

Zur Unterscheidung von *Galium album* und *Galium mollugo* in Südwestdeutschland

MIRIAM DIEZ, KLAUS SCHMIEDER & MIKE THIV

Zusammenfassung: Für die Unterscheidung der sehr ähnlichen Arten *Galium album* (tetraploid) und *G. mollugo* (diploid) werden zum Teil widersprüchliche Angaben zu den Differenzialmerkmalen gegeben. Daher sollen in dieser Arbeit Merkmale herausgearbeitet werden, die sich für eine eindeutige Unterscheidung im Feld und generell eignen. An südwestdeutschen Proben beider Arten wurden zunächst genetische und anschließend morphologische Merkmale wie Blütendurchmesser, Blütenstiellänge, Strukturdicke im Blattquerschnitt, Blattlänge und -breite untersucht. Für die Bestimmung der Ploidiestufe wurden Zellkerngrößen ermittelt. Hinsichtlich der Zellkerngrößen unterscheiden sich die beiden Arten deutlich. Die Sequenzierung einiger DNA-Marker ergab keine Trennung der beiden Arten. Morphologisch lässt sich *Galium album* von *G. mollugo* am besten durch den größeren Blütendurchmesser, die größere Blattlänge und -breite sowie das höhere Verhältnis von Blattlänge zu -breite unterscheiden. Auf der Grundlage der gefundenen Merkmale wurde ein Vorschlag für einen neuen Bestimmungsschlüssel erstellt.

Abstract: Differentiation between *Galium album* and *Galium mollugo* in southwest Germany. Published diagnostical characters of the very similar taxa *Galium album* (tetraploid) and *G. mollugo* (diploid) are at least partly inconsistent. Here, the aim was to work out traits being useful for a clear differentiation. To this end, genetic and morphological data were collected for SW German accessions of both species. The ploidy level was inferred using nuclei size determination, which resulted in clear differences. Besides the sequencing of standard DNA markers, which did not result in a clear differentiation of both taxa, we collected and analysed data on multiple morphological traits such as flower diameter, pedicel length, structural thickness in leaf cross section, leaf length and width. *G. album* is morphologically best distinguished from *G. mollugo* by larger flower diameter, longer leaf length and width,

and a higher leaf length-to-width ratio. Based on these traits, a new identification key is given.

Miriam Diez
Franklinstraße 5, 70435 Stuttgart;
miriam.diez@uni-hohenheim.de

Klaus Schmieder
Universität Hohenheim
Fachgebiet Landschaftsökologie und
Vegetationskunde
Ottolie-Zeller-Weg 2, 70599 Stuttgart;
klaus.schmieder@uni-hohenheim.de

Mike Thiv
Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart
Museum am Löwentor und Schloss
Rosenstein
Rosenstein 1, 70191 Stuttgart;
mike.thiv@smns-bw.de

1. Einleitung

Die Gattung *Galium* L. aus der Familie der *Rubiaceae* umfasst mit etwa 13 000 Arten (ERIKSSON & BREMER 1991, MABBERLEY 1997, EHRENDORFER & al. 2018) viele, morphologisch sehr ähnliche, taxonomisch schwierige Sippen. Viele Arten und Artengruppen sind sowohl morphologisch als auch geographisch nur schwer zu unterscheiden (POBEDIMOVA 2000). Im Rahmen der floristischen Kartierung Baden-Württembergs (<https://www.flora.naturkundemuseum-bw.de>) erwiesen sich insbesondere *G. mollugo* und *G. album* als schwierig zu differenzieren (FAGERLIND 1934, WÖRZ 1996).

Nach der Erstbeschreibung von *G. mollugo* durch LINNAEUS (1753) beschrieb MILLER 1768 *G. album* als eine von *G. mollugo* getrennte Art. BRAUN (1892) unterteilt *G. mollugo* in 20 subspezifische Taxa unterschiedlicher Rangstufe. Ein Versuch, die Gruppe wieder zu vereinfachen, wurde von EHRENDORFER (1949)

unternommen. Anschließend beschäftigte sich KRENDL (1967) intensiv mit dieser Artengruppe und ihren Ploidiestufen. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse entwickelte er eine Hypothese für die evolutionären Beziehungen und den Ursprung der tetraploiden Arten, wie beispielsweise *G. album*. Ebenso erstellte er einen Bestimmungsschlüssel. Die Ploidiestufe gilt auch heute noch als eines der wichtigsten Merkmale zur Differenzierung der beiden Arten (WÖRZ 1996).

Bisher gelingt es nicht, *G. mollugo* und *G. album* eindeutig morphologisch zu unterscheiden. Dies wird besonders deutlich bei einem Blick in die Bestimmungsliteratur. Relevante Merkmale überschneiden sich zum Teil in ihren Ausprägungen. In der „Rothmaler Exkursionsflora von Deutschland“ (KÄSTNER 2021) wird der Blüten-durchmesser von *G. album* mit (2,5–)3–5 mm, der von *G. mollugo* mit 2–3 mm angegeben. Für die Blütenstiele von *G. album* werden als Länge (1,2–)1,5–3 mm genannt, für die von *G. mollugo* 2–3(–4) mm. Die Breite der Blätter wird mit 1,5–4(–5) mm für *G. album* und (2–)3–7(–8) mm für *G. mollugo* beschrieben. Große Überlappungen zeigen auch die Blattlängen mit 10–25(–30) mm für *G. album* und 10–25 mm für *G. mollugo*. Nach der Beschreibung von KÄSTNER (2021) weisen alle Merkmale im mittleren Größenbereich Überschneidungen von teilweise bis zu mehreren Millimetern auf. Pflanzen, die sich in diesen mittleren Bereichen befinden, lassen sich nicht eindeutig zuordnen (Tab. 1). Die Blütenstiellänge von *G. mollugo* wird von FISCHER & al. (2008) mit 3–4 mm, von OBERDORFER (2001) mit 1–3 mm und von EGGENBERGER & al. (2022) mit „Blütenstiele kürzer als Kronenbreite“ beschrieben. Die Blattbreite wird von FISCHER & al. (2008) mit 1,5–4(–5) mm und von PAROLLY & ROHWER (2019) mit 2–8 mm beschrieben. Die Blattlänge wird von KÄSTNER (2021) mit 10–25(–30) mm beschrieben, von WÖRZ (1996) mit 10–40 mm. Eine Übersicht über die in verschiedenen Floren genannten Merkmale findet sich in Tab. 1.

Die meisten Arbeiten enthalten eine allgemeine Beschreibung der bevorzugten Lebensräume der Arten. Diese Angaben sind für *G. album* und *G. mollugo* ähnlich. Das Vorkommen beider Arten wird mit nährstoffreichen Wiesen und Weiden, Auen- und Mischwäldern und Säumen beschrieben (FISCHER & al. 2008; EGGENBERG & al. 2018; KÄSTNER 2021). *G. album* wird

zudem teilweise als Ruderalpflanze (PAROLLY & ROHWER 2019) oder auf trockeneren Standorten vorkommend beschrieben OBERDORFER (2001), was bei den Angaben für *G. mollugo* fehlt. Die Verbreitungskarte der beiden Arten für Baden-Württemberg zeigt eine erhebliche Überschneidung der Verbreitungsgebiete. *G. mollugo* ist in Baden-Württemberg demnach die weniger verbreitete Art, wobei dies zum Teil auf eine Unterkartierung zurückzuführen sein könnte (Abb. 1).

Ziel dieser Studie ist es, die genannten Merkmale zu überprüfen und diagnostisch eindeutige zu finden. Dazu wurden durch Messungen der Kerngröße die Ploidiestufen bestimmt. Darauf basierend war es möglich weitere Merkmale zu ordnen zu können. Es wurden morphologische Messungen von Pflanzen- und Gewebestrukturen durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurden Merkmale herausgearbeitet, die für eine Unterscheidung der beiden Arten relevant sind. Anhand der gefundenen Merkmale wurde ein Bestimmungsschlüssel für die Unterscheidung im Feld erarbeitet.

