der Anteil der Therophyten kurzfristig an, fällt dann aber wieder ab. Der hohe Anfangswert wird in den folgenden Jahren nicht mehr erreicht, bis 2016 sinkt der Anteil der Therophyten auf 13%, während im Gegenzug der Anteil der Hemikryptophyten (H) von 14% auf 48% ansteigt. Gehölzpflanzen (P, N und C) sind im 10-jährigen Umtrieb meist zahlreicher vertreten als im 5-jährigen Umtrieb und in den Brachen, und expandieren hier von 8% auf 22%.

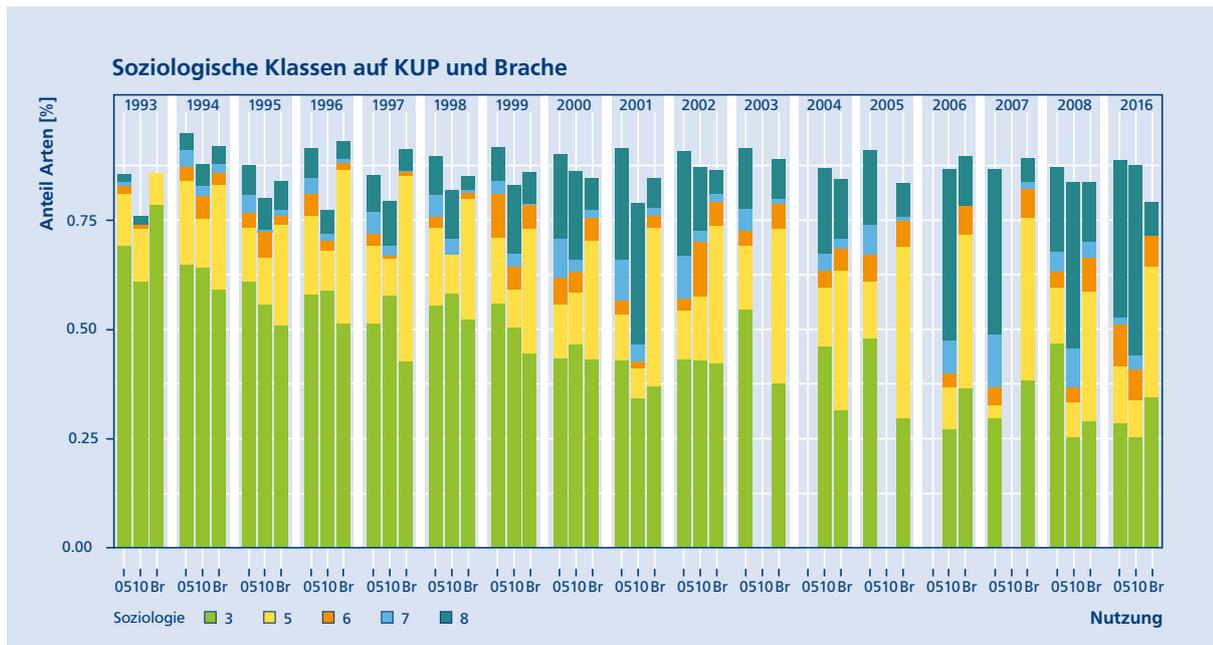


Abbildung 5: Prozentuale Häufigkeit des Vorkommens der soziologischen Klassen; Entwicklung von 1993 bis 2016; differenziert nach Umtrieb: 05 = 5-jähriger Umtrieb; 10 = 10-jähriger Umtrieb; Br = Brache; 3 = Krautige Vegetation oft gestörter Plätze (Ruderalarten); 5 = Anthropo-Zoogene Heiden und Rasen (Grünlandarten); 6 = Waldnahe Staudenfluren und Gebüsche (Arten der Staudenfluren); 7 = Nadelwälder und verwandte Heiden (Nadelwaldarten); 8 = Laubwälder und verwandte Gebüsche (Laubwaldarten). Zu Anfang dominieren Ruderalarten. Am Ende finden sich im bestockten Teil der KUP Arten der Staudenfluren, Nadelwaldarten und Laubwaldarten während sich auf den Brachflächen ein Graslandssystem etabliert hat.

Soziologische Artengruppen

In der KUP und auf den Freiflächen ist der Anteil Ruderalarten (3) von 70% auf 30% zurückgegangen. In den KUP etablieren sich stattdessen vor allem Arten der Laubwälder (40%), der Nadelwälder (2,5%) und der Säume (1,5%) während in den Brachen vor allem Grünlandarten (30%) und in geringerem Umfang Sau-arten (7%) und Arten der Laubwälder (7%) zum Zuge kommen.

