

Untersuchungen zur Biodiversität der Wanzen (Heteroptera) und Zikaden (Auchenorrhyncha) in den Offenlandbiotopen der Spülhalde Davidschacht in Freiberg (Sachsen)

Studies on the biodiversity of true bugs (Heteroptera) and hoppers (Auchenorrhyncha) in open habitats of the flotation tailing Davidschacht in Freiberg (Saxony)

Lysann Funke, Caroline Schulze, Roland Achtziger

Zusammenfassung: Im Jahr 2015 wurden die Offenlandbereiche der Spülhalde Davidschacht (Freiberg, Sachsen) hinsichtlich des Vorkommens, der Abundanz und der Diversität von Wanzen- und Zikadenarten (Hemiptera: Heteroptera und Auchenorrhyncha) untersucht. Um den naturschutzfachlichen Zustand der Spülhalde Davidschacht beurteilen zu können, wurden die Wanzen und Zikaden auf 36 Plots in den unterschiedlichen Biotoptypen (offene Sandfluren, trockene und frische Ruderal- und Saumbereiche) mittels standardisierten Saugfängen sowie qualitativen Kescherfängen erfasst. Zur Auswertung der Daten kamen neben der Berechnung verschiedener Diversitätsindizes (z. B. für die α -, β - und γ -Diversität), bestimmte statistische Methoden (Kruskal-Wallis-Tests, Spearman-Rangkorrelationen), Artenakkumulationskurven („Shinozaki“-Kurven) und NMS-Ordinierungen zum Einsatz. In den strukturreichen Offenlandbereichen des Untersuchungsgebietes konnten insgesamt 86 Wanzenarten (1.414 Individuen) und 66 Zikadenarten (3.119 Individuen) nachgewiesen werden, zum Großteil typische Offenlandbewohner. Dabei wurde ein relativ hoher Anteil an spezialisierten Zikadenarten (22 %) und Rote-Liste-Arten für Deutschland (9 Arten) festgestellt. Auch das häufige Vorkommen der Zikadenart *Enantiocephalus cornutus*, die in Ostdeutschland bisher nur in wenigen Gebieten gefunden wurde, ist bemerkenswert. Entsprechend der jeweils bevorzugten Nahrungspflanzen war die Diversität der Wanzen in den kräuterreichen Biotoptypen höher, die der Zikaden in den gräserdominierten Biotoptypen. Die hohe Diversität der Wanzen und Zikaden in den unterschiedlichen Plots hängt vor allem mit dem vorhandenen Mosaik aus struktur- und pflanzenartenreichen Gras-, Ruderal- und Staudenfluren zusammen. Im Falle einer Sanierung der Spülhalde Davidschacht sollte diese hohe Biodiversität durch entsprechende Renaturierungsmaßnahmen wiederhergestellt werden.

Schlüsselwörter/Keywords: Artengemeinschaften, Bergbaufolgelandschaft, Offenland, Heteroptera, Auchenorrhyncha, biodiversity, species communities, post-mining landscapes, open land

1. Einleitung

Im Rahmen des Studienmoduls „Biotop- und Landschaftsmanagement“ (Studiengang Master Geoökologie, Schwerpunkt Ökosystem- und Landschaftsmanagement) der TU Bergakademie Freiberg wurde 2015 die Spülhalde Davidschacht (Freiberg/Sachsen) untersucht. Die Spülhalde wurde bis zum Jahr 1969 als Absetzanlage für die bei der Erzaufbereitung anfallenden Spülsande genutzt (s. Fritz & Jahns 2017). Nach Beendigung dieser Nutzung fiel die Fläche brach, wobei lediglich in einigen Bereichen Boden aufgebracht wurde, um das Pflanzenwachstum zu fördern (Mollée 2013). Der Haldenbereich ist durch ein Mosaik aus Vorwäldern, Staudenfluren und Ruderalbereichen charakterisiert. Derartige Vegetationsstrukturen bieten Lebensraum/-räume u. a. für Wanzen (Heteroptera) und Zikaden (Auchenorrhyncha). Aufgrund der hohen Lebensraumpräsenz, der Habitatbindung und der Ernährungsweise gelten Wanzen und Zikaden als gut geeignete Indikatorgruppen für naturschutzfachliche Bewertungen (vgl. Achtziger et al. 2007, 2014). So sind Wanzen zum Beispiel für die Beurteilung der Gesamtartenvielfalt und der Biodiversität eines Ökosystems geeignet (s. Duelli & Obrist 1998). Auch die Zikaden können als Indikatoren für die Biodiversität, insbesondere in Grünland- und Offenlandökosystemen, eingesetzt werden (vgl. Achtziger et al. 2014). Um den naturschutzfachlichen Zustand der Spülhalde Davidschacht beurteilen zu können, wurde – neben Vegetations- und Bodenuntersuchungen (s. Aufsfeld 2015, unpubl., Richert et al. 2017, Erler 2017, unpubl.; Wiese 2015, unpubl.) – eine Analyse der Wanzen- und Zikadengemeinschaften auf ausgewählten Plots unterschiedlicher Biotoptypen des Offenlandes durchgeführt. Hierbei stand die Untersuchung des Artvorkommens und der Diversität von Wanzen und Zikaden im Vordergrund.

Es wurde folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- Welche Wanzen- und Zikadenarten kommen in den Offenlandbereichen der Spülhalde Davidschacht vor?
- Wie unterscheidet sich die Artenzusammensetzung der Wanzen und Zikaden in den unterschiedlichen Biotoptypen?
- Wie divers ist das Offenland der Spülhalde Davidschacht hinsichtlich des Vorkommens von Wanzen und Zikaden auf den Plots unterschiedlicher Biotoptypen?
- Worauf kann das Vorkommen und die Diversität der Wanzen und Zikaden auf den Plots der unterschiedlichen Biotoptypen zurückgeführt werden?

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden standardisierte Saugfänge sowie zusätzliche Erfassungen mit einem Kescher und einem Exhaustor durchgeführt und unterschiedliche statistische Auswertungsmethoden eingesetzt.

2. Untersuchungsgebiet und Ausgangssituation

Die Spülhalde Davidschacht befindet sich im Osten der Stadt Freiberg (Sachsen, Deutschland) auf ca. 50° 55' nördlicher Breite und 13° 22' östlicher Länge. Das ca. 6 ha große Untersuchungsgebiet liegt im Norden des Davidschachtkomplexes und wird im Osten von der stillgelegten Bahntrasse Freiberg-Halsbrücke abgegrenzt. Im Westen – ungefähr 300 m entfernt – fließt die Freiburger Mulde, welche sich rund 100 m unterhalb der Spülhalde Davidschacht befindet. Das Untersuchungsgebiet selbst liegt auf ca. 415 m ü. NN. Nach der naturräumlichen Einordnung befindet sich die Spülhalde Davidschacht am nördlichen Rand des Osterzgebirges im Übergang zum Mulde-Lösshügelland im Bereich der mittleren Berglagen mit mäßig feuchtem Klima, wobei der mittlere jährliche Niederschlag bei 818 mm und die mittlere Temperatur bei 7,9°C liegen (Mannsfeld & Syrbe 2008). Geologisch betrachtet befindet sich Freiberg und dessen Umgebung auf einem aufgestiegenem Gneiskomplex (Pälchen & Walter 2008). Durch die wiederholte bruchtektonische Überprägung bildete sich ein Kluftsystem, in welchem sich durch hydrothermale Ablagerungen Polymetallgänge bildeten (Sebastian 2013), welche Grundlage des Jahrhunderte andauernden Bergbaues waren.

Die Spülhalde Davidschacht wurde seit 1944 als Absetzanlage von Spülsanden genutzt, weshalb der Haldenkörper keine natürlichen Böden aufweist. Die Spülsande entstanden während der Erzaufbereitung bei der Gewinnung von PbS-, ZnS-, FeS₂- und FeAsS-Konzentraten (Mollée 2013, Fritz & Jahns 2017). Im Jahr 1969 wurde die Spülhalde Davidschacht für die Nutzung aufgegeben. Danach wurde das Gelände auf einigen Teilflächen gedüngt und Boden aufgebracht, der das Pflanzenwachstum fördern sollte (Mollée 2013). Für die Spülhalde wurde ein hohes bis sehr hohes Gefahrenpotential mit Schwermetallen (z.B. Cadmium, Blei) festgestellt (Kardel et al. 2012), weswegen nach weiteren Untersuchungen der Sanierungsbedarf beschlossen wurde (Martin & Janneck 2012).

Auf Grund der nicht natürlichen Entstehung der Spülhalde und der exponierten Lage sind für die Entwicklung der Vegetation insbesondere die meso- und mikroklimatischen Verhältnisse entscheidend (Baumbach 2013). Nur in Randbereichen (Hangfuß) wird das Untersuchungsgebiet durch die Nutzung der umliegenden Flächen beeinflusst, wodurch sich die Vegetation der Spülhalde weitestgehend ohne anthropogene Nutzung entwickeln konnte. Heute ist auf dem Haldenplateau ein Mosaik aus Vorwäldern, Staudenfluren und Ruderalbereichen zu finden, die Dammhänge sind zum Teil nur spärlich bewachsen.

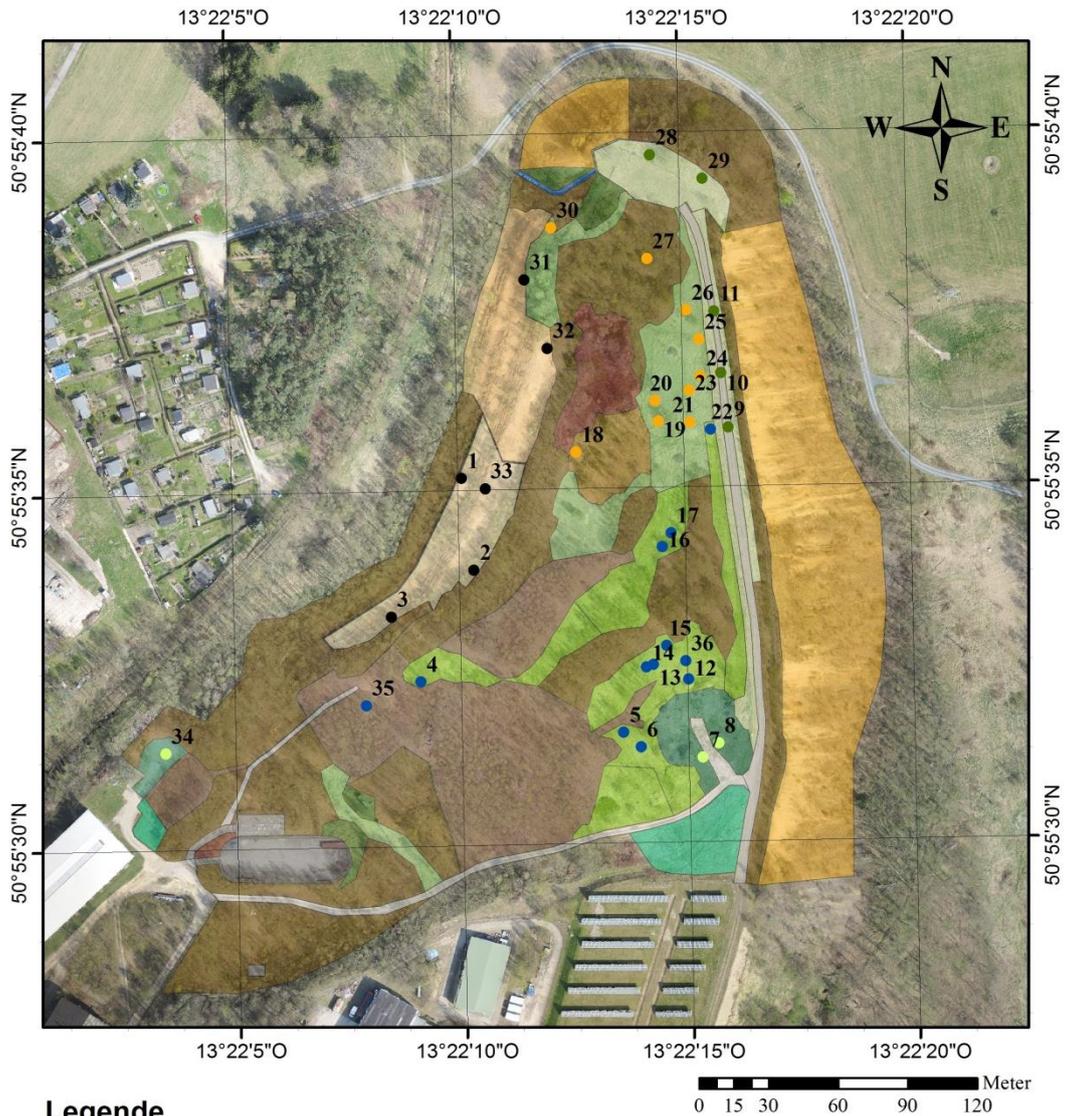
Für die Untersuchung der Wanzen- und Zikadenfauna der Spülhalde Davidschacht wurden in verschiedenen Biotoptypen (nach Aufsfeld 2015, unpubl.) des Offenlandes insgesamt 36 Plots angelegt (vgl. Karte in Abb. 1). Zur Analyse und möglichst vollständigen Erfassung der Wanzen- und Zikadenfauna in den Offenlandbiotopen auf der Spülhalde wurden die 36 Aufnahme-Plots auf die fünf vorhandenen Offenland-Biotoptypen entsprechend Tabelle 1 verteilt (vgl. Abb. 1). Innerhalb der einzelnen Biotoptypen wurden die Plots so ausgewählt, dass möglichst alle vorhandenen Vegetationseinheiten und dominierenden Pflanzenbestände des Offenlandes abgedeckt waren.