2. Material und Methoden

2.1 Probennahme

Über Baden-Württemberg verstreut wurden 67 Proben zwischen Juni und Juli 2022 gesammelt (Tab. S1 im elektronischen Anhang). Insbesondere für *G. mollugo* wurden Standorte ausgewählt, von denen bereits im Herbarium des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart (STU) Nachweise vorlagen.

2.2 Morphologische Messungen

Zellkerngröße

Die Messung der Zellkerngröße diente als Indikator zur Einschätzung der Ploidiestufe. Die verwendeten Proben sind in Tab. 2 dargestellt. Das Frischmaterial wurde bei –80 °C gelagert. Zur Vorbereitung wurde von jeder Probe ein Blatt in eine Petrischale mit 2 ml 1X PBS-Puffer und 2 µl 200X DAPI gegeben. Jedes Blatt wurde auf beiden Seiten mehrmals mit einer feinen Schere eingeschnitten, damit der Puffer schnell in das Gewebe eindringen konnte. Die Petrischale wurde dann abgedeckt und in eine

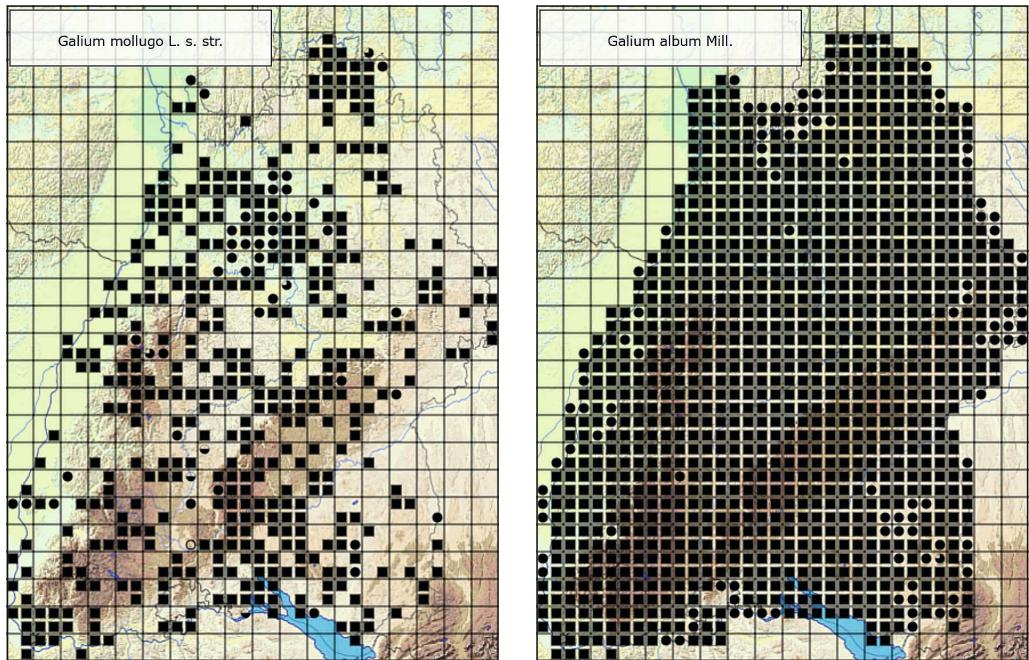


Abb. 1: Verbreitungskarten von *Galium mollugo* (links) und *G. album* (rechts) für Baden-Württemberg. Version 1.50 © 2016. Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart. Internet-Realisation: T. Schneider & J. Brück; aktualisiert 17.8.2022, 1. Version Januar 2012. – Distribution maps of *G. mollugo* (left) and *G. album* (right) for Baden-Württemberg.

37 °C warme Kammer gestellt. Nach einer Inkubationszeit von etwa 10 Minuten wurden die Proben entnommen und einzeln für die Mikroskopie vorbereitet. Dünne Gewebeschichten wurden mit zwei spitzen Pinzetten entfernt und mit 1 Tropfen PBS-Puffer auf einen Objektträger gelegt. Das Deckglas wurde mit Nagellack versiegelt.

Die Präparate wurden unter einem Invers-Fluoreszenzmikroskop (Olympus IX 83) untersucht. Zunächst wurde das Pflanzengewebe im Hellfeld bei 10-facher Vergrößerung untersucht. Mit aktivem Laser und Verwendung des DAPI-Kanals waren die Signale der gefärbten Zellkerne zu erkennen. Die Bilder der Zellkerne wurden mit 20-facher Vergrößerung aufgenommen. Von jeder untersuchten Probe wurden Bilder von 20 Zellkernen aufgenommen und vermessen.

Pollengröße

Chromosomenzählungen an *G. album* und *G. mollugo* wurden unter anderem von PIOTROWICZ (1958) in Polen und später von KLIPHUIS (1962) und GADELLA & KLIPHUIS (1963) in Slowenien und den Niederlanden sowie von

LEVEQUE & GORENFLOT (1969) in Frankreich durchgeführt. Für Deutschland liegen 28 Angaben zu *G. album* (jeweils tetraploid), neun Angaben zu *G. mollugo* (8 diploid, 1 tetraploid) und 8 Angaben zu *G. album/G. mollugo* (8 tetraploid, daher wohl zu *G. album*) vor (PAULE & al. 2017; <https://chromosomes.senckenberg.de/item>). Zur Bestimmung der Ploidiestufe der hier verwendeten Proben wurde die Größe der Zellkerne herangezogen, da eine höhere Chromosomenzahl zu größeren Zellkernen und Strukturelementen führt (JOVTCHEV & al. 2006, KNIGHT & BEAULIEU 2008, FRANKS & al. 2012; HOANG & al. 2019). Als tetraploide Art hat *G. album* größere Zellkerne als das diploide *G. mollugo*.

Die Pollen wurden für die Mikroskopie mit einer 5 mm dicken Gold-Palladium-Schicht präpariert (NIEMOVA 2014), die mit dem Sputter Coater EM ACE600 (Leica) im Hochvakuum aufgetragen wurde. Für die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme wurden die Objektträger unter Hochvakuum in ein EVO LS 15 Mikroskop (Zeiss) überführt. Die Bilder wurden durch eine LaB6-Kathode mit Hilfe der Sekundärelektronenabbildung erstellt. Die Länge und

Tab. 1: Auflistung von Bestimmungsmerkmalen für *Galium mollugo* und *G. album* aus häufig verwendeten Bestimmungsbüchern. – Listing of identification characteristics for *G. mollugo* and *G. album* from frequently used identification literature.

	FISCHER & al. 2008	PAROLLY & ROHWER 2019	OBERDORFER 2001	KÄSTNER 2021	EGGENBERG & al. 2022	WÖRZ 1996	KRENDL 1967
Blü. Ø [mm]	3–5	3–4	3–4	(2,5–)3–5	3–4	2–5	3–4
Blü. Stiel [mm]	1,2–3, <Blü. Ø	1–3	1–3	(1,2–)1,5–3	1–3, <Blü. Ø	<=Blü. Ø	1,5–3
Bl. Breite [mm]	1,5–4(–5)			1,5–4(–5)		1–7	2–7,3
Bl. Länge [mm]				10–30(–40)		10–40	10–40,3
Bl. Verhältnis [L/B]	3–7x			3–7x			
Höhe [cm]	30–80(–100)	30–100		30–100(–150)	30–100(–150)	50–150	350–1700
Habitat	Fettwiesen, Halbwälder- fluren	Fettwiesen, Böschungen, Ruderalfüruren	Fettwiesen u. Halbtrocken- rasen, in Au- enwäldern, in Wald- u. Ge- büschsäumen, an steinigen Orten	Frischwiesen, Halbtrockenkra- sen, Wegsäu- me, Auenwald, Wald- u. Ge- büschsäume	nährstoffreiche Wiesen und Weiden, Wegränder, Krautsäume	nährstoffreiche Fettwiesen, Wald- und Gebüschsäume sowie lichte Waldbereiche	Lichte bis halbschattige Stellen der Außenwälder, Eichen-, Buchen- und Fichtenwälder, dann beson- ders in anthropogenen bedingten Fett- bis Feuchtwiesen, vielfach auch an stark gestörten Standor- ten (Gräben, Hecken, Straßen- ränder, Ruderalstellen usw.).
Chromosomenzahl/ Ploidie-Stufe	tetraploid		2n = 44	44		2n = 44	2n = 44
Blü. Ø [mm]	2–3	2–3	2–3	2–3	>2		2–3
Bl. Stiel [mm]	3–4	3–4	3–4	2–3(–4)	>Blü. Ø		2–4(–5,3)
Bl. Breite [mm]	(2–)3–7(–8)			(2–)3–7(–8)		2–7	3–7
Bl. Länge [mm]				10–25		10–25	8–26
Bl. Verhältnis [L/B]	2–4x	2–4x	2–4x	2–4x			
Höhe [cm]	30–80(–100)		30–80(–100)	30–100		30–100	
Habitat	Wiesen, Harte Auwälder	Fettwiesen, Auenwälder	Fettwiesen od. im Saum frisch-mäßig trocken. Eichenmisch- wälder	Frischwiesen u.-weiden, Auenwaldsäu- me, Weg- u. u. Auenwälder	sonnige, nähr- stoffreiche Krautsäume, Gebüsche, lichte Laub- mischwälder	feuchte, nähr- stoffreiche Wald- und Waldaulge- sellschaften	Hartholzauen, Hainbuchen- bzw. Hopfenbuchen- und Blumen- eschen-Mischwälder usw., vor allem in anthropogenen bedingten Fett- bis Feuchtwiesen.
Chromosomenzahl/ Ploidie-Stufe	diploid			2n = 22	22, 44?	22	2n = 22

