Botanik und Naturschutz in Hessen **10**, 87-119, Frankfurt am Main 1998.

Symphytum officinale (*Boraginaceae*) in Süd- und Mittelhessen. Cytologisch-morphologische Untersuchungen zur Abgrenzung der Sippen

Irith Wille

Zusammenfassung: In Süd- und Mittelhessen wurden Pflanzen aus dem Formenkreis des *Symphytum officinale* an natürlichen Standorten gesammelt und 53 äußere Merkmale aufgenommen. Durch Zählung der Chromosomen konnte jede Pflanze eindeutig einer Sippe des Formenkreises zugeordnet werden. Anhand von im Feld leicht zu messenden Merkmalen wurden die Pflanzen auf morphologische Unterschiede zwischen *S. bohemicum* und *S. officinale* überprüft.

Bei der Auswertung der morphologischen Daten wurden weite Überschneidungsbereiche bei den meisten Merkmalen zwischen den Sippen festgestellt. Deutliche Unterschiede treten bei der Form der Blätter und bei einigen Blütenmerkmalen auf. Vor allem das Verhältnis der apikalen Öffnung der Krone zur Breite der Glocke sowie die Länge des Griffelabschnittes, der die Krone überragt, sind Merkmale, die bei den Sippen unterschiedlich ausgeprägt sind.

Die statistische Auswertung mehrerer Merkmalskombinationen erbrachte eine deutliche Trennung der Sippen *S. bohemicum* und *S. officinale*.

Abschließend werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung weiterer Literatur bewertet. Die taxonomische Zuordnung innerhalb des Formenkreises wird diskutiert. Es wird dargestellt, daß *S. bohemicum* die Kriterien einer Biospecies erfüllt und daher als eigene, von *S. officinale* getrennte Art geführt werden sollte, obwohl nicht jedes Individuum auf der morphologischen Ebene eindeutig angesprochen werden kann.

Symphytum officinale (*Boraginaceae*) in southern and central Hesse. Cytological and morphological investigation of the discrimination of taxa

Summary: Plants of the *Symphytum officinale* complex were sampled at natural sites in southern and central Hesse and investigated for 53 external characteristics. The position of each plant, whether belonging to the diploid *Symphytum bohemicum* or to the tetraploid *Symphytum officinale*, was defined by determining its chromosome number. Subsequently the morphological differences between the two taxa were examined using characteristics that can be easily collected in the field.

The ranges of variation of most characteristics overlap considerably. Differences exist in the leaf-shape and the flower-structure. The two taxa are especially differentiated in two characteristics: in the ratio of the apical aperture of the corolla to the maxi-

mum diameter of the tube, and in the length of the distal style segment protruding from the corolla.

The statistical analysis of several combinations of characteristics revealed a clear differentiation between *Symphytum officinale* and *Symphytum bohemicum*.

Finally the results are interpreted in the light of previously published work. The classification of the taxa within the complex is discussed. *Symphytum bohemicum* fulfils the criteria of a biospecies and thus should be treated separately, even though not every individual can be unequivocally identified by its morphological characteristics.

Irith Wille, Alter Kesselstädter Weg 14, 63477 Maintal

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung 88
2. Verbreitung der in Deutschland vorkommenden *Symphytum*-Arten 90
3. Systematische Stellung von *Symphytum officinale* L. sensu lato 90
4. Material und Methode 93
4.1. Die untersuchten Pflanzen 93
4.2. Das Untersuchungsgebiet 93
4.3. Datenerhebung im Gelände 95
4.4. Chromosomenzählung 99
4.5. Statistische Methoden 99
5. Ergebnisse 100
5.1. Analyse der morphologischen Merkmale 100
5.1.1. Einzeldarstellung der Merkmale 100
5.1.2. Korrelierte Darstellung der Merkmale 103
5.2. Statistische Auswertung 104
6. Bewertungen und Schlußfolgerungen 107
6.1. Verwandtschaftliche Beziehungen zwischen den Sippen 107
6.2. Taxonomie 110
6.3. Bestimmungsschlüssel 113
7. Literatur 115
8. Anhang 117

1. Zielsetzung

Zum Formenkreis des *Symphytum officinale* (sensu lato) gehören nach gängiger Auffassung drei Sippen, die je nach dem taxonomischen Konzept als Arten, Unterarten oder Varietäten angesehen werden. Ihre Unterscheidung erfolgt hauptsächlich nach der Blütenfarbe und der Behaarung. Die Einordnung und Benennung wechselt je Autor. *S. officinale* (sensu stricto), 2n = 48, blüht rötlich-violett oder gelblich-weiß und ist rauh behaart. *S. bohemicum*, 2n = 24, blüht ausschließlich gelblich und ist ebenfalls rauhhaarig. *S. tanaicense*, 2n = 40, blüht rötlich-violett und ist fast kahl. Die weiß bis gelblich blühenden Formen von *S. officinale* und *S. bohemicum* gelten als morphologisch nicht zu trennen (Gadella & Kliphuis 1967, 1969, Gadella & al. 1970, 1974, Basler 1972, Gadella 1972, 1987, 1990, Perring 1975, Mekki & al. 1987, Sandbrink

& al. 1990); sie werden deshalb oft unter dem Artnamen *Symphytum officinale* zusammengefaßt, während *S. tanaicense* durch seine Kahlheit eindeutig zu bestimmen ist und daher meist getrennt geführt wird.

Andere Autoren führen die gelblich blühende Sippe unter dem Namen *S. bohemicum* als eigene Art (Löve & Löve 1974, Murín 1978, Smejkal 1978, Murín & Májovský 1982).

Neben der Schwierigkeit, die gelblich blühenden Exemplare anzusprechen, entsteht ein weiteres Problem dadurch, daß Hybridschwärme zwischen *S. officinale* und *S. asperum* vorkommen. Das aus dem Kaukasus stammende *S. asperum* wurde früher als Futterpflanze in Mitteleuropa angebaut, so daß es spontan zur Bastardbildung zwischen beiden Arten kommen konnte. Künstlich wurden Hybriden gezogen, um ertragreichere Pflanzen zu erhalten. Heute ist *S. asperum* in Mitteleuropa selten geworden, neue Hybriden entstehen kaum noch. Mit noch vorhandenen Bastardderivaten kommt es immer noch zu Rückkreuzungen mit *S. officinale*. Daraus resultiert ein formenreicher Hybridschwarm, *S.* ×*uplandicum*, dessen Vertreter morphologisch alle Übergänge zwischen beiden Elternteilen zeigen.

In der vorliegenden Arbeit hat die Zählung der Chromosomen und die eindeutige Zuordnung der Pflanzen zu einer Sippe eine zentrale Stellung. Darüber hinaus wird aufgrund der Analyse von 53 morphologischen Merkmalen geklärt, ob sich die Sippen *officinale* und *bohemicum* aus dem Formenkreis *Symphytum officinale* makroskopisch unterscheiden lassen.

In diesem Zusammenhang soll der Frage nachgegangen werden, ob es sich bei *Symphytum bohemicum* um eine Unterart von *Symphytum officinale* oder um eine eigene Art handelt. Eine Untersuchung dieser Fragestellungen bietet sich in Hessen besonders an, da sich hier die Verbreitungsgebiete beider Sippen überschneiden und somit gemeinsame Vorkommen und eventuell auftretende Bastarde untersucht werden können. Die Sippe *tanaicense* kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor und wird in dieser Arbeit nicht näher behandelt.

Diese Arbeit beschränkt sich insbesondere bei der Darstellung der morphologischen Untersuchungen auf ausgewählte Resultate meiner gleichnamigen Diplomarbeit, die im Arbeitskreis Hydrobiologie, Systematik, Ökologie am Botanischen Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main unter Leitung von Prof. Dr. Horst Lange-Bertalot entstand. Interessenten stelle ich gerne die vollständigen Ergebnisse zur Verfügung.

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Horst Lange -Bertalot für seine Betreuung und die freundliche Aufna hme in seinen Arbeitskreis während der Zeit der Diplomarbeit, Dr. Karl Peter Buttler für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für seine ständige Bereitschaft zu fachlichen Diskussionen und seine jederzeit fördernde Unter - stützung, Prof. Dr. Kurt Brändle für die Hilfe bei der statistischen Auswertung, Herrn Wessel und Herrn Grasmück sowie den anderen Mitarbeitern des Botanischen Gartens Frankfurt für die Bereitstellung von Freilandbeeten und die aufmerksame Pflege meiner Pflanzen, Christoph Geissler für seine viel fältige Unterstützung und nicht zuletzt allen, die mir geholfen haben, Pflanzenmaterial zu beschaffen, oder mit fachkun - digen Informationen das Entstehen dieser Arbeit unterstützten.

2. Verbreitung der in Deutschland vorkommenden *Symphytum*-Arten

Das Areal von *Symphytum officinale* (sensu lato) erstreckt sich von Westeuropa einschließlich der Britischen Inseln bis zum Ural, wobei die südlichsten und nördlichsten Gebiete des europäischen Kontinents ausgespart bleiben. Einige wenige Vorposten sind weiter östlich in Westsibirien bekannt. Die Art besitzt eine ausgeprägte Bindung an die temperate Florenzone Europas, die sie flächendeckend besiedelt. Mit zerstreuten Vorkommen dringt sie in Skandinavien und Rußland nordwärts auch in die boreale Nadelwaldzone vor. Südwärts wird ein Teil der submeridionalen Florenzone besiedelt, so vor allem auf der Apenninen- und Balkanhalbinsel und im pontischen Gebiet Südosteuropas. Aus dem engeren Mediterrangebiet in der meridionalen Florenzone sind nur wenige azonale Einzelfunde von Sardinien und Sizilien bekannt. Die Bindung des Areals an ein ozeanisches Klima ist schwach ausgeprägt.

