

Errata zu

BfN-Schriften 687, 2024, RegioDiv — Genetische Vielfalt krautiger Pflanzenarten in Deutschland und Empfehlungen für die Regiosaatgut-Praxis

Walter Durka, Stefan Michalski, Johannes Höfner und das RegioDiv-Konsortium

https://www.ufz.de/export/data/global/292805_BfN_Schriften_687_Errata.pdf



Adressen der Autoren:

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ GmbH, Theodor-Lieser-Str. 2, 06120 Halle

Dr. Walter Durka

walter.durka@ufz.de

Dr. Stefan G. Michalski

stefan.michalski@ufz.de

Johannes Höfner

johannes.hoefner@ufz.de

Einleitung

Weitergehende Untersuchungen an Material von *Achillea millefolium* agg. nach Ende der Projektförderung im Jahr 2024 ergaben neue Erkenntnisse zur taxonomischen Zuordnung der vorgefundenen Sippen. Diese Sachverhalte machen Korrekturen im Text der BfN-Schriften 687 nötig.

Sachverhalt

Aus dem *Achillea millefolium*-Aggregat haben folgende Arten in Deutschland nennenswerte Vorkommen: *Achillea setacea* (2x), *A. collina* (4x), *A. pratensis* (4x), *A. millefolium* s. str. (6x) und *A. pannonica* (8x). Abgesehen von *A. setacea* sind die Arten morphologisch nicht einfach zu identifizieren. Im Rahmen der RegioDiv-Analyse wurden alle Proben genetisch, einzelne auch auf ihre Ploidie hin untersucht. Da in der Regel nur Blätter beprobt werden, kann in der Regel keine nachträgliche Bestimmung nach morphologischen Merkmalen erfolgen. Der genetische Befund von über 1000 Proben waren drei genetisch differenzierte Gruppen (Abb. 28): Gruppe 1, die ausschließlich *A. millefolium* s.str. (6x) umfasste; Gruppe 2 mit *A. setacea* (2x), *A. pannonica* (8x) und weiteren Proben von Trockenstandorten Mitteldeutschlands, die wir bisher als *A. collina* interpretiert hatten, und Gruppe 3, die aus tetraploiden (4x) Individuen bestand. Gruppe 3 war von uns insgesamt als *A. pratensis* bezeichnet worden, da die vorliegenden, wenigen *A. pratensis*-Referenzproben ebenfalls dieser Gruppe angehören.

Das Vorkommen von Proazulen im ätherischen Öl von Schafgarben beschränkt sich ausschließlich auf tetraploide Vertreter des Artenkomplexes. Innerhalb dieser Gruppe wiederum sind *A. pratensis* als Proazulen-frei (Saukel & Länger 1992) und *A. collina* als Proazulen-positiv beschrieben (Oświecimska 1968), für letztere zumindest bei einem Teil der Individuen einer Population (vgl. Michel & Arnold 1999, Danihelka & Rostreklová 2001).

Daher haben wir Proazulen-Färbungen vorgenommen und weitere durchflusszytometrische Analysen durchgeführt. Dabei wurden folgende neue Befunde erzielt:

1. Die von uns bisher als *A. collina* interpretierten Individuen trockener Standorte, die zusammen mit *A. pannonica* der Gruppe 2 angehörten, stellten sich, soweit durchflusszytometrische Analysen erfolgreich waren, als hexaploid (6x) heraus. Außerdem ließ sich in diesen Proben Proazulen **nicht** nachweisen. Somit war die Benennung dieser Proben als *A. collina* (z.B. in Abb. 28B) nicht korrekt.
2. Die von uns bisher als *A. pratensis* interpretierten Proben sind zwar tetraploid, zum Teil allerdings Proazulen-positiv, was diese als *A. collina* ausweist. Die wenigen morphologisch als *A. pratensis* ansprechbaren Referenzproben waren wiederum Proazulen-negativ. Auch andere Proben dieser Gruppe waren Proazulen-negativ. Allerdings ist bekannt (Michler & Arnold 1999) und auch durch eigene Analysen bestätigt, dass innerhalb von *A. collina*-Populationen häufig sowohl Proazulen-positive wie -negative Pflanzen auftreten; d.h. Proazulen-negative tetraploide Einzelproben sind nicht automatisch als *A. pratensis* anzusprechen. Alle Proben von *A. collina* und *A. pratensis* lagen in derselben genetischen „Gruppe 2“ (s.o.). Dies bestätigt ältere Untersuchungen, wonach *A. collina* und *A. pratensis* eine genetisch homogene und möglicherweise durch Genfluss verbundene gemeinsame Gruppe bilden (Guo et al. 2005). Eine klare Abgrenzung und Artansprache von *A. collina* und *A. pratensis* ist an dem uns vorliegenden Blatt-Material nicht möglich.