Tab. 2: Auswahl an Proben, die für eine ergänzende Untersuchung der Zellkerngrößen verwendet wurden. Nach der Identifizierung der Art (morphologisch und über Zellkerngrößen) wurden diese 9 Proben für weitere Detailanalysen verwendet. – Selection of samples that were used for an additional analysis of cell nucleus sizes. After identification of the species (morphologically and via cell nucleus sizes), these 9 samples were used for further detailed analyses.

Nummer	Art	Sammel-datum	Standort	Standortbeschreibung	Koordinaten
1	<i>G. mollugo</i>	25.6.22	Löffingen	Wald vor Wutachschlucht	47,853374, 8,415116
4	<i>G. mollugo</i>	25.6.22	Wartberg	Waldrand bei Naturkapelle	47,927002, 8,622373
9	<i>G. mollugo</i>	25.6.22	Löffingen	Wald nahe Wutachschlucht	47,855134, 8,424330
10	<i>G. mollugo</i>	26.6.22	Immendingen	Höwenegg, entlang des Waldweges	47,915272, 8,744213
53	<i>G. mollugo</i>	18.7.22	Bad Liebenzell	Waldrand, Richtung Simmozheim	48,763538, 8,766944
11	<i>G. album</i>	26.6.22	Mühlhausen-Ehingen	Mägdeberg, Nähe Parkplatz	47,804064, 8,801490
13	<i>G. album</i>	27.6.22	Buttenhausen	Oberhalb Wacholderheide	48,370579, 9,467670
18	<i>G. album</i>	1.7.22	Plieningen	Kompensationsfläche bei Bosch-Brücke	48,698079, 9,192061
51	<i>G. album</i>	18.7.22	Bad Liebenzell	Wegrand über Felder	48,766145, 8,765986

Breite von vier Pollen pro Probe wurden mit der Software Fiji ImageJ (SCHNEIDER & al. 2012) gemessen (Abb. 2). Für die Messung wurden nur Pollen verwendet, die auf der Seite lagen und nicht deformiert waren.



Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von *Galium-album*-Pollen, in der die Vermessung der Länge (l) und Breite (w) eines stephanokolpaten Pollenkorns dargestellt ist. – SEM image of *G. album* pollen, showing the measurement of the length (l) and width (w) of a stephanocolpate pollen grain.

Blattquerschnitt

Von den zweifelsfrei identifizierten Proben (Tab. 2) wurden nach Rehydrierung mittels einer Wasser-Seifen-Lösung zwei Blätter des Hauptstamms fein geschnitten und einzeln mikroskopiert. Die manuellen Schnitte erfolgten ausschließlich in der mittleren Region jedes Blattes.

Die Mikroskopie erfolgte an einem Leica DMR Lichtmikroskop. Die auf den Bildern gezeigten Blattstrukturen wurden gemessen, indem ihre Länge mit Hilfe der Software Fiji ImageJ (SCHNEIDER & al. 2012) markiert wurde.

Pro Probe wurden für jedes Blatt die Dicke der Mittelrippe, die Dicke der oberen und unteren Kutikula, die Dicke der Palisadenschicht und des Schwammparenchymhs sowie der dickste und dünnsste Teil des Blattes gemessen. Der dickste Teil wurde zwischen dem Bereich der Mittelrippe und dem darauffolgenden Gefäßbündel gemessen, während der dünnste Abschnitt zwischen den beiden letzten Gefäßbündeln am Blattrand lokalisiert wurde.

Blatt- und Blütenvermessung

Zusätzlich zu den Messungen der Internodien, der Basalinternodien der Seitenäste sowie der Blattlänge und -breite, die sich an der Studie

von KRENDL (1967) orientierten, wurden für diese Studie auch die Blüten und ihre Stiele gemessen. Alle Messungen an den Proben erfolgten im getrockneten Zustand. Der Kronendurchmesser der Blüten wurde durch den Abstand zwischen den beiden längsten Spitzen bestimmt.

Um die Morphologie der Blätter unabhängig von den Indexberechnungen nach KRENDL (1967) zu analysieren, wurden die Länge und Breite der Blätter und deren Verhältnis zueinander ebenfalls unabhängig voneinander vermessen. Die Messwerte hierfür stammen aus den Messungen für die Indizes (Teil: Krendl-Indizes). Dazu wurde bei jedem Exemplar die Länge und Breite des längsten Blattes der Hauptachse, oberhalb des längsten Internodiums, gemessen und diese Größen ins Verhältnis zueinander gesetzt; Blattlänge/Blattbreite.

Krendl-Indizes

Die morphologischen Messungen stützen sich auf die Studie von KRENDL (1967). Er beschrieb die oberirdische Wuchsform der jeweiligen Arten als unterschiedlich stark verzweigt. Um diese Beziehung zwischen der Länge der Internodien, der Basalinternodien und der Blätter darzustellen, verwendete er verschiedene Indizes. KRENDL (1967) maß die drei längsten Internodien der Hauptachse (I1, I2 und I3) und die längsten basalen Internodien der Seitentriebe (B1, B2 und B3). Darüber hinaus wurden die Breite und Länge der längsten Blätter (b1 und b2) zwischen I1 und I2 sowie I2 und I3 gemessen.

Für die Analyse der Wuchsform von *G. album* und *G. mollugo* haben wir zwei von KRENDL (1967) entwickelte Indizes verwendet: den Internodien-Index-I ($II[I]$), der das Verhältnis zwischen der Länge der Hauptinternodien und der Basalinternodien beschreibt, und den Blatt-Index-I ($BI[I]$), der das Verhältnis zwischen der

Breite der größten Blätter zu ihrer Länge und der Länge des längsten Hauptinternodiums beschreibt (Tab. 3).

Anhand der schematischen Darstellung der oberirdischen Wuchsform aus der Studie von KRENDL (1967) (Abb. 3a) ist ersichtlich, welche Internodien, Basalinternodien der Seitenäste und Blätter für die Indexberechnungen gemessen wurden. Dieses Schema wurde auf die in dieser Studie gesammelten Proben angewandt, wie in Abb. 3b zu sehen ist. Nur Proben, die alle erforderlichen Pflanzenteile aufwiesen, wurden für die Berechnung verwendet.

Die gemessenen Blätter wurden auf der Grundlage ihrer Länge ausgewählt. Die Länge und Breite des längsten Blattes jedes Quirls wurde gemessen.

2.3 Sequenzierung

Für die Proben (Tab. 3) wurde die nukleare ribosomale interne transkribierte Spacer-Region (ITS) nach SCHÜBLER & al. (2019) sequenziert. Da im Neighbour-Joining-Baum keine Trennung der Proben von *G. album* und *G. mollugo* möglich war, wird im Weiteren nicht weiter auf die DNA-Sequenzierung eingegangen.