Die Verbreitung der Sippen aus der *S.-officinale*-Gruppe ist nur ungenügend bekannt, da *S. bohemicum* und *S. officinale* meist nicht getrennt erfaßt wurden. *S. officinale* (sensu stricto) ist in Europa weit verbreitet. Diese Sippe wird in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Belgien, den Niederlanden, Polen, der Tschechoslowakei, Rumänien, Österreich (Burgenland) und Skandinavien nachgewiesen. Auch in Deutschland ist *S. officinale* (sensu stricto) überall verbreitet, im Norden ist es jedoch häufiger vertreten. (Bucknall 1913, Fægri 1931, Basler 1972, Gadella 1972, Haeupler & al. 1989, Schönfelder & Ahlmer 1990, Benkert & al. 1996).

Die Sippe *S. bohemicum* ist weniger weit verbreitet. In Deutschland wird ihr Vorkommen als zerstreut angegeben, im Südwesten des Gebietes ist sie etwas häufiger. Funde werden auch aus Italien, Großbritannien, den Niederlanden, der ehemaligen Tschechoslowakei und aus Ungarn berichtet (Gadella 1972, Lang & Wolff 1993, Michler 1994).

Das eigene Untersuchungsgebiet liegt somit im Überschneidungsbereich der Verbreitungsgebiete von *S. officinale* und *S. bohemicum*.

3. Systematische Stellung von *Symphytum officinale* L. sensu lato

Im 19. und 20. Jahrhundert wurden viele neue Arten der Gattung *Symphytum* beschrieben und taxonomische Einstufungen neu bewertet (Paw³owski 1961, 1971, Wickens 1969, Harmata 1977, Stearn 1986). Bucknall (1913) erwähnt in der bisher einzigen Revision der gesamten Gattung 25 Arten und einige Hybriden. Er unterschied die zwei Gruppen *Ramosa* mit 18 Arten und *Simplicia* mit 7 Arten. Die Gruppe *Ramosa* besitzt verzweigte Stengel, spindelförmige Rhizome und vielblütige Infloreszenzen mit weißen bis gelblichen, blauen und violetten Blüten, die Gruppe *Simplicia* unverzweigte Stengel, kriechende Rhizome und wenigblütige Infloreszenzen mit fahlgelben Blüten.

Tabelle 1: Klassifikation der Gattung *Symphytum* (Sandbrink & al. 1990, verändert).

Gattung	Untergattung	Sektion	Art
Symphytum Linnaeus	*Symphytum* (≅ Divisio *Ramosa* Bucknall)	*Symphytum* (= *Officinalia* Bucknall)	*officinale* *tanaicense*
		Coerulea Bucknall	*armeniacum* *asperum* *hajastanum* *peregrinum* *savvalense* *sepulcrale*
		Albida Bucknall	*anatolicum* *cycladense* *davisii* *euboicum* *ottomanum* *sylvaticum* *tauricum*
		Graeca Pawłowski	*icaricum* *naxicola*
		Procopiania (Guşuleac) Wickens	*circinale* *creticum* *insulare*
		Orientalia Bucknall	*caucasicum* *kurdicum* *orientale* *pseudobulbosum*
		Suborientalia Bucknall	*aintabicum* *bornmuelleri* *brachycalyx* *longisetum* *palaestinum*
	Simplicia (Bucknall) Wickens	*Tuberosa* Bucknall	*bulbosum* *gussonei* *mediterraneum* *nodosum* *tuberosum* *zeyheri*
		Cordata Bucknall	*abchasicum* *ciscaucasicum* *cordatum* *grandiflorum* *ibericum* *longipetiolatum*

Tabelle 2: Chromosomenzahlen der Gattung *Symphytum* und die wahrscheinlichen Grundzahlen, aus Gadella & Kliphuis (1978), verändert.

	x = 8	x = 10	x = 12	x = 14	x = 15
2 ×			*S. officinale* (2n = 24) *S. ibericum* (2n = 24) *S. caucasicum* (2n = 24)	*S. circinale* (2n = 28) *S. creticum* (2n = 28)	*S. anatolicum* (2n = 30)
3 ×			*S. ciscaucasicum* (2n = 36)		
4 ×	*S. asperum* (2n = 32) *S. orientale* (2n = 32)	*S. officinale* (2n = 40) *S. peregrinum* (2n = 40)	*S. officinale* (2n = 48) *S. ottomanum* (2n = 48) *S. caucasicum* (2n = 48)		
5 ×			*S. cordatum* (2n = 60) *S. grandiflorum* (2n = 60)		
6 ×			*S. tuberosum* s. l. (2n = 72)		
7 ×			*S. tuberosum subsp. tuberosum* (2n = 84)		
8 ×	*S. tuberosum subsp. nodosum* (2n = 64)		*S. tuberosum subsp. nodosum* (2n = 96)		
10 ×			*S. cordatum* (2n = 120) *S. bulbosum* (2n = 120)		
12 ×			*S. tuberosum subsp. tuberosum* (2n = 144)		

Die Gattung *Symphytum* ist gut definiert, die verwandtschaftlichen Beziehungen in der Gattung werden aber oft diskutiert. In Tabelle 1 (Seite 91) wird die aktuelle Klassifikation aus Sandbrink & al. (1990) wiedergegeben, die eine Kombination aus den Systemen von Wickens (1969) und Paw³owski (1971) darstellt und 41 Arten benennt. Sandbrink faßt die Sippen *officinale* und *bohemicum* unter der Art *S. officinale* zusammen, *S. tanaicense* führt er als eigene Art.

Die Chromosomenzahlen innerhalb der Gattung *Symphytum* bauen sich vermutlich auf der Basis x = 12 auf. Für diese Annahme spricht, daß die Basis x = 12 auch

innerhalb der Familie weit verbreitet ist und vielleicht sogar als Grundzahl der *Boraginaceae* angesehen werden kann (Grau 1971).

4. Material und Methode

4.1. Die untersuchten Pflanzen

Um die Pflanzen bereits während der Untersuchung benennen zu können, ohne dabei schon eine systematische Zuordnung vorwegzunehmen, wurden für die verschiedenen Typen Arbeitsnamen vergeben. Pflanzen mit 2n = 48 wurden „*officinale*“ genannt. Dabei wurde je nach Blütenfarbe zwischen „*officinale* violett“ oder „*officinale* gelb“ unterschieden. „*Bohemicum*“ wurden Pflanzen mit 24 Chromosomen genannt. Pflanzen mit 2n = 32 oder 2n = 36 wurden „*asperum* ...“ genannt, die jeweilige Chromosomenzahl wurde mitangegeben. Bastarde, Rückkreuzungen und Aneuploide werden als Typ mit der zugehörigen Chromosomenzahl bezeichnet, zum Beispiel Typ 46.

Da sich im Gelände nicht immer alle Daten aufnehmen ließen, konnten nicht für alle Sippen und Typen alle Merkmale ausgewertet werden. Daher ist die Darstellung der Tabellen im Ergebnisteil uneinheitlich.

4.2. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfaßt Mittel- und Südhessen. Die nördliche Grenze verläuft entlang der Lahn und zwischen den Städten Gießen und Fulda, südlich erstreckt sich das Gebiet bis an die Landkreisgrenzen von Groß-Gerau und Darmstadt-Dieburg. Die Ost-West-Ausdehnung wird von der Hessischen Landesgrenze markiert (siehe Abbildung 1, Seite 94). Zusätzlich wurden einzelne Pflanzen von Fundorten außerhalb dieses Gebietes untersucht. Sie stammen aus anderen Teilen Hessens, aus Bayern, Baden-Württemberg und Thüringen und wurden mir von Thomas Breunig, Karl Peter Buttler, Thomas Gregor und Ralf Hand zur Verfügung gestellt.

Die Materialsammlung wurde anhand von topographischen Karten im Maßstab 1:25000 (TK 25) vorbereitet. Auf diesen Karten wurde nach typischen Lebensräumen von *Symphytum officinale* (sensu lato) gesucht, die anschließend im Gelände auf tatsächliche Vorkommen überprüft wurden. Für jeden Fundort wurde die genaue Lage mittels der Rechts-Hoch-Werte im Gauß-Krüger-Koordinatensystem bestimmt.

Der Zeitraum der Datenerhebung lag zwischen Anfang Juli und Mitte September 1996. *Symphytum officinale* (sensu lato) ist stark wüchsig, an klimatisch begünstigten Standorten beginnen die Pflanzen bereits Anfang Mai mit der ersten Blüte. Im Jahresverlauf entwickeln sich aus dem unterirdischen Rhizom immer wieder neue Blütentriebe, so daß die Blütezeit einer Pflanze unter günstigen Bedingungen von Anfang Mai bis

Ende Oktober reichen kann. Zeitlich erstreckte sich die Datenerhebung somit über die Hauptvegetationszeit von *Symphytum officinale* (sensu lato).

