



Abschlussbericht

zum Modell- und Demonstrationsvorhaben

Begrünung von Straßenmittelstreifen durch gebietsheimische Pflanzen mit großer Toleranz gegenüber urbanen Stressoren – STADTGRÜN –

Förderkennzeichen 2816BM002

Laufzeit des Vorhabens

01.03.2017 – 31.12.2020

Projektträger

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Referat 324 - Agrarforschung
53168 Bonn

Zuwendungsempfänger und Berichtende Stelle

Humboldt-Universität zu Berlin
Fachgebiet Urbane Ökophysiologie der Pflanzen
Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften
Lentzeallee 55/57
14195 Berlin

Projektleitung

Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs

Projektmanagement und Bericht

Armin Blievernicht
Stefan Irrgang

15.03.2021

1	Aufgabenstellung und Ziel des Vorhabens	7
2	Planung und Ablauf	8
3	Methode und Verfahren.....	9
3.1	Zusammenstellung von Saatgutmischungen.....	9
3.2	Versuchsflächeneinrichtung	14
3.2.1	Versuchsflächenauswahl	14
3.2.2	Standortanalyse.....	14
3.2.3	Anlage der Versuchsflächen	14
3.2.4	Untersuchung des Konkurrenzverhaltens und der Reproduktionsfähigkeiten der einzelnen Arten in den Artenmischungen mit verschiedenen Saatgut-Mengenanteilen..	20
3.2.5	Vergleichende Wachstumsversuche unter teilweise definierten Wachstumsbedingungen (Trockenstressversuche) und Untersuchung von Keimfähigkeit und Jungpflanzenentwicklung der Zielarten	25
3.2.6	Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse während der Projektlaufzeit in die Praxis durch Einrichtung einer weiteren Versuchsfläche	27
4	Erzielte Ergebnisse des Vorhabens.....	30
4.1	Keimlingsetablierung der ausgesäten einheimischen Zielarten.....	30
4.2	Konkurrenzverhalten und Reproduktionsfähigkeit der Arten in den Artenmischungen	38
4.3	Wachstumsversuche zur Untersuchung der Trockenstresstoleranz und Gesamtbewertung der Zielarten	42
4.4	Entwicklung der Zielarten in den verschiedenen Saatgutmischungen	75
4.5	Dokumentation des Fremdwuchses, von verkehrs- und witterungsbedingten Schäden/ Störungen sowie der Pflegearbeiten auf den Straßenraum-Modellflächen	91
4.6	Ergebnisse der Untersuchungen auf dem zusätzlich angelegten Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm	104
4.7	Ermittlung des ökologischen Wertes der gebietseigenen Saatgutmischungen.....	110
4.8	Kostenanalyse für Herstellung und Pflege der im Projekt entwickelten Saatgutmischungen im Vergleich zu Regelsaatgutmischungen.....	116
4.9	Abschließende Bewertung der entwickelten und getesteten Saatgutmischungen für die Verwendung in der Praxis.....	119
4.10	Dokumentation der Öffentlichkeitsarbeit.....	129
4.11	Erstellung eines Leitfadens zur Testung und Etablierung von Pflanzengesellschaften mit heimischen Wildpflanzen für andere urbane Extremstandorte.....	130
5	Darstellung der über die erzielten Ergebnisse hinaus gewonnenen Erkenntnisse	132
6	Konsequenzen für ein sich anschließendes weiteres Vorhaben.....	132
7	Erfolgskontrolle über die Einhaltung des Finanzierungs-, Zeit- und Arbeitsplans	133
8	Zusammenfassung.....	133
9	Literaturverzeichnis.....	135

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema der Versuchsflächeneinrichtung auf den drei Versuchsstandorten.....	15
Abb. 2: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen am Adlergestell	17
Abb. 3: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen der Frankfurter Allee.....	18
Abb. 4: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen der Heerstraße	19
Abb. 5: Versuchsflächeneinrichtung am Campus Dahlem	23
Abb. 6: Saatgut, Fremdsaatgut und Beimengungen in gelieferter Saatgutcharge von <i>Hypericum perforatum</i>	24
Abb. 7: Vorbereitete Saatgutmischungen für die Parzellen-versuche am Campus Dahlem	24
Abb. 8: Trockenstressversuch in Mitscherlich-Gefäßen	25
Abb. 9: Vorkultur im Gewächshaus zur Bereitstellung von ein- und zweijährigem Pflanzenmaterial für die Trockenstressversuche	25
Abb. 10: Vorkultur in KG-Rohren.....	26
Abb. 11: Vergleich der Korngrößenverteilung in den auf den Versuchsflächen verwendeten Sanden	28
Abb. 12: Aussaat auf der Versuchsfläche am Steglitzer Damm	30
Abb. 13: Versuchsfläche zwei Monate nach Anlage	30
Abb. 14: Keimlingshabitus drei Wochen nach Aussaat	32
Abb. 15: Ausschnitt des Pflanzenbestands auf einer der Fräs-Parzellen	33
Abb. 16: Entwicklungszustand auf den Sand- und den Fräs-Parzellen am Ende der ersten Vegetationsperiode.....	34
Abb. 17: Keimung der Zielarten auf den Sand-Parzellen.....	34
Abb. 18: Pflanzenanzahl der Zielarten pro m ² auf den Versuchspartellen am Standort Dahlem Ende September 2017 und Anfang April 2018.....	35
Abb. 19: Auf den Fräs-Flächen konnten mit den Nicht-Zielarten viele der Zielarten keimen, wurden jedoch schnell von den Nicht-Zielarten überwachsen und verdrängt.....	37
Abb. 20: Kornblume (<i>Centaurea cyanus</i>) in voller Blüte auf der Sand-Fläche auf dem Straßenmittelstreifen am Adlergestell	37
Abb. 21: Blüte von <i>Centaurea cyanus</i> auf Sand-Parzelle	38
Abb. 22: Blüte von <i>Anthemis tinctoria</i> und <i>Leucanthemum ircutianum</i> auf Sand-Parzelle	38
Abb. 23: Auswirkung der unterschiedlichen Bodenvorbereitungsvarianten auf die Entwicklung des Pflanzenbestandes	38
Abb. 24: Häufig wächst <i>Linaria vulgaris</i> in Spalten, Ritzen und Fugen	39
Abb. 25: Wenige ältere und ein „Teppich“ diesjährig gekeimter Jungpflanzen von <i>Armeria maritima</i> auf Frankfurter Allee	40
Abb. 26: Selbstaussaat von <i>Anthemis tinctoria</i> und <i>Anchusa officinalis</i> auf Frankfurter Allee	40
Abb. 27: Ausbreitungsentwicklung der Zielarten auf allen Versuchspartellen am Standort Dahlem im Zeitraum von 2019 bis 2020	40
Abb. 28: Die Zypressen-Wolfsmilch (<i>Euphorbia cyparissias</i>) konnte sich aus wenigen Einzelexemplaren innerhalb von drei Jahren zur dominierenden Art auf der Sand-Fläche am Adlergestell entwickeln	42
Abb. 29: Entwicklung des relativen Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 1 –.....	77
Abb. 30: Entwicklung des relativen Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 2 –.....	78
Abb. 31: Anzahl von etablierten Pflanzenarten auf den Dauerquadraten der vier Versuchsstandorte im Verlauf der dreijährigen Versuchsdauer	82
Abb. 32: Diversität auf den Versuchsflächen im Berliner Verkehrsraum.....	83
Abb. 33: In Blüte stehendes Exemplar von <i>Gypsophila fastigiata</i> auf dem Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm.....	84
Abb. 34: Verbreitungskarte für <i>Gypsophila fastigiata</i> in Deutschland und im Berliner Raum	84
Abb. 35: Blühkalender der Zielarten in den drei Saatgutmischungen	86

Abb. 36: Deckungsgrad der Zielarten auf den Sand- und den Fräs-Parzellen im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem	89
Abb. 37: Deckungsgrad der Zielarten auf den Sand- und den Fräs-Parzellen im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem	90
Abb. 38: Übersicht zum Wassergehalt des Bodens Mitte Januar 2020	92
Abb. 39: Pflanzenbestände am 13.06.2019 auf den Sand-Flächen der vier Straßenmittelstreifen.....	92
Abb. 40: Störeinflüsse auf den Versuchsflächen	93
Abb. 41: Trittsuren am Standort Frankfurter Allee	94
Abb. 42: Traktorfahrspuren auf gesamter Versuchsfläche nach Großdemonstration	94
Abb. 43: Großteils vertrocknete Blattrossetten bei <i>Armeria maritima</i> nach lang anhaltender Trockenheit auf dem Adlergestell.....	95
Abb. 44: Eingerollte Blätter bei <i>Echium vulgare</i> als Reaktion auf anhaltenden Trockenstress	95
Abb. 45: Flächig vertrocknete oberirdische pflanzliche Biomasse als Trockenstressreaktion.....	95
Abb. 46: Auswirkung des Trockenstress auf Nicht-Zielarten auf der Heerstraße	95
Abb. 47: Nach ergiebigen Regenfällen im Oktober 2019 keimten aus der vorhandenen Samenbank zahlreiche Pflanzen	96
Abb. 48: Auch auf der Sand-Fläche kam es vermehrt zur Keimung, aber auch zum Austrieb oberirdisch vertrockneter Zielarten	96
Abb. 49: Starke Trockenstressreaktion nach Mahd (18.8.2020) und Wiederbegrünung einen Monat später (16.09.2020) auf der Fräs-Fläche und der Sand-Fläche auf der Frankfurter Allee	96
Abb. 50: Frankfurter Allee und Adlergestell vor und nach Entfernen der Nicht-Zielarten	97
Abb. 51: Von der Frankfurter Sand-Fläche entfernte und nach Artzugehörigkeit sortierte Nicht-Zielarten	98
Abb. 52: Erster Mähversuch auf dem Adlergestell mit Profihopper 4WD mit Flügelmesser und Förderschnecke.....	99
Abb. 53: Fahrspuren und teilweise starke Schäden an den Pflanzen durch das Mähfahrzeug	99
Abb. 54: Zweiter Mähversuch mit John Deere Sichelmäher.....	100
Abb. 55: Zweiter Mähversuch auf der Heerstraße mit Kubota Sichelmäher mit Sauger.....	101
Abb. 56: Unterschiedliche Reaktion der Pflanzen auf Fräs-Parzelle am Standort Dahlem.....	102
Abb. 57: Entwicklung des Biomassezuwachses im Zeitverlauf auf den Parzellenversuchen.....	103
Abb. 58: Gekeimter Samen von <i>Armeria maritima</i>	104
Abb. 59: Gekeimte Samen von <i>Centaurea cyanus</i>	104
Abb. 60: Gleichmäßig verteilte Keimpflanzen der Zielarten auf dem Steglitzer Damm im Mai 2019	105
Abb. 61: Blühender Kornblumenbestand (<i>Centaurea cyanus</i>) auf dem Steglitzer Damm.....	105
Abb. 62: Pflanzenbestand auf dem Steglitzer Damm zum Ende der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat	105
Abb. 63: Nach dem einmaligen Entfernen der größten Exemplare der Nicht-Zielarten mit hohem Vermehrungspotenzial mussten auf dem Steglitzer Damm keine weiteren Pflegegänge durchgeführt werden.....	105
Abb. 64: Entwicklungszustand der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damms zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode nach Aussaat	106
Abb. 65: Natürliche Sukzession – Beispiele für Arten, die nicht Bestandteil der im Dezember 2018 ausgebrachten Saatgutmischung waren.....	107
Abb. 66: Entwicklungszustand der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damms zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode nach Aussaat	107
Abb. 67: Blühaspekte auf der Versuchsfläche am Steglitzer Damm	108
Abb. 68: Insekten finden Nahrung auf den Blütenständen der Kornblume (<i>Centaurea cyanus</i>) oder auch auf reichblütigen Einzelpflanzen des Gelben Steinklees (<i>Melilotus officinalis</i>)	109
Abb. 69: Entwicklungszustand der Versuchsfläche am 10.07.2020.....	109
Abb. 70: Entwicklung des Flächenwerts auf dem Mittelstreifen am Steglitzer Damm.....	110

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Saatgutmischung 1 (Mager-/Trockenrasenmischung; MAGER)	11
Tab. 2: Saatgutmischung 2 (Ruderalflur; RUDER).....	11
Tab. 3: Saatgutmischung 3 (INDI-Mix; INDI).....	12
Tab. 4: Übersicht der Pflanzenarten mit nicht gebietseigenem Saatgut.....	13
Tab. 5: Übersicht der ausgewählten und von den Behörden genehmigten Versuchsstandorte (Straßenmittelstreifen)	14
Tab. 6: Übersicht der auf den Straßenstandorten ausgesäten Saatgutmischungen.....	20
Tab. 7: Variante 2 der prozentualen Verteilung der einzelnen Arten in den drei Artenmischungen auf den Parzellenversuchen.....	21
Tab. 8: Übersicht der Standorteigenschaften der zusätzlich ausgewählten Versuchsfläche Mittelstreifen Steglitzer Damm	27
Tab. 9: Physikalische und chemische Eigenschaften der verwendeten Sande	28
Tab. 10: Übersicht der für den Versuchsstandort „Steglitzer Damm“ leicht veränderten Saatgutmischung MAGER+	29
Tab. 11: Ergebnisse der Testung der Keimfähigkeit der Zielarten	31
Tab. 12: Boniturskala für den Trockenstressversuch in Mitscherlich-Gefäßen im Jahr 2017	44
Tab. 13: Durchschnittliche Boniturnoten der Zielarten in Mitscherlich-Gefäßen für den Trockenstressversuch im Jahr 2017	45
Tab. 14: Anzahl der Tage bis alle oberirdischen Pflanzenteile in der Variante ohne Bewässerung abgestorben waren sowie Anzahl noch lebender Pflanzen bei Versuchsende in den Trockenstressversuchen 2018 und 2019	46
Tab. 15: Entwicklung des Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 3.....	79
Tab. 16: Arten und Mengen der auf den Sand-Flächen der Straßenstandorte gefundenen und entfernten Nicht-Zielarten (Anfang Juli 2018), geordnet nach mengenmäßiger Häufigkeit der Einzelpflanzen	98
Tab. 17: Entwicklung der Artenzahl ausgewählter Insektenordnungen auf den drei untersuchten Straßenmittelstreifen im Untersuchungszeitraum 2017 bis 2020	111
Tab. 18: Kostenübersicht für die bodenvorbereitenden Arbeiten auf den Berliner Projektflächen Adlergestell, Frankfurter Allee und Heerstraße.....	117
Tab. 19: Kostenaufstellung für die im Projekt hergestellten Saatgutmischungen zur Begrünung der Versuchsstandorte Adlergestell, Frankfurter Allee, Heerstraße	118
Tab. 21: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten MAGER+-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise	122
Tab. 22: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten INDI-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise	124
Tab. 23: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten RUDER-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise	126

Danksagung

Die Durchführung des Projektvorhabens wäre ohne die zahlreichen Unterstützenden nicht möglich gewesen. Ihnen allen gilt unser herzlichster Dank!

Wir danken Bernd Machatzi (Büro des Landesbeauftragten für Naturschutz und Landschaftspflege), der sich im Rahmen der Projektvorstellung bei den Berliner Bezirksämtern für Umwelt- und Naturschutz sehr für das Vorhaben eingesetzt und mit seiner Expertise zur Flora Berlins die Erarbeitung der Artenlisten für die Modellversuche tatkräftig unterstützt hat.

Die positive Resonanz der Vertretenden der Berliner Bezirksämter für Umwelt- und Naturschutz war die Voraussetzung für die Anfrage bei den Bezirksämtern für Straßen- und Grünflächen zur Nutzung der öffentlichen Verkehrsflächen für das geplante Modellvorhaben. Besonders möchten wir allen beteiligten Personen in den Bezirksämtern Charlottenburg-Wilmersdorf, Friedrichshain-Kreuzberg, Steglitz-Zehlendorf und Treptow-Köpenick danken. Neben den unbürokratisch erteilten Genehmigungen konnten die notwendigen Pflegearbeiten auf den Versuchsflächen in den vier Bezirken unkompliziert an die Projekterfordernisse angepasst werden und wurden auch von den Bezirksämtern durchgeführt. Vielen Dank für die kollegiale und sehr interessierte Zusammenarbeit!

Weiterhin sei den beteiligten Mitarbeitenden in der Verkehrslenkung Berlin und den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) für die freundliche und effektive Unterstützung im notwendigen Genehmigungsverfahren bei der Versuchsflächeneinrichtung gedankt.

Für die sehr gute, fachlich kompetente Unterstützung bei der Versuchsflächenanlage danken wir der Wilfried Sievers Garten- und Landschaft GmbH.

Unser Dank gilt Frank Koch (Kustos der Hymenopteren-Sammlung am Museum für Naturkunde Berlin), der mit seiner Analyse der Insektenfauna auf den Versuchsflächen einen wichtigen Projektbeitrag geleistet hat.

Das Projekt wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung finanziert und durch den Projektträger Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung betreut. Besonders möchten wir an dieser Stelle Thomas Nessel aus dem Referat 324, Agrarforschung, danken, der durch wertvolle Hinweise, Anregungen und konstruktive Kritik wichtige Impulse für die erfolgreiche Projektdurchführung gegeben hat.

1 Aufgabenstellung und Ziel des Vorhabens

Pflanzen in der Stadt können einer Vielzahl abiotischer Stressfaktoren ausgesetzt sein. Solche urbanen Stressoren sind z. B. Trockenstress durch geringe Anteile von Wasserretentionsflächen aufgrund großflächig versiegelter Bereiche, erhöhte Schadstoffimmissionen durch Verkehr und Industrie, höhere Temperaturen durch starke Wärmespeicherkapazität von Gebäudewänden, Straßen, Wegen und Plätzen, Belastungen des Bodens durch regelmäßigen Streusalzeinsatz im Winter, erhöhte Windbelastung durch städtebauliche Maßnahmen (Straßenschluchten) und Bodenverdichtung durch Baumaßnahmen bzw. häufige Trittbelastung. Nicht selten treten an einem Standort mehrere extreme Umweltfaktoren auf, sodass die Pflanzen für ein erfolgreiches Wachstum größtmöglich angepasst sein müssen. Im Rahmen einer Vorstudie (Förderkennzeichen: 2813BM040) zum Modell- und Demonstrationsvorhaben wurden in fünf deutschen Großstädten 60 Extremstandorte hinsichtlich ihres Pflanzenbestandes und der jeweils wirkenden Standortfaktoren untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass nur ein verhältnismäßig geringer Anteil (25 % der Gehölzarten, 32 % der Staudenarten) des Pflanzenbestandes einheimisch war. Dies verändert die Biodiversität in urbanen Räumen. Klar ist, dass global die Biodiversität abnimmt. In Zeiten einer fortschreitenden Konzentration der Urbanisierung in Ballungsräumen sollte das Potenzial einer Erhöhung der Biodiversität in diesen wachsenden Räumen genutzt werden. Weitere Ergebnisse der Vorstudie zeigten, dass an 80 % der aufgesuchten Standorte mindestens einer der untersuchten urbanen Stressoren (Verkehrsbelastung, Windbelastung, Trittbelastung) stark oder sehr stark ausgeprägt war. An mehr als der Hälfte der Standorte (58 %) traf dies sogar für jeweils zwei Stressoren zu. Dies unterstreicht, dass Pflanzen im urbanen Raum in der Mehrzahl der Fälle an Extremstandorten wachsen müssen. Das bedeutet, dass vor einer erfolgreichen Einführung von neuen einheimischen Pflanzen in das bestehende Sortiment geprüft werden muss, ob diese Arten prinzipiell für solche Extremstandorte geeignet sind und die an sie gestellten Funktionen erfüllen. Die Recherchen der Vorstudie ergaben, dass eine relativ große Anzahl einheimischer Pflanzenarten zur Verfügung steht, die erstens aufgrund ihrer physiologischen Eigenschaften potenziell für eine Verwendung an urbanen Extremstandorten geeignet erscheinen, zweitens bis jetzt noch keine bedeutende Verbreitung im aktuellen Sortiment besitzen und drittens den ästhetischen Anforderungen an Bepflanzungen im urbanen Grün entsprechen. Für das Modell- und Demonstrationsvorhaben ergab sich daraus folgende Zielstellung:

Auf drei Straßenmittelstreifen in Berlin sollte modellhaft die Einführung von neuen, einheimischen Artenmischungen in das bestehende Sortiment geprüft werden. Dazu musste zunächst ein passender, in all seinen Eigenschaften zu beschreibender Standort gefunden werden und den spezifischen Standortgegebenheiten angepasste Pflanzenarten miteinander vergesellschaftet werden. Die zu entwickelnden Pflanzengesellschaften sollten einen gewissen Anteil von bereits etablierten sowie neuen einheimischen Pflanzen enthalten. Neben den Modellflächen sollten in pflanzenbaulichen Versuchen unter kontrollierten Bedingungen Wachstum und Konkurrenzverhalten der Pflanzen in den verschiedenen Mischungen untersucht werden. Die Einführung neuer einheimischer Pflanzen kann neben dem Ziel der Erhöhung der Biodiversität in urbanen Räumen auch zu einem tatsächlichen Schutz bestimmter Pflanzenarten dienen. Nach dem Prinzip „Schützen durch Nützen“ sind auch Arten ausgewählt worden, die entweder regional oder auch deutschlandweit eine kritische Bestandsgröße aufweisen. Eine Einführung in das bestehende Pflanzensortiment könnte so zu einer Verbesserung des Bestandsstatus der jeweiligen Art führen. Nicht zuletzt zieht eine Umgestaltung des Sortiments in Richtung einheimischer Pflanzen auch eine Veränderung verschiedener Standortfaktoren nach sich.

Die Beschreibung und Wertung dieser Veränderungen mithilfe von Bioindikatoren waren weitere Bestandteile dieses Vorhabens. Neben den Zielen von Umwelt- und Naturschutz sollten die geplanten Maßnahmen sowohl wirtschaftlich vertretbar sein als auch auf Anwenderseite akzeptiert werden, d. h., dass auch die ästhetische Gesamtwirkung der Artenmischungen über den Jahresverlauf hinweg ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl der Pflanzen war. Ebenso sollten die gewonnenen Erkenntnisse daraufhin geprüft werden, wie eine Übertragbarkeit auf andere urbane Extremstandorte möglich ist. Darüber hinaus war die Maßgabe für das Projekt die möglichst ausschließliche Verwendung von gebietseigenem Vermehrungsmaterial.

2 Planung und Ablauf

In der ursprünglichen Planung war der Versuchsbeginn auf den drei Modellstandorten im Stadtgebiet Berlin auf das Frühjahr 2017 terminiert worden. Obwohl es bereits vor Projektbeginn zu einer Vorauswahl potenziell geeigneter Versuchsstandorte kam, konnte die endgültige Auswahl erst nach Projektbeginn getroffen werden. Das Finden geeigneter Versuchsstandorte für das Projekt erwies sich aus mehreren Gründen als sehr schwierig, da jeder der drei Standorte bestimmte Kriterien erfüllen musste. Dabei war jedes dieser Kriterien gleichrangig zu bewerten und bei Nichterfüllung musste der potenzielle Standort als ungeeignet für das Projekt eingestuft werden.

Kriterien:

1. hohe Fahrzeugfrequenz/Mehrspurigkeit der angrenzenden Straßen
2. Mindestbreite des Mittelstreifens (ca. 4 m)
3. kein Bewuchs mit Bäumen/Sträuchern
4. kein Bewuchs mit gepflanzten Frühjahrsblüher
5. Zustimmung der für den Standort zuständigen Fachbereichsleitung „Grünflächen“ zur Nutzung während der Projektlaufzeit
6. Zustimmung der für den Standort zuständigen Fachbereichsleitung „Straßen“ zu baulichen Maßnahmen auf der Fläche
7. Zustimmung des Senatsbeauftragten für Landschaftspflege und Naturschutz zur Entfernung der aktuell auf der Fläche bestehenden Vegetation (Kontrolle auf eventuell vorkommende geschützte Arten) und zur getroffenen Artenauswahl

Nach endgültiger Standortwahl und Abstimmung mit den zuständigen Stellen war die Aussaat der Saatgutmischungen unter anderem aufgrund des langwierigen Genehmigungsverfahrens für die notwendigen Straßensperrungen zur Einrichtung der Versuchsflächen frühestens im Sommer 2017 realistisch. Aufgrund der dann zu erwartenden Temperaturen, Niederschlagsverhältnisse und pflanzenphysiologischen Erfordernisse wäre ein Erfolg der Ansaat mit einem hohen Risiko verbunden gewesen. Hinzu kam, dass keine Aussage darüber möglich gewesen wäre, wie erfolgreich eine Frühjahrs- oder Herbstaussaat ist. Diese beiden Termine sind aber grundsätzlich für eine Bestandsbegründung allen anderen Terminen im Jahr vorzuziehen. Dementsprechend wurde der Versuchsbeginn auf den Herbst 2017 verschoben. Durch den verzögerten Versuchsbeginn hätten innerhalb der ursprünglich geplanten Projektlaufzeit nur zwei Vegetationsperioden für die Etablierung der Saatgutmischungen auf den Straßenstandorten zur Verfügung gestanden. Eine so kurze Zeitspanne ist für eine Evaluierung der geplanten Versuche sowohl hinsichtlich der Entwicklung der Pflanzenbestände als auch in Bezug auf die Untersuchung der Entwicklung der faunistischen

Biodiversität nicht ausreichend. Deshalb wurde die Projektlaufzeit auf genehmigten Antrag hin um zehn Monate verlängert, sodass die Versuche auf den Straßenstandorten drei Vegetationsperioden lang stattfinden konnten.

Die für die verschiedenen Saatgutmischungen ausgewählten Pflanzenarten sollten in einem Gefäßversuch am Campus Dahlem der Humboldt-Universität zu Berlin hinsichtlich ihrer Trockenstresstoleranz untersucht werden. Aufgrund der Verlängerung der Projektlaufzeit wurde dieser Trockenstressversuch statt der ursprünglich geplanten nur einmaligen Wiederholung im Jahr 2018 auch im Jahr 2019 durchgeführt. Dadurch sollte eine größere Aussagekraft hinsichtlich der Ergebnisse erreicht werden. Dies gilt auch für die entomologischen Untersuchungen. Durch die Verlängerung der Projektlaufzeit konnte nun in vier Vegetationsperioden eine Beurteilung der Entwicklung der Insektenfauna auf den Straßenstandorten erfolgen. Hierbei ist jedoch kritisch anzumerken, dass dies trotzdem nur Indizien für das richtige Verständnis der vorkommenden Insektengesellschaften sein können. Laut Aussage des im Projekt für das Insekten-Monitoring verantwortlichen Entomologen ist für ein fundiertes Beschreiben einer Populationsentwicklung ein mindestens zehnjähriger Beobachtungszeitraum notwendig.

Weiterhin wurden am Standort Dahlem mit Projektbeginn im Frühjahr 2017 parzellierte Versuchsflächen hergestellt, auf denen Aussagen zum Keimungsverhalten der Arten sowie dem Konkurrenz- und dem Blühverhalten getroffen werden konnten.

In der ursprünglichen Projektplanung sollten für die faunistischen Kartierungen zu den drei neu entwickelten Artenmischungen als Kontrollvarianten eine Regelsaatgutmischung und eine am Markt bereits erhältliche Straßenbegleitgrün-Mischung angelegt werden. Aus logistischen, finanziellen und versuchstechnischen Gründen müssen sich die Modellflächen und die jeweiligen Kontrollflächen am gleichen Standort befinden. Nur so lässt sich auch das Wachstum der Pflanzen miteinander vergleichen. Der für das Monitoring der Insekten gewonnene Entomologe erhob den Einwand, dass der geplante Abstand zwischen den Modellflächen und den Kontrollen zu gering sei, als dass daraus wissenschaftlich begründete, unterschiedliche Einflüsse auf die faunistische Biodiversität abgeleitet werden können. Deshalb wurde statt der Aussaat von Kontrollmischungen an den geplanten Modellstandorten die dort bereits vorkommende Flora und Fauna mit Beginn der Vegetationsperiode 2017 in regelmäßigen Abständen erfasst. Dies erfolgte auf Flächen, die dicht genug an den Modellflächen lagen, um eine Vergleichbarkeit hinsichtlich der Wachstumsbedingungen für die Pflanzen sicherzustellen, aber auch gleichzeitig weit genug entfernt waren, um einen gegenseitigen Einfluss zwischen Versuchsflächen und Kontrollflächen auszuschließen.

3 Methode und Verfahren

3.1 Zusammenstellung von Saatgutmischungen

In der Vorstudie zum Modell- und Demonstrationsvorhaben wurden bereits einheimische Pflanzen bewertet und für die Verwendung zur Sortimentserweiterung vorgeschlagen. Neben ästhetischen Aspekten stellte die physiologische Potenz in Bezug auf wesentliche Standortfaktoren ein wichtiges Auswahlkriterium dar. Grundlage für die Bewertung waren u. a. die Zeigerwerte nach ELLENBERG (1979). Diese dienen als Anhaltspunkt für die Standortansprüche der einzelnen Arten. Für die Auswahl der

geeignetsten Arten wurden deshalb zunächst die Zeigerwerte und weitere Informationen aus der durchgeführten Literaturrecherche einbezogen.

Die zu entwickelnden Pflanzenmischungen sollten verschiedene Anforderungen erfüllen. Zunächst ist es wichtig, dass der Zeitraum zwischen Aussaat und der gewünschten Bodendeckung relativ kurz ist. Dies verhindert eine erhöhte Evaporation, sodass mehr Wasser für längere Zeit im Boden zurückgehalten werden kann und den Pflanzen zur Aufnahme zur Verfügung steht. Dieser Bodenoberflächenschutz kann kurzfristig durch schnell wachsende Pflanzen erreicht werden, mittelfristig können diese Funktion bodendeckende Pflanzen erfüllen. Des Weiteren sollten die zu begrünenden Flächen abwechslungsreiche dreidimensionale Strukturen bilden, um einen bewussten Kontrast zur Blumenwiese herzustellen. Dieses dient hauptsächlich einer größeren Attraktivität für die heimische Fauna und damit einer sekundären Erhöhung der Biodiversität. Nicht zuletzt sollten die Artenzusammenstellungen so erfolgen, dass eine hohe Funktionalität während des gesamten Jahresverlaufs gegeben ist (unterschiedliche Blüh- und Fruchtzeiten) im Hinblick auf Nahrungsquelle für Insekten sowie aus ästhetischen Gründen (Berücksichtigung von Farbaspekten bei Blüten- und Blattfarbe sowie dem gesamten Habitus). Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wurden drei verschiedene Artenmischungen zusammengestellt und in ihrer Etablierung und Weiterentwicklung auf den drei ausgewählten Straßenmittelstreifen im Berliner Stadtgebiet beobachtet und dokumentiert.

Die Saatgutmischung 1 (Mager-/Trockenrasen) wird mit dem Arbeitstitel MAGER bezeichnet (Tab. 1). Hier enthalten sind Arten, die natürlicherweise auf Mager- bzw. Trockenrasen vorkommen, hier aber nicht unbedingt in der gleichen natürlichen potenziellen Vegetation miteinander vergesellschaftet sind. Verbreitet sind die Pflanzen auf eher sandigen, nährstoffarmen Böden mit leicht sauren bis neutralen pH-Werten. Die Artenmischung ist eher flachwachsend mit einer Höhe zwischen 10 und 40 cm. Der vorherrschende Farbaspekt hinsichtlich der Blütenfarbe ist violett-gelb. Die Art *Armeria maritima* subsp. *elongata* wird in der Roten Liste Berlin (SEITZ et al. 2018) als in ihrem Bestand zurückgehend eingestuft und steht sowohl in Berlin als auch in Brandenburg auf der Vorwarnliste. Gleichzeitig ist sie prioritäre Zielart des Florenschutzes, für deren Erhaltung Deutschland und Berlin eine besonders hohe Verantwortung tragen. Die Sand-Grasnelke ist auch eine Zielart im Biotopverbund im Land Berlin. Dazu kommt, dass diese Art schon jetzt spontan an Autobahnrandern wächst, da sie aufgrund der hohen Salztoleranz offensichtlich einen Konkurrenzvorteil an Verkehrswegen besitzt. Die genannten Gründe, verbunden mit dem hohen Zierwert dieser Art, sind ein gutes Beispiel dafür, dass sich verschiedene Anforderungen an die Pflanzenverwendung in der Stadt miteinander kombinieren lassen.

In der ursprünglichen Planung waren die Arten *Potentilla erecta* und *Sedum album* als Bestandteil der MAGER-Mischung vorgesehen. *Potentilla erecta* wurde auf Wunsch des Büros des Landesbeauftragten für Naturschutz und Landschaftspflege durch *Potentilla argentea* ersetzt. *Sedum album* stellte sich als im Berliner Raum eingebürgerte Art heraus und wurde deshalb aus der Mischung genommen.

Tab. 1: Saatgutmischung 1 (Mager-/Trockenrasenmischung; MAGER)

Wissenschaftlicher Name	Trivialname	Zeigerwerte nach Ellenberg*			Rote Liste**		Blüte (Monat)	Blütenfarbe	Pfl.-höhe (in cm)	natürliches Vorkommen
		F	R	S	B	BB				
<i>Armeria maritima</i> subsp. <i>elongata</i>	Sand-Grasnelke	3	6	2	V	3	5-9	[pink]	40	Magerrasen
<i>Plantago media</i>	Mittlerer Wegerich	4	7	3			5-9		35	Magerwiese, Halbtrockenrasen
<i>Helichrysum arenarium</i>	Sand-Strohblume	2	5	1			7-8	[yellow]	20	Trockenrasen
<i>Sedum acre</i>	Scharfer Mauerpfeffer	2	x	1			5-7	[yellow]	10	Pionierrasen, Ruderalstellen
<i>Thymus pulegioides</i>	Arznei-Thymian	4	x	1			6-9	[pink]	25	Trockenrasen
<i>Dianthus deltoides</i>	Heide-Nelke	3	3	2			6-8	[pink]	20	Mager-/Trockenrasen
<i>Potentilla argentea</i>	Silber-Fingerkraut	2	3	1			6-8	[yellow]	25	Sandtrockenrasen

*Zeigerwerte nach Ellenberg: F – Feuchtezahl, R – Reaktionszahl, S – Stickstoffzahl, x – indifferentes Verhalten **Rote Liste (SEITZ et al. 2018): B – Berlin, BB – Brandenburg, V – im Bestand zurückgehend, 3 – gefährdet

Die Saatgutmischung 2 (Ruderalflur) wird mit dem Arbeitstitel RUDER bezeichnet (Tab. 2). Hier enthalten sind hauptsächlich Arten, die natürlicherweise auf eher gestörten Standorten vorkommen, wie z. B. an Weg- und Straßenrändern, auf Brachflächen, Bahnanlagen etc. Die Pflanzen sind auf eher nährstoffreicheren Böden mit eher basischen pH-Werten zu finden. Die Pflanzengesellschaft ist höherwachsend mit einer Höhe zwischen 35 und 70 cm. Der vorherrschende Farbaspekt hinsichtlich der Blütenfarbe ist blau-weiß-gelb. Der Wiesen-Salbei wird in der Roten Liste Berlin als gefährdet geführt, ohne dass eine Zuordnung zu einer der drei Gefährdungskategorien erfolgt (SEITZ et al. 2018). Innerhalb Deutschlands gilt die Art als gefährdet. In der ursprünglichen Planung waren die Arten *Berteroa incana* und *Reseda lutea* als Bestandteil der RUDER-Mischung vorgesehen. Beide Arten stellten sich als im Berliner Raum eingebürgerte Arten heraus und wurde deshalb durch *Campanula rotundifolia* und *Hypericum perforatum* ersetzt.

Tab. 2: Saatgutmischung 2 (Ruderalflur; RUDER)

Wissenschaftlicher Name	Trivialname	Zeigerwerte nach Ellenberg*			Rote Liste**		Blüte (Monat)	Blütenfarbe	Pfl.-höhe (in cm)	natürliches Vorkommen
		F	R	S	B	BB				
<i>Achillea millefolium</i>	Schafgarbe	4	x	5			7-9		50	Halbtrockenrasen, Ruderalstellen
<i>Campanula rotundifolia</i>	Rundblättrige Glockenblume	x	x	2			6-9		30	Sand- und Halbtrockenrasen
<i>Echium vulgare</i>	Natternkopf	4	8	4			6-9	[blue]	70	Ruderalstellen, Trockenrasen
<i>Falcaria vulgaris</i>	Sichelmöhre	3	9	x			7-9		35	Störzeiger, Ruderalstellen
<i>Linaria vulgaris</i>	Gemeines Leinkraut	4	7	5			6-10	[yellow]	35	Störzeiger
<i>Hypericum perforatum</i>	Echtes Johanniskraut	3	8	5			6-8	[yellow]	80	Xerothermrasen, trockene Ruderalstellen
<i>Salvia pratensis</i>	Wiesen-Salbei	3	8	4	G	3	5-9	[blue]	45	Halbtrockenrasen

*Zeigerwerte nach Ellenberg (1979): F – Feuchtezahl, R – Reaktionszahl, S – Stickstoffzahl, x – indifferentes Verhalten **Rote Liste (SEITZ et al. 2018): B – Berlin, BB – Brandenburg, G – Gefährdung unbekanntes Ausmaßes, 3 – gefährdet

Die Saatgutmischung 3 (INDI-Mix) wird mit dem Arbeitstitel INDI bezeichnet (Tab. 3). Das natürliche Vorkommen der enthaltenen Arten ist indifferent hinsichtlich der Pflanzengesellschaften, in denen die Arten natürlicherweise vorkommen (Mager-/Trockenrasen, Ruderalstellen, Pionierpflanzen), der Reaktionszahlen und des Stickstoffbedarfes. Daraus ergibt sich eine unbekannte Konkurrenzsituation der Pflanzen zueinander. Inwieweit einzelne Arten auskonkurriert werden oder auch welcher Einflussfaktor die größte Auswirkung auf die mittelfristige Entwicklung der Artenmischung hat, sollte sich im konkreten Versuch zeigen. Die Artenmischung enthält Pflanzen, die zwischen 15 und 70 cm hoch werden. Der vorherrschende Farbaspekt hinsichtlich der Blütenfarbe ist blau-gelb. Zusätzlich wurde eine einjährige Pflanzenart (*Centaurea cyanus*; Kornblume) in die Mischung integriert. Da diese Art schon im ersten Jahr blüht, viele der Stauden aber erst im zweiten Standjahr, sollte durch diese Maßnahme eine höhere Akzeptanz sowohl bei Anwendern als auch Konsumenten erzielt werden. Die Kornblume wird in der Berliner Rote Liste auf der Vorwarnliste geführt; ebenso die Wiesen-Margerite (*Leucanthemum ircutianum*). Die Färberkamille (*Anthemis tinctoria*) wird in der Roten Liste Berlin als gefährdet eingestuft und in der Roten Liste Brandenburg als zurückgehende Art der Vorwarnliste geführt (SEITZ et al. 2018).

Tab. 3: Saatgutmischung 3 (INDI-Mix; INDI)

Wissenschaftlicher Name	Trivialname	Zeigerwerte nach Ellenberg					Blüte (Monat)	Blütenfarbe	Pfl.-höhe (in cm)	natürliches Vorkommen
		F	R	S	B	BB				
<i>Anchusa officinalis</i>	Ochsenzunge	3	7	5			5-8		55	Ruderalstellen
<i>Anthemis tinctoria</i>	Färberkamille	3	6	4	G	V	6-9		35	Trockenrasen, Ruderalstellen
<i>Centaurea cyanus</i>	Kornblume	x	x	x		V	6-8		60	Ruderalstellen, Ackerbegleitflora
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Zypressenwolfsmilch	3	x	3			5-7		25	Magerrasen
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	Wiesen-Margerite	4	x	3	V	V	6-10		70	Trocken-/Halbtrockenrasen
<i>Jasione montana</i>	Berg-Jasione	3	3	2			6-8		25	Mager-/Trockenrasen, Pionierpflanze
<i>Sedum sexangulare</i>	Milder Mauerpfefter	2	6	1			6-8		15	Trockenrasen, Ruderalstellen
<i>Galium verum</i>	Echtes Labkraut	4w	7	3			6-9		70	Mager-/Halbtrockenrasen

*Zeigerwerte nach Ellenberg: F – Feuchtezahl, R – Reaktionszahl, S – Stickstoffzahl, w – Zeiger für starken Wechsel, x – indifferentes Verhalten **Rote Liste: B – Berlin, BB – Brandenburg, V – im Bestand zurückgehend, G – Gefährdung unbekanntes Ausmaßes

Alle für die Saatgutmischungen ausgewählten Pflanzenarten sind nicht nur in Deutschland heimisch, sondern – mit Ausnahme der Färberkamille – auch in Berlin. Diese ist größtenteils schwerpunktmäßig erst nach 1980 aus dem benachbarten Brandenburg als Neophyt nach Berlin eingewandert (NETPHYD 2020).

Der Hintergrund für die Entscheidung zur Nutzung von gebietseigenem Saatgut für die Artenmischungen war neben den schon genannten Kriterien auch der Senatsbeschluss „Berliner Strategie zur Biologischen Vielfalt“ vom März 2012. Von den 38 Einzelzielen bezieht sich der Beschluss zum Ziel 16 auf die Verwendung von gebietseigenem Saat- und Pflanzgut in der Stadt: „Berlin strebt an, in der freien Landschaft und an geeigneten Stellen auch innerhalb des bebauten Gebietes verstärkt

zertifiziertes gebietseigenes Pflanz- und Saatgut bei Maßnahmen von Landschaftsbau und Landschaftspflege zu verwenden“ (KOWARIK et al. 2013). In der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes, die seit dem Jahr 2020 uneingeschränkt gilt, sind Anpflanzungen oder Aussaaten gebietsfremder Pflanzen in der freien Landschaft im Allgemeinen nicht erlaubt, auf jeden Fall aber genehmigungspflichtig. Dies gilt nicht für den Sonderstandort „Stadt“. Ungeachtet dessen spricht aus naturschutzfachlicher Sicht vieles dafür – wenn es denn mit vertretbarem Aufwand möglich ist – gebietseigenes Saat- und Pflanzgut auch innerhalb des Stadtgebietes zu verwenden.

Die Einteilung für gebietseigenes Saatgut basiert auf der Gliederung Deutschlands nach Herkunftsregionen für krautige Pflanzen nach PRASSE et al. (2010). Alle Versuchsflächen liegen in der Herkunftsregion 4, dem Ostdeutschen Tiefland.

Für die meisten der in den Versuchen verwendeten Pflanzenarten konnte gebietseigenes Saatgut über die Firma Rieger-Hofmann GmbH bzw. die Firma Nagola Re bezogen werden. Allerdings war trotz Vorbestellung im Frühjahr 2017 das Saatgut einiger Arten nicht aus der Herkunftsregion 4 beschaffbar. Hier musste auf andere Herkunftsregionen ausgewichen werden (Tab. 4).

Tab. 4: Übersicht der Pflanzenarten mit nicht gebietseigenem Saatgut

Art	Produktionsraum		Herkunftsregion	
	Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
<i>Anthemis tinctoria</i> <i>Euphorbia cyparissias</i>	7	Süddeutsches Berg- und Hügelland	11	Südwestdeutsches Bergland
<i>Falcaria vulgaris</i> <i>Plantago media</i> <i>Armeria maritima</i>	2	Nordostdeutsches Tiefland	22	Uckermark mit Odertal
<i>Echium vulgare</i>	3	Mitteldeutsches Flach- und Hügelland	20	Sächsisches Löß- und Hügelland

Nach Rücksprache mit dem Senatsbeauftragten für Landschaftspflege und Naturschutz sollte gerade für die seltenen bzw. besonders schutzwürdigen Arten *Salvia pratensis* und *Armeria maritima* subsp. *elongata* nur autochthones Saatgut aus dem Stadtgebiet Berlins verwendet werden. Das wäre eine zusätzliche Herausforderung in Bezug auf die Beschaffungsmöglichkeiten für dieses Saatgut gewesen. Allein die Einteilung der einheimischen krautigen Pflanzenarten in 22 Herkunftsgebiete innerhalb Deutschlands stellt den Anwender schon vor die Herausforderung, sowohl gewünschte Arten als auch entsprechende Mengen aus bestimmten Herkunftsgebieten zu beziehen. Für *Salvia* ist es nach der übereinstimmenden Meinung verschiedener Botaniker de facto nicht mehr möglich, im Berliner Raum autochthones Saatgut zu finden. Von *Armeria* sind keine größeren Mengen von Saatgut aus dem Teil Berlins zu beschaffen, welches zum Herkunftsgebiet 4 gehört. Stattdessen war autochthones Saatgut aus dem Berliner Raum zu bekommen, das zum Herkunftsgebiet 22 gehört. Aufgrund des Vorbildcharakters des Projekts, der Tatsache, dass auf nur relativ kleinen Flächen nicht gebietseigenes Material ausgesät werden sollte und der potenziellen Möglichkeit, später mit extra vermehrtem, autochthonen Saatgut bei entsprechendem Interesse durch öffentliche Auftraggeber (Grünflächenämter) zu arbeiten, wurde vom Büro des Landesbeauftragten für Naturschutz und Landschaftspflege zugestimmt, wie beschrieben von wenigen Arten Saatgut auch aus anderen Herkunftsregionen zu verwenden.

3.2 Versuchsflächeneinrichtung

3.2.1 Versuchsflächenauswahl

Nach einer umfangreichen Recherche und den Vor-Ort-Begehungen potenziell geeigneter Straßenmittelstreifen wurden in Abstimmung mit allen für die Erteilung der Nutzungsgenehmigungen zuständigen Behörden drei Straßenmittelstreifen als Versuchsstandorte ausgewählt (Tab. 5). Zu den involvierten Behörden gehörten Der Landesbeauftragte für Naturschutz und Landschaftspflege, die Berliner Stadtreinigung (BSR) und in den jeweils zuständigen Straßen- und Grünflächenämtern der Berliner Bezirke die Fachbereichsleitenden der Straßenunterhaltung und –aufsicht sowie der Grünflächenunterhaltung. Im Rahmen der Genehmigungserteilung für die Verkehrsflächennutzung zur Versuchsflächeneinrichtung erfolgte die Koordination mit der Berliner Verkehrslenkung und den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG).

3.2.2 Standortanalyse

An den Versuchsstandorten wurden die dort vorherrschenden Standortfaktoren aufgenommen [allgemeine Beschreibung, Lage, Ausrichtung, Art und Ausprägung der angrenzenden Flächen (Pflanzenbestand, Freifläche, Bebauung etc.), Verkehrsfrequenz]. Weiterhin wurde die vorgefundene Flora bestimmt und durch ein bodenkundliches Labor Proben genommen, die Aussagen über die Bodeneigenschaften erlauben, insbesondere die Einstufung in die jeweilige Zuordnungsklasse des mineralischen Abfalls nach den Richtlinien der LAGA PN98 (LAGA 2004). Erst auf dieser Grundlage konnten im Rahmen des Vergabeverfahrens durch die beteiligten Garten- und Landschaftsbau-Firmen die Kosten für die Entsorgung des Bodenaushubs kalkuliert und entsprechende Angebote zur Herrichtung der Versuchsflächen erstellt werden.

Tab. 5: Übersicht der ausgewählten und von den Behörden genehmigten Versuchsstandorte (Straßenmittelstreifen)

Bezirk	Straße	Koordinaten		Ausrichtung	Breite (m)
		Beginn	Ende		
Friedrichshain-Kreuzberg 10247 Berlin	Frankfurter Allee	52.515419, 13.457802	52.515318, 13.458872	NW - SO	7,50
Treptow-Köpenick 12439 Berlin	Adlergestell	52.444572, 13.527775	52.444063, 13.528523	NW - SO	4,20
Charlottenburg-Wilmersdorf 14055 Berlin	Heerstraße	52.508481, 13.255929	52.508529, 13.257013	W-O	6,80

3.2.3 Anlage der Versuchsflächen

Ursprünglich war bei der Versuchseinrichtung der Modellflächen zusätzlich zu den Saatgutmischungen die Anpflanzung von Zwergmispeln und die eines Kriechweiden-Klons als Kontrollpflanzen vorgesehen. Nach Rücksprache mit den Grünflächenämtern war eine solche Anpflanzung unerwünscht, da dadurch ein zusätzlicher Pflegeaufwand entstanden wäre. Während der Projektlaufzeit war das unerheblich, da dieser Pflegeaufwand aus Projektmitteln finanziert worden wäre. Allerdings war nach Projektende keine Beräumung der Modellflächen vorgesehen und die Pflegemaßnahmen sollten dann wieder auf

die Grünflächenämter übergehen. Um dementsprechend den Wünschen der Grünflächenämter nachzukommen und eine zugesagte Genehmigung der Nutzung der städtischen Flächen nicht zu gefährden, wurden die Gehölzpflanzungen im Versuchsplan gestrichen.

Die Anlage der Versuchsfelder auf den Straßenmittelstreifen erfolgte Ende März 2018 in den Kalenderwochen 12/13. Auf den Flächen wurden jeweils zwei Bodenvorbereitungs- bzw. -bearbeitungsvarianten durchgeführt. Die gesamten Flächen wurden zunächst bis in eine Tiefe von 15 cm mit der Bodenfräse bearbeitet. Auf der Hälfte der Fläche (36 m Länge) wurde direkt in den gefrästen Boden gesät, auf der anderen Hälfte wurden die obersten 10 cm Boden durch nährstoffarmen Sand ausgetauscht (Körnung 0/4 mm, siehe auch Abschnitt 3.2.4). Vor der Aussaat wurden die Flächen mit einer Rüttelplatte mit niedriger Frequenz verdichtet, um eine gleichmäßige Oberfläche zu erhalten. Danach wurde mit einer Harke die Oberfläche wieder leicht aufgebrochen, um dann das Saatgut in das aufgelockerte Substrat ablegen zu können. Auf jeder Bodenvorbereitungsvariante wurden die drei verschiedenen Artenmischungen auf jeweils 10 m Länge ausgesät. Die Varianten wurden durch jeweils zwei Meter breite Streifen voneinander getrennt, auf denen eine Grasmischung (*Corynephorus canescens*, *Agrostis capillaris*, *Anthoxanthum odoratum*; mit gleichen Anteilen) ausgesät wurde (Abb. 1).

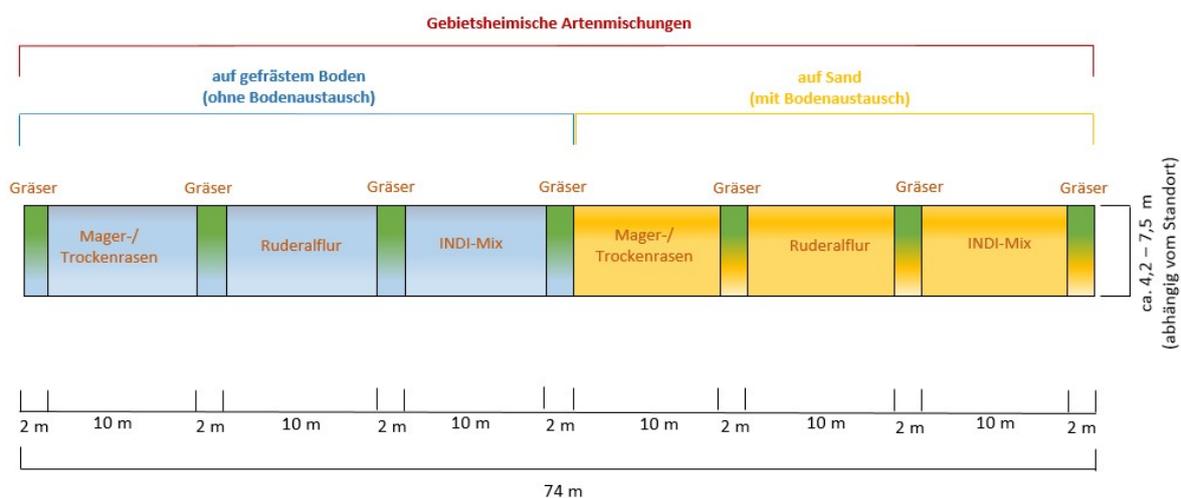


Abb. 1: Schema der Versuchsfeldanordnung auf den drei Versuchsstandorten

Für die Herstellung der Artenmischungen wurden nach Bestellung und Erhalt des Saatgutes zunächst die Anteile der Beimengungen in jeder Charge und das Tausendkorngewicht ermittelt. Dies war die Grundlage, um definierte Samenmengen der Zielarten in die Gesamtmischung zu bringen. Für jede einzelne Versuchsvariante wurden die Einzelarten in den vorher festgelegten Anteilen und errechneten Mengen abgewogen und miteinander vermischt. Anschließend wurde den Mischungen Maisschrot zugegeben (17 g/m^2) und erneut alles miteinander vermischt. Dies war notwendig, um das geringe Volumen der Saatgutmischungen soweit zu erhöhen, dass eine gleichmäßige Verteilung des Saatgutes auf den Flächen erreicht werden konnte.

Die Saatgutmischungen wurden aufgrund der vergleichsweise kleinen Versuchsflächen mit der Hand gleichmäßig ausgestreut. Versuche mit einem Saatgutstreuer zeigten bei Vorversuchen ein nicht befriedigendes Streubild. Besonders an den Grenzen der Versuchsflächen zur befestigten Fahrbahn wäre das Saatgut aufgrund der kreisrunden Ausbringungsrichtung des Streuers entweder ungleichmäßig abgelegt worden oder es hätten größere Saatgutverluste in Kauf genommen werden müssen, weil über die Versuchsflächengrenze hinaus hätte ausgesät werden müssen. Da das Saatgut ein nicht unwesentlicher Kostenfaktor ist und die Mengen genau für die Versuchsflächengrößen ausgerechnet worden waren, wurde die Entscheidung zugunsten der Handaussaat getroffen.

Nach der Aussaat wurden die Flächen mit einer Walze abgerollt. Dies sollte zu einer Verfestigung der obersten Bodenschicht (Schutz vor Winderosion), zu einem Ausgleich von Unebenheiten (Senken, Hügel, Fußabdrücke) sowie zum Herstellen des Kontakts zwischen Saatgut und Boden (Schutz vor Windverwehung, besserer Schutz vor schneller Austrocknung von Samen/Keimpflanze) führen. Direkt nach der Aussaat wurden die Flächen einmal durchdringend mit Stadtwasser gewässert. Weitere Bewässerungsgänge im Jahresverlauf erfolgten nicht.

Nachfolgend ist die Anlage der Versuchsflächen auf dem Adlergestell (Abb. 2), auf der Frankfurter Allee (Abb. 3) und auf der Heerstraße (Abb. 4) dargestellt.



Abb. 2: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen am Adlergestell (23.3.2018, Fotos: Irrgang, Blievernicht)



Abb. 3: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen der Frankfurter Allee. Die Teilfläche mit Bodenaustausch wurde am 20.3.2018 hergestellt. Aufgrund des Bodenfrostes war das Fräsen auf der zweiten Teilfläche nicht möglich. Die Arbeiten hier erfolgten eine Woche später (Fotos: Blievernicht).

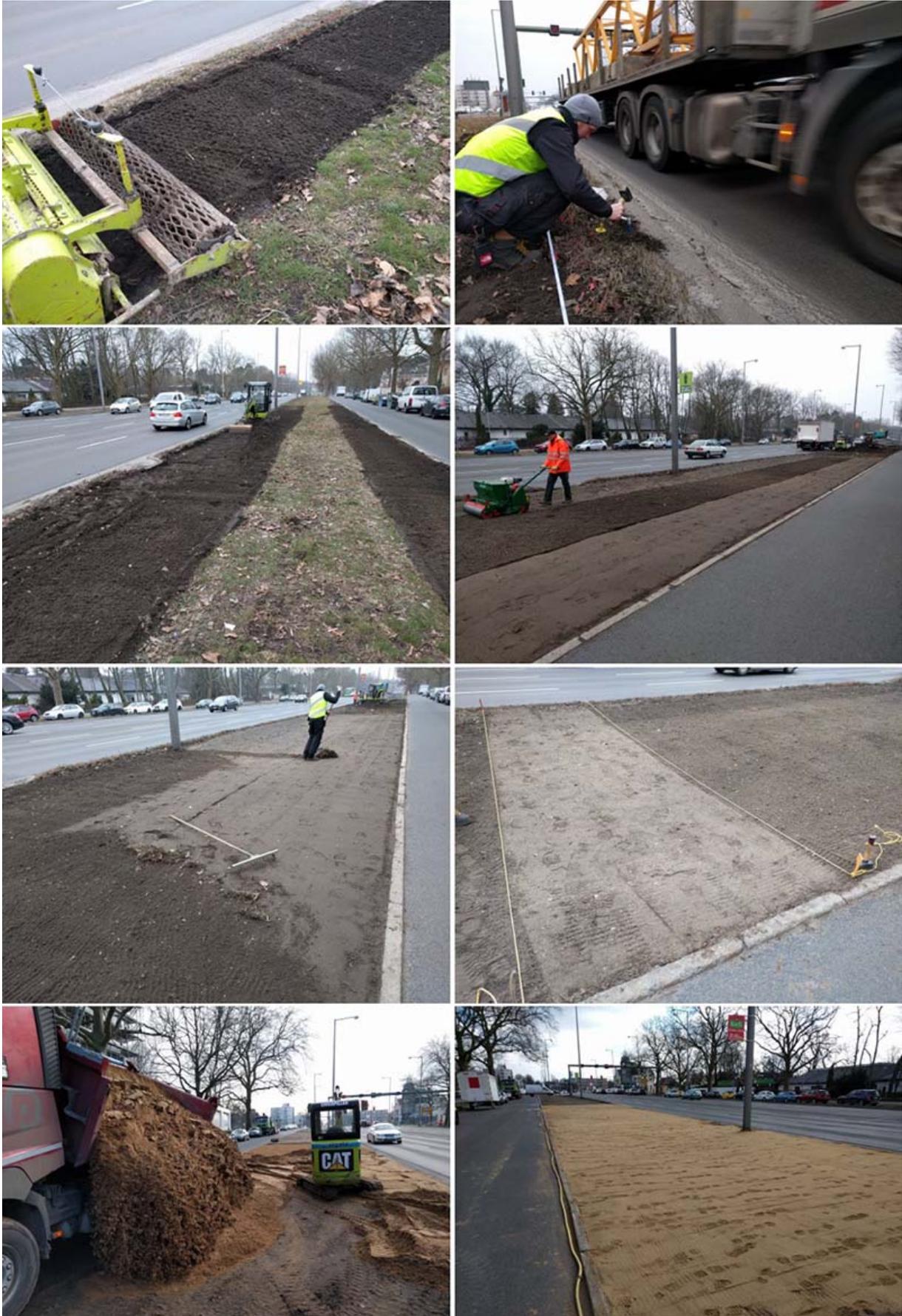


Abb. 4: Anlage der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen der Heerstraße (26./27.3.2018, Fotos: Blievernicht)

Folgende Saatgutmischungen wurden auf den drei Straßenmittelstreifen ausgesät:

Tab. 6: Übersicht der auf den ¹Straßenstandorten ausgesäten Saatgutmischungen

Mischung (g/m ²)	TKG (g)	Fremdanteil (Gewicht) im Saatgut	Anzahl Samen/m ²	² erwartete Anzahl Keimlinge/m ²	Anteil Samen in der Mischung	erwarteter Anteil Keimlinge
MAGER (3)						
<i>Armeria maritima</i>	1,370	23,6%	1503	752	15,0%	13,4%
<i>Dianthus deltooides</i>	0,147	9,5%	1503	1283	15,0%	22,9%
<i>Helichrysum arenarium</i>	0,042	24,4%	1503	772	15,0%	13,8%
<i>Plantago media</i>	0,302	3,2%	1002	207	10,0%	3,7%
<i>Potentilla argentea</i>	0,096	2,7%	1503	722	15,0%	12,9%
<i>Sedum acre</i>	0,023	39,9%	2004	1443	20,0%	25,7%
<i>Thymus pulegioides</i>	0,163	11,4%	1002	428	10,0%	7,6%
Summe			10022	5606	100,0%	100,0%
RUDER (4)						
<i>Achillea millefolium</i>	0,125	44,7%	1053	863	20,0%	36,3%
<i>Campanula rotundifolia</i>	0,030	0,0%	1053	765	20,0%	32,2%
<i>Echium vulgare</i>	2,766	0,4%	1053	211	20,0%	8,8%
<i>Falcaria vulgaris</i>	0,766	6,8%	395	71	7,5%	3,0%
<i>Hypericum perforatum</i>	0,099	30,1%	790	284	15,0%	11,9%
<i>Linaria vulgaris</i>	0,115	27,9%	526	161	10,0%	6,8%
<i>Salvia pratensis</i>	1,224	3,4%	395	24	7,5%	1,0%
Summe			5265	2380	100,0%	100,0%
INDI (4)						
<i>Anchusa officinalis</i>	3,260	12,1%	171	11	5,0%	0,7%
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,383	4,5%	514	401	15,0%	24,1%
<i>Centaurea cyanus</i>	3,978	2,9%	429	223	12,5%	13,4%
<i>Euphorbia cyparissias</i>	2,447	0,0%	514	24	15,0%	1,4%
<i>Galium verum</i>	0,358	2,0%	343	110	10,0%	6,6%
<i>Jasione montana</i>	0,018	0,0%	600	428	17,5%	25,8%
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	0,411	5,2%	343	238	10,0%	14,3%
<i>Sedum sexangulare</i>	0,013	47,2%	514	226	15,0%	13,6%
Summe			3429	1661	100,0%	100,0%
GRAS (2)						
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	0,600	0,0%	2703	1099	33,3%	33,9%
<i>Agrostis capillaris</i>	0,050	0,0%	2703	1910	33,3%	58,9%
<i>Corynephorus canescens</i>	0,090	0,0%	2703	234	33,3%	7,2%
Summe			8108	3243	100,0%	100,0%

¹ Die prozentualen Anteile der Arten in den drei Saatgutmischungen MAGER, RUDER und INDI wurden analog im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem verwendet und stellen dort die Variante 1 der beiden getesteten Varianten an unterschiedlichen Saatgutmengen der einzelnen Arten in den Mischungen dar.