Waldarten

1993 lag der Anteil der Waldarten in allen drei Nutzungsformen bei etwa 20%. Nach 23 Jahren hat der Anteil der Waldarten in der Krautschicht (K2) deutlich zugenommen: Im fünfjährigen Umtrieb auf 50%, im 10-jährigen Umtrieb auf 40% und in den Brachen auf 60%. Bäume (B2) und Sträucher (S2) wanderten in die KUP ein und nehmen dort einen Anteil von 20% der Arten ein.

Entwicklung der Artenzusammensetzung

Die Vegetationsaufnahmen der KUP, Wiesen und Äcker wurden gemeinsam analysiert. Das Dendrogramm (Abbildung 7) bildet die Ähnlichkeit der Artzusammensetzung ab. Es zeigt zwei Hauptäste: Links die Nutzungstypen der KUP, rechts Grünland und Acker. Insgesamt werden fünf Hauptgruppen unterschieden: drei innerhalb der KUP, sowie Acker und Grünland. Gruppe 1 stellt die frühen Jahre der KUP und den Zustand im Erntejahr da, Gruppe 4 sind die Brachen, Gruppe 2 sind die späteren Stadien der KUP. In frühen Entwicklungsstadien der KUP und kurz nach der Ernte der KUP sowie in den Freiflächen wachsen Ruderalarten bzw. Therophyten (Arten von *Chenopodium album* einschließlich *Eriogonum acris* in Abbildung 7). Die Arten *Juncus effusus*, *Quercus robur*, *Cirsium palustre*, *Fragaria vesca* und *Fraxinus excelsior* haben ihren Schwerpunkt in den Freiflächen und älteren Entwicklungsstadien der KUP. Es folgen Arten, die auf der Freifläche und in früheren und späteren Entwicklungsstadien der KUP vorkommen (*Geum urbanum* mit *Vicia hirsuta*). Die bisher genannten Arten finden sich nur in geringem Umfang im angrenzenden Acker und Grünland. Sie entstammen wohl der Samenbank der Fläche (ehemaliger Acker) und der näheren Umgebung. Hemikryptophyten, die in der Frei-