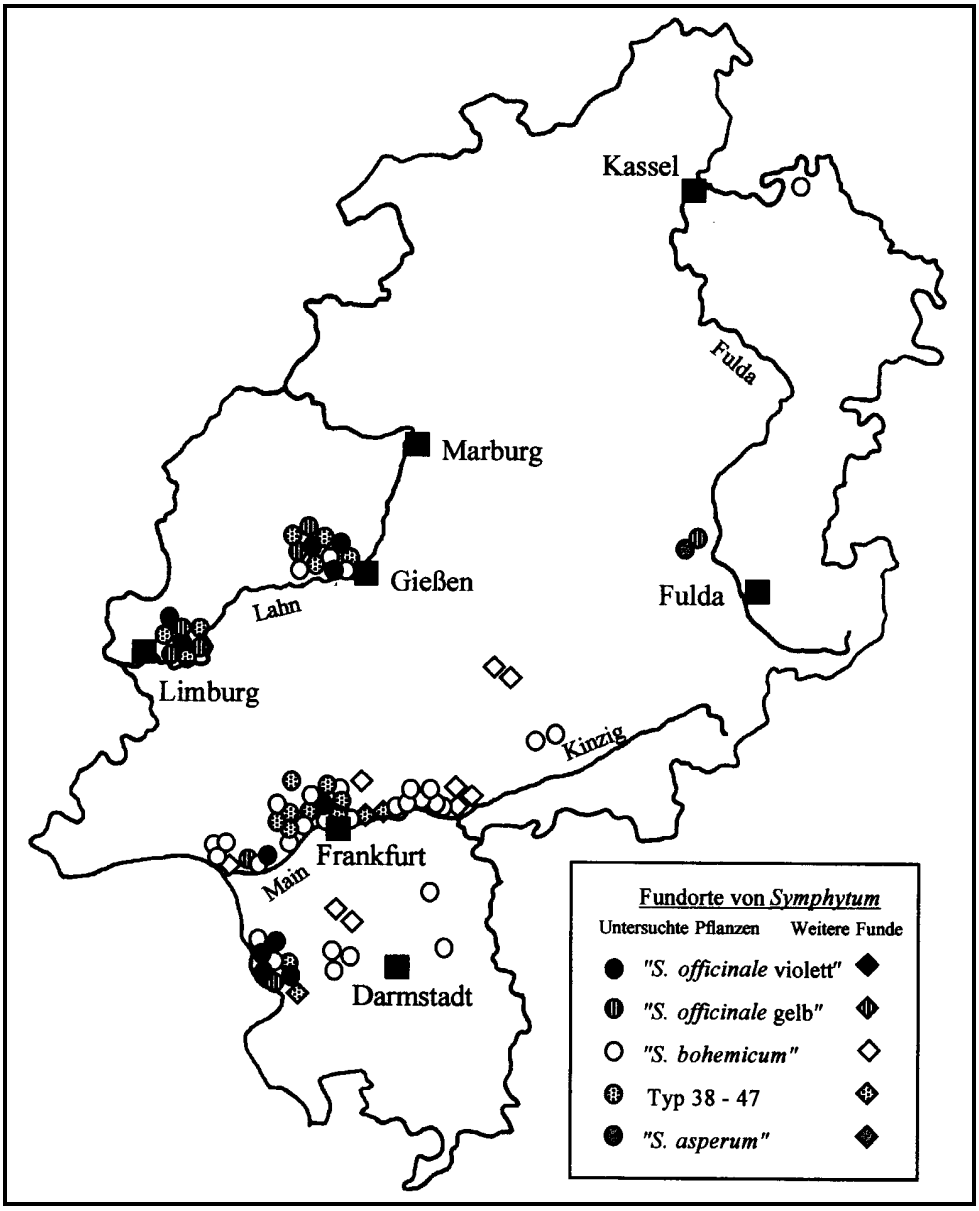


Abbildung 1: Fundorte der untersuchten Pflanzen in Hessen sowie weitere Fundorte von *Symphytum*. Funddaten im Anhang.

4.3. Datenerhebung im Gelände

Je Fundort wurde wenigstens eine Pflanze vermessen und anschließend entnommen. Bei Mischpopulationen oder beim Vorkommen verschiedener Blütenfarben wurden entsprechend mehrere Exemplare bearbeitet und ausgegraben. Die Pflanzen wurden für die folgende Chromosomen-Zählung (siehe Kapitel 4.4., Seite 99) im Botanischen Garten der Universität Frankfurt am Main eingetopft und später zur weiteren Kontrolle in ein Freilandbeet eingesenkt.

Herbarbelege der untersuchten Pflanzen werden im Herbarium der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt am Main aufbewahrt.

Zu Beginn der Untersuchung wurden die morphologischen Merkmale ermittelt, die von verschiedenen Autoren zur Unterscheidung der Sippen herangezogen worden waren und sich als brauchbar erwiesen hatten. In der eigenen Untersuchung wurden nur solche morphologischen Merkmale berücksichtigt, die im Gelände ohne aufwendige Hilfsmittel feststellbar sind. Haare wurden daher nicht berücksichtigt. *Symphytum officinale* (sensu lato) besitzt Haare verschiedener Länge, Form und Dichte (Gadella & Kliphuis 1967), die innerhalb der Species sehr variabel sind (Bronnsack 1992). Eine genaue Studie der Behaarung würde eine detaillierte Untersuchung mit dem Mikroskop erfordern, die über eine Datenerhebung im Gelände weit hinaus ginge.

Die Werte der Datenaufnahme müssen für eine Auswertung vergleichbar sein. Daher wurde versucht, die zu messenden Parameter so weit wie möglich zu standardisieren. Alle Daten wurden am längsten Stengel der Pflanze aufgenommen. Nur wenn die Blüten am längsten Stengel bereits verblüht waren, wurde zwar seine Höhe festgehalten, alle übrigen Daten aber an einem anderen Stengel erhoben.

Die Maße des Stengelblattes wurden generell am 3. Blatt von unten genommen. Weiter unten stehende Laubblätter sind oft vertrocknet, oberhalb stehende Blätter fungieren meist als Tragblätter eines Seitentriebes und haben daher nicht die typische Laubblattausprägung.

Im Bereich der Rosette war es schwierig, ein bestimmtes Grundblatt für eine Messung zu definieren. Während der Hauptblütezeit vertrocknen Rosettenblätter sehr schnell. Später schiebt die Pflanze sehr viele Blätter nach, die noch lange im Größenwachstum zunehmen, so daß der Zeitpunkt des optimalen Entwicklungszustandes schwer zu bestimmen ist. Es wurde am Ende des Untersuchungszeitraumes das größte Blatt der Rosette gemessen.

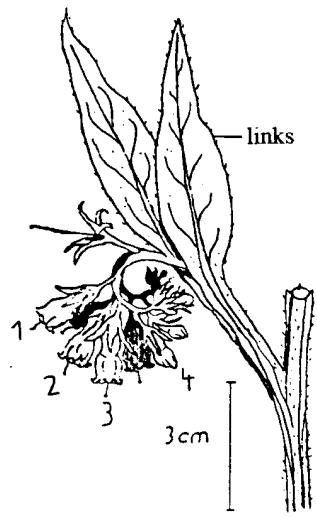


Abbildung 2: Doppelwickeliger Blütenstand (aus Hansen 1981, verändert).

Alle Blütenmerkmale wurden an derselben Blüte aufgenommen. Die Krone wurde gemessen, nachdem die Blüte befruchtet war

und somit ihr Wachstum abgeschlossen hatte. Sie läßt sich dann ohne Widerstand aus dem Kelch lösen. Der terminale Doppelwickel wurde bei der Datenerhebung bevorzugt. Über den Verzweigungsmodus läßt sich die genaue Lage des Wickels angeben. So bedeutet zum Beispiel 7/2 l : Verzweigung an Blatt 7 von unten und an diesem Seitentrieb der Doppelwickel aus der Achse des 2. Blattes; vom Ausgangssproß aus betrachtet wurde der linke Wickel gemessen (Abbildung 2, Seite 95). Ausgehend von der Basis der Verzweigung des Doppelwickels wurden die Blüten bis zu der zu messenden Krone abgezählt (Abbildung 2). Zum Zeitpunkt der Blütenmessung waren die Staubblätter oft schon verwelkt, so daß die Messung der Anthere und des Filamentes meist unterblieb.

Bei der Untersuchung wurden folgende morphologischen Merkmale berücksichtigt:

- Stengel
    - Anzahl der Stengel.
      Wenn im Feld wegen sehr dicht wachsender Pflanzen schwer zu beurteilen war, zu welchem Wurzelstock einzelne Stengel gehörten, wurde diese Angabe nicht aufgenommen.
    - Höhe des längsten und des gemessenen Stengels der Pflanze.
      Gemessen wurde jeweils bis zum Hoch blatt des terminalen Wickels.
    - Durchmesser des Stengels.
      Gemessen wurde am 3. Blatt von unten.
    - Anzahl der Laubblätter am Stengel.
      Die Hochblätter des terminalen Wickels wurden nicht mitgezählt.
    - Verzweigung.
      Es wurde gezählt, ab dem wievielten Blatt von unten Verzweigung einsetzt.
    - Zahl der Seitentriebe am Stengel.
    - Concaulescenz beginnend ab Blatt?
      Es wurde gezählt, ab dem wievielten Blatt von unten Concaulescenz auftritt.
    - Länge der Concaulescenz (Abbildung 3).
    - Blätter sitzend ab Blatt?
      Es wurde gezählt, ab dem wievielten Blatt von unten sitzende Blätter vorkommen.