² Die erwartete Anzahl an Keimlingen bezieht sich auf die Ergebnisse des Keimfähigkeitstests vom März 2018 unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus (Details zum Keimfähigkeitstest in Kap. 4.1)

3.2.4 Untersuchung des Konkurrenzverhaltens und der Reproduktionsfähigkeiten der einzelnen Arten in den Artenmischungen mit verschiedenen Saatgut-Mengenanteilen

In den Saatgutmischungen wurden verschiedene Pflanzenarten miteinander vergesellschaftet. Teilweise kommen diese Arten auch natürlicherweise zusammen vor, teilweise aber auch nicht. Deshalb sollte innerhalb des Projektvorhabens auch geklärt werden, wie sich die einzelnen Arten unter den gegebenen Konkurrenzbedingungen etablieren und mittelfristig weiterentwickeln. Dazu wurden die gleichen Saatgutmischungen, wie sie großflächig auf den Versuchsstandorten der drei Mittelstreifen ausgesät worden waren, in einem Parzellenversuch am Campus Berlin-Dahlem ausgesät

und ihre Entwicklung dokumentiert. Auch die beiden Varianten der Bodenvorbereitung (Bodenaustausch durch Sand bzw. Boden nur fräsen) wurden auf den Parzellen genau wie auf den Straßenstandorten durchgeführt. Zusätzlich wurde für die drei Saatgutmischungen jeweils noch eine zweite Variante mit veränderten prozentualen Saatgutanteilen (Tab. 7) der einzelnen Arten in den Mischungen auf den beiden Bodenbearbeitungsvarianten getestet.

Tab. 7: Variante 2 der prozentualen Verteilung der einzelnen Arten in den drei Artenmischungen auf den Parzellenversuchen. Variante 1 entspricht den Mischungen, die auch auf den Straßenstandorten ausgesät wurden (s. Tab. 6).

Mischung (g/m ²)	TKG (g)	Fremdanteil (Gewicht) im Saatgut	Anzahl Samen/m ²	¹ erwartete Anzahl Keimlinge/ m ²	Anteil Samen in der Mischung	erwarteter Anteil Keimlinge
MAGER (3)						
<i>Armeria maritima</i>	1,370	23,60%	1838	919	27,50%	25,21%
<i>Dianthus deltooides</i>	0,147	9,50%	338	288	5,00%	7,91%
<i>Helichrysum arenarium</i>	0,042	24,40%	1352	694	20,00%	19,04%
<i>Plantago media</i>	0,302	3,20%	676	140	10,00%	3,83%
<i>Potentilla argentea</i>	0,096	2,70%	507	243	7,50%	6,68%
<i>Sedum acre</i>	0,023	39,90%	1690	1217	25,00%	33,38%
<i>Thymus pulegioides</i>	0,163	11,40%	338	144	5,00%	3,96%
Summe			6740	3646	100,00%	100,00%
RUDER (4)						
<i>Achillea millefolium</i>	0,125	44,70%	1361	1116	15,00%	25,63%
<i>Campanula rotundifolia</i>	0,030	0,00%	2758	2004	30,00%	46,02%
<i>Echium vulgare</i>	2,766	0,40%	904	181	10,00%	4,15%
<i>Falcaria vulgaris</i>	0,766	6,80%	460	83	5,00%	1,90%
<i>Hypericum perforatum</i>	0,099	30,10%	1838	662	25,00%	15,20%
<i>Linaria vulgaris</i>	0,115	27,90%	919	282	10,00%	6,47%
<i>Salvia pratensis</i>	1,224	3,40%	460	28	5,00%	0,63%
Summe			8699	4355	100,00%	100,00%
INDI (4)						
<i>Anchusa officinalis</i>	3,260	12,10%	99	7	2,50%	0,36%
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,383	4,50%	991	773	25,00%	41,67%
<i>Centaurea cyanus</i>	3,978	2,90%	297	155	7,50%	8,33%
<i>Euphorbia cyparissias</i>	2,447	0,00%	793	37	20,00%	1,99%
<i>Galium verum</i>	0,358	2,00%	198	63	5,00%	3,42%
<i>Jasione montana</i>	0,018	0,00%	991	509	25,00%	27,42%
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	0,411	5,20%	198	137	5,00%	7,41%
<i>Sedum sexangulare</i>	0,013	47,20%	396	174	10,00%	9,40%
Summe			3964	1855	100,00%	100,00%

¹ Die erwartete Anzahl an Keimlingen bezieht sich auf die Ergebnisse des Keimfähigkeitstests vom März 2018 unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus (Details zum Keimfähigkeitstest in Kap. 4.1)

Im Vorfeld der Versuchsflächeneinrichtung wurde recherchiert, welche Art von Substrat für die Variante Bodenaustausch die geeignetste ist. Die Auswahl des als Substrat dienenden Sandes gestaltete sich schwierig, da Sand ein Naturprodukt ist und in vielen Abstufungen hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften erhältlich ist. Dazu kommt, dass die entstehenden finanziellen Kosten bei der zukünftigen Verwendung dieses Substrats auf anderen Flächen ein wichtiges Kriterium innerhalb der Kosten-/Nutzen-Rechnung für die Neugestaltung kommunaler oder auch privater Flächen sind.

Außerdem sollte der verwendete Sand auch später in größeren Mengen verfügbar sein. Neben der Recherche potenzieller Lieferanten und deren Lieferbedingungen wurden verschiedene Sand-Körnungsgemische begutachtet und damit Biotests durchgeführt (Kresse-Test zur Beurteilung von Keimfähigkeit und Weiterwachstum der ausgesäten Pflanzen auf den verschiedenen Substraten). Im Ergebnis wurde ein ungewaschener Kiessand mit der Körnung 0/4 mm als am besten geeignet ausgewählt. Zusätzlich hatte dieser Sand die Eigenschaft, dass nach Benetzung mit Wasser und anschließender Trocknung die Oberfläche eine dünne Kruste bildete, die ein Verwehen des Sandes verhinderte und so keine Gefahr einer Verwehung im Straßenraum und den damit verbundenen Beeinträchtigungen für Passanten und Verkehr bestand.

Mitte März 2017 wurde auf dem Campus Dahlem mit der Einrichtung der Parzellenversuche begonnen. Dazu wurde auf der ausgewählten Freilandfläche auf einem Streifen von ca. 4 m Breite und 18 m Länge in Nord-Süd-Ausrichtung der Oberboden auf einer Höhe von ca. 10 cm mit Hilfe eines Radladers abgetragen. Danach erfolgte in gleicher Höhe der Auftrag des Kiessandes. Die so hergestellte Fläche war die Basis für die Durchführung der Versuchsvariante Bodenaustausch. Auf der anderen, gleich großen Teilfläche wurde der anstehende Oberboden nur mit einer Bodenfräse bis zu einer Tiefe von ca. 15 cm gefräst. Nach diesen vorbereitenden Arbeiten wurde die Versuchsfläche durch Tiefbordsteinen in 36 Parzellen mit einer Größe von je 4 m² gegliedert (Abb. 5). Zum Abschluss wurde die gesamte Fläche zum Schutz vor Wildschaden und unbefugtem Betreten durch Dritte mit Bauzaunelementen abschließbar eingezäunt.

Im April wurde das Saatgut für die anstehenden Versuche geliefert. Um die geplanten prozentualen Anteile der Arten in den jeweiligen Saatgutmischungen möglichst genau einzustellen, wurde für die einzelnen Arten das Tausendkorngewicht ermittelt. Der Gewichtsanteil der Beimengungen innerhalb der jeweiligen Chargen wurde ebenfalls ermittelt (Abb. 6). Aus diesen Daten konnten dann die notwendigen Gewichte der Arten in den Mischungen berechnet werden. Da das Saatgut der verwendeten Pflanzenarten deutliche Unterschiede hinsichtlich der Größe aufwies und die Gefahr einer unzureichend gleichmäßigen Durchmischung bei besonders kleinen Samen (z. B. *Sedum*, *Jasione*) bestand, wurden für jede Versuchsparzelle die notwendigen Mengen der verwendeten Arten einzeln abgewogen und daraus dann die jeweilige Mischung hergestellt (Abb. 7).

Zum Zeitpunkt der Aussaat – Anfang Mai 2018 – wurde zunächst ermittelt, welche Menge an Füllstoff notwendig ist, um eine Versuchsparzelle gleichmäßig und vollständig mit Saatgut zu belegen. Als Füllstoff wurde der im Versuch verwendete Kiessand verwendet. Die ermittelte Menge Sand wurde je Parzelle mit der Saatgutmischung vermischt und gleichmäßig durch Ausstreuen ausgebracht. Anschließend wurde das Saatgut auf allen Flächen angewalzt und im Anschluss mit Stadtwasser beregnet. Die Beregnung wurde wetterangepasst drei Wochen lang bei Bedarf durchgeführt. Der Grund hierfür war, dass die Aussaat Anfang Mai erfolgte und zu diesem Zeitpunkt sehr hohe Temperaturen herrschten und kaum Niederschlag zu verzeichnen war. In der Praxis soll es nur eine einmalige Beregnung nach dem Anlegen der Flächen geben. Die Aussaat wird dann auch zu einem günstigen Zeitpunkt (Spätherbst) erfolgen, sodass auf zusätzliche Bewässerung verzichtet werden kann.



Abb. 5: Versuchsflächeneinrichtung am Campus Dahlem (Mitte März 2017). Von links oben nach rechts unten: Bild 1 – 4 = Vorbereitung der Sand-Fläche, Bild 5 = Vorbereitung der Fräs-Fläche (Fotos: Blievernicht)



Abb. 6: Saatgut (a), Fremdsaatgut (b) und Beimengungen (c) in Abb. 7: Vorbereitete Saatgutmischungen für die Parzellengelieferte Saatgutcharge von *Hypericum perforatum* (April versuche am Campus Dahlem (Mai 2017, Foto: Blievernicht) 2017, Foto: Blievernicht)

Um ein sofortiges Überwachsen und damit die vollständige Verdrängung der Aussaaten zu verhindern, musste auf den gefrästen Versuchsfeldern Ende Juni, Anfang Juli und Anfang August 2017 jeweils ein Schröpfschnitt bis auf ca. 5 cm über Oberkante Oberboden durchgeführt und das Mähgut abgesammelt werden. In den folgenden Jahren wurde die Biomasse auf allen Flächen zum Ende der Vegetationsperiode 5 cm über der Bodenoberfläche mit einer Heckenschere abgeschnitten, je Parzelle gesammelt, das Frischgewicht bestimmt, bei 104 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend erneut gewogen, um das Trockengewicht zu ermitteln.

Die Entwicklung der Pflanzenbestände auf den Parzellen wurde laufend fotografisch dokumentiert. Im September 2017 und im April 2018 wurden auf den Sand-Parzellen alle vorkommenden Pflanzen gezählt. Auf den Fräs-Parzellen war das Wachstum der Nicht-Zielarten so stark, dass hier eine Individuenzählung nicht möglich war. Im weiteren Projektverlauf wurde für die einzelnen Arten der jeweilige Deckungsgrad ermittelt. Dieser wurde nach der Klasseneinteilung von LONDO (1976) geschätzt.

Für die Zielarten wurden die einzelnen Blühphasen dokumentiert und in einem Blühkalender zusammengefasst. Wenn mindestens eine Blüte einer Art vollständig, aber weniger als die Hälfte der Gesamtheit der vorkommenden Blütenansätze geöffnet war, wurde dieser Zustand als Vorblüte charakterisiert. Waren mehr als die Hälfte der Blütenansätze geöffnet, entsprach das der Hauptblüte. Die Abblüte stellte den Zustand dar, in dem mehr als die Hälfte der vorhandenen Blüten verblüht waren. Als zweite Blüte wurde definiert, wenn es zwischen erster und zweiter Blüte eine Phase ohne jegliche offenen Blüten gab oder sich der Anteil geöffneter Blüten wieder deutlich erhöht hatte.

Des Weiteren wurde dokumentiert, bei welchen Arten eine Samenbildung stattfand und wie stark sich die Zielarten auf andere Parzellen ausgebreitet hatten.

3.2.5 Vergleichende Wachstumsversuche unter teilweise definierten Wachstumsbedingungen (Trockenstressversuche) und Untersuchung von Keimfähigkeit und Jungpflanzenentwicklung der Zielarten

Für die Pflanzenarten, die innerhalb des Modell- und Demonstrationsvorhaben verwendet wurden, sollten die Keimfähigkeit und die phänotypische Jungpflanzenentwicklung untersucht werden. Außerdem musste einjähriges und zweijähriges Pflanzenmaterial angezogen werden, das für die Untersuchung der Trockenstresstoleranz der Arten eingesetzt werden sollte. Für die Trockenstressversuche wurden von den beiden Mauerpfeffer-Arten (*Sedum acre* und *Sedum sexangulare*) keine Pflanzen angezogen, da die hohe Trockenstresstoleranz der sukkulenten Pflanzen allgemein bekannt und nachgewiesen ist.

Anfang Mai 2017 wurde von allen 25 Arten jeweils dreimal 50 Samen abgezählt, in einer Aussaatschale mit einer zuvor hergestellten Substratmischung aus gleichen Teilen Torfsubstrat und Kiessand ausgebracht und anschließend im Freiland aufgestellt. Einige der ausgesäten Arten keimten auch nach sechs Wochen nur vereinzelt oder gar nicht. Dazu kam, dass die Pflanzen nur unzureichend Zuwachs zeigten. Deshalb wurden die kompletten Substratkörper aus den Aussaatschalen zerstörungsfrei in gewachsenen Boden im Freiland überführt. Zusätzlich wurden die einzelnen Arten nochmals flächig ausgesät, um die notwendige Anzahl an Versuchspflanzen sicherzustellen. Gekeimte Pflanzen, die ausreichend oberirdische Masse und entsprechend Wurzeln gebildet hatten, wurden in die Versuchsgefäße (Mitscherlich-Gefäße) umgesetzt. Die Bewässerung der Gefäße erfolgte mit Einzeltropfern, die für die drei Bewässerungsvarianten getrennt steuerbar waren (Abb. 8). Die Entwicklung der Keimpflanzen wurde entwicklungsabhängig fotografisch dokumentiert. Dies war notwendig, um die auf den Versuchsfeldern keimenden Arten identifizieren und unterscheiden zu können.



Abb. 8: Trockenstressversuch in Mitscherlich-Gefäßen (Jan 2018, Foto: Blievernicht)



Abb. 9: Vorkultur im Gewächshaus zur Bereitstellung von ein- und zweijährigem Pflanzenmaterial für die Trockenstressversuche (Jan 2018, Foto: Blievernicht)

Die ersten Aussaaten lieferten nicht genügend Pflanzenmaterial, um für die Wiederholung der Trockenstressversuche mit einjährigem und zweijährigem Pflanzenmaterial die entsprechend notwendige Anzahl an Pflanzen sicherzustellen. Deshalb wurde im Oktober 2017 erneut ausgesät, diesmal im klimatisierten Gewächshaus. Nach artabhängiger Etablierung der Pflanzen erfolgte im November das Pikieren in Multitopf-Paletten zur Weiterkultur (Abb. 9). Da sich im durchgeführten Trockenstressversuch zeigte, dass die verwendeten Mitscherlich-Gefäße in Bezug zu den

Pflanzengrößen überdimensioniert waren, wurde für die Wiederholungsversuche nach Alternativen gesucht. Als passende Versuchsgefäße wurden jetzt KG-Rohre (Kanal-Grundrohr), 50 cm lang und 10 cm Innendurchmesser ausgewählt und beschafft. Die Rohre wurden mit einer Substratmischung aus jeweils 50 % Torfsubstrat und ungewaschenem Kiessand (0/4) befüllt. Mitte Februar 2018 erfolgte das Einsetzen der vorkultivierten Pflanzen in die Rohre (Abb. 10). Mit Beginn des Wiederholungsversuchs Anfang September 2018 stand somit einjähriges Pflanzmaterial zur Verfügung, das auch ein entsprechendes Wurzelsystem in den KG-Rohren ausgebildet hatte. Für die Versuche im Jahr 2019 mit zweijährigen Pflanzen wurde aus dem vorhandenen Pflanzenbestand die notwendige Anzahl zunächst in Töpfen weiterkultiviert und dann analog wie im Jahr 2018 zunächst in die Rohre gepflanzt. Der Trockenstressversuch wurde dann Ende August 2019 begonnen.



Abb. 10: Vorkultur in KG-Rohren (Feb 2018, Foto: Blievernicht)

Ausreichend entwickeltes Pflanzenmaterial für den ersten Trockenstressversuch stand entgegen der ursprünglichen Planung erst im Herbst 2017 zur Verfügung. Ursächlich hierfür war die tatsächliche Entwicklungsdauer der Pflanzen, die im Rahmen der Projektplanung nur abgeschätzt werden konnte. Die verschiedenen Arten zeigten eine unterschiedlich schnelle Entwicklung, sodass erst im Herbst 2017 mit den Trockenstressversuchen begonnen werden konnte. Dennoch sind die Ergebnisse für ein Szenario „trockener und milder Herbst/Winter“ von Interesse. Für die

Bewertung der Stressreaktion der Pflanzen wurde ein phänologisches Boniturschema mit neun Parametern entwickelt. Diese erfassen phänotypische Merkmale, die mit durch Wassermangel induzierten Stress assoziiert werden. Später erfolgte die Einteilung der einzelnen Pflanzen in eine der nachfolgend beschriebenen vier Boniturstufen:

- 0 = Keine äußerlich sichtbaren Symptome erkennbar (Schäden aus der Vorkultur wurden bei der Einschätzung berücksichtigt).
- 1 = Teile der Pflanze zeigen Welkesymptome (nachlassende Turgescenz, Verblässen, Chlorosenbildung). Die Symptome sind teilweise reversibel (z. B. Turgor).
- 2 = Die gesamte Pflanze zeigt starke Welkesymptome und/oder Nekrosen und/oder Absterbeerscheinungen. Die beobachteten Symptome sind irreversibel.
- 3 = Die oberirdischen Pflanzenteile sind abgestorben.

Mit Beginn des Versuchs erfolgten die Bonituren im Abstand weniger Tage, da noch keine Informationen zur Reaktion der verschiedenen Arten auf Trockenstress vorlagen. Mit zunehmender Versuchsdauer wurden die Boniturermine auf die Entwicklung der Pflanzen, d. h. auf sichtbare Veränderungen im äußeren Erscheinungsbild abgestimmt.

3.2.6 Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse während der Projektlaufzeit in die Praxis durch Einrichtung einer weiteren Versuchsfläche

In der ursprünglichen Projektplanung war die Einrichtung von drei Modell- und Demonstrationsflächen auf Straßenmittelstreifen im Berliner Straßenraum vorgesehen. Auf diesen Flächen wurden im März 2018 jeweils zwei Bodenvorbereitungsvarianten durchgeführt. Eine Teilfläche wurde vor der Aussaat der Versuchsmischungen gefräst, auf der anderen Fläche wurde die oberste Bodenschicht bis in ca. 10 cm Tiefe durch einen nährstoffarmen Sand ausgetauscht. Die Sandauflage in dieser Versuchsvariante soll den dort ausgesäten Arten einen Standortvorteil bieten, indem durch den nur geringen Nährstoffvorrat und die geringe Wasserhaltekapazität des verwendeten Sandes nur wenige andere Arten dort erfolgreich keimen und sich etablieren können. Ein Nachteil dieser Variante ist, dass unterhalb der Sandauflage das ursprüngliche Substrat weiterhin vorhanden ist. Wenn nach Keimung von durch Anflug hierher verbrachten Saatguts die aufgelaufenen Pflanzen ihre Wurzeln über die Sandschicht hinaus etablieren können, ändern sich die Standortbedingungen. Die durchgeführten Laboruntersuchungen des organischen Kohlenstoffgehalts (TOC) der obersten 10 cm Boden auf den drei Modellstandorten zeigten Gehalte zwischen 2,5 und 3,6 Masse-% in der Trockensubstanz. Dies entspricht einem mittleren bis hohen Humusgehalt nach den Kriterien der LAGA (2004). Die untersuchte oberste Bodenschicht wurde durch nährstoffarmen Sand ersetzt. Allerdings waren die Schichten des humosen Oberbodens auf den drei Standorten deutlich mächtiger als 10 cm. Dies ist ein grundsätzlicher Nachteil zur Beantwortung der Versuchsfrage, da der Ansatz des Forschungsvorhabens darin besteht, auf Mittelstreifen nährstoffarme Standorte mit entsprechend angepasster Vegetation zu etablieren. Deshalb wäre es sinnvoll, den entwickelten Versuchsansatz auch auf Standorten zu testen, die nach Straßenneu- oder –umbauarbeiten komplett neu angelegt werden.

Im September 2018 konnte eine solche Fläche im Berliner Straßenraum identifiziert werden (Tab. 8).

Tab. 8: Übersicht der Standorteigenschaften der zusätzlich ausgewählten Versuchsfläche Mittelstreifen Steglitzer Damm

Bezirk	Straße	Koordinaten		Ausrichtung	Breite
		Beginn	Ende		
Steglitz-Zehlendorf 12169 Berlin	Steglitzer Damm	52.451365 13.335508	52.451085 13.337683	NW - O	1,70 m

Zu dieser Zeit wurden im Bereich des Straßenmittelstreifens des Steglitzer Damms bestehende Versorgungsleitungen erneuert. Mit Beginn der Baumaßnahme wurde das anstehende Substrat bis in die Unterbodenschicht (Tiefe ca. 1,50 m) entfernt. Nach Rücksprache und Einholung der erforderlichen Genehmigungen für die Versuchsdurchführung bei den zuständigen Behörden (Straßen- und Grünflächenamt Steglitz-Zehlendorf, Fachbereich Tiefbau, Fachbereich Grünflächen) wurde nach Abschluss der Arbeiten die Fläche ausschließlich mit Füllsand wieder aufgefüllt. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften auch im Vergleich zum Sand, der auf den anderen drei Versuchsflächen verwendet wurde, sind in Tab. 9 dargestellt. In Abb. 11 wird ersichtlich, dass der Feinbodenanteil (Korngrößen < 2 mm) im Sand am Steglitzer Damm nur geringfügig höher als der des auf den anderen Versuchsflächen verwendeten ist. Allerdings ist der Anteil der Korngrößen > 0,2 bis 0,5 mm und der < 0,2 mm jeweils (60 %/100 %) und auch in der Gesamtsumme (74 %) deutlich höher. Daraus resultiert eine höhere Wasserspeicherfähigkeit durch ein größeres Porenvolumen.

Tab. 9: Physikalische und chemische Eigenschaften der auf den Versuchsflächen verwendeten Sande

	¹ Dahlem	Steglitzer Damm
Partikelgröße (mm)		
> 10	0	0
> 8,0 bis 10	0	0
> 4,0 bis 8,0	2	1
> 2,0 bis 4,0	6	1
>1,0 bis 2,0	14	3
> 0,5 bis 1,0	32	15
> 0,2 bis 0,5	30	48
< 0,2	16	32
Vol.-Gew. (g/l, trocken)	1380	1340
pH-Wert (CaCl ₂)	7,4	7,6
Salzgehalt (als KCl, g/l, H ₂ O)	0,28	0,37
Stickstoff (N, mg/l, CaCl ₂)	< 10	< 10
Nitrat-N (NO ₃ -N, mg/l, CaCl ₂)	< 28	< 27
Ammonium-N (NH ₄ , mg/l, CaCl ₂)	< 28	< 27
Phosphat (P ₂ O ₅ , mg/l, CAL)	< 55	< 67
Kalium (K, mg/l, CAL)	73	69
Magnesium (Mg, mg/l, CaCl ₂)	28	27
Calcium (Ca, mg/l, Formiat)	2806	2173

¹ Dahlem: Sand, der für die im Frühjahr 2018 angelegten Versuchsflächen Adlgerstell, Frankfurter Allee, Heerstraße sowie für die Parzellenversuche am Campus Dahlem verwendet wurde. Steglitzer Damm: Sand, der für die im Dezember 2018 am Steglitzer Damm angelegte Versuchsfläche verwendet wurde. Bestimmung der Partikelgrößenverteilung durch Siebanalyse (Methode: Gew.-% = LUFA Nord-West 1/1-600; 2013-06). Methodennennung: Vol.-Gew.: VDLUFA I A 13.2.1 u. 13.2.2; 1991 (mod. Probenvorbereitung); pH-Wert: VDLUFA I A 5.1.1; 2016 (CaCl₂ bzw. H₂O); Salzgehalt: VDLUFA I A 13.4.1; 1991 (H₂O) u. VDLUFA 13.4.2; 1991 (Gips); N, P₂O₅, K₂O, Mg, Na (CAT): VDLUFA I A 13.1.1; 2004; NO₂-N (CaCl₂): VDLUFA I A 6.1.1.1 (photometrisch); 2002; NH₄-N (CaCl₂): VDLUFA I A 6.1.2.1; 2002; P₂O₅ u. K₂O (CAL): VDLUFA I A 6.2.1.1; 2012; Mg (CaCl₂): VDLUFA I A 6.2.4.1; 1991; Ca (Formiat): LUFA Nord-West AA 1/1-517 #6; 2019; Na und Cl (H₂O): VDLUFA I A 13.4.3, 2012; Gehaltsskassen eine Identifikation der LUFA Nord-West. Alle Daten durch die LUFA Nord-West gewonnen.

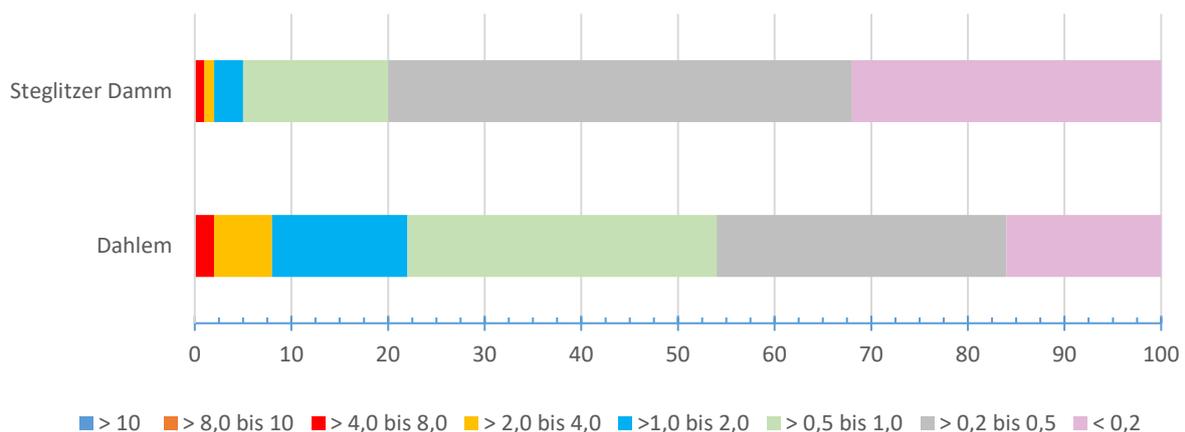


Abb. 11: Vergleich der Korngrößenverteilung in den auf den Versuchsflächen verwendeten Sanden. Bestimmung der Korngrößen durch die LUFA Nord-West nach Methode: Siebanalyse, Gew.-% (LUFA Nord-West 1/1-600; 2013-06). Dahlem = Sand, der für die im Frühjahr 2018 angelegten Versuchsflächen Adlgerstell, Frankfurter Allee, Heerstraße sowie für die Parzellenversuche am Campus Dahlem verwendet wurde. Steglitzer Damm = Sand, der für die im Dezember 2018 am Steglitzer Damm angelegte Versuchsfläche verwendet wurde.

Humoser Oberboden als Deckschicht wurde nicht aufgebracht. Die Aussaat per Hand erfolgte Mitte Dezember 2018. Dazu wurde die bis zu diesem Zeitpunkt als aussichtsreichst eingeschätzte Saatgutmischung MAGER in einer modifizierten Variante (MAGER+) auf der gesamten Fläche ausgesät (Tab. 10). Für eine gleichmäßige Verteilung wurde der Mischung Maisschrott (17 g/m²) hinzugefügt. Zusätzlich wurde auch ein Haftkleber (Verdyol® super, 20 g/m², Fa. JULIWA-HESA GmbH) verwendet. Der Kleber besteht aus polymerisierten, organischen Kolloiden, ist unschädlich für Menschen, Tiere und Pflanzen und besitzt einen pH-Wert von 7,3 (SCHNOTZ 2020). Die Verwendung des Haftklebers sollte sicherstellen, dass das Saatgut an der Aussaatstelle verbleibt, da nach Aussaat keine Überdeckung des Saatguts mit Substrat erfolgt. In der Vergangenheit zeigte sich, dass z. B. die im Verhältnis zu ihrer Größe relativ leichten Samen von *Armeria maritima* einfach durch Windbewegung verdriften können. Durch die nach der Aussaat durchgeführte Bewässerung mit Stadtwasser wurde der Kleber aktiviert. Weitere Bewässerungsgänge erfolgten während der Projektlaufzeit nicht.

Tab. 10: Übersicht der für den Versuchsstandort „Steglitzer Damm“ leicht veränderten Saatgutmischung MAGER+

Mischung (g/m ²)	TKG (g)	Fremdanteil (Gewicht) im Saatgut	Anzahl Samen/m ²	¹ erwartete Anzahl Keimlinge/m ²	Anteil Samen in der Mischung	erwarteter Anteil Keimlinge
MAGER+ (3)						
<i>Armeria maritima</i>	1,370	23,6%	1460	730	11,7%	12,8%
<i>Dianthus deltooides</i>	0,147	9,5%	1531	1306	12,3%	22,9%
<i>Helichrysum arenarium</i>	0,042	24,4%	1453	746	11,6%	13,1%
<i>Plantago media</i>	0,302	3,2%	1029	213	8,2%	3,7%
<i>Potentilla argentea</i>	0,096	2,7%	1544	741	12,4%	13,0%
<i>Sedum acre</i>	0,023	39,9%	1732	1247	13,9%	21,8%
<i>Thymus pulegioides</i>	0,163	11,4%	508	217	4,1%	3,8%
<i>Centaurea cyanus</i>	3,978	2,9%	528	275	4,2%	4,8%
<i>Corynephorus canescens</i>	0,090	0,0%	2703	235	21,6%	4,1%
Summe			12489	5710	100,00%	100,00%

¹ Die erwartete Anzahl an Keimlingen bezieht sich auf die Ergebnisse des Keimfähigkeitstests vom März 2018 unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus (Details in Kap. 4.1).

Das benötigte gebietsheimische Saatgut wurde Ende Oktober 2018 bei den Firmen Rieger-Hofmann GmbH und Nagola Re GmbH beschafft. Neben den ursprünglich enthaltenen Arten in der MAGER-Mischung wurden aufgrund der schon gewonnenen Erfahrungen zusätzlich noch Saatgut vom Silbergras (*Corynephorus canescens*) und der Kornblume (*Centaurea cyanus*) verwendet. Dadurch erfolgte in der MAGER+-Mischung auch eine geringfügige Änderung der Anteile der anderen verwendeten Arten im Vergleich zur ursprünglichen MAGER-Mischung (Tab. 10).

Der Mittelstreifen am Steglitzer Damm ist nur etwa 1,70 m breit. Die Aussaat erfolgte auf einer Länge von knapp 150 m, sodass dies eine Gesamtfläche von ca. 250 m² ergab (Abb. 12). Das war ein Vielfaches der Flächen, die Anfang des Jahres 2018 auf den anderen drei Versuchsstandorten angelegt worden waren. Durch die Gesamtgröße der Fläche und die Genese des Zustandekommens der Begrünung kann dies als direkte Übertragung von Forschungsergebnissen in die Praxis schon während der Projektlaufzeit betrachtet werden.



Abb. 12: Aussaat auf der Versuchsfläche am Steglitzer Damm (17.12.2018, Foto: Blievernicht)



Abb. 13: Versuchsfläche zwei Monate nach Anlage (Foto: Blievernicht)

4 Erzielte Ergebnisse des Vorhabens

4.1 Keimlingsetablierung der ausgesäten einheimischen Zielarten

Keimfähigkeitsversuch

Mit Beginn des Projektes wurde das beschaffte Saatgut hinsichtlich der Keimfähigkeit geprüft. Der Versuch wurde parallel mit den Parzellenversuchen im Freiland begonnen. Dies sollte sicherstellen, dass annähernd gleiche Witterungsbedingungen für das ausgebrachte Saatgut herrschen und die Keimfähigkeit des Saatguts im Keimversuch die Keimfähigkeit des Saatguts in den Parzellenversuchen und dann später auch in den Versuchen auf den Straßenmittelstreifen abbildet.

Pro Art wurden jeweils 150 Samen in drei Wiederholungen ausgesät (Anzuchtschale 40 x 60 cm). Die Aussaat erfolgte auf Aussaat- und Pikiersubstrat TKS 1 Instant Plus (Fa. FloraGard). Anschließend wurde das Saatgut mit einer dünnen Schicht feinem Sand abgedeckt. Die Anzuchtschalen wurden ohne Abdeckung auf eine nicht beschattete Freifläche direkt neben der Parzellen-Versuchsanlage aufgestellt und mit Stadtwasser analog zu den Parzellenversuchen bedarfsgerecht gegossen.

Das Saatgut keimte vergleichsweise schlecht. Einige Arten keimten gar nicht (*Agrostis capillaris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Centaurea cyanus*), bei anderen starben mit fortschreitendem Versuchsverlauf immer mehr Keimlinge ab. Die Anzuchtschalen standen auf Bändchengewebe und einer darunterliegenden Schicht aus Betonrecycling (Unterbau für Baumschul-Gießwagenfläche). Es kann vermutet werden, dass die untersuchten Arten natürlicherweise an Standorten wachsen, die durch regelmäßig auftretende Wasserknappheit gekennzeichnet sind und die Pflanzen deshalb mit Beginn der Keimung sofort versuchen, die Keimwurzel möglichst schnell in tiefe Bodenschichten zu entwickeln. Dadurch kann die Wasserversorgung des Keimlings gewährleistet werden, auch wenn die oberen Bodenschichten schon ausgetrocknet sind. Da dies auf der Versuchsfläche nicht oder nur eingeschränkt möglich war, zeigte sich bei einigen Arten eine eingeschränkte Keimung bzw. Entwicklung der Pflanzen.

Im März 2018 wurde der Keimversuch wiederholt, diesmal jedoch im Gewächshaus. Die Vorbereitung erfolgte analog zum Versuch im Jahr 2017. Zusätzlich wurden die Schalen mit Hauben abgedeckt, um eine gleichmäßige Luftfeuchtigkeit während des Keimprozesses sicherzustellen. Die Aussaatsschalen wurden durchgehend bei einer Heiztemperatur von 16 °C und einer Lüftungstemperatur von 14 °C aufgestellt. Die Anzahl aufgelaufener Samen wurde wieder über einen Zeitraum von vier Wochen zweimal pro Woche erfasst. Da aus dem gekeimten Saatgut auch die Pflanzen für die später geplanten Trockenstressversuche vorkultiviert werden sollten, wurden alle gekeimten Pflanzen nach der Entwicklung von ein bis zwei Laubblättern pikiert und in Multitopf-Paletten weiterkultiviert. Sowohl zwischen den Arten als auch zwischen der Freiland- und der Gewächshaus-Aussaart zeigten sich deutliche Unterschiede (Tab. 11). *Dianthus deltoides* und *Achillea millefolium* erreichten in beiden Versuchen eine Keimfähigkeit von über 70 % der ausgebrachten Samen. *Anchusa officinalis*, *Salvia pratensis*, *Falcaria vulgaris* und *Euphorbia cyparissias* zeigten in beiden Versuchen Keimfähigkeiten von weniger als 25 %. Bei den anderen Arten wurde eine mehr oder weniger große Variabilität der Keimfähigkeit zwischen beiden Versuchen festgestellt, besonders groß war diese bei *Jasione montana* und *Campanula rotundifolia* mit 52 % bzw. 50 % Differenz im Vergleich beider Versuche.

Tab. 11: Ergebnisse der Testung der Keimfähigkeit der Zielarten

Art	Gewächshaus	Freiland	Differenz
<i>Dianthus deltoides</i>	86%	70%	16%
<i>Achillea millefolium</i>	82%	73%	9%
<i>Anthemis tinctoria</i>	79%	33%	46%
<i>Jasione montana</i>	73%	21%	52%
<i>Sedum acre</i>	73%	52%	21%
<i>Campanula rotundifolia</i>	73%	23%	50%
<i>Agrostis capillaris</i>	71%	-	71%
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	71%	55%	16%
<i>Centaurea cyanus</i>	54%	-	54%
<i>Helichrysum arenarium</i>	53%	17%	37%
<i>Linaria vulgaris</i>	53%	26%	27%
<i>Hypericum perforatum</i>	51%	35%	17%
<i>Armeria maritima</i>	51%	65%	15%
<i>Sedum sexangulare</i>	49%	43%	6%
<i>Potentilla argentea</i>	49%	17%	31%
<i>Thymus pulegioides</i>	43%	17%	27%
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	43%	-	43%
<i>Galium verum</i>	34%	22%	12%
<i>Plantago media</i>	26%	39%	13%
<i>Echium vulgare</i>	24%	19%	5%
<i>Falcaria vulgaris</i>	18%	24%	6%
<i>Corynephorus canescens</i>	9%	23%	14%
<i>Anchusa officinalis</i>	7%	50%	43%
<i>Salvia pratensis</i>	6%	13%	7%
<i>Euphorbia cyparissias</i>	5%	19%	15%

Versuchsbeginn: 10.05.2017 (Freiland), 02.03.2018 (Gewächshaus)

Parzellenversuch

Nach der Aussaat der drei Saatgutmischungen auf den Parzellen Anfang Mai 2017 mit zwei verschiedenen Varianten der prozentualen Verteilung der einzelnen Arten auf zwei unterschiedlich

vorbereiteten Bodenvarianten (Oberboden mit Sandaustausch/Fläche nur gefräst) wurden Ende September auf den Sand-Parzellen die aufgelaufenen Pflanzen getrennt nach Artzugehörigkeit gezählt.

Viele Pflanzen befanden sich zum Zeitpunkt der ersten Bonituren (Herbst 2017 und Frühjahr 2018) noch in einem frühen Entwicklungsstadium (Abb. 17). Um diese – und später auch die Pflanzen auf den Straßenmittelstreifen – frühzeitig identifizieren zu können, wurden während der Keimfähigkeitsversuche die Entwicklungsphasen für alle im Projekt verwendeten Arten mit Beginn der Keimung regelmäßig fotografisch über mehrere Wochen hinweg dokumentiert. Dadurch konnten die einzelnen Arten im Parzellenversuch schon direkt nach der Keimung bzw. im juvenilen Entwicklungszustand eindeutig identifiziert werden. Beispielhaft ist in Abb. 14 der Keimpflanzenhabitus für drei verschiedene Zielarten dargestellt.



Abb. 14: Keimlingshabitus drei Wochen nach Aussaat (von links.: *Leucanthemum ircutianum*, *Salvia pratensis*, *Falcaria vulgaris*, Fotos: Blievernicht)

Auf den Fräs-Flächen zeigte sich ein schneller Bestandsschluss und eine komplette Bodendeckung. Dies war hauptsächlich auf die schon vor Versuchsbeginn auf der Fläche vorkommenden Nicht-Zielarten zurückzuführen. Ohne die drei durchgeführten Schröpfschnitte hätten sich die ausgesäten Arten kaum etablieren können. Obwohl der Konkurrenzdruck in diesen Parzellen trotz der Schröpfschnitte sehr hoch war, waren vier Wochen nach Aussaat einige Arten (*Anthemis*, *Echium*, *Centaurea*, *Achillea*, *Potentilla*, *Dianthus*) in den Parzellen recht häufig zu finden. Andere Arten (vor allem die sehr flachwüchsigen Arten wie *Sedum*, *Plantago* oder *Salvia*) waren nachweislich in größeren Mengen gekeimt (Abb. 15), wurden aber durch die schon vorhandenen Nicht-Zielarten schnell überwachsen (Abb. 16). Deshalb war eine Zählung der Keimpflanzen Ende September 2017 nicht möglich. Die Etablierung wurde dann im späteren Versuchsverlauf mit identifizierbaren Pflanzen bewertet.

Im Gegensatz zu den Fräs-Parzellen etablierten sich auf den Sand-Parzellen nur die ausgesäten Arten. Aufkommende Nicht-Zielarten wurden entfernt. Allerdings war das nur sehr vereinzelt notwendig und ist in der Menge vernachlässigbar. Alle Arten keimten mehr oder weniger gut, die Arten *Campanula*, *Falcaria*, *Euphorbia* und *Jasione* konnten zunächst nicht nachgewiesen werden. Die drei Erstgenannten wurden erst im Frühjahr 2018 gefunden. Da alle Zielarten im Keimfähigkeitsversuch auch ohne Kälteeinwirkung mehr oder weniger zahlreich keimten (Tab. 11), liegt die Ursache für das spätere Erscheinen höchstwahrscheinlich in der Dormanz eines gewissen Saatgutanteils. *Jasione* wurde mit wenigen Exemplaren auf den jeweiligen Flächen erst am Ende der Vegetationsperiode 2018 gefunden. Bei allen Arten zeigte sich, dass sich die Pflanzenanzahl zwischen der ersten Bonitur im Herbst und der



Abb. 15: Ausschnitt des Pflanzenbestands auf einer der Fräs-Parzellen: Entwicklungszustand und Bodendeckungsgrad der Saatgutmischung MAGER Mitte Juni 2017 nach Aussaat Anfang Mai 2017 (Foto: Blievernicht).

darauffolgenden im Frühjahr teilweise erheblich erhöht hatte (Abb. 18). Entweder erfolgte die Keimung noch im Spätherbst/Frühwinter oder erst im folgenden Frühjahr. Unabhängig davon ist die offensichtliche Streckung der Keimungsphase über einen langen Zeitraum sehr positiv zu sehen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen Etablierung einer Art deutlich gesteigert wird. Während und kurz nach der Keimung sind die meisten Pflanzen am anfälligsten in Bezug auf ungünstige Witterungsbedingungen (Trockenheit, Kälte). Bei einer Saatgutkeimung verteilt über mehrere Monate erhöht sich die Überlebenswahrscheinlichkeit durch das Auftreten günstiger Keimungs- und Etablierungsbedingungen über eine längere Zeitdauer für einen gewissen Anteil des Saatguts.

In der RUDER-Mischung lag der Anteil der Schafgarbe (*Achillea millefolium*) um ein Vielfaches über dem aller anderen Arten. Dementsprechend war diese Art von Beginn an eine dominierende Art in der Mischung. Obwohl vom Natternkopf (*Echium vulgare*) viel weniger Exemplare auf den Flächen standen, entwickelten sich die Einzelpflanzen verhältnismäßig stark und führten damit zu einer Dominanz der Art hinsichtlich des Deckungsgrades in der ersten und auch in der zweiten Vegetationsperiode. Die restlichen Arten keimten wie beschrieben später oder zunächst auch nur mit wenigen Exemplaren. In der INDI-Mischung waren die Färberkamille (*Anthemis tinctoria*) und die Wiesen-Margerite (*Leucanthemum ircutianum*) die mit Abstand häufigsten Arten.



Abb. 16: Entwicklungszustand auf den Sand- (links) und den Fräs-Parzellen (rechts) am Ende der ersten Vegetationsperiode (27.10.2017). Saatgutmischungen (von oben nach unten): INDI, MAGER, RUDER (Fotos: Blievernicht).

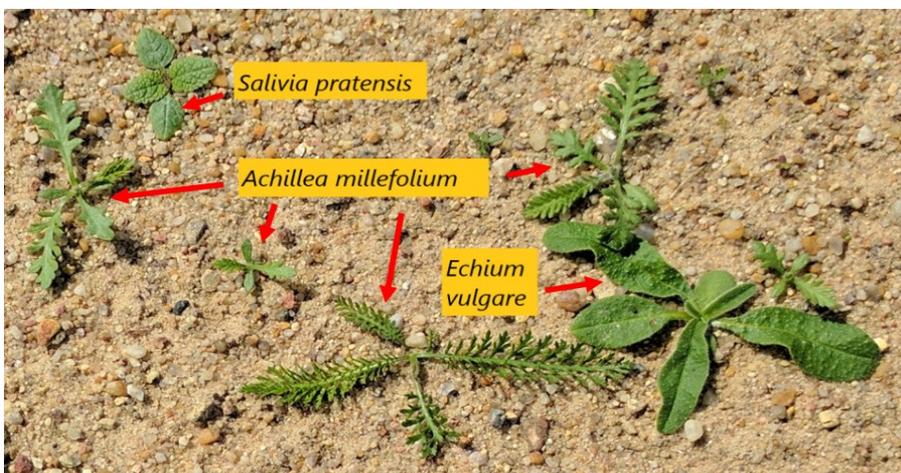


Abb. 17: Keimung der Zielarten auf den Sand-Parzellen. Der geringe Nährstoffgehalt führte dazu, dass die Arten während der ersten Vegetationsperiode in einem frühen Entwicklungsstadium blieben. Eine Identifikation und Zählung war dennoch aufgrund der dokumentierten Keimlingsstadien der Arten möglich.

Alle anderen Arten waren deutlich weniger vertreten. Aber auch hier zeigte sich zwischen den beiden Bonituren (Herbst 2017 und Frühjahr 2018) eine Erhöhung der Anzahl der Individuen. In der MAGER-Mischung waren schon zum ersten Boniturtermin alle ausgesäten Arten mehr oder weniger zahlreich vorhanden. Auch hier erhöhte sich die Anzahl der Individuen der einzelnen Arten zwischen den beiden Boniturterminen sehr deutlich. Die MAGER-Mischung zeigte sich hinsichtlich der Anteile der einzelnen Arten und auch im weiteren Versuchsverlauf hinsichtlich des Deckungsgrades der Arten im Vergleich zu den anderen beiden Mischungen als am besten ausgewogen. Auffällige Schäden der noch relativ kleinen Pflanzen auf den Sand-Parzellen während der Überwinterung wurden nicht beobachtet.



Abb. 18: Pflanzenanzahl der Zielarten pro m² (n = 12) auf den Versuchspartellen am Standort Dahlem Ende September 2017 (links) und Anfang April 2018 (rechts). Bodenvariante: Sand, Saatgutmischungen (von oben nach unten): RUDER, MAGER, INDI, Varianten 1 und 2 stellen unterschiedliche prozentuale Anteile der Arten in den jeweiligen Saatgutmischungen dar, Artnamen wurden mit den ersten drei Buchstaben des Gattungsnamens abgekürzt (zur prozentualen Verteilung und zur Artenaufstellung siehe Tab. 6 und Tab. 7).

Straßenraum-Modellflächen

Auf den drei Straßenmittelstreifen, die im Frühjahr 2018 angelegt wurden, hatte die sehr trockene und heiße Witterung während der Vegetationsperiode einen negativen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung. Im Gegensatz zum Parzellenversuch, der während der Keimphase regelmäßig gewässert wurde, erfolgte auf den Straßenmittelstreifen nur ein einmaliges Gießen direkt nach der Aussaat. Dies wurde so geplant und durchgeführt, denn jeder Arbeitsgang auf der Fläche verursacht später in der Praxis einen Zeit- und Kostenaufwand. Dieser Aufwand soll so niedrig wie möglich gehalten werden, um die spätere Verwendung des Begrünungsverfahrens für den Anwender attraktiv zu gestalten. Gleichzeitig sind die verwendeten Pflanzenarten aufgrund ihrer Anpassbarkeit an mehr oder weniger extreme Standortbedingungen ausgesucht worden. Ein so trockenes Frühjahr wie im Jahr 2018 stellt eine Ausnahme dar und hatte dementsprechend auch einen größeren Einfluss auf den Keimungserfolg der Pflanzen. Zwei Arten wurden auf den drei Versuchsflächen während der dreijährigen Versuchsdauer gar nicht nachgewiesen (*Campanula rotundifolia*, *Plantago media*). *Jasione montana* und *Linaria vulgaris* wurden im ersten Versuchsjahr mit jeweils nur einem Exemplar auf der Heerstraße gefunden, waren aber ab dem darauffolgenden Jahr nicht mehr nachweisbar. *Thymus pulegioides*, *Dianthus deltoides* und *Leucanthemum ircutianum* wurden mit nur vereinzelt Exemplaren auf mindestens zwei der drei Standorte gefunden. Es lässt sich nicht sagen, was der ausschlaggebende Grund hierfür ist. Sicherlich haben die extremen Witterungsverhältnisse während der Keimphase, aber auch während der gesamten Vegetationsperiode im Jahr der Aussaat eine entscheidende Rolle gespielt. Dazu kommen die massiven und vor allem wiederholten Störungen des Pflanzenwachstums durch die Trittbelastung von Passanten und Fahrzeugen. In der Summe ist es erstaunlich, dass es trotz dieser Hemmnisse zur Etablierung von Pflanzenbeständen mit einer teilweise recht hohen Individuenzahl einiger Zielarten gekommen war. Die im Versuchsverlauf einsetzende Selbstvermehrung der Zielarten sowie die natürliche Sukzession konnte die anfänglichen Einschränkungen später ausgleichen.

Auf den Sand-Flächen an allen Standorten zeigte sich eine hohe Zahl gekeimter und später auch etablierter Sand-Grasnelken (*Armeria maritima*). Ebenso bestandsbildend entwickelten sich *Echium vulgare* und *Anthemis tinctoria*. Der blau blühende Natternkopf im zweiten Jahr nach der Aussaat und die gelb blühende Färberkamille sorgten schon im ersten Jahr während ihrer Blütezeit für einen deutlich sichtbaren Farbakkord auf allen drei Versuchsflächen. Auf den Fräs-Flächen konnten sich nur vereinzelt Exemplare der Zielarten etablieren. Obwohl viele der Zielarten zunächst gekeimt waren, wurden hier später mit Ausnahme von *Centaurea cyanus* keine Zielarten bestandsbildend gefunden (Abb. 19). Die Zielarten waren gegenüber den Nicht-Zielarten auf den gefrästen Flächen nicht konkurrenzstark genug. Sie wurden relativ schnell von ihnen überwachsen und bis Projektende auch von den Flächen mehr oder weniger vollständig verdrängt. Dagegen war die Kornblume (*Centaurea cyanus*) sowohl auf den Sand- als auch auf den Fräs-Flächen in der ersten Vegetationsperiode vielfach gekeimt, hatte geblüht und wie erhofft schon im Juni einen gut sichtbaren blauen Blühaspekt erzeugt (Abb. 20). Wie erwartet nahm die Anzahl der Individuen im Verlauf der drei Versuchsjahre kontinuierlich ab, da die Art für ein langfristiges Bestehen am Standort die jährliche Bodenbearbeitung mit dem Pflug benötigt. Allerdings wurde die Art nur als dienende Pflanzenart in die Mischung integriert, da die meisten anderen Zielarten erst im zweiten Jahr nach der Aussaat zur vollen Blüte gelangen. Durch den flächigen blauen Blütenflor von *Centaurea cyanus* wird somit schon im ersten Jahr ein ansprechender ästhetischer Eindruck auf der neu angelegten Fläche erzeugt.



Abb. 19: Auf den Fräs-Flächen konnten mit den Nicht-Zielarten viele der Zielarten keimen, wurden jedoch schnell von den Nicht-Zielarten überwachsen und verdrängt (Heerstraße, Foto: Blievernicht).



Abb. 20: Kornblume (*Centaurea cyanus*) in voller Blüte auf der Sand-Fläche auf dem Straßenmittelstreifen am Adlergestell (07.06.2018, Foto: Blievernicht)

4.2 Konkurrenzverhalten und Reproduktionsfähigkeit der Arten in den Artenmischungen

Im Frühjahr 2017 wurden die Saatgutmischungen auf den Parzellen am Campus Dahlem ausgesät. In diesem Jahr entwickelten sich die Pflanzen auf den Sand-Parzellen hauptsächlich nur vegetativ. Eine Ausnahme machte hier *Centaurea cyanus*, die als Einjährige schon im Jahr der Aussaat blüht und danach abstirbt (Abb. 21). Des Weiteren blühten vereinzelt Exemplare von *Anthemis tinctoria*, *Leucanthemum ircutianum* und *Armeria maritima* (Abb. 22) auf den Sand-Parzellen und auch den Fräs-Parzellen. Grundsätzlich waren die Pflanzen auf den Sand-Parzellen aufgrund der geringeren Nährstoffverfügbarkeit im Vergleich zu den Fräs-Parzellen deutlich weniger kräftig ausgebildet (Abb. 23).



Abb. 21: Blüte von *Centaurea cyanus* auf Sand-Parzelle (Saatgutmischung INDI, 17.08.2017, Foto: Blievernicht)



Abb. 22: Blüte von *Anthemis tinctoria* (gelb) und *Leucanthemum ircutianum* (weiß) auf Sand-Parzelle (Saatgutmischung INDI, 08.09.2017, Foto: Blievernicht)



Abb. 23: Auswirkung der unterschiedlichen Bodenvorbereitungsvarianten auf die Entwicklung des Pflanzenbestandes. Auf der Sand-Parzelle (links) sind ausschließlich ausgesäte Zielarten zu finden, während auf der Fräs-Parzelle (rechts) die Biomasse zum größten Teil aus Nicht-Zielarten besteht und die Bodenoberfläche komplett geschlossen ist (Saatgutmischung MAGER auf beiden Parzellen am 18.08.2017, Foto: Blievernicht).

Im zweiten Versuchsjahr 2018 kamen *Armeria maritima*, *Anchusa officinalis*, *Echium vulgare*, *Leucanthemum ircutianum*, *Plantago media*, *Potentilla argentea*, *Salvia pratensis*, *Sedum acre* und *Sedum sexangulare* zur Samenreife. Dabei waren *Achillea* und *Echium* in der RUDER-Mischung besonders auffällig. Beide Arten dominierten in Kombination die jeweiligen Bestände sowohl auf den Sand- als auch auf den Fräs-Parzellen. Die besonders mächtig ausgebildeten Blattrosetten und Blütenstände von *Echium* führten zu einem hohen Deckungsgrad der Art auf den Flächen, der zunächst

das Etablieren von anderen Arten als wenig aussichtsreich erschienen ließ. Dennoch konnten sich im weiteren Verlauf des Versuchs auch andere Zielarten aus der RUDER-Mischung etablieren und ihren jeweiligen Bestand vergrößern. Vom Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*) waren zunächst relativ viele Exemplare gekeimt und hatten sich auch etabliert. Im ersten Jahr gab es eine hohe Sterblichkeit der Pflanzen, die wegen der starken Trockenheit in Kombination mit hohen Temperaturen und starker Strahlungsintensität eine komplett nekrotisierte oberirdische Pflanzenmasse aufwies. In den folgenden Jahren entwickelten sich zwar nur wenige, aber dafür kräftige Exemplare, die regelmäßig zur Blüte kamen und im weiteren Verlauf auch zu einer zunehmenden Selbstvermehrung der Art auf den Parzellen führten. Auch das Gewöhnliche Leinkraut (*Linaria vulgaris*) und das Johanniskraut (*Hypericum perforatum*) schienen zunächst der Konkurrenz durch *Echium* und *Achillea* nicht gewachsen zu sein. Jedoch konnten sich aus den wenigen Einzelexemplaren der Arten zunehmend größere Bestände entwickeln. Dabei schien die Überlebensstrategie von *Linaria* zu sein, besonders an den Rändern der mit Bordsteinen begrenzten Einzelparzellen bzw. bevorzugt direkt aus den Fugen der aneinanderstoßenden Bordsteine heraus zu wachsen. An diesen Stellen war die Pflanze gegenüber anderen Arten in Bezug auf den Lichtgenuss zunächst konkurrenzlos. Später breitete sich *Achillea* über seine Ausläuferbildung auch hierhin aus (Abb. 24). Das Wachstum von *Linaria* direkt an Mauerfugen und -ritzen ist auch häufig im urbanen Raum zu sehen.



Abb. 24: Häufig wächst *Linaria vulgaris* in Spalten, Ritzen und Fugen (links: Parkplatz, rechts: Bordsteinbegrenzung im Parzellenversuch, Fotos: Blievernicht)

Armeria maritima war mit Beginn der Versuche konstant und flächig verteilt auf den Parzellen zu finden. Die widrigen Witterungsbedingungen schienen einen negativen Einfluss auf das vegetative Wachstum der Pflanzen gehabt zu haben, was sich bei dieser Art in einer abnehmenden Anzahl von Blüten äußerte. Gleichzeitig erfolgte eine zunehmende Ausbreitung in der Fläche, was die Grundlage für ein längerfristiges Besiedeln von Standorten ist. Auf den Straßenmittelstreifen zeigten sich die Pflanzen im Gegensatz zum Parzellenversuch mit zunehmender vegetativer Biomasse auf allen Standorten; die Ausbreitung durch Selbstaussaat war teilweise so stark, dass es zu einer flächigen Keimung von Pflanzen kam (Abb. 25). Dieses flächige Keimen wurde auch bei *Anthemis tinctoria* und *Anchusa officinalis* beobachtet (Abb. 26).



Abb. 25: Wenige ältere und ein „Teppich“ diesjährig gekeimter Jungpflanzen von *Armeria maritima* auf Frankfurter Allee (Sand-Fläche, 15.10.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 26: Selbstaussaat von *Anthemis tinctoria* (rot) und *Anchusa officinalis* (blau) auf Frankfurter Allee (Sand-Fläche, 15.10.2019, Foto: Blievernicht)

Die Heide-Nelke (*Dianthus deltoides*) zeigte besonders im zweiten Versuchsjahr eine hohe Dominanz auf den Parzellen der Saatgutmischung MAGER. Später nahm die Biomasse der Art deutlich durch das Vertrocknen großer Teile der Blattmasse aufgrund anhaltender Trockenperioden in den Jahren 2018 und 2019 ab. Gleichzeitig nahm auch die Blühfreudigkeit während der Versuchsdauer kontinuierlich ab. Unabhängig davon blieb die Art konstant präsent. Besonders im letzten Versuchsjahr zeigten sich die zunehmende Ausbreitungstendenz der Art mit einem im Vergleich zum Vorjahr um hundert Prozent gesteigerten Vorkommen von Pflanzen auf Parzellen, auf denen die Art nicht ausgesät worden war (Abb. 27).