Als **Schlussfolgerung** ergibt sich somit, dass die von uns als "*Achillea pratensis*" bezeichnete und genetisch einheitliche Gruppe besser als "*Achillea collina/pratensis*" zu bezeichnen ist. Sie umfasst tetraploide, sowohl Proazulen-haltige, als auch Proazulen-freie Pflanzen.

Somit ist grundsätzlich immer dann, wenn von „*A. pratensis*“ die Rede war, „*A. collina/pratensis*“ einzusetzen. Im Folgenden werden alle Stellen mit der entsprechenden Änderung **farblich gekennzeichnet** aufgeführt. Teilweise werden auch darüberhinausgehende Änderungen im Text nötig.

Inhaltsverzeichnis

4	Ergebnisse: Artenprofile der genetischen Diversität und Struktur	3
4.1	<i>Achillea millefolium</i> agg.....	3
4.2	<i>Achillea millefolium</i> L. s. str.	5
4.3.1	<i>Achillea collina/pratensis</i>	5

2.3. Untersuchte Arten

2.3.2. RegioDiv-Artenliste

Tab. 1 Liste der in RegioDiv untersuchten Pflanzenarten bzw. Artengruppen mit Angabe der taxonomischen Referenz-Nummer „NAME_ID“ aus Buttler (2018) und der in Deutschland vorkommenden Chromosomenzahlen.

VOLLNAME	NAME_ID	Chromosomenzahl
<i>Achillea millefolium</i> L.	31	2n = 6x = 54
<i>Achillea collina/pratensis</i>	29/26686	2n = 4x = 36

2.5.2 Laborarbeiten

Tab. 2 Untersuchte Taxa, Artensets (Min, Max), Gesamtzahl Proben in den finalen Datensätzen (N), Anzahl SNP-Marker (N.SNPs), Anzahl Chloroplasten-SNP-Marker (N.cpSNPs) und Prozentsatz fehlender Daten (%NA) in den finalen Datensätzen.

Art/Taxon	Min	Max	N	N.SNPs	N.cpSNPs	%NA
<i>Achillea millefolium</i> agg.		*	639	5813	69	19.5
<i>Achillea millefolium</i>	*	*	378	5047	60	19.8
<i>Achillea collina/pratensis</i>	*	*	173	4409	57	21.6

2.7 Ploidie-Analysen

... Bei anderen Arten können nah verwandte Taxa Ploidie-Unterschiede aufweisen, z. B. im *Achillea millefolium* agg: *Achillea collina* (4x), *A. pratensis* (4x), *A. millefolium* s. str. (6x) und *A. pannonica* (8x) oder bei *Galium album* (4x) und *Galium mollugo* s. str. (2x).

1.2.2.3 Berücksichtigte Arten

... **Artenset Max:** 36 Taxa, wie in **Min** und zusätzlich die Aggregat-Ebenen (K = 2) bei *Achillea millefolium* agg. (*A. millefolium* vs. *A. collina/pratensis*)...

4 Ergebnisse: Artenprofile der genetischen Diversität und Struktur

4.1 *Achillea millefolium* agg.