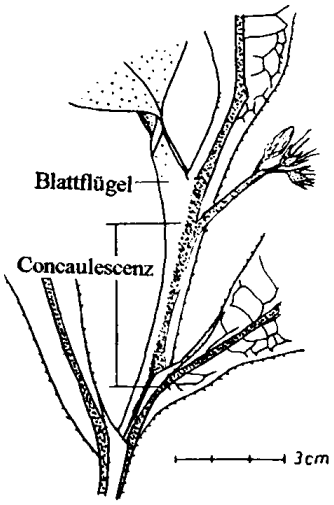


Abbildung 3: Blattflügel und Concaulescenz (aus Gadella & Kliphuis 1973, verändert).

- Rosettenblatt
    - Form der Blattspreite.
      Es wurden folgende Definitionen verwendet (aus Schubert & al. 1988, verändert):
      lanzettlich: >2,5- bis 6mal so lang wie breit, in der Mitte am breitesten, mit bogigen Rändern nach beiden Enden verschmälert.
      eilanzettlich: wie lanzettlich, aber unter der Mitte am breiteste n.
      eiförmig: 1,5- bis < 2,5mal so lang wie breit und unter der Mitte am breitesten.
      elliptisch: 1,5- bis < 2,5mal so lang wie breit und in der Mitte am breitesten.

- Länge der Blattspreite.
  Gemessen von der Blattspitze bis zum Beginn des Blattstiels. Der Blattstiel beginnt dort, wo der Blattrand sein Krümmungsverhalten ändert (Wendepunkt) (Abbildung 4).
- Breite der Blattspreite.
  Gemessen an der breitesten Stelle der Spreite.
- Länge des Blattstiels.
  Gemessen vom Wendepunkt bis zum Stengelansatz.
- Breite des Blattstiels.
  Gemessen in der Mitte des Stiels. Zusätzlich wurde vermerkt, ob der Stiel geflügelt ist oder nicht.
- Farbe des Blattes.
  Erläuterung siehe Ende des Kapitels 4.3.

- Stengelblatt
  - Form, Spreiten- und Stielmaße sowie Farbe wurden analog zum Rosettenblatt ermittelt.
  - Länge der Verwachsung der geflügelten Stielränder mit dem Stengel.
    Beispiel: 0,5 = die halbe Strecke bis zum nächsten Blatt herablaufend, 1 = bis zum nächsten Blatt herablaufend.
  - Breite der herablaufenden Flügel.
    Gemessen am Übergang Blattstiel/-Stengel (Abbildung 3).

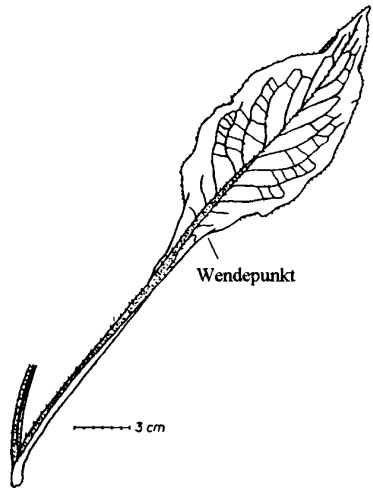


Abbildung 4: Stengelblatt (aus Gadella & Kliphuis 1973, verändert).

- Doppelwickel
  - Anzahl der Blüten je Wickel.
    Die Anzahl der Blüten wurde für jeden Wickel getrennt vermerkt. Die Zählung erfolgte erst, wenn alle Kronen des Doppelwickels abgefallen waren. Es wurde zwischen ausgebildeten (abgeblühten) und nicht ausgebildeten (vertrockneten Knospen) Blüten unterschieden.

- Kelch
  - Kelchlänge.
    Gemessen vom Stielansatz bis zur Spitze der Kelchzipfel (Abbildung 5).
  - Kelchbreite.
    Gemessen am distalen Ende der Kelchröhre.

- Länge der Kelchzipfel (Abbildung 5).
  Es wurde zusätzlich vermerkt, ob sie abspreizen oder nicht.
- Postflorale Kelchgröße.
  An einigen Pflanzen wurde die postflorale Vergrößerung (Länge, B reite, Zipfellänge) nach einem Zeitraum von vier Wochen ver messen.

- Krone
  - Farbe der Krone.
  - Länge der Röhre.
    Die außen auf der Krone sichtbare Ansatzstelle der Schlundschuppen dient als Längenmarkierung (Abbildung 5).
  - Breite der Röhre.
    Gemessen in der Mitte der Röhre.
  - Länge der Glocke.
    Gemessen von der Markierungslinie der Schlundschuppen (siehe oben) bis zur Umschlagskante der eingerollten Kronzipfel (Abbildung 5).
  - Breite der Glocke.
    Gemessen an ihrer breitesten Stelle.
  - Kronzipfel.
    Zur Bestimmung ihrer Länge wurden sie ausgerollt.
  - Durchmesser der apikalen Öffnung der Glocke.

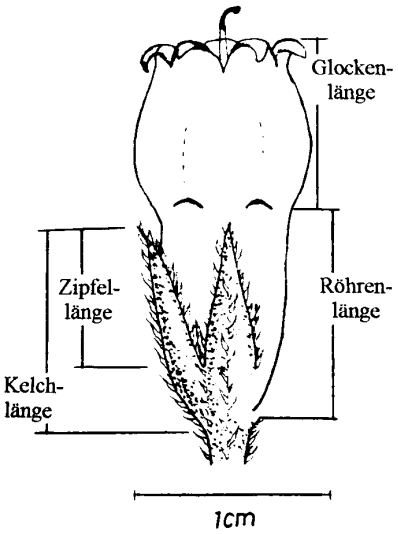


Abbildung 5: Blüte.

- Schlundschuppen
  - Länge der Schlundschuppen.
- Anthere
  - Länge der Anthere.
- Filament
  - Gesamtlänge.
  - Freier Teil des Filamentes, der nicht von der Anthere verdeckt wird.

- Griffel
    - Länge des Griffels.
- Nüßchen
    - Länge der Nüßchen.
    - Breite der Nüßchen.
    - Oberflächenstruktur der Nüßchen.

Die Messungen im Zehntel-Millimeter-Bereich wurden mit einem Tasterzirkel nach Iwanson vorgenommen. Der Meßbereich dieses Präzisions-Werkzeuges reicht von 0-10 mm, es ist auf 0,1 mm ablesbar.

Farben von Blüten und Blättern sind oft ein wichtiges Bestimmungsmerkmal. Das genaue Erkennen und Wiedergeben verschiedener Farbnuancen bereitet aber große Schwierigkeiten, zumal in der deutschen Sprache für über eintausend Farbabstufungen nur etwa 25 Namen zur Verfügung stehen. Eine Farbmitteilung, die sich nur auf Worte stützt, ist daher immer ungenau. Um die Farbeindrücke vergleichbar zu machen, wurden die Farben der Blüten und Blätter anhand von Farbmustern aus dem Taschenlexikon der Farben von Kornerup & Wanscher (1975) ermittelt.

4.4. Chromosomenzählung

Für die Chromosomenzählung wurde ein Schnellverfahren, die Orcein-Quetschmethode, angewandt. Dauerpräparate wurden nicht hergestellt.

Von den eingetopften Pflanzen wurden etwa 1 cm lange Wurzelendabschnitte entnommen und in 0,002molares 8-Hydroxychinolin überführt. Um Metaphaseplatten anzureichern und die Kernteilung in dieser Phase zu stoppen, verblieben die Wurzelabschnitte 12 Stunden bei 4 °C in dieser Lösung. Anschließend wurden sie bei 60 °C im Wärmeschrank in 1n Salzsäure 12 Minuten mazeriert. Nach Überführung in Leitungswasser konnten die Wurzelabschnitte einige Tage aufgehoben werden. Von dem so vorbehandelten Material wurden Quetschpräparate hergestellt. Durch Zugabe von Orcein-Essigsäure wurden die Chromosomen angefärbt und unter dem Mikroskop bei 630facher Vergrößerung gezählt.

4.5. Statistische Methoden

Die für eine Gruppenzuordnung erforderlichen Merkmalskombinationen wurden durch eine Diskriminanzanalyse bestimmt.

Die Gruppentrennung erfolgte im wesentlichen mit zwei Methoden: mit der Fisherschen Diskriminanzfunktion und der generalisierten Diskriminanzfunktion. Die Ergebnisse wurden durch die kanonische Diskriminanzfunktion und quadrierte Mahalanobis-Distanzen abgesichert.

Die statistischen Berechnungen der vorliegenden Arbeit wurden von Kurt Brändle mit einem von ihm geschriebenen PC-Programmpaket für Statistik durchgeführt.

5. Ergebnisse

5.1. Analyse der morphologischen Merkmale

5.1.1. Einzeldarstellung der Merkmale

Die Blattmaße zeigen im Mittelwert nur leichte Differenzen, die Streuung ist sehr groß. Bei Rosetten- und Stengelblättern traten die Blattformen eiförmig, eilanzettlich und lanzettlich auf, und zwar sowohl bei „*bohemicum*“ als auch bei „*officinale*“. In den Tabellen 3 und 4 (Seite 101) ist jeweils die Blattform dargestellt, die am häufigsten aufgenommen wurde. Dabei fällt auf, daß die Blattform von „*bohemicum*“ zu der spitzeren Lanzettform tendiert, während „*officinale*“ häufiger breitere und rundere Blätter hat.

Auch für die Blattfarbe wurde bei den Rosetten- und den Stengelblättern die Farbangabe aufgenommen, die am meisten vorkam. Bei den Pflanzen von „*officinale*“ umfaßt die Farbpalette Abstufungen von dunkelgrün, farngrün, petersiliengrün bis zu tiefgrün. Der Typ „*bohemicum*“ zeigt zu oben genannten Farbtönen zusätzlich die Farben grasgrün, oliv und salatgrün. Gegenüber den Typen „*officinale*“ und „*bohemicum*“ sind die Pflanzen „*officinale* gelb“ durch ein insgesamt helleres Blattgrün gekennzeichnet.