2.4 Datenanalyse

Alle Daten wurden mit der Software R verarbeitet und analysiert, ebenso wurden die Ergebnisdigramme mit R (R Core Team 2022) erstellt. Für Daten mit mehreren Messwerten pro Probe wurde ein gemischtes lineares Modell (lmer) für die Analyse verwendet, um zu vermeiden, dass die Auswirkungen der einzelnen Probe berücksichtigt werden. Alle anderen Daten wurden mit einem linearen Modell (lm) analysiert.

Tab. 3: Formeln für $II(I)$ und $BI(I)$ nach KRENDL (1967), die für die Berechnung der Verzweigungsverhältnisse des oberirdischen Teils der Pflanzen in dieser Arbeit verwendet wurden. – Formulas for $II(I)$ and $BI(I)$ according to KRENDL (1967), which were used to calculate the branching ratios of the above-ground plant part in this work.

Index	Abkürzung	Formel
Internodien – Index (I)	$II(I)$	$(B1+B2+B3)/(I1+I2+I3)$
Blatt – Index (I)	$BI(I)$	$(b1+b2)/(I1+I1)$



Abb. 3: Links (Abb. 3a) befindet sich die schematische Darstellung von *Galium mollugo* nach KRENDL (1967), gekennzeichnet durch die Bereiche, die für die Indexberechnungen vermessen wurden. Rechts (Abb. 3b) ist die Übertragung dieses Schemas auf ein Exemplar dieser Arbeit dargestellt. Die violetten markierten Bereiche repräsentieren die drei längsten Internodien I1, I2 und I3. Blau: Längste basale Internodien der Seitenäste B1, B2 und B3. Grün: Teil der Wirtel, an dem die Länge und Breite des größten Blattes gemessen wurde (b1 & b2). – On the left (fig. 3a) is the schematic representation of the *G. mollugo* according to KRENDL (1967), marked by the areas that were measured for the index calculations. On the right (fig. 3b) is the transfer of this scheme to a specimen of this work. The areas marked in purple represent the three longest internodes I1, I2 and I3. Blue: Longest basal internodes of the lateral branches B1, B2 and B3. Green: Part of the whorl where we measured length and width of the largest leaf (b1 & b2).

Um signifikante Abweichungen zwischen den Werten zu ermitteln, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) verwendet. Da bei allen Versuchen mehrere unterschiedliche Daten gesammelt wurden, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) verwendet, um die Anzahl der Ausgangsvariablen zu verringern und die Daten zu organisieren.

4. Ergebnisse

4.1 Zellkerngröße

Die gemessenen Größen der Zellkerne sowie deren Mittelwerte, Standardabweichung und Varianz sind in Tab. 4 aufgeführt. Die nochmals gemittelten Mittelwerte von *G. mollugo* sind mit

Tab. 4: Mittlere Kerngrößen der Proben von *Galium album* und *G. mollugo*. – Mean nucleus sizes of the samples of *Galium album* and *G. mollugo*.

Art	<i>G. mollugo</i>					<i>G. album</i>			
	1	4	9	10	53	11	13	18	51
Nummer	1	4	9	10	53	11	13	18	51
Mittlere Zellkerngröße	23,17 +/- 9,42	26,45 +/- 3,45	26,83 +/- 5,24	28,46 +/- 8,54	19,21 +/- 4,83	60,38 +/- 12,16	57,29 +/- 13,02	40,15 +/- 23,56	48,37 +/- 15,83

25,73 μm^2 etwa halb so groß wie bei *G. album* mit 551,91 μm^2 . Die Kerngröße der beiden Arten unterscheidet sich im direkten Vergleich deutlich. Die Zellkerne der gemessenen Proben von *G. album* sind deutlich größer ($p < 0,001$) als die von *G. mollugo* (Abb. 4).

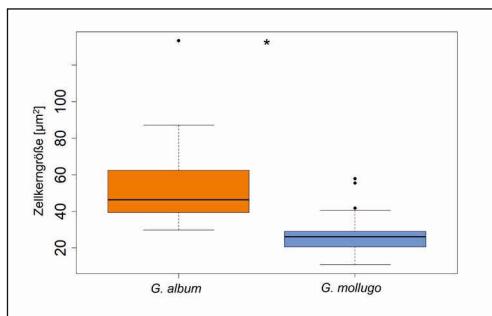


Abb. 4: Boxplot der Zellkerngröße von *Galium album* und *G. mollugo*. Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der Größe der Zellkerne ($p < 0,001$). – Boxplot of the cell nucleus size of *G. album* and *G. mollugo*. The sizes of the nuclei exhibit a significant difference.

4.2 Pollengröße

Für *G. album* liegen die Mittelwerte pro Probe (berechnet aus 4 gemessenen Pollen) bei 21,69 μm für die Pollenlänge mit einer Standardabweichung von 1,59 μm und einer Varianz von 2,54 μm^2 . Die Mittelwerte für die Pollenbreite liegen bei 14,73 μm mit einer Standardabweichung von 1,13 μm und einer Varianz von 1,27 μm^2 . Für *G. mollugo* variieren die Mittelwerte der Pollenlänge zwischen 18,36 μm und 24,21 μm , mit einem durchschnittlichen Mittelwert von 21,41 μm , einer Standardabweichung von 2,42 μm und einer Varianz von 5,85 μm^2 . Die Mittelwerte für die Pollenbreite liegen bei 14,46 μm , mit einer Standardabweichung von 1,58 μm und einer Varianz von 2,50 μm^2 . Weder die Länge ($p = 0,51$) noch die Breite ($p = 0,61$)

der Pollen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Arten.

4.3 Blattquerschnitt

Bei *G. album* schwanken die Werte der Mittelrippe zwischen 0,22 μm und 0,29 μm , die von *G. mollugo* zwischen 0,19 μm und 0,37 μm . Die Werte der oberen und unteren Kutikula sind bei beiden Arten sehr ähnlich. Bei allen Messungen liegen die Minimalwerte von *G. mollugo* unter denen von *G. album*. Die einzige Ausnahme ist die untere Kutikula, die bei beiden Arten mit 0,02 μm gleich dick ist. Ein ähnliches Verhältnis findet sich auch bei den Maximalwerten. Außer bei der oberen Kutikula ist der Wert von *G. mollugo* höher als der von *G. album*. Die Mittelwerte von *G. mollugo* liegen alle durchweg unter denen von *G. album*. Obwohl für keine der gemessenen Strukturen die Unterschiede zwischen den Plots signifikant sind, gibt es eine durchgängige Tendenz zu höheren Werten für *G. album*.

4.4 Blatt- und Blütenvermessung (Tab. S2 im elektronischen Anhang)

Blüten

Ein signifikanter Unterschied zeigt sich im Durchmesser der Blüten (χ^2 : $p < 0,001$). Die Blüten von *G. mollugo* weisen mit einem mittleren Durchmesser von 2,71 mm ($V = 0,059$, $SD = 0,243$) eine signifikant kleinere Größe auf im Vergleich zu den Blüten von *G. album*, die einen mittleren Durchmesser von 3,95 mm aufweisen ($V = 0,186$, $SD = 0,431$; Abb. 5). Im Gegensatz dazu zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Blütenstiellänge zwischen den beiden Arten [$\chi^2(df = 1, n = 90) = 0.18$; $p = 0,6719$], wobei die mittlere Länge für *G. mollugo* bei 3 mm ($V = 0,6$, $SD = 0,79$) und für *G. album* bei 3,35 mm ($V = 0,64$, $SD = 0,80$) lag (Abb. 6).

Blätter

Die Blattlängen unterscheiden sich signifikant voneinander [$F(1,23) = 6,41; p = 0,0186$] und betragen im Durchschnitt 16,25 mm ($SD = 3,14$) für *G. mollugo* und 15 mm ($SD = 1,47$) für *G. album* (Abb. 7). Dasselbe gilt für die Blattbreiten [$F(1,23) = 14,44; p < 0,001$], die bei *G. mollugo*

durchschnittlich 4,88 mm ($SD = 1$) und bei *G. album* 3,35 mm ($SD = 0,80$) betragen (Abb. 8). Das Verhältnis zwischen Blattlänge und Blattbreite beträgt im Schnitt 3,4 für *G. mollugo* ($SD = 0,68$) und 4,02 für *G. album* ($SD = 0,96$) und unterscheidet sich ebenfalls signifikant [$F(1,23) = 4,82; p = 0,0385$] (Abb. 9).