Tabelle 1: Zuordnung der Plots zu den Biotoptypen und Anzahl der Plots pro Biotyp (vgl. Abb. 1)

Table 1: Assignment of plots to habitat types and number of plots per habitat type (see Fig. 1).

Biotoptypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, RFf = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RFt = Ruderalfluren trockener Standorte/ ruderal vegetation of dry sites, SFF = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

Biotyp	VAS	RFf	RFt	SFF	SFt
Plot-Nr.	1 2 3 31 32 33	7 8 34	18 19 20 21 23 24 25 26 27 30	4 5 6 12 13 14 15 16 17 22 35 36	9 10 11 28 29
Anzahl	6	3	10	12	5



Legende

Biotoptyp	Biotopeiname	
● VAS	Abraumhalde, Aufschüttung	■ Staudenflur nährstoffreicher frischer Standorte
● RfF	Gebüsch frischer Standorte	■ Staudenfluren (Säume), <i>Fallopia japonica</i>
● RfT	Lagerplatz, bewachsen	■ Staudenfluren Säume trockenwarmer Standorte
● SFf	Lagerplatz, unbewachsen	■ Vegetationsarme Sandfläche, geringe Deckung
● SFt	Ruderalflur frisch bis feuchter Standorte	■ Vegetationsarme Sandfläche, mittlerer Deckung
	Ruderalflur trockenwarmer Standorte, Rot-Straußgras-Flur	■ Vorwald frischer Standorte, birkendominiert
	Sonstiger unbefestigter Weg	■ Vorwald frischer Standorte, gemischt
	Sonstiges extensivgenutztes Grünland frischer Standorte	■ Vorwald trockenwarmer Standorte
		■ Wassertreppe

Abb. 1: Lage der Plots (jeweils 25 m²) in den verschiedenen Biotoptypen der Spülhalde Davidschacht; Biotopbezeichnung nach Aufsfeld (2015, unpubl.). Luftbild geändert nach Zimmermann & Gloaguen (2015).

Fig. 1: Location of plots (25 m² each) in different habitat types of the Davidschacht flotation tailing; labels of habitat types after Aufsfeld (2015, unpubl.). Aerial photo modified after Zimmermann & Gloaguen (2015).

Biotoptypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, RfF = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RfT = Ruderalfluren trockener Standorte/ruderal vegetation of dry sites, SFf = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

3. Material und Methoden

3.1 Erfassung und Bestimmung der Wanzen- und Zikadenarten

Zur quantitativen und qualitativen Erfassung der Wanzen und Zikaden auf den Plots wurden am 29.6.2015 und am 31.07.2015 bei jeweils sonniger und windstiller Witterung im Zeitraum zwischen 10.00 Uhr und 15.00 Uhr mit Hilfe eines Laubsaugers (Modell STIHL SH 85) Saugproben durchgeführt. Das Saugrohr, an dem mit Hilfe einer Schelle ein Stoffbeutel befestigt wurde, wies eine elliptische Öffnung von 121 cm² (a=7 cm, b=5,5 cm) auf. Pro Plot wurde das Saugrohr 25-mal für jeweils 2 Sekunden auf dem Boden aufgesetzt, der Beutelinhalt über einen Klopfrichter in einen Probenbeutel überführt und für den Transport in einer Kühlbox verwahrt. Des Weiteren wurden am 26.08.2015 zur erweiterten qualitativen Wanzen- und Zikadenerfassung gezielte Fänge mit einem Kescher und einem Exhaustor im Offenland auch außerhalb der untersuchten Plots durchgeführt. Die Proben wurden in einem Gefrierfach eingefroren und aufbewahrt.

Die Bestimmung der Wanzen und Zikaden erfolgte mittels eines Stereomikroskopes soweit wie möglich bis auf Artbasis. Die Wanzenbestimmung wurde mit Hilfe von Strauss (2015), Wachmann et al. (2004, 2006, 2007, 2008, 2012) und Wagner (1961) durchgeführt. Zur Bestimmung der Zikaden wurden die Bestimmungswerke Biedermann & Niedringhaus (2004) (Adulte), Stöckmann et al. (2013) (Larven) sowie Kunz et al. (2011) herangezogen. Nicht bis zur Art bestimmbare Larven oder Weibchen wurden anteilmäßig den Arten der bestimmten Männchen in der Probe zugeordnet. Die Angaben zu Habitat (Zikaden) und zum (Haupt-)Lebensraum (Wanzen), zur Ökologie (Zikaden), zur Ernährungsweise einschließlich der Nährpflanzenpräferenz, zur Anzahl der Generationen pro Jahr und zum Überwinterungsstadium wurden Wachmann et al. (2004, 2006, 2007, 2008, 2012) für die Wanzen und Nickel & Remane (2002), Nickel (2003), Walter et al. (2009), Kunz et al. (2011) für die Zikaden entnommen. Die Angaben zum Gefährdungsstatus nach den Roten Listen Deutschlands wurden Simon et al. (in Vorb.) für die Wanzen und Nickel et al. (2016) für die Zikaden entnommen; für die Gefährdung der Zikaden in Sachsen wurde die Rote Liste Sachsens von Walter et al. (2003) herangezogen.

3.2 Erfassung der Vegetation

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Vegetation auf den 36 angelegten Plots nach der Methode von Braun-Blanquet aufgenommen (vgl. z. B. Dierschke 1994). Die genaue Beschreibung der Erfassung ist Richert et al. (2017) zu entnehmen.

3.3 Statistische Auswertemethoden und Ordinierungen

Unter Verwendung der Statistiksoftware Statgraphics® Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc. 1992-2010) wurden für die Analyse nicht normalverteilter Daten nicht-parametrische statistische Verfahren genutzt. Für Mittelwertvergleiche wurden Kruskal-Wallis-Tests, für Korrelationen zwischen numerischen Variablen Spearman-Rangkorrelationsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse der statistischen Tests wurden bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ als signifikant angesehen. Um Aussagen zu den Ähnlichkeiten der Plots hinsichtlich der Artenzusammensetzung treffen zu können, wurden Ordinierungen nach der Methode des Nonmetrical Multidimensional Scalings (NMS-Ordinierungen) mit Hilfe der Software PC-ORD (McCune & Mefford 2011) durchgeführt.

3.4 Berechnung von Shinozaki-Kurven und von alpha-, beta- und gamma-Diversität

Um die Artenzahlen der Wanzen und Zikaden der unterschiedlichen Biotoptypen mit unterschiedlichen Plotanzahlen vergleichen zu können, wurden Shinozaki-Kurven (mittlere Artenakkumulationskurven) mit einem selbst erstellten TURBO PASCAL-Programm berechnet (vgl. Achtziger et al. 1992). Die Shinozaki-Kurven geben unter anderem an, wie viele Arten im Mittel bei einer bestimmten Anzahl an Erfassungseinheiten (= Anzahl der untersuchten Plots) zu erwarten gewesen wären (vgl. Achtziger et al. 1992). Außerdem geben der Anfangspunkt der Kurve die mittlere alpha-Diversität (α -Diversität, lokale Artenzahl), der Endpunkt der Kurve die gamma-Diversität (γ -Diversität, Gesamtartenzahl eines Gebietes oder eines Biotoptypes) wieder; die Krümmung der Kurve gibt zudem die beta-Diversität (β -Diversität, Unterschiede in der Artenzusammensetzung zwischen den einzelnen Untersuchungseinheiten in einem Gebiet wieder (vgl. Achtziger et al. 1992). Die beta-Diversität wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\beta = \gamma / \alpha = S_{\text{ges}} / \bar{S} \quad (1)$$

mit $\gamma = \gamma$ -Diversität = S_{ges} = Artenzahl von einem Gebiet, $\alpha = \alpha$ -Diversität; lokale Artendiversität pro Plot in einem Gebiet und \bar{S} = mittlere Artenzahl pro Plot in einem Gebiet.

Die Abschätzung des Erfassungsgrades und damit der in einem Biotyp bzw. im Gesamtgebiet insgesamt zu erwartenden Arten erfolgte mit Hilfe des „Chao2“ (bias corrected form) (Colwell & Coddington 1994). Der Chao2-Index wurde mit der Software PC-ORD (McCune & Mefford 2011) nach folgender Formel berechnet:

$$S_{\text{Chao2}} = S + r1 (r1-1)(n-1) / (2n (r2+1)) \quad (2)$$

mit n = Anzahl der Plots, S = Artenzahl in einem Gebiet sowie $r1$ und $r2$ = Zahlen der Arten, die nur in einem Plot bzw. in zwei Plots vorkommen.

4. Ergebnisse

4.1 Die Wanzen- und Zikadenfauna der Offenlandbiotope

4.1.1 Die erfassten Arten und ihre Gefährdung

Bei der Untersuchung der Wanzen- und Zikadengemeinschaften konnten insgesamt 86 Wanzenarten aus 1.414 Individuen und 11 Familien sowie 66 Zikadenarten aus 3.119 Individuen und 4 Familien (13 Unterfamilien) nachgewiesen werden. Hierbei wurden 5 Wanzenarten (*Dryophilocoris flavoquadrimaculatus*, *Stictopleurus abutilon*, *Raphigaster nebulosa*, *Corizus hyoscyami*, *Cymus melanocephalus*) und 2 Zikadenarten (*Philaenus spumarius*, *Aphrophora alni*) durch zusätzliche Kescher- und Exhaustorfänge außerhalb der ausgewählten Plots festgestellt. Alle anderen Arten (Wanzen: 81, Zikaden: 64) wurden innerhalb der Plots mit dem Sauggerät erfasst. Die zugehörige kommentierte Artenliste der Wanzen ist in Tabelle A1 im Anhang dargestellt, die der Zikaden in Tabelle A2.

Die erwähnte Zikadenart *Enantiocephalus cornutus* steht mit 8 weiteren Arten in der Vorwarnliste der Roten Liste Deutschlands (vgl. Tabelle A2): *Xanthodelphax straminea*, *Agallia brachyptera*, *Eupelix cuspidata*, *Rhopalopyx adumbrata*, *Mocysiopsis parvicauda*, *Hesium domino* und *Erzaleus metrius*; die Art *Ribautodelphax collina* wird nach der Roten Liste Deutschlands als gefährdet (Gefährdungskategorie 3) angesehen. Für den Freistaat Sachsen konnten 5 Rote-Liste-Arten nachgewiesen werden (vgl. Tabelle A2): *Asiraca clavicornis* (3), *Delphacodes venosus* (V), *Xanthodelphax straminea* (V), *Ribautodelphax collina* (V) und *Rhopalopyx adumbrata* (V).

4.1.2 Charakterisierung der Arten nach Lebensräumen

In Tabelle A3 sind zudem die auf den einzelnen Plots erfassten Individuenzahlen der Wanzen dargestellt, in Tabelle A4 die der Zikaden. Da für die Wanzen- und Zikadenerfassung bewusst Offenlandstandorte gewählt wurden, konnten im Untersuchungsgebiet erwartungsgemäß hauptsächlich Wanzen- und Zikadenarten nachgewiesen werden, welche das Offenland als bevorzugten Lebensraum (Wanzen) bzw. als Nahrungshabitat (Zikaden) nutzen (vgl. Abb. 2). Zu den dominantesten Wanzenarten, welche das Offenland als Hauptlebensraum präferieren, zählten die an Gräser bzw. Grasbestände gebundenen Arten *Stenodema laevigata*, *Peritrechus geniculatus*, *Nabis rugosus*, *Nabis pseudoferus*, *Myrmus miriformis* und *Aelia acuminata*. Die nachgewiesenen Zikadenarten des Offenlandes unterschieden sich u.a. hinsichtlich der mikroklimatischen Gegebenheiten: Die größte Gruppe stellten hierbei Zikadenarten frischer Offenlandstandorte dar (n=43) (vgl. Abb. 2b). Zu den dominantesten Vertretern zählten *Acanthodelphax spinosa*, *Errastunus ocellaris*, *Jassargus pseudocellaris* und *Anoscopus albifrons*. Weniger Zikadenarten konnten im Offenland trockener Standorte (n=6) – z.B. *Enantiocephalus cornutus* – und in sonstigen Offenlandbereichen – z.B. *Eupteryx calcarata* – nachgewiesen werden (vgl. Abb. 2, Tabelle A4).

Da die Spülhalde Davidschacht in Freiberg heute neben Staudenfluren und Ruderalbereichen auch Vorwälder aufweist (vgl. Abb. 1), konnten auf den Plots sowohl Wanzenarten (n=13) als auch Zikadenarten (n=9) nachgewiesen werden, welche ihren Hauptlebensraum bzw. ihr Habitat eher in Waldbereichen (Wald, Waldränder, waldähnliche Gehölze/Gebüsche, Totholz) haben (vgl. Abb. 2). Beispielhaft können diesbezüglich die dominantesten Wanzenarten *Derephysia foliacea*, *Palomena prasina* und *Heterotoma planicornis* und die dominantesten Zikadenarten *Recilia coronifer* und *Eupteryx urticae* genannt werden. Aufgrund des geringen Vorkommens von Trocken- und Feuchtbiotopen auf der Spülhalde Davidschacht waren nur wenige Wanzenarten vertreten, welche diesen Lebensraum bevorzugen (vgl. Abb. 2).