Sowohl bei der Röhre als auch bei der Glocke sind die Mittelwerte der Längen und Breiten für „*officinale*“ höher als für „*bohemicum*“. Gleiches gilt für die Länge der Krone. Jedoch ist der Bereich der Überschneidungen sehr groß. Ein Unterschied zwischen beiden Sippen ist im Verhältnis der apikalen Öffnung der Krone zur Breite der Glocke zu erkennen. Die Glocke verengt sich apikal bei „*bohemicum*“ weniger stark als bei „*officinale*“.

Der Griffel ist im Mittel bei „*officinale*“ länger als bei „*bohemicum*“, jedoch überragt der Griffel von „*bohemicum*“ im Mittel die Krone weiter als der von „*officinale*“. Bei 57 % der Pflanzen von „*bohemicum*“ ragt der Griffel 3 mm über die Krone hinaus, bei 40 % sogar 3,5 mm oder mehr. Bei „*officinale* gelb“ ragen 13 % der Griffel um 3 mm aus der Krone heraus, bei „*officinale* violett“ sind es 23 %; Werte von 3,5 mm werden bei „*officinale*“ nicht überschritten.

Tabelle 3: Rosettenblätter. Länge und Breite in **cm**. $\overline{x}$ = Mittelwert, s = Standardabweichung, n = Anzahl der Pflanzen.

Typ	Spreitenlänge		Spreitenbreite		Stiellänge		Stielbreite		Form	Farbe	n
	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s			
„*bohemicum*“	32,6	10,3	10,8	3,2	17,5	7,3	0,7	0,2	lanz	tiefgrün	26
„*officinale*“	34,6	9,2	13,0	3,7	19,0	7,4	1,0	0,3	eiförm	tiefgrün	16
„*off.* gelb“	27,6	5,9	10,3	3,1	12,8	5,0	0,9	0,2	eiförm	farngrün	6
„*off.* viol.“	38,8	8,4	14,6	3,1	22,7	6,0	1,1	0,4	eiförm	tiefgrün	10
Typ 38	28,5	16,6	13,1	7,4	24,3	24,2	0,6	0,2	eiförm	tiefgrün	5
Typ 42	45,2	-	10,6	-	33,0	-	0,8	-	eilanz	petersilieng.	1
Typ 43	31,1	19,5	14,1	9,5	27,3	8,3	0,7	0,4	eiförm	tiefgrün	3
Typ 46	29,2	-	10,7	-	36,0	-	0,5	-	eiförm	farngrün	1
„*asperum* 32“	32,4	-	10,8	-	30,3	-	0,5	-	eilanz	dunkelgrün	1
„*asperum* 36“	17,8	-	8,2	-	8,6	-	0,7	-	eiförm	dunkelgrün	1

Tabelle 4: Stengelblätter. Länge und Breite in cm. $\overline{x}$ = Mittelwert, s = Standardabweichung, n = Anzahl der Pflanzen.

Typ	Spreitenlänge		Spreitenbreite		Stiellänge		Stielbreite		Form	Farbe	n
	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s			
„*bohemicum*“	19,2	6,1	6,1	2,2	4,1	2,4	1,4	0,6	lanz	tiefgrün	40
„*officinale*“	22,2	7,4	8,0	3,1	4,9	2,4	2,3	1,2	eiförm	tiefgrün	20
„*off.* gelb“	18,9	6,3	6,5	2,4	3,6	1,7	2,1	0,8	eilanz	farngrün	8
„*off.* viol.“	24,4	7,4	9,0	3,2	5,8	2,5	2,4	1,4	eiförm	tiefgrün	12
Typ 38	23,0	4,9	8,8	1,6	10,2	5,8	1,0	0,6	eilanz	tiefgrün	6
Typ 42	27,4	-	8,2	-	7,5	-	3,4	-	eilanz	petersilieng.	1
Typ 43	18,7	6,2	8,0	1,6	4,0	2,3	2,3	1,3	eiförm	tiefgrün	5
Typ 47	29,0	8,4	11,1	2,2	8,5	5,7	1,6	0,3	eilanz	tiefgrün	2

Tabelle 5: Krone. Länge und Breite in mm. Anteil der apikalen Öffnung der Krone an der Breite der Glocke in Prozent. Anteil der Glockenlänge an der Röhrenlänge in Prozent. Griffelabschnit, der die Krone überragt, in mm. Als Farben wurden nur die Hauptkomponenten angegeben. $\overline{x}$ = Mittelwert, s = Standardabweichung, n = Anzahl der Pflanzen.

Typ	Röhren-länge		Röhren-breite		Glocken-länge		Glocken-breite		Kronen-länge		Öffnung Durchm.		Durchm. /Breite	n
	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s	%	
„*bohemicum*“	6,7	0,6	3,8	0,6	5,8	0,8	6,2	1,2	12,6	1,2	5,4	0,8	89	38
„*officinale*“	7,7	0,6	4,6	0,6	6,5	1,0	6,7	1,1	14,2	1,4	4,7	0,5	73	22
„*off.* gelb“	7,7	0,7	4,6	0,6	5,9	0,6	6,6	0,7	13,6	0,9	4,8	0,5	74	9
„*off.* viol.“	7,6	0,6	4,6	0,6	6,9	1,0	6,8	1,3	14,5	1,6	4,7	0,5	72	13
Typ 38	7,1	0,7	4,0	0,4	6,3	0,9	6,3	0,6	13,5	1,4	5,2	0,7	82	6
Typ 42	8,0	-	4,5	-	5,9	-	6,7	-	13,9	-	4,5	-	67	1
Typ 43	8,3	1,8	4,5	0,8	7,1	2,0	6,4	1,1	15,3	3,8	4,7	0,6	74	5
Typ 46	7,9	-	5,0	-	5,9	-	7,5	-	13,8	-	5,2	-	69	1
Typ 47	7,9	1,1	4,8	0,4	6,7	0,5	7,0	0,2	14,6	1,6	5,0	0,1	70	2

Typ	Griffel Länge		Griffelab-schnitt		Farbe Röhre	Farbe Glocke	Farbe Streifen	n
	$\overline{x}$	s	$\overline{x}$	s				
„*bohemicum*“	15,5	1,8	2,9	1,4	gelb-grün	gelb-grün	gelb-grün	38
„*officinale*“	16,3	1,0	2,2	0,8	gelb-violett	gelb-violett	lila-blau	22
„*off.* gelb“	15,9	1,4	2,2	0,8	blaßgelb	blaßgelb	gelb	9
„*off.* viol.“	16,6	1,3	2,3	0,8	gelb-violett	gelb-violett	magenta	13
Typ 38	17,0	1,7	3,5	0,8	weiß-magenta	blau-violettblau	lila-blau	6
Typ 42	16,0	-	21,	-	purpur	purpur	blaßgelb	1
Typ 43	18,4	1,3	37	3,2	weiß-violett	lila-magenta	purpur + blaßgelb	5
Typ 46	17,0	-	3,2	-	graumagenta	graumagenta	magenta	1
Typ 47	17,0	1,4	2,4	0,1	weiß	weiß	violettrot	2

Die Blüten der Sippen weisen ein breites Spektrum an Farben auf. „*Bohemicum*“ blüht in verschiedenen Gelbtönen von blaßgelb, grüngelb über milchweiß bis pastellgelb. Außer bei „*bohemicum*“ und „*officinale* gelb“ kommen bei allen untersuchten Sippen weiße Kronröhren vor. Die Röhren und Glocken von „*officinale* violett“ blühen in Farbabstufungen von hellila, flieder, mauve, purpur bis violettrot. Über einige Blüten verlaufen Längsstreifen in den Farben von blaßgelb über magenta bis tiefviolett. Die Blütenfarben von „*officinale* gelb“ umfassen ähnliche Gelbabstufungen wie die Blüten von „*bohemicum*“, bei ihnen tritt aber zusätzlich lilienweiß und schwefelgelb auf.

Die Pflanzen von Typ 38 haben Kronröhren in weiß, hellila oder graumagenta. Ihre Glocken kommen in Farben von persischrosa über violettblau bis blau vor. Für die Pflanzen mit aneuploiden Chromosomenzahlen ist charakteristisch, daß sie in Richtung

rot tendieren, zum Beispiel roterübenfarben oder amethystviolett, und daß sie häufig mit gelb abwechselnde Längsstreifen besitzen.