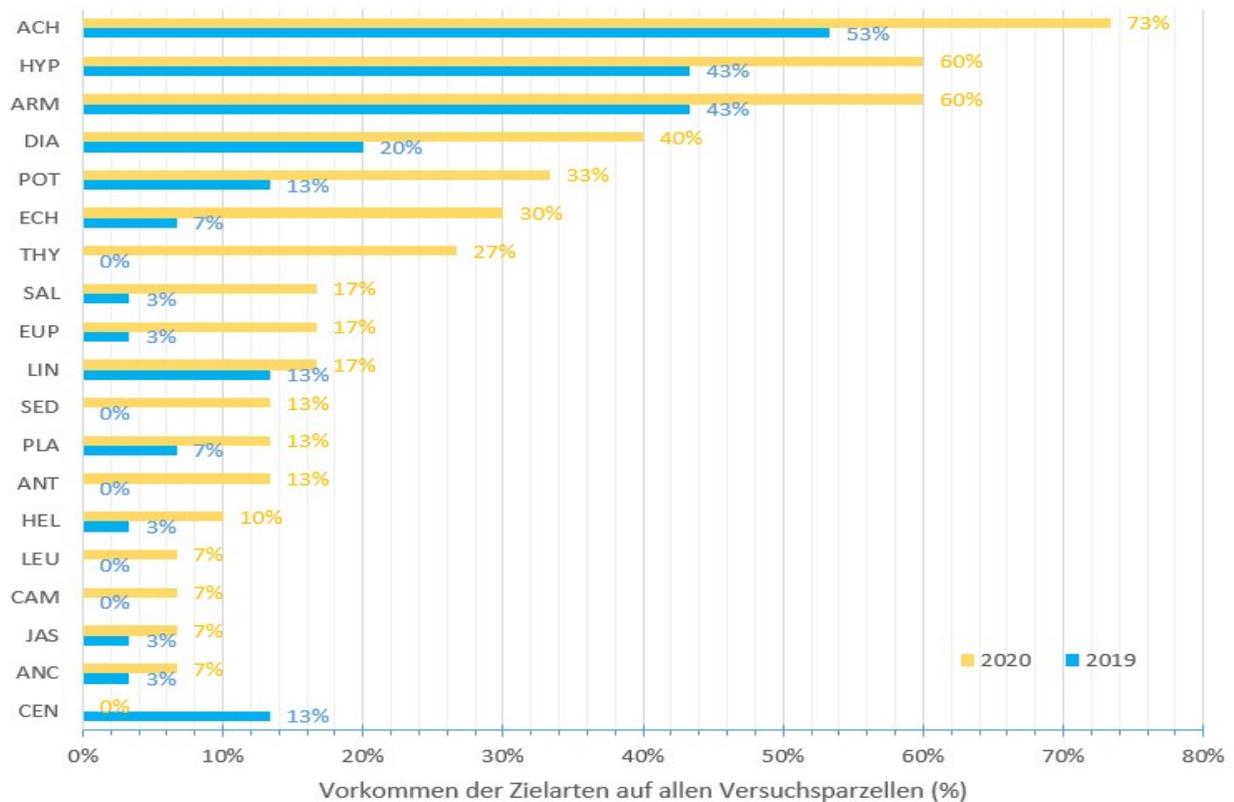


Abb. 27: Ausbreitungsentwicklung der Zielarten auf allen Versuchspartellen am Standort Dahlem im Zeitraum von 2019 bis 2020. Grundlage für die prozentuale Berechnung sind jeweils 30 Einzelpartellen (je 4 m² Grundfläche). Die Zielarten wurden erfasst, wenn sie auf einer Partelle vorkamen, dort aber nicht Bestandteil der ausgebrachten Saatgutmischung waren. Artnamen sind mit den ersten drei Buchstaben des Gattungsnamens abgekürzt (Artnamen s. Tab. 6).

Im Parzellenversuch wurde das Ausbreitungsverhalten unter Konkurrenz während der Versuchsdauer dokumentiert. Dazu wurde in jedem Jahr für alle Arten die Anzahl der Parzellen erfasst, in denen Pflanzen der entsprechenden Art gefunden wurden, die dort aber nicht Bestandteil der ausgesäten Saatgutmischung waren. Parzellen, auf denen die Arten ausgesät wurden, waren nicht Bestandteil der Berechnungen. Die einzelnen Arten breiteten sich nicht flächig oder sogar invasiv aus. Vielmehr zeigten sich vereinzelt Pflanzen der verschiedenen Zielarten auf den Parzellen, deren Anzahl aber mit den Jahren tendenziell zunahm. In der Abb. 27 wird der Stand der Entwicklung in den letzten beiden Versuchsjahren (2019 und 2020) dargestellt.

Mit Ausnahme von *Centaurea cyanus* hat sich bei den meisten Zielarten der Anteil an Parzellen, auf denen die Arten vorkamen, erhöht. Eine besonders starke Ausbreitungstendenz zeigten *Achillea*, *Hypericum* und *Armeria*, die schon nach zweijähriger Versuchsdauer auf etwa der Hälfte aller Parzellen zu finden waren und im darauffolgenden Jahr ihre Anteile jeweils um weitere etwa 20 % erhöhten. Alle anderen Arten verbreiteten sich bis zum Ende des Versuchszeitraums auf 7 bis 40 % aller Versuchspartellen. Davon ausgenommen waren *Falcaria*, *Galium* und *Centaurea*. *Falcaria vulgaris* wurde mit wenigen Exemplaren auf den Parzellen der RUDER-Mischung nachgewiesen, blühte aber bis zum Versuchsende noch nicht. *Galium verum* vergrößerte seinen Deckungsgrad auf den Parzellen, auf denen es ausgesät wurde, kontinuierlich und sehr stark. Eine Ausbreitung auf andere Parzellen erfolgte jedoch nicht; die Ausbreitung scheint überwiegend vegetativ zu erfolgen. Der Anteil von *Centaurea cyanus* nahm schon im zweiten Versuchsjahr 2018 stark ab und es wurden nur noch wenige Pflanzen gefunden. Im letzten Versuchsjahr wurde noch ein blühendes Exemplar nachgewiesen. Diese Abnahme war abzusehen, da *Centaurea* als Bestandteil der Segetalflora für ihren Fortbestand die jährliche Bodenbearbeitung durch den Pflug benötigt.

Bei *Thymus*, *Leucanthemum*, *Anthemis*, *Campanula* und *Sedum acre* war die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vergleich zu den anderen Arten langsamer. Die Arten konnten auf Parzellen, auf denen sie nicht ausgesät worden waren, erst im letzten Versuchsjahr 2020 nachgewiesen werden (Abb. 27).

Besonders eindrucksvoll war die Entwicklung von *Euphorbia cyparissias* während der Projektlaufzeit. Sowohl auf den Parzellen als auch auf den Straßenmittelstreifen keimten auf den jeweiligen Flächen stets nur einige wenige Pflanzen, die sich etablieren konnten. Das vegetative Wachstum war zunächst gering, nahm aber im Laufe der Zeit immer weiter zu. Die Art breitet sich offenbar weniger durch Samen als durch unterirdische Sprossausläufer aus. Auf dem Teilstück der Sand-Fläche am Adlergestell, auf dem *Euphorbia cyparissias* mit der INDI-Saatgutmischung ausgesät worden war, hatte sich die Art bis zum Ende der Vegetationsperiode 2020 zur dominierenden Art entwickelt (Abb. 28). Auf der Heerstraße und der Frankfurter Allee war das am Projektende noch nicht so stark ausgeprägt, aber auf beiden Standorten zeigte sich die gleiche Tendenz: Nur ein oder auch wenige Exemplare reichen mittelfristig für eine zwar lokal begrenzte, aber stetige und im Lauf der Zeit deutlich zunehmende Geschwindigkeit der vegetativen Ausbreitung aus.



Abb. 28: Die Zypressen-Wolfsmilch (*Euphorbia cyparissias*) konnte sich aus wenigen Einzel Exemplaren innerhalb von drei Jahren zur dominierenden Art auf der Sand-Fläche am Adlergestell entwickeln, auf der sie mit der INDI-Mischung ausgesät wurde (links). Auf der Sand-Fläche auf der Frankfurter Allee entwickelte sich aus dem Saatgut nur eine Pflanze, diese hat aber durch Rhizombildung schon einen größeren Spot gebildet (18.08.2020, Fotos: Blievernicht).

Der Natternkopf (*Echium vulgare*) und die Ochsenzunge (*Anchusa officinalis*) fielen durchgehend durch hohe Saatgutproduktion und hohe Keimraten auf. Durch die Vielzahl an Keimpflanzen werden abgegrenzte Flächen nur von der jeweiligen Art bestanden. Von den vielen Jungpflanzen überleben am Ende nur einige wenige oder auch nur eine, da beide Arten relativ große Pflanzen mit entsprechendem Platzbedarf ausbilden. Durch diese Strategie ist aber sichergestellt, dass die Konkurrenz lokal nur intraspezifisch ist und damit die Art an dieser Stelle mit hoher Wahrscheinlichkeit erneut zur Blüte und anschließenden Selbstaussaat kommt. Während *Anchusa* eine mehrjährige Rosette bildet, ist der Wachstumsrhythmus von *Echium* durch einen mehr oder weniger strikten zweijährigen Turnus geprägt. Nach dem ausschließlich vegetativen Wachstum der Blattrosette im ersten Jahr erfolgt im zweiten Jahr die Blüte. Danach sterben die Pflanzen größtenteils ab. So kam es dazu, dass im zweiten Versuchsjahr die jeweiligen Sand-Flächen auf den Straßenmittelstreifen sehr dominant mit blühenden *Echium*-Pflanzen bestanden waren. Im darauffolgenden Jahr zeigten sich dann nur vereinzelt blühende Exemplare. Jedoch sind auf allen Flächen viele Samen gekeimt und es haben sich viele neue *Echium*-Pflanzen etabliert, die voraussichtlich in der Vegetationsperiode 2021 blühen werden.

4.3 Wachstumsversuche zur Untersuchung der Trockenstresstoleranz und Gesamtbewertung der Zielarten

In den Jahren 2017 bis 2019 wurden drei Trockenstressversuche durchgeführt. Das Ziel war, die Reaktion der untersuchten Arten auf Wassermangel zu charakterisieren. Die vorkultivierten Pflanzen wurden für die Versuche in zwei Gruppen geteilt. Die Kontrollgruppe wurde weiter wie in der Vorkultur bedarfsgerecht mit Wasser versorgt. In der zweiten Gruppe wurde die Bewässerung mit Versuchsbeginn eingestellt. Im ersten Versuch 2017 wurde mit 12 Pflanzen pro Art, ab 2018 mit je 18 Pflanzen pro Art gearbeitet. Diese wurden gleichmäßig zwischen Kontrolle und Behandlung aufgeteilt. Der erste Trockenstressversuch im Jahr 2017 wurde in einem Folientunnel durchgeführt, die folgenden Versuche fanden in einem Versuchsgewächshaus (Bauart vergleichbar mit Venlo-Block) statt. Für den ersten Versuch wurden die Pflanzen in Mitscherlich-Gefäßen kultiviert, was sich als suboptimal herausstellte. Im Verhältnis zur Pflanzengröße wurde in den Gefäßen zu lange Wasser im Substrat gespeichert, um starken Trockenstress zu induzieren. Für die nachfolgenden Versuche wurden Kanalgrundrohre (Höhe 50 cm, Durchmesser 10 cm) verwendet. Aufgrund ihrer Höhe wiesen sie einen

tiefen durchwurzelbaren Raum auf. Damit bot sich für die Pflanzen die Möglichkeit, ein eher arttypisches, tiefes Wurzelsystem auszubilden. In allen Versuchen wurden die Pflanzen in den jeweiligen Gefäßen vorkultiviert. Die Pflanzen sollten während dieser Zeit die Möglichkeit haben, den gesamten Raum des Kulturgefäßes zu durchwurzeln. Die Pflanzen wurden in den Jahren 2017 und 2018 ausgesät und später direkt in die Versuchsgefäße gepflanzt. Dadurch konnten Versuche mit einjährigen bzw. auch mit zweijährigen Pflanzen durchgeführt werden. Auf Düngung wurde mit Ausnahme des Jahres 2017 verzichtet. Die Erfahrungen aus dem Jahr 2017 zeigten, dass schon niedrig dosierte Düngergaben teilweise zu atypischem, mastigen Wachstum führen können. Die Bewässerung in der Vorkultur erfolgte über Tropfer mit einem Wasserdurchlass von vier Litern pro Stunde. Die Bewässerungshäufigkeit wurde dem Entwicklungsstand der Pflanzen und dem Witterungsverlauf angepasst. Während der Versuche 2018 und 2019 wurden alle Versuchsgefäße zweimal pro Woche gewogen, um den Wasserverbrauch zu kontrollieren und die zu verabreichende Wassermenge berechnen zu können. Zur Versuchseinrichtung wurde jeweils das Gewicht der leeren und der gefüllten Kulturgefäße einzeln erfasst. Zusätzlich wurde der durchschnittliche Wassergehalt des verwendeten Substrats zum Zeitpunkt der Topfung ermittelt. Durch diese Vorgehensweise konnte im Versuchsverlauf der aktuelle Wassergehalt der Kulturgefäße durch Wiegen ermittelt werden. Mit diesem Verfahren wurde für jeden Bewässerungsdurchlauf und jede Pflanze die zu verabreichende Wassermenge berechnet. Der Zielwert für den Wassergehalt der Rohre wurde auf 40 Gewichtsprozent festgelegt. Dieser ergab sich aus Probemessungen in der Vorkultur und den Erfahrungen vorangegangener Versuche.

Im Verlauf der Versuche zeigten sich unterschiedliche Reaktionen der untersuchten Arten auf den Trockenstress. Pflanzen, wie z. B. *Armeria maritima*, reagierten sehr spät auf Trockenstress und zeigten auch bei größerem Trockenstress kaum äußerliche Symptome. Andere Arten, wie z. B. *Plantago media*, zeigten gut sichtbare Welkeerscheinungen. Einige Arten, beispielsweise *Linaria vulgaris*, bildeten unterirdisch Sprossausläufer, während die oberirdischen Pflanzenteile verkümmerten. Außerdem zeigten die Arten eine teilweise große intraspezifische Variabilität. Besonders stark ausgeprägt war diese bei *Jasione montana*. Um den Einfluss dieser Variabilität zu minimieren, hätte der Stichprobenumfang ausgeweitet werden müssen. Unter Berücksichtigung der Anzahl an zu testenden Pflanzenarten und der zur Verfügung stehenden Ressourcen mussten die Stichproben auf 18 Wiederholungen je Pflanzenart begrenzt werden. Die Vorkultur der Pflanzen unterschied sich in den drei Versuchsjahren. 2017 wurden die Pflanzen ausgesät und anschließend direkt in die Kulturgefäße pikiert. Im Jahr 2018 wurden die Pflanzen nach der Aussaat zunächst in Multitopfpaletten pikiert und später in die Versuchsgefäße umgesetzt. Für den Versuch im Jahr 2019 wurden die Pflanzen aus den Multitopfpaletten zunächst in 10 x 10 cm Pflanzcontainern kultiviert und Ende 2018 in die Versuchsgefäße eingesetzt. In allen Versuchen wurde den Pflanzen ausreichend Zeit gelassen, in die Gefäße einzuwurzeln und sich zu etablieren. Die beiden *Sedum*-Arten wurden aufgrund ihrer allgemein bekannten Trockenresistenz nicht in die Trockenstressversuche einbezogen. Im ersten Trockenstressversuch konnten aufgrund unzureichenden Probenmaterials bei der Anzucht folgende Arten nicht getestet werden: *Agrostis capillaris*, *Anchusa officinalis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Campanula rotundifolia*, *Corynephorus canescens*, *Echium vulgare*, *Euphorbia cyparissias*, *Falcaria vulgaris*, *Helichrysum arenarium*, *Salvia pratensis*.

Im Jahr 2017 wurde eine Boniturskala für die Bewertung der Trockenstressreaktionen der Pflanzen entwickelt (Tab. 12). Auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres wurde der Boniturschlüssel angepasst und dann in den Versuchen in den Jahren 2018 und 2019 angewendet. Im Versuch 2017 wurden noch neun Kriterien bewertet: nachlassende Turgeszenz, Ausbildung von Chlorosen und/oder Nekrosen, Absterben der Blätter, komplettes Absterben der oberirdischen Pflanzenmasse (keine Bewertung der unterirdischen Pflanzenteile), erhöhter Schädlingsbefall, vorzeitiger Blattfall, Not-Blüte, allgemeine Vitalität. Diese Kriterien waren insgesamt sehr umfangreich und noch nicht optimal für eine Unterscheidung der verschiedenen Reaktionen auf Trockenstress geeignet.

Tab. 12: Boniturskala für den Trockenstressversuch in Mitscherlich-Gefäßen im Jahr 2017

Boniturskala Trockenstress	0	1	2	3	4	5
allgemeine Vitalität (Gesamtpflanze)		<i>sehr gut</i>	<i>gut</i>	<i>befriedigend</i>	<i>nachlassend</i>	<i>absterbend</i>
nachlassende Turgeszenz						
Chlorosen						
Nekrosen		<i>nicht vorhanden</i>	<i>beginnend</i>	<i>ausgeprägt</i>	<i>stark ausgeprägt</i>	<i>umfassend</i>
Absterben der Blätter						
(erhöhter) Schädlingsbefall						
vorzeitiger Blattfall		<i>nicht vorhanden</i>	<i>einzelne Pflanzenzeile betroffen</i>	<i>ganze Pflanze betroffen</i>		
Tod	<i>nein</i>	<i>ja</i>				

Die Ergebnisse des Trockenstressversuchs im Jahr 2017 sind in Tab. 13 dargestellt. Zwischen den in der Tabelle dargestellten Boniturzeitpunkten liegen sieben Wochen. Arten wie *Armeria maritima*, *Dianthus deltoides* und *Jasione montana* zeigten in diesem Zeitraum wenig oder keine Symptome für Trockenstress. *Achillea millefolium*, *Potentilla argentea*, *Linaria vulgaris* und *Galium verum* wiesen zum Ende des Versuchs die schlechteste allgemeine Vitalität auf. Im Versuch 2017 waren von allen Pflanzen der Trockenstressvariante nur zwei Pflanzen abgängig. Da es sich bei beiden Pflanzen um *Centaurea cyanus* handelte, wird davon ausgegangen, dass dies auf ein genetisch induziertes Absterben direkt nach der Blüte zurückzuführen ist.

Tab. 13: Durchschnittliche Boniturnoten der Zielarten in Mitscherlich-Gefäßen für den Trockenstressversuch im Jahr 2017

		ARM	CEN	DIA	JAS	HYP	ANT	THY	PLA	LEU	ACH	POT	LIN	GAL
Allgemeine Vitalität	Beginn	1	2	1	2	3	2	2	1	3	2	2	3	3
	Ende	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4
Abnehmende Turgeszenz	Beginn	1	3	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
	Ende	1	2	2	1	2	2	3	3	3	4	3	4	4
Chlorosen	Beginn	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2
	Ende	1	1	2	1	2	2	2	3	3	3	2	2	3
Nekrosen	Beginn	1	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	Ende	1	2	2	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4
Absterben der Blätter	Beginn	1	3	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2
	Ende	1	2	2	1	3	2	3	2	3	3	3	3	4
Vorzeitiger Blattfall	Beginn	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
	Ende	1	1	2	1	2	2	2	2	3	3	1	3	4
*Tod	Beginn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ende	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schädlingsbefall	Beginn	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	Ende	1	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	4

Versuchszeitraum 10.10. – 28.11.2017, Erläuterung Boniturnoten siehe Text und Tab. 12, Artnamen sind mit den ersten drei Buchstaben des Gattungsnamens abgekürzt (Artenaufstellung siehe Tab. 6). Die Werte für die Boniturnoten ergeben sich aus dem Durchschnitt der Einzelwerte der Versuchspflanzen (n = 6) und sind auf Ganzzahlen gerundet. * Boniturmerkmal „Tod“ wird ebenfalls mit durchschnittlichen Boniturnoten dargestellt. Nur bei *Centaurea cyanus* waren während des Versuchs zwei Pflanzen abgestorben; alle anderen Pflanzen überlebten bis zum Versuchsende. Die für das jeweilige Boniturskriterium im Versuch ermittelten Maximalwerte sind blau unterlegt.

Für den Trockenstressversuch 2019 wurden Pflanzen verwendet, die bereits im Herbst 2017 ausgesät worden waren. Sie wurden im Dezember 2018 in die Kulturgefäße umgepflanzt und bis zum Sommer 2019 in den KG-Rohren vorkultiviert. Das physiologische Alter der Pflanzen führte dazu, dass einige Arten im Frühjahr 2019 in die generative Phase übergangen und nach dem Pflanzschnitt nur noch Blütenstände bildeten (*Anchusa officinalis*, *Echium vulgare*, *Corynephorus canescens*). Nach einer sehr starken Blüte und anschließender Samenbildung konnten diese Arten nicht mehr in den Versuch 2019 einbezogen werden, da die Blattmasse schon abgestorben war und die Blüten- bzw. teilweise schon Fruchtstände keine aussagekräftige Einschätzung einer Trockenstressreaktion zuließen oder die Pflanzen schon vor Versuchsbeginn vollständig abgestorben waren. Wie Tab. 14 zeigt, überlebten im Trockenstressversuch 2019 Individuen aller 17 untersuchten Arten bis zum Versuchsende. Im Jahr 2018 war dies nur bei 10 von 22 getesteten Arten der Fall. Das physiologische Alter und ein damit stärker ausgebildetes Wurzelsystem könnten im Jahr 2019 zu einer höheren Trockenstresstoleranz geführt haben.

Tab. 14: Anzahl der Tage bis alle oberirdischen Pflanzenteile in der Variante ohne Bewässerung abgestorben waren sowie Anzahl noch lebender Pflanzen bei Versuchsende in den Trockenstressversuchen 2018 und 2019

Art	Letalität 100 % (Anzahl Tage)		Anzahl lebender Pflanzen bei Versuchsende	
	2018	2019	2018	2019
<i>Falcaria vulgaris</i>	-	-	9	9
<i>Helichrysum arenarium</i>	-	-	9	8
<i>Anchusa officinalis</i>	-	-	9	6
<i>Armeria maritima</i>	-	-	8	8
<i>Jasione montana</i>	-	*n.i.V.	3	n.i.V.
<i>Dianthus deltoides</i>	-	-	3	8
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	-	-	1	7
<i>Galium verum</i>	-	-	1	6
<i>Achillea millefolium</i>	-	-	1	5
<i>Linaria vulgaris</i>	-	-	1	5
<i>Plantago media</i>	58	-	0	8
<i>Potentilla argentea</i>	58	-	0	7
<i>Salvia pratensis</i>	58	-	0	5
<i>Anthemis tinctoria</i>	52	n.i.V.	0	n.i.V.
<i>Corynephorus canescens</i>	52	n.i.V.	0	n.i.V.
<i>Campanula rotundifolia</i>	52	-	0	8
<i>Thymus pulegioides</i>	52	-	0	6
<i>Euphorbia cyparissias</i>	52	-	0	3
<i>Echium vulgare</i>	39	n.i.V.	0	n.i.V.
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	29	-	0	8
<i>Agrostis capillaris</i>	29	-	0	5
<i>Hypericum perforatum</i>	29	-	0	3
<i>Centaurea cyanus</i>	n.i.V.	n.i.V.	n.i.V.	n.i.V.

*n.i.V. = nicht im Versuch, Versuchszeitraum 2018: 05.09. – 30.10. / 2019: 29.08. – 24.10.

Auf Basis der in den drei Versuchen gewonnenen Ergebnisse lassen sich zwei Strategien der Pflanzen für den Umgang mit Trockenstress ableiten.

a) Erschließen: Die Pflanzen kompensieren Trockenstress durch das Erschließen von tiefer liegenden Bodenschichten mit höherem Wassergehalt. Sie verfügen meist über keine besonderen anatomischen Anpassungen zur Vermeidung von Transpiration oder Schutz vor Hitze einwirkung. Beispiele: *Hypericum perforatum*, *Achillea millefolium*, *Leucanthemum ircutianum*.

b) Überdauern: Pflanzen, die sich dieser Kategorie zuordnen lassen, verfügen über physiologische Mechanismen, die sie vor Wasserverlust schützen (*Armeria maritima*, *Corynephorus canescens*, *Helichrysum arenarium*) oder sie konzentrieren ihr Wachstum bei ungünstigen Bedingungen auf unterirdische Organe (*Falcaria vulgaris*, *Euphorbia cyparissias*, *Linaria vulgaris*). *Falcaria vulgaris* war in den Versuchen ein Beispiel für die besonders starke Ausprägung der Überdauerungsstrategie. Die

Pflanzen zeigten in der Vorkultur ein langsames, aber stetiges Wachstum. In den Versuchsphasen kam ihr oberirdisches Wachstum zum Stillstand, ohne dass die Pflanzen einen äußerlich sichtbaren Schaden nahmen. Dieser Zustand hielt sich teilweise bis weit über das Versuchsende hinaus.

Grundsätzlich sind die Reaktionen der Pflanzen auf den Trockenstress nicht monokausal zu betrachten. Die Bedingungen der Versuchsdurchführung konnten nicht vollständig kontrolliert werden. So war in den Sommermonaten ein starker Witterungseinfluss gegeben. Die Gewächshauskabine, in denen die Versuche 2018 und 2019 stattfanden, ließ sich nicht aktiv kühlen. Zum Trockenstress kam damit bei den häufigen, heißen Strahlungswetterlagen auch Hitzestress. Dadurch ist sicherlich auch ein gewisser Anteil an abgestorbenen Pflanzen während der Versuche zu erklären.

Aus der Analyse der Ergebnisse aus der dreimaligen Wiederholung der Trockenstressversuche lässt sich zunächst erkennen, dass die Ergebnisse über die Jahre unterschiedlich ausfielen. Der Versuch im Jahr 2017 wurde später im Jahr begonnen als die beiden Versuche in den folgenden Jahren. Die Temperaturen waren in diesem Jahr deutlich niedriger als in den beiden Hitzejahren 2018 und 2019. Im Jahr 2017 überlebten alle Versuchspflanzen außer zwei Exemplaren von *Centaurea cyanus* bis zum Versuchsende. In den Jahren 2018 und 2019 überlebten in beiden Jahren jeweils alle oder fast alle Versuchspflanzen von *Falcaria vulgaris*, *Helichrysum arenarium*, *Anchusa officinalis* und *Armeria maritima*. Bei allen anderen Arten zeigten sich teilweise sehr große Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren. Beispielsweise waren bei *Plantago media* im Jahr 2018 bei Versuchsende alle neun Pflanzen der Trockenstressvariante abgängig, während im Jahr 2019 mit acht von neun fast alle Versuchspflanzen bis zum Versuchsende überlebten. Die besonders extreme Hitzeperiode im Jahr 2018 mit langen Phasen sehr hoher Temperaturen war sicherlich ausschlaggebend für die vollständige Abgängigkeit von 12 der 22 untersuchten Arten bis zum Versuchsende. Dabei dauerte dieser Vorgang bei 8 der 12 Arten zwischen 58 und 52 Tagen. Dies ist ein sehr langer Zeitraum. Es muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass die Versuchsgefäße mit 50 cm Höhe und 10 cm Durchmesser nur einen begrenzten durchwurzelbaren Raum ermöglichten, der aufgrund des geringen Volumens und auch der im Verhältnis dazu großen Oberfläche viel schneller durch die außen vorherrschenden Temperaturen oder auch direkte Sonneneinstrahlung erhitzt werden konnte, als das im Boden des Freilands der Fall gewesen wäre. Die Folge sind auch höhere Verdunstungsraten. Nur bei *Euphorbia cyparissias* und *Hypericum perforatum* zeigten sich in beiden Versuchsjahren die Tendenz, dass beide Arten deutlich schlechter als alle anderen Arten auf den Trockenstress reagieren konnten. Im Jahr 2018 überlebten bis zum Versuchsende keine Pflanzen, im Jahr 2019 waren es jeweils nur drei. Nach den Angaben von OBERDORFER (1996) wurzelt *Euphorbia cyparissias* nur bis zu 60 cm tief und *Hypericum perforatum* bis zu 50 cm. Das würde die im Vergleich zu allen anderen untersuchten Arten schlechteren Ergebnisse des Trockenstressversuchs erklären. Allerdings sagt die Wurzeltiefe nichts über die Mächtigkeit des Wurzelwerks aus. Eine fehlende tiefe Durchwurzelung des Bodens kann durch ein dichtes und vor allem auch weit streichendes Wurzelsystem kompensiert werden. Beide Arten zeigten bei der Untersuchung der Wurzelballen sehr stark entwickelte Wurzelsysteme, die sich aber aufgrund der Begrenztheit der Versuchsgefäße nicht in die Breite entwickeln konnten und demnach fehlende morphologische Anpassungen der oberirdischen Pflanzenteile an größeren Trockenstress nicht ausgleichen konnten.

Wenn man die Ergebnisse der Trockenstressversuche aus den drei Jahren und zusätzlich die Reaktionen der einzelnen Arten auf Trockenstress an den Versuchsstandorten der Straßenmittelstreifen und des Parzellenversuchs am Campus Dahlem zusammennimmt, ergibt sich als zusammenfassendes Ergebnis, dass sämtliche Versuchsarten an langanhaltende Phasen ohne Niederschlag und dies auch in Verbindung mit besonders hohen Temperaturen sehr gut angepasst sind. Damit sind sie in dieser Hinsicht für die dauerhafte Begrünung von Extremstandorten – z. B. Straßenmittelstreifen – sehr gut geeignet.

Im folgenden Abschnitt werden für jede Art zuerst die wichtigsten Erkenntnisse aus der vierjährigen Projektlaufzeit und allen durchgeführten Versuchen dargestellt und eingeordnet. Danach werden jeweils die Ergebnisse des Trockenstressversuchs aus dem Jahr 2018 grafisch dargestellt. Dabei werden in den Abbildungen die Boniturstufen mit unterschiedlichen Farben dargestellt:

- grün** = keine phänotypisch sichtbaren (Welke-)Symptome
- gelb** = Teile der Pflanze zeigen (Welke-) Symptome (nachlassende Turgeszenz, Verblassen, Chlorosenbildung) - Symptome sind teilweise reversibel
- braun** = gesamte Pflanze zeigt starke Welkesymptome und/oder Chlorosen/Nekrosen und/oder Absterbeerscheinungen und Welke/Chlorosen sind irreversibel
- rot** = oberirdische Pflanzenteile sind abgestorben

Die **blaue Linie** kennzeichnet die Abnahme des Wassergehalts im Substrat im Zeitverlauf.

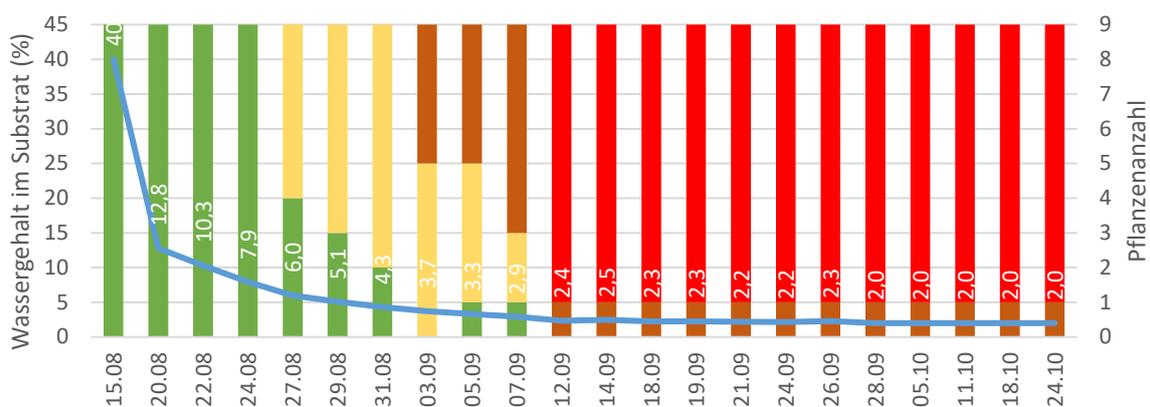
Die Abbildungen der Ergebnisse aus dem Trockenstressversuch werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht für jede einzelne Art beschriftet, da sich die Grafiken bis auf die Ausprägung der Boniturstufen im Versuchsverlauf für die einzelnen Arten nicht unterscheiden. Eine ausführliche Erklärung zur Bedeutung der aufgeführten Nektar- und Pollenwerte findet sich in Kap. 4.9 (S. 111).

***Achillea millefolium* (Gemeine Schafgarbe)**

Die Schafgarbe zeigte sich in allen Versuchen sehr konstant in Bezug auf Keimung, Wachstum und Selbstvermehrung. Durch ihr ausgeprägtes Vermögen zur vegetativen Vermehrung über unterirdische Rhizome konnte lokal eine schnelle Ausbreitung der Art erfolgen. *Achillea millefolium* findet sich in verschiedenen Pflanzengesellschaften, u. a. der Weidelgras-Breitwegerich-Trittrasen. Der Art ist aufgrund ihrer Trittresistenz besonders auch für Standorte im urbanen Raum geeignet, auf der es wiederholt zu einer Trittbelastung durch Personen kommt (SCHUBERT 2001). Nach ELLENBERG (1996) ist die Tritttoleranz mittelstark ausgeprägt, was einem gelegentlichen Betreten entspricht. *Achillea millefolium* kommt auch in der Gesellschaft der Wegedistel vor und ist dort eine hochstete Art und häufiger Begleiter. Da diese Gesellschaft in den trockensten und stark kontinentalen Räumen Deutschlands zu finden ist, wird hierdurch auch die hohe Trockenstresstoleranz der Art dokumentiert (SCHUBERT 2001). Auf Grundlage der langfristigen Untersuchungen der Stetigkeit von *Achillea millefolium* konnten sowohl MEISEL & HÜBSCHMANN (1976) als auch KULP & CORDES (1986) zeigen, dass die Art durch höhere Stickstoffverfügbarkeiten im Boden in ihrer Stetigkeit abnimmt und nitrophilere Arten zunehmen. Auch hier zeigt sich, wie wichtig die Erhaltung einer geringen Stickstoffverfügbarkeit auf den anzulegenden Flächen ist, damit sich die gewünschten Pflanzengesellschaften entwickeln und auch erhalten werden können. Im Parzellenversuch war die Art zusammen mit *Echium vulgare*

dominierend auf sowohl den Sand- als auch den Fräs-Parzellen und bildete zusammenhängende Bestände aus. Allerdings ermöglichte der lockere und schlanke Habitus der Pflanze anderen Pflanzen das Wachstum am jeweiligen Standort. Auf den Straßenmittelstreifen kam die Art auch auf den Fräs- und Sand-Flächen regelmäßig vor, bildete aber keine zusammenhängenden Bestände. Die Art kann sich an den Standorten behaupten, ein Verdrängen anderer Arten durch die eigene Konkurrenzkraft wurde bis jetzt nicht beobachtet. *Achillea* wurde auffällig gerne und oft von verschiedenen Insekten besucht. Nach Angaben der DWS (2021) ist ihr Nektar-/Pollenwert 2/1, bei RIEGER-HOFMANN (2020) ist es umgekehrt. Die Art beginnt mit der Blüte Mitte Juni und setzt diese bis weit in den September fort, sodass – wenn auch mit deutlich weniger blühenden Pflanzen – nach der etwa einen Monat dauernden Hauptblüte den Insekten über eine lange Zeit im Jahr Nektar und Pollen angeboten werden kann. Der ökologische Wert der Art wird hoch eingeschätzt. Nach den Untersuchungen von WARZECHA et al. (2018) gehörte *Achillea millefolium* zu den Top 4 Schlüsselarten als Nahrungsquelle für Bestäuber auf den von ihnen untersuchten Versuchsflächen. Die Forschenden konnten zeigen, dass auf diese Art zusammen mit *Anthemis tinctoria* und zwei weiteren Arten allein 42 % aller Besuche von Bestäubern entfielen, ohne dass die Pflanzenarten mengenmäßig auf den Untersuchungsflächen überrepräsentiert waren. Von den im gesamten Versuchszeitraum identifizierten 74 Bestäuberarten wurden 60 (81 %) auf den vier Schlüsselarten nachgewiesen. Insgesamt wurden von 94 vorkommenden Pflanzenarten 41 von Bestäubern aufgesucht.

Achillea millefolium zeigte in den Trockenstressversuchen einen vergleichsweise hohen und schnellen Wasserverbrauch. Die Art reagiert auf Wasserstress mit Welkesymptomen in Form von stark nachlassender Turgeszenz, Verblässen der Blätter und Herabbiegen des Blütenstandes. Die Welkesymptome sind lange reversibel, wenn wieder Wasser zugegeben wird. Im Versuch 2017 reagierte *Achillea millefolium* mit starkem Wachstum auf die niedrig dosierte Düngung und zeigte einen üppigen, mastigen Habitus mit zahlreichen Blüten. In den folgenden Versuchen war der Phänotyp deutlich kleiner ausgeprägt und zeigte häufig nur einen zentralen Blütenstand. Nach OBERDORFER (1996) ist die Art ein bis 90 cm tief wurzelnder Wurzelkriecher, Bodenfestiger und eine nässescheuende Pionierpflanze.

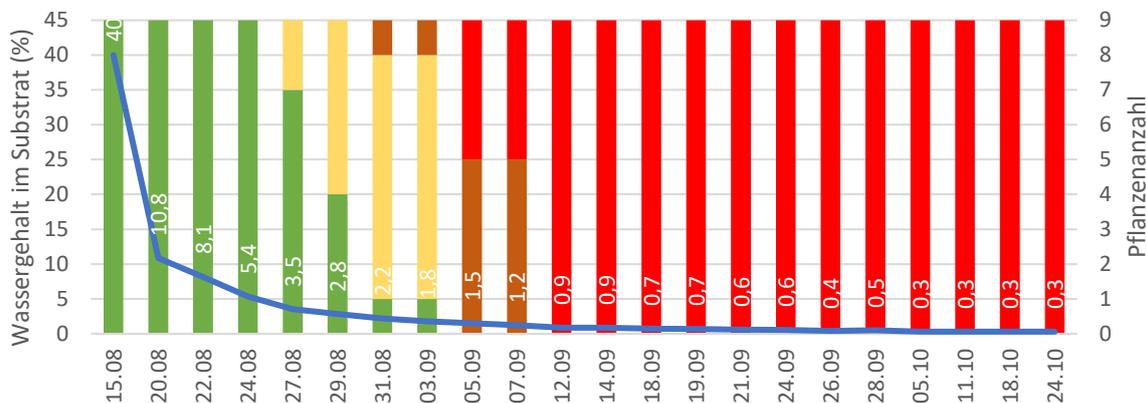


***Agrostis capillaris* (Rotes Straußgras)**

Agrostis capillaris war mit einem Drittel an Samen in den Saatgutmischungen enthalten, die auf den Straßenmittelstreifen die einzelnen Versuchsvarianten voneinander trennen sollten. Es konnten keine

etablierten Pflanzen auf den entsprechenden Flächen gefunden werden. Aussagen zu Wachstum und Entwicklung können deshalb nicht getroffen werden.

In den Trockenstressversuchen bildete *Agrostis capillaris* in den Versuchsgefäßen kompakte, dichte Horste mit zahlreichen Blütenständen. Die Pflanzen entzogen dem Substrat schnell viel Wasser. Trockenstresssymptome manifestierten sich vor allem in langsam austrocknenden Blättern.

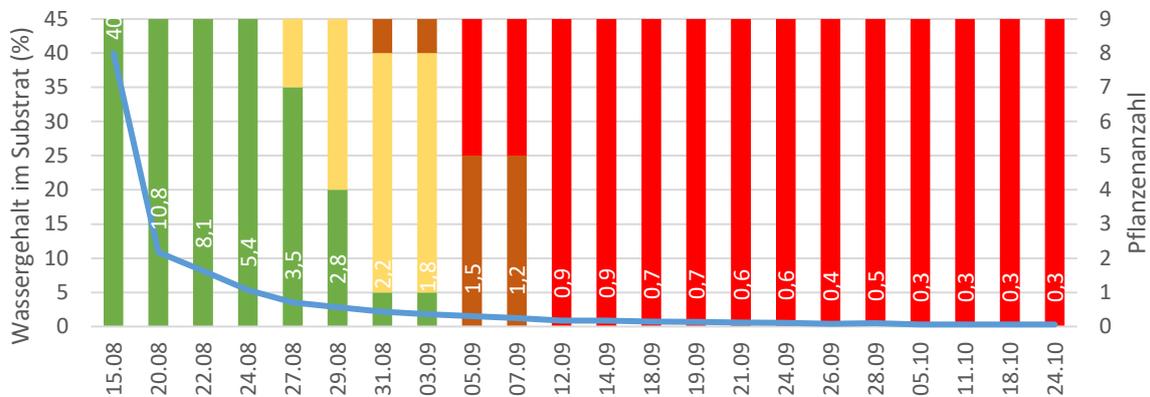


***Anchusa officinalis* (Gemeine Ochsenzunge)**

Die Ochsenzunge hat sich auf allen Sand-Flächen der Straßenmittelstreifen sowie den Fräs- und Sand-Flächen im Parzellenversuch etabliert. Die Art steht jeweils nur vereinzelt auf den Flächen, entwickelt aber relativ große Einzelexemplare. Dadurch war sie auf den Flächen im Parzellenversuch teilweise sehr dominant, durch die höhere Nährstoffverfügbarkeit besonders auf den Fräs-Flächen. *Anchusa officinalis* ist eine häufige Begleitart der Graukresse-Gesellschaft, siedelt u. a. auf sandigen Böden des Öd- und Brachlandes und auch auf länger trockenengefallenen Standorten an Flussufern (SCHUBERT 2001). Sie kommt zerstreut an sonnigen Wegen, auf Schuttplätzen und Dämmen und dann auf humosen oder rohen, durchlässigen Sand- und Kiesböden vor allem der Wärmegebiete vor. Sie besitzt eine meist kurzzeitige Samenbank (über 2 Jahre, OBERDORFER 1996). Die Art war schon ab Mitte Mai Pollen- und Nektarspender und bot mit ihren vielen Blütenständen zahlreichen Insekten bis Ende August Nahrung. Laut ULMER (2021) wird der Pollen von sieben Wildbienenarten als Nahrungsquelle genutzt. Darunter befinden sich u. a. die oligolektischen Arten *Colletes nasutus* und *Andrena nasuta*. Beide Arten sind in Deutschland stark gefährdet und fliegen ausschließlich *Anchusa officinalis* bzw. nah verwandte Arten an. Der Nektar-/Pollenwert liegt nach RADTKE & SCHIRM (2002) bei 3/1. *Anchusa officinalis* bildete ab dem zweiten Jahr regelmäßig viele Samen, die vielfach keimten und so den Fortbestand der Art auf den Flächen sichern.

Anchusa officinalis zeigte in der Vorkultur zum Trockenstressversuch einen einheitlichen, arttypischen Habitus. Die Pflanzen bildeten eine Rosette und ein bis drei Blütenstände. Die bereits zweijährigen Pflanzen im Trockenstressversuch 2019 wiesen ein vermindertes vegetatives Wachstum auf. Die Blütenbildung war hierbei nicht eingeschränkt. Ähnlich wie *Echium vulgare* besitzt *Anchusa officinalis* leicht pergamentartige Blätter mit zahlreichen Blatthaaren. Der Wasserverbrauch im Versuch verlief langsamer als bei *Echium vulgare* und die Pflanzen starben bis Versuchsende nicht vollständig ab, obwohl sie starke Symptome zeigten. Die Blätter trockneten einzeln nacheinander ab, nur die jüngsten, kleinsten Blätter blieben übrig. Insgesamt zeigt *Anchusa officinalis* eine hohe Trockenstresstoleranz.

Da die Pflanze eine bis zu 120 cm tief wurzelnde Pionierpflanze ist (OBERDORFER 1996), kann am natürlichen Standort Wasser in tieferen Bodenschichten erschlossen werden, was im Versuch in den Gefäßen nicht nachgebildet werden konnte.



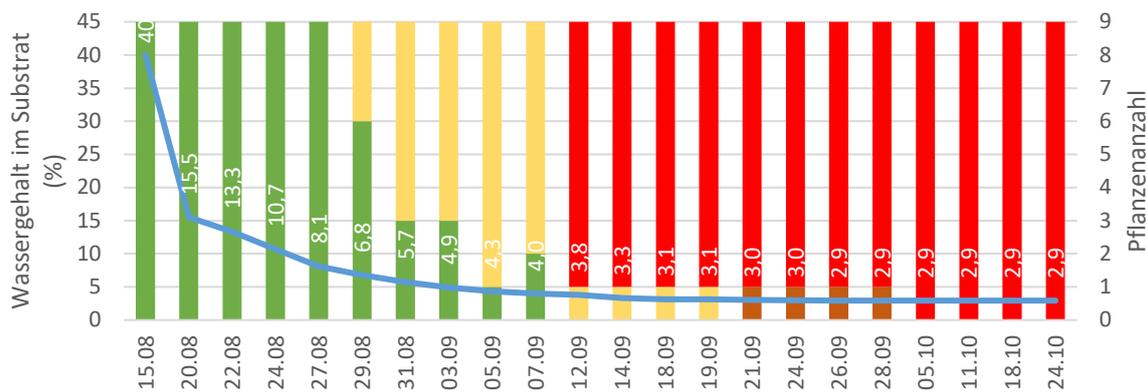
***Anthemis tinctoria* (Färberkamille)**

Die Färberkamille war in der INDI-Mischung im ersten und zweiten Versuchsjahr auf den Sand-Flächen der Straßenmittelstreifen die dominierende Art. Die Pflanzen bildeten kräftige Exemplare, die von Mitte Juni bis Ende Juli in der Hauptblüte reichlich blühten und vielfach von Insekten angefliegen wurden. *Anthemis tinctoria* zeigte eine starke Samenbildung und auch anschließende Keimung. Trotzdem ging der Deckungsgrad der Art auf den Flächen während des Versuchsverlaufs kontinuierlich zurück. Das lag weniger an einer geringeren Anzahl vorhandener Pflanzen als an der deutlich abnehmenden Größe der einzelnen Individuen. Die Pflanzen bildeten zunehmend einen einzigen, beblätterten Stängel, während in den ersten beiden Versuchsjahren noch eine mehr oder weniger reichliche Verzweigung der Pflanzen zu beobachten war. Dadurch nimmt der Konkurrenzdruck, der von *Anthemis* ausgeht, ab. Wachstum anderer Arten ist in direkter Nähe möglich, da die Pflanzen aufgrund ihrer schlanken Gestalt weniger Bodenfläche schattieren. Auch auf den Sand-Flächen im Parzellenversuch nahmen Deckung und Vitalität der Pflanzen im vierjährigen Versuchsverlauf ab. Die Art scheint etwas höhere Nährstoffansprüche an den Boden zu stellen, da sich die Pflanzen auch auf den Fräs-Parzellen trotz des dort bestehenden, höheren Konkurrenzdrucks etablieren konnten und auch kräftiger ausgebildet waren. OBERDORFER (1996) führt aus, dass die Art natürlicherweise zerstreut, aber gesellig, in Trockenrasengesellschaften, auch ruderal an Dämmen und Böschungen vorkommt. Die Standorte sind sommerwarm, flachgründig, oft humus- und feinerdearm und trocken. Die lichtliebende Pflanze besitzt eine langzeitige Samenbank (über 10 Jahre). Obwohl die Pflanzen mit teilweise vertrockneten Blättern und eingeschränktem Wachstum auf Hitze und starken Trockenstress in den extremen Wetterjahren 2018 und 2019 reagierten, starben die Pflanzen nicht ab. Die ausgeprägte Selbstvermehrungsrate kann mittelfristig für einen Fortbestand der Art auf den Straßenmittelstreifen sorgen.

Aus ökologischer Sicht ist *Anthemis tinctoria* eine wertvolle Art, da sie eine wichtige Trachtpflanze ist (Nektar-/Pollenwert = 3/3, RIEGER-HOFMANN 2020). In den Forschungsergebnissen von WARZECHA et al. (2018) zeigte *Anthemis tinctoria* die höchste Wirkungskraft („species strength“) auf die Bestäubergemeinschaft innerhalb einer Gruppe von 94 untersuchten Pflanzenarten. Diese

Wirkungskraft ist definiert als die Summe von Anzahl und Stärke der Abhängigkeiten verschiedener Bestäuberarten von dieser Pflanzenart (BASCOMPTE et al. 2006).

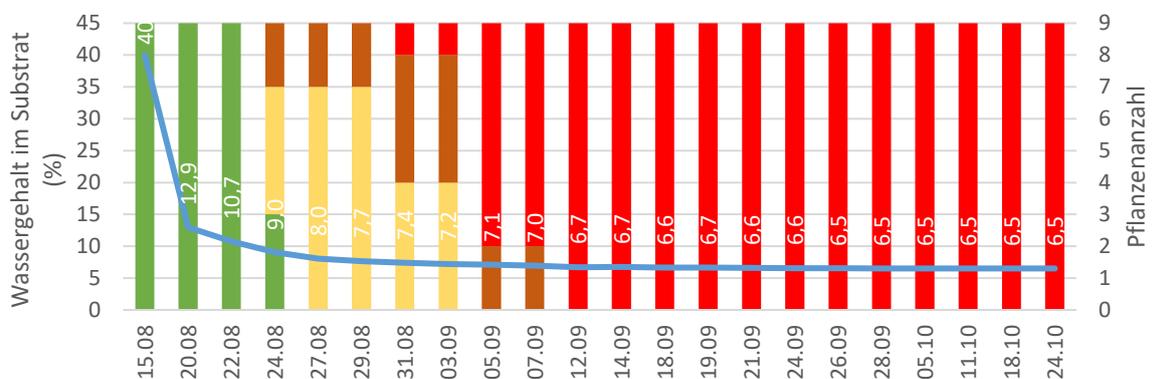
Anthemis tinctoria bildete im ersten Trockenstressversuch kräftige, stark verzweigte, große Pflanzen aus. In den folgenden Trockenstressversuchen ohne Düngung blieben die Pflanzen in der Vorkultur kleiner und ohne starke Verzweigung. Sie besaßen meist nur ein bis zwei Blütenstände. Die zweijährigen Pflanzen im Trockenstressversuch 2019 wuchsen nur noch sparrig, blühten aber trotzdem. Symptome für Trockenstress traten in Form von Chlorosen, später Nekrosen auf. Diese traten zunächst nur ringförmig auf. Später trockneten die Pflanzen schrittweise aus. Unter den Versuchsbedingungen ist *Anthemis tinctoria* als moderat trockenstresstolerant einzuschätzen.



***Anthoxanthum odoratum* (Ruchgras)**

Anthoxanthum odoratum war mit einem Drittel Samen in den Saatgutmischungen enthalten, die auf den Straßenmittelstreifen die einzelnen Versuchsvarianten voneinander trennen sollten. Es konnten keine etablierten Pflanzen auf den entsprechenden Flächen gefunden werden. Aussagen zu Wachstum und Entwicklung können deshalb nicht getroffen werden.

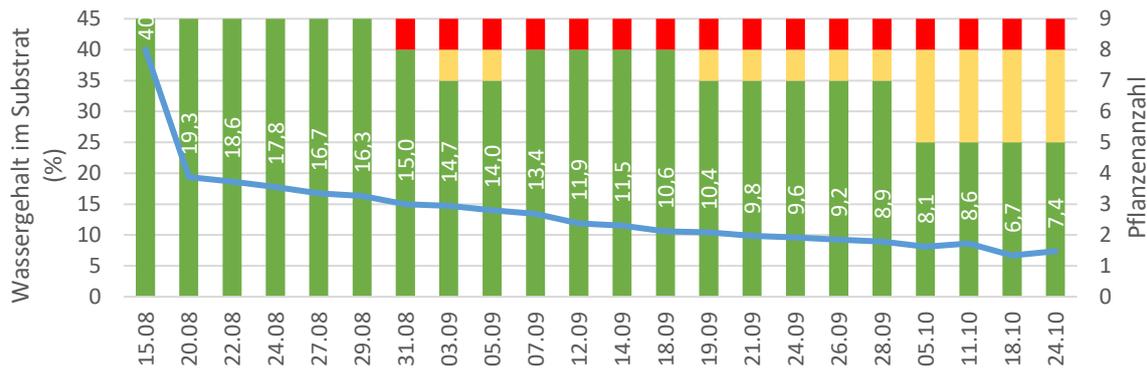
Anthoxanthum odoratum entwickelte in der Vorkultur kräftige Pflanzen in einem dichten Horst. Sie entwickelten zahlreiche Blütenstände. Trockenstress zeigte sich in den Versuchen durch anfangs vergilbende, später vertrocknete Blätter. Beginnend bei den äußeren Blättern starb der gesamte Horst im Versuchsverlauf ab. Unter den Versuchsbedingungen mit begrenztem Bodenvolumen sind die Pflanzen der Art als moderat trockenstresstolerant zu bewerten.



***Armeria maritima* subsp. *elongata* (Sand-Grasnelke)**

Die Sand-Grasnelke gehört aus verschiedenen Gründen zu den am besten geeigneten Arten für die Ansaat an extremen Standorten. Speziell für die Begrünung von Straßenmittelstreifen ist sie durch ihre Salztoleranz besonders geeignet (ELLENBERG 1979). Die Art begann als eine der ersten aller untersuchten Zielarten schon Mitte April zu blühen. Die Hauptblüte dauerte bis Ende Mai/Anfang Juni. Nachdem mehr oder weniger alle Blüten verblüht waren und Samen gebildet wurden, kam es nach etwa zwei Wochen zu erneuter Blütenbildung. Diese war nicht ganz so stark wie die erste Blüte, aber trotzdem regelmäßig über die meisten Pflanzen verteilt und zog sich bis Oktober/November. Einzelne Pflanzen blühten auch im Winter, sodass fast während des gesamten Jahres blühende Pflanzen zu finden waren. Da die Pflanzen gerne von verschiedenen Insekten, besonders Hautflüglern, angefliegen werden, ist ihr ökologischer Wert aufgrund der reichlichen und langanhaltenden Blüte sehr hoch einzuschätzen. Die Art hat sich auf allen Sand-Flächen der Straßenmittelstreifen und im Parzellenversuch sehr gut entwickelt und etabliert. Es wurden optisch ansprechende, dunkelgrüne Horste gebildet. In Kombination mit den etwa 30 cm hohen, sehr dünnen Blütenstängeln, an deren Ende ein rosafarbiger, kugelförmiger Blütenstand mit vielen Einzelblüten sitzt, ergibt sich für einen langen Zeitraum im Jahr ein sehr ästhetischer Gesamteindruck der Pflanzenbestände. Die Blütenstände sehen durch ihre eigentümliche Form auch nach dem Verblühen noch interessant aus. Die Art vermehrt sich selbst sehr leicht und stark durch Samenausbreitung. Ein starker Konkurrenzdruck auf andere Arten wird dagegen nicht ausgeübt. *Armeria maritima* wird in der Roten Liste Berlin (SEITZ et al. 2018) als in ihrem Bestand zurückgehend eingestuft und steht sowohl in Berlin als auch in Brandenburg auf der Vorwarnliste. Gleichzeitig ist sie prioritäre Zielart des Florenschutzes, für deren Erhaltung Deutschland und Berlin eine besonders hohe Verantwortung tragen. Die Sand-Grasnelke ist auch eine Zielart im Biotopverbund im Land Berlin. *Armeria maritima* ist Bestandteil der Grasnelken-Gesellschaften (Verbandscharakterart), die auf trockenwarmen, nährstoffarmen und sandigen bis kiesigen Böden vorkommt. Die Bestände dieser Gesellschaften sind durch zunehmende Eutrophierung zurückgehend. Im Heidenelken-Grasnelken-Rasen ist *Armeria maritima* wie auch *Dianthus deltoides* eine hochstete Art. Des Weiteren ist *Armeria maritima* auch Bestandteil der Strandnelken-Salzwiesen (Verbandscharakterart), die gekennzeichnet ist durch ihr Vorkommen auf salzhaltigen Sand- und Schlickböden (SCHUBERT 2001). Ihre Salztoleranz spiegelt sich auch in der Ansiedlung der Art an Straßenrändern wider, die durch den winterlichen Eintrag von Streusalz eine erhöhte Salzbelastung aufweisen. Die Art ist Nahrungsquelle für viele Insekten; verschiedene Käfer ernähren sich von den Samen (LOEWENSTEIN 2021). *Armeria maritima* zeigt einen mittleren Pollen- und auch Nektarwert und wird als Bienenweide empfohlen (RADTKE & SCHIRM 2002).

Armeria maritima zeigte in allen Trockenstressversuchen spät und in nur geringem Umfang Symptome von Trockenstress. Das waren beispielsweise das Krümmen der Blätter und nekrotische Blattspitzen. Die relativ langsam sinkenden Wassergehalte in den Kulturgefäßen deuten auf einen niedrigen Wasserverbrauch der Pflanzen hin. Die leicht sukkulenten, schmalen Blätter sowie der gedrungene Habitus schützen die Pflanze vor Transpirationsverlusten auch bei Strahlungswetterlagen mit sehr hohen Temperaturen. Die Art bewahrt ihren Zierwert auch unter trockenen, heißen Bedingungen sehr lange. Nach ELLENBERG (1996) ist *Armeria maritima* ein Trockenheits-, Hunger- und Sandzeiger. Eine Beweidung (Mahd) fördert die Häufigkeit ihres Vorkommens. Aufgrund aller genannten Eigenschaften ist *Armeria maritima* bestens für den Einsatz als Straßenbegleitgrün geeignet und daher absolut empfehlenswert.

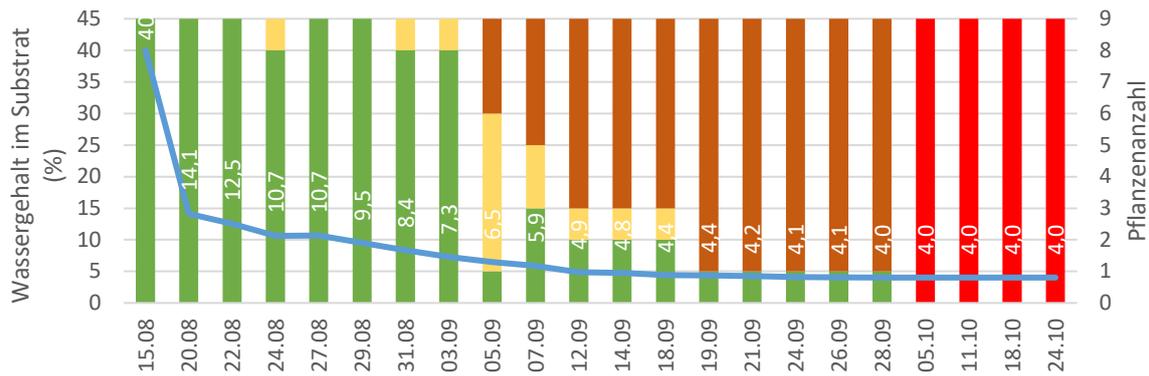


***Campanula rotundifolia* (Rundblättrige Glockenblume)**

Campanula rotundifolia zeigte in den Keimfähigkeitsversuchen große Unterschiede. Während im Freiland nur ein Viertel der Samen keimte, waren es unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus fast drei Viertel. Auf allen Flächen der Straßenmittelstreifen, auf denen die Art mit der RUDER-Saatgutmischung ausgesät wurde, konnte kein Individuum gefunden werden. Im Parzellenversuch entwickelten sich sehr wenig Einzelexemplare auf den entsprechenden Sand-Parzellen. Diese waren auch nur sehr schwach ausgebildet. Obwohl die Pflanzen wiederholt geblüht hatten, gab es keine deutlich sichtbare Zunahme des Pflanzenbestands. Offenbar sind es mehrere Faktoren, die der Art eine Etablierung an den untersuchten Standorten erschweren.

Als eine Vertreterin der Familie der Glockenblumengewächse (Campanulaceae) dient *Campanula rotundifolia* einer Reihe hoch spezialisierter Bienenarten [Scherenbienen (Glockenblumen-Scherenbiene), einigen Sandbienenarten, der Glockenblumen-Sägehornbiene und in Süddeutschland auch Mauerbienenarten] als Pollenquelle (DWS 2021, WESTRICH 2021). Nach RADTKE & SCHIRM (2002) besitzt die Art einen mittleren Pollen- und auch Nektarwert.

Campanula rotundifolia zeigte in den Trockenstressversuchen eine relativ hohe phänotypische Diversität. Die Pflanzen wuchsen eher schwach und blühten nicht einheitlich. Die Pflanzen zeigten Welkesymptome in Form von langsam vertrocknenden Sprosssegmenten. Bei länger anhaltendem Wassermangel trockneten die Pflanzen von den jüngsten Pflanzenteilen zunehmend zur Sprossbasis zurück. Insgesamt konnten die Pflanzen niedrigen Bodenwassergehalten länger widerstehen als andere Arten im Versuch. Die Trockenstresstoleranz wird als relativ hoch eingeschätzt. Nach Ellenberg (1996) ist die Art ein Trockenheitszeiger. Da *Campanula rotundifolia* ein bis zu 120 cm tief wurzelnder Wurzelkriecher ist (OBERDORFER 1996), kann am natürlichen Standort Wasser in tieferen Bodenschichten erschlossen werden, was in den Gefäßen des Trockenstressversuchs nicht nachgebildet werden konnte.