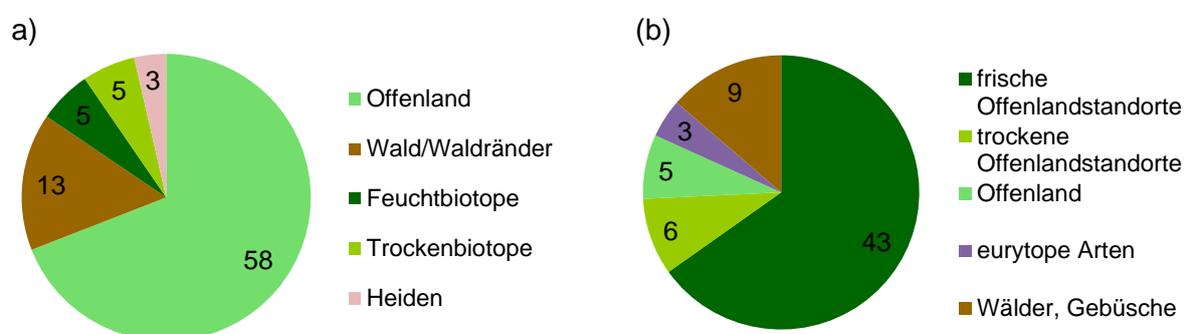


Abb. 2: Anzahl der Wanzenarten (a) und Zikadenarten (b) hinsichtlich der bevorzugten Hauptlebensraumtypen.

Fig. 2: Numbers of true bugs species (a) and hopper species (b) of preferred habitat type.

4.1.3 Charakterisierung der Arten nach Ernährungsweise und Nahrungspflanzen

Die Wanzen und Zikadenarten unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Ernährungsweise. Während sich die Zikaden ausschließlich phytophag ernähren, konnten auf den Plots Wanzenarten nachgewiesen werden, deren Ernährungsweise phytophag, entomophytophag und entomophag ist. Hauptsächlich konnten phytophage Wanzenarten (n=63), gefolgt von entomophagen (n=14) und entomophytophagen Wanzenarten (n=7) gefunden werden (vgl. Abb. 3a).

Bei Betrachtung von Abb. 3b wird deutlich, dass am häufigsten oligotopie Zikadenarten (n=28), gefolgt von eurytopen Zikadenarten (n=18) nachgewiesen wurden. Zudem konnten einige Spezialisten (n=13), wie zum Beispiel *Arthaldeus arenarius* (*Calamagrostis epigejos*), *Balclutha rhenana* (*Phalaris arundinacea*), *Mocydropsis parvicauda* (*Agrostis capillaris*) und *Stenocranus minutus* (*Dactylis glomerata*) im untersuchten Gebiet erfasst werden (vgl. Tabelle A2). Die Zikadenarten, welche als sogenannte Pionierarten bezeichnet werden, nahmen mit 4 Arten nur eine untergeordnete Rolle ein (s. Abb. 3b).

In Abb. 4 ist dargestellt, welche Pflanzen (z. B. Gräser, Kräuter) von den erfassten Wanzen- und Zikadenarten bevorzugt als Nahrungsgrundlage angenommen werden. Während ein Großteil der nachgewiesenen Wanzenarten (33 von 87 Arten) unterschiedlichste Kräuterarten verschiedener Pflanzenfamilien (z. B. Urticaceae, Fabaceae, Asteraceae, Apiaceae) als Nährpflanzen präferieren (Abb. 4a), bevorzugen die meisten Zikadenarten (45 von 66 Arten) Gräser, insbesondere verschiedene Poaceae-Arten als Nährpflanzen (Abb. 4b). Zwar werden von den Wanzen auch Gräser als Nährpflanzen genutzt (n=16), jedoch – unter Berücksichtigung der jeweiligen Gesamtartenzahlen – nicht in dem Umfang, wie es bei den ermittelten Zikadenarten feststellbar ist. Im Gegenzug dazu konnten weniger Zikadenarten (n=9) mit Präferenz für Kräuter erfasst werden. Die Anzahl der an Kräutern und Gräsern lebenden Wanzen und Zikadenarten ist mit 3 bzw. 5 Arten (Zikaden bzw. Wanzen) sehr gering und relativ ausgeglichen. Dies zeigt sich auch für die Anzahl der Wanzen- und Zikadenarten, welche Holzgewächse bzw. Bestandteile dieser als Nährpflanzen präferieren (vgl. Abb. 4).

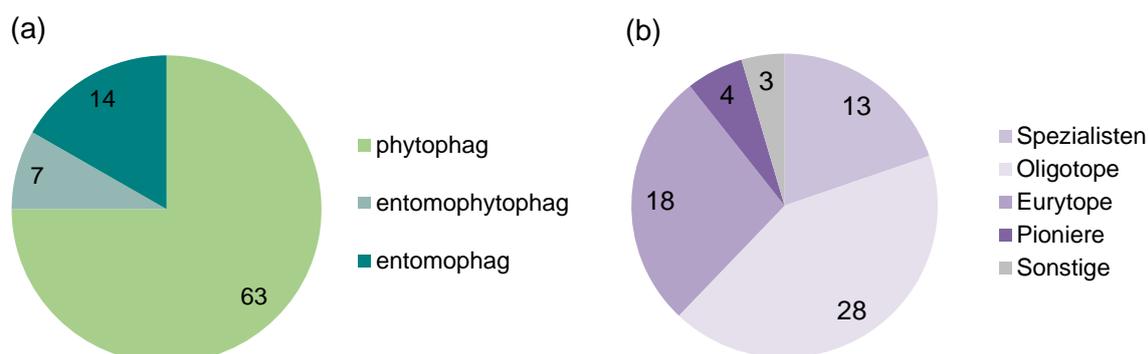


Abb. 3: (a) Verteilung der Wanzenarten auf die Ernährungsweise und (b) Verteilung der Zikadenarten bzgl. des ökologischen Spezialisierungsgrades.

Fig. 3: (a) Distribution of bugs species on the feeding specificity and (b) distribution of hopper species on ecological specificity.

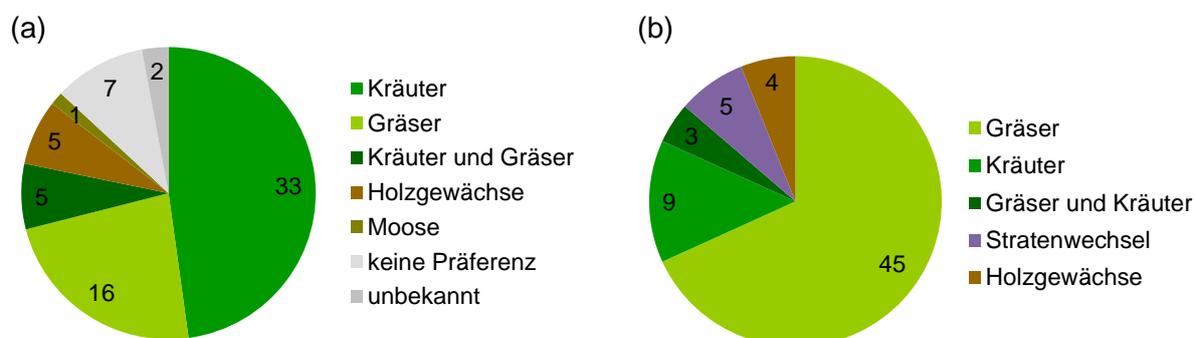


Abb. 4: Nährpflanzenpräferenzen der Wanzen- (a) und Zikadenarten (b).

Fig. 4: Food plant preferences of true bugs (a) and hoppers (b).

4.2 Vergleich der Biotypen hinsichtlich ihrer Wanzen- und Zikadenarten

4.2.1 Vergleich der Artenzahlen, Habitat- und Nahrungspräferenzen

In diesem Kapitel werden die Artenzahlen der Wanzen und Zikaden zwischen den verschiedenen Biotypen verglichen. Die Abb. 5 zeigt, dass die Biotypen in unterschiedlicher Anzahl von Wanzen- und Zikadenarten besiedelt waren. Es fällt auf, dass sich die Anzahl der Wanzenarten in allen Biotypen signifikant voneinander unterschied ($p=0,0001$): $VAS < RFt < SFf < SFt < RFf$ (s. Abb. 5a). Somit trat im Biotyp VAS im Mittel die geringste Artenzahl mit 2 Wanzenarten auf, was aufgrund der Vegetationsarmut absehbar war. Die größte Spannweite hinsichtlich der Wanzenartenzahlen wies der Biotyp SFf mit 4 bis 19 Arten auf. Die höchste Wanzenartenzahl konnte mit 21 Wanzenarten im Mittel im Biotyp RFf festgestellt werden.

Ein ähnliches Muster zeigte sich auch beim Vergleich der Wanzenarten des Offenlandes zwischen den Biotypen und beim Vergleich der phyto- und entomophytophagen Wanzenarten zwischen den Biotypen (Abb. 6). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass der Biotyp RFf anscheinend ein bedeutender Lebensraum für die nachgewiesenen Wanzenarten war bzw. ist. Bei Betrachtung der Zikadenarten in Abb. 5b zeigt sich hingegen, dass sich lediglich der Biotyp VAS signifikant von den restlichen Biotypen (RFf, RFt, SFf, SFt) hinsichtlich ihrer auftretenden Artenzahl unterschied. Auch der Biotyp VAS war, ähnlich wie bei den Wanzen, durch eine geringe Zikadenartenzahl – im Mittel ca. 4 Arten – gekennzeichnet. Der Vergleich der Artenzahl von Spezialisten und Oligotopen zwischen den Biotypen ergab folgendes signifikantes Ergebnis ($p=0,0006$: $VAS < SFf < RFt$, wobei die geringste Artenzahl (im Mittel 2-3) im Biotyp VAS und die höchste Artenzahl (im Mittel 10 bis 11 Arten) im Biotyp RFt festgestellt wurden (s. Abb. 7). Eine Präferenz für einen bestimmten Biotyp lässt sich anhand der Gesamtartenzahlen der Zikaden sowie anhand der Artenzahl der Spezialisten und Oligotopen jedoch nicht erkennen.

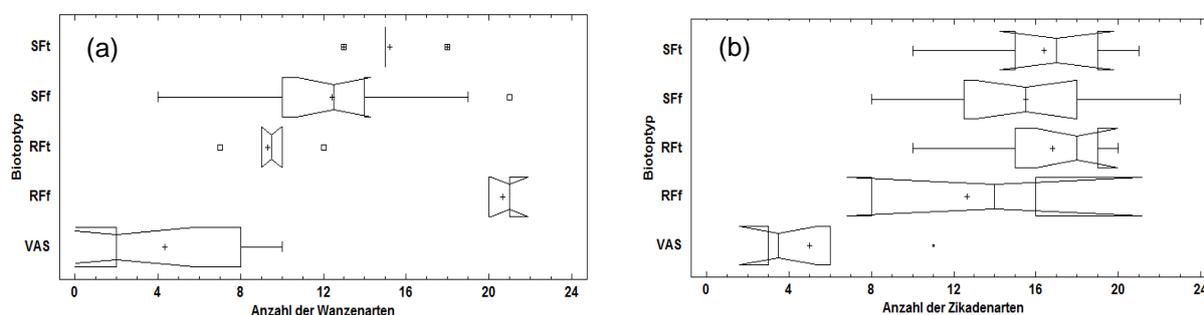


Abb. 5: Box-Whisker-Plots zur Anzahl der Wanzen- (A) und Zikadenarten (B) der 5 Biotypen (n = 36).

Fig. 5: Box and whisker plots for the number of true bug species (a) and hopper species (b) for the 5 habitat types (n = 36).

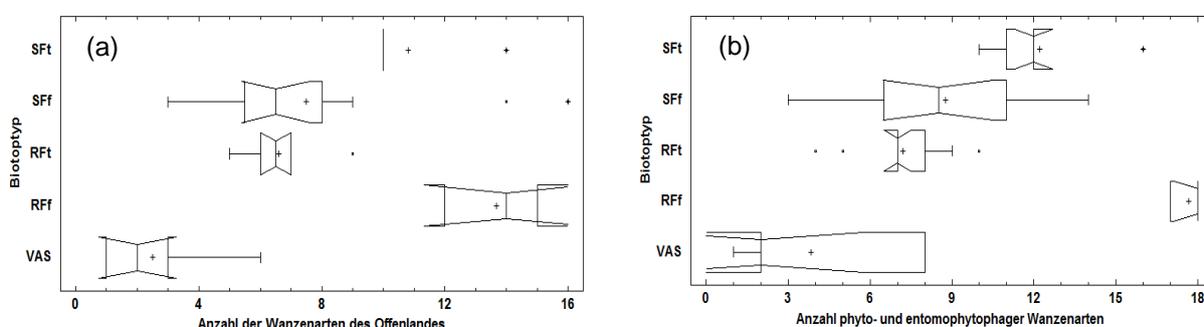


Abb. 6: Box-Whisker-Plots zur Anzahl der Wanzenarten mit Offenland als Hauptlebensraum (a) und der phyto- und entomophytophagen Wanzenarten (b) der 5 verschiedenen Biotypen (n=36).

Fig. 6: Box and whisker plots for the number of true bug species inhabiting open land (a) and phytophagous and entomophytophagous true bugs in the 5 habitat types (n = 36).

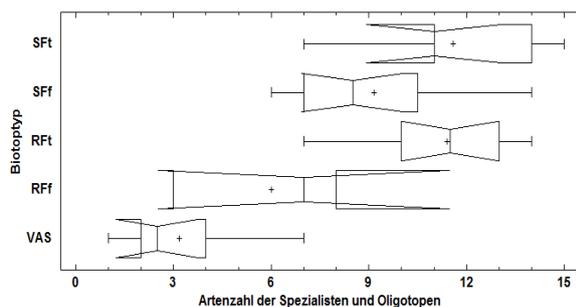


Abb. 7: Box-Whisker-Plots zur Anzahl der spezialisierten und oligotopen Zikadenarten der 5 verschiedenen Biotoptypen (n=36).