5.1.2. Korrelierte Darstellung der Merkmale

Während allgemein bei „*bohemicum*“ und „*officinale*“ große Überschneidungsbereiche bei fast allen Merkmalen festgestellt wurden, zeigen einige doch Ansätze einer etwas stärkeren Differenzierung. Hierzu zählen einige Blüten- und Blattmerkmale. In einer korrelierten Darstellung der Merkmale „Verhältnis der Kronenöffnung zur Breite der Glocke“ und „Länge des Griffelabschnittes, der die Krone überragt“ wird daher getestet, ob eine Trennung von „*bohemicum*“ und „*officinale*“ möglich ist. Werden diese Kronenmerkmale graphisch dargestellt, läßt sich anhand eines Streudiagrammes die Verteilung der Merkmale beider Sippen klarer erkennen (Abbildung 6, Seite 104). In der vorliegenden Untersuchung sind alle Pflanzen, deren Griffel weiter als 3,5 mm aus der Krone herausragt, der Sippe „*bohemicum*“ zugehörig, ebenso alle Pflanzen, deren apikale Öffnung der Blüte gleich groß oder größer ist als der Durchmesser ihrer Glocke. Diese Blüten besaßen keine Glocke im strengen Wortsinn, der vordere Kronenabschnitt ist zylindrisch oder trichterförmig. Die Pflanzen mit anderen Maßen lassen sich häufig über die Blattform und die Populationszugehörigkeit einer der beiden Sippen zuordnen. In der vorliegenden Untersuchung sind gelbblühende Pflanzen mit lanzettlichen Blättern bis auf eine Ausnahme der Sippe „*bohemicum*“ angehörig. Kommen in einer größeren Population die Blütenfarben violett und gelblich-weiß vor, so gehören die gelblich-weiß blühenden Pflanzen vermutlich zur Sippe „*officinale*“. Sie können als Verlustmutanten angesehen werden, die in der Regel nur in der Nachbarschaft von violett blühenden Exemplaren auftreten. In der vorliegenden Arbeit wurde keine einzeln stehende gelblich-weiß blühende Pflanze der Sippe „*officinale*“ gefunden. Einzeln auftretende gelblich-weiß blühende Pflanzen kann man vermutlich zur Sippe „*bohemicum*“ stellen. Große Populationen mit ausschließlich gelblich-weiß blühenden Pflanzen gehören ebenfalls zur Sippe „*bohemicum*“.

Anhand der graphischen Darstellung wird weiterhin deutlich, daß die Bandbreite der Merkmalsausprägung von „*bohemicum*“ größer ist als die von „*officinale*“, was in der Tendenz auch für die hier nicht dargestellten Merkmale gilt. Das Verhältnis Kronenöffnung zu Glockenbreite umfaßt bei „*bohemicum*“ den Bereich von 65-176 %, bei „*officinale*“ liegt der Bereich nur zwischen 64-96 %. Der Griffelabschnitt, der über die Krone hinausragt, umfaßt bei „*bohemicum*“ Längen zwischen 0,2 und 4,9 mm, bei „*officinale*“ liegen die Werte zwischen 0,8 mm und 3,4 mm. Der Befund, daß „*bohemicum*“ eine größere Variationsbreite besitzt als „*officinale*“, gilt jedoch nicht allgemein. Bei den anderen Merkmalen, etwa bei der Blattbreite wurde der umgekehrte Sachverhalt festgestellt (siehe die Standardabweichung der einzelnen Merkmale in den Übersichtstabellen).

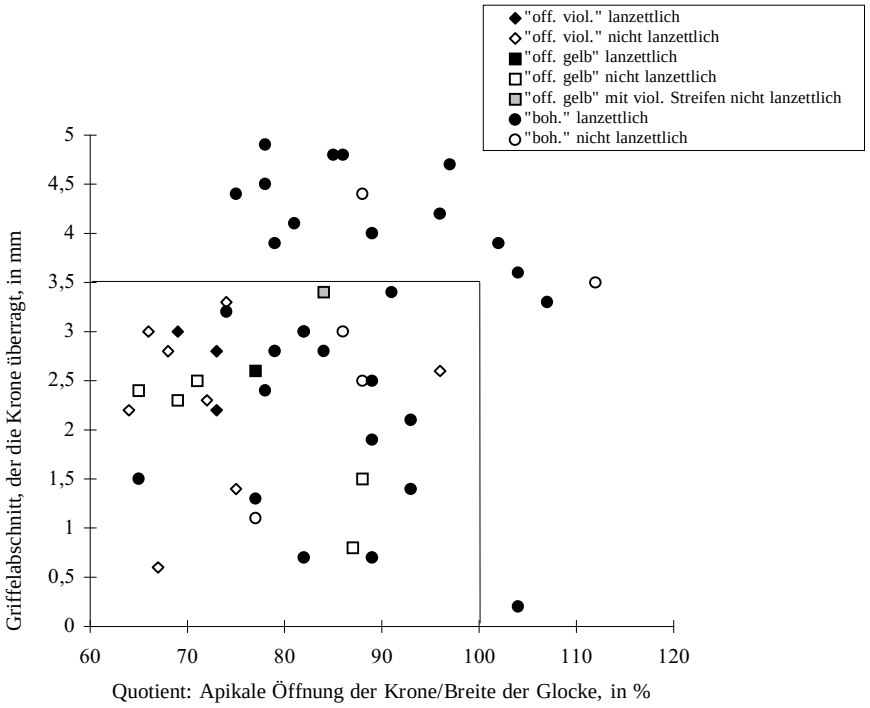


Abbildung 6: Trennung der Sippen aufgrund der Kronenmerkmale. Trennlinien bei 3,5 mm Griffellänge aus der Krone herausragend und bei 100 % Anteil der apikalen Öffnung der Krone an der Breite der Glocke. Am Punkt 82 %/3 mm überlagern sich zwei Pflanzen „*boh*." lanzettlich, eine Pflanze „*boh*." lanzettlich (176 %/2 mm) liegt außerhalb der Darstellung.

5.2. Statistische Auswertung

Im folgenden werden 3 Varianten der statistischen Berechnung vorgestellt. Sie unterscheiden sich dadurch, daß unterschiedliche Merkmalskombinationen berücksichtigt wurden. Es gingen die Daten von 58 Pflanzen in die Berechnung ein, davon 37 Pflanzen aus der Gruppe 1 („*bohemicum*", 2n = 24) und 21 Pflanzen aus der Gruppe 2 („*officinale*", 2n = 48).

Im 1. Beispiel konnte mit Hilfe der Unentbehrlichkeits-Methode die Anzahl der zu untersuchenden Merkmale auf 10 begrenzt werden. Mit der Fisherschen Diskriminanzfunktion ließ sich eine 100prozentige Trennung auf dem 1- %-Niveau nachweisen. Die generalisierte und die kanonische Diskriminanzfunktion bestätigten das Ergebnis bei 1-%-Irrtumswahrscheinlichkeit.

Folgende 10 Merkmale gingen in die Berechnung ein:

x1 = Stengelblatt Form
x2 = Stengelblatt Stielbreite
x3 = Anzahl der Stengel
x4 = Anzahl der Seitentriebe
x5 = Concaulescenz beginnend ab Blatt?
x6 = Höhe der Pflanze
x7 = Stengeldurchmesser
x8 = Kelchlänge
x9 = Röhrenbreite
x10 = Glockenlänge

Für die Fishersche Diskriminanzfunktion (h_{i-j} = b0 + b1 x1 + b2 x2 + ... + bp xp) ergaben sich folgende Koeffizienten b0 - b10:

h_{1-2}:	b0 = 47,1278	b1 = -3,0848	b2 = -2,4173	b3 = 1,1375
	b4 = 1,1686	b5 = -2,2050	b6 = -0,1547	b7 = 6,5522
	b8 = -4,2526	b9 = -5,0859	b10 = 3,1750	

Trennmaß T^2 = 5,2728 F = 24,7823 FG_1 = 10 FG_2 = 47 α = 0,01

Eine graphische Darstellung erhält man über die kanonische Diskriminanzfunktion, wenn man die Eigenvektoren akj der beiden größten Eigenwerte als Gewichte in die Linearkombinationen (Z_{ij}) nach folgender Beziehung einsetzt:

$Z_{ij} = a1_j\, x_{1i} + a2_j\, x_{2i} + ... + ap_j\, x_{pi}$
j = 1, 2 (Gruppen) i = 1,..., n (Individuen) p = Anzahl der Merkmale

Für die Lernstichprobe, deren wahre Gruppenzugehörigkeit der Objekte bekannt ist, wird deutlich, daß die Bestimmung der genannten 10 Merkmale für eine Zuordnung zu einer Sippe ausreicht.

Im 2. Beispiel wurden Merkmale nach sachlogischen Gesichtspunkten ausgewählt. Diese Merkmale sollten im Gelände an blühenden Pflanzen mit einfachen Mitteln meßbar sein. Hier lag die Güte der Diskriminierung nur bei circa 88 % auf dem 1-%-Niveau. Bei einer Diskriminierung dieser Merkmalskombination werden Pflanzen häufiger falsch zugeordnet. Auch dieses Ergebnis bestätigte sich durch die generalisierte und die kanonische Diskriminanzfunktion sowie mit quadrierten Mahalanobis-Distanzen.