***Centaurea cyanus* (Kornblume)**

Die Kornblume wurde als dienende Zielart in die INDI-Saatgutmischung integriert. Wie erhofft, kam es zur Blüte auf den Sand- als auch auf den Fräs-Flächen der Straßenmittelstreifen. Die sich entwickelnden Pflanzenbestände waren auf den Fräs-Flächen reichblütiger und mit mehr Individuen ausgebildet. Im Mai ergab sich auf den Flächen ein schon von weitem gut sichtbarer, flächiger, blauer Blühaspekt. Die Pflanzen zeigten auf den Sand-Flächen keine oder erst sehr viel später als auf den Fräs-Flächen Trockenstresssymptome in Form eingerollter Blätter. Dieser Effekt wurde für viele der anderen Arten auch beobachtet. Das lag wahrscheinlich an dem größeren Konkurrenzdruck durch viel mehr Pflanzenmasse auf den Fräs-Flächen und damit einer schnelleren Erschöpfung des verfügbaren Wassers im Boden. Gleichzeitig bricht auf dem sandigen Boden schnell die kapillare Verdunstung zusammen. Die Oberfläche trocknet ab und es kann sich mit den relativ großen Poren im Sand keine kapillare Verbindung in tiefere Schichten ausbilden. Das Wasser verbleibt demnach länger in den tieferen Bodenschichten bzw. entweicht weniger stark durch Evaporation von der Fläche. Die weniger starke Entwicklung des Pflanzenbestandes auf den Sand-Flächen ist höchstwahrscheinlich eine Folge der geringeren Nährstoffversorgung der Pflanzen auf dem nährstoffarmen Sand. *Centaurea cyanus* kommt nach OBERDORFER (1996) auf nährstoffreichen, frischen bis mäßig frischen Lehm- und Sandböden vor und ist eine bis 60 cm tief wurzelnde Lichtpflanze. Obwohl die höheren Nährstoffansprüche auf den Projektflächen eher nicht erfüllt wurden, konnte sich die Art an allen Standorten mindestens in der ersten Vegetationsperiode nach Aussaat mehr oder weniger bestandsbildend etablieren und auch erfolgreich aussamen und erneut keimen.

Centaurea cyanus kam in den Versuchsjahren immer wieder zur Blüte, Samenbildung und Selbstaussaat. Aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung, die für das Fortbestehen einer Population am Standort notwendig ist, nahm die Pflanzenanzahl mit den Jahren kontinuierlich ab, sodass im letzten Versuchsjahr 2020 nur noch vereinzelt Pflanzen auf den Flächen standen. Unabhängig davon kann die Art als Bestandteil einer Saatgutmischung für Straßenbegleitgrün empfohlen werden. Im ersten Jahr der Ansaat wird ein flächiger, ästhetischer Blühaspekt schon im Frühjahr erreicht, während die meisten anderen Stauden erst im zweiten Jahr nach ihrer Aussaat zur vollen Blühfähigkeit gelangen.

Alle Arten der Gattung *Centaurea* werden zur Förderung von Wildbienen von der DWS (2021) empfohlen. Nach WARZECHA et al. (2018) gehört *Centaurea cyanus* zu den Schlüsselarten als Nahrungsquelle für Bestäuber in der ackerbaulich genutzten Fläche. Die Art wird besonders häufig von Wildbienen angefliegen und stellt eine überdurchschnittlich attraktive Nahrungsquelle dar. Dazu

zählen u. a. mehrere Arten der Sandbienen, Furchenbienen, Pelzbienen und Mauerbienen. Hier sind auch einige oligolektische Arten (Spezialisten) vertreten (WESTRICH 2021).

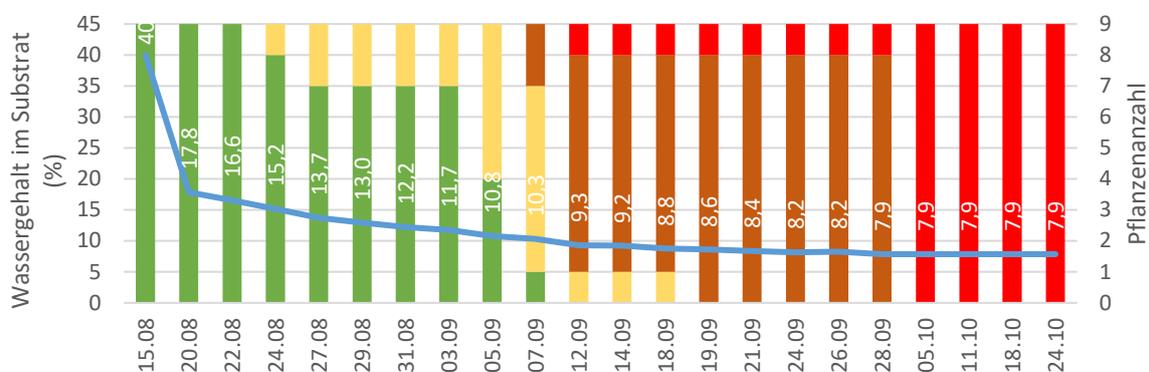
Aufgrund der insgesamt kurzen Lebensdauer von *Centaurea cyanus* waren die Auswirkungen des Trockenstresses deutlich schwerer zu bewerten als bei den anderen Zielarten. Die Pflanzen entwickelten sich im Trockenstressversuch 2017 schnell bis zur Blüte und begannen nach der Samenbildung abzusterben. Aufgrund der ähnlichen Pflanzenentwicklung in den Kontrollgruppen kann dieser Effekt nicht auf den Trockenstress zurückgeführt werden. Im Versuch 2018 ließ sich für *Centaurea cyanus* kein versuchsfähiger Bestand anziehen. Auf Basis der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse wurde die Art im Versuch 2019 nicht erneut untersucht.

***Corynephorus canescens* (Silbergras)**

Das Silbergras war mit einem Drittel Samen in den Saatgutmischungen enthalten, die auf den drei Straßenmittelstreifen die einzelnen Versuchsvarianten voneinander trennen sollten. Von dem ausgebrachten Saatgut entwickelten sich nur vereinzelt Pflanzen, sodass sich unter Berücksichtigung der fehlenden Pflanzen von *Agrostis capillaris* und *Anthoxanthum odoratum* keine Grassteifen als trennende Elemente der Versuchsvarianten entwickelt hatten. *Corynephorus* zeigte in den Keimfähigkeitsversuchen nur geringe Keimraten von 9 bzw. 23 %. Da sich auf dem Adlergestell im Vergleich noch die meisten Exemplare entwickeln konnten, während es auf der Heerstraße schon deutlich weniger waren und auf der Frankfurter Allee gar keine Individuen gefunden wurden, ist eine mögliche Erklärung, dass das Silbergras anfällig gegenüber mechanischem Druck durch Betreten ist. Mit zunehmender Trittbelastung auf den verschiedenen Straßenmittelstreifen nimmt die beobachtete Pflanzenanzahl ab bis zum völligen Fehlen auf der Frankfurter Allee (zur Dimension der Trittbelastung siehe auch Abb. 41 auf Seite 94). Gleichzeitig könnten die Witterungsbedingungen auch verantwortlich sein. Auf dem zusätzlich angelegten Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm wurde das Saatgut im Dezember ausgebracht. Während der Wintermonate konnten die Pflanzen keimen, wenn die Temperaturen für einige Zeit ein Minimum nicht unterschritten hatten. Gleichzeitig war jahreszeitlich bedingt genügend Bodenwasser vorhanden, sodass die Keimpflanzen ein ausreichend ausgebildetes Wurzelsystem entwickeln konnten, das sie in der trockneren Jahreszeit vor übermäßig großem Wasserstress schützen konnte. Am Standort Steglitzer Damm konnte sich *Corynephorus* sehr erfolgreich als regelmäßig und mit am häufigsten vorkommende Pflanzenart etablieren. Die Art wurde hier nicht in Form von Streifen, sondern als Bestandteil der modifizierten MAGER-Saatgutmischung (Mager+) auf dem Straßenmittelstreifen ausgebracht. Das Silbergras blühte bereits in der ersten Vegetationsperiode, bildete Samen und säte sich erfolgreich selbst aus. Die Pflanzen sehen mit ihren abgegrenzten, sehr kompakten, igelförmigen Horsten sehr ästhetisch aus und wachsen genetisch bedingt nicht als flächiger Bestand. Dadurch bleibt der Eindruck von Einzelpflanzen erhalten. Gleichzeitig können auf den freien Flächen andere Pflanzenarten wachsen, was zu einer größeren Biodiversität am Standort führt.

Corynephorus canescens entwickelte sich während der Vorkultur 2018 zu kräftigen Pflanzen mit zahlreichen Blüten. Im Rahmen der Vorkultur 2019 starben nach und nach alle Versuchspflanzen ab, sodass *Corynephorus canescens* nicht in den Versuch 2019 einbezogen werden konnte. Das Absterben folgte einer intensiven Blüte im Frühjahr 2019. Dieser biannuelle Wachstumsmodus ließ sich auch bei Pflanzen im Freiland immer wieder beobachten. Im Trockenstressversuch 2018 zeigten die Pflanzen

eine moderate bis hohe Trockenstresstoleranz. Symptome waren bei *Corynephorus canescens* von der Spitze zurücktrocknende Halme. Mit fortschreitendem Trockenstress ließen sich Büschel von Halmen leicht „ausbrechen“. Die ökologische Strategie für ein Überdauern ungünstiger Verhältnisse scheint bei dieser Art in der Produktion und Verbreitung möglichst vieler Samen zu liegen. Grundsätzlich scheinen die schmalen, festen, fast nadelartigen Blätter gut geeignet zu sein, um Transpirationsverlusten bei heißen Wetterlagen entgegenzuwirken. ELLENBERG (1996) führt aus, dass der Art alle morphologischen Merkmale zur Reaktion auf Wassermangel fehlen, bis auf das ausgedehnte und sehr intensive Wurzelwerk. Bei Bezug auf die Bodenfläche ist die Transpiration selbst an Schönwettertagen mit 400-800 g/m² gering. Die Beschattung der Bodenfläche durch *Corynephorus canescens* ist gering, sodass der oberflächlich schnell abtrocknende Sand eine weitere Wasserabgabe durch Unterbrechung der Kapillarwirkung verhindert. Die Art wächst in Horsten, die fast ausschließlich mit gewissen Mindestabstände zueinander wachsen, was ebenfalls zu größeren Flächen mit offener Bodenoberfläche und einer schnellen Unterbrechung der kapillaren Verdunstung führt

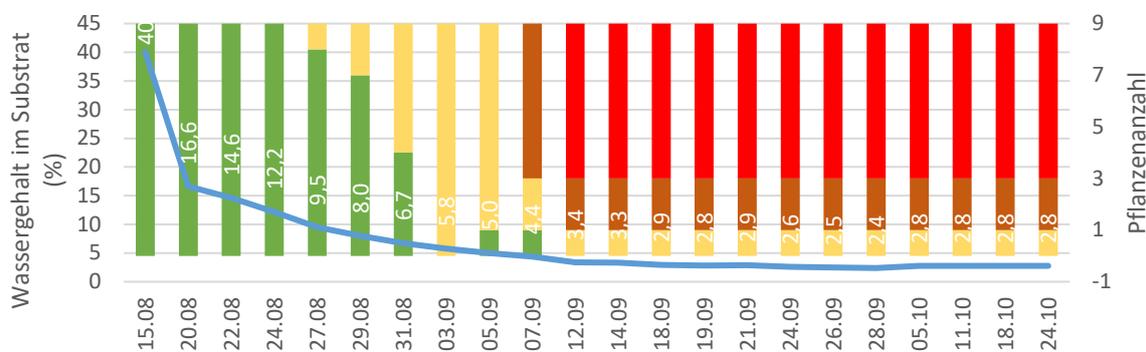


***Dianthus deltoides* (Heide-Nelke)**

Die Heide-Nelke wies unter allen Zielarten mit 86 bzw. 70 % die höchste Keimfähigkeit in beiden Keimpflanzentests (Gewächshaus/Freiland) auf. Auch auf den Parzellen gehörte die Keimpflanzenanzahl am Ende der ersten Vegetationsperiode zu den höchsten. Bis zum Frühjahr erhöhte sich die Anzahl noch auf das 10-fache. Im zweiten Jahr war auf den Parzellen der MAGER-Mischung eine reichliche Blüte zu sehen, die durch die große Anzahl der einzelnen Blüten optisch sehr ansprechend war. Die Pflanzen bildeten in diesem und den folgenden Jahren reichlich Saatgut, das auch zur Verbreitung der Art beitrug. Der Anteil der Parzellen, auf denen *Dianthus deltoides* wuchs, aber dort nicht ausgesät worden war, verdoppelte sich vom vorletzten zum letzten Versuchsjahr. Während in den ersten beiden Versuchsjahren die Pflanzen eine reich beblätterte Rosette bildeten, nahm die Blattanzahl und in der Folge auch der Deckungsgrad der Pflanzen auf der Fläche kontinuierlich ab. Gleichzeitig war die Blüte nicht mehr so üppig wie im Jahr, in dem die Pflanzen zum ersten Mal geblüht hatten und auch die Gesamtblühdauer nahm mit den Jahren ab. In den Jahren 2018 und 2019 hatten die Pflanzen in zweiter Blüte vereinzelt noch bis Ende Oktober/Anfang November geblüht. Im Jahr 2020 waren die Pflanzen schon ab Mitte August ohne weitere Blüten. Auf den Straßenmittelstreifen konnten sich nur ein bis zwei Pflanzen je Standort bis zum Versuchsende etablieren. Für diesen Gegensatz zu den Ergebnissen im Parzellen- und im Keimfähigkeitsversuch können nur die nach der Aussaat auf den Flächen fehlenden Niederschläge verantwortlich gemacht werden. Auf dem Adlergestell war die Trittbelastung zu vernachlässigen, gleichzeitig war sie auf dem

Steglitzer Damm sehr hoch. Und hier konnten sich im Vergleich zu den im Frühjahr eingerichteten Versuchsflächen deutlich mehr Pflanzen etablieren. Nach OBERDORFER (1996) kommt *Dianthus deltoides* am natürlichen Standort zerstreut in Magerrasen und Magerweiden vor und vor allem im Anfangsstadium an Böschungen und auf Sandrasen. Aus ökologischer Sicht ist die Art besonders für Schmetterlinge von Bedeutung (Falterblume).

Dianthus deltoides zeigte in der Vorkultur der Versuche arttypisches Wachstum mit üppig entwickelten Pflanzen. Die Pflanzen entwickelten sich sehr gleichmäßig. Im Verlauf der Trockenstressversuche zeigten sich Trockenstresssymptome in Form von permanent geringem Turgor. Später bildeten sich Chlorosen auf den Blättern, die in der Folge nacheinander verwelkten. Ein Teil der Pflanzen überlebte trotz zunehmend stärker ausgeprägten Symptome bis zum Versuchsende. Die Art insgesamt ist als trocken tolerant einzustufen; nach ELLENBERG (1996) ist sie ein Trockenheits- und Hungerzeiger.

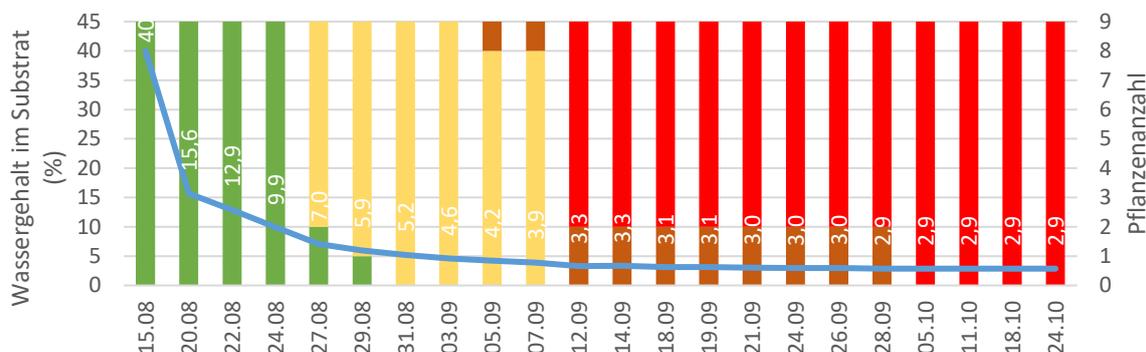


***Echium vulgare* (Natternkopf)**

Der Natternkopf wuchs auf den Straßenmittelstreifen und im Parzellenversuch im ersten Jahr zu so vielen Einzelpflanzen heran, dass die im zweiten Jahr gebildeten, relativ hohen und schlanken Blütenstände mit ihren violettblauen Blüten auf den jeweiligen Flächen dominierten. Die Art bildet sehr viel Saatgut und samt sich leicht und reichlich aus. Obwohl diese Voraussetzungen gegeben sind, kam es entgegen der Erwartungen nicht zu einem hohen Konkurrenzdruck durch *Echium vulgare* auf andere Arten. Im dritten Versuchsjahr waren nur vereinzelt blühende Pflanzen zu finden. Das hängt sicherlich auch mit der zweijährigen Wachstumsrhythmik der Art zusammen. Andererseits wurden auch deutlich weniger Blattrosetten auf den Flächen gefunden, die sich dort aus dem Saatgut der Mutterpflanzen etablieren konnten. OBERDORFER (2001) berichtet über eine meist nur kurzzeitige Samenbank (über 2 Jahre). Der Natternkopf ist unter ökologischen Gesichtspunkten eine der wertvollsten untersuchten Arten. Während der Blütezeit von Anfang Juni bis Ende August - die bei einem höheren Alter des Bestands noch deutlich ausgedehnter sein kann - wird die Pflanze von überdurchschnittlich vielen Bienen- und Hummelarten angefliegen. Die Frequenz anfliegender Tiere ist so hoch, dass die Anwesenheit der fliegenden Insekten bereits mit einigem Abstand zur Fläche akustisch wahrgenommen werden kann. Die Pflanze scheint ein besonders guter und reichhaltiger Pollen- und Nektarspender zu sein [Nektar-/Pollenwert = 3/2, DWS (2021)]. Hier muss aber auch erwähnt werden, dass die Pflanze in ihrer Biomasse chemische Verbindungen enthält (Pyrrolizidinalkaloide), die durch die Sammeltätigkeit von Honigbienen den von ihnen erzeugten Honig belasten können. Zu diesen Bedenken werden immer wieder kontroverse Diskussionen in der Öffentlichkeit geführt. Allerdings geht eine potenzielle Gefahr wohl eher von großen Rein-Beständen

aus, wenn ein Bienenvolk hauptsächlich dort Nahrung sammelt. Rein-Bestände in größerem Umfang sind allerdings nicht unbedingt typisch für den Natternkopf und wurden während der dreijährigen Versuchsdauer auf den Straßenmittelstreifen und den damit verbundenen vielen Fahrkilometern im gesamten Berliner Stadtraum nicht gefunden. Nach WARZECHA et al. (2018) gehörte *Echium vulgare* zusammen mit 13 weiteren Pflanzen zu den Schlüsselarten in ihren Untersuchungen zu Pflanze-Bestäuber-Interaktionen. Das bedeutet, dass von insgesamt 94 auf den Untersuchungsflächen aufgetretenen Arten 14 Schlüsselarten ausreichen, um allen auf der Fläche identifizierten Bestäubern als Nahrungsquelle zu dienen. In Bezug auf die Wirkungskraft („species strength“) auf die Bestäubergemeinschaft lag *Echium vulgare* an achter Stelle innerhalb der 94 einbezogenen Pflanzenarten.

Echium vulgare bildete in den Trockenstressversuchen 2017 und 2018 kräftige Pflanzen mit typischem Habitus aus. Im Trockenstressversuch 2019 wiesen die Pflanzen ein stark vermindertes vegetatives Wachstum auf und bildeten einen einzelnen zentralen Blütenstand aus. Aufgrund ihrer ledrigen und behaarten Blätter konnten die Pflanzen den Wasserverlust verlangsamen. Durch ihre Größe entzogen sie dem Boden trotzdem höhere Mengen an Wasser. Symptome zeigten sich zunächst in einer papierartigen Textur der Blätter und nachlassendem Turgor. Die Blätter verloren an Stabilität und trockneten zurück. Trotz der nur als moderat einzuschätzenden Trockenstresstoleranz, kann *Echium vulgare* heißen Klimabedingungen widerstehen. Dies setzt das Vorhandensein von Wasser in erreichbaren Bodenschichten voraus. Auf den Versuchsstandorten der Mittelstreifen zeigten sich besonders bei jungen Pflanzen Stresssymptome in Form eingerollter Blätter während längerer Trockenphasen. Dies wurde bei älteren Pflanzen kaum beobachtet. Hierfür wird das tiefstreifende Wurzelsystem von *Echium vulgare* verantwortlich sein. OBERDORFER (2001) charakterisiert die Art als bis 250 cm tief wurzelnde Pionierpflanze.



***Euphorbia cyparissias* (Zypressen-Wolfsmilch)**

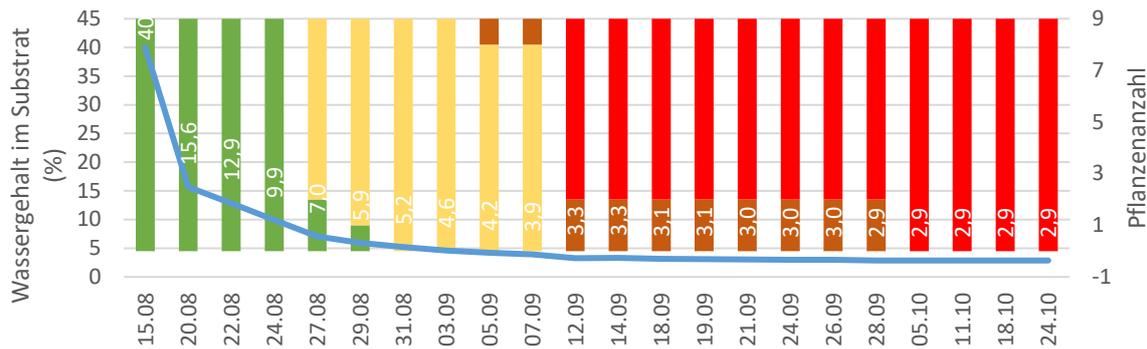
Die Zypressen-Wolfsmilch stellt mit ihrer Konkurrenzkraft und ihrem speziellen Habitus eine Besonderheit unter den getesteten Pflanzenarten dar. Die Pflanzen keimten sowohl im Parzellenversuch als auch auf den Straßenmittelstreifen nur mit einigen wenigen Pflanzen, aber auf allen Flächen, auf denen sie ausgesät worden war. In den darauffolgenden Jahren entwickelten sich die Pflanzen zunächst recht langsam in Bezug auf die oberirdische Pflanzenmasse. Besonders im letzten Versuchsjahr entwickelten sich aber neben den ursprünglich gekeimten Pflanzen vermehrt neue Triebe um die jeweiligen Mutterpflanzen herum. Diese unterirdische Rhizombildung sorgt für eine konstante und flächige Ausbreitung der Art. Inwieweit die Ausbreitung einen zwar nur lokalen, aber als invasiv zu

charakterisierenden Konkurrenzdruck für andere Pflanzenarten aufbaut, kann noch nicht abschließend beurteilt werden. Das wird sich erst im weiteren Entwicklungsverlauf der Pflanzengesellschaften auf den Flächen zeigen. OBERDORFER (2001) führt aus, dass die Art neben anderen Gesellschaften besonders in initialen Trockenrasengesellschaften vorkommt. Demnach ist davon auszugehen, dass mittel- und langfristig wahrscheinlich nicht von einer Verdrängung konkurrierender Arten ausgegangen werden muss.

An ihrem jeweiligen Wuchsort bildeten die Pflanzen mehr oder weniger kompakte Horste mit nadelartigen, quirlig angeordneten Blättern. Die Triebe sind wintergrün, sodass die Pflanze sehr lange grün bleibt und erst spät die alten Triebe vertrocknen, bevor im zeitigen Frühjahr neue Triebe gebildet werden. *Euphorbia* blühte in den Versuchen bereits Anfang April und erzeugt mit seinen vielen gelben Blüten, die in einem dichten, kugeligen Blütenstand zusammengefasst sind und in Verbindung mit dem dunkelgrünen Laub gerade in größeren Beständen – oftmals an Straßenrändern – einen sehr schönen Blühaspekt. Die Pflanzen zeigten auf den Straßenmittelstreifen und auf den Parzellen nur bei sehr langen und extremen Trocken- bzw. Hitzeperioden Anzeichen von Trockenstress in Form nachlassender Turgeszenz und herabgebogenen Trieben, konnten sich nach einsetzenden Niederschlägen aber schnell und ohne sichtbare, bleibende Schäden erholen. In der Natur kommt die Art auf Kalk-Magerweiden und sonstigen warmen Magerrasen, an Wegen, Rainen und auf Böschungen und an offenen Bodenstellen vor (OBERDORFER 1996). Nach SCHUBERT (2001) ist *Euphorbia cyparissias* eine Trennart innerhalb der vom Aussterben bedrohten Straußgras-Sandröschen-Gesellschaft. Die niedrigwüchsige Gesellschaft ist gekennzeichnet durch ihr Vorkommen auf sandigen, trockenen, nährstoffarmen, sonnigen Böden an Straßenböschungen, innerhalb lückiger Zwergstrauchheiden und im südlichen Brandenburg. Dies unterstreicht die Angepasstheit von *Euphorbia cyparissias* an extreme Standortfaktoren. Die Art ist auch eine häufige Begleitart der Schwingel-Trespen-Trocken- und Halbtrockenrasen, die besonders gut entwickelt in niederschlagsarmen, kontinentalen Landschaften des Hügel- und Flachlands vorkommen und durch weite Amplituden der Boden- und Luftfeuchte sowie der Temperatur gekennzeichnet sind.

In den Empfehlungen der DWS (2021) werden alle Vertreter aus der Gattung *Euphorbia* als wildbienenfreundliche Pflanzenarten empfohlen, die neben den Wildbienen auch vielen anderen Insektenarten Nahrung bieten. DENISOW (2009) stuft *Euphorbia cyparissias* aufgrund verschiedener untersuchter Blüh- und Blütenparameter als einen wichtigen Baustein innerhalb der Nahrungskette für Vertreter der Stechimmen (Apoidea) und der Zweiflügler (Diptera) ein.

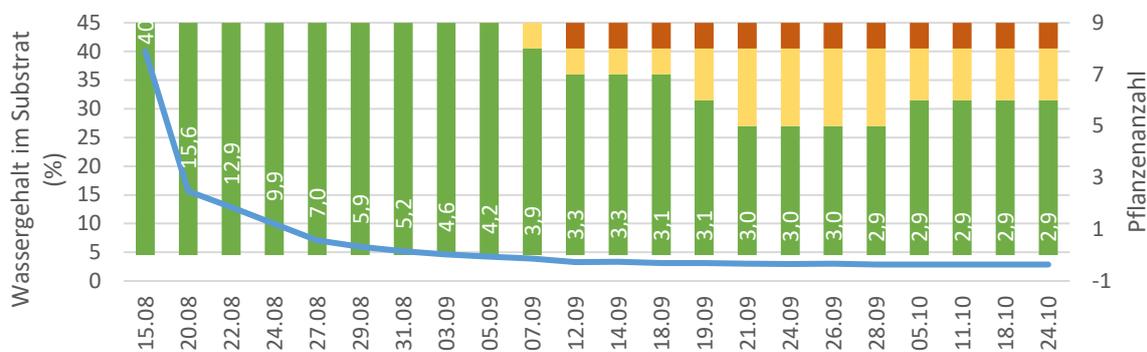
Euphorbia cyparissias entwickelte in der Vorkultur der Trockenstressversuche robuste Pflanzen mit arttypischem Habitus. Die Art weist phänotypische Merkmale auf, die sie widerstandsfähig gegen trocken-heiße Klimabedingungen macht (nadelartige, leicht sukkulente Blätter). Allerdings verbraucht die Art trotzdem Wasser und zeigte mit sinkendem Bodenwassergehalt deutlich sichtbare Symptome. Die nachlassende Turgeszenz führte zu einem eingefallenen wirkenden Habitus. Die nadelartigen Blätter krümmen sich, ebenso der Spross. Im Freiland kann *Euphorbia cyparissias* dies durch ein weit in die Breite verzweigtes Wurzelwerk kompensieren. Nach OBERDORFER (1996) ist die Art ein bis 60 cm tief wurzelnder, ausläufertreibender und bodenfestiger Wurzelkriechpionier und eine etwas wärmeliebende Lichtpflanze. Im Sommer 2020 zeigten sich aufgrund der tiefen Austrocknung des Bodens aber auch auf den Straßenstandorten (reversible) Welkesymptome.



***Falcaria vulgaris* (Sichelmöhre)**

Die Sichelmöhre zeigte in allen durchgeführten Versuchen die mit Abstand langsamste Entwicklung der Pflanzen im oberirdischen Bereich. Während im Parzellenversuch einige Samen keimten, aus denen sich noch weniger Pflanzen auf Dauer etablieren konnten, gab es auf den Straßenmittelstreifen keine Exemplare, die sich aus den Samen entwickelt hatten. Auf der Sand-Fläche in der Heerstraße konnten bereits in der ersten Vegetationsperiode zwei Exemplare gefunden werden, die im Vergleich zu allen anderen Pflanzen der verschiedenen Versuche viel größer waren und schon im zweiten Versuchsjahr blühten. Diese Pflanzen sind Neuaustriebe der Sichelmöhren, die schon vor Versuchsbeginn vereinzelt auf der Fläche standen. Durch den Bodenabtrag und die Sand-Auflage wurde die oberirdische Pflanzenmasse und ein etwa 10 cm langes Stück des oberen Wurzelbereichs entfernt. Trotz dieser massiven Beschädigung der Pflanzen konnten diese wieder austreiben. Nimmt man die Erfahrungswerte aus allen Versuchen zusammen, ergibt sich ein klares Bild für die Überlebensstrategie der Pflanze. Die Keimung erfolgt nach der Aussaat nur zögerlich. Nach Angaben von SNOY in ELLENBERG & SNOY (1957) wurde in Topfversuchen die Entwicklung von *Falcaria vulgaris* in unterschiedlich bewässerten Varianten nach der Aussaat untersucht. Während der Keimphase konnten im Vergleich zur Kontrollvariante (feucht; täglich gut gegossen, aber nicht übermäßig) in der nassen Variante nur ein Bruchteil und in der trockenen Variante gar keine Samen keimen. Obwohl *Falcaria vulgaris* mit der Feuchtezahl 3 ein ausgesprochener Trockenzeiger ist (ELLENBERG 1974), stellen trockene Standortbedingungen während der Keimphase ein Hemmnis für die Pflanzenetablierung dar. Durch die empfohlene Winteraussaat ist von deutlich höherem Keimerfolg auszugehen, als das auf den Projektflächen mit erfolgter Frühjahrsaussaat der Fall war. Die Pflanzen, die sich über die Keimlingsphase hinaus entwickeln, setzen den Großteil ihrer Wachstumsenergie für den Aufbau ihres Wurzelsystems ein. *Falcaria vulgaris* besitzt eine sehr lange und schmal rübenartig verdickte Hauptwurzel mit vielen daraus abgehenden Nebenwurzeln. Dieses Wurzelsystem schützt die Pflanze in Phasen langer Trockenheit vor Wassermangel und ermöglicht ihr so das Überleben. Nach SAURE (2012) stellt *Falcaria vulgaris* eine wichtige Nahrungspflanze für Wildbienen dar.

Falcaria vulgaris entwickelte in den Trockenstressversuchen kleine, nur sehr langsam wachsende Pflanzen. Blüten wurden in keinem der Trockenstressversuche entwickelt. Die Pflanzen verbrauchten während der Versuchsdauer äußerst wenig Wasser und zeigten nur an wenigen Pflanzen Symptome für Trockenstress. Diese manifestierten sich durch nekrotische Blattränder und bei wenigen Pflanzen durch einzelne vertrocknende Blätter. Die Pflanzen entwickeln sich auch unter natürlichen Bedingungen im Freiland nur sehr langsam. Dazu kommt, dass schon in einem frühen Entwicklungszustand das Umpflanzen nur noch schwer durchzuführen ist. Die Art bildet eine weit in die Tiefe reichende Pfahlwurzel, die kaum beschädigungsfrei entnommen und in neues Substrat eingesetzt werden kann. Aus diesen Gründen wurden die Pflanzen aus dem Versuch 2018 auch im Versuch 2019 verwendet. Nach SCHUBERT (2001) ist *Falcaria vulgaris* die Assoziationscharakterart der Sichelöhren-Quecken-Rasen, die von halbruderalen Halbtrockenrasenarten geprägt ist. Ihr Vorkommen konzentriert sich auf die wärmsten Gebiete in Süd- und Mitteldeutschland. *Falcaria vulgaris* kommt zerstreut an Weg- und Ackerrändern oder auch Brachen vor. Sie ist eine wärmeliebende Art, besitzt Wurzelsprosse und ist ein Rohboden-Pionier mit temporärer Samenbank (OBERDORFER 1996).



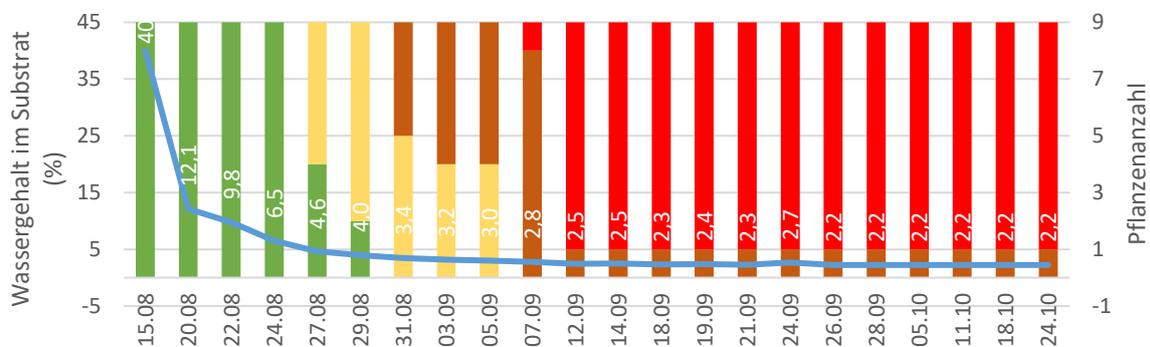
***Galium verum* (Echtes Labkraut)**

Das Echte Labkraut fiel zunächst durch eine nur unterdurchschnittliche Keimfähigkeit in den Keimfähigkeitsversuchen von nur 34 bzw. 22 % (Gewächshaus/Freiland) auf. Auch im Parzellenversuch war die Art bereits in der ersten Vegetationsperiode auf allen Parzellen mit der INDI-Mischung vorhanden, aber auch hier mit nur einer relativ geringen Pflanzenanzahl. Die vorhandenen Pflanzen entwickelten sich in den vier Jahren konstant weiter. Besonders in der letzten Vegetationsperiode nahmen die Anzahl der bodenbürtigen Triebe und damit die Pflanzengrößen viel mehr zu als in den vorangegangenen Jahren. Dadurch erhöhte sich der Deckungsgrad auf den Parzellen deutlich. Die langen, gelben Blütenstände der Pflanze werden gerne von Insekten angefliegen und vermitteln in Verbindung mit den dunkelgrünen, in Wirteln um den Stängel angeordneten Laubblättern einen optisch sehr auffälligen und ansprechenden Eindruck. *Galium verum* konnte sich auch auf den Fräs-Parzellen etablieren und behaupten und ist damit konkurrenzstärker als viele der anderen untersuchten Arten. Trockenstress trat auf allen Parzellen im Gegensatz zu den Trockenstressversuchen kaum bzw. erst sehr spät im Verlauf von Trockenperioden auf. Die Pflanzen blühten erst im dritten Jahr nach der Aussaat. Höchstwahrscheinlich ist die noch nicht nachweisbare Ausbreitung auf andere Flächen des Parzellenversuchs darauf zurückzuführen. Aus dem Saatgut, was auf den Straßenmittelstreifen ausgebracht wurde, konnten sich dauerhaft keine Pflanzen etablieren. Auf der Fräs-Fläche am Adlergestell wurde *Galium verum* zwar gefunden, allerdings hatten sich hier aus einem benachbarten *Galium*-Bestand einige Pflanzen auf die Fläche ausgebreitet.

Nach WILLI et al. (2021) besitzt *Galium verum* einen mittleren Nektar- und auch Pollenwert. Die Art wird als wichtig für Wildbienen und sehr wichtig für Schmetterlinge eingestuft.

Galium verum bildete in der Vorkultur kleine, sehr lockere Bestände von Einzelsprossen. In den Trockenstressversuchen zeigten sich mit beginnendem Wassermangel einzelne Chlorosen auf den Blättern, die im weiteren Verlauf schwarz nekrotisierten. Mit weiter sinkendem Bodenwassergehalt starben die einzelnen Sprosse nach und nach ab. Die Trockenstresstoleranz war in den Versuchen nur moderat. Dies wird aber auf das geringe durchwurzelbare Bodenvolumen zurückgeführt. OBERDORFER (1996) beschreibt die Art als tiefwurzelnden Wurzelkriecher. Nach SCHUBERT et al. (2001) ist *Galium verum* eine Trennart in der Schwermetall-Grasnelken-Gesellschaft, die auf kupfer-, blei- und zinkhaltigen Böden in Mitteleuropa vorkommt. Die Art ist auch eine häufige Begleitart der Grasnelken-Gesellschaften, die auf trockenwarmen, nährstoffarmen, sandigen bis kiesigen Böden wächst. Die Bestände der Grasnelken-Gesellschaften sind durch zunehmende Eutrophierung zurückgehend. *Galium verum* ist eine Klassencharakterart in Schwingel-Trespen-Trocken- und Halbtrockenrasen, die sich besonders gut auf niederschlagsarmen, kontinentalen Landschaften des Hügel- und Flachlands entwickeln. Ohne Pflegeeingriffe sind die meisten der artenreichen Xerothermrasen nicht zu erhalten (Wiederbewaldung durch Eutrophierung wegen fehlendem Entzug der Biomasse, gefördert durch Einträge aus der Luft).

Galium verum sollte einigermaßen trittfest sein, da es eine häufige Begleitart der Enzian-Schillergras-Halbtrockenrasen ist, welche charakterisiert sind durch regelmäßig durch Schafe beweidete und dadurch verbissene, kurzgrasige Halbtrockenrasen. Weiterhin ist *Galium verum* Bestandteil der Vielblütenhahnenfuß-Rasenschmielen-Wiese (wechselrockene Auenböden in höher gelegenen Auenbereichen, die auch die Art *Filipendula vulgaris* als Trennart enthält, die wiederum auf die starke Austrocknung der Standorte im Sommer hinweist (SCHUBERT et al. 2001). Nach FUKAREK (1961) ist *Galium verum* auch in Graudünenrasen zu finden. Graudünen sind strandfern, selten übersandet, besitzen eine geringe Nährstoffverfügbarkeit wegen der kolloidarmen Sande und eine geringe Wasserkapazität. Das Minimum der Bodenfruchtbarkeit liegt deshalb im Bereich der Graudünen. Nach POSCHLOD & JORDAN (1992) besitzt *Galium verum* in den von ihnen untersuchten Bodenschichten eine bis in 13 cm Tiefe gleichmäßig verteilte, aktive Samenbank.



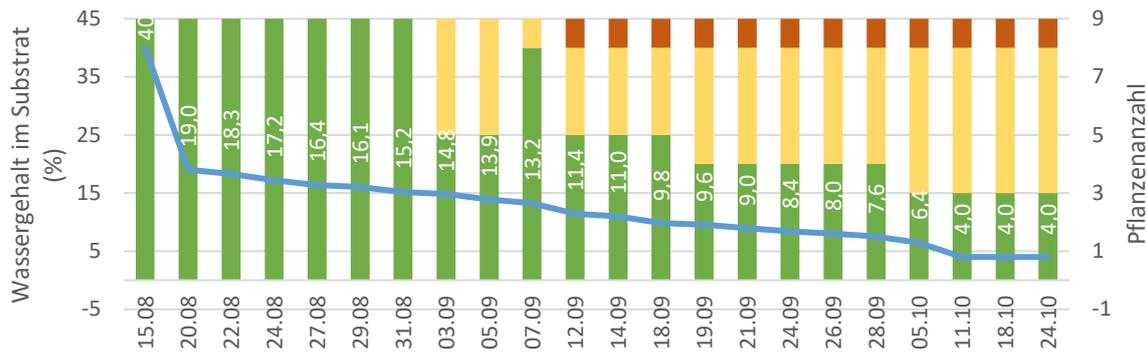
***Helichrysum arenarium* (Sand-Strohblume)**

Die Sand-Strohblume stellt mit ihren blaugrauen, samtig schimmernden Blattrosetten und ihren langen, aufrechten, beblätterten Blütenständen mit den vielen Einzelblütenständen ein gutes

Strukturelement innerhalb der MAGER-Mischung dar. Dazu kommt die im zeitlichen Verlauf der Blüte veränderliche Blütenfarbe, die von einem Schwefelgelb bis zu einem kräftigen Orange variiert. Durch die eigentümliche Gestalt der Pflanze vor und auch noch lange nach der Blütezeit ist sie eine lange Zeit im Jahr neben ihrem ökologischen Wert auch unter ästhetischen Gesichtspunkten wertvoll. Die Blütenstände zeigen die erwähnten Farbänderungen ab der Vollblüte auch innerhalb der Gesamtblütenstände, sodass innerhalb des Bestands interessante Farbverläufe entstehen. Der Kopfboden der Blüten ist nach dem Entlassen der Samen vollständig in einer Ebene strahlenförmig entfaltet. Dadurch vermitteln die Pflanze noch lange nach der Blüte den optischen Eindruck einer Vollblüte. In den Versuchen zeigte sich für *Helichrysum arenarium*, dass die Pflanzen sich zunächst nicht sehr zahlreich aus dem Saatgut entwickeln. Andererseits war die Art regelmäßig auf allen Versuchsflächen zu finden. Im weiteren Verlauf zeigten die Pflanzen kaum Reaktionen auf die extremen Standortbedingungen. Die einzelnen Pflanzen konnten sich zu kräftigen Exemplaren mit einer regelmäßigen Blüte entwickeln. Die Fruktifikation führte auf fast allen Flächen zu einem stetigen und deutlichen Anstieg der Bestände. *Helichrysum arenarium* tritt gesellig in Sandrasen, auf Dünen, an Böschungen, auf sommerwarmen, trockenen, mageren Sandböden auf und ist ein bis 70 cm tief wurzelnder Sandzeiger (OBERDORFER 1996). Ein weiteres Kennzeichen für die Eignung der Art zur Besiedlung von trockenen Extremstandorten ist ihr Vorkommen als Trennart in Kiefern-Steppenwäldern, die gekennzeichnet sind durch sommerlich stark austrocknende Standorte. In Strohblumen-Sandknöpfchen-Rasen ist sie eine häufige Begleitart. Die Rasen sind gekennzeichnet als offene Pionierasen auf Flugsanden von (nährstoffarmen) Graudünen in Küstennähe. *Helichrysum arenarium* ist auch Bestandteil der Heidenelken-Grasnelken-Rasen (zusammen mit *Dianthus deltoides*, *Armeria maritima*, *Potentilla argentea*), welche als Sandtrockenrasen auf mesophilen, mineralkräftigen Sand- und Kiesböden oft auf Brachland, an Weg- und Straßenrändern vorkommen. Weiterhin ist die Art Bestandteil der Trockenrasen des Sandfingerkrauts und Haarpfriemengrases, welche gekennzeichnet sind durch Trockenrasen auf steilen, überwiegend südexponierten Hang- und Kuppenstandorten (SCHUBERT et al. 2001).

Die DWS (2021) empfiehlt *Helichrysum thianshanicum* als geeignete Staude, um Wildbienen zu fördern. WILLI et al. (2021) stufen *Helichrysum italicum* (Nektar-/Pollenwert = 2/2) als wichtige Nahrungsquelle für Wildbienen ein. *Helichrysum arenarium* gehört zur gleichen Gattung wie die zuvor genannten Arten und ist dementsprechend auch für oligolektische Wildbienenarten geeignet, die hinsichtlich ihrer Nahrungsquellenpräferenz zwischen nah verwandten Arten keine oder kaum Unterschiede machen.

Helichrysum arenarium zeigte sich in den Trockenstressversuchen als sehr trockenstresstolerante Art. Die Pflanzen zeigten in den Versuchen kaum Symptome. Die Versuchspflanzen waren hinsichtlich ihres Habitus arttypisch entwickelt. Der Bodenwassergehalt sank in den Kulturgefäßen dieser Art deutlich langsamer, was auf einen geringeren Wasserverbrauch durch die Pflanzen hindeutet. Die verdickten und stark behaarten Blätter von *Helichrysum arenarium* führen zu einer niedrigen Transpiration. Beginnender Wassermangel manifestierte sich in leicht eingefallenen Blättern und einem Verblässen der Blattfarbe. Sowohl auf den Straßenstandorten als auch im Parzellenversuch zählte *Helichrysum arenarium* zu den am längsten überlebenden Arten in trockenen, heißen Phasen



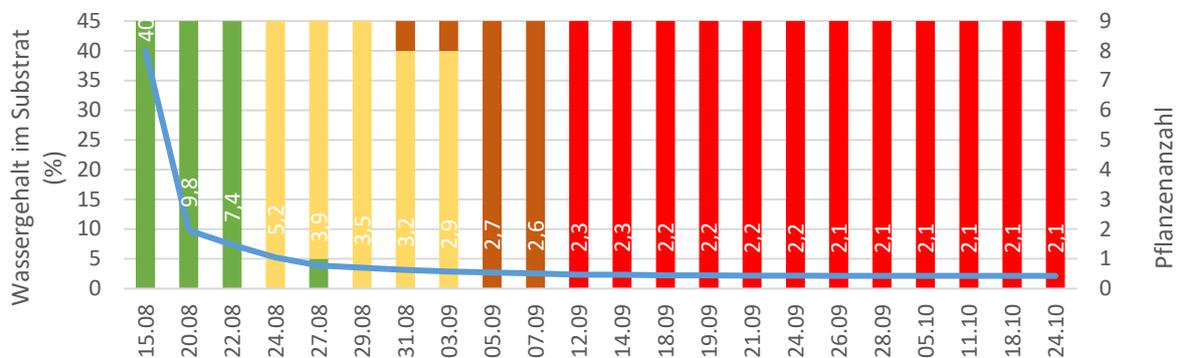
***Hypericum perforatum* (Echtes Johanniskraut)**

Das Echte Johanniskraut zeigte in den Keimfähigkeitsversuchen unterschiedliche Ergebnisse. Während unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus die Keimfähigkeit mit 53 % eher durchschnittlich war, lag sie im Freiland bei nur 35 %. Auf den Straßenmittelstreifen konnte sich die Art nicht etablieren, obwohl *Hypericum perforatum* Bestandteil der thermophilen und mesophilen Saumgesellschaften ist (Klassencharakterart), ebenso Bestandteil der Straußgras-Sandröschen-Gesellschaft (Trennart), welche gekennzeichnet ist durch ihr Vorkommen auf sandigen, trockenen, nährstoffarmen Böden an Straßenböschungen. Die sehr trockenen Bedingungen direkt nach der Aussaat verhinderten unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Trockenstressversuchen eine erfolgreiche Keimung und anschließendes Wachstum. Auf den Sand-Flächen des Parzellenversuchs waren zunächst auch nur relativ wenige Pflanzen zu finden. Dagegen fanden sich vergleichsweise viele Exemplare auf den Fräs-Flächen, auf denen die Art bereits vor Versuchsbeginn gewachsen war. Die Pflanzen auf allen Parzellen entwickelten sich zunächst langsam, aber stetig. Die Blütezeit der Art zog sich über einen langen Zeitraum während der Vegetationsperiode und sie wurde auch gerne von verschiedenen Insektengruppen angefliegen. Die Blütenstände sind vergleichsweise groß und reichblütig. OBERDORFER (1996) beschreibt die Art als Pollenblume. RIEGER-HOFMANN (2020) geben einen Nektar-/Pollenwert von 1/3 an, beim MLR (2019) betragen beide Werte 1.

Haben sich einige Pflanzen von *Hypericum perforatum* etabliert und gelangen zur Blüte, ist eine gute Vermehrungsrate zu vermerken. Auf den Parzellen wurde bei ihr im Vergleich aller Arten der zweithöchste Wert festgestellt. Nachdem Pflanzen im Jahr 2019 auf 43 % der Flächen gefunden wurden, auf denen die Art nicht ausgesät worden war, lag dieser Wert im Jahr 2020 schon bei 60 %. Nach dem Etablieren zeigten sich im Feld kaum Trockenstresssymptome, was auf ein entsprechend reich verzweigtes Wurzelwerk schließen lässt. OBERDORFER (2001) gibt eine Wurzeltiefe von bis zu 50 cm an und stuft die Pflanze als Magerkeitszeiger ein und berichtet, dass die Art in nicht genutzte Magerrasen eindringt. Eine zusätzliche Anpassung an trockene Standortbedingungen ist die Ausbildung relativ kleiner Blätter (SCHMITT 1989).

Hypericum perforatum bildete in den Trockenstressversuchen kleine Pflanzen. In den Versuchsgefäßen standen meist mehrere Einzelsprosse. Diese waren im Vergleich zum Freilandhabitus der Art eher schlecht entwickelt und kamen kaum zur Blüte. Mit beginnendem Trockenstress zeigten die Blätter Chlorosen und kurz darauf Nekrosen. Die oberirdischen Pflanzenteile waren bereits vier Wochen nach Versuchsbeginn abgestorben. In den Sommermonaten 2018 konnten während der trocken-heißen Hochdruckperiode im Freiland Pflanzen dieser Art beobachtet werden, die deutlich größer und vital

waren. Sie zeigten außerdem eine üppige Blütenentwicklung. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, das *Hypericum perforatum* das Bodenwasservorkommen mit seinem Wurzelsystem erschließen kann, bei Wassermangel aber mit dem Absterben der oberirdischen Pflanzenteile reagiert.



***Jasione montana* (Berg-Sandglöckchen)**

Das Berg-Sandglöckchen konnte im Parzellenversuch in der ersten Vegetationsperiode zunächst nicht nachgewiesen werden. Während unter geschützten Bedingungen im Gewächshaus 73 % der Samen keimten, waren es im Freilandversuch nur 21 %. Möglicherweise waren die Temperaturen nach der Aussaat auf den Parzellen zu hoch und das Saatgut ist erst im Herbst oder darauffolgenden Frühjahr gekeimt. Die Pflanzen bildeten eine kleine Blattrosette, aus der sie ab dem dritten Standjahr reichlich blühten und auch Samen produzierten. Dieses Saatgut führte im vierten Jahr zum Nachweis vieler etablierter Jungpflanzen. Da zwar viele Pflanzen gefunden wurden, diese aber noch vergleichsweise klein waren, lag der Deckungsgrad von *Jasione montana* im Parzellenversuch nur bei 0,8 % im letzten Versuchsjahr. Damit hat er sich aber im Vergleich zu den Jahren 2018 und 2019 mit einem Wert von 0,3 % fast verdreifacht. Außerdem konnte sich die Art zunehmend auf die anderen Parzellen ausbreiten. Sie wurde nach 3 % im Jahr 2019 auf 7 % der Parzellen im Jahr 2020 gefunden, auf denen sie ursprünglich nicht ausgesät worden war. *Jasione montana* blühte relativ lange im Jahr von Mitte Juni bis Mitte September. Auf den Straßenmittelstreifen konnte sich die Art nicht etablieren. Nach Angaben von OBERDORFER (1996) trifft man die Art zerstreut in lückigen Sand-Magerrasen, auf Dünen, Felsköpfen, an Dämmen und Wegen, in Brachen, auf sommerwarmen, trockenen, kalkarmen Sand- und Steingrußböden. *Jasione montana* ist eine bis 100 cm tief wurzelnde Pionierpflanze und damit eine gut an trockene Standortfaktoren angepasste Art, die eine temporäre Samenbank besitzt. Sie ist auch Trennart des Schillergras-Kieferntrockenwaldes, der gekennzeichnet ist durch sein Vorkommen auf windoffenen Sonnenhängen, deren Oberboden im Sommer stark austrocknen. Weiterhin ist *Jasione montana* Bestandteil der Doldenhabichtskraut-Krähenbeerheide, welche gekennzeichnet ist durch ihr Vorkommen auf nährstoffarmen Sanden von Graudünen im Küstenbereich von Nord- und Ostsee; auch an stark windexponierten Standorten (SCHUBERT et al. 2001). Die Art ist mit ihrem Nektar- und Pollenangebot Nahrungsquelle für Zweiflügler, Käfer, Falter und bis zu 100 Bienenarten (LOEWENSTEIN 2017).

Jasione montana wies in den Trockenstressversuchen eine sehr hohe phänotypische Diversität auf. Die Ausprägung reichte von sehr kleinen Pflanzen mit wenigen Blättern bis hin zu großen, horstartig wachsenden Pflanzen, die über das Versuchsgefäß hinauswuchsen. Ebenso gab es Pflanzen, die unvermittelt abgängig waren. Die beobachtete Diversität konnte auch in den Freilandversuchen

bestätigt werden. Der Verlauf des durchschnittlichen Bodenwassergehalts zeigt den niedrigen Wasserverlust des Substratkörpers im Verlauf des Versuchs. Ein Drittel der Pflanzen zeigte über den gesamten Versuchsverlauf keine Symptome für Trockenstress. *Jasione montana* ist damit als sehr trockenstresstolerant anzusehen, der Wasserverbrauch ist sehr niedrig.

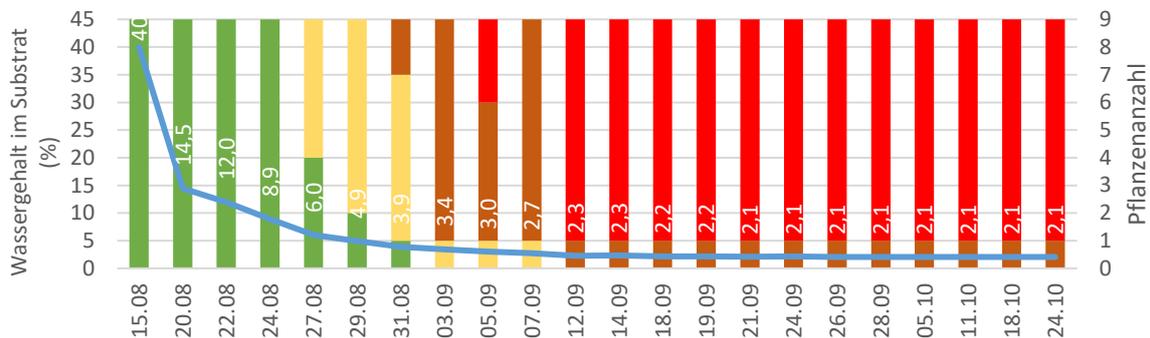


***Leucanthemum ircutianum* (Wiesen-Margerite)**

Die Wiesen-Margerite war im Parzellenversuch auf den Sand-Parzellen sowohl was den Deckungsgrad als auch den Blütenbestand betraf die dominierende Art. Sie bildete flächige Horste, die teilweise ineinander wuchsen und damit einen gewissen Grad von Flächenkonkurrenz auf den Parzellen zeigten. Aufgrund der geringen Nährstoffverfügbarkeit und sicherlich auch wegen der extremen Witterungsbedingungen nahm die Ausbreitungszunahme nach einem starken Zuwachs zwischen 2018 und 2019 im Jahr 2020 genauso stark wieder ab. Diese Entwicklung zeigte sich in beiden Saatgutvarianten auf den Sand-Parzellen, aber auch mit einem insgesamt deutlich geringeren Pflanzenbestand auf allen Fräs-Parzellen. Die Pflanzen zeigten ihre Hauptblüte mit einem flächigen, weißen Blütenflor schon Anfang Mai bis Mitte Juni. Fast zeitgleich mit dem Verblühen der Hauptblüte setzte auf den Parzellen die Hauptblüte von *Anthemis tinctoria* ein. Damit änderte sich der weithin sichtbare Blühaspekt von weiß nach gelb. Mit Beginn des Sommers setzte eine zweite Blüte ein. Diese war durch deutlich weniger Blüten gekennzeichnet, setzte sich aber bis weit in den September fort. Auf den Straßenstandorten wurden blühende Exemplare teilweise sogar im Winter beobachtet. Jedoch konnte sich *Leucanthemum* auf den Straßenmittelstreifen an den drei Standorten nur mit wenigen Einzelexemplaren etablieren. Ob diese für eine langfristige Bestandsbildung durch Selbstaussaat ausreichen, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden. Nach OBERDORFER (1996) wächst die Art verbreitet auf Fettwiesen und -weiden und Brachen, auf mehr oder weniger frischen, mäßig nährstoffreichen Böden aller Art, ist auch Rohbodenpionier, Tiefwurzler und Magerkeitszeiger. *Leucanthemum ircutianum* wird durch eine Reihe verschiedener Insekten bestäubt (Fliegen, Käfer, Falter). Nach RIEGER-HOFMANN (2020) ist sie eine wertvolle Trachtpflanze (Nektar-/Pollenwert = 3/3).

Leucanthemum ircutianum entwickelte sehr dichte, staudige Phänotypen mit zahlreichen Blütenständen. Die zweijährigen Pflanzen im Trockenstressversuch 2019 waren insgesamt kleiner und zeigten schneller Trockenstresssymptome. *Leucanthemum ircutianum* zeigte zunächst einen stark nachlassenden Turgor in den Blättern. Später bildeten sich Blattnekrosen als Reaktion auf den sinkenden Bodenwassergehalt. Wenig später starben die betroffenen Blätter ab. Die Art weist bezüglich ihres Biomassevolumens eine gewisse Alternanz auf. Das schwächere vegetative Wachstum

wurde im Parzellenversuch von einer verstärkten Blüten- und Samenbildung begleitet. In Bezug auf die Trockenstresstoleranz ist *Leucanthemum ircutianum* als moderat tolerant einzustufen.



***Linaria vulgaris* (Echtes Leinkraut)**

Das Saatgut des Echten Leinkrauts zeigte in den Keimfähigkeitsversuchen Keimfähigkeiten von 53 und 26 % (Gewächshaus/Freiland). Im Parzellenversuch nahm die Anzahl der Pflanzen zwischen der Herbst- und der Frühjahrsbonitur deutlich zu. In Variante 1 der Saatgutmischung RUDER lag der Wert nach zunächst keinem Nachweis im Herbst 2017 bei 0,4 Pflanzen pro Quadratmeter im Frühjahr 2018. In Variante 2 stieg er vom Herbst 2017 bis zum Frühjahr 2018 von 1,3 auf 8,4 Pflanzen pro Quadratmeter. Dabei ist nicht sicher, ob dies wirklich alles Einzelpflanzen waren oder neue Triebe derselben Pflanze, denn die Art ist durch eine ausgeprägte unterirdische Ausbreitung mittels Rhizombildung gekennzeichnet. Dabei ist *Linaria vulgaris* besonders an extremen Standorten, wie dem Übergang zwischen Bordstein und Straßenbelag und auch häufig in Ritzen und Fugen anzutreffen. Im Parzellenversuch wuchsen die Pflanzen hier gehäuft. Nach OBERDORFER (1996) kommt die Art verbreitet in sonnigen, offenen Unkrautfluren vor, vor allem im Bahngelände, an Schuttplätzen, Wegen, Steinbrüchen, ist ein Störzeiger und besitzt eine langzeitige Samenbank (über 5 Jahre). *Linaria vulgaris* ist Trennart innerhalb der Dachtrespen-Gesellschaft, welche auf sandige Böden und die Wärmegebiete Deutschlands beschränkt ist (SCHUBERT et al. 2001). Die Blüte setzte auf den Parzellen relativ spät im Jahr Ende Juli/Anfang August ein und dauerte auch nur wenige Wochen bis Ende August. Nach einer kurzen Pause kam es zu einer zweiten Blüte Anfang September, die mit der Intensität der ersten Blüte vergleichbar war und auch etwa drei Wochen andauerte. Samenvermehrung wurde trotz Saatgutbildung bis jetzt nicht beobachtet. Auf den Straßenmittelstreifen konnte sich die Art nicht etablieren. *Linaria vulgaris* ist aus ökologischer Sicht wertvoll, da sie Bestäubern vergleichsweise spät im Jahr als Nahrungsquelle zur Verfügung steht, wenn die meisten anderen Pflanzen ihre Hauptblüte bereits abgeschlossen haben. ARNOLD (1982) berichtet von den meisten Blütenbesuchen durch Hummeln (*Bombus vagans*, *B. terricola*, *B. affinis*, *B. fervidus*, *Psithyrus citrinus*) und Schmal- und Furchenbienen (*Halictus confusus*, *Dialictus tegularis*, *D. pilosus*). Es kommt auch regelmäßig vor, dass die Blüten nicht über den Schlundeingang besucht werden. SCHREMMER (1955) berichtet von Hummeln (*Bombus mastrucatus*), die nicht in die Blüten eindringen, sondern von außen – meist an der Basis des Sporns – Löcher hineinbeißen, um dann den Nektar auszusaugen. Diese Löcher werden danach auch teilweise von Honigbienen gesucht und zur Nektaraufnahme genutzt. Eine Pollenübertragung auf andere Individuen von *Linaria* kann durch diese Art des Blütenbesuchs natürlich nicht stattfinden. Des weiteren werden die Blütenstände von verschiedenen Insektenlarven als Nahrungsquelle genutzt und dadurch in den betroffenen Blüten der Samenansatz verhindert. Ein besonders wichtiger Fraßfeind ist *Gymnaetron* sp., was schon von SMITH (1959) beschrieben wird. Ausgewachsene Käfer fressen

Staubbeutel und Pollen geschlossener und offener Blüten. Dadurch sinkt die Chance, dass das selbstinkompatible *Linaria vulgaris* Pollen an Artgenossen für deren Bestäubung weitergeben kann. Zusätzlich fressen die aus den Eiern schlüpfenden Larven sich entwickelnde und auch reife Samen der Pflanze. Alles in allem erklärt sich aus den genannten Einflussfaktoren auch die geringe Vermehrungsrate durch Samenausbreitung. In den Untersuchungen von ARNOLD (1982) lag die Rate der erfolgreichen Samenentwicklung aus den vorhandenen Samenanlagen im frühen Juli 1980 bei nur 1,6 % und nahm im August nicht zuletzt auch durch das geringere Vorkommen von Bestäubern im Durchschnitt auf dann nur noch 0,3 % ab. Ungeachtet dessen kann sich *Linaria vulgaris* aufgrund seiner sehr stark entwickelten Fähigkeit der Rhizomausbreitung sehr gut vegetativ vermehren und dadurch das marginale Vermehrungspotenzial durch Samen kompensieren.