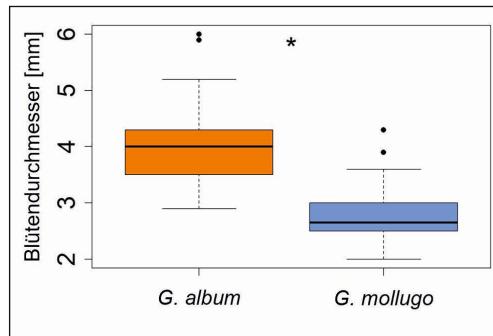


Abb. 5: Blütendurchmesser von *Galium mollugo* und *G. album*. Die Blütengrößen zeigen einen signifikanten Unterschied; $n = 250$. – Flower diameter of *G. mollugo* and *G. album*. The flower sizes show a significant difference.

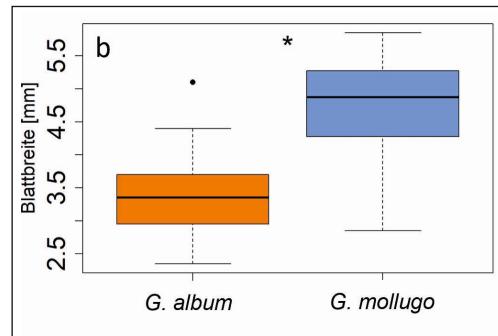


Abb. 7: Längenmessungen der längsten Blätter der Hauptachse, oberhalb des längsten Internodiums, für *Galium album* und *G. mollugo*. Die Blattlänge zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Arten; $n = 25$. – Length measurements of the longest leaves on the main axis, above the longest internode, for *G. album* and *G. mollugo*. Leaf length shows significant differences between the species.

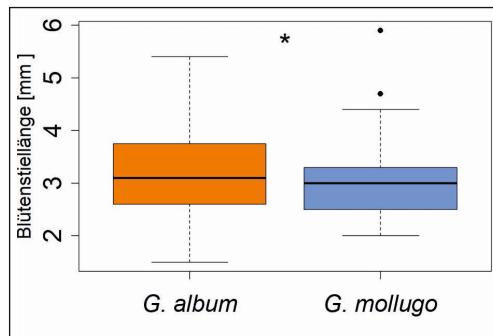


Abb. 6: Länge des Blütenstiels von *Galium mollugo* und *G. album*. Die Stielängen sind nicht signifikant unterschieden, $n = 90$. – Pedicel length of *G. mollugo* and *G. album*. The peduncle lengths do not differ significantly.

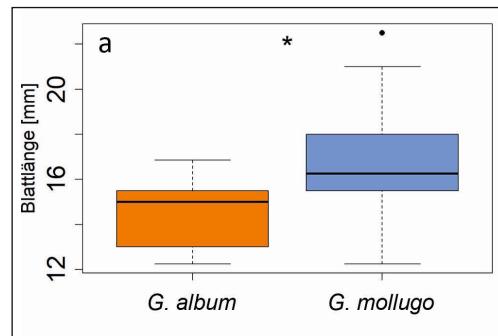


Abb. 8: Längenmessungen der längsten Blätter der Hauptachse, oberhalb des längsten Internodiums, für *Galium album* und *G. mollugo*. Die Blattbreite zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Arten; $n = 25$. – Length measurements of the longest leaves on the main axis, above the longest internode, for *G. album* and *G. mollugo*. The leaf width shows significant differences between the species.

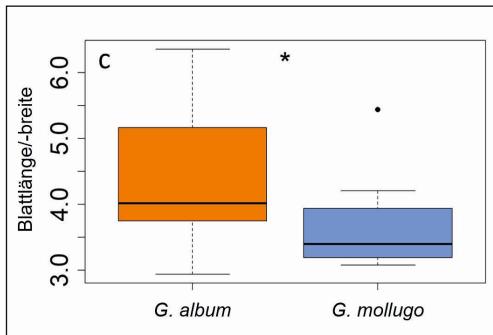


Abb. 9: Längenmessungen der längsten Blätter der Hauptachse, oberhalb des längsten Internodiums, für *Galium album* und *G. mollugo*. Das Verhältnis von Blattlänge zu Blattbreite zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Arten; $n = 25$. – Length measurements of the longest leaves on the main axis, above the longest internode, for *G. album* and *G. mollugo*. The ratio of leaf length to leaf width shows significant differences between the species.

nur geringfügig im Vergleich zu den BI(I)-Werten, die eine größere Abweichung aufweisen. Sowohl die kleinsten (Min) als auch die größten (Max) Werte für *G. album* liegen unter denen von *G. mollugo*. Die Blätter von *G. mollugo* sind im Verhältnis zur Länge breiter als die von *G. album*, was sich in einem größeren BI(I) äußert. Auch hier unterscheiden sich die Mittelwerte kaum. Eine größere Streuung um den Mittelwert findet sich bei *G. mollugo* mit einer Standardabweichung (SD) von 0,1077 für den II(I) und 0,0291 für den BI(I). Die Streuung der Werte um den Mittelwert ist bei *G. album* geringer, sowohl für II(I) mit 0,0758 als auch für BI(I) mit 0,013. Die Mittelwerte der beiden Arten und der beiden Indizes, die nahe beieinander liegen, erscheinen in der Grafik als sich überlappender Wertebereich. Es zeigt sich auch, dass II(I), das auf der y-Achse liegt, die Arten weniger gut trennt. Dies wird auch durch die größten und kleinsten Werte von II(I) deutlich, die sehr nahe beieinander liegen. Der BI(I) hingegen zeigt eine deutlichere Trennung zwischen *G. mollugo* und *G. album* (Abb. 10).

In Abb. 11 sind der Internodien-Index-I und in Abb. 12 der Blatt-Index-I gegeneinander aufgetragen. Trotz der in Abb. 9 und 10 erkennbaren Trends zeigt ein direkter Vergleich zwischen den beiden Arten, dass sich die beiden Indizes nicht signifikant voneinander unterscheiden.