Von *Achillea millefolium* agg. lagen Daten von 639 Proben und 5.813 SNPs vor. Die PCA (Abb. 28) zeigt drei gut abgegrenzte Gruppen. **Gruppe 1** ist die größte Gruppe bestehend aus hexaploiden *A. millefolium* s. str. (2n = 6x). **Gruppe 2** umfasst *A. pannonica* (2n = 8x), *A. setacea* (2n = 2x) und Pflanzen von Trockenstandorten in Mitteldeutschland, die teilweise hexaploid waren. Alle aus **Gruppe 3** auf Ploidie untersuchten Pflanzen waren tetraploid, so dass sowohl *A. collina* wie auch *A. pratensis* in Frage kommen. Zu dieser Gruppe gehörten sowohl einige wenige morphologisch als *A. pratensis* ansprechbare Proazulen-freie Pflanzen, als auch Proazulen-haltige Pflanzen, die somit als *A. collina* ausgewiesen sind und auch viele weitere Proazulen-freie Proben. Letztere könnten sowohl Proazulen-freie *A. collina* oder *A.*

pratensis sein; sie lassen sich aber nicht eindeutig einer der Arten zugewiesen werden, da von den allermeisten Pflanzen nur Blattproben (Grund-, Stängel-, oder Hochblätter) vorlagen, die einerseits keinen zuverlässigen Proazulen-Nachweis zulassen, andererseits keine sichere morphologische Bestimmung erlauben. Somit wird Gruppe 3 als *A. collina/pratensis* bezeichnet. Schon Guo et al. (2005) wiesen darauf hin, dass *A. collina* und *A. pratensis* eine homogene genetische Gruppe bilden. Die Trennung der Arten erfolgte über Schwellenwerte der PCA-Achsen (*A. millefolium*: $PC1 < 2$ & $PC2 < 2$; *A. collina/pratensis*: $PC1 > 1.99$ & $PC2 < 2$; *A. pannonica* + *A. setacea*-Gruppe: $PC2 > 2$). Auf *A. millefolium* entfielen 380, auf *A. collina/pratensis* 181 Proben. Einige Proben liegen in der PCA intermediär zwischen *A. millefolium* und *A. collina/pratensis*; sie wurden aufgrund der k-Means-Analyse zu *A. millefolium* gestellt. Ob es sich bei ihnen um Hybriden zwischen *A. millefolium* und *A. collina/pratensis* handelt, und welche Ploidie sie haben, ist unbekannt.

In der Analyse der cpDNA unterscheiden wir vier cpDNA-Gruppen (Abb. 28C), deren häufigste (blau) in allen Gruppen die vorherrschende war (Abb. 28D). In *A. millefolium* s. str. traten alle vier cpDNA-Gruppen auf, während in *A. collina/pratensis* die ebenfalls häufige rote und die orange Gruppe fehlten, was die große genetische Distanz der beiden Arten unterstreicht.

Im Folgenden werden auf Grund der jeweils großen Zahl an Proben und der weiten geographischen Verbreitung *A. millefolium* s. str. und *A. collina/pratensis* auf Artebene dargestellt.

[Die an dieser Stelle folgenden Ausführungen zu morphologischen Merkmalen von *A. millefolium* s.str und *A. pratensis* sind gegenstandslos.]