Folgende 10 Merkmale gingen in die Berechnung ein:

x1 = Stengelblatt Form
x2 = Concaulescens beginnend ab dem wievielten Blatt von unten?
x3 = Höhe der Pflanze
x4 = Anzahl aller Blütenkelche am rechten Wickel (entwickelte und nicht entwickelte)
x5 = Kelchlänge
x6 = Kelchzipfellänge

x7 = Röhrenbreite
x8 = Glockenlänge
x9 = Glockenbreite
x10 = apikale Öffnung der Krone

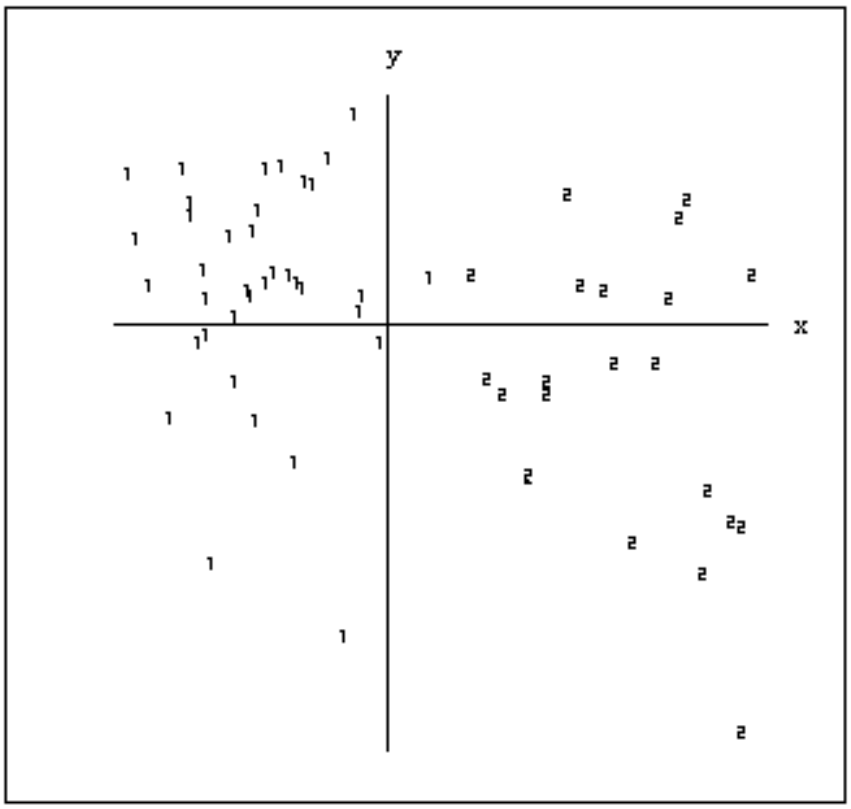


Abbildung 7: Diagramm der kanonischen Diskriminanzanalyse.
Z-Werte 1, 2 = Gruppen Nummer.

$h_{1\text{-}2}$: b0 = 8,7157 b1 = -1,5522 b2 = -0,2442 b3 = 0,0050
b4 = 0,1440 b5 = -1,9982 b6 = 0,7899 b7 = -3,9035
b8 = 1,4036 b9 = -1,0600 b10 = 3,7796

Trennmaß $T^2 = 2{,}3444$ $F = 11{,}0188$ $FG_1 = 10$ $FG_2 = 47$ $\alpha = 0{,}01$

Für das 3. Beispiel wurde die Anzahl der Merkmale bis auf 3 reduziert. In allen vorherigen Berechnungen traten diese Merkmale immer wieder als gut trennende Charakteristika hervor. Mit diesen wenigen, gezielt ausgewählten Merkmalen lag die Güte der Diskriminierung bei circa 86 % auf 1- %-Niveau. Dieses Ergebnis bestätigte sich durch die generalisierte und die kanonische Diskriminanzfunktion sowie mit quadrierten Mahalanobis-Distanzen.

Berücksichtigte Merkmale:
x1 = Stengelblatt Form
x2 = Kelchlänge
x3 = Röhrenbreite

$h_{1\text{-}2}$: b0 = 19,2925 b1 = -1,3164 b2 = -1,0315 b3 = -2,0259

Trennmaß T^2 = 1,2188 F = 21,9391 FG_1 = 3 FG_2 = 54 α = 0,01

Die Beispiele zeigen, daß sich mit unterschiedlichen Merkmalskombinationen eine gute Trennung der Sippen erreichen läßt. Die Merkmale aus Beispiel 1 wurden nach Entbehrlichkeits-Kriterien, in Beispiel 2 nach sachlogischen Überlegungen ausgewählt. Mit verschiedenen Ansätzen lassen sich zwar unterschiedliche Merkmalskombinationen bestimmen, diese erlauben aber dennoch jeweils eine gute Trennung der Sippen. Es fällt auf, daß bei allen Berechnungen immer wieder bestimmte Merkmale als wesentlich herausgestellt werden. In Beispiel 3 wurde deshalb eine Diskriminierung nur mit diesen Merkmalen durchgeführt.

Um eine statistisch gesicherte Auswertung des Datenmaterials vornehmen zu können, ist zu beachten, daß eine genügend große Anzahl an Individuen gesammelt wird, abhängig von der Anzahl der zu untersuchenden Merkmale. Für die vorliegende statistische Auswertung wurden 58 Individuen mit jeweils 41 Merkmalen bearbeitet. Dieses ungünstige Verhältnis von Individuen zu Merkmalen könnte eine Ursache dafür sein, daß sich mehrere Lösungen ergeben.

6. Bewertungen und Schlußfolgerungen

6.1. Verwandtschaftliche Beziehungen zwischen den Sippen

Die Sippen des *Symphytum-officinale*-Formenkreises stimmen morphologisch weitgehend überein und sind zweifellos eng miteinander verwandt. *Symphytum bohemicum* ist diploid mit 2n = 24, *S. officinale* ist tetraploid mit 2n = 48. Als möglicher Entstehungsmechanismus kommt für *S. officinale* Auto- oder Allopolyploidisierung in Frage.

Typische morphologische Erscheinungen einer Autopolyploidie (Vervielfachung des arteigenen Chromosomensatzes), wie sie in verschiedenen Pflanzengruppen beobachtet wurden, sind größere, runzeligere und dickere Blätter mit dunklerem Blattgrün und gröberer Struktur. Ihre Blattform ändert sich, sie werden kürzer und „runder". Die Blüten sind größer und kompakter, jedoch zahlenmäßig reduziert, und sie blühen später. Die Pflanzen wirken insgesamt kräftiger und zeigen Gigaswuchs, jedoch ist ihre Wachstumsgeschwindigkeit herabgesetzt. (Eigsti & Dustin 1955, Rieger 1963).

Einige dieser Erscheinungen wie die eiförmige Blattform, die größeren Blüten und

der höhere und kräftigere Wuchs sind in der vorliegenden Untersuchung bei „*officinale*“ zu beobachten. Andere treffen nicht zu. Weder sind die Blätter von „*officinale*“ runzeliger oder gröber strukturiert noch ist die Blattfarbe dunkler als bei „*bohemicum*“. Auch ist die Blütenanzahl am Wickel bei beiden Sippen nicht unterschiedlich. Weiterhin stellte Frank (1993) fest, daß die phänologische Entwicklung von *S. bohemicum* im Vergleich zu *S. officinale* im Durchschnitt um zwei Wochen verzögert ist. Diese Differenz konnte bis zum Beginn der Fruchtreife beobachtet werden. Die phänologische Entwicklung verhält sich demnach genau umgekehrt wie es bei einer Autopolyploidisierung zu erwarten wäre.

Auch die Höhe der Pflanzen läßt nach der vorliegenden Untersuchung keine Aussage zu. *S. officinale* entwickelt zwar im Durchschnitt kräftigere Pflanzen, doch kann dieses Merkmal kaum für eine mögliche Polyploidisierung sprechen. Zum einen ist auch hier die Streuung sehr groß, zum anderen herrschen im Gelände keine einheitlichen Bedingungen, so daß sowohl ältere Pflanzen als auch gemähte und so jüngere und kürzere Austriebe in die Messungen eingingen. Der Mittelwert von „*bohemicum*“ liegt bei 66,8 cm, der Mittelwert von „*officinale*“ beträgt 89,3 cm. Allerdings erreichen 15 % der Pflanzen von „*bohemicum*“ Wuchshöhen, die über dem Mittelwert von „*officinale*“ liegen.

Die typischen morphologischen Ausprägungen einer Autopolyploidie lassen sich bei den Sippen „*bohemicum*“ und „*officinale*“ nicht mit Sicherheit feststellen. Hinzu kommen weitere Eigenschaften bei den Inhaltsstoffen, die in die gleiche Richtung weisen.

Hinsichtlich der toxischen Pyrrolizidinalkaloide (PA) von *S. bohemicum* und *S. officinale* ergab eine Untersuchung Unterschiede im Gehalt und im Muster (Michler & Arnold 1996). Folgende Werte wurden gefunden:

Tabelle 6: Arithmetisches Mittel der Pyrrolizidinalkaloide der Sippen *S. bohemicum* und *S. officinale* in ppm des Trockengewichtes (10 ppm = 0,001 %).
PA 1: Intermedin (Monoester); PA 2: Lycopsamin (Monoester); PA 3: Acetylintermedin (Diester); PA 4: Acetyllycopsamin (Diester); PA 5: Symphytin 381-1 (Diester); PA 6: Symphytin 381-2 (Diester); PA 7: Symphytin 381-3 (Diester). Aus Michler & Arnold (1996), verändert.

Sippe	PA 1	PA 2	PA 3	PA 4	PA 5	PA 6	PA 7	Gesamt
S. bohemicum	518	424	878	742	74	81	91	2757
S. officinale	447	306	560	412	98	33	77	1915

S. bohemicum hat insgesamt einen höheren PA-Gehalt als *S. officinale*. Auch Mütterlein (1993) hat bei *S. bohemicum* eine um 45 % höhere PA-Konzentrationen gefunden als bei *S. officinale*. Die Werte von *S. officinale* müßten im Falle einer Autopolyploidie aber gleich hoch oder höher liegen als bei *S. bohemicum*.

Gegen eine Autopolyploidie von *S. bohemicum* sprechen nicht zuletzt die Blütenfarben violett bis rot, die für *S. officinale* typisch sind und bei *S. bohemicum* bisher nicht beobachtet wurden.