Fig. 7: Box and whisker plots for the number of specialised and oligotopie hopper species in the 5 habitat types (n=36).

In Abb. 4 konnte gezeigt werden, dass die meisten Wanzenarten an Kräutern und die meisten Zikadenarten an Gräsern leben. Entsprechend der unterschiedlichen Vegetationszusammensetzung der Biotoptypenausstattung unterschieden sich diese auch hinsichtlich ihrer Artenzahlen für Kräuter präferierende Wanzenarten (Abb. 8a) und Gräser präferierende Zikadenarten (Abb. 8b). So konnten signifikante Unterschiede zwischen den Biotoptypen hinsichtlich der Wanzenarten mit Kräuterpräferenz gefunden werden (Abb. 8a): VAS < SFt < RFt und RFt < SFf, SFt < RFt (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,001$). Die meisten kräuterbesiedelnden Wanzenarten wies im Mittel 10 Arten der Biotoptyp RFf (Ruderalfluren frischer Standorte) auf. Bezüglich der gräserbesiedelnden Zikadenarten konnten folgende statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 8b): VAS < SFf, Rff, RFt, SFt (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,01$). Die geringste Artenzahl mit im Mittel 3 Arten wies der insgesamt vegetationsarme Biotoptyp VAS auf. Die Artenzahlen in den anderen Biotoptypen SFf, Rff, RFt, SFt, die sich untereinander nicht signifikant unterschieden, bewegten sich im Mittel im Bereich von 8 bis 12 Arten. Diese Ergebnisse stimmen gut mit der unterschiedlichen Ausstattung der Biotoptypen mit krautigen Arten (Abb. 8c) und Grasarten (Abb. 8d) überein (vgl. auch Tabelle A5, Anhang): So wies der oben erwähnte Biotoptyp RFf mit im Mittel 17 Arten die höchste Anzahl an krautigen Pflanzenarten auf (Abb. 8c) und unterschied sich signifikant von den meisten anderen Biotoptypen (RFt < SFf, SFt und RFt < Rff, Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,001$). Zwar unterschieden sich die Anzahl an Grasarten zwischen den Biotoptypen nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p = 0,19$), dennoch zeigt sich in Abb. 8d ein ähnliches Muster wie für die gräserbesiedelnden Zikaden in Abb. 8b).

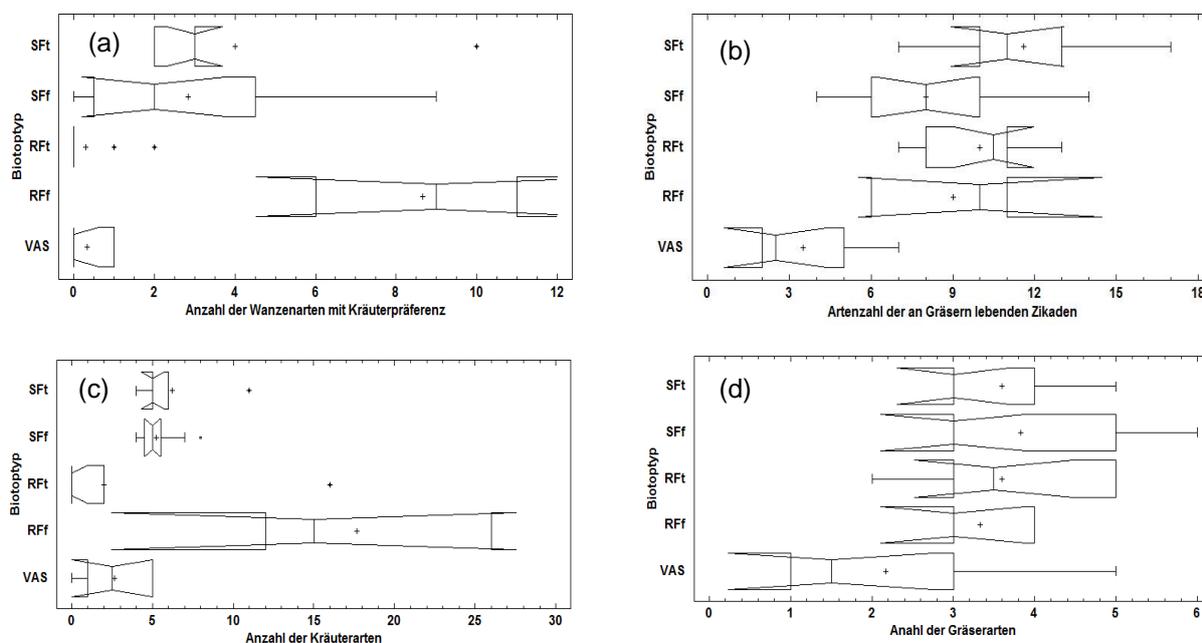


Abb. 8: Box-Whisker-Plot zur (a) Anzahl der Wanzenarten mit Kräuterpräferenz, (b) Anzahl der Zikadenarten mit Gräserpräferenz, (c) Anzahl an krautigen Pflanzenarten und (d) Anzahl an Gräserarten in den 5 Biotoptypen (n=36).

Fig. 8: Box and whisker plots for (a) number of true bug species preferring herbaceous plants, (b) number of hopper species preferring grasses, (c) number of herbaceous plant species and (d) number of grass species in the 5 habitat types (n = 36).

4.2.2 Vergleich von α -, β - und γ -Diversität

Für die Untersuchung der Biodiversität wurden α -, β - und γ -Diversität über alle Plots und für die einzelnen Biotoptypen bestimmt (Tabelle 2). Es zeigt sich, dass die α -Diversität der Wanzen mit 11,3 Arten pro Plot geringer war als die der Zikaden mit 14,0 Arten, dagegen war die γ -Diversität und damit die Gesamtartenzahl der Wanzen mit 81 Arten höher als bei den Zikaden mit 64 Arten (Tabelle 2, Spalte Gesamt). Daraus resultiert eine deutlich höhere β -Diversität für die Wanzen, was bedeutet, dass die Unterschiede in der Zusammensetzung der Wanzenarten zwischen den einzelnen Plots größer waren als bei den Zikaden. Wie in Kapitel 3.3 erläutert, können diese Zusammenhänge auch anhand der mittleren Artenakkumulationskurven oder „Shinozaki-Kurven“ gezeigt werden (s. Abb. 9): Die Kurve der Wanzen ist schwächer gekrümmt als die der Zikaden und verdeutlicht so eine höhere β -Diversität. Außerdem zeigt sich anhand der Kurvenform, die bei den Zikaden eher in eine Sättigungsphase übergeht als bei den Wanzen, dass die tatsächlich vorhandene Gesamtartenzahl der Zikaden mit der Untersuchung der 36 Plots relativ vollständig erfasst wurde, während bei den Wanzen noch keine Sättigung zu erkennen ist und bei der Untersuchung weiterer Plots möglicherweise noch weitere Arten zu erwarten wären. Dies konnte auch mit Hilfe der Berechnung des Chao2-Schätzindex bestätigt werden, mit dem die tatsächlich vorhandene Anzahl an Arten aufgrund des Anteils von Arten mit 1 und 2 Individuen abgeschätzt wird. Der Chao2-Wert (korrigiert) lag mit 98,63 Arten für die Wanzen deutlich über den erfassten 81 Arten, während er für die Zikaden mit 67,18 bereits nahe an dem festgestellten Wert von 64 lag. Bei einer Erhöhung des Untersuchungsumfanges (z. B. Erhöhung der untersuchten Anzahl an Plots) wären also noch mehr Wanzenarten im Untersuchungsgebiet zu erwarten gewesen.

Vergleicht man die Biotoptypen hinsichtlich der α -, β - und γ -Diversität von Wanzen und Zikaden (Tabelle 2) ergeben sich folgende Ergebnisse: Die α - und γ -Diversität war für den Biotoptyp VAS gegenüber den anderen Biotoptypen sowohl für die Wanzen als auch für Zikaden am geringsten. Dieser Lebensraum, welcher eine geringe Pflanzenartenzahl aufwies, also spärlich bewachsen war, konnte deshalb nur von wenigen Arten besiedelt werden. Jedoch war für den Biotoptyp VAS die β -Diversität der Wanzen höher als die der Zikaden (s. Tabelle 2), was man wiederum an der schwächeren Krümmung der Shinozaki-Kurve der Wanzen gegenüber der Zikaden sieht (Abb. 10, VAS). In den anderen Biotoptypen (RfF, RfT, SFf, SFt) konnten Unterschiede zwischen dem Vorkommen an Wanzen und Zikaden festgestellt werden: Im Biotoptyp RfF (3 Plots) hatten die Wanzen trotz der geringen Anzahl an Plots die höchste mittlere Artenzahl (α -Diversität). Auch die γ -Diversität war gegenüber den anderen Biotoptypen mit 42 relativ hoch.

Tabelle 2: α -, β - und γ -Diversität in den Biotoptypen für Wanzen (Wan) und Zikaden (Zik).

Table 2: α -, β - und γ -diversity per habitat type for true bugs (Wan) and hoppers (Zik).

Biotoptypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, RfF = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RfT = Ruderalfluren trockener Standorte/ruderal vegetation of dry sites, SFf = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

Biotoptyp	VAS		RfF		RfT		SFf		SFt		Gesamt	
	Wan	Zik	Wan	Zik	Wan	Zik	Wan	Zik	Wan	Zik	Wan	Zik
α -Diversität	4,3	5,0	20,7	12,7	9,3	16,8	12,4	15,5	15,2	16,4	11,3	14,0
β -Diversität	4,2	3,4	2,0	1,9	3,2	2,8	4,3	3,2	2,4	2,1	7,2	4,6
γ -Diversität	18	17	42	24	30	47	53	50	36	35	81	64

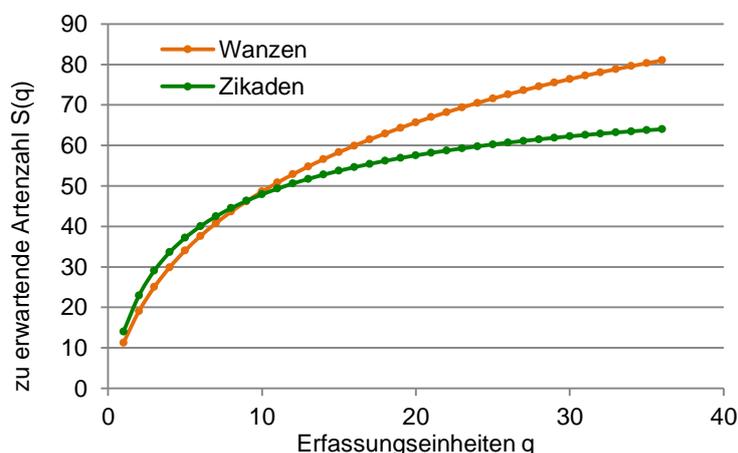


Abb. 9: Mittlere Artenakkumulationskurven („Shinozaki-Kurven“) über alle Plots (q) für Wanzen und Zikaden.

Fig. 9: Mean species accumulation curves („Shinozaki curves“) on all plots (q) for true bugs and hoppers.

Im Biotoyp RfT (10 Plots) dagegen war sowohl die α - als auch die γ -Diversität der Zikaden gegenüber der Wanzen deutlich erhöht. Damit war dieser Biotoyp, dessen Vegetation durch viele Poaceae-Arten charakterisiert wurde, eher bevorzugter Lebensraum der Zikaden. Ebenso konnte hier eine höhere β -Diversität für die Wanzen berechnet werden (Tabelle 2), was wiederum durch die weniger gekrümmte Shinozaki-Kurve gezeigt werden konnte (Abb. 10). In den beiden Biotypen SFf und SFt waren α - und γ -Diversität für beide Insektengruppen relativ ausgeglichen. Jedoch konnten auch für diese beiden Biotypen größere β -Diversitäten für die Wanzen berechnet werden. Auch in diesem Fall wird dies in der Form der Shinozaki-Kurven (s. Abb. 10) bestätigt: Die Kurven der Wanzen sind weniger stark gekrümmt und haben deshalb größere Unterschiede in der Artenzusammensetzung zwischen den einzelnen Plots. Letztendlich ist festzustellen, dass die Wanzen in allen Biotypen eine höhere β -Diversität aufwiesen. Es konnte somit für die Wanzen in jedem Biotoyp eine größere Vielfalt in der Artenzusammensetzung festgestellt werden, weshalb sie in ihren bevorzugten Habitaten etwas diverser als die Zikaden waren.

Wenn man nun die Shinozaki-Kurven (Abb. 10) miteinander vergleicht, fallen die unterschiedlichen Kurvenverläufe zwischen den Biotypen für die Wanzen und Zikaden auf: Bei den Wanzen wären im Falle der Untersuchung von 3 Plots (Abb. 10a, $q=3$) beim Biotoyp VAS die geringste Artenzahl zu erwarten gewesen ($S(q)=10,70$). Mit 42 Arten wurden im Biotoyp RfF (nur 3 Plots) die meisten Wanzenarten gefunden. Die restlichen Biotypen lagen zwischen VAS und RfF, unterschieden sich jedoch deutlich und hatten für $q=3$ folgende zu erwartende Artenzahlen: RfT: 17,02, SFf: 26,66 und SFt: 28,50 (Abb. 10a). Im Gegensatz zu den Wanzen ergaben sich bei den Zikaden für die Biotypen etwas andere Verläufe (s. Abb. 10b): Die zu erwartende Zikadenartenzahl für $q=3$ war für den Biotoyp VAS im Vergleich zu den anderen Biotypen ebenfalls am geringsten, jedoch mit 11,45 etwas höher als bei den Wanzen. Außerdem wurden im Biotoyp RfF (wie bei den Wanzen) nicht die höchste Artenzahl festgestellt, sondern mit 24 Zikadenarten die zweitniedrigste. Die Shinozaki-Kurven der restlichen Biotypen (RfT, SFf, SFt) waren für die Zikaden sehr ähnlich und überlagerten sich teilweise. So wären für diese Biotypen bei den Zikaden für $q=3$ folgende Artenzahlen zu erwarten gewesen: RfT: 30,35, SFf: 30,05 und SFt: 29,30 (Abb. 10b).