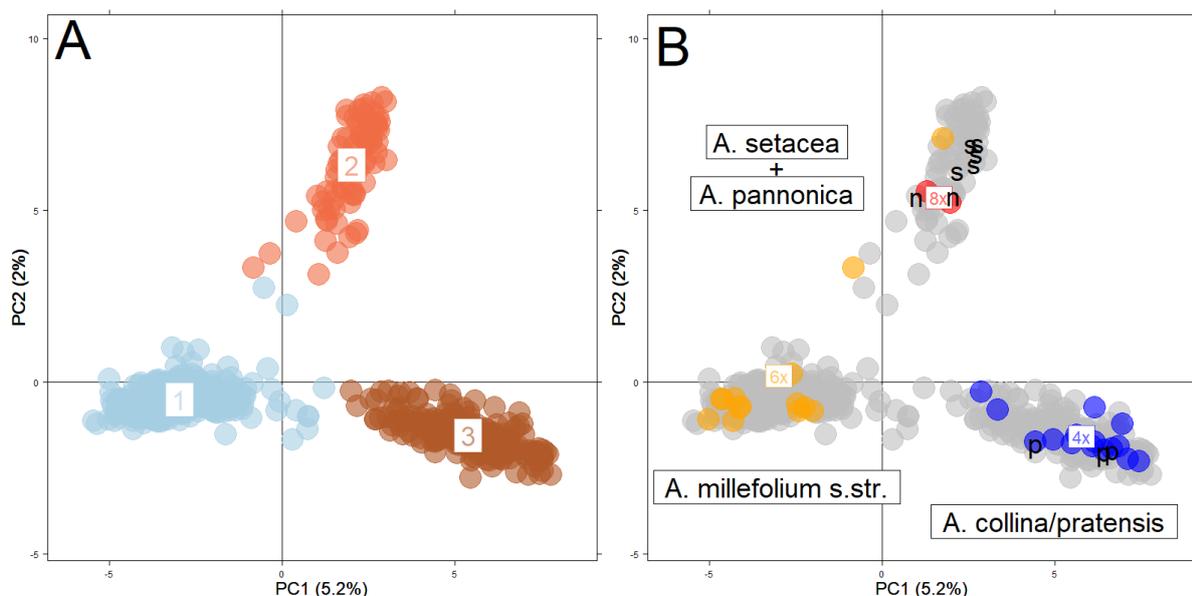


Abb. 28 Genetische Struktur von *Achillea millefolium* agg. in der PCA, basierend auf allen SNP-Markern; **A** K-Means-Cluster für K = 3; **B** Ploidie (farbig) und taxonomische Referenzproben (Kleinbuchstaben: s = *A. setacea*, n = *A. pannonica*, p = *A. pratensis*). [Die Abbildungen C und D sind unverändert gültig. Vergleiche Abb. 28 in BfN-Schriften 687.]

4.2 *Achillea millefolium* L. s. str.

Von *Achillea millefolium* s. str. lagen Daten von 378 Proben und 5.047 SNPs vor. Aus einigen UG liegen sehr wenige Proben vor, da dort *A. collina/pratensis* bzw. *A. pannonica* häufig waren. Insbesondere in UG 16, den östlichen Teilen von UG 17 und auch in UG 5 war *A. millefolium* s. str. selten bis fehlend. Die genetische Populationsstruktur zeigt Abb. 29.

[Der übrige Text und die Abbildungen sind unverändert gültig]