Linaria vulgaris entwickelte in den Gefäßen des Trockenstressversuchs jeweils mehrere eher kleine Triebe, verstärkt auch in den Randbereichen. Die einzelnen Triebe hatten, auch in der Vorkultur, teilweise nur eine kurze Lebensdauer und wurden wieder durch neue Triebe ersetzt. Trockenstress-Symptome traten bei dieser Art zunächst als Blattrand- und Blattnekrosen auf. Im weiteren Verlauf trockneten die Triebe nach und nach vollständig ein. Während der Trockenstressversuche wurden keine neuen Triebe gebildet. Mit der Entnahme der Wurzelballen aus den Rohren zeigte sich, dass im Wurzelraum zahlreiche noch lebende Sprosstriebe vorhanden waren, ohne dass sie die Bodenoberfläche durchbrochen hätten. *Linaria vulgaris* weist in Bezug auf ihre Überdauerungsfähigkeit eine hohe Trockenstresstoleranz auf. Sie besitzt in dieser Phase allerdings keinen Zierwert. Durch ihr bis 100 cm tief streichendes Wurzelwerk kann sie sich auch aus tieferen Bodenschichten mit Wasser versorgen. Sie ist ein Rohbodenpionier und Bodenfestiger (OBERDORFER 1996).

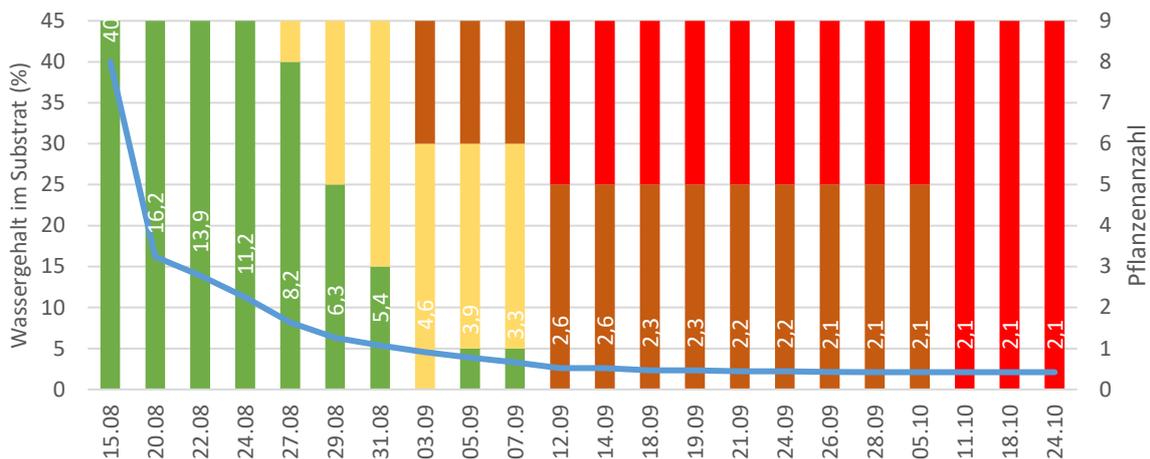


***Plantago media* (Mittlerer Wegerich)**

Der Mittlere Wegerich bildete im Parzellenversuch auf den langen Blütenstandsstängeln sehr attraktive lilafarbene Blütenstände, die besonders durch die weit abstehenden lilafarbenen Staubfäden auffielen. Die Art blühte relativ kurz von Mitte Mai bis Ende Juni. *Plantago media* liefert keinen Nektar (Nektarwert 0), dafür aber reichlich Pollen (Pollenwert = 4, RIEGER-HOFMANN 2020). *Plantago media* ist mit ihrem guten Pollenangebot eine aussaatwürdige Art für Blumenwiesen im Siedlungsbereich (MLR 2019). Obwohl *Plantago media* in den Keimfähigkeitsversuchen nur geringe Keimfähigkeiten erreichte (26/39 % im Gewächshaus/Freiland), konnten sich bis zum Herbst der ersten Vegetationsperiode in beiden Saatgutmischungsvarianten des Parzellenversuchs auf Sand fast fünf

Pflanzen pro Quadratmeter etablieren. Im darauffolgenden Frühjahr waren es in beiden Varianten schon ca. 40 Pflanzen. Danach nahm der Pflanzenbestand bis zum Versuchsende deutlich ab. Auf den Fräs-Parzellen konnte die Art zum Schluss nicht mehr nachgewiesen werden. Auf den Sand-Parzellen sank der Deckungsgrad im Jahr 2020 auf nur noch 1,1 % nach einem Anstieg von 0,9 auf 3,9 % zwischen 2018 und 2019. Die Art konnte sich auf den Straßenmittelstreifen nicht etablieren.

Plantago media entwickelte in der Vorkultur einheitliche Pflanzen mit wenigen Unterschieden bei der Ausprägung des Phänotyps. Die flach ausliegenden Blätter bedeckten den Boden der Kulturgefäße vollständig und senkten damit den Wasserverlust durch Evaporation. Die Pflanzen zeigten mit sinkendem Bodenwassergehalt stark abnehmende Turgeszenz der Blätter, wobei die längs verlaufende Blattnervatur deutlich sichtbar wurde und die Färbung der Blätter stark verblasste. Die Blütenstände bogen sich im weiteren Verlauf stark um. Beobachtungen im Freiland haben gezeigt, dass diese deutlichen Welkesymptome reversibel sind. Mit anhaltendem Trockenstress sterben zunächst die älteren Blätter am Rand, später die jüngeren Blätter im Zentrum der Blattrosette ab. In den Vegetationsperioden 2018 bis 2020 konnten ähnliche Symptome auch im Parzellenversuch beobachtet werden und deuteten damit auf einen niedrigen Bodenwassergehalt hin.

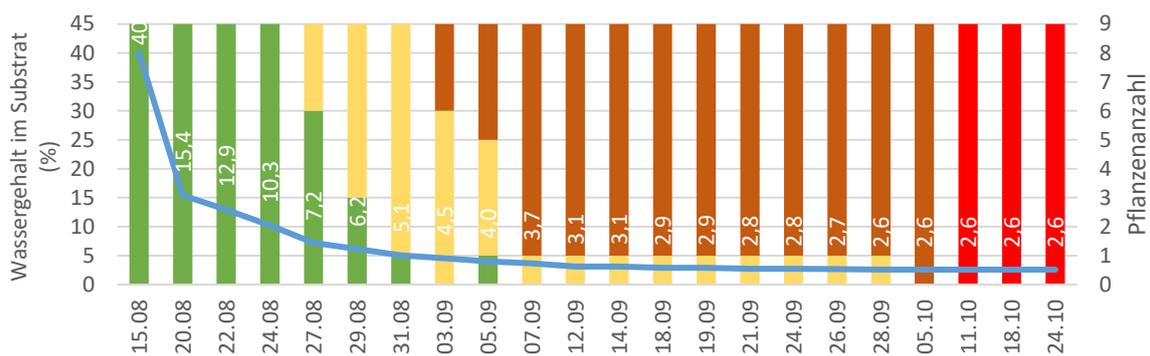


Potentilla argentea (Silber-Fingerkraut)

Das Silber-Fingerkraut war in der Sand-Variante des Parzellenversuch am Ende der ersten Vegetationsperiode in den beiden Saatgutmischungsvarianten mit 4,7 bzw. 8,8 Pflanzen pro Quadratmeter zu finden. Diese Werte steigerten sich stark bis zur Frühjahrsbonitur im Jahr 2018 auf 47,3 bzw. 73,6 Pflanzen pro Quadratmeter. Die Pflanzen entwickelten sich unterschiedlich stark. Teilweise bildeten die Pflanzen etwas größere Pflanzen, die allerdings genau wie der sehr locker und reich verzweigte Blütenstand zu wenig Flächenkonkurrenz geführt hatten. *Potentilla argentea* zeigt keine sehr ausgeprägte Hauptblüte, sondern blüht mit mehr oder weniger vielen Blüten im Blütenstand die ganze Vegetationsperiode hindurch. Die Pflanze wird als wichtige Trachtpflanze eingestuft (MLR 2019, DWS 2021). Die ersten Blüten öffneten sich schon Mitte/Ende April. Teilweise wurden noch Mitte November offene Blüten gefunden. Die Art ist recht ausbreitungsfähig und konnte im Parzellenversuch ihren Anteil auf den Parzellen, auf denen sie nicht ausgesät worden war, von 13 % im Jahr 2019 auf 33 % im Jahr 2020 deutlich steigern. Auf den Straßenmittelstreifen war *Potentilla argentea* nicht so erfolgreich. Die Art wurde im Jahr 2020 auf keinem der Dauerquadrate auf den Sand-Flächen nachgewiesen. Dagegen etablierte sich *Potentilla argentea* auf mehreren Fräs-Flächen im Jahr

2019 und nahm bis zum Jahr 2020 auf drei der vier Flächen in ihrem Bestand zu. Die Pflanzen haben sich eventuell aus an den Standorten bereits vorhandenen Exemplaren entwickelt. *Potentilla argentea* ist Bestandteil der Heidenelken-Grasnelken-Rasen (zusammen mit *Dianthus deltoides* und *Armeria maritima*). Diese Sandtrockenrasen trifft man auf mesophilen, mineralkräftigen Sand- und Kiesböden, oft auf Brachland, an Weg- und Straßenrändern an. Die Art ist auch Bestandteil der Spörgel-Bruchkraut-Trittgesellschaft, welche gekennzeichnet ist durch ihr Vorkommen als lückige, offene Gesellschaft auf Schotter- und verfestigten Sandböden, in Siedlungen und auf Bahnanlagen. Weiterhin ist *Potentilla argentea* Bestandteil der Wermut-Gesellschaft, welche gekennzeichnet ist durch ihr Vorkommen auf sehr trockenen, z. T. durchlässigen Standorten (SCHUBERT et al. 2001). Nach OBERDORFER (1996) ist die Art ein Sandzeiger mit einer langfristigen Samenbank (über 40 Jahre).

Potentilla argentea konnte sich im Rahmen der Vorkultivierung in allen Trockenstressversuchen sehr gut in den Kulturgefäßen etablieren. Sie zeigte trotz des Wasserverlustes im Boden spät Stresssymptome und konnte auch bei niedrigen Bodenwassergehalten noch überleben. Symptome waren bei *Potentilla argentea* vor allem in Form von ledrigen Blättern und dem Sichtbarwerden der Blattnervatur erkennbar. Im weiteren Verlauf wiesen die Blätter zunehmend Blattrandnekrosen auf. Der Gesamthabitus der Pflanze zeigte erst sehr spät starke Auswirkungen durch den Trockenstress. Die Trockenstresstoleranz von *Potentilla argentea* ist hoch einzustufen.



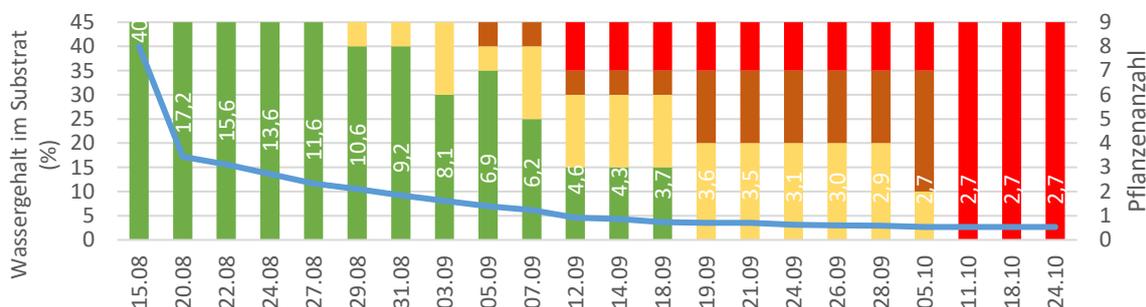
***Salvia pratensis* (Wiesen-Salbei)**

Im Parzellenversuch wurde am Ende der ersten Vegetationsperiode in beiden Saatgutmischungsvarianten etwa eine Pflanze pro Quadratmeter gefunden (Bodenvariante Sand). Mit Beginn der nächsten Vegetationsperiode im Frühjahr 2018 waren es schon 6,8 bzw. 10,3 Pflanzen pro Quadratmeter (Variante 1/Variante 2). Ein Teil der Jungpflanzen starb im weiteren Versuchsverlauf ab, wobei die Ursache vermutlich Wassermangel im Boden sowie starke Solarstrahlung war. Dennoch konnte der Salbei aus einigen Individuen kräftige Exemplare entwickeln. Zwischen den Fräs- und den Sand-Parzellen zeigten sich kaum Unterschiede. In beiden Bodenvarianten nahm der Deckungsgrad zwischen den Jahren 2018 und 2020 kontinuierlich zu. Auch die absoluten Werte waren auf den Fräs- und den Sand-Parzellen vergleichbar. Die höheren Werte wurden in beiden Saatgutmischungsvarianten auf den Sand-Parzellen erreicht (8,8/4,3 im Vergleich zu 3,2/2,4 % durchschnittlicher Deckungsgrad auf den Fräs-Parzellen). *Salvia pratensis* ist eine Klassencharakterart der Schwingel-Trespen-Trocken- und Halbtrockenrasen, welche besonders gut entwickelt in niederschlagsarmen, kontinentalen Landschaften des Hügel- und Flachlands vorkommen und durch weite Amplituden der Boden- und Luftfeuchte sowie der Temperatur gekennzeichnet sind (SCHUBERT

et al. 2001). Nach OBERDORFER (1996) ist die Art ein Rohbodenpionier und eine wärmeliebende Lichtpflanze.

Die Pflanzen zeigten nach einer ersten Hauptblüte zwischen Anfang Mai und Anfang Juni eine klar abgegrenzte und genauso intensive zweite Blüte. Diese lag im Jahr 2019 Ende August bis Mitte November und im Jahr 2020 zwischen Anfang Juli und Mitte September. Dieses Charakteristikum beschreiben SCHUBERT et al. (2001) für die Schwingel-Trespen-Trocken- und Halbtrockenrasen, deren Hauptblühaspekt im Frühjahr liegt und ein zweites, schwächeres Optimum im Herbst erreicht wird. OBERDORFER (1996) bezeichnet *Salvia pratensis* als Hummelblume, RIEGER-HOFMANN (2020) geben hohe Nektar- und Pollenwerte an (4/3). Auch das MLR (2019) schätzt die Art als wichtige Trachtpflanze ein (Nektar-/Pollenwert = 3/2). Nach RADTKE & SCHIRM (2002) und auch nach WILLI et al. (2021) liegen die Nektar-/Pollenwerte bei 3/1 und die Art wird als wichtig für Wildbienen eingestuft.

Salvia pratensis zeigte in den Trockenstressversuchen indifferente Symptome für Trockenstress. Nachlassender Turgor zeigte sich nur schwach in Form von leicht eingefallen wirkenden Blättern. Die Blätter blieben dabei trotzdem stabil. Im weiteren Verlauf zeigten die Blätter Nekrosen an den Blatträndern. Dabei war nur ein kleiner Streifen betroffen. Mit stärker werdendem Trockenstress starben die Blätter in kurzer Zeit ab, beginnend bei den ältesten Blättern. Am natürlichen Standort kann durch die Wurzeln, die sich bis in 100 cm Tiefe entwickeln können, Wasser auch aus sehr tiefen Bodenschichten gewonnen werden (OBERDORFER 1996).



Sedum sp.

Die hohe Trockenstresstoleranz der Gattung *Sedum* ist bekannt. Die nachfolgend beschriebenen *Sedum acre* und *Sedum sexangulare* waren nicht Bestandteil der Trockenstressversuche. Laut DWS (2021) sind alle Arten der Gattung *Sedum* wildbienenfreundliche Stauden und damit ökologisch wertvoll. Auch WILLI et al. (2021) schätzen alle *Sedum*-Arten als wichtig für Wildbienen ein und geben ihre Nektar-/Pollenwerte mit 3/2 an.

***Sedum acre* (Scharfer Mauerpfeffer)**

Der Scharfe Mauerpfeffer besaß in den beiden Keimfähigkeitsversuchen Werte von 73 bzw. 52 % (Gewächshaus/Freiland). Im Parzellenversuch (Bodenvariante Sand) war die Pflanzenanzahl pro Quadratmeter mit zunächst 20 und 17,1 Pflanzen am Ende der ersten Vegetationsperiode schon vergleichsweise hoch. Zu Beginn der Vegetationsperiode 2018 wurden durchschnittlich 236,8 bzw. 206,8 Pflanzen pro Quadratmeter gezählt. Aus dieser hohen Pflanzenanzahl entwickelten sich im weiteren Versuchsverlauf nicht wie erwartet kompakte Bestände. Die Pflanzen blieben noch relativ klein und waren mehr oder weniger vereinzelt auf den Flächen zu finden. Bis zum Ende des Versuchs

lag der Deckungsgrad von *Sedum acre* durchschnittlich bei 1,3 % auf den Sand-Flächen. Obwohl auf den Fräs-Flächen der Konkurrenzdruck durch andere Pflanzen viel größer war, zeigte sich hier ein ähnliches Bild. Der Deckungsgrad lag bei Versuchsende bei 1,0 %. *Sedum acre* war durch eine kurze Blütezeit gekennzeichnet, die nur zwei bis drei Wochen dauerte und im Juni stattfand. Wie auch bei *Sedum sexangulare* entsteht die hohe Trockenstresstoleranz bei *Sedum acre* (und den *Sedum*-Arten im Allgemeinen) laut SCHMITT (1989) durch die Strategie, durch spezielle Gewebe in den Wurzeln bzw. in den Blättern eine Sukkulenz auszubilden. Nach RADTKE & SCHIRM (2002) liegt der Nektar- /Pollenwert bei 3/2.

***Sedum sexangulare* (Milder Mauerpfeffer)**

Der Milde Mauerpfeffer zeigte in den Keimfähigkeitsversuchen nur unterdurchschnittliche Keimfähigkeiten (49/43 % für Gewächshaus/Freiland). Im Parzellenversuch etablierten sich viel weniger Pflanzen als bei *Sedum acre*. So nahm auf den Sand-Parzellen die durchschnittliche Pflanzenanzahl pro Quadratmeter von nur 0,6 und 0,1 in den beiden Saatgutmischungsvarianten auf 29,5 und 11,3 Pflanzen zwischen der Herbstbonitur 2017 und der Frühjahrsbonitur 2018 zu. Im weiteren Versuchsverlauf zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei *Sedum acre*. Die Art konnte sich auf den Sand- und den Fräs-Parzellen vergleichbar entwickeln. Zum Versuchsende wurde auf den Sand-Parzellen ein durchschnittlicher Deckungsgrad von 0,9 % ermittelt. Auf den Fräs-Parzellen lag der Wert bei 0,6 %. Im Jahr 2019 konnten keine blühenden Individuen der Art gefunden werden. Dagegen blühten die Pflanzen in den Jahren 2018 und 2020 ebenso wie *Sedum acre* im Juni für zwei bis drei Wochen.

Sedum sexangulare konnte sich nur auf allen Fräs-Flächen des Straßenmittelstreifens an der Heerstraße etablieren. Da die Art hier vor Beginn der Versuche bereits vorhanden war und auf allen anderen Flächen und Standorten kein Etablierungserfolg nachgewiesen werden konnte, liegt die Vermutung nahe, dass die gefundenen Individuen sich aus dem Pflanzenmaterial regeneriert hatten, das vor der Versuchseinrichtung auf der Fläche vorhanden und durch das Fräsen der Fläche nicht komplett zerstört worden waren. Das wurde so auch schon bei anderen Arten beobachtet (s. *Falcaria vulgaris* auf Seite 61).

***Thymus pulegioides* (Feld-Thymian)**

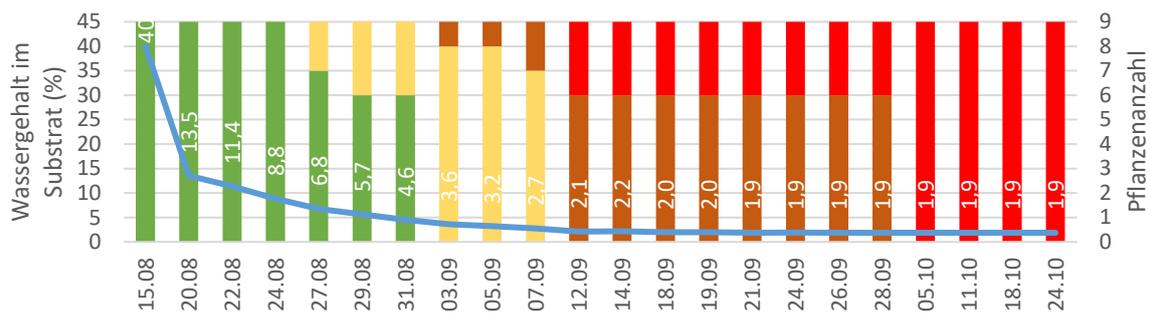
In den Keimfähigkeitsversuchen wurden für den Feld-Thymian unterdurchschnittliche Keimfähigkeiten von 43 und 17 % (Gewächshaus/Freiland) festgestellt. Im Parzellenversuch wurden am Ende der ersten Vegetationsperiode in den verschiedenen Saatgutmischungsvarianten 14,7 bzw. 6,5 Pflanzen pro Quadratmeter erfasst. Bis zur darauffolgenden Frühjahrsbonitur hatte sich die Pflanzenanzahl in beiden Varianten in etwa verzehnfacht (148,8/67,0) und war damit auf den Flächen sehr stark vertreten. Trotz der Trockenheit und Hitze in den Jahren 2018 und 2019 nahm der Deckungsgrad auf allen Flächen sehr stark zu. Wie auch schon bei anderen Arten beobachtet wurde, sank der Deckungsgrad bis zum Ende der letzten Vegetationsperiode dann leicht. Die Gründe für diesen Rückgang bleiben zunächst unklar. Gleichzeitig zeigte *Thymus pulegioides* eine sprunghaft und stark ansteigende Selbstvermehrung im vierten Versuchsjahr. Am Ende der vorangegangenen Vegetationsperiode 2019 konnten auf den Flächen, auf denen die Art nicht ausgesät worden war, keine Pflanzen gefunden werden. Bei der Bonitur im Jahr 2020 wurden auf fast einem Drittel der Parzellen (27 %) Jungpflanzen vom Feld-Thymian gefunden. Auf den Straßenmittelstreifen konnte sich die Art nicht so erfolgreich etablieren. Wenige Pflanzen konnten sich auf der Sand- und auch auf der Fräs-Fläche der Heerstraße etablieren und auch schon fruktifizieren. Auf der Frankfurter Allee entwickelte

sich nur eine einzige Pflanze, ebenso auf dem Adlergestell. Wie auch schon bei anderen Arten wird als wichtigster Grund die extreme Trockenheit während der Keimphase für die sehr geringe Pflanzenanzahl auf den Flächen verantwortlich gemacht. Unabhängig davon zeigten die wenigen Pflanzen, die sich etablieren konnten, keine Trockenstressreaktionen an den verschiedenen Standorten. Die Pflanzen sahen sehr vital aus und wurden im Versuchsverlauf konstant größer und kräftiger. Möglicherweise können sich auf Basis der Erkenntnisse aus der Selbstvermehrung im Parzellenversuch aus den wenigen Pflanzen mittelfristig mehr Pflanzen an den Standorten etablieren. Am natürlichen Standort ist die Art verbreitet in Magerasen und -weiden, an Böschungen, in Kiesgruben oder an Fels, auf frischen bis trockenen Böden, humosen oder rohen Sand-, Stein- und Lehmböden zu finden (OBERDORFER 1996). Die Art ist ein ausgesprochener Trockenheitszeiger (ELLENBERG 1996). POSCHLOD & JORDAN (1992) konnten zeigen, dass die Art selbst bis in eine Bodentiefe von 13 cm eine nicht unerheblich große Samenbank bilden kann, die auch keimfähig ist.

Die Blüten vom Feld-Thymian wurde im Parzellenversuch häufig von verschiedenen Insektengruppen angefliegen. OBERDORFER (1996) stuft die Art als Bienenweide ein. Für viele Bienen, darunter auch viele Nahrungsspezialisten, sind Vertreter aus der Familie der Lippenblütler wichtige Nahrungsquellen. Besonders werden diese Arten von den Pelzbienen, den Wollbienen, der seltenen Schlüßbiene und Hummeln angefliegen. Als Beispiele für geeignete Trachtpflanzen nennt die DWS (2021) den Salbei (*Salvia spec.*) und den Thymian (*Thymus spec.*). Nach den Angaben von WILLI et al. (2021) ist *Thymus pulegioides* als ökologisch sehr wertvoll einzustufen. Der Nektarwert ist sehr gut, der Pollenwert gering. Die Art wird neben einer wichtigen Nahrungsquelle für die Honigbiene als sehr wichtig sowohl für Wildbienen als auch für Schmetterlinge eingeschätzt. Bei RADTKE & SCHIRM (2002) wird der Nektarwert nur mit gut angegeben und der Pollenwert ebenfalls als gering eingeschätzt.

Die Blütezeit variierte im Versuchsverlauf stark. Im zweiten Jahr lag sie zwischen Anfang Juni und Anfang November. Dagegen waren offene Blüten im Jahr 2020 nur von Mitte Juni bis Mitte August zu sehen. Mitte September folgte dann eine vereinzelt und kurze Nachblüte.

Thymus pulegioides zeigte in den Trockenstressversuchen erst spät Symptome, obwohl der Wassergehalt in den Gefäßen schnell sank. Symptome zeigten sich vor allem in Form schwach turgeszenter Blätter. Mit zunehmendem Wasserstress trockneten zunächst die Triebe nach und nach ab, bis die Pflanze oberirdisch abstarb. Eine höhere Trockenstresstoleranz als im Versuch sollte sich im Freiland – wie auch auf den Projektflächen beobachtet – ergeben. Laut OBERDORFER (2001) wurzelt die Art bis in 100 cm Tiefe und kann demnach auch tiefliegende Wasservorkommen im Boden erschließen. Demnach ist die Wasserversorgung auch dann noch gewährleistet, wenn die oberen Bodenschichten schon stark ausgetrocknet sind. Eine weitere Anpassungsstrategie gegenüber Trockenstress ist die ausgeprägte Kleinblättrigkeit der Pflanzen (SCHMITT 1989). Insgesamt ist *Thymus pulegioides* als trockentolerant einzuschätzen. Nach ELLENBERG (1996) ist die Art ausgesprochener Trockenheitszeiger. Nach OBERDORFER (1996) ist *Thymus pulegioides* ein bis 100 cm tief wurzelnder Kriechpionier und wärmeliebender Magerkeitszeiger.



4.4 Entwicklung der Zielarten in den verschiedenen Saatgutmischungen

Auf den drei im März 2018 angelegten Versuchsflächen im Berliner Straßenraum erfolgte am Ende der ersten Vegetationsperiode eine komplette Bestandsaufnahme auf allen Sand-Flächen. Dazu wurden die Flächen jeweils in Streifen eingeteilt, die im rechten Winkel zur Straße standen und jeweils einen Meter breit waren. Auf diesen Streifen wurden alle vorkommenden Pflanzen identifiziert und entsprechend ihrer Artzugehörigkeit gezählt. Anschließend wurde der abgesteckte Streifen einen Meter weiter verschoben und erneut alle Pflanzen in diesem gezählt. Auf diese Weise wurden die drei Flächen mit den verschiedenen Saatgutmischungen auf den Sand-Flächen der drei Straßenmittelstreifen ausgezählt, ebenso die als trennendes Element angelegten Gras-Streifen. Die Pflanzen auf den Sand-Flächen waren fast ausschließlich Arten der jeweils ausgebrachten Saatgutmischungen und so zahlreich, dass eine Zählung relativ problemlos durchgeführt werden konnte.

Auf den Fräs-Flächen hatte sich innerhalb der Vegetationsperiode sehr viel des ursprünglich vorhandenen Pflanzenbestands wieder etabliert. Eine Einzelpflanzenzählung auf der gesamten Fläche war hier wie auch schon auf den Fräs-Flächen im Parzellenversuch nicht möglich. Stattdessen wurden hier auf jeder Versuchsfläche Positionen für vier bzw. fünf Dauerquadrate festgelegt. Dazu wurde ein Maßband von einem markierten Punkt am unteren Ende einer Versuchsfläche diagonal über die gesamte Länge bis zum oberen Punkt am anderen Ende gespannt. Die Abstände der Dauerquadrate zueinander wurden im Vorfeld zufällig festgelegt, das gleiche gilt für das Positionieren auf der linken oder der rechten Seite des gespannten Maßbandes.

An die Positionen der Dauerquadrate wurde zum Zeitpunkt der Bonitur ein mobiler quadratischer Zählrahmen gelegt. Dieser bestand aus 100 Einzelquadraten mit jeweils 10 cm Kantenlänge. Der Rahmen wurde im Jahr 2018 auf den Straßenmittelstreifen nur auf den Fräs-Flächen zur Pflanzenzählung verwendet. Danach wurden die Positionen der Dauerquadrate auch für alle Varianten auf den Sand-Flächen festgelegt. In den Jahren 2019 und 2020 wurden jeweils zum Ende der Vegetationsperiode auf allen Versuchsvarianten die vorkommenden Arten mithilfe des Zählrahmens ermittelt. Abweichend zum ersten Jahr wurden keine Einzelpflanzen mehr gezählt. Die Pflanzen waren so weit entwickelt, dass vielfach eine Unterscheidung von Einzelpflanzen nicht mehr möglich war. Stattdessen wurde für jedes Einzelquadrat im Zählrahmen eine Art dann aufgenommen, wenn sie darin mit einem oder mehreren Individuen bzw. auch nur mit Teilen davon lokalisiert war.

Nach der Definition für den Deckungsgrad wird dieser für eine bestimmte Fläche prozentual geschätzt. Für die Häufigkeit des Vorkommens einer Art auf einer Fläche – der Pflanzendichte – wird die Anzahl von Einzelpflanzen ermittelt. In den Bonituren auf den Straßenmittelstreifen wurden aber weder die Einzelpflanzen ausgezählt noch die Flächen in den Einzelquadraten prozentual geschätzt. Deshalb lässt der ermittelte Wert für die einzelnen Arten zwar Aussagen über die Häufigkeit und die flächige Verteilung zu, kann formal aber nicht als Dichtewert oder Deckungsgrad bezeichnet werden. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse aus den Bonituren mit dem Zählrahmen als relativer Flächenwert bezeichnet.

Definition: Der relative Flächenwert (FW_{rel}) stellt die durchschnittliche Häufigkeit von einzelnen oder mehreren kompletten Pflanzen oder auch nur Pflanzenteilen einer bestimmten Art je Einheitsfläche dar.

$$FW_{rel} = \frac{\text{Anzahl Einzelquadrate mit enthaltener Pflanzenart} \times 10}{\text{Gesamtzahl Einzelquadrate}}$$

Im Projekt wurde für die Ermittlung des relativen Flächenwerts das Vorkommen bzw. die Abwesenheit einer Art innerhalb eines Dauerquadrats auf 100 Einzelquadraten mit einer Kantenlänge von jeweils 10 cm erfasst. Aus allen Dauerquadraten je Versuchsvariante/Standort wurde anschließend der Durchschnitt ermittelt und als relativer Flächenwert je Quadratmeter angegeben, der entsprechend der Definition einen Maximalwert von 10 annehmen kann.

In Abb. 29, Abb. 30 und Tab. 15 werden die Ergebnisse aus den letzten beiden Versuchsjahren 2019 und 2020 dargestellt. In den Abbildungen wird die Entwicklung des relativen Flächenwerts für die Arten dargestellt, bei denen es auf mindestens drei verschiedenen Flächen einen Nachweis der Art gab. Die Tabelle führt die Arten auf, die auf maximal zwei Flächen gefunden wurden. Außerdem sind auch alle Zielarten genannt, die mit den drei Saatgutmischungen oder mit der Grasmischung ausgesät wurden, sich aber nicht etablieren konnten. Für die Ermittlung des relativen Flächenwertes wurde auf jeder Versuchsvariante das durchschnittliche Vorkommen der Zielarten auf fünf Dauerquadraten ($n = 5$) ermittelt. Auf dem Adlergestell konnten nur vier Dauerquadrate ($n = 4$) festgelegt werden, da die Versuchsfläche zu schmal war.

Für die Versuchsvarianten wurden in der Reihenfolge Standort, Bodenvariante, Saatgutmischung folgende Abkürzungen verwendet:

Standort: Adlergestell (A) Frankfurter Allee (F) Heerstraße (H)

Bodenvariante: Fräs (F) Sand (S)

Saatgutmischung: RUDER (R) MAGER (M) INDI (I)

Durch mit einem Kästchen hinterlegte Abkürzungen werden für die jeweilige Art alle Varianten gekennzeichnet, in denen die Art bereits in der ausgebrachten Saatgutmischung enthalten war. Auf die anderen Flächen ist die Art entweder aus schon vorhandenem Bestand oder durch Selbstvermehrung gelangt.

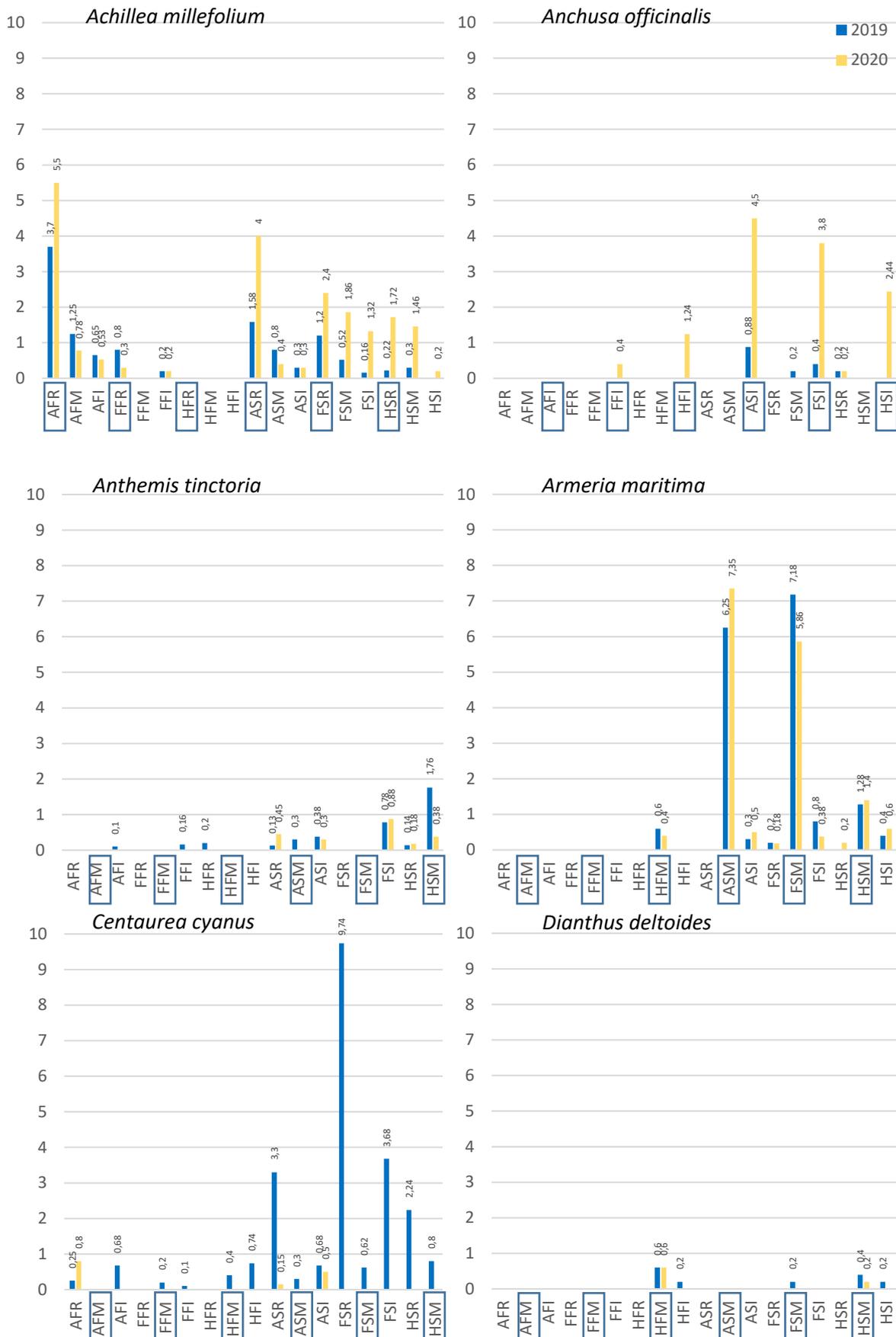


Abb. 29: Entwicklung des relativen Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 1 – (Erläuterungen im Text)

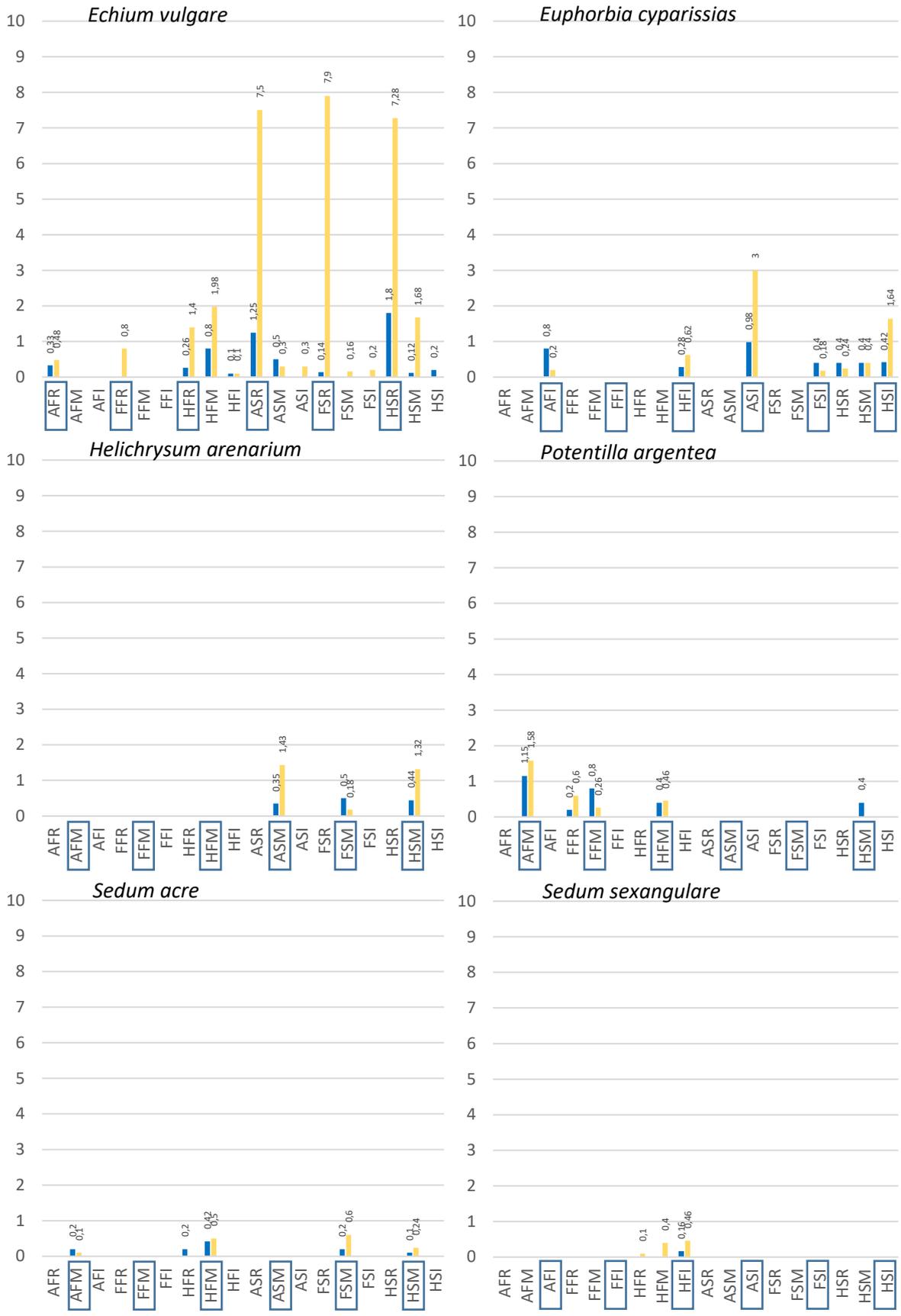


Abb. 30: Entwicklung des relativen Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 2 – (Erläuterungen im Text)

Tab. 15: Entwicklung des relativen Flächenwerts der Zielarten zwischen 2019 und 2020 auf den Versuchsvarianten der drei Straßenmittelstreifen – Teil 3 – (Erläuterungen im Text)

Art	Jahr/Variante	AFR	AFM	AFI	FFR	FFM	FFI	HFR	HFM	HFI	ASR	ASM	ASI	FSR	FSM	FSI	HSR	HSM	HSI		
<i>Corynephorus canescens</i>	2019																			0,02	
	2020											0,03									
<i>Falcaria vulgaris</i>	2019																				0,02
	2020																				0,02
<i>Galium verum</i>	2019			0,03																	0,02
	2020			0,15																	
<i>Hypericum perforatum</i>	2019				0,02																
	2020				0,02																
<i>Salvia pratensis</i>	2019										0,05										
	2020										0,08										
<i>Thymus pulegioides</i>	2019								0,12												0,08
	2020																				
<i>Agrostis capillaris</i>	2019	[Redacted]																			
	2020																				
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	2019																				
	2020																				
<i>Campanula rotundifolia</i>	2019																				
	2020																				
<i>Jasione montana</i>	2019																				
	2020																				
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	2019																				
	2020																				
<i>Linaria vulgaris</i>	2019																				
	2020																				
<i>Plantago media</i>	2019																				
	2020																				

Die Versuchsvarianten, auf denen die jeweilige Art ausgesät wurde, sind grün markiert.

Aus den durchgeführten Untersuchungen über die dreijährige Versuchsdauer lässt sich zunächst feststellen, dass sich die Zielarten auf den Fräs-Flächen deutlich schlechter etablieren konnten als auf den Sand-Flächen. Dies war nur bei *Potentilla argentea* nicht der Fall, die sich an allen drei Standorten auf den Fräs-Flächen am besten entwickelte, während sie auf den Sand-Flächen nur am Standort Heerstraße gefunden werden konnte.

Eine starke Zunahme des relativen Flächenwertes wurden bei *Achillea millefolium*, *Anchusa officinalis* und *Echium vulgare* festgestellt. Während bei *Achillea* die Vergrößerung des Bestands hauptsächlich durch eine ausgeprägte Zunahme der Einzelpflanzen durch Rhizombildung erfolgte, waren es bei den beiden anderen Arten die Vielzahl an Keimpflanzen, die zum Zeitpunkt der Bonitur zu den hohen Flächenwerten führten.

Anthemis tinctoria wurde im Jahr 2019 auf neun der insgesamt 18 Versuchsflächen gefunden. Die Art zeigte während der Hitzeperioden in den beiden Jahren deutliche Stressreaktionen in Form von kümmerlichem Wuchs und vertrocknenden Blättern. Es lässt sich nicht sagen, ob dies der Grund für den Rückgang der Art auf den Flächen (nur noch auf fünf Versuchsflächen im Jahr 2020) oder eine zu geringe Konkurrenzkraft ist.

Der relative Flächenwert von *Armeria maritima* nahm im Vergleich der beiden Jahre auf einigen Flächen moderat zu, auf anderen moderat ab. In der Summe kommt die Art stabil auf den Flächen vor. Sie bildete ab dem zweiten Versuchsjahr eine Vielzahl an Blüten, Samen und in der Folge auch Keimpflanzen aus. Die Witterungsbedingungen scheinen demnach kein hemmender Faktor für den

Fortbestand der Art auf den Flächen zu sein. Eine Verdrängung durch konkurrenzstärkere Pflanzenarten wurde bis zum Versuchsende nicht beobachtet.

Die Kornblume (*Centaurea cyanus*) blühte im Jahr der Ansaat stark und prägte den Charakter der Flächen, auf denen sie ausgesät worden war. Auch im nächsten Jahr wurde eine Vielzahl von Pflanzen gefunden, die aus der Selbstvermehrung stammten und blühten, aber schon deutlich weniger als im ersten Jahr. Im letzten Jahr waren aber wie erwartet nur noch einzelne Pflanzen auf den Flächen verstreut. Die Art wird höchstwahrscheinlich schon im nächsten Jahr überhaupt nicht mehr auf den Flächen zu finden sein.

Dianthus deltooides konnte sich im Gegensatz zum Parzellen-Versuch auf den Straßenmittelstreifen nur schlecht etablieren. In den letzten beiden Versuchsjahren nahm die Anzahl der Flächen, auf denen die Art gefunden wurde, von fünf auf zwei ab. Auch der relative Flächenwert blieb nur konstant bzw. halbierte sich. Es wird davon ausgegangen, dass die fehlenden Niederschläge während der Keimphase zu der geringen Individuenzahl geführt hatten. Durch die geringe Pflanzenanzahl war dann auch die Selbstvermehrung nur unzureichend möglich.

Die Sand-Strohblume (*Helichrysum arenarium*) lieferte ein sehr klares Entwicklungsbild. Auf den Fräs-Flächen wurden auf den Dauerquadraten keine Pflanzen gefunden. Das gleiche gilt für alle Flächen, auf denen die Art nicht ausgesät worden war. Dagegen nahm der relative Flächenwert auf dem Adlergestell und der Heerstraße auf den Sand-Flächen mit der MAGER-Mischung deutlich zu. Nur auf der Frankfurter Allee gab es einen Rückgang im Vergleich der Jahre 2019 und 2020. Als Grund wird das sehr häufige Betreten der Fläche durch Fußgänger vermutet. Das Betreten war am Standort der Frankfurter Allee der stärkste Einfluss auf den Pflanzenbestand mit einer entsprechend stark eingeschränkten Bestandsentwicklung.

Der Bestand von *Euphorbia cyparissias* nahm auf den Sand-Flächen mit der INDI-Saatgutmischung an den Standorten Adlergestell und Heerstraße besonders stark zu. Grund hierfür ist die starke unterirdische Rhizombildung, die zu einer zunehmend starken lokalen Ausbreitung der Art führte. Auf der Frankfurter Allee waren alle Flächen etwa einen Monat vor der Bonitur gemäht worden, was sich natürlich auf die Menge der pflanzlichen Biomasse ausgewirkt hatte, die noch bonitiert werden konnte.

In den Versuchen wurden zwei verschiedene *Sedum*-Arten verwendet, die sich unterschiedlich entwickelten. Der Scharfe Mauerpfeffer (*Sedum acre*) war auf der Frankfurter Allee und der Heerstraße auf den Sand-Flächen zu finden, am Adlergestell nicht. Die relativen Flächenwerte nahmen deutlich zu. Auf den Fräs-Flächen wurde die Art im Jahr 2019 auf drei Flächen gefunden, der relative Flächenwert nahm auf einer Fläche moderat zu, auf den anderen beiden Flächen halbierte er sich bzw. verschwand die Art komplett. Der Milde Mauerpfeffer (*Sedum sexangulare*) konnte sich nur auf allen Fräs-Flächen auf der Heerstraße etablieren. Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass dies aus dem vor der Versuchseinrichtung auf der Fläche vorhandenen Pflanzenbestand erfolgt ist.

In der Tab. 15 sind die Arten dargestellt, die sich insgesamt deutlich schlechter auf den Versuchsflächen etablieren konnten. Wenn man jeweils die gesamten Flächen betrachtet, findet man von *Salvia pratensis* und *Thymus pulegioides* auf allen Standorten wenige Einzelexemplare. Diese zeigten sich

aber während der Versuchsdauer sehr robust und ohne größere Stresssymptome. Vielmehr bildeten sie kräftige Pflanzen, die auch in den Jahren 2019 und 2020 zur Blüte kamen und Samen bildeten. Es ist durchaus möglich, dass diese wenigen Exemplare mittelfristig für eine Bestandsbildung auf den Flächen ausreichen. Die Arten *Galium verum* und *Falcaria vulgaris* sind zwar auf den Flächen mit wenigen Pflanzen nachgewiesen worden, stammen aber nicht aus den Saatgutmischungen, sondern aus schon vorhandenen Beständen am jeweiligen Standort.

Hypericum perforatum wurde nur auf den Dauerquadraten der Sand-Fläche am Adlergestell gefunden, allerdings im Bereich der MAGER-Saatgutmischung, in der diese Art ursprünglich nicht enthalten war.

Das Vorkommen von Zielarten auf anderen Flächen, als auf denen, wo sie ursprünglich ausgesät worden waren, ist nicht immer auf eine Selbstvermehrung zurückzuführen. Es ist auch möglich, dass Saatgut nach der Aussaat durch Winddrift oder andere Einflüsse von der Aussaatfläche auf benachbarte Flächen gelangt ist und dort keimen und sich etablieren konnte. Für *Armeria maritima* konnte beobachtet werden, dass das im Vergleich zur Größe relativ leichte Saatgut einfach vom Wind verweht werden kann. Abhilfe kann hier die Verwendung eines Klebers beim Ausbringen des Saatguts leisten (s. Einrichtung einer zusätzlichen Versuchsfläche auf dem Steglitzer Damm).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz der außergewöhnlichen Witterungsbedingungen besonders in den ersten beiden Versuchsjahren 2018 und 2019, der nur einmaligen Bewässerung bei der Aussaat und den starken Störungen der Flächen durch Fußgänger und Fahrzeuge sich zwar nicht alle Arten etablieren konnten, es aber auf den Sand-Flächen zu einer Bestandsbildung kam, die durch die jeweiligen Zielarten geprägt war und ist. Damit sind die Voraussetzungen für eine natürliche Sukzession gegeben, die die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft in den nächsten Jahren weiter verändern wird. Es wird sich zeigen, in welche Richtung diese Entwicklung gehen wird. Es bleibt noch abzuwarten, ob sich die Zielarten dauerhaft an den Standorten etablieren können oder durch andere Arten verdrängt werden. Sollte das letztere der Fall sein, bleibt die Frage, wie die Bodenveränderung durch die Sand-Auflage die Entwicklung der Artenzusammensetzung beeinflussen wird. Nährstoffanspruchsvollere und mehr feuchtigkeitsbedürftige sollten gegenüber Pflanzen mit geringeren Ansprüchen benachteiligt sein. In der Folge könnte trotzdem eine Trocken- bzw. Magerrasengesellschaft entstehen, die in ihrer Gesamtheit vergleichbare Eigenschaften mit den getesteten Saatgutmischungen besitzt.

Auf den gefrästen Flächen konnten sich die Zielarten mit wenigen Ausnahmen nur unzureichend entwickeln. Einige Arten wurden hier gar nicht gefunden. Bei den meisten Arten, die sich zunächst etablieren konnten, nahm der Flächenwert bis zum Versuchsende in den meisten Versuchsvarianten ab.

Neben den ausgesäten Zielarten siedelten sich im Lauf der Zeit auf den Straßenmittelstreifen auch andere Arten an (Sukzession durch z. B. Windanflug) oder sie entwickelten sich nach der Störung durch die Bodenbearbeitung aus der im Boden vorhandenen Samenbank (gefräste Flächen). In Abb. 31 ist diese Sukzession auf der Basis der jährlichen Bonitur der Dauerquadrate auf den Versuchsflächen dargestellt. Eine Pflanzenart wurde aufgenommen, wenn sie auf mindestens einem der fünf Dauerquadrate (außer Adlergestell mit vier Dauerquadraten) je Bodenbearbeitungsvariante und Saatgutmischung vorgefunden worden war. Dementsprechend bezieht sich die dargestellte Diversität ausschließlich auf die Dauerquadrate. Dadurch sind die Voraussetzungen für den Vergleich der Varianten aus statistischer Sicht einheitlich.

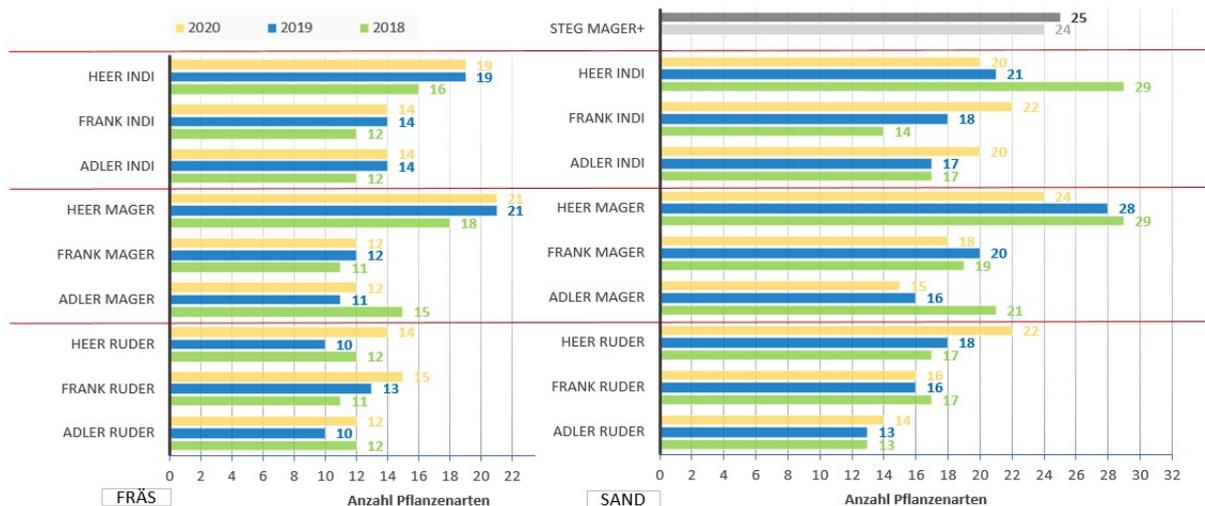


Abb. 31: Anzahl von etablierten Pflanzenarten auf den Dauerquadraten der vier Versuchsstandorte (HEER = Heerstraße, FRANK = Frankfurter Allee, ADLER = Adlergestell, STEG = Steglitzer Damm) im Verlauf der dreijährigen Versuchsdauer. Abweichend davon konnten für die im Dezember 2018 eingerichtete Versuchsfläche am Steglitzer Damm Daten nur in den Jahren 2019 (hellgrau) und 2020 (dunkelgrau) erhoben werden.

Offensichtlich ist die grundsätzlich geringere Diversität auf allen Fräs-Flächen im letzten Versuchsjahr im Vergleich zu den Sand-Flächen. Die Artenanzahl nahm auf den Fräs-Flächen von 2018 bis 2019 in sechs der neun Varianten moderat zu, um dann im Jahr 2020 bei fünf Varianten auf genau demselben Niveau zu bleiben. In drei Varianten kamen nur ein bis zwei neue Arten dazu. In der RUDER-Mischung auf der Heerstraße erhöhte sich die Artenzahl um vier, lag aber mit dann 14 identifizierten Pflanzenarten trotzdem auf einem niedrigen Niveau. Im Vergleich zur ersten Vegetationsperiode (2018) wurden nur in einer Versuchsvariante (MAGER-Mischung auf dem Adlergestell) bei Versuchsende weniger Arten gefunden.

Auf den Sand-Flächen wurden dagegen am Ende der letzten Vegetationsperiode auf fünf Flächen weniger Arten gefunden als in der ersten Vegetationsperiode. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass im ersten Jahr hier deutlich mehr Arten wachsen konnten, die zu den Erstbesiedlern von Rohböden gehören. Der erfolgte Bodenabtrag von etwa 10 cm und anschließende Sand-Auftrag führte zu einer für lange Zeit offenen Bodenoberfläche, auf der sich entsprechend stresstolerante, aber konkurrenzwache Pionierarten etablieren konnten. Auf der gefrästen Fläche war das so nicht möglich, da sich hier durch den Samenvorrat im Boden sowie die wieder austreibenden Pflanzenteile (Rhizome, Wurzelballen) nach dem Fräsen schnell erneut ein hoher Konkurrenzdruck auf der Fläche entwickelt hatte. Beispiele hierfür sind *Eragrostis minor*, *Corispermum leptopterum* und *Chenopodium*

strictum. Beide Arten wurden im ersten Jahr fast ausschließlich – und dort mehrfach – nur auf den Sand-Flächen gefunden. Im letzten Versuchsjahr fehlten sie dort.

Auf der Fläche am Steglitzer Damm, die erst eine Vegetationsperiode später als die anderen drei Flächen angelegt wurde, blieb die Artenzahl mit 24 (2018) bzw. 25 (2019) auf relativ hohem Niveau annähernd gleich.

Manche Pflanzen sind nur zu bestimmten Jahreszeiten zu sehen (z. B. einjährige Frühjahrsblüher, deren oberirdische Biomasse früh abstirbt und bereits im Sommer schon teilweise abgebaut ist) bzw. fallen erst durch ihre Blüte im Bestand auf (z. B. *Senecio inaequidens* blüht erst im Frühsommer). Deshalb wurden über das ganze Jahr hinweg im zweiwöchigen Rhythmus alle Pflanzen aufgenommen, die auf den jeweiligen Versuchsvarianten identifiziert werden konnten. Wenn man nun die Diversität für die jeweils gesamten Flächen mit den Ergebnissen der Dauerquadrate vergleicht, ergibt sich ein verändertes Bild. Grundlage für die in Abb. 32 dargestellten Daten waren jeweils die kompletten Flächen der Versuchsvarianten über das gesamte letzte Versuchsjahr (2020).

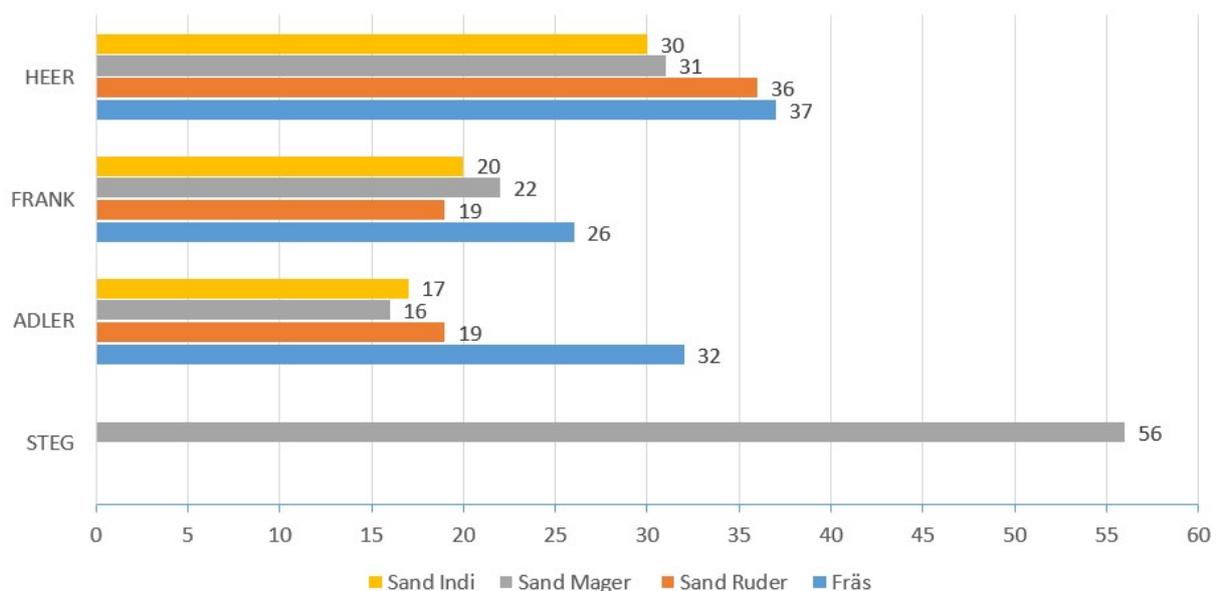


Abb. 32: Diversität auf den Versuchsflächen im Berliner Verkehrsraum. Dargestellt sind die Summen aller Pflanzenarten, die sich im Verlauf des Jahres 2020 innerhalb der verschiedenen Boden- und Saatgutmischungsvarianten aus den auf den vier Straßenmittelstreifen identifizierten Arten zusammensetzen.