4.2.3 Vergleich der Artenzusammensetzung

Um Aussagen zu den Ähnlichkeiten der Plots unterschiedlicher Biotypen hinsichtlich ihrer Wanzen- und Zikadenartenzusammensetzung treffen zu können, wurden NMS-Ordinierungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 11 dargestellt, wobei jeder Punkt einem Plot entspricht. Je näher die Punkte beieinander liegen, desto ähnlicher waren sie sich hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung (Wanzen bzw. Zikaden). Zur Kennzeichnung der Biotypen wurden in Abb. 11 die jeweils äußersten Punkte pro Typ bis auf eine Ausnahme miteinander verbunden.

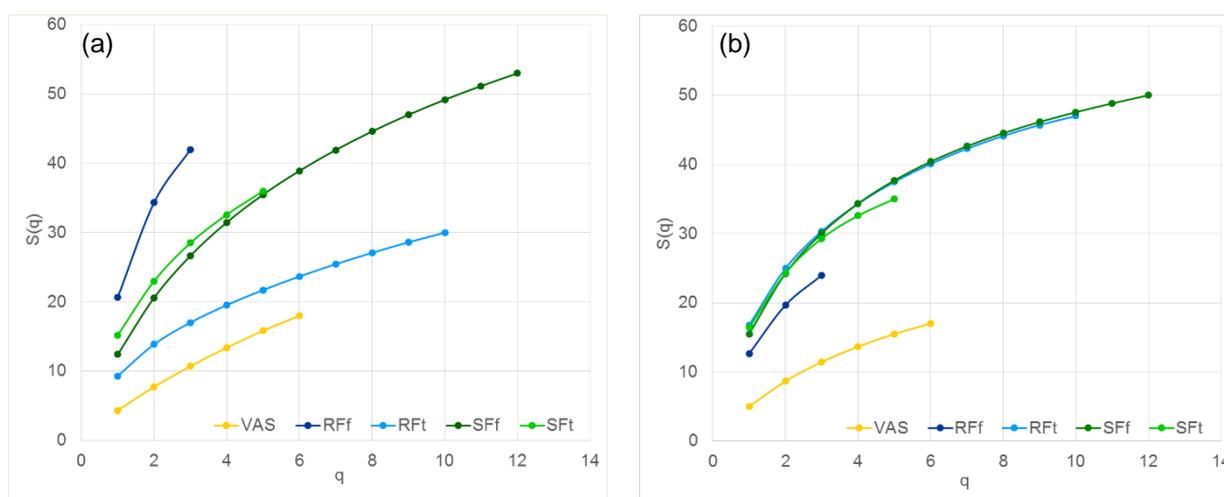


Abb. 10: Mittlere Artenakkumulationskurven („Shinozaki-Kurven“) für (a) Wanzen und (b) Zikaden pro Biotoyp.

Fig. 10: Average species accumulation curves („Shinozaki curves“) for (a) true bugs and (b) hoppers per habitat type.

Biotypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, RfF = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RfT = Ruderalfluren trockener Standorte/ruderal vegetation of dry sites, SFf = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

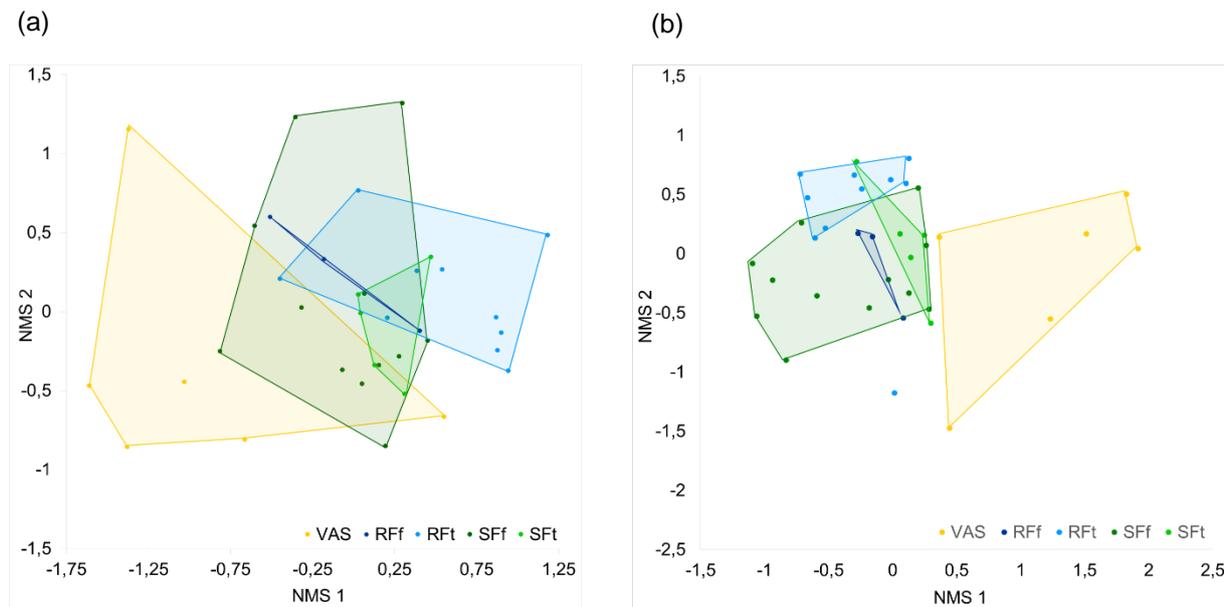


Abb. 11: NMS-Ordinierung auf Grundlage der Individuenzahlen pro Art und Plot (Punkte) für (a) Wanzen und (b) Zikaden mit Kennzeichnung der Biotoptypen (Flächen).

Fig. 11: NMS ordination based on individual numbers per species and plot (dots) for (a) true bugs and (b) hoppers with identification of habitat types (areas).

Biotoptypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, RfF = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RfT = Ruderalfluren trockener Standorte/ruderal vegetation of dry sites, SFf = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

Wie in Abb. 11a erkennbar, grenzen sich die Biotoptypen bei Betrachtung der Wanzenartenzusammensetzung kaum voneinander ab: Vor allem die Biotoptypen RfF, RfT, SFf und SFt überlappen sich teilweise, wobei dennoch eine gewisse Differenzierung zwischen den Ruderalfluren (RfF, RfT, in Abb. 11 blau gekennzeichnet) und den Staudenfluren (SFf, SFt, in Abb. 11 grün markiert) entlang der NMS-Achse 1 zu erkennen ist. Die vegetationsarmen Sandflächen (VAS, in Abb. 11 gelb markiert) weisen bzgl. der Zusammensetzung ihrer Wanzengemeinschaften nur geringe Ähnlichkeiten zu den anderen Biotoptypen auf. Dies traf noch stärker für die Artenzusammensetzung der Zikaden für die Flächen des Biotoptyps VAS zu, der sich entlang von NMS-Achse 1 deutlich von den anderen Biotoptypen abgrenzte (Abb. 11b). Die anderen Biotoptypen (RfF, RfT, SFf und SFt) differenzierten sich hinsichtlich ihrer Zikadenartenzusammensetzung weniger deutlich voneinander (z.T. hohe Überlappungen, Abb. 11b).

4.2.4 Zusammenhang zwischen Wanzen- bzw. Zikadenarten und ausgewählten Vegetationsparametern

Im Folgenden sollen Korrelationen zwischen Parametern der Wanzen- bzw. Zikadengemeinschaften und ausgewählten Vegetationsparametern analysiert werden. Dabei wurden für die Wanzen nur die phytophagen und entomophytophagen Arten betrachtet, da nur diese sich ausschließlich (Phytophage) bzw. teilweise (Entomophytophage) von Pflanzen ernähren. Es zeigte sich eine signifikante positive Korrelation zwischen der Artenzahl der (entomo)phytophagen Wanzen und der Pflanzenartenzahl pro Plot (Abb. 12a, Spearman-Rangkorrelation: $r_s = 0,460$, $p = 0,007$, $n = 36$). Es konnte bereits gezeigt werden, dass es große Unterschiede in der Anzahl der (entomo)phytophagen Wanzenarten zwischen den Biotoptypen gibt (Abb. 5b). Auf Grund der in Abb. 12a gefundenen Korrelation liegt die Vermutung nahe, dass diese Unterschiede mit der Anzahl der Pflanzenarten pro Biotoptyp zusammenhängen. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass sich die Artenzahlen der RfF-Plots deutlich von den anderen Plots unterscheiden, sodass die signifikante Korrelation vor allem durch diese Plots zustande kam (vgl. Abb. 12a, RfF).

Des Weiteren wurde ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl der an Kräutern lebenden Wanzenarten und der Artenzahl der Kräuter pro Plot gefunden (Abb. 12b, Spearman-Rangkorrelation: $r_s = 0,688$, $p < 0,001$, $n = 30$), womit bestätigt werden kann, dass bestimmte Wanzenarten auf Grund der Bindung an Kräuter bestimmte Biotoptypen mit hohem Kräuteranteil bevorzugen (vgl. Abb. 8). Dagegen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der an Gräsern lebenden Zikadenarten und der Artenzahl der Gräser pro Plot festgestellt werden (Spearman-Rangkorrelation: $r_s = -0,188$, $p = 0,311$, $n = 30$).

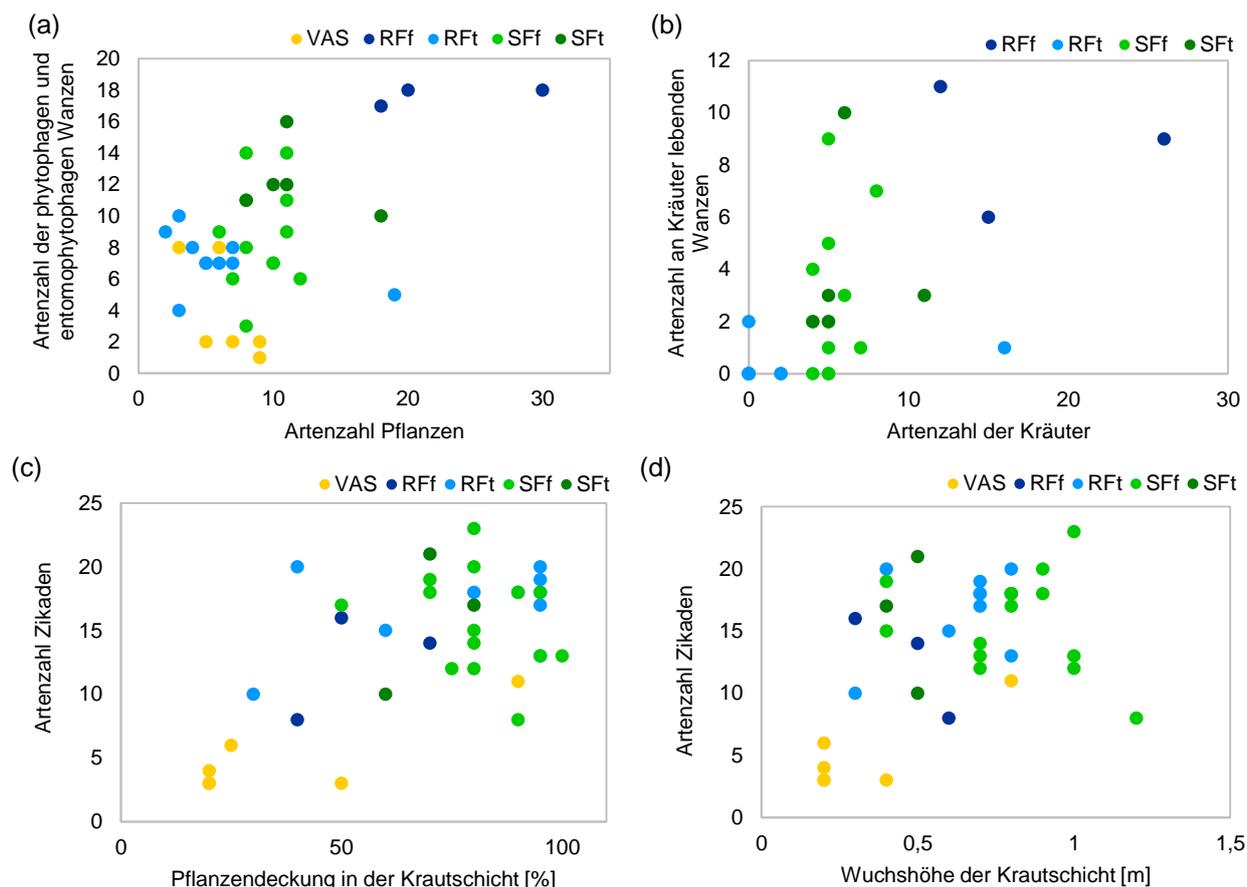


Abb. 12: Zusammenhänge (a) zwischen der Artenzahl der phytophagen und entomophytophagen Wanzen und der Artenzahl der Pflanzen, (b) zwischen der Artenzahl der an Kräutern lebenden Wanzenarten und der Artenzahl der Kräuter, (c) zwischen der Artenzahl der Zikaden und der Pflanzendeckung in der Krautschicht (%) und (d) zwischen der Artenzahl der Zikaden und der Wuchshöhe der Krautschicht pro Plot mit Kennzeichnung der Biotoptypen.