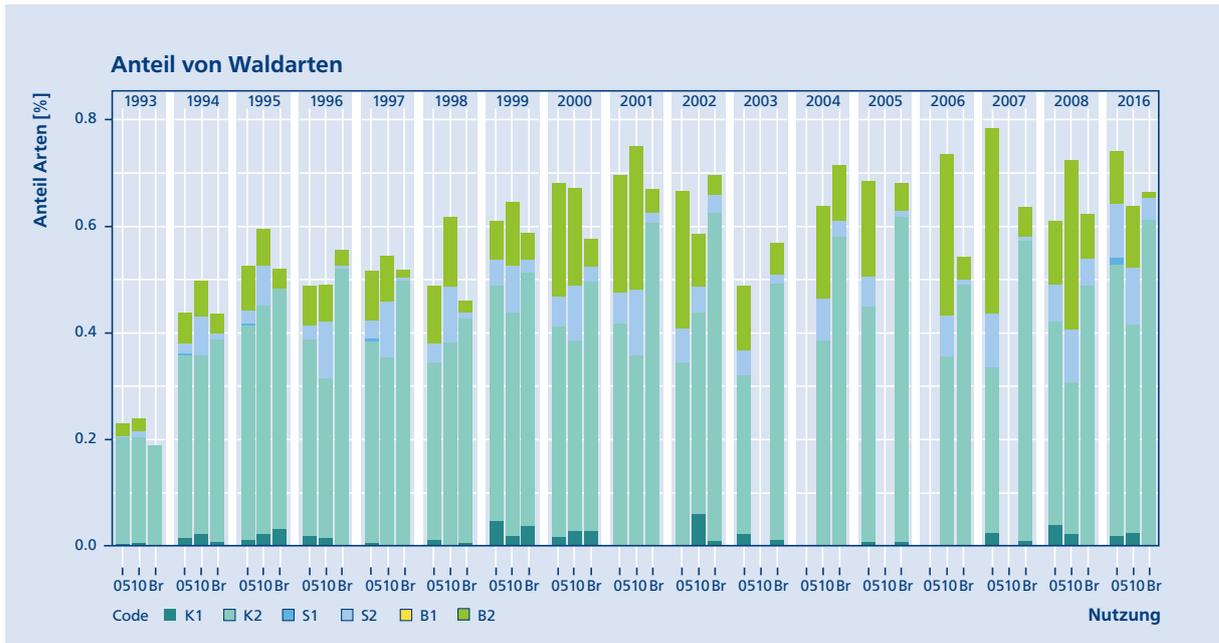


Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Waldarten an der Gesamtanzahl der Arten; Entwicklung von 1993 bis 2016; differenziert nach Nutzungstyp: 05=5-jähriger Umtrieb; 10=10-jähriger Umtrieb; Br=Brache; B=Bäume; S Sträucher; K Kräuter; weitgehend an Wald gebunden: B1, S1; K1; im Wald und im Offenland: B2, S2, K2. Der Anteil der Waldarten hat sich im Beobachtungszeitraum verdreifacht. Den Hauptanteil bilden Kräuter (K2), die sowohl im Wald als auch im Offenland vorkommen.

fläche, in früheren Entwicklungsstadien der KUP und im Acker vorkommen, schließen an (*Taraxacum* bis *Tussilago farfara*). Arten die im Grünland und allen Nutzungstypen bzw. Entwicklungsstadien der KUP, bevorzugt jedoch auf den Freiflächen auftreten (*Trifolium repens* bis *Plantago lanceolata*) schließen an. Am Ende der Tabelle stehen Arten, die nur auf den Freiflächen wachsen (*Erigeron annuus* bis *Agrimonia eupatoria*).

Artenreiche Ökosysteme dank KUP

Kurzumtriebsplantagen sind zunehmend attraktiv für die Energieholzgewinnung, haben aber darüber hinaus oft weitergehende positive ökologische Funktionen. Die Begleitvegetation der KUP wird durch viele Faktoren beeinflusst. Licht und Alter spielen eine Rolle, ebenso die Diversität der Landschaft und die frühere Nutzung der KUP (Baum et al. 2009; Kroiher et al. 2010; Naturschutzbund Deutschland [NABU] e.V. 2016)).

Anhand der langjährigen Beobachtungsreihe (1993–2016) der KUP in Wöllershof konnte gezeigt werden, dass die Biodiversität im Vergleich zum umliegenden intensiv genutzten Acker- und Grünland deutlich

erhöht ist. Die biologisch bewirtschaftete KUP bei Kaufering zeigt dabei deutlich positivere Effekte wie die konventionell bewirtschaftete. Insgesamt ist das Niveau der Diversität in Kaufering niedriger als in Wöllershof. Hier spiegelt sich die geringe Diversität der umgebenden Landschaft wieder. Arten aus der umliegenden Landschaft können nur begrenzt einwandern. Die Anlage einer naturnahen Hecke mit Saumzone wie in Wöllershof verbunden mit einer Freifläche, die als Starthilfe Saatgut für die Entwicklung von artenreichem Grünland enthält, kann diese Landschaft naturschutzfachlich aufwerten.

Die Deckung des Unterwuchses reagiert deutlich auf die Beschattung der Kulturpflanzen. Bei höherer Deckung der Kulturpflanzen (> 60%) geht die Deckung der Krautschicht deutlich zurück, wobei ein weiterer Pflanzabstand der Biodiversität zugutekommt. Dichter Kronenschluss reduziert nicht nur die Deckung der Arten, sondern auch ihre Fertilität. Viele Individuen sind nur vegetativ vorhanden. Die wenigsten gelangen zur Blüte bzw. zur Samenreife. Werden in einer KUP verschiedene Pflanzabstände realisiert, resultiert eine Vielfalt von Lichtverhältnissen, in die sich verschiedene Pflanzenarten einnischen können.



Abbildung 7 (links): Entwicklung der Artenzusammensetzung (1993–2016) in den KUP und regional üblichen Bewirtschaftungsformen (Acker und Grünland).

x-Achse unten: Nutzungstyp, Jahr der Vegetationsaufnahme und Gruppennummer: 05 = 5-jähriger Umtrieb;

10 = 10-jähriger Umtrieb; Br = Brache; Gr = Grünland; Ac = Acker; Gruppe 1–5 (wie x-Achse oben)

x-Achse oben: Dendrogramm der Vegetationsaufnahmen mit zwei Hauptästen (KUP links sowie Acker (3) und Grünland (5) rechts), unterschieden in fünf Hauptgruppen, drei innerhalb der KUP:

2 = frühe Stadien der KUP und Zustand im Erntejahr; 4 = Brachen; 1 = spätere Stadien der KUP

y-Achse: Artname: H = herb (Krautschicht)