Auf den Fräs-Flächen zeigten sich für die drei im Frühjahr 2018 angelegten Versuchsflächen die größte Artenvielfalt. Dies hängt auch mit der im Boden vorhandenen Samenbank zusammen, die ihre Wirkung auf den Flächen mit Bodenaustausch und Sandauflage nicht entfalten konnte. Gleichzeitig erhöht jedes gefundene Individuum einer neuen Art die Diversität auf der jeweiligen Fläche, trägt aber qualitativ wenig zur Artenvielfalt bei, wenn es sich nur um ein oder wenige Individuen handelt. Im Vergleich der „durchschnittlichen“ Vielfalt lagen – wie in Abb. 31 dargestellt – die Sand-Flächen vor den gefrästen Flächen.

Besonders auffällig war die Artenvielfalt auf dem Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm. Die Diversität lag hier mit 56 identifizierten Arten schon in der zweiten Vegetationsperiode nach Aussaat viel höher als auf der Teilfläche mit der höchsten Diversität (37 Arten) der drei anderen Straßenmittelstreifen (Fräs-Fläche auf der Heerstraße). Eine weitere Besonderheit war der Nachweis des Ebensträußigen Gipskrauts (*Gypsophila fastigiata*) auf der Fläche (Abb. 33). Diese Art kommt deutschlandweit nur zerstreut bis selten und auch nur regional vor. In Berlin gab es einige Nachweise von *Gypsophila fastigiata* mit dem Schwerpunkt vor dem Jahr 1950 (Abb. 34). Ob das Saatgut mit dem verbauten Sand, durch Windverfrachtung oder einen anderen Weg auf die Versuchsfläche gelangt ist, kann nicht geklärt werden.



Abb. 33: In Blüte stehendes Exemplar von *Gypsophila fastigiata* auf dem Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm (21.07.2020, Fotos: Blievernicht)

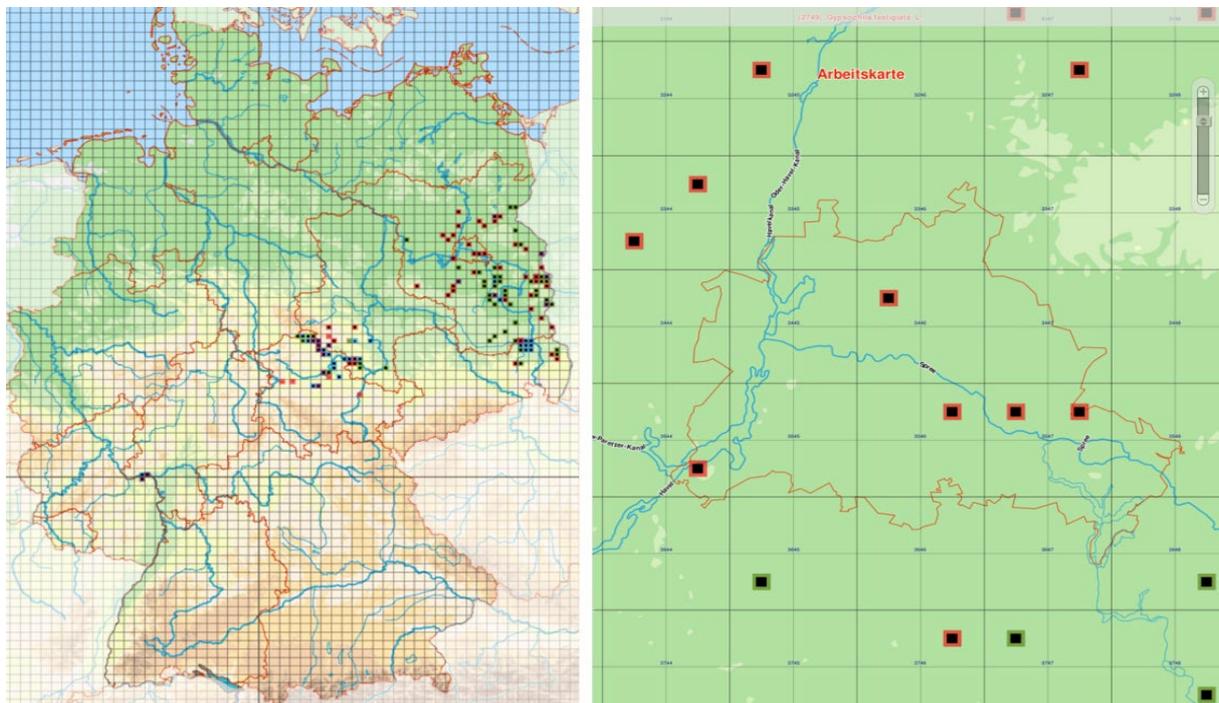


Abb. 34: Verbreitungskarte für *Gypsophila fastigiata* in Deutschland (links) und im Berliner Raum (rechts). Quelle: Deutschlandflora – WebGIS (2020).

Nachdem die Zielarten in den verschiedenen Saatgutmischungen im Frühjahr 2017 auf den Parzellen am Campus Berlin-Dahlem ausgesät worden waren, begannen die meisten in der darauffolgenden Vegetationsperiode im Jahr 2018 mit der ersten Blüte. In diesem und in den beiden folgenden Jahren wurden für die einzelnen Arten der Verlauf ihrer Blühphasen aufgenommen. Dazu wurden getrennt

voneinander die Daten für die Sand- und die Fräs-Flächen aufgenommen. Der Hintergrund hierzu liegt in der unterschiedlichen Pflanzenentwicklung auf den beiden Bodenbearbeitungsvarianten. Auf den Fräs-Flächen waren einerseits aufgrund des hohen Konkurrenzdrucks durch Nicht-Zielarten die jeweiligen Anteile der Zielarten sehr viel geringer als auf den Sand-Flächen; teilweise waren die Zielarten auch überhaupt nicht auf den entsprechenden Parzellen vorhanden. Andererseits war das Wachstum der Pflanzen unterschiedlich. Auf den Fräs-Flächen lag die Nährstoffverfügbarkeit im Boden viel höher als auf den Sand-Flächen. Deshalb waren die mehr stickstoffliebenden Pflanzen kräftiger und größer (z. B. *Anchusa officinalis*). Als zusammenfassendes Ergebnis kann festgehalten werden, dass viele der Arten auf den Fräs-Flächen mit einer leichten Verzögerung im Vergleich zu den Sand-Flächen zu blühen begannen.

Die Blüte wurde in vier verschiedene Blühphasen eingeteilt. Die Vorblüte bezeichnet den physiologischen Pflanzenzustand, in dem mindestens eine Blüte auf einer Parzelle, aber weniger als die Hälfte aller zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Blütenansätze geöffnet sind. In der Hauptblüte sind mehr als die Hälfte aller zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Blütenansätze auf der Parzelle offen. Die Abblüte ist dadurch gekennzeichnet, dass mehr als die Hälfte der vorhandenen Blüten verblüht ist. Eine zweite Blüte ist dadurch definiert, dass es entweder zwischen ihr und der ersten Blüte einen Zeitraum ohne offene Blüten auf der Parzelle gab oder dass die Anzahl geöffneter Blüten im Vergleich zum letzten Boniturtermin deutlich zugenommen hatte. Jede der Zielarten war bei Versuchsbeginn auf sechs Parzellen ausgesät worden. Es wurde festgelegt, dass der Eintritt in die jeweilige Blühphase dann als erfolgt festgehalten wurde, wenn das entsprechende Kriterium auf mindestens drei Parzellen erfüllt war. In Abb. 35 sind die Ergebnisse für die drei Saatgutmischungen auf den Sand-Parzellen im Verlauf der drei Jahre ab dem zweiten Jahr nach der Aussaat dargestellt. Die zeitigste Blüte im Jahr wurde bei *Euphorbia cyparissias* beobachtet, die schon Mitte April in voller Blüte stand. Nach der etwa vier Wochen anhaltenden Vollblüte erfolgte eine zweite Blüte erst Mitte/Ende Juli und dann bis weit in den September hinein. Die Pflanze ist ein guter Nektarspender und deshalb durch ihre späte zweite Blüte aus ökologischer Sicht für die Insektenfauna wertvoll. Viele weitere Arten zeigten – wenn auch nicht so stark auf zwei Zeiträume aufgeteilt – eine zweite Blüte. Dabei war die Anzahl der Blüten meist deutlich geringer als während der Vollblüte in der ersten Blütezeit. Dennoch ist das Vorhandensein von Pollen und Nektar auch noch spät im Jahr wichtig für die auf der Fläche vorkommende Insektenfauna. Mit ihrem langen Gesamtblühzeitraum zeigte sich die MAGER-Mischung besonders geeignet als Lieferant für Insektennahrung. Insgesamt blühten die in der Mischung enthaltenen Zielarten am zeitigsten und zeigten im Vergleich zu den anderen beiden Mischungen die längste Blühdauer. Besonders hervorzuheben sind hier zwei Arten. *Armeria maritima* blühte mehr oder weniger bis weit in den Herbst, genauso wie *Potentilla argentea*. Dabei wurden an den Pflanzen nicht nur wenige Einzelblüten beobachtet, sondern ein relevanter Bestand, der als Nahrungsquelle für verschiedene Insektenarten dienen kann.

In der Tendenz war bei vielen Arten zu beobachten, dass sich der Beginn der Blüte über die drei Jahre immer mehr verzögerte und gleichzeitig die Gesamtblühdauer abnahm. Als Ursache hierfür kommt das zunehmende Alter der Pflanzen in Frage. Andererseits könnte auch die Zunahme der Temperaturen und die anhaltende Trockenheit negativ auf die Substanz der Pflanzen gewirkt haben oder die Pflanzen ermöglichten ihr eigenes Überleben durch weniger Ressourcenverbrauch während der Blütezeit.

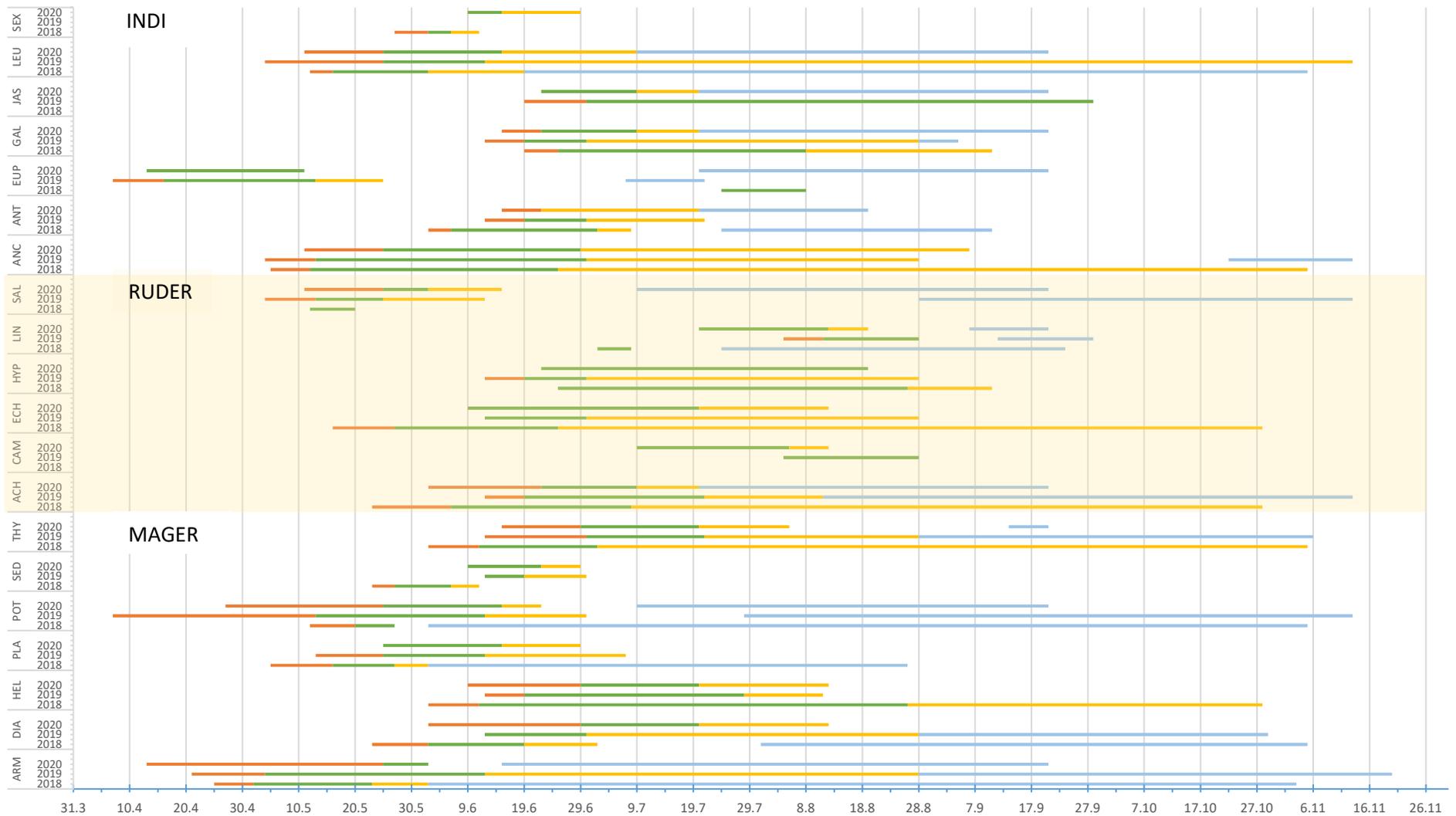


Abb. 35: Blühkalender der Zielarten in den drei Saatgutmischungen. Daten wurden für die Saatgutmischungen auf den Sand-Parzellen im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem in den Jahren 2018 bis 2020 aufgenommen. Rot = Vorblüte, Grün = Hauptblüte, Gelb = Abblüte, Blau = Zweite Blüte, Erläuterung der Blühstadien im Text. Abkürzung der Arten und Artenmischungen s. Tab. 6

Im Parzellenversuch wurden zum Ende der ersten und zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode nach der Aussaat (2017/2018) auf den Parzellen die Anzahl der gekeimten und etablierten Pflanzen der Zielarten erfasst (s. Abb. 18). Mit zunehmendem Wachstum der Pflanzen waren Einzelpflanzen bei der Bonitur nicht mehr eindeutig voneinander unterscheidbar (Rhizombildung, Ineinanderwachsen mehrerer Pflanzen). Daher war es notwendig und sinnvoll, die Beschreibung der Pflanzenbestände entsprechend anzupassen. Jeweils zum Ende der Vegetationsperiode wurden in den Jahren 2018, 2019 und 2020 der Deckungsgrad für jede Zielart auf den Parzellen auf Grundlage der Klasseneinteilung nach LONDO (1976) geschätzt. In Abb. 36 sind die Ergebnisse für die Saatgutmischungen mit den prozentualen Anteilen der Variante 1 auf den Sand- und auf den Fräsflächen dargestellt. In Abb. 37 finden sich die Ergebnisse für die prozentualen Anteile der Variante 2. Zunächst werden die Ergebnisse der Variante 1 diskutiert.

INDI-Mischung

Auf den Sand-Parzellen war *Leucanthemum ircutianum* von Beginn an bis zum Ende mit zuletzt fast 30 % Deckungsgrad die mit Abstand dominierende Art, auf den Fräs-Parzellen war ihr Anteil über die Versuchsdauer hinweg kontinuierlich abnehmend und lag am Ende der Vegetationsperiode 2020 bei nur 2,2 % Deckungsgrad. *Anchusa officinalis* kam auf allen Parzellen mit nur wenigen Einzelexemplaren vor. Aufgrund der höheren Nährstoffansprüche waren die Pflanzen auf den Fräs-Parzellen sehr viel größer als auf den Sand-Flächen. Deshalb war die Art hier mit Abstand dominierend (fast 40 % Deckungsgrad im Herbst 2020). Der Deckungsgrad von *Anthemis tinctoria* war auf beiden Bodenbearbeitungsvarianten vergleichbar niedrig und nahm über die Jahre kontinuierlich ab. Im Gegensatz dazu konnten *Euphorbia cyparissias* und besonders stark *Galium verum* ihren Deckungsgrad in der letzten Vegetationsperiode erhöhen. Wie schon auf den Straßenmittelstreifen beobachtet, nahm der Bestand von *Centaurea cyanus* schnell und stark ab. Im Jahr 2020 konnten auf den Parzellen keine Pflanzen mehr nachgewiesen werden. *Sedum sexangulare* kam auf beiden Böden mit annähernd gleich geringem Bestand vor. Das ist deshalb überraschend, weil der Konkurrenzdruck auf den Fräs-Flächen – besonders was den Lichtgenuss betrifft – viel größer als auf den Sand-Flächen sein sollte. *Jasione montana* wurde in den letzten beiden Versuchsjahren auf den Fräs-Parzellen nicht mehr nachgewiesen, während nach anfänglicher Stagnation der Bestand auf den Sand-Flächen zunahm. Im Jahr 2020 kam es zu einer starken Selbstvermehrung der Art in Form vieler etablierter Keimpflanzen. Aufgrund der relativ kleinen Blattrosette ist der Deckungsgrad der Art auf den Flächen noch gering, der Bestand aber deutlich zunehmend und damit höchstwahrscheinlich auch mittelfristig Bestandteil der Mischung auf den Sand-Parzellen.

RUDER-Mischung

Auch die RUDER-Mischung war durch die Dominanz von nur zwei Zielarten geprägt. Der Bestand von *Echium vulgare* lag im zweiten Jahr mit dem Einsetzen der Blühreife bei einem hohen Deckungsgrad von 37 bzw. 29 % (Sand-/Fräs-Parzellen). Die dann meist zweijährigen Pflanzen starben entwicklungsbedingt ab, sodass der Deckungsgrad im Jahr 2019 deutlich abnahm. Obwohl es zu einer starken Samenproduktion im zweiten Versuchsjahr kam, äußerte sich das nicht in einem erneut hohen Deckungsgrad bzw. einer hohen Individuenzahl im vierten Versuchsjahr. Die Gründe hierfür sind unklar. Während *Campanula rotundifolia* im ersten Versuchsjahr und danach nicht mehr auf den Fräs-Parzellen gefunden wurde, konnte *Linaria vulgaris* hier nie nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu nahm der Deckungsgrad auf den Sand-Parzellen vom zweiten zum dritten Jahr zu und stagnierte dann

auf niedrigem Niveau (0,6 %). *Campanula* wurde 2020 mit wenigen Exemplaren nachgewiesen, war aber zum Zeitpunkt der Bonitur nicht mehr identifizierbar und ist deshalb mit einem Deckungsgrad von 0 % aufgeführt. Von *Falcaria vulgaris* konnten sich nur wenige Exemplare sowohl auf den Fräs- als auch auf den Sand-Flächen etablieren. Der Biomasseaufbau geschieht wie auch am natürlichen Standort nur sehr langsam, der beobachtete Deckungsgrad war dementsprechend vergleichsweise sehr gering. *Hypericum perforatum* war auf beiden Boden-Varianten und über die Versuchszeit hinweg sehr gleichmäßig hinsichtlich seines Deckungsgrades vertreten. Von *Salvia pratensis* konnte sich nur ein kleiner Teil der im ersten Jahr gekeimten Pflanzen dauerhaft auf den Flächen etablieren. Das Wachstum der Stauden nahm aber über die Jahre kontinuierlich zu, sodass nach der letzten Vegetationsperiode auf den Sand-Flächen ein durchschnittlicher Deckungsgrad von fast 9 % auf der Sand-Variante und – deutlich weniger – 3,2 % auf den Fräs-Flächen ermittelt wurde.

MAGER-Mischung

Im Gegensatz zu den beiden anderen Saatgut-Mischungen war die MAGER-Mischung durch eine deutlich gleichmäßigere Verteilung der Deckungsgrade der Zielarten gekennzeichnet. *Thymus pulegioides* war zwar mit fast 50 % Deckung im Jahr 2019 und etwa 43 % im Jahr 2020 stark auf den Sand-Flächen vertreten, verdrängte aber offensichtlich durch seinen kriechenden und flachen Wuchs andere Arten nicht. Auf den Fräs-Flächen war der Deckungsgrad mit etwa 7 % in den Jahren 2019 und 2020 deutlich geringer, was für die vergleichsweise geringe Konkurrenzkraft der Art spricht. *Sedum acre* zeigte ähnlich wie *Sedum sexangulare* auf beiden Boden-Varianten einen gleichbleibend niedrigen Deckungsgrad von ungefähr 1 %. Die Deckungsgrade von *Armeria maritima*, *Potentilla argentea* und *Dianthus deltoides* waren in den letzten beiden Versuchsjahre 2019 und 2020 und auf beiden Bodenvarianten ähnlich hoch. Während der Deckungsgrad von *Potentilla* in dieser Zeit relativ konstant blieb, nahm er bei *Armeria* auf den Sand-Flächen um 20 % und auf den Fräs-Flächen um mehr als 30 % ab. Sehr viel größer war die Abnahme bei *Dianthus* von etwa 30 % Deckung im Jahr 2020 auf nur noch 2 bzw. 6 % (Sand- bzw. Fräs-Flächen). Im Verlauf des Versuchs zeigte die Art anfänglich eine vergleichsweise groß ausgebildete Blattrosette. Die Blattanzahl nahm in den letzten Jahren besonders nach den Trockenperioden zum Ende der Vegetationszeit hin stark ab, sodass oftmals nur die Blütenstände zum Zeitpunkt der Bonitur zu erkennen waren und dies zu einem deutlich geringeren Deckungsgrad führte.

In den Saatgutmischungen der Variante 2 wurden die Anteile der Zielarten in den drei Mischungen variiert. Dies führte entsprechend auch zu anderen absoluten Zahlen beim Deckungsgrad der Arten im Parzellenversuch. Dagegen sind sowohl die Entwicklungstendenzen über die gesamte Versuchslaufzeit als auch die relative Verteilung der Arten zueinander in den Mischungen mit Variante 1 in den meisten Fällen übereinstimmend. Das lässt den Schluss zu, dass Änderungen in den Anteilen der Arten einzelne Arten weder in ihrer Ausbreitung begünstigen noch einschränken. Die miteinander vergesellschafteten Arten zeigten auch bis zum Versuchsende keine Tendenz, in der Folge einer zunehmenden Bestandsdichte andere Arten zu verdrängen. Dies zeigen nicht nur die erhobenen Daten, sondern das war so im Parzellenversuch und auch auf den Straßenmittelstreifen zu beobachten. Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich schlussfolgern, dass die Konkurrenzkraft der ausgewählten Arten in den Mischungen etwa gleich ist, außer bei *Euphorbia cyparissias*. Hier könnte der Bestand durch zunehmende Rhizomvermehrung dichter werden und durch den kompakten Habitus der Art andere Arten verdrängen. Das ließe sich allerdings nur durch eine längerfristige Datenerhebung ermitteln.

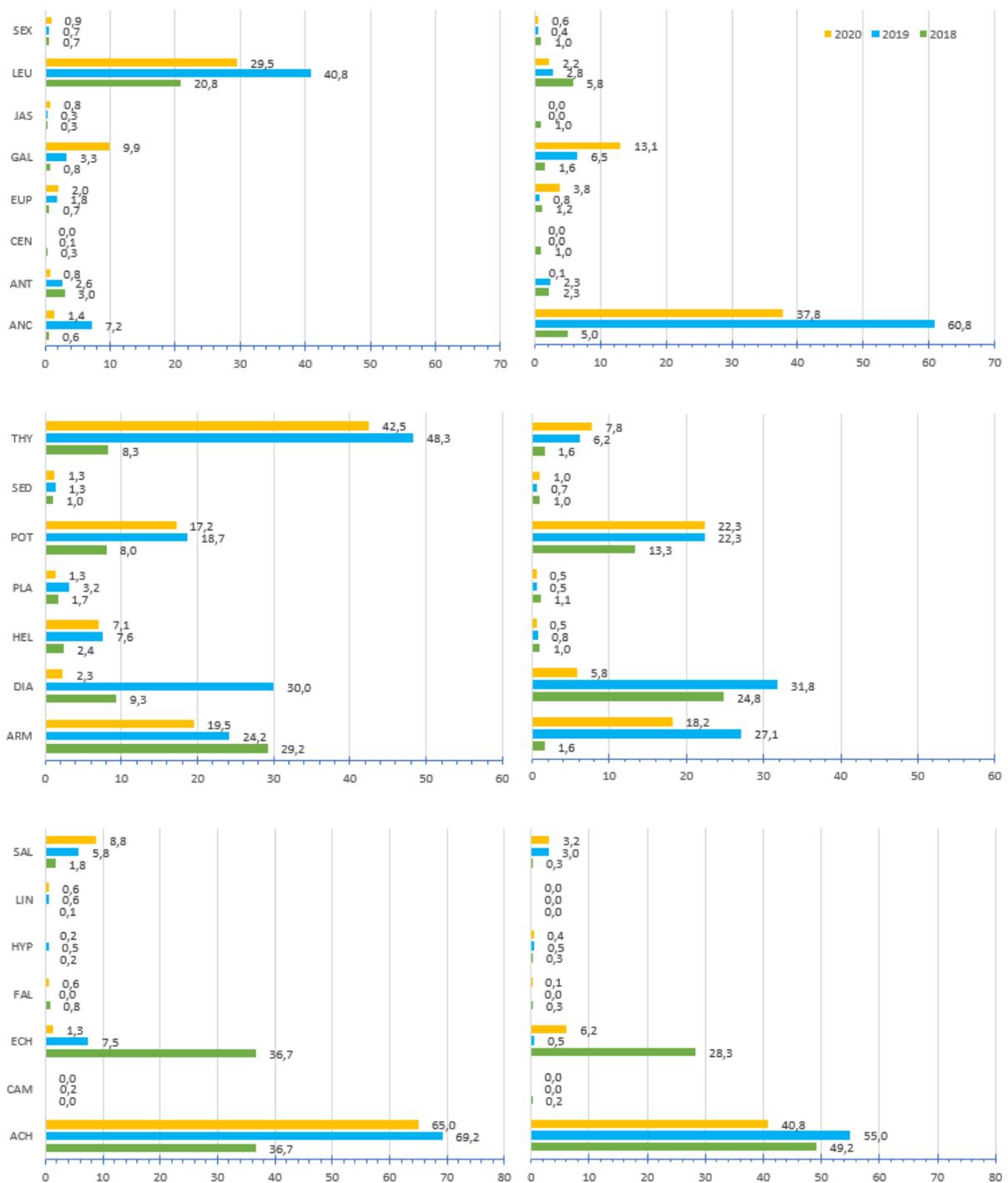


Abb. 36: Deckungsgrad der Zielarten auf den Sand-(links) und den Fräs-Parzellen (rechts) im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem. Dargestellt sind für die Jahre 2018, 2019 und 2020 die durchschnittlichen Deckungsgrade pro m² (n = 12) auf Grundlage der Klasseneinteilung nach Londo (1976) für die drei Saatgutmischungen INDI, MAGER und RUDER (von oben nach unten) in der Variante 1 (s. Tab. 6) der prozentualen Verteilung der Arten in der jeweiligen Mischung.

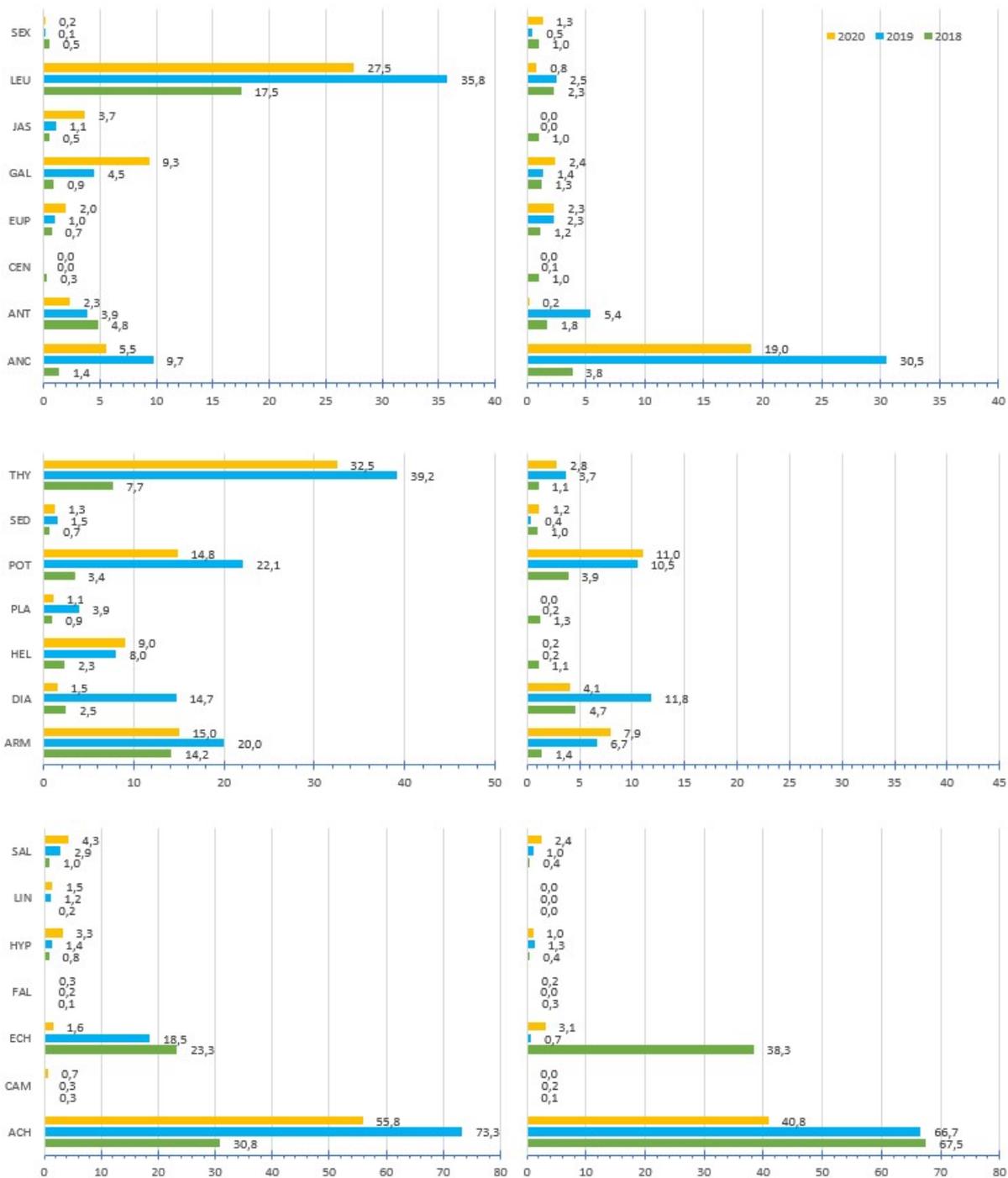


Abb. 37: Deckungsgrad der Zielarten auf den Sand-(links) und den Fräs-Parzellen (rechts) im Parzellenversuch am Standort Berlin-Dahlem. Dargestellt sind für die Jahre 2018, 2019 und 2020 die durchschnittlichen Deckungsgrade pro m² (n = 12) auf Grundlage der Klasseneinteilung nach LONDO (1976) für die drei Saatgutmischungen INDI, MAGER und RUDER (von oben nach unten) in der Variante 2 (s. Tab. 7) der prozentualen Verteilung der Arten in der jeweiligen Mischung.

4.5 Dokumentation des Fremdwuchses, von verkehrs- und witterungsbedingten Schäden/Störungen sowie der Pflegearbeiten auf den Straßenraum-Modellflächen

Im März 2018 konnten nach den anfänglichen Verzögerungen die drei Versuchsflächen auf den Berliner Straßenmittelstreifen angelegt werden. In dieser und auch in den Vegetationsperioden 2019 und 2020 kam es wiederholt zu außerordentlich langen Perioden mit vergleichsweise hohen Temperaturen und fehlenden Niederschlägen. Im Jahr 2020 lag die Jahresmitteltemperatur bei 11,1 °C und damit 1,6 °C über dem langjährigen Mittel. Die Jahresniederschlagsmenge erreichte mit 477,4 mm nur 81 % vom langjährigen Mittel, wobei gerade im Frühling und Sommer nur 61 % bzw. 71 % der durchschnittlichen Mengen am Standort gemessen werden konnten (SCHMITDT 2021). Aus den Witterungsdaten, die vom Fachgebiet Agricultural Climatology der Humboldt-Universität zu Berlin für den Campus Berlin-Dahlem gewonnen werden, zeigte sich, dass das Jahr 2019 das bisher wärmste Jahr war, welches am Standort gemessen worden war. Es übertraf das schon sehr warme Jahr 2018 (Durchschnittstemperatur = 11,8 °C) um 0,2 °C. Die Jahresmitteltemperatur lag 2019 um 2,1 °C über dem Durchschnitt der Bezugsperiode 1981 – 2000 und sogar um 2,7 °C über der immer noch gültigen klimatologischen Referenzperiode 1961 – 1990. In 11 von 12 Monaten wurden positive Abweichungen der Monatsmitteltemperatur registriert. Auf den zu kühlen April (- 1,0 °C) folgte ein extrem warmer Juni (+ 6,3 °C). Seit 1931 wurde noch nie eine solch große Abweichung für einen Monat beobachtet. Die Sonnenscheindauer lag 235 Stunden über dem langjährigen Mittel und entsprach bei einer angenommenen Tageslänge von 12 Stunden ca. 20 zusätzlichen Sonnentagen. Im Jahr 2019 lag die Gesamtniederschlagsmenge bei 434,5 mm, was einem Defizit von 23 % in Bezug auf das langfristige Mittel entspricht. Zusammen mit dem geringen Jahresniederschlag von 349,8 mm im Jahr 2018 konnte die Lage in Bezug auf die Bodendürre vor allem in tieferen Bodenschichten (in ca. 1,8 m Bodentiefe) nicht wesentlich entschärft werden (CHMIELEWSKI 2020). Die Hitze und der geringe Niederschlag führten im Jahresverlauf 2019 in ganz Deutschland in weiten Teilen und auch während eines langen Zeitraums zu einer außergewöhnlichen Dürre im Boden, die vor allem im östlichen Mitteldeutschland in den tieferen Bodenschichten auch im Januar 2020 immer noch vorhanden war (Abb. 38). Daraus zeigt sich, dass sich die Umweltfaktoren in Bezug auf Temperatur und Niederschlag jeweils weiter in Richtung Extremum verschoben haben. Diese Verschärfung zeigte in der Vegetationsperiode 2019 ähnlich wie 2018 Auswirkungen auf den Versuchsflächen sowohl auf den Straßenstandorten als auch auf den Parzellen am Campus Dahlem. Mitte Juni 2019 standen die Sand-Flächen der drei Straßenstandorte in voller Blüte und zeigten keine Trockenstresssymptome (Abb. 39).

Verlauf der Dürre - Gesamtboden Verlauf der Dürre - Oberboden Verlauf des pflanzenverfügbaren Wassers im Oberboden

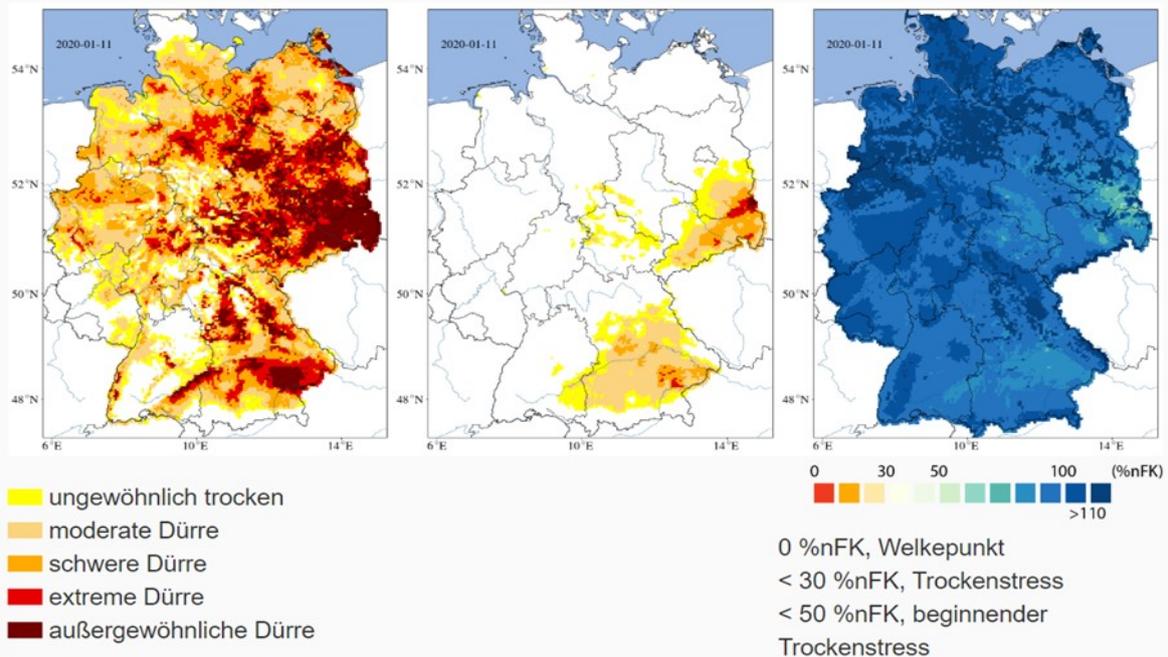


Abb. 38: Übersicht zum Wassergehalt des Bodens Mitte Januar 2020 (entnommen aus Zeitreihenanimation des Dürremonitors Deutschland (MARX 2020))



Abb. 39: Pflanzenbestände am 13.06.2019 auf den Sand-Flächen der vier Straßenmittelstreifen. Von links oben nach rechts unten: Adlergestell, Heerstraße, Frankfurter Allee, Steglitzer Damm (Fotos: Blievernicht)

Trotz der widrigen Witterungsverhältnisse keimten und entwickelten sich Arten der ausgebrachten Saatgutmischungen. Allerdings lag die Artenanzahl deutlich unter der, die auf den Referenzflächen am Campus Dahlem gefunden wurde. Auch die Menge der gekeimten Pflanzen pro Flächeneinheit war deutlich geringer. Dies hatte neben dem schon beschriebenen Witterungsverlauf weitere Ursachen. Im Gegensatz zu den Referenzflächen, die bis drei Wochen nach Aussaat regelmäßig gewässert worden waren, um das Potenzial der Saatgutmischungen bei optimalen Aussaatbedingungen zu ermitteln, erfolgte auf den Mittelstreifen nur ein einmaliges Gießen direkt nach der Aussaat. Dazu kamen die im Vorfeld nicht abzusehenden, sehr hohen mechanischen Belastungen der Flächen. Außer auf dem Adlgestell, auf dem anhand der gefundenen Spuren eine nur geringe Trittbelastung durch Fußgänger vermutet wird, kam es auf allen anderen Standorten zu sehr hohen Belastungen. Auf der Frankfurter Allee - wie auch auf dem Steglitzer Damm - zeigten sich schon wenige Tage nach Versuchseinrichtung eine Vielzahl an Schuhabdrücken. Im weiteren Verlauf wurde der Teil der Versuchsfläche, der mit Sand aufgefüllt worden war, mehrfach als Liegewiese genutzt, mit den entsprechenden Auswirkungen auf den Pflanzenbestand (Abb. 40). Die hohe Betretungsfrequenz der Fläche setzte sich über die gesamte Projektlaufzeit fort (Abb. 41).



Abb. 40: Störeinflüsse auf den Versuchsflächen. Von links oben nach rechts unten: Niedergedrückte Pflanzen (*Echium vulgare*) nach Berliner Bierfestival (Frankfurter Allee, 30.08.2018); hohe Trittbelastung bereits kurz nach Versuchsbeginn (Steglitzer Damm, 10.01.2019); Botschaft im Sand (Frankfurter Allee, 05.04.2018); Fahrzeugspuren (Heerstraße, 05.07.2018)

Auch auf der Fläche an der Heerstraße kam es zu starken mechanischen Belastungen des Pflanzenbestandes. Neben der Trittbelastung durch Fußgänger und Fahrradfahrer, die hier häufig die Straße überqueren, wurde die Fläche wiederholt mit Kraftfahrzeugen befahren. Warum hier Fahrzeuge von der Hauptverkehrsstraße über die Fläche auf die benachbarte Seitenstraße wechseln, kann nicht logisch erklärt werden, da fünfzig Meter entfernt eine Einfahrt in diese Parallelstraße vorhanden ist.

Am Standort Heerstraße kam es im Dezember 2019 zu einer besonders schwerwiegenden Versuchsstörung. Im Rahmen einer Sternfahrt von landbewirtschaftenden Personen wurde die Versuchsfläche mehr oder weniger komplett von landwirtschaftlichen Zugmaschinen überfahren. Es blieben tiefe Reifenspuren der Fahrzeuge übrig, sodass auf der gesamten Fläche ein Relief aus sich abwechselnden Bergen und Tälern gebildet wurde (Abb. 42). Dieses Relief wurde bis Projektende durch auftretende Niederschläge und Winderosion mehr oder weniger vollständig wieder zurückgebildet.



Abb. 41: Tritts Spuren am Standort Frankfurter Allee (25.04.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 42: Traktorfahrspuren auf gesamter Versuchsfläche nach Großdemonstration (Heerstraße, 12.12.2019)

Trotz dieser massiven Störungen konnten sich Pflanzenbestände aus allen drei ausgesäten Saatgutmischungen entwickeln. Es kam bei einigen Arten schon im ersten Jahr zu einer ausgeprägten Blüte, Samenbildung und auch Selbstaussaat. Besonders dichte und blütenreiche Bestände bildeten *Anthemis* und *Centaurea*. Beide Arten blühten stark und es konnte schon eine Vielzahl an neu gekeimten Pflanzen zum Ende der Vegetationsperiode 2018 nachgewiesen werden.

Durch die anhaltende Trockenheit im Jahr 2018 zeigten sich ab Juni starke Welkeerscheinungen im Berliner Straßenbegleitgrün. Im weiteren Verlauf vertrocknete insbesondere auf Grasflächen die gesamte oberirdische Biomasse. Auch auf den gefrästen Versuchsflächen zeigten sich diese Welkeerscheinungen bei den Zielarten, allerdings später und nicht so stark ausgeprägt. Im Gegensatz dazu konnten auf den Sand-Flächen kaum Welkesymptome beobachtet werden. Die etablierten Pflanzen der drei Saatgutmischungen zeigten volle Turgeszenz und blühten teilweise bis weit in den Herbst hinein (*Anthemis*, *Armeria*, *Anchusa*). Die Beobachtung von weniger stark ausgeprägten Welkesymptomen der Pflanzenbestände auf den Sand-Flächen im Vergleich zu den Fräs-Flächen wurden auch in den Jahren 2019 und 2020 gemacht. Allerdings zeigte sich in diesen beiden Jahren insgesamt stärker ausgeprägte Welkesymptome auf allen Flächen. Dies könnte eine Auswirkung der mittelfristigen Austrocknung des Gesamtbodens vor allem in den tieferen Bodenschichten sein, die sich dementsprechend im Zeitverlauf zunehmend auch auf den Vitalitätszustand der tief wurzelnden Pflanzenarten verstärkt. Während sich 2018 auf den Sand-Flächen so gut wie keine Welkesymptome an den dort etablierten Pflanzen zeigten, kam es hier 2019 bereits Anfang Juli teilweise zu Stressreaktionen in Form eingerollter bzw. teilweise auch abgestorbener Blätter (Abb. 43 und Abb. 44).



Abb. 43: Großteils vertrocknete Blattrosetten bei *Armeria maritima* nach lang anhaltender Trockenheit auf dem Adlergestell (Sand-Fläche, 04.07.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 44: Eingerollte Blätter bei *Echium vulgare* als Reaktion auf anhaltenden Trockenstress (Sand-Fläche auf Adlergestell, 04.07.2019, Foto: Blievernicht)

Nachdem es im weiteren Verlauf des Julis zu kurzzeitigen Niederschlägen gekommen war, konnten sich die Flächen in gewissem Maße erholen. In ihrer Gesamtheit sahen die Versuchsfelder – auch im Vergleich zu den umgebenden Flächen – relativ vital und grün aus. Teilweise blühten die Pflanzen hier auch noch, sodass sich Ende August 2019 ein optisch noch ansprechender Eindruck der Flächen ergab. Die dann erfolgte Mahd und eine Phase hoher Temperaturen in Verbindung mit fehlendem Niederschlag führten dazu, dass die oberirdische Pflanzenmasse zu einem Großteil vertrocknete (Abb. 45 und Abb. 46). Wie schon erwähnt, waren die Nicht-Zielarten und alle Pflanzen auf den Fräs-Flächen hiervon deutlich mehr betroffen als die Pflanzen auf den Sand-Flächen.



Abb. 45: Flächig vertrocknete oberirdische pflanzliche Biomasse als Trockenstressreaktion (Frankfurter Allee, Fräs-Fläche, 04.09.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 46: Auswirkung des Trockenstress auf Nicht-Zielarten auf der Heerstraße (Fräs-Fläche, 04.09.2019, Foto: Blievernicht)

Der Anfang Oktober einsetzende Niederschlag führte innerhalb von nur zwei Wochen zu einer Wiederbegrünung (Abb. 47 und Abb. 48).



Abb. 47: Nach ergiebigen Regenfällen im Oktober 2019 keimten aus der vorhandenen Samenbank zahlreiche Pflanzen (Fräs-Fläche, 15.10.2019, Foto: Blievernicht).



Abb. 48: Auch auf der Sand-Fläche kam es vermehrt zur Keimung, aber auch zum Austrieb oberirdisch vertrockneter Zielarten (Frankfurter Allee, 15.10.2019, Foto: Blievernicht).

Im Jahr 2020 gab es erneut längere Phasen ohne nennenswerte Niederschläge und mit hohen Temperaturen. Hier zeigten sich auf den Fräs-Flächen aller drei Versuchsstandorte deutliche Trockenstressreaktionen bereits Ende Juli/Anfang August. Die Versuchsfläche an der Frankfurter Allee wurde Mitte Juli versehentlich gemäht. Dies hatte zur Folge, dass durch die zu diesem Zeitpunkt herrschenden hohen Temperaturen und die starke Sonneneinstrahlung der Trockenstress durch den nun auch noch fehlenden Pflanzenbestand zusätzlich erhöht wurde und sich dementsprechend neben der Fräs-Fläche auch auf der Sand-Fläche starke Trockenstressreaktionen zeigten (Abb. 49). Mit den im September einsetzenden Regenfällen erholten sich die Bestände innerhalb weniger Wochen, ähnlich wie auch schon in 2019. Dagegen zeigten sich auf den Sand-Flächen an allen anderen Versuchsstandorten kaum Stressreaktionen.



Abb. 49: Starke Trockenstressreaktion nach Mahd (18.8.2020, oben) und Wiederbegrünung einen Monat später (16.09.2020, unten) auf der Fräs-Fläche (links) und der Sand-Fläche (rechts) auf der Frankfurter Allee (Fotos: Blievernicht).

Pflegemaßnahmen auf den Versuchsflächen

In der ersten Vegetationsperiode entwickelten sich nach der Frühljahrsaussaat auf den Straßenraum-Versuchsflächen auch Nicht-Zielarten. Um die Entwicklung eines Pflanzenbestandes zu unterstützen, der hauptsächlich die Zielarten enthalten sollte, wurden Anfang Juli 2018 alle Nicht-Zielarten auf den Sand-Flächen der drei Versuchsstandorte entfernt (Abb. 53).

Das Kraut war notwendig, da einige der Nicht-Zielarten mit ihren Einzelpflanzen sowohl relativ große Flächen einnehmen können oder auch durch ein hohes Selbstvermehrungsvermögen gekennzeichnet sind (z. B. *Diplotaxis tenuifolia*, *Convolvulus arvensis*, *Corispermum leptopterum*, *Digitaria sanguinalis*). Um den Versuchssaatgutmischungen ein Etablieren auf den Flächen zu ermöglichen, wurden die Nicht-Zielarten vor Einsetzen der Samenreife entfernt. Alle entnommenen Pflanzen wurden hinsichtlich ihrer Artzugehörigkeit bestimmt und die Anzahl der Einzelpflanzen auf den jeweiligen Standorten ermittelt (Tab. 16, Abb. 51). Weitere Pflegedurchgänge wurden während der Projektlaufzeit nicht durchgeführt und waren auch nicht notwendig.



Abb. 50: Frankfurter Allee (oben) und Adlergestell (unten) vor (links) und nach (rechts) Entfernen der Nicht-Zielarten (05.07.2018, Fotos: Blievernicht)

Tab. 16: Arten und Mengen der auf den Sand-Flächen der Straßenstandorte gefundenen und entfernten Nicht-Zielarten (Anfang Juli 2018), geordnet nach mengenmäßiger Häufigkeit der Einzelpflanzen

Art	Heerstraße	Frankfurter	Adlergestell	Mittelwert
<i>Digitaria sanguinalis</i>	182	161	73	138,7
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	43	31	212	95,3
<i>Setaria viridis</i>	160	2	15	59,0
<i>Convolvulus arvensis</i>	19	60	11	30,0
<i>Corispermum leptopterum</i>	17	17	31	21,7
<i>Polygonum aviculare</i>	23	24	10	19,0
<i>Elymus repens</i>	29	8	-	12,3
<i>Rumex acetosella</i>	-	18	14	10,7
<i>Oenothera sp.</i>	2	13	9	8,0
<i>Chenopodium album</i>	3	12	4	6,3
<i>Plantago lanceolata</i>	4	6	6	5,3
<i>Medicago x varia</i>	11	-	-	3,7
<i>Erodium cicutarium</i>	8	-	-	2,7
<i>Medicago falcata</i>	5	-	-	1,7
<i>Chenopodium strictum</i>	1	2	-	1,0
<i>Solanum nigrum</i>	2	-	-	0,7
<i>Solidago canadensis</i>	-	2	-	0,7
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1	-	-	0,3



Abb. 51: Von der Frankfurter Sand-Fläche entfernte und nach Artzugehörigkeit sortierte Nicht-Zielarten (05.07.2018, Foto: Blievernicht)

Das Mähen der Flächen, auf denen zukünftig die neuen Saatgutmischungen stehen, soll möglichst extensiv sein. Im Idealfall erfolgt nur eine Mahd im Jahr, bei der das Mähgut vom Standort entfernt wird. Auf den Versuchsflächen wurden die Mahdzeitpunkte in Abhängigkeit der jeweiligen Entwicklung der Flächen festgelegt. Im ersten Versuchsjahr 2018 bestand noch keine Notwendigkeit zur Mahd. Der erste Mähversuch wurde Ende März 2019 auf dem Mittelstreifen am Adlergestell durchgeführt. Die beiden gegenläufigen Straßenabschnitte sind an diesem Standort jeweils mit einer Baumreihe aus Winter-Linden bestanden. Von diesen Bäumen hatte sich relativ viel des im Herbst abgefallenen Laubs auf den Flächen im Pflanzenbestand angesammelt. Um diese zusätzliche Biomasse zu entfernen und gleichzeitig den Einsatz größerer Mähgeräte auf der Sand-Fläche zu testen, wurde im März 2019 eine Versuchsmahd durchgeführt. Hier kam der selbstfahrende Mäher Profihopper 4WD mit Frontmäherwerk (Flügelmesser) und Förderschnecke zum Einsatz (Abb. 52). Die Schnitthöhe wurde auf 10 cm eingestellt.

Der Mäher hinterließ sehr deutliche Reifenspuren auf der Sand-Fläche; teilweise auch auf den Fräsflächen. Dabei wurden die Pflanzen relativ stark beschädigt. Auch wurde das Falllaub nicht wie erwartet zu großen Teilen aus dem Bestand entfernt (Abb. 53).



Abb. 52: Erster Mähversuch auf dem Adlergestell mit Profihopper 4WD mit Flügelmesser und Förderschnecke (07.03.2019, Fotos: Blievernicht)



Abb. 53: Fahrspuren und teilweise starke Schäden an den Pflanzen durch das Mähfahrzeug (Adlergestell, 07.03.2019, Fotos: Blievernicht)

Ende August 2019 wurde ein erneuter Mähversuch auf 10 cm Schnitthöhe durchgeführt. Diesmal kam ein John Deere 3520 Hydro Sichelmäher mit Sauger zum Einsatz. Durch die Ausstattung mit bodendruckmindernden Ballonreifen wurden auf der Sand-Fläche keine größeren Reifenabdrücke hinterlassen und auch den Pflanzen weniger Schaden zugefügt (Abb. 54).



Abb. 54: Zweiter Mähversuch mit John Deere Sichelmäher. Die Pflanzen wurden deutlich weniger geschädigt, Fahrspuren wurden kaum hinterlassen.

Auf den anderen beiden Versuchsstandorten wurde ebenfalls im August 2019 das erste Mal eine Mahd durchgeführt. Auf dem Standort Heerstraße wurde mit dem Aufsitzmäher von Kubota GZD 15 LD Zero Turn Glied Cut Sichelmäher mit Sauger gearbeitet. Für die Frankfurter Allee konnte die technische Umsetzung des Mähens nicht ermittelt werden, da dies ohne Rücksprache stattfand. Im Ergebnis zeigte sich auf allen Standorten, dass das Mähen auf den Sand-Flächen mit verschiedenen technischen Umsetzungen möglich ist und keine größeren Auswirkungen auf den Pflanzenbestand hatte. Die im März 2019 auf der Sand-Fläche am Adlgestell aufgetretenen Störungen durch den eingesetzten Mäher (Amazone) wären wahrscheinlich ein halbes Jahr später so nicht mehr aufgetreten, da sich in dieser Zeit der Deckungsgrad auf den Flächen deutlich erhöht hatte und demnach auch ein größerer Teil des Bodens durch den Pflanzenbestand vor größerem Einfluss durch die Räder geschützt worden wäre. Dies zeigte sich bei der Mahd der Versuchsfläche an der Heerstraße. Auf den Flächen ohne nennenswerten Bewuchs hinterließ der Mäher eine deutliche Spur im Boden auf den Sand-Flächen (Abb. 55).

Im Jahr 2020 wurde die Mahd erst im Herbst durchgeführt. Frühere Termine hätten aufgrund der Witterungsverhältnisse – wie in den Jahren davor beobachtet – zu erhöhtem Trockenstress für die Pflanzen auf den Flächen geführt. Dazu kam, dass der Pflanzenbestand aus verkehrstechnischer und auch aus ästhetischer Sicht keine Mahd zu einem früheren Zeitpunkt notwendig machte.

Die Parzellenversuche am Campus Dahlem wurden bereits im Frühjahr 2017 eingerichtet. Im ersten Versuchsjahr war hier ebenfalls keine flächige Mahd auf den Sand-Parzellen notwendig, während auf den Fräs-Parzellen schon im ersten Jahr wiederholt ein Schröpfschnitt durchgeführt werden musste, um den gekeimten Ziel-Arten eine Chance zur Etablierung zu geben. Anfang Juli und Ende August 2017 wurden alle Fräs-Parzellen mit einem Rasenmäher auf ca. 10 cm über der Bodenoberfläche gemäht und anschließend die Biomasse entfernt. Zusätzlich wurden Anfang August die Fruchtstände von Nicht-Zielarten auf diesen Flächen entfernt, um einen zu starken Sameneintrag auf die Sand-Parzellen zu verhindern (*Oenothera* sp., *Medicago x varia*). Dies wurde im Mai 2018 noch einmal wiederholt. Zu diesem Zeitpunkt ging es größtenteils um die Entfernung der Fruchtstände des Löwenzahns (*Taraxacum* sp.) sowie des Rot-Klees (*Trifolium pratense*).



Abb. 55: Zweiter Mähversuch auf der Heerstraße mit Kubota Sichelmäher mit Sauger (20.08.2019, Fotos: Blievernicht)

In den folgenden Jahren wurden alle Parzellen einmal jährlich gemäht. Weitere Schröpfschritte oder ein teilweises Entfernen von pflanzlicher Biomasse erfolgte nicht mehr. Der Mähzeitpunkt wurden an die Entwicklung der Pflanzenbestände im jeweiligen Jahr und die Witterungsverhältnisse angepasst (Anfang Oktober 2018, Mitte August 2019, Ende September 2020). Dabei spielten sowohl die vorhandene Biomasse als auch die Samenreife der verschiedenen Pflanzenarten entscheidende Rollen. Durch die besonders niederschlagsarmen Jahre 2018 und 2019 kam es besonders auf den Fräs-Parzellen zu starkem Trockenstress. Die oberirdische pflanzliche Biomasse vertrocknete großflächig. Dabei waren von den Trockenschäden hauptsächlich Nicht-Zielarten betroffen, während die Zielarten deutlich weniger stark ausgeprägte Trockenstresssymptome zeigten (Abb. 56).



Abb. 56: Unterschiedliche Reaktion der Pflanzen auf Fräs-Parzelle am Standort Dahlem. Während die Nicht-Zielarten zum größten Teil oberirdisch vertrocknete Pflanzenteile zeigen, präsentieren sich die Zielarten in vitalem Grün. Blau = *Hypericum perforatum*, Grün = *Euphorbia cyparissias*, Rot = *Galium verum*, Violett = *Anchusa officinalis*, Gelb = *Thymus pulegioides* in voller Blüte (auf die Fläche durch Selbstaussaat gelangt). INDI-Saatgutmischung, 23.07.2020, Foto: Blievernicht

Die Mahd der verschiedenen Versuchsvarianten im Parzellenversuch sollte neben einer reinen Pflegemaßnahme auch Aussagen darüber zulassen, wie sich die Varianten hinsichtlich der im Jahresverlauf gebildeten Biomasse voneinander unterscheiden. Daraus sollten sich Tendenzen erkennen lassen, wie viel Biomasse bei Entfernung des Mähguts auf einem Straßenmittelstreifen entsorgt werden müsste, was bei unterschiedlichen Mengen in den Versuchsvarianten mit unterschiedlich hohen Entsorgungskosten für die Biomasse verbunden wäre. Um diese Fragen zu beantworten, wurde zum entsprechenden Mahdzeitpunkt auf jeder Parzelle der Bewuchs mit einer elektrischen Heckenschere 10 cm über der Bodenoberfläche geschnitten. Die Biomasse wurde von jeder Parzelle abgesammelt und getrennt voneinander frisch gewogen. Teilweise bestand das Mähgut aus langen Fruchtständen (z. B. *Echium vulgare*), das dann für die weiteren Untersuchungen zunächst mit einem Messer-Häcksler zerkleinert werden musste. Anschließend wurden die Biomassen der einzelnen Parzellen im Trockenschrank bei 104 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann zurückgewogen. Die Abb. 57 zeigt die Ergebnisse aus den Jahren 2018, 2019 und 2020. Dargestellt sind jeweils die Durchschnittswerte des Trockengewichts von jeweils drei Wiederholungen einer Versuchsvariante. Es wurden zwei Bodenbearbeitungsvarianten (Sandaustausch auf 10 cm Oberboden bzw. Fläche vor Aussaat nur gefräst) und zwei unterschiedliche Mischungsverhältnisse der in den drei Saatgutmischungen enthaltenen Arten im Versuch getestet.