Fig. 12: Correlations (a) between species number of phytophagous and entomophytophagous bugs species and the number of plant species, (b) between the number of bugs species feeding on herbs and the number of herb species, (c) between species number of hoppers and plant cover of the herb layer (%) and (d) between the species number of hoppers and the height of the herb layer per plot with identification of habitat type.

Biotoptypen/habitat types: VAS = vegetationsarme Sandflächen/sand areas with sparse vegetation, Rff = Ruderalfluren frischer Standorte/ruderal vegetation of fresh sites, RFt = Ruderalfluren trockener Standorte/ruderal vegetation of dry sites, SFf = Staudenfluren frischer Standorte/vegetation of perennial herbs on fresh sites, SFt = Staudenfluren trockener Standorte/vegetation of perennial herbs on dry sites.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (z. B. Beyer et al. 2015, Wiche et al. 2015) konnte auch keine signifikante Korrelation zwischen der Zikaden- und Pflanzenartenzahl pro Plot festgestellt werden (Spearman-Rangkorrelation: $r_s = -0,024$, $p = 0,889$, $n = 36$). Die Artenzahl der Zikaden korrelierte dagegen signifikant positiv mit der Deckung der Krautschicht (%) (Abb. 12c, Spearman-Rangkorrelation: $r_s = 0,419$, $p = 0,013$, $n = 36$) sowie mit der Wuchshöhe der Krautschicht (Abb. 12d, Spearman-Rangkorrelation: $r_s = 0,370$, $p = 0,029$, $n = 36$).

Da für die Besiedlung eines Lebensraumes durch Wanzen und Zikaden auch mikroklimatische oder andere Standortfaktoren von Bedeutung sein können, wurden des Weiteren ausgewählte mittlere Ellenberg-Zeigerwerte für Licht, Bodenfeuchte, Bodenreaktion und Stickstoffgehalt mit den Artenzahlen auf Zusammenhänge getestet. Hier konnte jedoch keine statistisch signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden.

5. Diskussion

5.1 Das Artvorkommen der Wanzen und Zikaden auf der Spülhalde Davidschacht in Freiberg – eine Betrachtung unter Berücksichtigung von Lebensraumeigenschaften

Dieses Kapitel soll das Artvorkommen von Wanzen und Zikaden auf der Spülhalde Davidschacht aufgreifen und des Weiteren zur Klärung der Fragestellung beitragen, worin das Vorkommen der Wanzen- und Zikadenarten begründet werden kann und welche Bedeutung die Spülhalde Davidschacht in Freiberg demnach als Lebensraum für diese Insektengruppen hat.

Bei den Untersuchungen konnten insgesamt 86 Wanzenarten (1.414 Individuen) aus 11 Familien und 66 Zikadenarten (3.119 Individuen) aus 4 Familien (13 Unterfamilien) nachgewiesen werden (vgl. Kap. 4.1.1). Somit weisen die Wanzen auf den untersuchten Plots eine niedrigere Individuenzahl, aber eine höhere Artenzahl als die Zikaden auf. Nach Achtziger et al. (2007) treten Wanzen im Vergleich zu anderen Insektengruppen artenreich, aber in der Regel in geringeren Individuenzahlen auf. Diese Aussage kann anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt werden. Der höhere Artenreichtum der Wanzen im Vergleich zu den Zikaden lässt sich u.a. in der hohen ökologischen Diversität der Wanzen (breiteres Lebensraumspektrum, diversere Ernährungsweise, größere Formenvielfalt) begründen (vgl. Achtziger et al. 2007). Zikaden hingegen nutzen ihren (Lebens-)Raum eher kleinräumig (vgl. Achtziger et al. 2014) und ernähren sich ausschließlich phytophag. Hierbei ist auch die enge Bindung an bestimmte Wirtspflanzen bedeutend, welche u.a. als Nahrungsressource oder zur Eiablage genutzt wird (vgl. Biedermann & Niedringhaus 2004). Entsprechend der örtlichen Gegebenheiten (z. B. Nährpflanzen, Substrat, Mikroklima) unterscheiden sich demzufolge die Wanzen und Zikaden auch hinsichtlich ihrer ökologischen Ansprüche.

Bei den Zikaden traten hauptsächlich oligotope Arten ($n = 28$) (z. B. *Jassargus pseudocellaris*, *Megophthalmus scanicus*, *Anaceratagallia ribauti*) gefolgt von eurytopen Graslandbesiedlern ($n = 18$) (z. B. *Errastumus ocellaris*, *Anoscopus albifrons*) auf (s. Abb. 3b). Außerdem konnten spezialisierte Zikadenarten (Spezialisten) nachgewiesen werden, welche lediglich an eine oder zwei Nährpflanzenarten (monophage Arten) und/oder an ein bestimmtes Mikroklima gebunden sind (vgl. auch Nickel 2003). Treten die Nährpflanzen nicht in einem Gebiet auf oder gehen durch z. B. menschliche Eingriffe verloren, bedeutet dies für diese spezialisierten Arten den Verlust des Lebensraumes, sofern diese Pflanzen nicht in unmittelbarer Nähe zu finden sind. Demzufolge stellen die Spezialisten eine sehr sensible Gruppe innerhalb der Zikaden, auch für die Lebensraumbewertung, dar (z. B. Achtziger et al. 1999, Nickel & Achtziger 2005).

Im Untersuchungsgebiet selbst konnten 13 auf 6 Pflanzengattungen (*Agrostis*, *Dactylis*, *Festuca*, *Calamagrostis*, *Phalaris*, *Urtica*) spezialisierte Zikadenarten nachgewiesen werden, insbesondere für auf der Spülhalde Davidschacht häufig vorkommenden Poaceae-Arten. Das dominanteste Süßgras war *Agrostis capillaris*. Nach Nickel (2003) kommen in Deutschland 3 monophag an *A. capillaris* lebende Arten vor. Mit *Ribautodelphax collina*, *Mocydiopsis parvicauda* und *Xanthodelphax straminea* konnten alle diese Arten im Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden (vgl. Tabelle A2). Das Vorkommen dieser Arten ist wahrscheinlich damit begründet, dass *Agrostis capillaris* sowohl sehr flächig im Untersuchungsgebiet vorkam als auch wahrscheinlich eine der ersten Pflanzenarten war, welche die Spülhalde Davidschacht nach der Nutzungsaufgabe besiedelte (vgl. Richert et al. 2017). Die genannten *Agrostis*-Spezialisten waren nach ihrer Individuenzahl zwar nicht die dominantesten Zikadenarten, kamen aber nahezu in allen Biotoptypen vor (vgl. Tabelle A4). Nach *A. capillaris* waren *Dactylis glomerata* und *Holcus lanatus* die häufigsten Süßgräserarten. Für *H. lanatus* konnten keine Spezialisten nachgewiesen werden, jedoch gibt es für diese Pflanzenart auch nur eine monophage Zikadenart (Nickel 2003). Mit *Stenocranus minutus* und *Cicadula persimilis* konnten beide der nach Nickel (2003) an *Dactylis glomerata* monophag lebenden Zikadenarten nachgewiesen werden. Für den weniger häufig vorkommenden Rot-Schwengel *Festuca rubra* konnten mit *Rhopalopyx adumbrata* und *Acanthodelphax spinosa* 2 der 5 an *F. rubra* lebenden Zikadenarten festgestellt werden. Beide Arten traten ebenso auf Plots mit *F. trachyphylla* an Stelle von *F. rubra* auf, sodass angenommen werden kann, dass diese beiden Zikadenarten auch an dieser *Festuca*-Art saugen. *A. spinosa* war als *D. glomerata*-Spezialist die am häufigsten gefundene Zikadenart (vgl. Tabelle A4). Auch auf dem im Untersuchungsgebiet nur lokal, kleinflächig und in räumlich relativ getrennten Beständen vorkommendem Rohr-Glanzgras *Phalaris arundinacea* wurden 3 der 4 nach Nickel (2003) spezialisierten Zikadenarten nachgewiesen: *Stenocranus major*, *Balclutha rhenana* und *Erzaleus metrius*. Für das Land-Reitgras *Calamagrostis epigejos* wurde die streng monophage Art *Arthaldeus arenarius* festgestellt; von den 6 Arten, die monophag 2. Grades an dieser Gräserart vorkommen (Nickel 2003), wurden immerhin 3 Arten in den untersuchten Plots der Davidschachthalde gefunden: *Eurysula lurida*, *Mirabella albifrons* und *Balclutha calamagrostis* (vgl. Tabelle A4). Obwohl auf einem Plot das Schilfrohr *Phragmites australis* auftrat, konnte keine der 14 auf Schilf spezialisierten Zikadenarten (Nickel 2003) nachgewiesen werden. Dies hängt wahrscheinlich mit der Kleinflächigkeit des Schilfbestandes (wenige Quadratmeter) zusammen. Zusätzlich zu den verschiedenen Poaceae-Spezialisten wurden im Untersuchungsgebiet zudem 2 der 5 *Urtica dioica*-Spezialisten gefunden: *Eupteryx urticae* und *E. calcarata* (s. Tabelle A4). Die detaillierte Betrachtung der an den dominanten Pflanzenarten der Spülhalde Davidschacht nachgewiesenen Zikadenarten zeigt eine erstaunlich hohe Vollständigkeit der Zikadengilden bezogen auf die monophagen Arten.

Interessant hierbei ist auch, dass 5 der genannten spezialisierten Arten auf der Roten Liste der Zikaden Deutschlands (Nickel et al. 2016) und/oder Sachsens (Walter et al. 2003) stehen (vgl. Kap. 4.1.1, Tabelle A2). Auch das Vorkommen der Zikadenart *Enantiocephalus cornutus* stellt eine Besonderheit dar, da diese Art bisher in Ostdeutschland nur in wenigen Gebieten (südöstliches Harz-Hinterland, Thüringer Becken, Einzelfund in Hermsdorf (Seyde), mittlerweile auch im Bienitz (Leipzig) und bei Grimma nachgewiesen wurde (Walter et al. 2009, Walter & Schmidt 2015). Mit 160 Individuen in 15 von 36 Plots gehörte diese Art auf der Spülhalde Davidschacht zu den häufigeren Zikadenarten (vgl. Tabelle A4). *E. cornutus* gilt als Bewohner xerophiler Offenlandstandorte (vgl. Walter et al. 2009), welche meist mäßig trockene, spärlich bewachsene, oft gestörte Grasflächen besiedelt und v. a. an *Elymus repens* lebt (Tabelle A2). Bei den Untersuchungen zeigte sich jedoch,

dass nicht nur die Ruderal- und Staudenfluren trockener Standorte als Habitat genutzt wurden, sondern auch Staudenfluren frischer Standorte, trotz z. T. geringen Vorkommen von *Elymus repens*. Dies verdeutlicht, dass neben mäßig trockenen bis trockenen Standorten auch frischere Standorte genutzt werden können, sofern die Nahrungspflanze vorkommt. Auch wenn mittlerweile neuere Fundmeldungen z.B. im Bienitz oder in Grimma bekannt sind (vgl. Walter & Schmidt 2015), stellt das Vorkommen dieser Art eine Besonderheit für die Spülhalde Davidschacht dar und zeigt die Bedeutung dieses Lebensraumes für Zikaden an.

Aufgrund des hohen Anteils an Spezialisten (22 %) an der Gesamtartenzahl sowie der vorkommenden Rote-Liste-Arten kann auf eine fortgeschrittene Vegetationsentwicklung auf der Spülhalde Davidschacht geschlossen werden. Dies zeigt sich auch an der geringen Anzahl an Pionierarten, die unter den Zikaden bekannt sind ($n = 4$) (vgl. Tabelle A4). Das häufige Vorkommen verschiedener Grasarten ist dabei auch wichtig für bestimmte räuberische Wanzenarten wie z. B. die gefundenen Nabiden-Arten (Sichelwanzen), die an Gräsern ihre Eier ablegen (z. B. Roth 1995). An diesem Beispiel zeigt sich, wie unterschiedlich bestimmte Pflanzen(arten) durch Zikaden und Wanzen genutzt werden. Generell konnte die bekannte Tatsache bestätigt werden, dass die nachgewiesenen Zikadenarten hauptsächlich Gräser, insbesondere verschiedene Poaceae-Arten, als Nährpflanzen nutzen (vgl. Nickel 2003, 2011), während die Mehrheit der (entomo)phytophagen Wanzenarten verschiedene Kräuterarten aus unterschiedlichen Pflanzenfamilien (z. B. Urticaceae, Fabaceae, Asteraceae, Apiaceae) als Nährpflanzen nutzen (Abb. 4a) (vgl. auch Goßner et al. 2015). Ein ähnliches Ergebnis konnte auch bei Untersuchungen der Wanzen- und Zikadenfauna von Saumbiotopen festgestellt werden, wobei in etwa die Hälfte der erfassten Wanzenarten an Kräutern saugen, wohingegen fast 65 % der Zikaden Gräser und Binsen als Nährpflanzen nutzen und lediglich 20 % kräuterbewohnende Zikadenarten auftraten (vgl. Achtziger 1991). Dieses Beispiel wurde als Vergleich herangezogen, da auf der Spülhalde Davidschacht – ähnlich wie in den überwiegend nicht genutzten Saumbiotopen – unterschiedliche Vegetationsstrukturen vorzufinden sind. So treten auf der Spülhalde verschiedene Übergangsbereiche z. B. von Vorwäldern zu Stauden- oder Ruderalfluren oder von vegetationsarmen Sandflächen zu Gehölzen auf (vgl. Abb. 1). Wie relevant derartige Vegetationsstrukturen für Wanzen und Zikaden sind, soll an Arten gezeigt werden, welche diverse Gehölzbereiche (Wald, Waldränder, waldähnliche Gehölze, Hecken Totholz) als Hauptlebensraum bzw. als Habitat präferieren. Beispielfhaft können hierfür die Wanzenarten *Derephysia foliacea*, *Palomena prasina* und *Heterotoma planicornis* genannt werden. Diese besiedeln neben Waldstandorten auch Gehölzstrukturen wie Hecken oder Laubgehölze, nutzen aber auch Offenlandbiotope, was auch anhand der Artnachweise auf den untersuchten Plots gezeigt werden konnte. Ähnliches gilt für Zikadenarten wie z. B. *Eupteryx urticae* (vgl. Tabelle A2). Der hohe Strukturreichtum der Vegetation und das Mosaik aus Offenland und Gehölzen ist eine wesentliche Grundlage für die Bedeutung der Spülhalde Davidschacht als Lebensraum für die unterschiedlichsten Wanzen- und Zikadenarten.