Die Intensität des Grüntons korreliert mit der Deckung der Arten:

hellgrün = niedrige, dunkelgrün = hohe Deckung

Die Entwicklung der Anteile verschiedener Lebensformen, soziologischen Artgruppen und typischen Waldarten zeigt im Beobachtungsraum (1993–2016) eine Entwicklung der KUP hin zu größerer Naturnähe. Zu diesem Schluss gelangen auch (Delarze und Ciardo 2002; Kroihner et al. 2010; Baum 2012) anhand kürzerer Beobachtungsreihen. Während die frühen Entwicklungsstadien viele einjährige Ruderalpflanzen und nur wenige typische Waldarten beherbergen, nehmen mit dem Alter der KUP die Anteile ausdauernder Waldarten zu. In Wöllershof konnten sie aus dem Hohlwegbiotop und den angrenzenden Wäldern einwandern. Betrachtet man die langjährige Entwicklung der Vegetation in der KUP in Wöllershof, ist der von Ernteterminen geprägte zyklische Verlauf offensichtlich. Die mehrfachen Ernten und der damit verbundene erhöhte Lichtgenuss verändern die Artzusammensetzung immer wieder kurzfristig in Richtung des Ausgangszustands. Mit zunehmender Beschattung kommen aber auch die Waldarten wieder zum Zug. Am Ende des Beobachtungszeitraums hat sich die Bodenflora völlig verändert. Betrachtet man die mittleren Artenzahlen des 5-jährigen und 10-jährigen Umtriebs, so sind sie nur im ersten Jahr nach der Anlage der KUP deutlich höher als 2016. Auf den gehölzfreien Brache- und Bewirtschaftungsstreifen (Freiflächen) entwickeln sich Grünlandbiotope mit Saumarten, die noch artenreicher sind, als die KUP. Sie unterscheiden sich aber auch deutlich von den intensiv genutzten Acker- und Grünlandflächen der Umgebung. Die Arten stammen wohl aus den umliegenden in die Landschaft eingebetteten Biotopen und den angrenzenden Wäldern. Der NABU (2016) empfiehlt bei der Anlage von KUP Freiflächen und Strauchmäntel zu integrieren. Beides ist in Wöllershof vor 23 Jahren implementiert worden, artenreiches Grünland mit Saumarten konnte sich etablieren. Die statistische Analyse (Abbildung 7) zeigt, dass die KUP ein eigenes artenreiches Ökosystem entwickelt, das sich deutlich (nicht nur durch die anderen Kulturpflanzen) von den Acker- und Wiesensystemen unterscheidet, aus denen sie entstanden sind.

Literatur

Baum, S. (2012): Phytodiversity in Short Rotation Coppice plantations. Online verfügbar unter <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-000D-F05A-1/baum.pdf?sequence=1>.

Baum, S.; With, M.; Kroihner, F.; Bolte, A. (2009): The impact of Short Rotation Coppice plantations on phytodiversity. In: *Agriculture and Forestry Research* 3 (59), S. 163–170, zuletzt geprüft am 16.03.2016.

BayLfU (1990, 2009): Biotopkartierung. www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung_flachland

Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd ed. Springer, Wien.

StMELF (2013): Wald funktionsplan für die Region Augsburg. 102 S.

Burger, F. J. (2010): Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. Diss. TU München

Delarze R, Ciardo F (2002): Rote Liste-Arten in Pappelplantagen. In: *Informationsblatt Forschungsbereich Wald WSL Birmensdorf* (9), S. 3–4

Ellenberg, H.; Weber, H. E.; Düll, R.; Wirth, V. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3rd ed. Verlag, Göttingen.

Ellenberg, H.; Weber, H. E.; Düll, R.; Wirth, V.; Werner, W. (2003): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa – Datenbank. *Scripta Geobotanica XVIII*. Göttingen, Erich Goltze GmbH & Co

Fischer, H. S. (2015): On the combination of species cover values from different vegetation layers. *Applied Vegetation Science* 18, S. 169–170

Fischer, H. S.; Michler, B.; Schwall, M.; Kudernatsch, T.; Walentowski, H.; Ewald, J. (2014): Was wächst denn da? Weihenstephaner Vegetationsdatenbank stärkt künftig die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Freilandökologie. – *LWF aktuell* 103, S. 34–37

Jancey, R. (1979): Species ordering on a variance criterion. *Vegetatio* 39, S. 59–63

Jansen, F.; Dengler, J. (2008): GermanSL – Eine universelle taxonomische Referenzliste für Vegetationsdatenbanken in Deutschland. GermanSL - A universal taxonomic reference list for phytosociological databases in Germany. *Tuexenia* 28, S. 239–253

Kroiher, F.; Baum, S.; Bolte, A. (2010): Pflanzenvielfalt. Ergebnisse aus dem Projekt Novalis. In: Kurzumtriebsplantagen: Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft, S.26–43. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/120410114219pelp.pdf>, zuletzt geprüft am 08.03.2016.