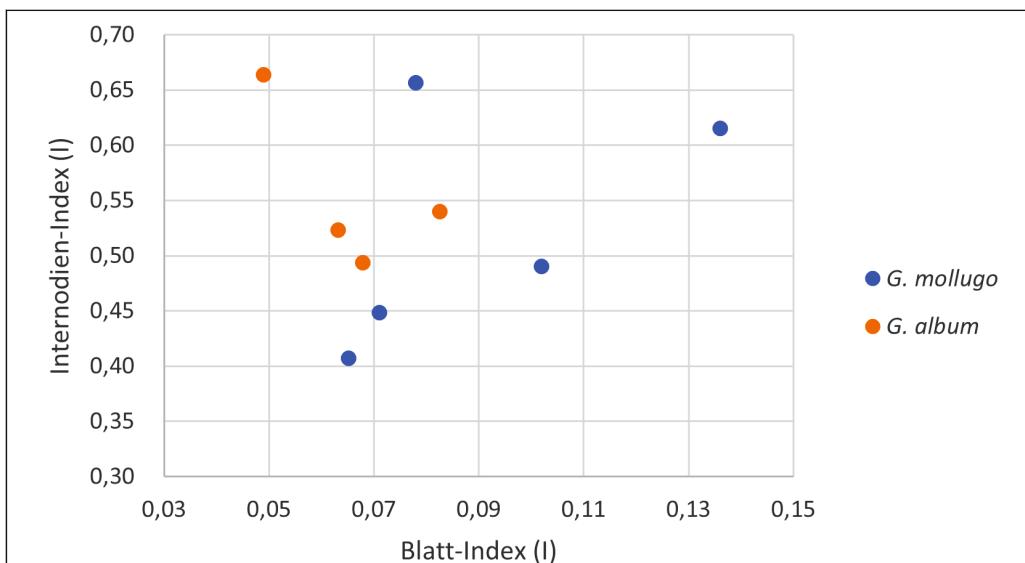
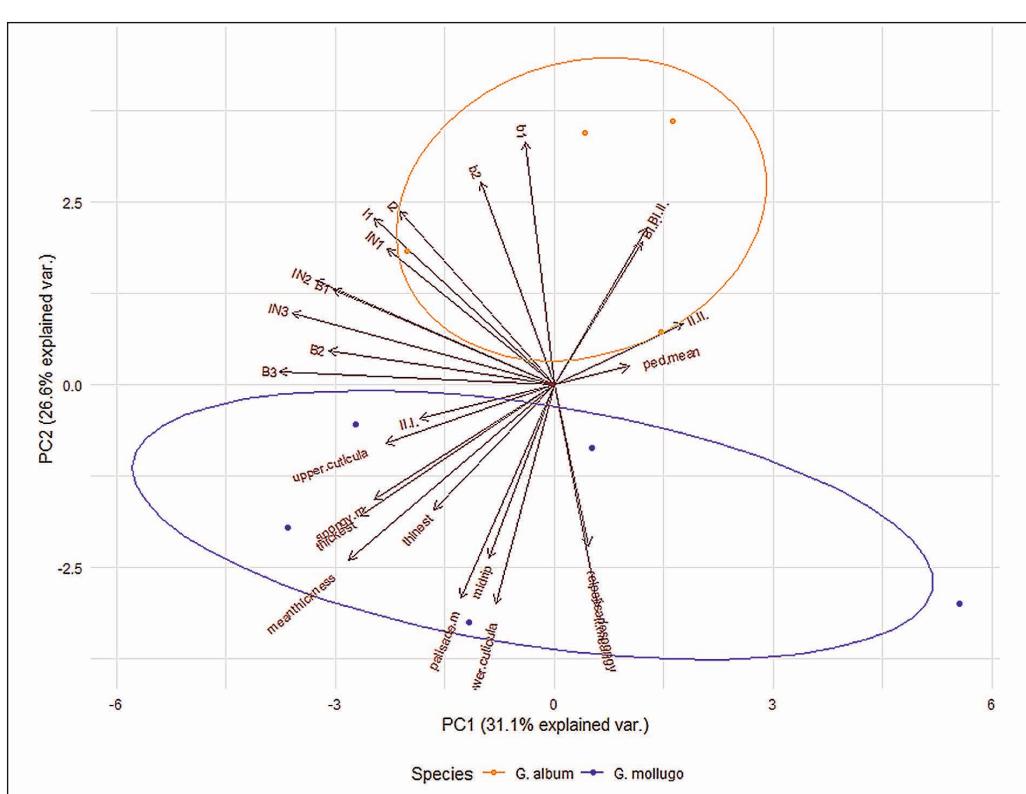
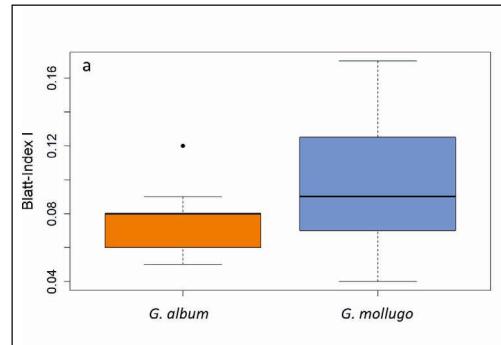
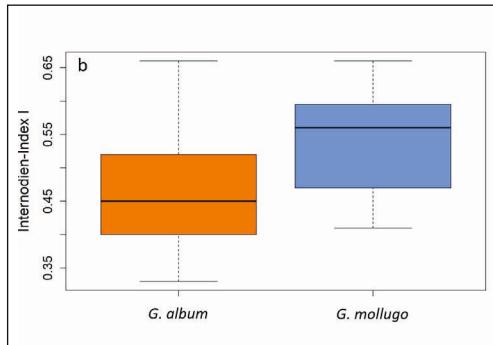


Abb. 10: Streudiagramm von II(I) gegen BI(I) für *Galium mollugo* und *G. album*. – Scatterplot of II(I) versus BI(I) for *G. mollugo* and *G. album*.



4.6 PCA

Die erste Hauptkomponente erklärt 31,1 % der Gesamtvarianz im Datensatz, die zweite 26,6 %. Somit erklären die ersten beiden Hauptkomponenten mehr als die Hälfte (57,7 %) der Gesamtvarianz in den Daten. Die Datenpunkte gruppieren sich in zwei Bereichen, die mit den beiden Arten übereinstimmen (Abb. 13). Dabei wird die Varianz durch einige Variablen besser erklärt als durch andere.

Merkmale, die *G. mollugo* gut von *G. album* unterscheiden, sind Blattlängen und -breiten und Leaf-Index sowie Blattquerschnitte, Blütengröße und Zellkerngröße. Blütenstiellänge, Pollengröße, Internodien- und Basalinternodienlänge erweisen sich als weniger gut trennbare Merkmale.

5. Diskussion

Obwohl die Literatur zu *G. album* und *G. mollugo* einige Unstimmigkeiten aufweist, ist sie dennoch konstant, wenn es um die Beurteilung der Ploidiestufen geht. *G. mollugo* mit $2n = 22$ wird durchgängig als diploid und *G. album* mit $2n = 44$ als tetraploid angegeben (KRENDL 1967, OBERDORFER 2001, EGGENBERG & al. 2018, PAROLLY & ROHWER 2019). Nach KRENDL (1967) ist *G. album* durch Hybridisierung verschiedener Gruppen des *G. mollugo*-Artenkomplexes entstanden: Das tetraploide *G. album* ($2n = 44$) entwickelte sich durch Allopolyploidisierung aus Kreuzungen von jeweils diploiden Populationen aus Mitteleuropa und dem Balkan.

Der Pollendurchmesser wurde bereits von KRENDL (1967) als mögliches Kriterium für die Unterscheidung der Ploidiestufe verwendet. In dieser Studie zeigen sich jedoch weder beim Durchmesser noch bei der Länge der Pollen Unterschiede zwischen den beiden Arten. Dies bestätigt KRENDL (1967), der auch erwähnte, dass sich Unterschiede in der Pollengröße zwischen den Arten nur in den Extremwerten zeigen.

Sowohl die Blattlängen als auch die Blattbreiten zeigen signifikante Unterschiede zwischen beiden Arten. Die Blattlänge ist bei *G. mollugo* signifikant höher, könnte aber dennoch nicht das beste Merkmal für die Unterscheidung im Feld sein, da ihre Standardabweichung relativ hoch ist. Bei Blattlängen in den extremen Bereichen

könnte eine Unterscheidung der Arten anhand dieses Merkmals daher falsch sein. Das ist möglicherweise auch der Grund, weshalb die meisten Bestimmungswerke die Blattlänge überhaupt nicht angeben. Gleches gilt für die Blattbreiten. Die Einbeziehung des Verhältnisses von Blattlänge zu Blattbreite (l/b) ist daher eine gute Ergänzung für den Vergleich der Blattmorphologie zwischen den Arten. Dabei zeigt sich, dass die Blätter von *G. mollugo* etwa dreieinhalbmal so lang wie breit sind, die von *G. album* hingegen etwas mehr als viermal so lang wie breit. Diese Verhältnisse zeigen, dass die Blätter von *G. album* schmäler sind als die von *G. mollugo* und sich somit in ihrer Form unterscheiden. Diese Unterschiede in der Blattform werden teilweise auch in der Literatur angesprochen und als verkehrt eiförmig für *G. mollugo* und lanzettlich für *G. album* beschrieben (WÖRZ 1996, JÄGER & al. 2013, KÄSTNER 2021). Auch KRENDL (1967) beschäftigte sich mit der Blattform und der Größe der Blätter. Er beschrieb die Blätter von *G. mollugo* als relativ kurz und breit. Die aktuelle Literatur macht entweder keine Angaben zur Länge (FISCHER & al. 2008; PAROLLY & ROHWER 2019) oder bewegt sich in ähnlichen Bereichen (WÖRZ 1996). Die Blätter von *G. album* werden von KRENDL (1967) als länger und relativ schmäler beschrieben. Allerdings fasst KRENDL (1967) bei der Beschreibung der Blätter *G. album* subsp. *album* und *G. album* subsp. *pycnotrichum* zusammen, wohingegen hier nur Proben aus Südwestdeutschland und damit von *G. album* subsp. *album* berücksichtigt wurden. Bei *G. palustre* s.l. beispielsweise ist bekannt, dass die phänotypische Plastizität bis zu einem gewissen Grad zu den Unterschieden in Größe und Dicke der Blätter in verschiedenen Lebensräumen beiträgt (APELGREN 1991). Ob dies für *G. mollugo* und *G. album* auch zutrifft, muss noch untersucht werden.