Neben dem Vorkommen bestimmter Nährpflanzen und dem Vorhandensein geeigneter Habitatstrukturen ist auch die Anzahl der Pflanzenarten bedeutend für das Vorkommen und die Diversität der Wanzen- und Zikadengemeinschaften. So konnte gezeigt werden, dass auf pflanzenartenreicheren Plots auch eine höhere Anzahl an (entomo)phytophagen Wanzenarten festgestellt werden konnte (Abb. 12a). Für die Zikaden hingegen konnte dagegen kein signifikanter Zusammenhang zwischen Zikaden- und Pflanzenartenzahl nachgewiesen werden, möglicherweise weil die für Zikaden wichtigen Gräser trotz zum Teil hoher Abundanzen in nur geringen Artenzahlen vorkamen (vgl. „SGräser“ in Tabelle A5). Dagegen korrelierte die Zikadenartenzahl positiv mit der Deckung der Krautschicht und demzufolge mit der Dichte des Bewuchses sowie mit der Höhe der Krautschicht (Abb. 12c, d). Dichtere und höherwüchsige (Gras-)Bestände bieten somit mehr Zikadenarten geeignete Kleinstlebensräume mit dem erforderlichen Mikroklima als schütter bewachsene Bereiche.

5.2 Die Diversität und Artenzusammensetzung der Wanzen und Zikaden auf der Spülhalde Davidschacht in Freiberg – eine Betrachtung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Biotoptypen

Im Folgenden soll die Diversität und die Artenzusammensetzung der Wanzen- und Zikadengemeinschaften auf der Spülhalde Davidschacht im Mittelpunkt stehen, wobei diskutiert werden soll, wie sich Diversität und Zusammensetzung der Wanzen- und Zikadenarten zwischen den Biotoptypen unterscheiden und wie die Diversität der beiden Artengruppen auf den Plots der unterschiedlichen Biotoptypen begründet werden kann.

Wie bereits beschrieben sind Wanzen in ihrer Ökologie und ihrer Gesamtartenzahl diverser als die Zikaden und sie treten oft mit größeren Artenzahlen, aber geringeren Individuenzahlen auf (z. B. Achtziger et al. 2007). Dies konnte auch auf den untersuchten Offenland-Plots der Davidschachthalde festgestellt werden, da die γ -Diversität bei den Wanzen mit 81 Arten deutlich höher war als bei den Zikaden mit 64 Arten (Tabelle 2). Mit Ausnahme des Biotoptyps RFt (überwiegend Grasbestände) trifft dies auch für Gesamtartenzahl pro Biotoptyp zu (Tabelle 2). Wie aus der Form der Shinozaki-Kurven über alle Plots (Abb. 9) sowie den berechneten Chao2-Indizes zur Abschätzung der zu erwartenden Gesamtartenzahl (s. Kap. 4.2.2) abgelesen werden kann, war der Arterfassungsgrad bei den Zikaden (Chao2-Index: 67 Arten) deutlich höher als bei den Wanzen (Chao2-Index: 99 Arten). So kann davon ausgegangen werden, dass im Falle einer Erhöhung des Untersuchungsumfanges (z. B. Erhöhung der Plot-Anzahl) weitere Wanzenarten festgestellt worden wären. Dies wird auch durch die zusätzlichen Artnachweise bestätigt, welche mit Hilfe von gezielten Kescherfängen in Offenlandbereichen außerhalb der untersuchten Plots gemacht wurden. So wurden mit *Dryophilacoris flavoquadrimaculatus*,

Stictopleurus abutilon, *Raphigaster nebulosa*, *Corizus hyoscyami*, *Cymus melanocephalus* 5 Wanzenarten und mit *Philaenus spumarius* und *Aphrophora alni* nur 2 Zikadenarten außerhalb der Plots nachgewiesen. Dass diese nicht innerhalb der Plots festgestellt wurden kann daran liegen, dass (a) die Plots relativ klein waren, dass (b) mit der Saugmethode nur ein Teil der Plotfläche befangen wurde und dass (c) die 36 Plots nicht alle Offenlandstrukturen der Halde abdeckten (s.u.).

Neben der γ -Diversität unterschieden sich die Artengruppen auch hinsichtlich der β -Diversität, also den Unterschieden in der Artenzusammensetzung zwischen den Plots. Diese waren sowohl im Gesamtgebiet als auch in den einzelnen Biotoptypen bei den Wanzen stets größer als bei den Zikaden (Tabelle 2). Die höheren β -Diversitäten sind auch in den flacheren Verläufen der Shinozaki-Kurven abzulesen (vgl. Abb. 9, 10). Diese größeren Unterschiede könnten einerseits auf den oben erwähnten geringeren Arterfassungsgrad bei den Wanzen zurückzuführen sein, sodass in den Plots nicht alle vorkommenden Wanzenarten erfasst wurden. Andererseits könnte dies auf die höhere ökologische Diversität der Wanzen zurückzuführen sein, wodurch nur bestimmten Arten das Vorkommen in einem Plot ermöglicht wurde.

Die Unterschiede in den Artenzusammensetzungen der Plots eines Biotoptyps werden auch in den NMS-Ordinierungen in Abb. 11 deutlich (vgl. Kap. 4.2.3): Bei beiden Artengruppen unterschieden sich die vegetations- und artenarmen Sandflächen (VAS) von vegetations- und reicheren Ruderal- und Staudenfluren. Zwischen diesen zeigten sich entsprechend der vorherrschenden Vegetation (z. B. Dominanz von Gräsern in RFt, Dominanz von Kräutern in RFF, vgl. Tabelle A5) Überlappungen bzw. Differenzierungen (vgl. Kap. 4.2.3): So überlappten bei beiden Tiergruppen die frischen Ruderal- und Staudenfluren (SFf, RFF), wohingegen sich die trockenen Ruderalfluren (RFt, hohe Dominanz an Gräsern, s. Tabelle A5) und Staudenfluren (SFt, Dominanz an Kräutern gegenüber Gräsern, Tabelle A5) bei beiden Artengruppen differenzierten (Abb. 11a,b). Die bereits angesprochene Bedeutung der Vegetationszusammensetzung auf die Diversität der Wanzen und Zikaden zeigt sich auch beim Vergleich der α -Diversität zwischen den Biotoptypen (Tabelle 2) und den gefundenen Korrelationen (Abb. 12): Die Plots der vegetationsarmen Sandflächen (VAS) wiesen aufgrund der geringen Artenzahlen und Deckungswerte der Vegetation und der damit z. T. fehlenden Lebensmöglichkeiten für beide Insektengruppen nur relativ wenige Arten auf (Tabelle 2). Während offene Sandflächen in der Regel nur durch wenige, aber spezialisierte Wanzenarten besiedelt werden, kommen in anderen Lebensraumtypen deutlich mehr Wanzenarten mit einer höheren Individuenzahl vor: Eine hohe Wanzen Diversität kann zum Beispiel in Staudenfluren festgestellt werden, sofern eine Vielfalt der präferierten Pflanzenarten (viele Kräuterarten) besteht (vgl. Achtziger 1991, Achtziger et al. 2007). Im Untersuchungsgebiet waren solche struktur- und artenreichen Staudenfluren mit vielen Kräutern besonders im Biotoptyp RFF, aber auch in den Biotoptypen SFf und SFt zu finden (vgl. Tabelle A5). Im Biotoptyp RFF, welcher viele verschiedene Kräuterarten in hoher Abundanz beherbergte, wurde entsprechend die höchste mittlere Artenzahl bei den Wanzen festgestellt (Abb. 8c). Außerdem wiesen die staudenreichen Biotoptypen SFf und SFt bei den Wanzen hohe mittlere Artenzahlen auf (Tabelle 2, s. auch Abb. 6a). Auf den Ruderalfluren trockener Standorte (RFt, Dominanz von Gräsern) wurde dagegen – neben den Sandflächen (VAS) – die geringste mittlere Artenzahl an Wanzen festgestellt, wohingegen die Zikaden entsprechend ihrer Präferenz von Gräsern die höchste mittlere Artenzahl oder α -Diversität aufwiesen (Tabelle 2). Dagegen war die α -Diversität in den Plots des gräserarmen Biotoptyps RFF sehr gering (Tabelle 2).

Die dargestellten Unterschiede zwischen den Biotoptypen und den Artengruppen hinsichtlich der verschiedenen Komponenten der Diversität kann zusammenfassend am Verlauf der Shinozaki-Kurven für die Biotoptypen in Abb. 10 abgelesen werden: So zeigt sich, dass sowohl für die Wanzen als auch für die Zikaden im Biotoptyp VAS die geringste Diversität (α - und γ -Diversität) festgestellt wurde und auch bei Erhöhung der Plotzahl zu erwarten wäre. Bei den Wanzen erwies sich der kräuterreiche Biotoptyp RFF als der mit der höchsten α - und γ -Diversität, bei den Zikaden die beiden gräserreichen Biotoptypen SFf und RFt, gefolgt von SFt (Abb. 10).

Bei Betrachtung der diskutierten Punkte zeigt sich, dass die Spülhalde Davidschacht eine große Strukturvielfalt in der Vegetation aufweist und daher einen bedeutenden Lebensraum für unterschiedlichste Wanzen- und Zikadenarten darstellt. Des Weiteren bietet das Vorkommen unterschiedlichster Pflanzenarten auf der Spülhalde Davidschacht – v. a. in einem entsprechend der ökologischen Diversität der Wanzen und Zikaden ausgewogenen Verhältnis an Kräutern und Gräsern – viele potentielle Lebensräume für die verschiedenen Wanzen- und Zikadenarten.

5.3 Schlussfolgerungen

Die durchgeführte Analyse der Wanzen- und Zikadengemeinschaften in Offenlandbereichen verschiedener Biotoptypen auf der Spülhalde Davidschacht (Freiberg/Sachsen) befasste sich vor allem mit der Untersuchung des Artvorkommens und der Diversität von Wanzen und Zikaden. Die Analyse diente zur Beantwortung der Eingangsfragestellungen und lieferte folgende Ergebnisse:

- (1) Im Untersuchungsgebiet konnten in den Offenlandbereichen insgesamt 86 Wanzenarten (1.414 Individuen) und 66 Zikadenarten (3.119 Individuen) nachgewiesen werden. Die Wanzen traten demnach (wie auch in der Literatur beschrieben) mit einer höheren Artenzahl, aber einer geringeren Individuenzahl auf.

- (2) Entsprechend der Fragestellung waren die untersuchten strukturreichen Offenlandbereiche durch Wanzen- und Zikadenarten geprägt, die bevorzugt Offenländer besiedeln. Da die Stauden- und Ruderalfluren teilweise in Vorwälder und Gehölze übergingen, wurden außerdem Arten gefunden, die diverse Waldbereiche besiedeln.
- (3) Aufgrund der fortgeschrittenen Entwicklung der Vegetation konnte ein vergleichsweise hoher Anteil an spezialisierten Zikadenarten (22 %) und Rote-Liste-Arten für Deutschland (9 Arten) nachgewiesen werden. Bemerkenswert ist dabei das häufige Vorkommen der Zikadenart *Enantiocephalus cornutus*, die in Ostdeutschland bisher nur in wenigen Gebieten nachgewiesen wurde.
- (4) Zwischen den Biotoptypen konnten Unterschiede in der Diversität festgestellt werden: Während die Wanzen am artenreichsten im kräuterreichen Biotoptyp der frischen Ruderalfluren zu finden waren, kamen die meisten Zikadenarten in den gräserdominierten Biotoptypen der Ruderalfluren trockener Standorte bzw. der Staudenfluren frischer und trockener Standorte vor.
- (5) Entsprechend der Vegetationszusammensetzung und der Präferenz der Wanzen für Kräuter und der Zikaden für Gräser zeigten sich Überlappungen und Differenzierungen in der Artenzusammensetzung zwischen den Biotoptypen.
- (6) Das Vorkommen und die Diversität der Wanzen und Zikaden in den unterschiedlichen Plots hängt vor allem mit dem aktuellen Vorkommen von strukturreichen Offenlandbereichen mit einem Wechsel von Ruderalfluren und Staudenfluren, die teilweise in Vorwälder übergehen, zusammen.
- (7) Auf Grundlage dieser Ergebnisse sollte der derzeit vorhandene Struktur- und Artenreichtum im Falle der geplanten Sanierung der Spülhalde Davidschacht durch entsprechende Renaturierungsmaßnahmen wiederhergestellt werden, damit das Vorkommen der vielfältigen und aktuell bestehenden Wanzen- und Zikadengemeinschaften gesichert ist.