Meier, W. (2010): Die Landsberger Platte, eine Kulturlandschaft mit Geschichte. *Landsberger Geschichtsblätter* 109, S. 5–9

Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. (Hg.) (2016): Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Unter Mitarbeit von Bosch & Partner GmbH. Online verfügbar unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/160303-nabu_naturvertraegliche-anlage-kup.pdf, zuletzt geprüft am 08.03.2016.

Niederberger, J.; Zacios, M.; Burger, F.J.; Grimmeisen, W.; Pertl, L.; Schubert, A.; Schulz, A.; Strebelow J.; Zimmermann, L. (2010): Energiewälder zum Trinkwasserschutz. *LWF aktuell* 75, S. 64.

Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Kindt, R.; Legendre, P.; O'Hara, R.B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; Stevens, M.H.H.; Wagner, H. (2011): *vegan*: Community Ecology Package. R package version 1.17–11. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

Palmer, W. (2012): Ordination Methods – an overview. <http://ordination.okstate.edu/CA.htm>, geprüft am 08.12.2012

R development core team (2010): R: A language and environment for statistical computing. – URL: <http://www.R-project.org/>, Vienna.

Raunkjær, C.C. (1905): Types biologiques pour la géographie botanique. *Overs. Kongl. Danske Vidensk. Selsk. Forh.*, S. 347–437.

Schmidt, M.; Kriebitzsch, W.-U.; Ewald, J. (2011): Waldartenliste der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. Bundesamt für Umweltschutz, Bonn-Bad Godesberg.

Stoll, B.; Burger, F.; Blick, T. (2015): Es wächst und wächst und wächst. Schnellwachsende Baumarten – 20 Jahre Hackschnitzel und positive ökologische Ergebnisse. In: *LWF aktuell* 105/2015 105, S. 4–7, zuletzt geprüft am 08.03.2016.

Ward, J.H. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Amer. Stat. Ass.* 58, S. 236–244

Wickham, H. (2016): *ggplot2*. Elegant Graphics for Data Analysis. 2nd ed. 2016. Cham, s.l.: Springer International Publishing (Use R!). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.

Wildi, O.; Orłóci, L. (1996): Numerical exploration of community patterns. A guide to the use of MULVA-5. 2nd ed. – The Hague: SPB Acad. Publishing. 171 S.

Wildi, O. (1989): A new numerical solution to traditional phytosociological tabular classification. *Vegetatio* 81(1–2), S. 95–106.

Wildi, O. (2013): *Data analysis in vegetation ecology*. 2nd ed. – Wiley-Blackwell, Hoboken, N.J. 301 S.

Wildi, O. (2013): *dave*: Functions for “Data Analysis in Vegetation Ecology”. R package version 1.17–11. <http://CRAN.R-project.org/package=dave>.

Zacios, M.; Niederberger, J.; Seidel, H.; Christoph, H.; Zimmermann, L.; Burger, F. (2012): Hydrologische und ökologische Aspekte bei Kurzumtriebsplantagen. *LWF aktuell* 90, S. 21–23

Keywords: Short Rotation Coppice longterm monitoring, species richness

Summary: Short Rotation Coppice (SRC) are primarily serving wood energy production, but also affect water and carbon balance of the landscape and its biodiversity. In this study phytodiversity of the SRC is examined in two experimental plantations of the LWF. It was shown that SRC are exhibiting plant species richness of the surrounding intensively farmed agricultural land. The organically farmed KUP in Kaufering did better than the local conventional SRC. Analysis of the life-form spectra, the sociological species groups and of the present forest species in the long-term observation series (1993–2016) of the SRC in Wöllershof approve a development to a state closer to nature. The long-term development is cyclical and is marked by harvest dates. The repeated harvests and the resulting increased light supply are short-term changing the species-composition towards the initial state. With increasing shading however the forest species are flourishing. At the end of the observation period, the ground vegetation has completely changed. The level of diversity achieved depends on the local seedbank and on diversity of the surrounding landscape of the SRC. Including open spaces and natural hedges in the management area of the KUP favour the invasion of new species into the SRC and lead to the formation of species-rich grassland. The conservation value of the entire system increases.