4.3 *Achillea collina/pratensis*

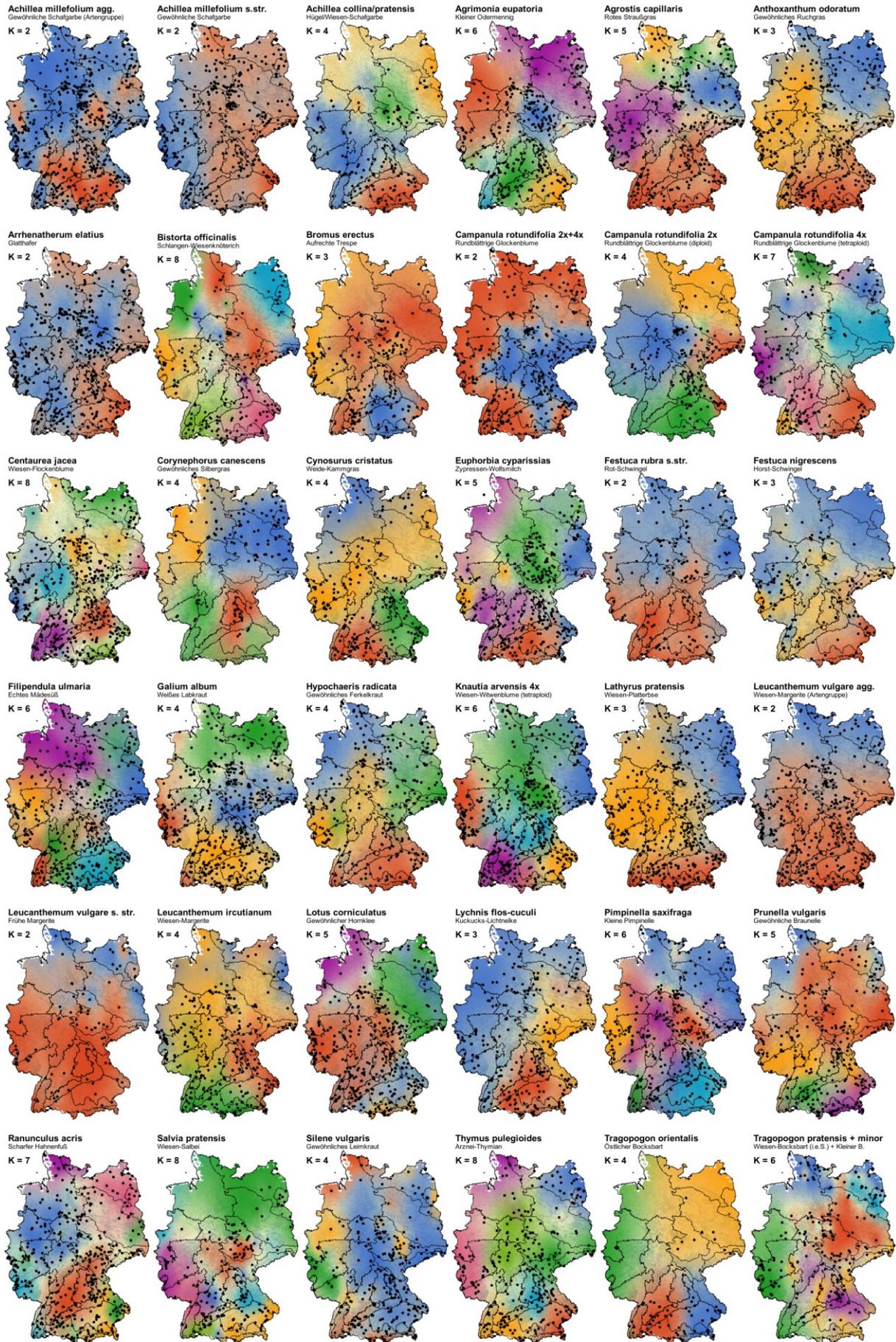
Von der Gruppe der tetraploiden Schafgarben, die *Achillea collina* und *Achillea pratensis* umfaßt, lagen Daten von 173 Proben und 4.409 SNPs vor. Diese Gruppe wurde — bis auf zwei — in allen UG festgestellt. Besonders viele Proben lagen aus den UG 16, 17, 11, 13 und 5 vor. Dabei war vor allem UG 16 auffällig, in dem 25 von 26 untersuchten Proben auf *A. collina/pratensis* entfielen, die über das ganze UG verstreut von insgesamt 18 SammlerInnen gewonnen wurden, so dass hier von einer repräsentativen Beprobung ausgegangen werden kann. Keine Proben liegen vor für UG 1 und 19 und nur eine Probe aus UG 8. Somit hat *A. collina/pratensis* zwar einen gewissen Schwerpunkt in Süddeutschland, kommt aber auch im Nordosten häufig vor. Die genetische Populationsstruktur zeigt Abb. 30.

[Der übrige Text und die Abbildungen sind unverändert gültig.]

Abb. 1 Genetische Populationsstruktur von *Achillea collina/pratensis*. Vgl. Abb. 29.

5 Konsequenzen für die Regiosaatgut-Praxis

Abb. 2 (nächste Seite) Synopse der Verbreitungskarten innerartlicher genetischer Gruppen in Deutschland für 36 unterschiedene Taxa. Schwarze Linien stellen die Grenzen der 22 Ursprungsgebiete dar. Jede Farbe entspricht einer genetischen Gruppe, die Farbmischung entspricht der Vermischung der Gruppen. Bei den gemischt-ploiden Arten *Achillea millefolium* agg., *Campanula rotundifolia* und *Leucanthemum vulgare* agg. wird sowohl die Karte der Ploidiestufen als auch die der intra-Ploidie-Variation gezeigt. Die Interpolation umfasst auch Gebiete, in denen die Arten nicht verbreitet sind (z. B. bei *Salvia pratensis*) (vgl. Abb. 29D-Abb. 80D).



5.1 Kryptische Diversität, Polyploidie und Hybridisierung

5.1.3 Artspezifische Hinweise

5.1.3.1 *Achillea millefolium* agg.