Danksagung

Wir danken Frau Dr. Christin Jahns von der SAXONIA Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft mbH (Freiberg) und dem Naturschutzinstitut Freiberg für die Möglichkeit, die Untersuchungen zu dem Thema durchführen zu dürfen. Des Weiteren möchten wir uns für die Bereitstellung der fachlichen Informationen und des Kartenmaterials zur Spülhalde Davidschacht bedanken. Unser Dank gilt zudem dem Landratsamt Mittelsachsen (Untere Naturschutzbehörde) für die Erteilung der Betretungs- und Fanggenehmigung.

6. Summary

In 2015 the occurrence, abundance and diversity of true bugs and hoppers (Hemiptera: Heteroptera and Auchenorrhyncha) were studied in the open areas of the Spülhalde Davidschacht (Freiberg, Saxony). In order to estimate the nature conservation value, true bugs and hoppers were sampled on 36 plots in different habitat types (sand areas with sparse vegetation, ruderal vegetation of fresh and dry sites, vegetation of perennial herbs on fresh and dry sites) using standardized suction samples and qualitative sweep net samples. Besides the calculation of several diversity indices (e. g., for α -, β - and γ -diversity), statistical methods (Kruskal-Wallis test, Spearman's rankcorrelation), species accumulation curves („Shinozaki“ curves), and NMS ordinations were used. In the rich structured openland habitats of the study area, in total 86 true bug species (1.414 individuals) and 66 hopper species (3.119 individuals) could be found, in large part species preferring open habitats. Among hoppers, a relatively high proportion of ecologically specialized species (22 %) and species of the German red list (9 species) could be found. Furthermore, the high abundance of the hopper species *Enantiocephalus cornutus*, which is recorded from only a few localities in Eastern Germany, is remarkable. According to their preferred food plants, diversity of true bugs was higher in the habitat types dominated by herb species, whereas the diversity of hoppers was higher in the grass-dominated habitats. The high diversity of true bugs and hoppers found in the study area mainly depends on the mosaic of grass, ruderal and perennial plant vegetation with a high structural diversity and richness of plant species. In the case of a restoration of the “Spülhalde Davidschacht”, appropriate restoration measures should be used in order to re-establish the high biodiversity.

7. Literatur / References

- Achtziger, R. (1991): Zur Wanzen- und Zikadenfauna von Saumbiotopen - Eine ökologisch-faunistische Analyse als Grundlage für eine naturschutzfachliche Bewertung. Ber. ANL (15): 37-68.
- Achtziger, R., Nigmann, U. & Zwölfer, H. (1992): Rarefaction-Methoden und ihre Einsatzmöglichkeiten bei der zooökologischen Zustandsanalyse und Bewertung von Biotopen. Z. Ökologie u. Naturschutz (1): 89-105.
- Achtziger, R., Nickel, H. & Schreiber, R. (1999): Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen auf Zikaden, Wanzen, Heuschrecken und Tagfalter im Feuchtgrünland. Schriftenr. Bayer. Landesamt für Umweltschutz 150 - Beiträge zum Artenschutz 22: 109-131.
- Achtziger, R., Frieß, T. & Rabitsch, W. (2007): Die Eignung von Wanzen (Insecta, Heteroptera) als Indikatoren im Naturschutz. Insecta, Zeitschrift für Entomologie und Naturschutz (10): 5-39.
- Achtziger, R., Holzinger, W. E., Nickel, H. & Niedringhaus, R. (2014): Zikaden (Insecta: Auchenorrhyncha) als

- Indikatoren für die Biodiversität und zur naturschutzfachlichen Bewertung. *Insecta* (14): 37-62.
- Aufsfeld, P. (2015, unpubl.): Biotoptypenausstattung und Gehölzdeckungen der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Studienarbeit, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg, unveröff.
- Baumbach, H. (2013): Bergbaufolgelandschaften Deutschlands: Geobotanische Aspekte und Rekultivierung. Jena: Weissdorn-Verlag.
- Beyer, C., Schulze, C., Achtziger, R. & Richert, E. (2015): Untersuchungen zur Gefährdung der Zwergstrauchheiden auf der Rauchblöße bei Muldenhütten anhand der Vegetation und der Zikaden. *Mitteilungen des Naturschutzinstituts Freiberg*, Heft 8 / 2015: 2-24.
- Biedermann, R. & Niedringhaus, R. (2004): Die Zikaden Deutschlands – Bestimmungstabellen für alle Arten. Wissenschaftlich Akademischer Buchvertrieb, WABV Fründ, 409 S.
- Colwell, R. K., Coddington, J. A. (1994): Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* (345): 101-118.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Duelli, P. & Obrist, M. K. (1998): In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. *Biodiversity and Conservation* 7 (3): 297-309.
- Erler, L. (2016, unpubl.): Pflanzensoziologische und strukturelle Charakterisierung der Gehölzbestände auf der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Studienarbeit, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg, unveröff.
- Fritz, E. & Jahns, C. (2017): Die Spülhalde Davidschacht in Freiberg – Geschichte, Umweltproblematik und geplante Sanierung. *Freiberg Ecology online* 2: 4-17.
- Goßner, M. M., Simons, N. K., Achtziger, R., Blick, T., Dorow, W. H. O., Dzioczek, F., Köhler, F., Rabitsch, W. & Weisser, W. W. (2015): A summary of eight traits of Coleoptera, Hemiptera, Orthoptera and Araneae, occurring in grasslands in Germany. *Scientific data* 2: 1-9.
- Günther, A., Nigmann, U. & Achtziger, R. (2005): Analyse der Gefährdungsursachen von planungsrelevanten Tiergruppen in Deutschland zur Ergänzung der bestehenden Roten Listen gefährdeter Tiere. In: Günther, A., Nigmann, U., Achtziger, R. & Gruttke, H. (Bearb.) (2005): Analyse der Gefährdungsursachen von planungsrelevanten Tiergruppen in Deutschland. - *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 21: 19-613.
- Kardel, K., Ihling, H., Illgen, C., Gruhne, S., Bräunig, A., Tannert, R., Hoffmann, R., Kästner, A., Willscher, S., Enzner, V., Kühn, D., Knippert, D., Schuster, P., Fichtner, T., Schlönvoigt, H., Paffrath, I., Nitsche, C., Hüßers, N., Klotzsch, S., Albert, T., Vienken, T., Dietrich, P., Umoh, D., Knöller, K., Jeschke, C. & Vogel, T. (2013): Grundwasser - Altlasten - Boden aktuell. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Kunz, G., Nickel, H. & Niedringhaus, R. (2011): Fotoatlas der Zikaden Deutschlands. WABV Fründ, 293 S.
- Mannsfeld, K. & Syrbe, R.-U. (Hrsg.) (2008): Naturräume in Sachsen, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 257, Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag, Leipzig.
- Martin, M. & Janneck, E. (2012): Abschlussbericht: Detailuntersuchung des Wasserpfades am Objekt "Spülhalde Davidschacht". Teil II, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg.
- McCune, B. & Mefford, M. J. (2011): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 6, MjMSoftware, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Mollée, R. (2013): Altlastenprojekt SAXONIA - eine Retrospektive. SAXONIA Standortentwicklungs- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Freiberg, 404 S.
- Nickel, H. (2003): The Leafhoppers and Planthoppers of Germany (Hemiptera, Auchenorrhyncha): Patterns and strategies in a highly diverse group of phytophagous insects. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, Goecke & Evers Keltern, 460 S.
- Nickel, H. & Achtziger, R. (2005): Do they ever come back? Responses of leafhopper communities to extensification of land use. *Journal of Insect Conservation* 9 (4): 319-333.
- Nickel, H. (2011): An inordinate fondness of grasses: The paradox relationship between leafhoppers and graminoids. *DGaaE-Nachrichten* 25(1): 34-35.
- Nickel, H. & Remane, R. (2002): Artenliste der Zikaden Deutschlands, mit Angaben zu Nährpflanzen, Nahrungsbreite, Lebenszyklen, Areal und Gefährdung (Hemiptera, Fulgoromorpha et Cicadomorpha). *Beiträge zur Zikadenkunde* (5): 27-64.
- Nickel, H., Achtziger, R., Biedermann, R., Bückle, C., Deutschmann, U., Niedringhaus, R., Remane, R., Walter, S. & Witsack, W. (2016): Rote Liste und Gesamtartenliste der Zikaden (Hemiptera: Auchenorrhyncha) Deutschlands. In: Gruttke, H., Balzer, S., Binot-Hafke, M., Haupt, H., Hofbauer, N., Ludwig, G., Matzke-Hajek, G. & Ries, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 4: Wirbellose Tiere (Teil 2). *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (4): 247-298.
- Pälchen, W. & Walter, H. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen: Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).
- Richert, E., Aufsfeld, P. & Olias, M. (2017): Biotoptypenausstattung der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. *Freiberg Ecology online* 2: 18-36.
- Richert, E., Bernstein, C., Funke, L. & Schulze, C. (2017): Vegetation der Spülhalde Davidschacht bei Freiberg (Sachsen) – Offenlandgesellschaften und Transektanalysen. *Freiberg Ecology online* 2: 52-65.
- Roth, S. (1995): Untersuchungen an Nabidengemeinschaften in thüringischen Rasenökosystemen (Heteroptera, Nabidae). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 9: 771-776.
- Sebastian, U. (2013): Die Geologie des Erzgebirges. Berlin. Springer Spektrum.
- Simon, H., Achtziger, R., Bräu, M., Dorow, W.H.O., Gossner, M., Göricke, P., Gruschwitz, W., Heckmann, R., Hoffmann, H.-J., Kallenborn, H., Kleinstauber, W., Martschei, T., Melber, A., Morkel, C., Münch, M., Nawratil, J., Remane, R., Rieger, C., Voigt, K. & Winkelmann, H. unter Mitarbeit von Arnold, K., Kott, P., Schmolke, F., Schuster, G., Strauss, G., Wachmann, E., Werner, D.J. & Zimmermann, G. (im Druck): Rote Liste und Gesamtartenliste der Wanzen (Hemiptera: Heteroptera) Deutschlands. In: Binot-Hafke, M., Balzer, S., Becker, N., Gruttke, H., Haupt, H., Hofbauer, N., Ludwig, G., Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3 (Wirbellose Tiere) (im Druck).
- Statpoint Technologies, Inc. (1992-2010): StatGraphics Centurion XVI.
- Stöckmann, M., Biedermann, R., Nickel, H. & Niedringhaus, R. (2013): The nymphs of the planthoppers and leafhoppers of Germany. WABV Fründ, Scheeßel. 419 S.
- Strauß, G. (2015): CORISA – Wanzenabbildungen. DVD.
- Wachmann, E., Melber, A. & Deckert, J. (2004): Wanzen Band 2, Die Tierwelt Deutschlands, 75. Teil. Goecke und Evers, Keltern, 294 S.

- Wachmann, E., Melber, A. & Deckert, J. (2006): Wanzen Band 1, Die Tierwelt Deutschlands, 77. Teil. Goecke und Evers, Keltern, 263 S.
- Wachmann, E., Melber, A. & Deckert, J. (2007): Wanzen Band 3, Die Tierwelt Deutschlands, 78. Teil. Goecke und Evers, Keltern, 272 S.
- Wachmann, E., Melber, A. & Deckert, J. (2008): Wanzen Band 4, Die Tierwelt Deutschlands, 81. Teil. Goecke und Evers, Keltern, 230 S.
- Wachmann, E., Melber, A. & Deckert, J. (2012): Wanzen Band 5, Die Tierwelt Deutschlands, 81. Teil. Goecke und Evers, Keltern, 256 S.
- Wagner, E. (1961): Heteroptera - Hemiptera. - In: Brohmer, P., Ehrmann, P. & Ulmer, G. (Hrsg.): Die Tierwelt Mitteleuropas. Quelle und Meyer (Leipzig), Band 4 (Heft 10a) (3. Lieferung), 173 S.
- Walter, S. & Schmidt, C. (2015): Zur Zikadenfauna (Hemiptera: Auchenorrhyncha) des Bienitz in Leipzig. Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz (38): 135-145.
- Walter, S., Emmrich, R. & Nickel, H. (2003): Rote Liste Zikaden Sachsens. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Walter, S., Emmrich, R., Achtziger, R. & Sander, F. (2009): Kommentiertes Verzeichnis der Zikaden (Auchenorrhyncha) des Freistaates Sachsen mit Neufunden für Sachsen. Mitteilungen Sächsischer Entomologen Nr. 87: 1-20.
- Wiche, O., Nigmann, U. & Achtziger, R. (2015): Beziehungen zwischen Zikadengemeinschaften und dem Mahdregime sowie der Vegetation in Streuobstwiesen (Hemiptera, Auchenorrhyncha). *Cicadina* 15: 1-20.
- Wiese, P. (2015, unpubl.): Bodenchemische und bodenkundliche Charakterisierung von ausgewählten Standorten der Spülhalde Davidschacht in Freiberg. Studienarbeit, AG Biologie/Ökologie, TU Bergakademie Freiberg, unveröff.
- Zimmermann, R. & Gloaguen, R. (2015): Luftaufnahme der Spülhalde Davidschacht aus dem Frühjahr 2015. Remote Sensing Group, TU Bergakademie Freiberg.

Anschriften der Autor(inn)en:

Lysann Funke, Schulweg 20, 09599 Freiberg, E-Mail: lyfu200@yahoo.de

Caroline Schulze, Meissner Gasse 28, 09599 Freiberg, E-Mail: carolineschulze@freenet.de

Roland Achtziger*, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, AG Biologie / Ökologie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg, E-Mail: roland.achtziger@ioez.tu-freiberg.de

*Korrespondierender Autor