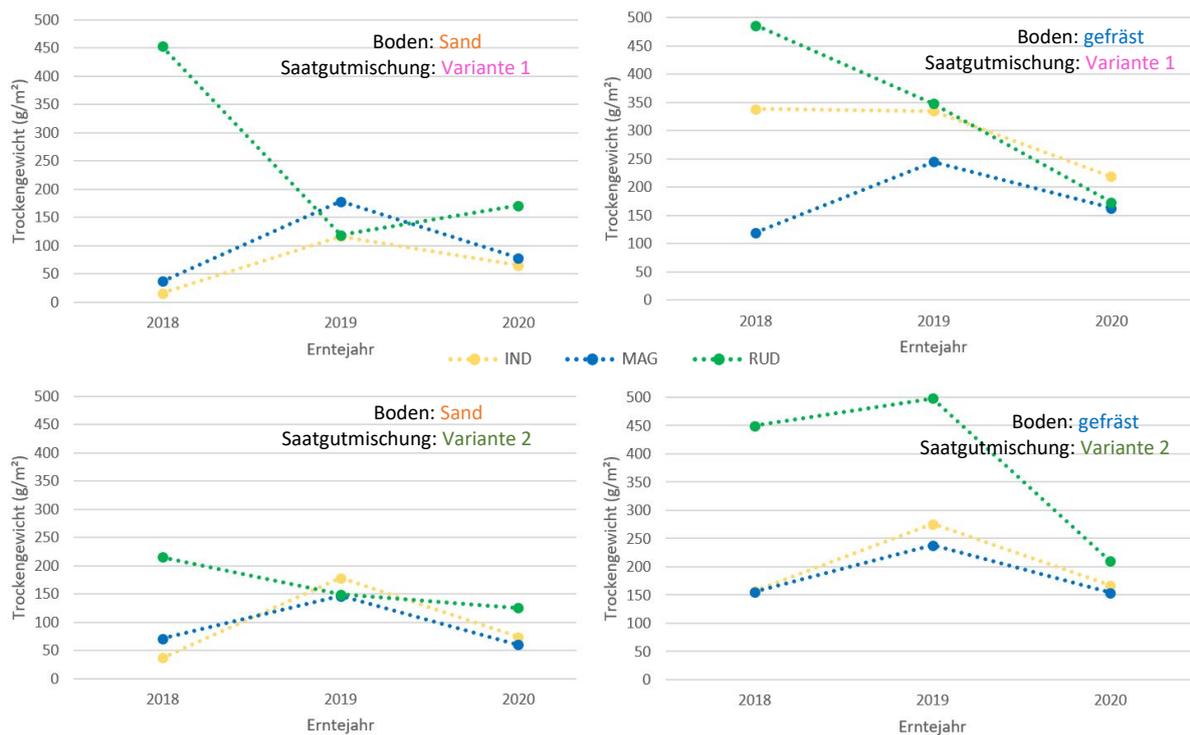


Abb. 57: Entwicklung des Biomassezuwachses im Zeitverlauf auf den Parzellenversuchen. Dargestellt ist das durchschnittliche Trockengewicht pro m² (n = 12; 3 Parzellen mit je 4 m² Grundfläche) jeweils am Ende der Vegetationsperiode für die verschiedenen Versuchsvarianten in den Jahren 2018 bis 2020. Die Ermittlung erfolgte durch Abmähen 10 cm über Bodenoberkante und anschließende Trocknung bis zur Gewichtskonstanz im Trockenofen bei 104 °C. Sand = Oberboden (10 cm) durch nährstoffarmen Sand ersetzt, gefräst = Oberboden 10 cm tief gefräst, Saatgutmischung: Varianten 1 und 2 stellen jeweils unterschiedlich hohe Anteile der in den drei Saatgutmischungen enthaltenen Pflanzenarten bei der Aussaat dar. Zu den prozentualen Anteilen der Arten in den jeweiligen Mischungen s. Tab. 6 und Tab. 7.

Die gewonnenen Daten zeigen, dass sich auf den Fräs-Parzellen grundsätzlich mehr Biomasse entwickelt hatte. Über den dreijährigen Erhebungszeitraum (2018 bis 2020) wurde auf den Fräs-Parzellen meist zwischen anderthalb- bis dreifach mehr Biomasse entfernt als auf den Sand-Parzellen. Eine Ausnahme bildete hier die RUDER-Saatgutmischung, Variante 1. Die gebildete Biomasse pro Quadratmeter war in den Jahren 2018 und 2020 auf den Sand-Parzellen etwa genau so groß wie auf den Fräs-Parzellen, 2019 aber fast dreimal geringer als auf den Fräs-Parzellen. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass in der Mischung neben der Schafgarbe (*Achillea millefolium*) der Natternkopf (*Echium vulgare*) dominierte. *Echium* zeigt eine alternierende Blüte. Im ersten Jahr erfolgt nur die vegetative Entwicklung der Blattrosette, im zweiten Jahr dann die Blüte mit einem vergleichsweise großen Blüten- bzw. Fruchtstand, entsprechend großer Biomasse und dann meist einem Absterben der Pflanzen. Im darauffolgenden Jahr etablieren sich Jungpflanzen aus den letztjährigen Samen, die im nächsten Jahr dann wieder blühen. Die gleiche Tendenz über den Erhebungszeitraum zeigte sich auch für die RUDER-Mischung, Variante 2. Allerdings lag der Anteil des *Echium*-Saatguts in der Mischung hier nur bei der Hälfte, sodass sich in den Jahren 2018 und 2020 auf den Fräs-Parzellen ca. das doppelte (2,09/1,67) und 2019 in etwa das 3,5-fache (3,34) an Biomasse gebildet hatte.

Nach dreijähriger Etablierungsphase zeigte sich in fast allen Varianten (Ausnahme: RUDER-Mischung, Variante 1 auf Sand) eine Abnahme der gebildeten Biomasse im Jahr 2020 im Vergleich zu 2019. Da auf der Versuchsfläche fast nur mehrjährige Stauden stehen und sich die Abnahme der Biomasse auf

fast allen Varianten zeigte, ist als ursächlich hierfür von den im Jahr herrschenden Witterungsbedingungen auszugehen. Nach schon abnehmenden Niederschlagsmengen (72 %/71 %/80 % des langjährigen Mittels) in den vorangegangenen Versuchsjahren (2017/2018/2019) fielen im Frühjahr 2020 nur noch 61 % des Niederschlags (Wetterstation Berlin-Dahlem) im Vergleich zum langjährigen Mittel (SCHMITDT 2021). Dementsprechend fehlte in der für das Pflanzenwachstum so wichtigen Zeit des Jahres eine beträchtliche Wassermenge für den Biomasseaufbau.

4.6 Ergebnisse der Untersuchungen auf dem zusätzlich angelegten Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm

Die Aussaat der etwas veränderten MAGER-Mischung (MAGER+) auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damms wurde Mitte Dezember durchgeführt. Aus verschiedenen Gründen war eine frühere Aussaat nicht möglich. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass dieser Zeitpunkt optimal für die Bestandsgründung war. Zu diesem Zeitpunkt war im Bodenkörper genug Wasser für eine erfolgreiche Keimung gespeichert. Die Temperaturen waren bis weit in den Januar 2019 vergleichsweise mild. Ein Teil des Saatguts keimte schon direkt nach der Aussaat, sodass bereits im Januar die ersten Keimlinge auf der Fläche gefunden werden konnten (Abb. 58, Abb. 59).



Abb. 58: Gekeimter Samen von *Armeria maritima* (Steglitzer Damm, 19.01.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 59: Gekeimte Samen von *Centaurea cyanus* (Steglitzer Damm, 19.01.2019, Foto: Blievernicht)

Im weiteren Verlauf wurden mit Ausnahme von *Plantago media* von allen ausgesäten Arten Keimpflanzen gefunden, die mehr oder weniger gleichmäßig auf der Fläche verteilt waren (Abb. 60). Mitte Mai 2019 stand *Centaurea cyanus* in voller Blüte und schaffte durch ihr flächiges Vorkommen einen durchgehenden blauen Blühaspekt (Abb. 61).

Während der Vegetationsperiode kam es trotz der langanhaltenden Trockenheit und Hitze im Jahr 2019 zu einer sehr guten Entwicklung des Pflanzenbestands auf der Fläche. Trockenstresssymptome wurden bei den noch jungen Pflanzen überhaupt nicht festgestellt. Vereinzelt kam es neben der schon im Mai erfolgten Blüte von *Centaurea cyanus* auch bei *Armeria maritima* zur Blütenbildung. Bis zum Ende des Jahres hatte sich auf der Fläche ein noch lückiger, aber in Bezug auf die Verteilung der Zielarten relativ ausgewogener Pflanzenbestand entwickelt (Abb. 62).



Abb. 60: Gleichmäßig verteilte Keimpflanzen der Zielarten auf dem Steglitzer Damm Mitte Mai 2019 (*Armeria maritima*, *Corynephorus canescens*, *Dianthus deltoides*, *Helichrysum arenarium*, *Potentilla argentea*, *Sedum acre*, Foto: Blievernicht)



Abb. 61: Blühender Kornblumenbestand (*Centaurea cyanus*) auf dem Steglitzer Damm Mitte Mai 2019 (Foto: Blievernicht)



Abb. 62: Pflanzenbestand auf dem Steglitzer Damm zum Ende der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat. Einige Exemplare der Nicht-Zielarten mit hohem Vermehrungspotenzial blühten vereinzelt schon im ersten Jahr (*Armeria maritima*, 27.08.2019, Foto: Blievernicht)



Abb. 63: Nach dem einmaligen Entfernen der größten der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat. Einige Exemplare der Nicht-Zielarten mit hohem Vermehrungspotenzial blühten vereinzelt schon im ersten Jahr (*Armeria maritima*, 27.08.2019, Foto: Blievernicht)

Wie auch schon auf den anderen drei Flächen, die im Jahr 2018 angelegt wurden, hatten sich im ersten Jahr auf dem Mittelstreifen einige wenige, aber vergleichsweise große Einzelexemplare von Nicht-Zielarten (hauptsächliche *Chenopodium* sp.) mit großem Vermehrungspotenzial entwickelt. Diese wurden in einem einmaligen Pflegegang von der Fläche entfernt (Abb. 63). In der weiteren Entwicklung der Fläche kam es wie erwartet – und auch erwünscht – im Verlauf der natürlichen Sukzession zur Ansiedlung weiterer Arten, die nicht in der MAGER+-Mischung enthalten waren. Diese Arten entstammen hauptsächlich der Ruderalflora (z. B. *Anthemis ruthenica*), aber auch Trockenrasengesellschaften (z. B. *Gypsophila fastigiata*). Die Einwanderung dieser Arten auf die Fläche stellt eine große Bereicherung der vorhandenen Pflanzengesellschaft dar und dauert an. Neben einigen Grasarten (verschiedene Trespen- und Weidelgras-Arten; *Bromus* sp. und *Lolium* sp.) stellen viele der hinzugekommenen Arten aufgrund ihrer Blüheigenschaften eine gute Nahrungsquelle für verschiedene Insektenarten dar. Zum Beispiel verlängert das Silberkraut (*Lobularia maritima*) aufgrund seiner sehr langen Blütezeit teilweise bis in den Dezember das Nahrungsangebot für Insekten erheblich. Pflanzen wie *Trifolium pratense* oder *Melilotus officinalis* bieten allein durch die hohe

Blütenanzahl an einer Pflanze neben einer ansprechenden Optik eine vergleichsweise große Menge an Pollen und Nektar. Der Gelbe Steinklee (*Melilotus officinalis*) stellt eine besonders wertvolle Nahrungsquelle dar. Auf einer jeweils vierstufigen Skala werden bei der DWS (2021) Werte von vier für das Pollenangebot und drei für das Nektarangebot angegeben. Das MLR (2019) stuft den Rot-Klee (*Trifolium pratense*) als guten Pollen- und auch guten Nektarspender ein und empfiehlt die Art als Bestandteil bei der Etablierung von artenreichen Bienenweideflächen.

Nach der ersten Vegetationsperiode und dem darauffolgenden Winter war die Fläche auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damm zwar immer noch lückig, allerdings waren diese Lücken im Verlauf der Pflanzenentwicklung bis zum Frühjahr 2020 deutlich kleiner geworden (Abb. 64). Eine vollständige Deckung ist aber auch nicht gewollt, da dies die Brutmöglichkeiten für bodennistende Insekten (Grabwespen, die meisten Bienen) stark limitieren würde. Gleichzeitig entspricht dies auch nicht dem natürlichen Vorbild eines Trockenrasens, der durch regelmäßig vorkommende, offene Bodenbereiche charakterisiert ist und nicht zuletzt dadurch eine wichtige Funktion als Lebensraum für diverse Insektenarten erfüllt.



Abb. 64: Entwicklungszustand der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damms zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode nach Aussaat (30.04.2020, Foto: Blievernicht)

Obwohl sich wenige Pflanzen von eingewanderten Nicht-Zielarten zu stattlichen Einzel Exemplaren entwickelt hatten, war der Charakter einer flachwachsenden Pflanzengemeinschaft immer noch gegeben. Die weitere Entwicklung der Fläche bleibt abzuwarten. Natürlich können auch Ruderalpflanzen zukünftig einen größeren Teil der Fläche bewachsen. Allerdings sind die Voraussetzungen aufgrund des tiefgründigen Sandbodens eher dafür gegeben, dass sich mittelfristig eine Trockenrasengesellschaft mit vergleichsweise geringen Nährstoffansprüchen als eine Ruderalgesellschaft mit oft höheren Ansprüchen – vor allem an die Stickstoffverfügbarkeit – etablieren kann. Im Folgenden wird die Entwicklung der Versuchsfläche anhand verschiedener Abbildungen im zweiten Jahr nach der Ansaat dargestellt (Abb. 65 bis Abb. 69).



Abb. 65: Natürliche Sukzession – Beispiele für Arten, die nicht Bestandteil der im Dezember 2018 ausgebrachten Saatgutmischung waren (von links oben nach rechts unten: *Anthemis ruthenica*, *Senecio vernalis*, *Trifolium pratense*, *Daucus carota*, Fotos: Irrgang, Blievernicht)



Abb. 66: Entwicklungszustand der Versuchsfläche auf dem Mittelstreifen des Steglitzer Damms zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode nach Aussaat (30.04.2020, Foto: Blievernicht)



Abb. 67: Blühaspekte auf der Versuchsfläche am Steglitzer Damm. Neben der blau blühenden Kornblume (*Centaurea cyanus*) der violett blühenden Heide-Nelke (*Dianthus deltoides*) und dem gelb blühenden Scharfen Mauerpfeffer (*Sedum acre*) erhöhen auf die Fläche eingewanderte Arten wie das gelb blühende Bitterkraut (rechts oben) oder das weiß blühende Silberkraut (*Lobularia maritima*, links oben) die optische Attraktivität der Fläche und gleichzeitig das Nahrungsangebot für die Insektenfauna (Fotos: Irrgang, Blievernicht).



Abb. 68: Insekten finden Nahrung auf den Blütenständen der Kornblume (*Centaurea cyanus*, links) oder auch auf reichblütigen Einzelpflanzen des Gelben Steinklees (*Melilotus officinalis*, rechts). Fotos: Irrgang



Abb. 69: Entwicklungszustand der Versuchsfläche am 10.07.2020. Unterschiedliche Formen und Größen der Pflanzen in Verbindung mit unterschiedlichen Blütenfarben und Blütenständen erhöhen die Attraktivität des Standorts sowohl für die Insektenfauna als auch für den Betrachter (Foto: Blievernicht).

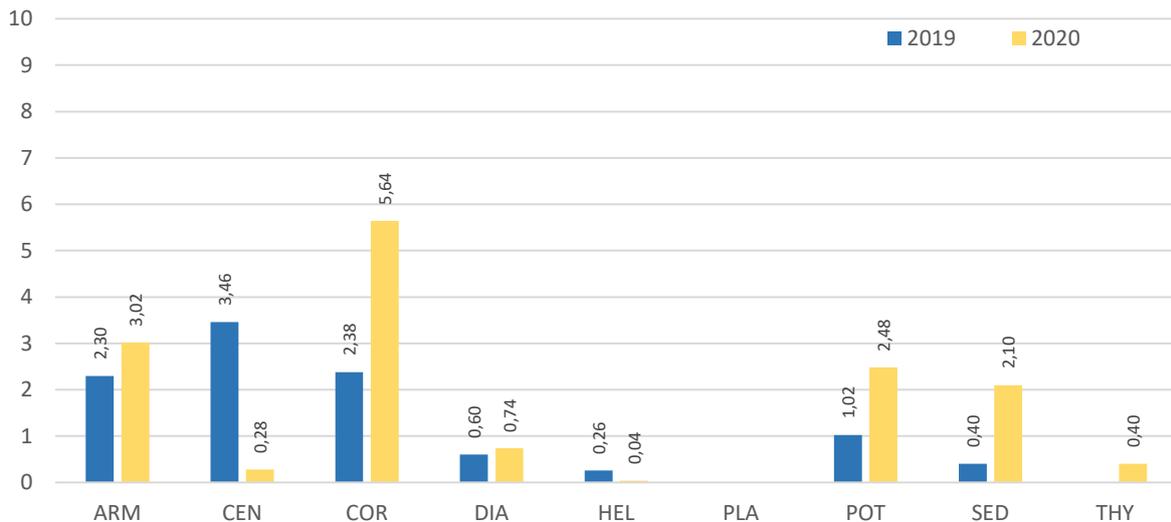


Abb. 70: Entwicklung des Flächenwerts auf dem Mittelstreifen am Steglitzer Damm (Erläuterungen s. Kap. 4.4, S. 75, Artnamen sind mit den ersten drei Buchstaben der Gattung abgekürzt, Artenaufstellung s. Tab. 9)

Bei der Betrachtung der Entwicklung des Flächenwerts auf dem Straßenmittelstreifen am Steglitzer Damm fällt auf, dass mit Ausnahme von *Plantago media* alle ausgesäten Arten auch gekeimt waren und sich mit vergleichsweise vielen Individuen etablieren konnten (Abb. 70). Dazu kommt, dass ihr Anteil auf der Fläche im zweiten Jahr für alle Arten mit Ausnahme von *Helichrysum arenarium* deutlich zunahm. *Thymus pulegioides* konnte am Ende der ersten Vegetationsperiode gar nicht nachgewiesen werden, im zweiten Jahr wurde die Art bereits auf durchschnittlich 4 % der Einzelflächen der Dauerquadrate gefunden. Im Vergleich zu den drei anderen Straßenmittelstreifen, auf denen die Aussaat im Frühjahr 2018 stattgefunden hatte, zeigte sich die Aussaat im Dezember 2018 auf dem Steglitzer Damm sehr viel erfolgreicher.

4.7 Ermittlung des ökologischen Wertes der gebietseigenen Saatgutmischungen

Zur Ermittlung des ökologischen Wertes der untersuchten Saatgutmischungen für die Insektendiversität im Vergleich zu einer standardmäßigen Rasenansaat auf Mittelstreifen wurde über die vierjährige Projektlaufzeit auch das Arteninventar ausgewählter Insektengruppen dokumentiert. Dazu erfolgte während der Vegetationsperiode von April bis September jeweils zur Monatsmitte eine Standortbegehung. Dazu wurde auf den Flächen an verschiedenen Stellen die vorkommende Fauna abgesehen und bis zur späteren Bestimmung der Einzelarten konserviert. Zusätzlich wurden alle beobachteten und auch aus der Entfernung eindeutig bestimmbare Arten kartiert. Aus den Ergebnissen der Beobachtungen vor Ort und den Nachbestimmungen im Labor wurde für die drei Versuchsstandorte (ohne Steglitzer Damm) das zum Datum der Bonitur jeweils vorkommende Arteninventar erstellt.

Für die Sammlung und Bestimmung der Insekten konnte Herr Dr. Frank Koch gewonnen werden, der am Berliner Museum für Naturkunde Kustos der Hymenopteren-Sammlung ist. Nachfolgend werden seine Ergebnisse und Bewertungen aufgeführt.

Für den gesamten Untersuchungszeitraum konnten 283 Arten belegt werden.

Odonata: 2 Arten
 Heteroptera: 56 Arten
 Coleoptera: 75 Arten
 Lepidoptera: 18 Arten
 Diptera: 23 Arten
 Hymenoptera: 109 Arten

Eine Übersicht zum Vorkommen der identifizierten Insektenfauna im Zeitverlauf zwischen den Jahren 2017 und 2020 ist in Tab. 17 dargestellt.

Tab. 17: Entwicklung der Artenzahl ausgewählter Insektenordnungen auf den drei untersuchten Straßenmittelstreifen im Untersuchungszeitraum 2017 bis 2020

Versuchs- fläche	Jahr	Heteroptera		Coleoptera		Lepidoptera	Diptera		Hymenoptera		Odonata
		Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontr./Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontr./Versuch
Heerstraße	2017	10		12		7	2		32		
	2018	16	5	11	6	7	3	1	25	14	1
	2019	19	7	11	3	5	2	5	45	29	
	2020	19	12	19	7	4	12	10	61	43	1
Adlergestell	2017	9		12		6	3		22		
	2018	7	7	12	4	3	2		9	5	
	2019	18	9	12	8	4	2	3	17	17	
	2020	26	15	22	12	3	2	4	26	28	
Frankfurter Allee	2017	10		12		4	1		20		
	2018	7	5	11	4	3	2	2	20	19	
	2019	7	6	9	3	5	2		24	24	
	2020	7	11	13	5	3	6	7	24	25	

¹Die Versuche auf den Straßenmittelstreifen wurden erst im Jahr 2018 angelegt, die faunistischen Untersuchungen begannen aber schon 2017. Deshalb gibt es in diesem Jahr keine Unterscheidung zwischen Kontrolle und Versuchsfläche (grau markierte Felder).

²Bei Odonata und Lepidoptera wird nicht zwischen Kontrolle und Bodenaustausch unterschieden, weil der Fang der Odonata und der meisten Lepidoptera im Fluge geschah. Dabei ist es nicht möglich, zwischen der Bevorzugung einer der Flächen zu unterscheiden.

Der Untersuchungszeitraum ist mit vier Jahren deutlich zu kurz, um bei den extremen Wetterbedingungen innerhalb dieser Jahre signifikante Ergebnisse vorzulegen. Die vorliegenden Ergebnisse lassen jedoch gewisse Trends erkennen und sind für die ökologische Bewertung dieser Mittelstreifen sehr wertvoll.

Observatorien

Die drei Observatorien lassen sich aus tierökologischer Sicht nicht oder nur sehr bedingt miteinander vergleichen.

Das Observatorium „Heerstraße“ mit der vermutlich höchsten Arten-Diversität wird von einer 5-spurigen Straße und einer sehr verkehrsberuhigten Einbahnstraße begrenzt. Hinzu kommt, dass das Observatorium dicht am Ampelbereich liegt.

Das Observatorium „Frankfurter Allee“ liegt zwischen zwei dreispurigen Straßen aber auch im Ampelbereich.

Das Observatorium „Adlergestell“ ist vergleichsweise sehr schmal und liegt zwischen zwei dreispurigen Straßen mit Tempo 70 km/h.

Alle diese Faktoren haben selbstverständlich Einfluss auf die Besiedlung und das Überleben der Arten. Besonders die Geschlechtstiere von Hummeln und sozialen Wespen, die im Frühjahr nach Nisthöhlen suchen, sind besonders gefährdet.

Tierökologische Bewertung

Im Allgemeinen erwartet man auf diesen sehr schmalen Ödland-Habitaten ohnehin nur wenige Arten. Jedoch hat sich gezeigt, dass diese Mittelstreifen aufgrund ihrer Isolation zwischen den Fahrspuren doch Lebensgemeinschaften herausgebildet haben, die hier nicht zu erwarten waren. Das betrifft vor allem Arten, die „Rote-Liste-Status“ haben oder eher südeuropäisch verbreitet sind, die sich hier aber offenbar etablieren konnten. Ein sehr gutes Beispiel ist die Heuschreckensandwespe (*Sphex funerarius*), die erstmals 2019 in der Heerstraße nachgewiesen wurde, aber auch 2020 bestätigt werden konnte. Zu beobachten war weiterhin jedoch, dass die Anzahl der nachgewiesenen Arten von 2017 bis 2020 deutlich gestiegen ist. Das Jahr 2017 wird in diesem Zusammenhang jedoch nicht gewertet, weil in diesem Jahr der April und der September ohne Untersuchungsergebnis geblieben sind. Außerdem wurde in diesem Jahr noch nicht zwischen Kontrolle und Bodenaustausch unterschieden. Diese Unterscheidung begann erst ab 2018.

Phänologische Beobachtungen

Viele Beobachtungen lassen sich vorläufig ökologisch nicht erklären. Hypothetische Schlussfolgerungen müssen zukünftig auf ihre Gültigkeit hin überprüft werden. Einige Beispiele:

- Dazu gehört beispielsweise, dass 2019 nur eine Carabiden-Art nachgewiesen werden konnte.
- Insgesamt sind nur 2017 und 2018 Elateriden-Arten gefangen worden. In den beiden darauffolgenden Jahren konnte diese Familie gar nicht belegt werden.
- Die nach der „Roten Liste“ stark gefährdete Cerambiciden-Art *Phytoecia pustulata* konnte nur 2017 und 2018 in der Frankfurter Allee bestätigt werden. Für 2019 und 2020 gab es keine Belegexemplare.
- Positiv ist zu bewerten, dass *Coccinella septempunctata* auf allen drei Observatorien bestätigt werden konnte und noch nicht von seinem asiatischen Gegenspieler *Harmonia axyridis* verdrängt wurde. Im Gegenteil, in 2020 konnte diese Art nur in wenigen Exemplaren im Adlergestell gesammelt werden.
- Hervorzuheben ist der steigende Anteil der Wanzenarten und -individuen, der vor allem im Adlergestell in 2020 nachweisbar war.
- Tagfalter zeigen auf allen Observatorien einen deutlichen Rückgang, wie die Detaillisten belegen.

Grünflächenamtliche Bewirtschaftung

Die wahrscheinlich höchste Insektendiversität in der Heerstraße resultiert nicht nur aus ihrer besonderen Lage, sondern auch daraus, dass hier während der Vegetationsperiode nicht gemäht worden ist. Besonders negativ ist hier die Frankfurter Allee aufgefallen, deren Vegetation immer extrem kurzgehalten worden ist. Bei starker Sonneneinstrahlung ist das besonders negativ für die Insektenvielfalt und -entwicklung. Insekten konnte praktisch nur im extremen Randbereich des

Mittelstreifens gesammelt werden. Ähnliches gilt für das Adlergestell. Ziel muss es sein, die Pflegemaßnahmen (Mahd) auf ein Minimum zu reduzieren. Ein negativer Einfluss auf die Verkehrssicherheit erscheint weitgehend ausgeschlossen. Ein positiver Effekt auf die Insektenvielfalt ist dagegen 100%ig garantiert.

Unterschied zwischen Kontrolle und Sand-Flächen

Signifikante Unterschiede sind auch hier nur spekulativ. Jedoch konnte vor allem in den Hochsommermonaten beobachtet werden, dass vor allem Hymenopteren, die im Boden nisten – wie die meisten Bienenarten und Grabwespen – auf der Sand-Fläche gehäuft angetroffen wurden. Das gilt vor allem für die Heerstraße und das Adlergestell. In der Frankfurter Allee war dieses Phänomen nur bedingt sichtbar, weil die Mahd auch auf der Kontrollfläche für eine vegetationsarme Oberfläche gesorgt hat. Darüber hinaus war vor allem der Gemeine Natternkopf (*Echium vulgare*) auf der Sand-Fläche als Pollenspender stark frequentiert.

Kommentare zu den Untersuchungsjahren 2017 bis 2019

2017

- **Elateridae:**

Cardiophorus vestigialis (Erichson):

In Mitteleuropa verstreut und selten; wärmeliebend.

- **Cerambicidae:**

Phytoecia pustulata (Schrank):

Auf Grünflächen und Industriebrachen. Entwicklung an Wiesenschafgarbe (*Achillea millefolium*). Nach der Roten Liste Deutschlands stark gefährdet. Mitte Mai in der Frankfurter Allee zahlreich vorhanden.

- **Sesiidae:**

Chamaesphecia empiformis (Esper):

Keine seltene Art, wird aber nicht häufig nachgewiesen.

- **Apidae:**

Bombus ruderarius (O.F. Müller): Nach der Roten Liste Deutschlands (SAURE 2005) gefährdet.

Halictus smaragdulus (Vachal):

Nach SAURE (2005) in Berlin und Brandenburg vom Aussterben bedroht, in Deutschland stark gefährdet. Der Erstnachweis dieser Art gelang SAURE (2005) 2004 in Berlin-Treptow.

Halictus subauratus (Rossi):

Nach SAURE (2005) für Berlin auf der Vorwarnliste geführt, d. h. eine Art, die in ihrem Bestand zurückgeht.

Hylaeus punctatus (Smith):

Nach SAURE (2005) wurde diese Art mit zwei Individuen bisher nur 1994 in der Wuhlheide (Berlin) belegt. Seitdem wurde diese Art in Berlin und Brandenburg nicht wieder nachgewiesen.

Megachile centuncularis (L.):

Nach SAURE (2005) in Berlin gefährdet und in Brandenburg auf der Vorwarnliste.

Osmia adunca (Panzer):

Nach SAURE (2005) in Deutschland auf der Vorwarnliste.

- **Chrysididae**

Pseudomalus pusillus (F.):

Eine sehr kleine Goldwespe (3-5 mm), die vegetationsarme Standorte bevorzugt. Die Art ist nicht selten, wird aber aufgrund ihrer geringen Größe nur selten gesammelt. Die Imagines sind Parasitoide bei Blattläusen und werden sekundär von anderen Grabwespen eingetragen und gelangen somit zu ihrem eigentlichen Wirt. Diese Art wurde mit zahlreichen Individuen Mitte Juli auf der Heerstraße nachgewiesen.

2018

Nachfolgend sind einige Arten genannt, die ökologisch besonders erwähnenswert erscheinen.

- **Odonata:**

Sympecma fusca (Van der Linden):

Der Nachweis der Gemeinen Winterlibelle ist insofern bemerkenswert, da im Observatorium Heerstraße kein Gewässer sichtbar ist. Möglicherweise ist dieses Exemplar in einem Gartenteich der benachbarten Wohnbereiche geschlüpft? Dass dann die Imagines relativ weit von Gewässern anzutreffen sind, ist nicht ungewöhnlich.

- **Hymenoptera:**

Andrena pilipes (Fabricius):

SAURE (2005): Vorwarnliste

Tetramorium caespitum (L.):

Nach SAURE (2005) nicht besonders gefährdet.

Auf den Untersuchungsflächen waren diese Art und deren Nesthügel (siehe Foto) nur auf den Flächen mit Bodenaustausch im April/Mai in der Heerstraße und im Mai in der Frankfurter Allee nachweisbar. Möglicherweise haben sich danach die mikroklimatischen Bedingungen für diese Art, die sandige und wärmeexponierte Standorte bevorzugt, so verändert, dass eine längerfristige Ansiedlung nicht gewährleistet war

Andrena semilaevis (Perez):

SAURE (2005): Gefährdung anzunehmen

Andrena pilipes (F.):

SAURE (2005): Vorwarnliste

Osmia spinulosa (Kirby):

Fehlt in der Liste von SAURE (2005) und ist in Deutschland entsprechend der Roten Liste gefährdet.

Es handelt sich hier um eine seltene *Osmia*-Art. Sie bevorzugt unzerstörte trockenwarme Lebensräume und nistet in leeren Schneckengehäusen. Der Fund auf dem Adlergestell ist auf Grund der Habitatansprüche als besonders bemerkenswert zu betrachten.

Osmia adunca (Panzer):

Nach SAURE (2005) in Deutschland auf der Vorwarnliste.

Bombus humilis (Illiger):

Nach SAURE (2005) in Berlin vom Aussterben bedroht, in Brandenburg gefährdet, in Deutschland auf der Vorwarnliste.

- **Heteroptera:**

Polymerus vulneratus (Panzer):

In der Norddeutschen Tiefebene sehr selten. Erstnachweis in Berlin seit 1980.

Schlussbemerkung

Die Gesamtzahl der 2017 und 2018 nachgewiesenen Insektenarten beträgt 166, inklusive der 12 Curculioniden-Arten. Der Unterschied im Arteninventar zwischen den beiden Jahren ist erheblich. Konkrete Berechnungen zur Artenidentität erscheinen dennoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht sinnvoll, weil die klimatischen Verhältnisse zwischen den beiden Jahren zu unterschiedlich waren und somit ein unrealistisches Ergebnis zustande kommen würde. Deshalb ist vorläufig nur ermittelt worden, dass 58 Arten in beiden Untersuchungsjahren nachweisbar waren. Das entspricht einer Übereinstimmung von nur ca. 52 %.

Damit wird einmal mehr ersichtlich, dass ein entsprechendes Monitoring für eine fundierte Aussage zur Dynamik der Insektendiversität über mehrere Jahre laufen müsste. Ein weiterer besonderer Punkt ist, dass im Jahr 2018 aufgrund der Bodenbearbeitungsmaßnahmen (Bodenaustausch und Fräsen) die Habitate nachhaltig verändert wurden (Mikroklima, Unterschlupf- und Versteckmöglichkeiten, Bruthöhlen, Nahrungsressourcen, etc.) und nach letzten Einschätzungen im Oktober dieser Sukzessionsprozess in seiner Dynamik noch nicht abgeschlossen war. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass auch im nächsten Jahr gerade auf diesen Flächen mit entsprechenden Veränderungen der Diversität zu rechnen ist.

2019

- **Heteroptera**

Oxycarenus lavaterae (F.):

Im Jahr 2019 wurde diese auffällige Art erstmals für Berlin, jedoch mehrfach an verschiedenen Fundorten nachgewiesen. Die ursprüngliche Heimat liegt um das westliche Mittelmeer (Nordafrika, Spanien).

- **Hymenoptera**

Bombus ruderarius (O. F. Müller):

In Berlin gefährdet, in Brandenburg nicht gefährdet (SAURE 2005).

Colletes succinctus (L.):

In Berlin auf der Vorwarnliste (zurückgehend). Das Gleiche gilt für Brandenburg (SAURE 2005).

Sphex funerarius (Gussakovskij):

In Berlin ausgestorben oder verschollen. Das Gleiche gilt für Brandenburg (SAURE 2005). Die Heuschreckensandwespe wurde nach 82 Jahren Abwesenheit 2006 wieder für Sachsen bestätigt. Mehrere Funde sind in den letzten Jahren, vor allem in den Nordsächsischen Heidegebieten hinzugekommen, die ausreichend stabile, reproduzierende Populationen dokumentieren. Obwohl die Art schon immer starken Populationsschwankungen unterlag, ist ihre dauerhafte Etablierung in

Sachsen, unter den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen, sehr wahrscheinlich. Wichtigste Voraussetzung dafür wäre die Erhaltung ihrer hochspeziellen Lebensräume, die leider immer noch als „nutzlose Ödländer“ durch Umwidmung und Überbauung gefährdet sind (LIEBIG & NUß 2012). Die Kontrollfläche in der Heerstraße würde daher die optimalen Habitatansprüche dieser Art erfüllen.

Dryudella pinguis (Dahlbom):

In Berlin gefährdet, in Brandenburg stark gefährdet (SAURE 2005).

Harpactus elegans (Lepelletier):

In Berlin auf der Vorwarnliste, in Brandenburg gefährdet (SAURE 2005).

Oxybelus argentatus (Curtis):

In Berlin und in Brandenburg gefährdet (SAURE 2005).

Osmia (Heriades) crenulata (Nylander):

Nach verschiedenen Autoren (SCHMIEDEKNECHT 1930, WESTRICH 1990) handelt es sich um eine sehr seltene Solitärbiene, die im Wesentlichen in Südeuropa verbreitet ist und von der es nur sehr wenige Nachweise aus Baden-Württemberg gibt. Nach SAURE (2005) scheint diese Bienenart offenbar in Berlin und Brandenburg regelmäßig angetroffen zu werden.

4.8 Kostenanalyse für Herstellung und Pflege der im Projekt entwickelten Saatgutmischungen im Vergleich zu Regelsaatgutmischungen

Eine vergleichende Kostenanalyse von Bodenvorbereitung, Fertigstellungspflege und dauerhafter Pflege der im Projekt beschriebenen Saatgutmischungen mit dem Einsatz von Regelsaatgutmischungen ist mit konkreten Zahlen zu den einzelnen Kostenpositionen nur bedingt möglich. Dabei spielt besonders bei der dauerhaften Pflege der Flächen das Pflegekonzept eine entscheidende Rolle. Der praktische Ansatz vor Ort und die finanziellen Rahmenbedingungen sind in den Kommunen sehr unterschiedlich. Dazu kommt die Frage, ob mit angestelltem Personal gearbeitet oder die Pflege durch externe Dienstleister durchgeführt wird. Ebenso ist für den Abtransport des Mähguts die Frage von Bedeutung, ob die Kompostieranlage, der das Mähgut zugeführt wird, in kommunaler oder privatwirtschaftlicher Verantwortung liegt. Unabhängig davon können die folgende Aussagen getroffen werden.

Für die Herstellung der Projektflächen auf den Berliner Straßenmittelstreifen wurden zwei verschiedene Bodenvorbereitungsvarianten auf drei Flächen durchgeführt. Abweichend davon wurde eine vierte Fläche mit einer Saatgutmischung begrünt, die nach Abschluss einer kommunalen Baustelle zur Verfügung stand. Hier fielen keine Kosten für die Bodenvorbereitung an. Der Baustellenbetreiber sorgte nach Abschluss aller Arbeiten für ein Auffüllen der Baugrube mit nährstoffarmem Sand ohne abschließenden Mutterbodenauftrag. Darauf wurde direkt ohne weitere, vorbereitende Maßnahmen ausgesät. In der Tab. 18 sind die mit dem Anlegen der Projektflächen tatsächlich entstandenen Kosten aufgeführt. Bei der Neuanlage von Flächen sind die dadurch entstehenden Kosten maßgeblich von den regionalen Gegebenheiten abhängig. Im Folgenden werden diese Kosten wegen der Vergleichbarkeit und besseren Übersicht immer auf den Quadratmeter bezogen. Für die Variante Bodenaustausch bedeutet dies, dass je Quadratmeter eine Bodenschicht von 10 cm Tiefe betrachtet wird, wenn Abtrag bzw. Einbau von Boden betroffen sind. Die Kosten für den Füllsand entstehen zu einem beträchtlichen

Teil durch die Lieferkosten. Für geplante Neuanlagen ist demnach entsprechend zu kalkulieren. Der im Projekt verwendete Sand enthielt im Preis von 3,79 € brutto pro Quadratmeter Projektfläche die Lieferkosten. Vergleicht man diesen Preis z. B. mit dem Angebot der Havelbeton GmbH (www.sand-splitt.de), die Füllboden (nährstoffarmer Sand) für 2,19 €/m² (brutto) anbietet (ohne Transportkosten), zeigt sich der hohe Anteil der Lieferkosten an den Gesamtkosten. Da der tatsächliche Preis von der Entfernung zwischen Lieferant bzw. Bergungsort des Füllsandes und der Baustelle abhängig ist, kann kein konkreter Wert für den Anteil der Lieferkosten genannt werden. Nach Recherche bei verschiedenen Anbietern kann aber verallgemeinernd gesagt werden, dass sich der Lieferkostenanteil in einem Bereich zwischen 40 und 50 Prozent des Materialpreises bewegt. Hier besteht Einsparpotenzial, wenn bei Neuanlage von Flächen mit den bestehenden Ressourcen gut geplant wird (z. B. Nutzung von Bodenabträgen anderer kommunaler Baustellen mit entsprechend vorausschauenden Zeitplanung). In der Tab. 18 werden die tatsächlich entstandenen Kosten aufgeführt, die durch die Anlage der Versuchsflächen Adlergestell, Frankfurter Allee und Heerstraße entstanden sind.

Tab. 18: Kostenübersicht für die bodenvorbereitenden Arbeiten auf den Berliner Projektflächen Adlergestell, Frankfurter Allee und Heerstraße

Variante Flächenvorbereitung	Kosten/m ²	
	netto	brutto
<u>Bodenaustausch inkl. Entsorgung Oberboden</u>		
Oberboden abschieben, laden, abfahren, entsorgen bis LAGA Z.2 (Abtragstiefe 10 cm)	7,50 €	8,93 €
Füllsand 0/4 mm incl. Lieferung (10 cm Einbauhöhe, Schüttgewicht 1,6 t/m ³)	3,18 €	3,79 €
Füllsand einbauen	1,92 €	2,28 €
Rasenplanum herstellen (Anpassung an Geländekante)	0,40 €	0,48 €
Summe	13,00 €	15,47 €
<u>Bodenaustausch ohne Entsorgung Oberboden</u>		
	5,50 €	6,55 €
<u>Bodenfräsen</u>		
Fläche fräsen (Frästiefe ca. 15 cm)	0,80 €	0,95 €
Ansaatfläche vorbereiten (mit Kreiselegge)	0,50 €	0,60 €
Rasenansaat herstellen (einschl. anwalzen/anwässern (Flächensprenger, Stadtwasser))	1,50 €	1,79 €
Summe	2,80 €	3,33 €

Die Kosten für die Variante Bodenaustausch sind mit 15,74 € fast fünfmal so hoch wie die Variante Bodenfräsen. Der größte Kostenfaktor wird durch die Entsorgung des abgetragenen Bodens verursacht. Fällt diese Position weg, ergeben sich Kosten, die nur noch doppelt so hoch wie die der Fräs-Variante sind. Allerdings zeigten die Versuche mit den Fräs-Varianten, dass sich hier die gewünschten Pflanzenartenmischungen nur unzureichend etablieren konnten. Diese Bodenvorbereitungsvariante wird deshalb für den Einsatz der entwickelten Saatgutmischungen nicht empfohlen.

Neben den bodenvorbereitenden Maßnahmen entstehen weitere Kosten durch die verwendeten Saatgutmischungen. Diese Kosten sind für die im Projekt getesteten Saatgutmischungen in Tab. 19 dargestellt. In der MAGER-Mischung sorgt der relativ hohe Anteil der Samen von *Armeria maritima* für

vergleichsweise hohe Kosten (1,81 € pro Quadratmeter zu begrünender Fläche). Alle anderen enthaltenen Arten der Mischung verursachen nur einen Bruchteil dieser Kosten. Ähnliches gilt für die INDI-Mischung. Die Gesamtkosten der Mischung pro Quadratmeter in Höhe von 2,43 € enthalten zum größten Teil die Saatgutkosten für *Euphorbia cyparissias* (1,89 €). Für die RUDER-Mischung entstehen moderate Kosten von 0,67 € pro Quadratmeter zu begrünender Fläche. Die Kosten für die Anlage der Grasstreifen, die die einzelnen Versuchsvarianten voneinander trennen sollten, beliefen sich auf 0,19 €/m².

Tab. 19: Kostenaufstellung für die im Projekt hergestellten Saatgutmischungen zur Begrünung der Versuchsstandorte Adlergestell, Frankfurter Allee, Heerstraße

Mischung (g/m ²)	¹ TKG (g)	Saatgutgewicht/m ² (g)	Fremdanteil in Saatgutbestellung	Saatgutgewicht inkl. Fremdanteil/m ² (g)	Samenanzahl/m ²	² niedrigster Kostenwert (€/g)	Kosten/m ²
MAGER (3)							
<i>Armeria maritima</i>	1,370	2,059	23,6%	2,545	1.503	0,45	1,15 €
<i>Dianthus deltooides</i>	0,147	0,221	9,5%	0,242	1.503	0,60	0,15 €
<i>Helichrysum arenarium</i>	0,042	0,062	24,4%	0,078	1.503	2,40	0,19 €
<i>Plantago media</i>	0,302	0,303	3,2%	0,312	1.002	0,19	0,06 €
<i>Potentilla argentea</i>	0,096	0,144	2,7%	0,148	1.503	0,40	0,06 €
<i>Sedum acre</i>	0,023	0,046	39,9%	0,065	2.004	1,90	0,12 €
<i>Thymus pulegioides</i>	0,163	0,163	11,4%	0,182	1.002	0,48	0,09 €
Summe					10.022		1,81 €
RUDER (4)							
<i>Achillea millefolium</i>	0,125	0,132	44,7%	0,191	1.053	0,30	0,06 €
<i>Campanula rotundifolia</i>	0,030	0,032	0,0%	0,032	1.053	1,40	0,04 €
<i>Echium vulgare</i>	2,766	2,912	0,4%	2,923	1.053	0,10	0,29 €
<i>Falcaria vulgaris</i>	0,766	0,302	6,8%	0,323	395	0,38	0,12 €
<i>Hypericum perforatum</i>	0,099	0,078	30,1%	0,102	790	0,15	0,02 €
<i>Linaria vulgaris</i>	0,115	0,061	27,9%	0,077	526	0,80	0,06 €
<i>Salvia pratensis</i>	1,224	0,483	3,4%	0,500	395	0,15	0,07 €
Summe					5.265		0,67 €
INDI (4)							
<i>Anchusa officinalis</i>	3,260	0,559	12,1%	0,627	171	0,56	0,35 €
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,383	0,197	4,5%	0,206	514	0,08	0,02 €
<i>Centaurea cyanus</i>	3,978	1,705	2,9%	1,755	429	0,04	0,07 €
<i>Euphorbia cyparissias</i>	2,447	1,259	0,0%	1,259	514	1,50	1,89 €
<i>Galium verum</i>	0,358	0,123	2,0%	0,125	343	0,30	0,04 €
<i>Jasione montana</i>	0,018	0,011	0,0%	0,011	600	3,20	0,04 €
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	0,411	0,141	5,2%	0,148	343	0,06	0,01 €
<i>Sedum sexangulare</i>	0,013	0,006	47,2%	0,010	514	2,40	0,02 €
Summe					3.429		2,43 €
GRAS (2)							
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	0,600	1,622	0,0%	1,622	2.703	0,05	0,08 €
<i>Agrostis capillaris</i>	0,050	0,135	0,0%	0,135	2.703	0,30	0,04 €
<i>Corynephorus canescens</i>	0,090	0,243	0,0%	0,243	2.703	0,30	0,07 €
Summe					8.108		0,19 €

¹TKG = Tausendkorngewicht (eigene Messungen), ²Der niedrigste Kostenwert spiegelt den günstigsten Einkaufspreis für verschiedene Anbieter, Bestellzeitpunkte sowie Abnahmemengen für die einzelnen Saatgutchargen wider.

Ein weiterer Kostenfaktor bei der Etablierung der Saatgutmischungen war die einmalige Entfernung von Nicht-Zielarten auf den Projektflächen. Dabei wurde im Durchschnitt der vier Projektflächen für diesen Arbeitsgang eine halbe Arbeitskraft-Stunde je 100 m² Fläche benötigt. Die dafür entstehenden Kosten sind bei einer geplanten Neuanlage auf Grundlage der jeweils vor Ort anfallenden Arbeitskraftkosten zu kalkulieren.

Im Rahmen der laufenden Pflege ist für alle Flächen im Jahr der Ansaat keine weitere Pflege notwendig. Ab dem zweiten Jahr muss eine einmalige Mahd mit Mähgutabfuhr eingeplant werden. Die Entsorgungskosten für das Mähgut sind – falls die Kommune nicht über eigene Kompostieranlagen verfügt – in der Regel direkt zwischen den Vertragspartnern verhandelte Preise und daher schwer in Erfahrung zu bringen. Für das Jahr 2017 konnten durch eine inoffizielle Mitteilung Entsorgungskosten von 31,12 €/t Mähgut (inklusive Transport) in einem Berliner Bezirk ermittelt werden. Die Pflegekosten (Mahd) beliefen sich zu diesem Zeitpunkt auf 6 Cent pro Quadratmeter Fläche.

4.9 Abschließende Bewertung der entwickelten und getesteten Saatgutmischungen für die Verwendung in der Praxis

Auf Grundlage der Ergebnisse aller Versuche während der Projektlaufzeit können für die drei entwickelten Saatgutmischungen die folgenden Aussagen getroffen werden:

1. Die späte Aussaat im Jahr (Ende November/Anfang Dezember) bietet den verschiedenen Arten eine an die individuellen Keimungsansprüche sehr gut angepasste Möglichkeit zur sicheren Bestandsgründung und wird für die Neuanlage von zu begrünenden Flächen ausdrücklich empfohlen.
2. Die Bodenvorbereitung ist ein entscheidendes Kriterium für die erfolgreiche Etablierung der Mischungen. Der Austausch des Oberbodens durch nährstoffarmen Sand führte zumindest kurzfristig zu einem Konkurrenzvorteil für die Zielarten. Unerwünschte Nicht-Zielarten, die zu einer Verdrängung der Zielarten führen könnten, können sich nur eingeschränkt etablieren. Die wenigen Pflanzen der Nicht-Zielarten, die sich dennoch ansiedeln, sollten im ersten Standjahr vor der Samenreife komplett von der Fläche entfernt werden. Das Vorkommen eines nährstoffarmen, sandigen Substrats auch in tieferen Bodenschichten ist mittel- und langfristig für die Etablierung der Saatgutmischungen vorteilhaft.
3. Der durchwurzelbare Raum sollte für den Einsatz aller Saatgutmischungen mindestens 100 cm betragen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich die Pflanzen mit der Überlebensstrategie des Tiefwurzels auch in Trockenzeiten ausreichend mit Wasser versorgen können.
4. Das einmalige Fräsen der Flächen führte nur unzureichend zur Etablierung der Zielarten und wird daher nicht empfohlen.
5. Die drei Saatgutmischungen RUDER, MAGER und INDI konnten sich auch unter sehr schwierigen Standortbedingungen (Trockenheit, Hitze, Trittbelastung) etablieren.
6. Die Pflanzenbestände waren in den jeweiligen Mischungen optisch durch die ausgesäten Zielarten geprägt.
7. Die Zielarten kamen in größerem Umfang ab dem zweiten Standjahr zu Blüte und Samenbildung. Die Vermehrung durch Selbstaussaat und/oder vegetative Vermehrung fand

bei vielen Arten erfolgreich statt. Bei den meisten Arten kam es zu einer Zunahme der Bestandsgröße.

8. Die Kornblume (*Centaurea cyanus*) kann als dienende Pflanzenart universell in allen Mischungen eingesetzt werden. Die meisten Zielarten sind Stauden, die erst im zweiten Standjahr blühen. Die Kornblume blüht schon im Jahr der Aussaat und erzeugt somit schon im ersten Jahr einen optisch ansprechenden Eindruck der Fläche zumindest für einen Teil des Jahres und stellt auch für verschiedene Insektenarten eine wertvolle Nahrungsquelle dar. Die Art verschwindet innerhalb weniger Jahre von den Flächen aufgrund ihrer spezifischen Standortansprüche (jährlicher Bodenumbbruch).
9. Die natürliche Sukzession führt relativ schnell zu einer steigenden Artenzahl auf den Flächen, auf denen ein Bodenaustausch des Oberbodens bis zu einer Tiefe von 10 cm erfolgt ist bzw. wenn der Boden tiefgründig aus nährstoffarmem Sand besteht. Hier siedeln sich auch Pflanzenarten an, die wichtige und ergiebige Trachtpflanzen für eine Vielzahl an Insekten sind (z. B. *Melilotus officinalis*).
10. Die in den Saatgutmischungen enthaltenen Pflanzenarten zeigten in den verschiedenen Versuchen keine Ausbreitungstendenz, die so stark war, dass andere Arten deutlich sichtbar verdrängt wurden. Für die Zypressen-Wolfsmilch (*Euphorbia cyparissias*) kann die Stärke der Konkurrenzkraft noch nicht abschließend beurteilt werden. Die Bestände entwickelten sich auf allen Flächen aus wenigen Einzelpflanzen durch unterirdische Rhizombildung kontinuierlich zu immer größeren Beständen.
11. Alle getesteten Saatgutmischungen bildeten Bestände, die nicht den Charakter einer Wiese hatten. Stattdessen entwickelten sich vielgestaltige, räumliche Strukturen mit lockerem Aufbau. Es kam nicht zu einer vollständigen Bodendeckung, sondern es entwickelten sich oberflächliche Strukturen, die den Verhältnissen auf natürlichen Trockenrasen ähneln. Dadurch werden Lebensräume für eine Vielzahl an Insekten geschaffen, die solche Strukturen für ihren Entwicklungszyklus benötigen. Gleichzeitig wird der Pflanzenbestand vor einer zu starken Austrocknung des Bodenkörpers geschützt.

Für die folgende Beschreibung der Saatgutmischungen werden einzelne Arten auch hinsichtlich ihrer Bedeutung als Nahrungsquelle für Insekten bewertet. Für diese Einordnung spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Unter anderem haben hier die Wechselwirkungen zwischen dem Vorkommen (Abundanz) und dem Bienenweidewert der Pflanzen einen Einfluss. Ähnlich verhält es sich mit unterschiedlichsten Umwelteinflüssen und auch dem Zeitpunkt im Jahr. Verallgemeinerungen sollten auf Grundlage von Untersuchungen an verschiedenen Standorten und nach verschiedenen Methoden getroffen werden (PRITSCH 2018). Die Menge und Qualität des angebotenen Nektars bzw. Pollens werden bei verschiedenen Autoren durch die Einordnung auf einer vierstufigen Skala vorgenommen. Eine Beschreibung der Herleitung der Werte wurde in der zitierten Literatur nicht gefunden. Jedoch geben die Angaben in ihrer Gesamtheit einen guten Überblick, ob die jeweiligen Pflanzenarten einen im Vergleich zu anderen Arten besonderen Nutzen für die Insektenernährung besitzen. Die Werte auf der vierstufigen Nektar- und Pollenwertskala sind folgendermaßen definiert: (0 = keine Tracht), 1 = gering, 2 = mittel, 3 = gut, 4 = sehr gut.

Für die Empfehlungen zum Einsatz der getesteten Saatgutmischungen in der Praxis wurden aus den gewonnenen Erkenntnissen der durchgeführten Versuche die Mischungen in ihren Saatgutanteilen

mehr oder weniger stark modifiziert, zwei der ursprünglich enthaltenen Arten wurden aus der Mischungsempfehlung ganz gestrichen.

MAGER-Mischung

Die Bestandteile der MAGER-Mischung wurden nach der Aussaat auf den ersten drei Straßenmittelstreifen angepasst. Diese leicht modifizierte Mischung (MAGER+-Saatgutmischung) wurde dann auf dem vierten Straßenmittelstreifen (Steglitzer Damm) ausgesät. Aus den Ergebnissen der zweijährigen Bestandsdauer an diesem Standort wird für den Einsatz auf trockenen, sandigen und nährstoffarmen urbanen Standorten – beispielsweise Straßenmittelstreifen mit entsprechenden Bodeneigenschaften – die MAGER+-Mischung empfohlen, deren Bestandteile nochmals leicht verändert wurden (s. Tab. 20 im Anschluss an die Beschreibung der modifizierten Saatgutmischungen). *Plantago media* wurde aus der Mischung gestrichen (ungenügende Etablierung auf den Versuchsflächen) und die prozentualen Anteile von *Armeria maritima* in der Mischung halbiert. *Armeria maritima* konnte sich sehr gut auf den Versuchsstandorten etablieren und sorgte bereits im zweiten Jahr nach der Ansaat für eine reichliche Vermehrung durch Selbstaussaat. Die Art ist für eine Vielzahl von Insekten attraktiv und spielt nach VENNE & BLEIDORN (2005) eine wichtige Rolle als Nektar- und Pollenquelle für Stechimmen. Im Trachtkalender der SNSH (2016) wird der Nektarwert Gut und der Pollenwert Mittel angegeben. Natürlich vorkommend auf Sandböden und in Trockenrasen, sekundär auch an Autobahnen (OBERDORFER 2001) sowie teilweise auch auf Straßenmittelstreifen im Berliner Raum (MACHATZI 2021) ist *Armeria maritima* eine Schlüsselart in der MAGER-Mischung. Für den Erhalt der Art besitzt Deutschland eine besondere Verantwortung. *Armeria maritima* ist in Brandenburg in ihrem Bestand gefährdet und steht in Berlin auf der Vorwarnliste. Sie beginnt schon relativ früh im Jahr zu blühen und setzt ihre Blüte bis in den Herbst fort, sodass einer Vielzahl an Insektenarten eine lange Zeit im Jahr Pollen und Nektar als Nahrungsquelle zur Verfügung steht. Außerdem besitzt *Armeria maritima* mit ihren ganzjährig dunkelgrünen, igelförmig aussehenden Blattrosetten und den rosafarbenen, kugeligen Blütenständen, die auf etwa 30 cm langen, dünnen Stängeln sitzen, ein sehr eigentümliches und ästhetisches Aussehen. Die Art ist aktuell noch vergleichsweise teuer in der Saatgutbeschaffung mit entsprechend hohen Kosten je zu begründendem Quadratmeter. Die Verringerung des Anteils in der Saatgutmischung senkt die Kosten erheblich, ohne die Charakteristik der Mischung stark zu verändern. Mit 1,05 €/m² sind die Gesamtkosten im Vergleich zu Regelsaatgutmischungen um ein Vielfaches höher. Beispielhaft kostet ein Landschaftsrasen mit Kräutern für Trockenlagen (Regelsaatgutmischung 7.2.2) nur 0,18 €/m² bei der total10 GmbH (www.rasensamen-kaufen.de). Allerdings liegt der Kräuter-Anteil in dieser Grasmischung (81,9 % der Samen sind *Festuca*-Arten/-Sorten) bei nur 1,3 %. Die zu erwartende Begrünung entspricht daher einem Rasen mit einem geringen Kräuter-Anteil. Der Saatgutanteil von *Corynephorus canescens* wurde ebenfalls deutlich gesenkt, da die Winteraussaat offensichtlich zu sehr guten Keimerfolgen führt und sich die Art entsprechend häufig auf der Versuchsfläche am Steglitzer Damm etablieren konnte. Um den Charakter der Mischung nicht hauptsächlich durch das Gras bestimmen zu lassen, wird der Anteil in der Mischung um deutlich mehr als die Hälfte verringert. *Corynephorus canescens* sollte sich auch langfristig auf Flächen halten können, die ähnliche Eigenschaften wie die Versuchsfläche am Steglitzer Damm haben. Der sandige Boden ist ein idealer Standortfaktor, da *Corynephorus canescens* zwar eine mitteleuropäische Verbreitung besitzt, aber innerhalb ihres Areals nur auf lockeren, mehr oder weniger stark sauren Sandböden zu finden ist (ELLENBERG 1996). Für alle anderen Arten wurden die Werte für das Saatgutgewicht gerundet, sodass es hier zu geringen Zu- bzw. Abnahmen der jeweiligen

Arten in der empfohlenen Mischung im Vergleich zu der ausgesäten Mischung kommt. Diese Rundungen wurden analog auch für die empfohlenen Mischungen INDI und RUDER vorgenommen. Mit der Hinzunahme von *Centaurea cyanus* zur Saatgutmischung wird neben der Herstellung eines ästhetischen Blühaspekts schon im ersten Jahr durch den Bestand dieses Therophyten ein zusätzlicher Schutz für den sich darunter entwickelnden, langfristig zu etablierenden Pflanzenbestand geschaffen. Dazu kommt, dass *Centaurea cyanus* auch eine besonders wertvolle Trachtpflanze ist. Ihr Nektar- und Pollenwert wird von der DWS (2021) jeweils als Gut eingestuft, RIEGER-HOFMANN (2020) stufen beide Werte als Sehr gut ein. Auch OBERDORFER (2001) stuft die Art als Bienenweide ein. Auf den Projektflächen wurde die Keimung der Pflanzen besonders im Spätherbst, aber auch im Frühwinter und im beginnenden Frühjahr beobachtet. Dies deckt sich auch mit den Angaben von LAUER in ELLENBERG (1963), der für die Art eine Keimtemperatur ab 7 °C angibt. Alle weiteren Arten der empfohlenen Saatgutmischung decken sich weitgehend hinsichtlich ihrer Anteile mit den Anteilen der im Projekt getesteten Mischung.

Tab. 20: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten MAGER+-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise

Mager+ (Mengen)	empfohlene Mischung			getestete Mischung	Differenz Samenanzahl/m ²
	Samenanteil	¹ Samengewicht/m ² (g)	Samenanzahl/m ²	Samenanzahl/m ²	
<i>Armeria maritima</i>	7,5%	1,000	730	1.503	-773
<i>Dianthus deltooides</i>	13,9%	0,200	1.358	1.503	-145
<i>Helichrysum arenarium</i>	14,8%	0,060	1.445	1.503	-58
<i>Plantago media</i>			0	1.002	-1.002
<i>Potentilla argentea</i>	16,0%	0,150	1.563	1.503	60
<i>Sedum acre</i>	22,1%	0,050	2.160	2.004	156
<i>Thymus pulegioides</i>	9,4%	0,150	919	1.002	-83
<i>Corynephorus canescens</i>	11,3%	0,100	1.111	2.703	-1.592
<i>Centaurea cyanus</i>	5,1%	2,000	503	528	-25
Summe		3,7	9.790	13.253	-3.462

MAGER+ (Kosten)	2017		2021		Differenz 2017/2021
	² niedrigster Preis (€/g)	Preis/m ²	³ Preis (€/g)	Preis/m ²	
<i>Armeria maritima</i>	0,45 €	0,45 €	0,42 €	0,42 €	-0,03 €
<i>Dianthus deltooides</i>	0,60 €	0,12 €	0,28 €	0,06 €	-0,32 €
<i>Helichrysum arenarium</i>	2,40 €	0,14 €	1,20 €	0,07 €	-1,20 €
<i>Plantago media</i>					
<i>Potentilla argentea</i>	0,40 €	0,06 €	0,20 €	0,03 €	-0,20 €
<i>Sedum acre</i>	1,90 €	0,10 €	0,95 €	0,05 €	-0,95 €
<i>Thymus pulegioides</i>	0,48 €	0,07 €	0,40 €	0,06 €	-0,08 €
<i>Corynephorus canescens</i>	0,30 €	0,03 €	0,25 €	0,03 €	-0,05 €
<i>Centaurea cyanus</i>	0,04 €	0,08 €	0,04 €	0,07 €	-0,01 €
Summe		1,05 €		0,78 €	

¹Das Saatgut enthält je nach Erntejahr, Erntemethode und weiteren Einflussfaktoren eine beträchtlich schwankende Menge an Beimengungen. Auch stellen die Tausendkorngewichte keine feststehenden Werte dar, sondern sind nur Anhaltspunkte und variieren ebenfalls (eigenen Untersuchungen). Um diese Variabilität auszuschließen, bezieht sich das Saatgutgewicht ausschließlich auf die Samen.