Betrachtet man die Messdaten des Blattquerschnitts, so lässt sich nur eine Tendenz, aber kein signifikanter Unterschied feststellen. Die Ergebnisse stimmen allerdings mit den Beschreibungen der Literatur überein. Bereits KRENDL (1967) sprach von einem einschichtigen Palisadengewebe bei *G. mollugo* und entsprechend heller grünen Blättern als bei *G. album*, deren Blätter eher als dunkelgrün beschrieben werden. Neben KRENDL (1967) wird in der aktuellen Bestimmungsliteratur auf einen Unterschied in der Blattfarbe und

eine auffällige Dicke der Blätter hingewiesen, nicht aber auf die möglichen Ursachen (WÖRZ 1996, FISCHER & al. 2008, KÄSTNER 2021). Auch KRENDL (1967) weist auf Unterschiede im Schwammgewebe und in der Kutikula hin und beschreibt die Mittelrippe von *G. mollugo* als sehr dünn und kaum ausgeprägt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen ebenfalls eine weniger ausgeprägte Mittelrippe, obwohl diese Unterschiede nicht eindeutig sind. Die Messwerte zeigen dünnerne Strukturen im Palisaden- und Schwammparenchym innerhalb der Blattquerschnitte und dementsprechend dünnerne Blätter bei *G. mollugo*. Dieses Merkmal ist allerdings für die Bestimmung im Feld nur bedingt aussagekräftig. Ähnliches gilt für die Blattfarbe.

Weder die Internodien- noch die Basalinternodienlänge sind für die Unterscheidung von *G. mollugo* und *G. album* nützlich (KRENDL 1967). Die Wuchsform von *G. mollugo* wird als sparriger und mit teilweise zurückgebogenen Seitenästen beschrieben, die von *G. album* als kompakter und weniger sparrig (FISCHER & al. 2008, EGGENBERG & al. 2022, KÄSTNER 2021). Die Länge der Internodien und der Basalinternodien und ihr Verhältnis zueinander scheinen sich zwischen den beiden Arten allerdings nicht eindeutig zu unterscheiden. Auch bei anderen Arten der Gattung (wie *G. spurium* und *G. aparine*) zeigen morphologische Merkmale einen deutlichen Mangel an Variation (DEROO & al. 2019). Eine Unterscheidung der beiden Arten anhand der Wuchsform erscheint daher wenig sinnvoll. Zudem muss der genaue Einfluss der Standortbedingungen auf die Plastizität dieser Merkmale noch untersucht werden. Um eine bessere Vorstellung davon zu bekommen, welche Merkmale berücksichtigt werden sollten, gibt die PCA eine Tendenz über die Relevanz der Bestimmungsmerkmale. Damit ist es möglich, die Anzahl der Ausgangsvariablen ohne großen Informationsverlust zu reduzieren. Die Grundidee dabei ist, dass große Datensätze strukturiert, vereinfacht und visualisiert werden können (MAĆKIEWICZ & RATAJCZAK 1993, RINGNÉR 2008, ABDI & WILLIAMS 2010).

Die PCA erklärt etwas mehr als die Hälfte der Varianz. Zellkerngröße, Blütendurchmesser, Blattbreite und -länge sowie deren Verhältnis zueinander und Größenunterschiede innerhalb der Blattquerschnitte sind gut trennende Merkmale. Der Blütendurchmesser ist eines der

solidesten Merkmale zur Unterscheidung der Arten und kann im Feld leicht zur Identifikation genutzt werden.

Der Blatt-Index-I kann ebenfalls als gutes Trennungsmerkmal angesehen werden. Dies ist auf die Einbeziehung der Blattbreite und -länge in die Formel zurückzuführen. Da sich sowohl die Blattbreite als auch die Blattlänge zwischen *G. mollugo* und *G. album* signifikant unterscheiden, kann die Formel, die diese Variablen enthält, auch gut zwischen den Arten unterscheiden. Alternativ können die beiden Arten ebenso gut nur anhand der Blattgröße unterschieden werden. Möglicherweise ist es besser, die Blattgröße anstelle des Blattindexes zu betrachten, da sich der Index auch auf die Internodienlänge bezieht.

Zusätzlich zu den gut unterscheidbaren Merkmalen können auch die weniger gut unterscheidbaren Merkmale der PCA entnommen werden. Dazu gehören die Stielänge, der Internodien-Index und damit die Internodienlängen sowie die Länge und Breite der Pollen. Es empfiehlt sich, nicht nur auf die Größenspanne zu achten, sondern auch auf die Durchschnittsgrößen der morphologischen Merkmale. Da *G. mollugo* und *G. album* sehr ähnlich aussehen, gibt es eine Überschneidung der Merkmalsausprägungen (u. a. KRENDL 1967, PAROLLY & ROHWER 2019, EGGENBERGER & al. 2022). Diese Überschneidung kann zu einer Fehlidentifikation führen, die durch die Bewertung der Durchschnittsgrößen vermieden werden könnte.

Zusätzlich zu vorliegender Untersuchung stellt eine detaillierte Analyse der Verbreitung beider Arten eine interessante Erweiterung dar. Aus der vorliegenden Literatur geht nicht eindeutig hervor, ob die Lebensräume von *G. mollugo* tatsächlich von denen von *G. album* abweichen (Tab. 1). Die Habitattypen von *G. album* werden durchgängig als Fett- und Frischwiesen beschrieben, auch Ruderalfuren und Halbtrockenrasen werden genannt. Andererseits wird berichtet, dass *G. album* auch in Au- und Mischwäldern anzutreffen sei, die primär als Lebensräume für *G. mollugo* identifiziert werden. Lediglich Halbtrockenrasen werden als potenzielles Habitat ausschließlich für *G. album*, nicht jedoch für *G. mollugo*, genannt. Bisher kann die Verbreitung der beiden Arten in Baden-Württemberg nicht eindeutig bestimmt werden. Auch bezüglich der Blütezeit gibt es

eine Diskrepanz in der Literatur. KRENDL (1967) beschreibt *G. mollugo* als eine früh blühende, wärmeliebende Art. Oft wird jedoch *G. album* als Art beschrieben, die früher als *G. mollugo* blüht und eher auf trockenen Standorten vorkommt (u. a. OBERDORFER 2001, EGGENBERGER & al. 2022). Es ist möglich, dass unterschiedliche Blütezeiten aufgrund der unterschiedlichen Standortbedingungen beobachtet wurden. Dies würde zu der von KRENDL (1967) gegebenen Beschreibung von *G. mollugo* als einer früher blühenden und wärmeliebenden Art passen.