Es wurden *A. millefolium* s. str. (6x), *A. pratensis* (4x), *A. collina* (4x), *A. setacea* (2x) und *A. pannonica* (8x) beobachtet. *A. pratensis* (4x), *A. collina* (4x) bildeten eine gemeinsame genetische Gruppe, die als *A. collina/pratensis* bezeichnet wird. Deutschlandweit sind nur *A. millefolium* und *A. collina/pratensis* verbreitet, so dass nur diese hier behandelt werden (Tab. 9). *A. millefolium* s. str. wurde überall gefunden und war die dominante Art in 14 der 22 UG. *A. collina/pratensis* wurde bis auf die beiden UG 1 und 19 in allen UG festgestellt und dominierte in drei UG: 11, 16, 17. Wie oben schon ausgeführt, ist UG 16 absolut dominiert von *A. collina/pratensis*. In fünf UG waren die beiden Gruppen gleich häufig: UG 5, 12, 13, 14, 22. Somit kann bis auf diese 5 Gebiete eine dominante Art bzw. Artengruppe benannt werden, die vermehrt und ausgebracht werden sollte. In UG 5 unterscheiden sich die Teilgebiete durch Dominanz von *A. millefolium* s. str. in TG 5a (Nördliches Harzvorland) und Dominanz von *A. collina/pratensis* in den übrigen TG. Dagegen scheinen die beiden Arten in den UG 12, 13, 14 und 22 gleichmäßig vorzukommen, so dass obige Regeln 3.2 zur Anwendung kommen können.

Tab. 9 Häufigkeit der Cytotypen und dominanter Cytotyp nach Proportionstest (R: stats::prop.test, $p < 0,05$) je UG für *Achillea millefolium* agg. (4x = *A. collina/pratensis*, 6x = *A. millefolium* s. str.), *Campanula rotundifolia*, *Euphorbia cyparissias*, *Leucanthemum vulgare* agg. (2x = *L. vulgare* s. str., 4x = *L. ircutianum*) und *Pimpinella saxifraga*. Bei statistisch nicht signifikant unterschiedlicher Häufigkeit kann kein dominanter Cytotyp bestimmt werden („?“). Bei fehlenden Durchflusszytometrie-Messungen (und für *L. vulgare* agg.) wurden die Cytotypen über die Clusterzugehörigkeit in einer PCA modelliert.

[Tabelle 9 ist unverändert gültig]

Tab. 10 Synoptische Tabelle mit Deskriptoren der genetischen Populationsstruktur.

Art	AMOVA % UG	IBD. Steigung ($F_{ST}/100$ km)	IBD.r	Adm.K.min	Adm.K.opt
<i>Achillea millefolium</i> s. str.	0,54	0,002	0,592	1	2
<i>Achillea collina/pratensis</i>	1,34	0,003	0,467	1	4

Literatur

- Danihelka, J., & Rotreklová, O. (2001). *Achillea pratensis* (Asteraceae), a recently recognized species of the Czech flora. *Preslia (Praha)*, 73: 1-27.
- Durka, W., Michalski, S. G., Höfner, J., & RegioDiv Konsortium. (2024). RegioDiv — Genetische Vielfalt krautiger Pflanzenarten in Deutschland und Empfehlungen für die Regioaatgut-Praxis. *BfN Schriften*, 687, 1-315. doi:10.19217/skr687

-
- Guo, YP, Saukel, J, Mittermayr, R et al. (2005): AFLP analyses demonstrate genetic divergence, hybridization, and multiple polyploidization in the evolution of *Achillea* (Asteraceae-Anthemideae). *New Phytologist* 166:273-289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01315.x>
- Michler, B und Arnold, C-G (1999): Predicting Presence of Proazulenes in the *Achillea millefolium* Group. *Folia Geobotanica* 34:143-161.
- Oświecimska, M (1968): *Achillea collina* Becker – ein proazulenhaltiges Taxon von *Achillea millefolium* L. s. l. *Planta Med* 16:201-207. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1099900>
- Saukel, J., & Länger, R. (1992). *Achillea pratensis* Saukel & Länger, spec. nova, eine tetraploide Sippe der *Achillea millefolium*-Gruppe. *Phyton*, 32, 159-172.