²Der niedrigste Preis spiegelt den günstigsten Einkaufspreis bei Vergleich verschiedener Anbieter, Bestellzeitpunkte sowie Abnahmemengen für die einzelnen Saatgutchargen wider und bezieht sich auf den Zeitraum zwischen 2017 und 2018, da das Saatgut für die Parzellenversuche im Frühjahr 2017 und für die Versuche auf den Straßenmittelstreifen erst im Winter 2018 beschafft wurde.

³Der Preis für das Jahr 2021 bezieht sich auf die Preisangaben im aktuell gültigen Katalog der Rieger-Hofmann GmbH, die gebietseigenes Pflanzensaatgut mit gesicherten Herkünften anbietet.

INDI-Mischung

Die Anteile von *Jasione montana* und *Sedum sexangulare* wurden um ca. ein Drittel bzw. etwa die Hälfte erhöht. Beide Arten waren auch unter den Bedingungen einer regelmäßigen Bewässerung nach der Aussaat (Parzellenversuche am Campus Dahlem) nicht sehr stark auf den Flächen vertreten. Gleichzeitig stellen sie durch ihr Wuchs- und Ausbreitungsverhalten keine starke Konkurrenz gegenüber anderen Arten dar, werden aber als besonders wildbienenfreundliche Trachtpflanzen empfohlen (DWS 2021). Das MLR (2019) und auch die SNSH (2016) stufen *Jasione montana* als eine Trachtpflanze mit mittlerem Pollen- und gutem Nektarangebot ein. Auch *Anchusa officinalis* ist eine wertvolle Trachtpflanze. Bei ULMER (2021) wird aufgeführt, dass sieben Wildbienenarten auf *Anchusa officinalis* Pollen sammeln, darunter die oligolektische Ochsenzungen-Seidenbiene, deren Bestandsstatus als sehr selten und die Art als stark gefährdet eingestuft wird. Für *Anchusa officinalis* wurde der Saatgutanteil um etwa 10 Prozent gesenkt, da die Pflanzen eine beachtliche Größe erreichen können und dann auch eine vergleichsweise große Fläche einnehmen. Außerdem bilden sie viele Samen, die auch unter schwierigen Wetterbedingungen reichlich keimen. Demnach sollten sich nicht zu viele Pflanzen pro Flächeneinheit aus dem ausgebrachten Saatgut entwickeln. Unter Imkern wird die Art kritisch gesehen, da sie, wie auch *Echium vulgare*, Verbindungen aus der Gruppe der Pyrrolizidinalkaloide (PAs) enthält, die ab einem bestimmten Grenzwert im Honig für Menschen ein Gefährdungspotenzial darstellen. Andererseits akkumulieren verschiedene Insektenarten PAs in ihrem Körper durch Nutzung der entsprechenden Pflanzenarten für den Schutz vor Fraßfeinden (BOPPRÉ & FISCHER 1999).

Der Anteil von *Euphorbia cyparissias* in der empfohlenen Saatgutmischung wurde auf null gesenkt. Dies liegt daran, dass das Saatgut in der ursprünglichen Mischung mit 1,89 € pro Quadratmeter teurer war als z. B. die komplette ursprüngliche MAGER-Mischung. Außerdem konnten sich trotz einer hohen Anzahl ausgebrachter Samen nur wenige Pflanzen etablieren. Die Ursache hierfür kann nicht benannt werden. OBERDORFER (2001) berichtet von einer langzeitigen Samenbank (über 30 Jahre) und dass die Art vor allem in initialen Trockenrasen vorkommt. Ebenso konnten POSCHLOD und JORDAN (1992) zeigen, dass *Euphorbia cyparissias* bis in eine Bodentiefe von 13 cm in den verschiedenen Bodenschichten eine nicht unerheblich große Samenbank gebildet werden kann, die auch keimfähig ist. Da die Art als eine der ersten im Jahr blüht, stellt sie eine besonders wichtige Trachtpflanze dar und sollte trotz der hohen Saatgutkosten in der Mischung enthalten sein. Die SNSH (2019) gibt den Nektar- und Pollenwert mit mittel bzw. gering an. Ebenso ist sie für den Wolfsmilchschwärmer in Mitteleuropa fast die alleinige Nahrungsquelle der Raupen (LEPIFORUM 2021). Als eine Alternative zur Aussaat können auch vorkultivierte Einzelpflanzen auf der zu begrünenden Fläche ausgepflanzt werden. Die Art ist ein ausläufertreibender und bodenfestigender Wurzelkriechpionier (OBERDORFER 2001) und auch die eigenen Untersuchungen zeigten, dass sich aus wenigen Einzelpflanzen ein Bestand entwickeln kann. Deshalb reicht es aus, auf einigen wenigen Stellen der zu begrünenden Fläche Einzelpflanzen zu setzen. Dies kann direkt im Rahmen der Aussaat durchgeführt werden. Zum empfohlenen Aussaatzeitpunkt im Spätherbst (Ende November/Anfang Dezember) sollte normalerweise genügend Bodenfeuchtigkeit auf der Fläche vorhanden sein, um den Pflanzen ein Einwurzeln bis zum Beginn der darauffolgenden Vegetationsperiode zu ermöglichen, ohne weitere Bewässerungsgänge nach dem einmaligen Angießen durchführen zu müssen. Durch die Rhizombildung entstehen um die gepflanzten Exemplare mittelfristig mehr oder weniger große Spots dieser Art, die natürlicherweise auch auf sandigen, trockenen, nährstoffarmen und sonnigen Böden vorkommt (SCHUBERT et al. 2001).

Tab. 21: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten INDI-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise

INDI (Mengen)	empfohlene Mischung			getestete Mischung	Differenz Samenanzahl/m ²
	Samenanteil I	¹ Samen- gewicht/m ² (g)	Samen- anzahl/m ²	Samenanzahl/m ²	
<i>Anchusa officinalis</i>	4,4%	0,500	153	171	-18
<i>Anthemis tinctoria</i>	14,9%	0,200	523	514	8
<i>Centaurea cyanus</i>	14,4%	2,000	503	429	74
<i>Euphorbia cyparissias</i>			0	514	-514
<i>Galium verum</i>	10,0%	0,125	349	343	7
<i>Jasione montana</i>	23,5%	0,015	820	600	220
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	10,1%	0,145	353	343	10
<i>Sedum sexangulare</i>	22,7%	0,010	795	514	281
Summe		3,0	3.497	3.429	68

INDI (Kosten)	2017		2021		Differenz 2017/2021
	² niedrigster Preis (€/g)	Preis/m ²	³ Preis (€/g)	Preis/m ²	
<i>Anchusa officinalis</i>	0,56 €	0,28 €	0,45 €	0,23 €	-0,11 €
<i>Anthemis tinctoria</i>	0,08 €	0,02 €	0,08 €	0,02 €	0,00 €
<i>Centaurea cyanus</i>	0,04 €	0,08 €	0,04 €	0,07 €	-0,01 €
<i>Euphorbia cyparissias</i>					
<i>Galium verum</i>	0,30 €	0,04 €	0,15 €	0,02 €	-0,15 €
<i>Jasione montana</i>	3,20 €	0,05 €	1,40 €	0,02 €	-1,80 €
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	0,06 €	0,01 €	0,06 €	0,01 €	-0,01 €
<i>Sedum sexangulare</i>	2,40 €	0,02 €	1,40 €	0,01 €	-1,00 €
Summe		0,49 €		0,37 €	

¹Das Saatgut enthält je nach Erntejahr, Erntemethode und weiteren Einflussfaktoren eine beträchtlich schwankende Menge an Beimengungen. Auch stellen die Tausendkorngewichte keine feststehenden Werte dar, sondern sind nur Anhaltspunkte und variieren ebenfalls (eigenen Untersuchungen). Um diese Variabilität auszuschließen, bezieht sich das Saatgutgewicht ausschließlich auf die Samen.

²Der niedrigste Preis spiegelt den günstigsten Einkaufspreis bei Vergleich verschiedener Anbieter, Bestellzeitpunkte sowie Abnahmemengen für die einzelnen Saatgutchargen wider und bezieht sich auf den Zeitraum zwischen 2017 und 2018, da das Saatgut für die Parzellenversuche im Frühjahr 2017 und für die Versuche auf den Straßenmittelstreifen erst im Winter 2018 beschafft wurde.

³Der Preis für das Jahr 2021 bezieht sich auf die Preisangaben im aktuell gültigen Katalog der Rieger-Hofmann GmbH, die gebietseigenes Pflanzensaatgut mit gesicherten Herkünften anbietet.

RUDER-Mischung

In der Mischung wurde der Anteil von *Campanula rotundifolia* um etwa 10 % erhöht. Speziell die Glockenblumen (*Campanula spec.*) sind Pollenquelle für viele hochspezialisierte Bienenarten. Dies sind hauptsächlich Scherenbienen, einige Sandbienenarten, die Glockenblumen-Sägehornbiene und in Süddeutschland auch einige Mauerbienenarten (DWS 2021). Auch das MLR (2019) empfiehlt die Art ausdrücklich als Bienenweide, besonders auf mageren Standorten. Die SNSH (2016) stuft die Art als guten Pollen- und guten Nektarspender ein. *Campanula rotundifolia* konnte sich auf den Straßenmittelstreifen nicht etablieren, dagegen aber dauerhaft in den Parzellenversuchen mit regelmäßiger Bewässerung während der Keimphase. Da nach OBERDORFER (2001) die Pflanzen bis zu 120 cm tief wurzeln und auch verbreitet in Magerrasen und an Wegrändern vorkommen und auch ELLENBERG (1994) die Pflanze als Trockenanzeiger einstuft, kann davon ausgegangen werden, dass das Nichtvorhandensein der Pflanzen auf den Versuchsflächen an den widrigen Bedingungen während der

Aussaat lag. Durch die späte Aussaat im Jahr sollte entsprechend auch ein Etablieren der Art möglich sein. Dabei wird die Bestandsbildung wahrscheinlich hauptsächlich über die vegetative Vermehrung stattfinden. OBERDORFER (2001) führt aus, dass die Art zum Teil Wurzelkriecher ist. Gleichzeitig ist die Samenbank meist temporär-kurzzeitig (über 1 Jahr). Das fanden auch POSCHLOD und JORDAN (1992). Nach ihren Untersuchungen auf keimfähige Diasporen in 0-13 cm Bodentiefe konnten sie auf einer Untersuchungsfläche, auf der *Campanula rotundifolia* regelmäßig vorkam, nicht eine gekeimte Diaspore pro Quadratmeter nachweisen. Diese Tatsache trifft auch für weitere Pflanzenarten auf Magerweiden zu, die zwar Samen produzieren, aber von denen man im Boden keine keimfähigen Samen findet (BERNHARDT 1991).

Der Anteil von *Echium vulgare* in der Saatgutmischung wurde um etwa ein Drittel verringert. Die Art war sowohl auf den Versuchsflächen der Straßenmittelstreifen als auch im Parzellenversuch jeweils die bestandsbildende Art mit relativ hohem Deckungsgrad. Um andere Pflanzenarten der Mischung in ihrer Entwicklung zu unterstützen, wurde die Reduzierung der empfohlenen Saatgutmenge vorgenommen. Gleichzeitig bilden die Pflanzen nach der Blüte im zweiten Standjahr viel Saatgut, das auch reichlich keimt und so für den Fortbestand der Art sorgen kann. *Echium vulgare* ist Nektar- und Pollenlieferant für eine Vielzahl verschiedener Insektenarten. Auf der vierstufigen Pollen- bzw. Nektarskala der DWS (2021) werden für *Echium vulgare* die Werte Mittel bzw. Gut angegeben. Dazu kommt, dass z. B. die Natterkopf-Mauerbiene als Nahrungsspezialist auf *Echium vulgare* als einzig mögliche Nahrungsquelle angewiesen ist. Der hohe ökologische Wert von *Echium vulgare* wird auch dadurch ersichtlich, dass an dieser Art 37 verschiedene Wildbienenarten Pollen bzw. Nektar sammeln (ULMER 2021).

Der Anteil von *Linaria vulgaris* wird um fast zwei Drittel erhöht. Obwohl die Art als Störzeiger oft auf gestörten Standorten anzutreffen ist (OBERDORFER 2001, SCHUBERT et al. 2001), konnten sich auf den Versuchsflächen der Straßenmittelstreifen keine Pflanzen etablieren. Im Parzellenversuch konnte sich die Art dauerhaft etablieren, allerdings zunächst nur mit relativ wenigen Exemplaren auf den jeweiligen Parzellen. *Linaria vulgaris* kommt u. a. in der Dachtrespen-Gesellschaft vor, die auf sandige Böden und die Wärmegebiete Deutschlands beschränkt ist (SCHUBERT et al. 2001). Gleichzeitig ist sie ein Rohbodenpionier, der bis zu 100 cm tief wurzelt (OBERDORFER 2001). Auch die im Projekt durchgeführten Trockenstressversuche zeigten, dass die Art gut an Trockenstressbedingungen angepasst ist. Durch den empfohlenen späten Aussaatzeitpunkt und die Erhöhung der Samenmenge in der Mischung sollte eine erfolgreiche und dauerhafte Etablierung für zukünftige Begrünungsvorhaben möglich sein. Die starke Erhöhung der empfohlenen Menge ist deshalb vertretbar, weil die Art in Bezug auf die anderen Arten der Mischung keinen großen Konkurrenzdruck aufbaut. Ihr Wuchsverhalten ist zwar durch eine starke vegetative Vermehrung über Wurzeläusläufer geprägt (BORSTEL 1974), allerdings bilden sich keine geschlossenen, dichten Bestände, sondern unter den gegebenen, nährstoffarmen und trockenen Standortbedingungen sehr lockere und lichte Bestände. *Linaria vulgaris* wird aufgrund der speziellen Morphologie der Blüten besonders gern von Hummeln angefliegen. ULMER (2021) gibt an, dass die Art für die Luzerne-Sägehornbiene (*Melitta leporina*) und die Garten-Wollbiene (*Anthidium manicatum*) Pollenlieferant ist. Die DWS (2021) listet in ihrer Staudenliste und in ihrer Wildbienenfreundlichen Blütmischung sämtliche Arten auf, die wichtige Nektar- und Pollenquellen darstellen. Die aufgeführten Pflanzen dienen neben den Wildbienen auch vielen anderen Insektenarten wie Schmetterlingen, Käfern, Fliegen oder Wespen als

Nahrungsquelle. *Linaria vulgaris* wird in diesem Zusammenhang als wichtiger Nektar- und Pollenlieferant genannt, Rieger-Hofmann (2020) stufen den Nektarwert und den Pollenwert mit Gut bzw. Gering ein.

Tab. 22: Vergleich der empfohlenen mit der im Projekt getesteten RUDER-Mischung hinsichtlich der enthaltenen Arten, Saatgutmengen und -preise

RUDER (Mengen)	empfohlene Mischung			getestete Mischung	Differenz Samenanzahl/m ²
	Samenanteil	¹ Samen- gewicht/m ² (g)	Samen- anzahl/m ²	Samenanzahl/m ²	
<i>Achillea millefolium</i>	19,2%	0,130	1.037	1.053	-15
<i>Campanula rotundifolia</i>	21,6%	0,035	1.167	1.053	114
<i>Echium vulgare</i>	13,4%	2,000	723	1.053	-330
<i>Falcaria vulgaris</i>	7,2%	0,300	392	395	-3
<i>Hypericum perforatum</i>	14,9%	0,080	807	790	17
<i>Linaria vulgaris</i>	16,1%	0,100	870	526	344
<i>Salvia pratensis</i>	7,6%	0,500	409	395	14
Summe		3,1	5.265	5.404	140

RUDER (Kosten)	2017		2021		Differenz 2017/2021
	² niedrigster Preis (€/g)	Preis/m ²	³ Preis (€/g)	Preis/m ²	
<i>Achillea millefolium</i>	0,30 €	0,04 €	0,06 €	0,01 €	-0,24 €
<i>Campanula rotundifolia</i>	1,40 €	0,05 €	0,70 €	0,02 €	-0,70 €
<i>Echium vulgare</i>	0,10 €	0,20 €	0,14 €	0,28 €	0,04 €
<i>Falcaria vulgaris</i>	0,38 €	0,11 €	0,30 €	0,09 €	-0,08 €
<i>Hypericum perforatum</i>	0,15 €	0,01 €	0,12 €	0,01 €	-0,03 €
<i>Linaria vulgaris</i>	0,80 €	0,08 €	0,40 €	0,04 €	-0,40 €
<i>Salvia pratensis</i>	0,15 €	0,08 €	0,14 €	0,07 €	-0,01 €
Summe		0,57 €		0,52 €	

¹Das Saatgut enthält je nach Erntejahr, Erntemethode und weiteren Einflussfaktoren eine beträchtlich schwankende Menge an Beimengungen. Auch stellen die Tausendkorngewichte keine feststehenden Werte dar, sondern sind nur Anhaltspunkte und variieren ebenfalls (eigenen Untersuchungen). Um diese Variabilität auszuschließen, bezieht sich das Saatgutgewicht ausschließlich auf die Samen.

²Der niedrigste Preis spiegelt den günstigsten Einkaufspreis bei Vergleich verschiedener Anbieter, Bestellzeitpunkte sowie Abnahmemengen für die einzelnen Saatgutchargen wider und bezieht sich auf den Zeitraum zwischen 2017 und 2018, da das Saatgut für die Parzellenversuche im Frühjahr 2017 und für die Versuche auf den Straßenmittelstreifen erst im Winter 2018 beschafft wurde.

³Der Preis für das Jahr 2021 bezieht sich auf die Preisangaben im aktuell gültigen Katalog der Rieger-Hofmann GmbH, die gebietseigenes Pflanzensaatgut mit gesicherten Herkünften anbietet.

Die Preise pro Quadratmeter zu begrünender Fläche liegen für die drei empfohlenen Saatgutmischungen MAGER+, RUDER und INDI bei 0,78 €, 0,52 € bzw. 0,37 €. Damit liegen sie im Bereich von bereits kommerziell angebotenen Saatgutmischungen mit gebietseigener Herkunft für den Stadt- und Siedlungsbereich. Als Beispiel sei hier die Rieger-Hofmann GmbH genannt, die in Deutschland einer der erfahrensten und wichtigsten Anbieter für Wildpflanzensaatgut mit gesicherter Herkunft ist. Neben einer Vielzahl von Einzelarten werden auch für spezielle Anforderungen optimierte

Saatgutmischungen angeboten. Im aktuellen Katalog (RIEGER-HOFMANN 2020) sind die Saatgutmischungen „Verkehrsinsel“ und „Pflaster- und Schotterrasen“ in ihrem Anwendungszweck mit den empfohlenen Mischungen vergleichbar. Der Preis pro Quadratmeter liegt hier bei 0,60 € bzw. 0,39 € und damit im Rahmen der im Projekt entwickelten Saatgutmischungen. Eine weitere angebotene Mischung ist die „Salzverträgliche Bankettmischung – niedrige Mischung für Sonderstandorte“ für 0,30 €/m². Wie auch bei den anderen beiden Mischungen enthält diese Mischung einen Gräser-Anteil von 50 % (bei „Pflaster- und Schotterrasen“ 70 %). Dazu kommt, dass beim empfohlenen Einsatz als Seitenstreifenbegrünung an Straßen die Notwendigkeit zur Mahd mit zwei bis dreimal pro Jahr angegeben wird und die Höhe der Bestände bei etwa 60 cm liegen. Aus den Angaben des Anbieters lässt sich schließen, dass die angebotenen Saatgutmischungen mehr oder weniger dichte Bestände mit vollständiger Bodendeckung bilden, die einen Wiesencharakter besitzen. Damit erfüllen weniger den Zweck als Nisthabitat für Insekten, die auf offene Bodenbereiche in ihrem Habitat angewiesen sind. Andererseits erfordern die angegebenen Bestandshöhen von 60 cm (bzw. 80 cm bei der Mischung „Verkehrsinsel“) aus verkehrssicherheitstechnischen Gründen eine mehrmalige Mahd im Jahr. Im Vergleich dazu bietet die empfohlene MAGER+-Mischung einen Aufwuchs von nur etwa 30 cm Höhe. Dadurch wirkt sich der Bestand auch bei einer Begrünung von Straßenmittelstreifen oder Verkehrsinseln nicht negativ auf die Verkehrssicherheit aus. Lückige Nistbereiche auf der Fläche in Verbindung mit einer langen Zeit im Jahr, in der verschiedene Arten Nektar und Pollen als Insektennahrung anbieten, können auf sonst eher artenarmen Verkehrsbegleitflächen trockenrasenähnliche Standorte mit erhöhter Biodiversität entstehen lassen.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten besteht neben der Aussaat der empfohlenen Saatgutmischungen auch die Möglichkeit, bei einer längerfristigen Planung eines urbanen Begrünungskonzeptes zunächst nur kleinere oder Teilflächen mit den Mischungen anzulegen. Für die Begrünung von eher schmalen Straßenmittelstreifen wird aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften in Bezug auf die Verkehrssicherheit nur die MAGER+-Mischung empfohlen. Ab einer Mittelstreifenbreite von fünf Metern können auch die anderen Mischungen verwendet werden. Dabei können alle drei empfohlenen Mischungen miteinander kombiniert werden. Im besten Fall nutzt man die ausgesprochen flachwüchsige MAGER+-Mischung zur flächigen Begrünung und sät im Mittelbereich der Straßenmittelstreifen auf kleineren Flächen auf 10 m Länge und ein bis zwei Metern Breite die INDI- bzw. die RUDER-Mischung aus. Dadurch erreicht man einen hohen Grad an verschiedenartigen räumlichen Strukturen auf den Flächen, kombiniert mit einer hohen pflanzlichen und tierischen Biodiversität. Die Flächen benötigen eine nur einmalige Mahd im Jahr in Kombination mit dem Entfernen der Biomasse.

Ab der zweiten Vegetationsperiode könnte über das Heudrusch-Verfahren das Mähgut einer Spenderfläche auf eine zu begrünende Fläche gebracht werden. Bei Nutzung der Spenderfläche nach längerer Standzeit sollte sich durch natürliche Sukzession auch eine deutliche Erhöhung der Diversität eingestellt haben, die dann entsprechend schon mit auf den neuen Standort übertragen wird. Der Mahdzeitpunkt müsste entgegen der eigentlichen Empfehlung für diesen Zweck vom Herbst/Winter auf den Frühsommer (kurz vor Vollreife der Samen bzw. dem Entlassen aus den Fruchtständen) vorgezogen werden. Bei mehreren vorhandenen Spenderflächen kann hier ein Konzept für die abwechselnde Nutzung der Flächen erstellt werden, um Fauna und Flora nicht jedes Jahr durch eine

Mahd unter ungünstigen Witterungsbedingungen (hohe Sonneneinstrahlung, Trockenheit im Sommer) zu sehr zu belasten.

Außer einem Pflegedurchgang in der ersten Vegetationsperiode nach der Ansaat (Entfernen der größten/am meisten Samen bildenden Nicht-Zielarten) sind keine weiteren, besonderen Pflegemaßnahmen nach der Aussaat notwendig.

Sollen bereits bestehende kommunale Flächen mit den empfohlenen Mischungen begrünt werden, so sollte zunächst eine Bodenanalyse durchgeführt werden. Eine wenigstens mittelfristige Etablierung der in der Mischung enthaltenen Arten sowie die natürliche Ansiedlung weiterer Arten, die auf trockenen und mageren Standorten vorkommen, ist nur möglich, wenn der Unterboden nicht zu nährstoffreich ist bzw. die Fläche durch das Pflegekonzept (Entfernung des Mähguts, keine Düngung) kurz- bis mittelfristig ausgehagert werden kann. Der empfohlene Austausch des Oberbodens bis in 10 cm Tiefe durch nährstoffarmen Sand stellt nur in der Etablierungsphase einen Konkurrenzvorteil für Arten dar, die an Trockenheit und Nährstoffarmut angepasst sind. Wenn die Pflanzenwurzeln den Oberbodenhorizont durchdringen können, ändern sich die Nährstoffverhältnisse und je nach Bodenbeschaffenheit auch die Wasserverfügbarkeit. Dauerhaft werden sich demnach nur die Pflanzenarten etablieren können, die an die Bodenverhältnisse unterhalb der Sandauflage am besten angepasst bzw. in Bezug darauf am konkurrenzfähigsten sind.

Im Zuge der Umlagerung/Entsorgung des im Allgemeinen humosen Oberbodens entstehen zusätzliche Kosten [nach den Technischen Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial (LAGA 2004) ist ein TOC-Anteil (total organic compound) ab 5 Masse-% im Feststoff der Einbauklasse 2 zuzuordnen, mit den entsprechend entstehenden Entsorgungskosten, falls der Aushub auf der Deponie entsorgt wird). Die Kosten sinken, wenn der Boden an anderer Stelle unter Beachtung der technischen Vorgaben verwendet werden kann. Entsprechend langfristige Konzepte bei der Flächenplanung sind hier von Vorteil. Ein weiterer Kostenfaktor ist der Sand, der in gleicher Höhe wie der Abtrag erfolgt ist, auf der Fläche eingebaut werden muss. Auch hier kann bei langfristiger Planung möglicherweise auf Aushub anderer Baustellen zurückgegriffen werden. Die entstehenden Kosten sind regional sehr unterschiedlich und sind auch immer mit der örtlichen Infrastruktur und dem kommunalen Leistungsspektrum verknüpft.

Eine Kostenreduzierung bei der Flächeneinrichtung wäre das Umbrechen des Oberbodens mit einer Fräse. Dies wird für die Aussaat der MAGER+- oder einer vergleichbaren Saatgutmischung ausdrücklich nicht empfohlen. Die enthaltenen Arten sind ausgesprochen stresstolerant, können sich aber dem Konkurrenzdruck von mehr stickstoffliebenden Arten kaum widersetzen. Da die wenigsten Standorte im urbanen Raum eine geringe Nährstoffverfügbarkeit aufweisen, muss dies durch Bodenaustausch oder – kostenneutral – durch das Weglassen der Mutterbodenauffüllung bei Baustellen im Straßenbereich sichergestellt werden.

4.10 Dokumentation der Öffentlichkeitsarbeit

Eine wichtige Zielstellung des Modell- und Demonstrationsvorhabens ist die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis. Dazu ist es notwendig, die zukünftigen Stakeholder über Inhalt und Ergebnisse des Projekts frühzeitig zu informieren. Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit wurde dies über verschiedene Informationskanäle umgesetzt.

Zunächst wurden nach Einrichtung der Versuche auf den Straßenmittelstreifen Informationstafeln aufgestellt, die den Projekthintergrund sowie Kontaktdaten enthielten. Für die Ende 2018 neu dazugekommene Versuchsfläche Steglitzer Damm wurde ein Informationsbanner kreiert und die erforderlichen behördlichen Genehmigungen zum Anbringen auf der Versuchsfläche eingeholt. Speziell an diesem Versuchsstandort konnte durch die zwei am Anfang und am Ende der Versuchsfläche angebrachten Banner eine hohe Informationsreichweite erreicht werden. An den beiden Anbringungsorten befinden sich hoch frequentierte Ampelkreuzungen, an denen während der jeweiligen Rotphase für den Verkehr die Informationen auf den Bannern gut wahrgenommen werden können. Zusätzlich befinden sich an der Kreuzung Steglitzer Damm/Bismarckstraße zwei gegenüberliegende Bushaltstellen, die ebenfalls überdurchschnittlich stark frequentiert werden.

Weiterführende Informationen zum Projekt wurden auf der Website des Fachgebiets Urbane Ökophysiologie der Pflanzen an der Humboldt-Universität eingebettet.

Im August 2017 erschien ein Artikel im „Gartenfreund“ - der Verbandszeitschrift für das Kleingartenwesen (BLIEVERNICHT et al. 2017a), der parallel dazu auf der Internetseite des Landesverbands Berlin publiziert (BLIEVERNICHT et al. 2017b).

Der zum damaligen Zeitpunkt aktuelle Projektstand wurde auf dem 8. Symposium Stadtgrün „Invasive gebietsfremde Arten in der Stadt“ im November 2018 durch einen Fachvortrag dargestellt. Aufgrund der Spezifität des Symposiums und einer Vielzahl an Teilnehmenden aus unterschiedlichen Fachbereichen (Ministerien, Landes- und Stadtbehörden, Wissenschaftstreibende, Garten- und Landschaftsbauende, Wirtschafts- und Umweltverbände, Bezirksämter, Planungsbüros) konnte das Projekt vielen verschiedenen Stakeholdern, die sich mit dem Thema der Stadtbegrünung beschäftigen, nähergebracht werden.

Im Juli 2020 erschien ein Artikel zum Projekt in der Berliner Zeitung, der auch online veröffentlicht wurde (KAMPE 2020).

Das Projekt wird im Rahmen des durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten Projekts „Netz der Regionen“ verschiedenen Akteuren im ländlichen Raum vorgestellt (BLIEVERNICHT 2020).

4.11 Erstellung eines Leitfadens zur Testung und Etablierung von Pflanzengesellschaften mit heimischen Wildpflanzen für andere urbane Extremstandorte

Die Übertragung der im Projekt gewonnenen Ergebnisse auf andere Standorte beginnt zunächst mit der Auswahl geeigneter Pflanzen, wobei die Artenauswahl immer auf die Region bezogen werden sollte, in der die Ansaat erfolgen soll. Grundsätzlich sind aber fast alle Arten der im Projekt getesteten Saatgutmischungen mehr oder weniger in ganz Deutschland indigen. Abweichend davon sind die natürlichen Hauptverbreitungsgebiete von *Armeria maritima* subsp. *elongata* und *Helichrysum arenarium* größtenteils auf Ostdeutschland beschränkt. Für die Begrünung von Standorten, die durch magere Böden, hohen Trockenstress, hohe Strahlungsintensität, geringe Nährstoffverfügbarkeit im Boden sowie eine hohe Trittbelastung gekennzeichnet sind, kann die MAGER+-Mischung mit den entsprechenden Anteilen der enthaltenen Arten uneingeschränkt empfohlen werden (Tab. 10). Damit ist ein guter Grundstock für eine schnelle, attraktive, pflegearme, nicht die Verkehrssicherheit beeinträchtigende und ökologisch wertvolle Begrünung gelegt. Gleichzeitig stellt sie auf Grundlage der enthaltenen Arten eine gute Basis für die natürliche Sukzession an Trocken- und Magerstandorten dar. Zusätzlich können Pflanzenarten integriert werden, die regional im urbanen Raum vorkommen und den jeweiligen Anforderungen der Anwender entsprechen (Widerstandsfähigkeit in Bezug auf die Standortfaktoren am Anwendungsort, Ästhetik, Schutzwürdigkeit, fehlende aggressive Ausbreitungstendenz etc.). Bei der Auswahl sollten grundsätzlich lokale Fachleute (Naturschutz- und Umweltbehörden/-vereine, Botanische Vereine etc.) einbezogen werden.

Neben der Auswahl von im Anwendungsgebiet bereits vorkommenden Arten sollte sichergestellt werden, dass zum Zeitpunkt der Aussaat genügend gebietseigenes Saatgut beschafft werden kann. Ein großer Anbieter von gebietseigenem Saatgut ist die Rieger-Hofmann GmbH. Diese arbeitet mit vielen regionalen Produzenten in ganz Deutschland zusammen. Vielfach gibt es mittlerweile auch lokal ansässige Saatgutproduzenten, die entsprechendes Saatgut liefern können. Da nicht von beliebig vielen Arten in großen Mengen Saatgut vorgehalten werden kann, sollte frühzeitig mit den entsprechenden Herstellern Kontakt aufgenommen werden, für kleinere Projekte vor Beginn der Vegetationsperiode, in der geerntet werden soll. Bei größeren Projekten mit den entsprechend benötigten Saatgutmengen der verschiedenen Pflanzenarten sollte die Kontaktaufnahme viel früher erfolgen. Es ist dann möglich, falls nicht von natürlichen Beständen abgesammelt wird, durch die Anlage von entsprechenden Mutterpflanzenbeständen das gewünschte Saatgut in den benötigten Mengen zum Zeitpunkt der Aussaat zur Verfügung zu stellen.

Die im Projekt entwickelten und getesteten Saatgutmischungen wurden für die Verwendung auf nährstoffarmen und trockenen Standorten konzipiert, im konkreten Fall für die Begrünung von Straßenmittelstreifen. Der auf den Projektflächen teilweise erfolgte Bodenabtrag und das anschließende Auffüllen mit einem humusfreien Sand war für eine Testung der Saatgutmischungen notwendig, ist aber aus Kostengründen höchstwahrscheinlich nur für kleinere Flächen finanziell vertretbar. Eine gute Alternative dazu – vor allem für größere Flächen – ist die Änderung der Begrünungsvorbereitung im Rahmen von Baumaßnahmen im Straßenbereich. Hier werden ohnehin meist große Bodenmengen bewegt. Gleichzeitig erfolgt ein Bodenabtrag oft bis in tiefe Bodenschichten. Nach Abschluss der Baumaßnahme kann die Bodenauffüllung einfach mit einem

humusarmen Sand erfolgen. Der Mutterbodenauftrag auf den obersten 10 oder 20 cm, der nur zusätzliche Kosten verursacht, würde dann unterbleiben.

Der Aussaatzeitpunkt spielt eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Ansaat. Gerade unter dem Eindruck der Witterungsverläufe in den letzten Jahren sind Trockenperioden mittlerweile auch schon im zeitigen Frühjahr nicht mehr ungewöhnlich. Die verschiedenen Versuche im Projekt haben gezeigt, dass die besten Ergebnisse für das Etablieren der Pflanzen bei einer Aussaat sehr spät im Jahr erzielt wurden. Im konkreten Fall wurde die Aussaat im Dezember durchgeführt. Viele Pflanzenarten keimen mehr oder weniger unmittelbar nach der Aussaat, abhängig von den dann tatsächlich herrschenden Witterungsbedingungen. Manche Arten benötigen auch erst einen Kältereiz, bevor sie keimen können. Außerdem ist in dieser Jahreszeit das Problem der Trockenheit meist nicht vorhanden. Die Pflanzen beginnen ihre Entwicklung, wenn die Standortfaktoren es zulassen und sie haben relativ lange Zeit, eine entsprechend große Biomasse – vor allem ein tiefgehendes Wurzelwerk – aufzubauen, bevor die Witterungsbedingungen am Standort wieder extremer werden (z. B. Frühjahrstrockenheit).

Um die Aussaat gerade auf kleineren, schmalen oder schlecht zugänglichen Flächen zu vereinfachen, kann nach dem Säen das Andrücken der Samen durch Walze oder Rüttelplatte entfallen, wenn der Saatgutmischung ein Haftkleber (z. B. Verdyol® super, 20 g/m², Fa. JULIWA-HESA GmbH) zugegeben wurde. Nach dem einmaligen Wässern der Fläche ist der organische, unbedenkliche Kleber aktiviert und sorgt für den Verbleib des Saatguts am Standort sowie den Kontakt der Samen zum Boden und damit zur Bodenfeuchtigkeit. Für ein gleichmäßiges Ausbringen der meist kleinen Samenkörner mit der Hand oder auch auf größeren Mengen mit einem Streugerät sollte ein Füllstoff in Form von Maisschrott (17 g/m²) hinzugefügt werden.

Eine weitere Bewässerung ist nach der Aussaat nicht notwendig.

Im Verlauf der ersten Vegetationsperiode nach Aussaat sollte entwicklungsangepasst ein einmaliger Pflegedurchgang auf der Fläche durchgeführt werden. Dabei werden alle unerwünschten Nicht-Zielarten, die durch Samenanflug oder mit dem ausgeberachten Sand auf die Fläche gelangt sind, am besten kurz vor ihrer Blüte bzw. spätestens vor dem Abschluss ihrer Samenentwicklung entfernt. Dabei geht es nur um das Entfernen besonders großer Pflanzen und der Exemplare, die zu großer Samenproduktion neigen (z. B. *Digitaria sanguinalis*, *Diplotaxis tenuifolia*).

Weitere Pflegegänge sind danach nicht notwendig.

Erfahrungsgemäß ist während und am Ende der ersten Vegetationsperiode nach der Aussaat keine Mahd der Fläche erforderlich. Im darauffolgenden und in allen weiteren Jahren sollte die Mahd erst sehr spät im Jahr erfolgen. Einerseits wird dadurch sichergestellt, dass die Pflanzen Saatgut bilden und sich damit auf der Fläche dauerhaft etablieren können. Andererseits sorgt die Biomasse für ein Schattieren der Bodenoberfläche, was zu einem im Vergleich zu einer gemähten Fläche geringeren Wasserverlust durch Evaporation führt. Das wiederum ist für den Pflanzenbestand von Vorteil. Gleichzeitig schützt das auch die auf der Fläche vorkommende Insektenfauna, besonders die im Boden nistende (Grabwespen und fast alle Bienenarten).

Das Mähgut sollte von der Fläche entfernt werden, um den Charakter eines Magerstandortes langfristig zu erhalten und eine Verdrängung der ausgesäten Pflanzengesellschaft durch nitrophile, konkurrenzstärkere Pflanzenarten zu verhindern. Bei einer sehr späten Mahd (Spätherbst/Frühwinter) kann die Fläche komplett und auch in nur einem Arbeitsgang gemäht werden. Das gestaffelte Mähen im Abstand von zwei Wochen als Schutzmaßnahme für Insekten, die auf die gemähte Fläche ausweichen können, nachdem diese wieder etwas zugewachsen ist oder das Liegenlassen des Mähguts, damit die Samen ausfallen und zu Selbstvermehrung der Zielarten führen, wäre nur bei einem Mähdurchgang innerhalb der Vegetationsperiode notwendig. Das späte Mähen sorgt auch für eine Entzerrung des erhöhten Pflegebedarfs auf kommunalen Flächen während der Wachstumsperiode im Jahr.

5 Darstellung der über die erzielten Ergebnisse hinaus gewonnenen Erkenntnisse

Die Unterstützung des Modellvorhabens durch verschiedene Berliner Verwaltungsorgane zeigt das hohe Interesse am Thema der Neuausrichtung der Ansprüche an die Funktionalität von grünen Flächen im urbanen Raum. Daneben gibt es mittlerweile viele einzelne Initiativen von Anwohnern, Vereinen und anderen Interessengruppen, die sich in verschiedenen Projekten für einen größeren Schutz der Biodiversität oder sogar für eine Erhöhung dieser einsetzen. Es ist aber auch möglich, schon mit einfachen Mitteln auch im Bereich der Öffentlichen Grünflächenpflege viel zu erreichen. Es müssen nicht immer die großen Projekte sein, die den Artenschutz verbessern. In den letzten Jahren wurde beobachtet, dass auf einigen Straßenmittelstreifen nicht mehr so häufig gemäht wird. Dies führt besonders während einer Trockenperiode dazu, dass der dann noch vorhandene Pflanzenbestand die darunter liegende Bodenoberfläche mehr oder weniger stark schattiert. Das führt dort zu niedrigeren Temperaturen und einer geringeren Verdunstung des Bodenwassers. Beide Faktoren wirken sich positiv auf den Pflanzenbestand und auch auf die Insektenfauna aus.

6 Konsequenzen für ein sich anschließendes weiteres Vorhaben

Rückblickend waren die Flächenauswahl und die vorbereitenden Maßnahmen für den Start der Versuche die größte Herausforderung und letztlich auch für den verzögerten Versuchsbeginn der Praxisversuche im Berliner Straßenraum verantwortlich. Dazu kommt die Saatgutbeschaffung, die im Hinblick auf den Einsatz von gebietseigenem Saatgut gewissen Regularien unterliegt. Das schränkt die Verfügbarkeit von geeignetem, am Markt verfügbarem Saatgut deutlich ein. Hier ist es für zukünftige Vorhaben dringend erforderlich, mit ausreichend großem Zeitvorlauf zu planen und frühzeitig den Kontakt zu potenziellen Saatgutlieferanten zu suchen.

Die sehr gute Zusammenarbeit mit und die Unterstützung durch die Berliner Behörden im Rahmen der verschiedenen Genehmigungsverfahren zur Nutzung der öffentlichen Straßenräume als Versuchsflächen sowie die Abstimmung bei der Flächenpflege trug wesentlich zum Erfolg des Vorhabens bei und wäre sonst nicht möglich gewesen. Ungeachtet dessen müssen im Rahmen behördlicher Verwaltungsvorgänge immer Verzögerungen in die Projektplanung einbezogen werden und auch hier empfiehlt sich eine sehr frühe Kontaktaufnahme mit den zuständigen Stellen.

7 Erfolgskontrolle über die Einhaltung des Finanzierungs-, Zeit- und Arbeitsplans

In der ursprünglichen Projektplanung war eine dreijährige Dauer für das Vorhaben geplant worden. Aufgrund nicht zu beeinflussender Umstände bei der Einrichtung der Versuchsflächen war der Beginn der zentralen Praxisversuche auf den Berliner Straßenmittelstreifen nicht wie geplant im Frühjahr 2017 möglich. Stattdessen konnte dies erst mit einjähriger Verzögerung durchgeführt werden. Da in den Versuchen mit Pflanzen gearbeitet wurde, deren Entwicklungsphasen an die jahreszeitliche Dynamik der Witterung gebunden sind, konnte der Versuchsbeginn nur in großen Zeiträumen verschoben werden (Frühjahr/Herbst), andere realistische Optionen gab es nicht.

Durch die einjährige Verschiebung hätten für die Bewertung der Entwicklung der untersuchten Saatgutmischungen nur zwei Vegetationsperioden zur Verfügung gestanden. Dies hätte aber keine fundierte Einschätzung der Entwicklung zugelassen, der Zeitraum wäre einfach zu kurz gewesen. Deshalb wurde durch positiv beschiedenen Antrag die Projektlaufzeit um zehn Monate verlängert, sodass im Ergebnis drei Vegetationsperioden für die Bewertung der Versuche im Berliner Straßenraum genutzt werden konnten.

Im Vorfeld der Antragstellung für das Modell- und Demonstrationsvorhaben wurden mehr oder weniger alle Kostenpositionen sehr detailliert geplant. Deshalb gab es hier eine größtmögliche Übereinstimmung zwischen Plan- und Ist-Werten bei den tatsächlich entstandenen Kosten. Hierzu zählen nicht die während der Laufzeit des Vorhabens gestiegenen Personalkosten, die durch im Vorfeld nicht planbare Tarifsteigerungen begründet sind.

Der Arbeits- und Zeitaufwand entsprach weitestgehend den Planungsvorgaben. Der Ausfall der Studentischen Hilfskraft, der aufgrund personalrechtlicher Vorschriften nicht zeitnah durch die Einstellung einer Vertretung ausgeglichen werden konnte, wurde durch personelle Unterstützung der am Campus ansässigen Lehr- und Versuchsstation kompensiert.

8 Zusammenfassung

Auf vier Straßenmittelstreifen in Berlin wurde modellhaft die Einführung von neuen, einheimischen Artenmischungen in das bestehende Sortiment geprüft. Dazu mussten zunächst passende Standorte gefunden werden, deren Standorteigenschaften einem zuvor ausgearbeiteten Kriterienkatalog entsprechen mussten. Die entwickelten Pflanzengesellschaften sollten einen gewissen Anteil von bereits etablierten sowie neuen einheimischen Pflanzen enthalten. Die Einführung neuer einheimischer Pflanzen kann neben dem Ziel der Erhöhung der Biodiversität in urbanen Räumen auch zu einem tatsächlichen Schutz bestimmter Pflanzenarten dienen. Nach dem Prinzip „Schützen durch Nützen“ sind auch Arten ausgewählt worden, die entweder regional oder auch deutschlandweit eine kritische Bestandsgröße aufweisen. Eine Einführung in das bestehende Pflanzensortiment könnte so zu einer Verbesserung des Bestandsstatus der jeweiligen Art führen. Neben den Zielen von Umwelt- und Naturschutz sollten die geplanten Maßnahmen sowohl wirtschaftlich vertretbar sein als auch auf Anwenderseite akzeptiert werden, d. h., dass auch die ästhetische Gesamtwirkung der Artenmischungen über den Jahresverlauf hinweg ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl der Pflanzen war. Ebenso wurden die gewonnenen Erkenntnisse daraufhin geprüft, wie eine

Übertragbarkeit auf andere urbane Extremstandorte möglich ist. Darüber hinaus war die Maßgabe für das Projekt die möglichst ausschließliche Verwendung von gebietseigenem Vermehrungsmaterial. Die Einrichtung der Versuchsflächen auf den Straßenmittelstreifen erfolgte im zeitigen Frühjahr 2018. Dazu wurden an drei Standorten die Versuchsflächen in zwei Hälften aufgeteilt. Auf einer Hälfte wurde der vorhandene Boden nur gefräst und anschließend die drei verschiedenen Saatgutmischungen ausgesät. Auf der anderen Hälfte wurde ähnlich verfahren, nur, dass der Oberboden bis in etwa 10 cm Tiefe abgetragen und durch einen nährstoffarmen Sand ersetzt wurde. Besonders in diesem und dem darauffolgenden Jahr war der Witterungsverlauf durch außergewöhnliche Hitze- und vor allem Trockenperioden geprägt. Dies hatte einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzenbestände. Planmäßig wurde nur direkt nach der Aussaat der drei verschiedenen Saatgutmischungen gegossen. Vermutlich konnten sich deshalb einige der ausgesäten Zielarten nicht etablieren bzw. gab es auch für mehrere Arten einen Rückgang der flächigen Verteilung aufgrund der wiederholt längeren Trockenperioden. Dazu kamen die teilweise extremen und wiederholten mechanischen Belastungen durch das Betreten und Befahren der Flächen durch Fußgänger und Fahrzeuge. Trotz der widrigen Umstände zeigte sich auf den Flächen die Entwicklung von Pflanzenbeständen, die jeweils durch die ausgesäten Zielarten geprägt waren. Die Arten blühten und fruktifizierten bereits im zweiten Standjahr erheblich und konnten sich neben der vegetativen Ausbreitung auch bereits generativ vermehren. Innerhalb der Projektlaufzeit ergab sich die Möglichkeit, die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen. Dazu wurde ausgehend von den Erfahrungen, die aus drei eingerichteten Versuchsflächen des Frühjahrs 2018 stammten, im Dezember 2018 ein weiterer Straßenmittelstreifen in Berlin mit der modifizierten Variante der vielversprechendsten Saatgutmischung begrünt. Die Winteraussaat stellte sich als optimaler Zeitpunkt für die Entwicklung des Pflanzenbestands heraus. Neben der Etablierung fast aller Zielarten kam es schon bis zur zweiten Vegetationsperiode nach der Aussaat zu einer starken natürlichen Sukzession auf der Fläche. Die eingewanderten, neuen Arten erhöhen die Diversität auf der Fläche und stellen vielfach wertvolle zusätzliche Pollen- und Nektarquellen für die Insektenfauna dar. Gleichzeitig kam es nicht zu einer invasiven Ausbreitung einer oder mehrerer Arten, die die anderen Arten verdrängen würden. Auf allen vier Versuchsflächen war nach der Aussaat nur ein Pflegegang notwendig. Dieser diente dazu, während der ersten Vegetationsperiode besonders große und vermehrungsfreudige Nicht-Zielarten von den Flächen zu entfernen, um die Etablierung der Zielarten zu unterstützen. Weitere Pflegegänge waren nicht notwendig. Eine Mahd der Flächen war im ersten Jahr nicht notwendig. In den weiteren Jahren erfolgte diese einmal jährlich und auch erst sehr spät im Jahr. Das Mähgut wurde abgefahren, um die Standorte nährstoffarm zu halten. Neben den Versuchen im Berliner Straßenraum wurden mit den gleichen Bodenbearbeitungsvarianten und Saatgutmischungen in einem Parzellenversuch die Entwicklung der einzelnen Arten, die Selbstvermehrung, die Konkurrenzkraft und das Blüh- und Fruktifizierungsverhalten untersucht. Weiterhin wurden über drei Jahre mit den Zielarten Versuche durchgeführt, in denen die unterschiedliche Reaktion der Arten auf Trockenstress untersucht wurde.

Unterschrift, Stempel des Zuwendungsempfängers

Berlin, den 15.03.2021


Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN
Lebenswissenschaftliche Fakultät
Albrecht Daniel Thaer-Institut
für Agrar- und Gartenbauwissenschaften
Fachgebiet Urbane Ökophysiologie der Pflanzen
Lentzeallee 55/57, 14195 Berlin

9 Literaturverzeichnis

ARNOLD, R. M. (1982): Pollination, Predation and Seed Set in *Linaria vulgaris* (Srophulariaceae). *The American Midland Naturalist* 107 (2): 360-369.

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. & OLEXEN, J. M. (2006): Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science* 21, Vol. 312, Iss. 5772:431-433. Online abrufbar unter <https://science.sciencemag.org/content/312/5772/431/tab-pdf>

BERNHARDT, K.-G. (1991): Die Samenbank und ihre Anwendung im Naturschutz. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 20/2: 883-892.

BLIEVERNICHT (2020): Begrünung von Straßenmittelstreifen in der Stadt mit gebietsheimischen, stresstoleranten Pflanzen. *Netz der Regionen*. Hrsg.: Ascricion GmbH. Online abrufbar unter <https://hub.netz-der-regionen.net/index.php/pages/778-stadtgruen>

BLIEVERNICHT, A. & ULRICHS, C. (2017a): Einheimischen Pflanzen eine Chance geben. *Biologische Vielfalt auf Straßenmittelstreifen*. In: *Gartenfreund* 2017 (8): 14-15.

BLIEVERNICHT, A. & ULRICHS, C. (2017b): Aus der Wissenschaft: Einheimische Pflanzen stärken die biologische Vielfalt in Städten. Hrsg.: Landesverband Berlin der Gartenfreunde e. V. Online abrufbar unter <https://www.gartenfreunde-berlin.de/gartenfachberatung/tipps-fuer-den-garten/aus-der-wissenschaft-einheimische-pflanzen-staerken-die-biologische-vielfalt-in-staedten/1530>

BOPPRÉ, M. & FISCHER, O. W. (1999): Harlekenschrecken (Orthoptera: Zonocerus) – Schadinsekten der besonderen Art. In: *Gesunde Pflanzen* 51: 141-149.

BORSTEL, U.-O. (1974): Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung auf ökologisch verschiedenen Grünland- und Ackerbrachen hessischer Mittelgebirge (Westerwald, Rhön, Vogelsberg). Dissertation Universität Gießen, 159 S.

DENISOW, B. (2009): Pollen production, flowering and insect visits on *Euphorbia cyparissias* L. and *Euphorbia virgultosa* Klok. *Journal of Apicultural Research and Bee World* 48 (1), S. 50-59. Online abrufbar unter https://www.researchgate.net/profile/Bozena_Denisow/publication/250278869_Pollen_production_flowering_and_insect_visits_on_Euphorbia_cyparissias_L_and_Euphorbia_virgultosa_Klok/links/5485eaa50cf268d28f021ea9.pdf?origin=publication_detail

DWS (2021): Warum Blüten für Wildbienen? Hrsg.: Deutsche Wildtier Stiftung. Online abrufbar unter <https://www.wildbiene.org/wildbienen-thema-1/>

DEUTSCHLANDFLORA – WEBGIS (2020): (2749) *Gypsophila fastigiata* L. Online abrufbar unter <https://karten.deutschlandflora.de/map.phtml?config=taxnr2749&PHPSESSID=9u3bj1t7ken3tljpskverr8rm5&reset=session=allGroups>

ELLENBERG, H. & SNOY, M.-L. (1957): Physiologisches und ökologisches Verhalten von Ackerunkräutern gegenüber der Bodenfeuchtigkeit. *Mitteilungen aus dem Staatsinstitut für Allgemeine Botanik Hamburg* 11: 47-48.

ELLENBERG, H. (1963): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen (1. Auflage des Buches). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 943 S.

ELLENBERG, H. (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen. 2. Aufl. Göttingen: Goltze-Verlag.

ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen (5. Auflage). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

FUKAREK, F. (1961): Die Vegetation des Darß und ihre Geschichte. Pflanzensoziologie (Jena) 12, 321 S.

SCHNOTZ, G. (2020): juliwa-hesa.de. Hrsg: JULIWA-HESA GmbH. Online abrufbar unter https://www.juliwa-hesa.de/produkte_kleber.htm

KAMPE, H. (2020): Oase am Straßenrand: Forscher entdecken auf begrünten Mittelstreifen eine ungeahnte Artenvielfalt. Hrsg.: Berliner Zeitung. Online abrufbar unter <https://www.berliner-zeitung.de/gesundheit-oekologie/oase-am-strassenrand-li.91576>

KOWARIK, I.; FILIUS, B.; KAUSCH, G.; LÜTKENHAUS, G.; MACHATZI, B.; MEIßNER, J. et al. (2013): Pflanzen für Berlin - Verwendung gebietseigener Herkünfte. Hrsg.: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt / Der Landesbeauftragte für Naturschutz und Landschaftspflege.

KULP, H.-G. & CORDES, H. (1986): Veränderungen in der soziologischen Bindung in Ackerwildkraut-Gesellschaften auf Sandböden. Tuexenia 6: 25-36.

LAGA (2004): Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Online verfügbar unter https://www.laga-online.de/documents/m32_laga_pn98_1503993280.pdf

LEPIFORUM (2021): Bestimmungshilfe für die in Europa nachgewiesenen Schmetterlingsarten. Hrsg: Lepiforum e. V. Online verfügbar unter http://www.lepiforum.de/lepiwiki.pl?Hyles_Euphorbiae

LIEBIG, W.-H. & NUß, M. (2012): Insekten, Sachsen. Online abrufbar unter <https://www.gbif.org>.

LOEWENSTEIN, P. (2021): Urbanität & Vielfalt. Die Gewöhnliche Grasnelke. *Armeria maritima subsp. elongata*. Hrsg.: Botanischer Garten der Universität Potsdam. Online abrufbar unter <https://urbanitaetundvielfalt.de/wp-content/uploads/2018/10/Armeria-maritima.pdf>

LONDO, G. (1976): The Decimal Scale For Relevés Of Permanent Quadrats. Vegetatio 33, Nr. 1: 61-64.

MACHATZI, B. (2021): Sandtrockenrasen auf der „Sandlinse“ – ein sicheres Heim für die Grasnelke. Hrsg.: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. Online verfügbar unter https://www.berlin.de/senuvk/natur_gruen/biologische_vielfalt/de/ausstellung/grasnelken.shtml

MARX, A. (2020): Dürremonitor Deutschland. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (Hrsg.). Online abrufbar unter <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>

MEISEL, K. & HÜSCHMANN, A. VON (1976): Veränderungen der Acker- und Grünlandvegetation im nordwestdeutschen Flachland in jüngerer Zeit. Schriftenreihe Vegetationskunde (Bonn) 10: 109-124.

MLR (2019): Bienenweidekatalog. Verbesserung der Bienenweide und des Artenreichtums. Hrsg.: Baden-Württemberg (Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz). Online abrufbar unter <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/publikationen/Bienenweide-Katalog.pdf>

NETPHYD (2020): Deutschlandflora.de. Hrsg.: LUA Saarland / Netzwerk Phytodiversität Deutschlands (NetPhyD) e. V. Online abrufbar unter <https://karten.deutschlandflora.de/map.phtml?config=taxnr459&reset=session=allGroups>

OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

POSCHLOD, P. & JORDAN, S. (1992): Wiederbesiedlung eines aufgeforsteten Kalkmagerrasenstandorts nach Rodung. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz (Jena) 1: 119-139.

PRASSE, R.; KUNZMANN, D. & SCHRÖDER, R. (2010): Entwicklung und praktische Umsetzung naturschutzfachlicher Mindestanforderungen an einen Herkunftsnachweis für gebietseigenes Wildsaatgut krautiger Pflanzen. Unveröffentlichter Abschlussbericht DBU-Projekt. Hrsg.: LU Hannover, Institut für Umweltplanung.

PRITSCH, G. (2018): Bienenweide. 220 Trachtpflanzen erkennen & bewerten. Verlag Frankh-Kosmos.

RADTKE, J. & SCHIRM, P. (2002): Bienenweide-Stauden. Hrsg.: Länderinstitut für Bienenkunde Hohen Neuendorf e.V. Online abrufbar unter <https://www2.hu-berlin.de/bienenkunde/Bilder-Downloads/FB/Aus-Weiterbildung/lehmaterial/bienenweide/Bienenweide-Stauden.pdf>

RIEGER-HOFMANN (2020): Samen und Pflanzen gebietseigener Wildblumen und Wildgräser aus gesicherten Herkünften. Katalog ab 2020. Firmenzeitschrift, Selbstverlag.

SAURE, C. (2005): Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen und Wespen (Hymenoptera part.) mit Angaben zu den Ameisen. Hrsg.: Der Landesbeauftragte für Naturschutz und Landespflege/Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.

SAURE, C. (2012): Die Wildbienen des Botanischen Gartens Berlin-Dahlem (Hymenoptera Apiformes). Märkische Entomologische Nachrichten, Band 14, 1: 29-67.

SCHMIEDEKNECHT, O. (1930): Die Hymenopteren Nord- und Mitteleuropas. Verlag Gustav Fischer, Jena.

SCHMIDT, J. (2021): Monats- und Jahreswerte für Berlin (Dahlem). Hrsg.: Wetterkontor.de. Online abrufbar unter <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswertestation.asp?id=10381>

SCHMITT, T. (1989): Xerothermvegetation an der Unteren Mosel. Giessener Geographische Schriften 66, 188 S.

SCHREMMER, F. (1955): Über anormalen Blütenbesuch und das Lernvermögen blütenbesuchender Insekten. Österreichische botanische Zeitschrift 102, Nr. 4/5: 551-571.

SCHUBERT, R.; HILBIG, W. & KLOTZ, S. (2001): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

SEITZ, B.; RISTOW, M.; MEIBNER, J.; MACHATZI, B. & SUKOPP, H. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der etablierten Farn- und Blütenpflanzen von Berlin. Hrsg.: Senatsverwaltung für Umwelt, Klima und Verkehr / Der Landesbeauftragte für Naturschutz und Landschaftspflege: Rote Listen der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere von Berlin, 118 S. doi: 10.14279/depositonce-6689.

SNSH (2016): Trachtkalender. Hrsg.: Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein. Online verfügbar unter https://www.stiftungsland.de/fileadmin/pdf/Trachtkalender/SN_Trachtkalender_Heimkraut_A4_20160526_A.pdf

SMITH, J. M. (1959): Notes on insects, especially *Gymnaetron* spp. (Coleoptera: Curculionidae), associated with toadflax, *Linaria vulgaris* Mill. (Scrophulariaceae), in North America. The Canadian Entomologist 91: 116-121.

ULMER, M. (2021): Wildbienenpflanzen-Finder. Hrsg.: Eugen Ulmer KG. Online verfügbar unter <https://www.wildbienenwelt.de/Wildbienen-im-Garten/Wildbienenpflanzen-Finder/article-6516341-190896/anchusa-officinalis-.html>

VENNE, C. & BLEIDORN, C. (2005): Die Stechimmenfauna des Naturschutzgebietes „Moosheide“ im Landschaftsraum Senne (Hymenoptera Aculeata excl. Formicidae) – Zur Bedeutung historischer Kulturlandschaften für die heimische Tierwelt. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft westfälischer Entomologen, Band 21, Heft 2/3.

WARZECHA, D.; DIEKÖTTER, T.; WOLTERS, V. & JAUKER, F. (2018): Attractiveness of wildflower mixtures for wild bees and hoverflies depends on some key plant species. Insect Conservation and Diversity (2018) 11, S. 32-41. Online verfügbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/icad.12264>

WESTRICH, P. (1990): Die Wildbienen Baden-Württembergs. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

WESTRICH, P. (2021): Faszination Wildbienen. Verbesserung des Nahrungsangebots: Wildblumen-Saatmischungen. Online abrufbar unter https://www.wildbienen.info/downloads/Syringa_Wildblumen-Mischungen_2018.pdf

WILLI, B.; SAILER, G. & KIRCHNER, W. (2021): Trachtfließband – Trachtpflanzen. Hrsg.: bienformatik e.V. Online abrufbar unter <https://www.trachtfliessband.de/>