Nach den erhaltenen Daten lässt sich der folgende Bestimmungsschlüssel erstellen:

- Blütendurchmesser Ø 2,65 mm, Blattbreite Ø 4,9 mm, Blattlänge >16 mm, Längen-Breiten-Verhältnis (l/b) der Blätter Ø 3,4 *Galium mollugo*
- Blütendurchmesser Ø 4 mm, Blattbreite Ø 3,4 mm, Blattlänge ca. 15 mm, Längen-Breiten-Verhältnis (l/b) der Blätter Ø 4,1 *Galium album*

6. Literatur

- ABDI, H. & WILLIAMS, L. J. 2010: Principal component analysis. – WIREs Computat. Statist. 2: 433–459. – <http://dx.doi.org/10.1002/wics.101>
- APELGREN, K. 1991: Environmental response of *Galium palustre* s. lat. in a coastal area in Central Sweden. – Nordic J. Bot. 10: 593–606.
- BRAUN, H. 1892: Über einige kritische Pflanzen der Flora von Niederösterreich. II. *Galium Mollugo* L. und dessen Formen. – Oesterr. Bot. Z. 42: 130–133, 161–165, 196–199. – <https://doi.org/10.1007/BF01798524>
- DEROO, A. C., ECKSTEIN, P., BENARAGAMA, D., BEATTIE, A. D. & WILLENBORG, C. J. 2019: Evaluation of *Galium* species and populations using morphological characters and molecular markers. – Weed Res. 59: 28–38. – <http://dx.doi.org/10.1111/wre.12336>
- EGGENBERGER, S., BORNAND, C., JUILLERAT, P., JUTZI, M., MÖHL, A., NYFFELER, R. & SANTIAGO, H. 2022: Flora Helvetica, ed. 2. – Bern: Haupt.
- EHRENDORFER, F. 1949: Zur Phylogenie der Gattung *Galium*. I: Polyploidie und geographisch-ökologische Einheiten in der Gruppe des *Galium pumilum* MURRAY (Sekt. *Leptogalium* LANGE sensu ROUT) im österreichischen Alpenraum. – Oesterr. Bot. Z. 96: 109–138. – <https://doi.org/10.1007/BF01252342>
- , BARFUSS, M. H. J., MANEN, J.-F. & SCHNEEWEISS, G. M. 2018: Phylogeny, character evolution and spatiotemporal diversification of the species-rich and world-wide distributed tribe *Rubieae* (Rubiaceae). – PLoS ONE 13: e0207615. – <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0207615>
- ERIKSSON, O. & BREMER, B. 1991: Fruit Characteristics, Life Forms, and Species Richness in the Plant Family Rubiaceae. – Amer. Naturalist 138: 751–761. – <http://dx.doi.org/10.1086/285247>
- FISCHER, M. A., OSWALD, K. & ADLER, W. 2008: Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol, ed. 3. – Linz: Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen.
- FRANKS, P. J., FRECKLETON, R. P., BEAULIEU, J. M., LEITCH, I. J. & BEERLING, D. J. 2012: Megacycles of atmospheric carbon dioxide concentration correlate with fossil plant genome size. – Philosoph. Trans., Ser. B 367: 556–564. – <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0269>
- GADELLA, T. W. J. & KLIPHUIS, E. 1963: Chromosome numbers of flowering plants in the Netherlands. – Acta Bot. Neerl. 12: 195–230.
- HOANG, P. T. N., SCHUBERT, V., MEISTER, A., FUCHS, J. & SCHUBERT, I. 2019: Variation in genome size, cell and nucleus volume, chromosome number and rDNA loci among duckweeds. – Sci. Rep. 9: 3234. – <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-39332-w>
- JÄGER, E. J., MÜLLER, F., RITZ, C. M., WELK, E. & WESCHE, K. (ed.) 2013: Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Atlasband, ed. 12. – Berlin & Heidelberg: Springer.
- JOVTCHEV, G., SCHUBERT, V., MEISTER, A., BARROW, M. & SCHUBERT, I. 2006: Nuclear DNA content and nuclear and cell volume are positively correlated in angiosperms. – Cytogenet. Genome Res. 114: 77–82. – <http://dx.doi.org/10.1159/000091932>
- KLIPHUIS, E. 1962: Cytotaxonomical studies on the genus *Galium*. A preliminary report. – Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch. C 65: 279–285.

- KNIGHT, C. A. & BEAULIEU, J. M. 2008: Genome size scaling through phenotype space. – Ann. Bot. (Oxford) 101: 759–766. – <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcm321>
- KRENDL, F. 1967: Cytotaxonomie der *Galium mollugo*-Gruppe in Mitteleuropa (Zur Phylogenie der Gattung *Galium*, VIII.). – Oesterr. Bot. Z. 114: 508–549. – <http://dx.doi.org/10.1007/BF01373103>
- LEVEQUE, M. & GORENFLOT, R. 1969: Prospections caryologiques dans la flore littorale du Boulonnais. – Bull. Soc. Bot. France 22: 27–58.
- LINNAEUS, C. 1753: Species plantarum: exhibentes plantas rite cognitas ad genera relatas 1 & 2. – Holmiae: Lars Salvius.
- MABBERTLEY, D. J. 1997: The plant-book, ed. 2. – Cambridge, New York & Melbourne: Cambridge University.
- MAĆKIEWICZ, A. & RATAJCZAK, W. 1993: Principal components analysis (PCA). – Computers Geosci. 19: 303–342. – [http://dx.doi.org/10.1016/0098-3004\(93\)90090-R](http://dx.doi.org/10.1016/0098-3004(93)90090-R)
- MILLER, P. 1768: The Gardeners Dictionary. – London.
- KÄSTNER, A. 2021: Familie Rubiaceae Juss. – p. 642–650. In: MÜLLER, F., RITZ, C. M., WELK, E. & WESCHE, K. (ed.): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland, Kritischer Ergänzungsband, ed. 11. – Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- NIEMOVA, S. V. 2014: Sample Preparation for Translucent and Scanning Electron Microscopy: New Leica Microsystems Coaters. – Sci. Innovation 10: 50–54. – <http://dx.doi.org/10.15407/scine10.02.050>
- OBERDORFER, E. 2001: Pflanzensoziologische Exkursionsflora, ed. 8. – Stuttgart: Ulmer.
- PAROLLY, G. & ROHWER, J. G. (ed.) 2019: Schmeil-Fitschen. Die Flora Deutschlands und angrenzender Länder, ed. 97. – Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- PAULE, J., GREGOR, T., SCHMIDT, M., GERSTNER, E.-M., DERSCH, G., DRESSLER, S., WESCHE, K. & ZIZKA, G. 2017: Chromosome numbers of the flora of Germany – a new online database of georeferenced chromo- some counts and flow cytometric ploidy estimates. – Pl. Syst. Evol. 303: 1123–1129. – <http://dx.doi.org/10.1007/s00606-016-1362-y>
- PIOTROWICZ, M. 1958: Caryological studies in some species of the genus *Galium* L. – Acta Biol. Cracov., Ser. Bot. 1: 159–169.
- POBEDIMOVA, E. G. 2000: *Galium*. – p. 272–361. In: SCHISCHKIN, B. K. (ed.), Flora of the USSR. Vol. 23: *Bignoniaceae–Valerianaceae*. – Washington, D. C.: Smithsonian.
- RINGNÉR, M. 2008: What is principal component analysis? – Nature Biotechnol. 26: 303–304. – <http://dx.doi.org/10.1038/nbt0308-303>
- SCHNEIDER, C. A., RASBAND, W. S. & ELICKEIRI, K. W. 2012: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. – Nature Meth. 9: 671–675. – <http://dx.doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- SCHÜBLER, C., BRÄUCHLER, C., REYES-BETANCORT, J. A., KOCH, M. A. & THIV, M. 2019: Island biogeography of the Macaronesian *Gesnouinia* and Mediterranean *Soleirolia* (*Parietarieae*, *Urticaceae*) with implications for the evolution of insular woodiness. – Taxon 68: 537–556. – <http://dx.doi.org/10.1002/tax.12061>
- WÖRZ, A. 1996: Rubiaceae – p. 448–484. In: SEBALD, O., SEYBOLD, S., PHILIPPI, G. & WÖRZ, A. (ed.), Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs 5. – Stuttgart: Ulmer.

Elektronischer Anhang

- Tab. S1: Sammeldaten der untersuchten Pflanzen. – Collection data of the examined plants.
- Tab. S2: Messungen von Blütendurchmesser, Blütenstiellänge, Blatlänge und Blattbreite von *Galium mollugo* und *G. album*. Blatlänge und -breite wurden jeweils am größten Wirtelblatt der Hauptachse, am längsten Internodium gemessen. – Measurements of flower diameter, petiole length, leaf length and leaf width of *Galium mollugo* and *G. album*. We measured leaf length and width on the largest whorl leaf of the main axis and on the longest internode.