Bei Abwägung aller Argumente scheint die autopolyploide Entstehung von *S. offi-*

cinale aus *S. bohemicum* doch weitgehend ausgeschlossen. Daher muß stattdessen eine allopolyploide Entstehung in Betracht gezogen werden. Die Bildung neuer tetraploider Arten aus zwei diploiden Ausgangssippen ist im Pflanzenreich durch zahlreiche Beispiele belegt und könnte auch in der Gattung *Symphytum* eine Rolle gespielt haben. Bisher sind in dieser Gattung drei diploide Sippen mit der Basiszahl x = 12 bekannt: *S. bohemicum*, *S. caucasicum* sowie *S. ibericum*. Die letzte Art gehört jedoch der Gruppe *Simplicia* an, die sich durch unverzweigte Stengel, kriechende Rhizome und wenigblütige Infloreszenzen mit fahlgelben Blüten von den *Ramosa* abtrennen läßt, denen die beiden anderen Arten angehören. Ein Bastard zwischen Vertretern beider Gruppen würde nicht das Erscheinungsbild von *S. officinale* ergeben. Die Ausgangssippen für *S. officinale* sind daher innerhalb der *Ramosa* zu suchen. Ob dies *S. bohemicum* und *S. caucasicum* sind, ist beim jetzigen Kenntnisstand unklar. Gegenargumente stellen zum Beispiel die Blütenfarben dar. *S. caucasicum* besitzt blaue Blüten, die keinen Farbwechsel zeigen. Ob aus der Kombination Blau und Gelblich das Violettrot von *S. officinale* entstehen kann, ist fraglich. Hierzu müßten gezielte Kreuzungsexperimente und eine chemische Analyse der Farbstoffe durchgeführt werden. Offen ist ferner, wie die gelblich bis weiß blühenden Pflanzen bei *S. officinale* einzuschätzen sind. Sie könnten auf eine so blühende Ausgangssippe hinweisen, sie können ebenso auch nachträgliche Verlustmutanten des ursprünglich violettblütigen *S. officinale* sein.

Weiterhin für den hybridogenen Charakter von *S. officinale* könnte sprechen, daß es weiter verbreitet ist als *S. bohemicum*. Allopolyploide Arten haben oft einen weiteren ökologischen Toleranzbereich. Solche Arten können auf widrige Umweltbedingungen flexibler reagieren und besiedeln oft ausgedehntere Areale als die Ausgangssippen.

Eine Erhöhung der Chromosomenzahl durch Polyploidie begünstigt zwar die Rekombination, zahlreiche Chromosomen erschweren aber ihre Verteilung in der Meiose und führen oft zum Ausfall einzelner Chromosomen, der sogenannten Aneuploidie. In der vorliegenden Arbeit wurden Formen von *S. officinale* mit den reduzierten Chromosomenzahlen von 2n = 42 bis 2n = 47 (Typ 42-47) gefunden. Es fiel auf, daß diese Formen überwiegend in größeren Populationen von *S. officinale* vorkamen, in denen keine Individuen von *S. bohemicum* oder *S.* ×*uplandicum* wuchsen. Es könnte sich daher um aneuploide Formen von *S. officinale* gehandelt haben. Solche Störungen in der Meiose weisen möglicherweise auf den Bastardcharakter von *S. officinale* hin. Auch Basler (1972) stellte fest, daß die Meiose von *S. bohemicum* vollkommen ungestört verläuft, während es bei *S. officinale* zu Beeinträchtigungen kommen kann.

Eine weitere theoretische Möglichkeit wäre, daß *S. bohemicum* durch absteigende Aneuploidie aus dem Chromosomensatz von *S. officinale* hervorgegangen ist. Dieser Vorgang müßte über eine lange Kette von Chromosomenverlusten von n = 24 bis n = 12 erfolgt sein. Beispiele für solche langen absteigenden Aneuploidiereihen sind sehr selten. Eine Reduzierung der Chromosomenzahl bei *S. officinale* bewegt sich aber nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung im Bereich zwischen 2n = 47 und 2n = 42. Von anderen Autoren werden Zahlen zwischen 2n = 47 und 2n = 41 angegeben (Gadella & Kliphuis 1967, 1969, 1971, 1975, Basler 1972, Gadella & al. 1974, 1984, Shirato & al. 1985, Preitschopf 1996). Es ist allerdings nicht sicher, ob die niedrigen Zahlen nicht eventuell Bastardabkömmlinge mit *S.* ×*uplandicum* sind.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Entstehung von *S. officinale* weder durch Autopolyploidie aus *S. bohemicum*, noch durch Allopolyploidie aus den beiden derzeit

bekannten diploiden Sippen der *Ramosa* (*S. bohemicum*, *S. caucasicum*) wahrscheinlich ist. Der jetzige Kenntnisstand läßt weitere Aussagen nicht zu. Von allen Möglichkeiten scheint demnach die Entstehung von *S. officinale* durch Allopolyploidie mit *S. bohemicum* und einem unbekannten Elter oder zwei unbekannten Eltern wahrscheinlich zu sein. Diese Vorgänge liegen eventuell schon so lange zurück, daß sich durch Deregulation die veränderten Ausprägungen entwickelt haben. Auf diese Weise können Veränderungen, die bei einer Polyploidie auftreten, im Laufe der Zeit relativiert werden. Negative Auswirkungen wie etwa physiologische Störungen, die mit einer Zellkernvergrößerung verbunden sind, werden so kompensiert (Rieger 1963). Zellkerngröße, Spaltöffnungslänge und Pollenmerkmale sind Kriterien, an denen Polyploidie durch Größenzunahme nachweisbar ist. Basler (1972) fand für die Kerngröße, die Spaltöffnungslänge und für verschiedene Pollenmerkmale folgende Werte:

Tabelle 7: Durchmesser und Volumen der Arbeitskerne und Spaltöffnungslängen, sowie Mittelwerte der Pollenmerkmale Anzahl der Tremata, Polachsenlängen und Äquatordurchmesser bei *S. bohemicum* und *S. officinale* (aus Basler 1972, verändert).

Sippe	Kern-		Spaltöffnungs-	Pollen-		
	Durchmesser	Volumen	länge	Tremata	Polachsen-	Äquator-
	µ	µ³	µ	n	länge µ	durchm. µ
S. boh.	9,8 (8,2-11,4)	493	22,0 (17-29)	8,48	20,53	14,27
S. off.	11,2 (9,6-15,4)	736	25,4 (17-34)	9,23	23,47	16,93

Nur beim Volumen liegen die Werte für *S. officinale* deutlich höher als bei *S. bohemicum*. Auswirkungen einer möglichen Polyploidie könnten durch Evolution wieder unkenntlich geworden sein, möglicherweise sind inzwischen Kreuzungsbarrieren entstanden.

6.2. Taxonomie

In der Literatur werden die weiß bis gelblich blühenden Formen von *Symphytum officinale* und *S. bohemicum* häufig als morphologisch nicht unterscheidbar angesehen (Gadella & Kliphuis 1967, 1969, Gadella & al. 1970, 1974, Basler 1972, Gadella 1972, 1987, 1990, Perring 1975, Mekki & al. 1987, Sandbrink & al. 1990). Eine solche Trennung könnte aber aufgrund der unterschiedlichen Chromosomenzahlen der beiden Sippen des *Symphytum-officinale*-Formenkreises zu erwarten sein. In diese Gruppe gehört weiterhin *S. tanaicense* mit 2n = 40. Zu dieser Sippe ist am wenigsten bekannt, sie gilt als hypotetraploid (Murín & Májovský 1982), könnte aber auch ein Bastardderivat von *S.* ×*uplandicum* sein. Es stellt sich generell die Frage, ob die Einordnungen innerhalb dieses Formenkreises richtig sind.

S. bohemicum wird in einigen gegenwärtigen Systemen der Rang einer Unterart

(Subspecies) von *S. officinale* zugesprochen. Gegen diese Einordnung spricht, daß Unterarten definitionsgemäß räumlich getrennte Areale besiedeln (Mayr 1967). Dies ist bei *S. bohemicum* und *S. officinale* jedoch nicht der Fall, da beide Sippen im für *S. officinale* angegebenen Verbreitungsgebiet sympatrisch vorkommen. Auch verschiedene Blühperioden, die zu einer reproduktiven Isolierung der Unterarten führen, konnten für die beiden Sippen in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden. *S. bohemicum* hat zwar eine um zwei Wochen verzögerte Entwicklung, die Blühperiode beider Sippen verläuft aber über Monate hinweg parallel (Frank 1993). Zum gleichen Ergebnis kam Basler (1972). Das Fehlen von Übergangsformen zwischen den Sippen durch Bastardbildung im gemeinsamen Verbreitungsgebiet spricht ebenfalls gegen die systematische Einordnung von *S. bohemicum* als Subspecies. Die reproduktive Isolation der beiden Sippen wird von verschiedenen Autoren angenommen (Gadella 1972, 1978, Gadella & Kliphuis 1967, 1969, 1972, Gadella & al. 1970, 1974, Huizing & al. 1982). Selbst in gezielt durchgeführten Versuchen, *S. bohemicum* und *S. officinale* zu kreuzen, konnten nur selten Bastarde erzeugt werden. Eine künstliche Hybridisierung aus *S. bohemicum* und weißblütigem *S. officinale* gelang lediglich in zwei Fällen. Dies entsprach 0,1 % der im Versuch erzeugten Nüßchen (Gadella & Kliphuis 1967, 1969). Diese Bastarde waren steril. Weitere Kreuzungsversuche im *S.-officinale*-Formenkreis zeigten, daß *S. bohemicum* auch mit *S. tanaicense* nur in seltenen Fällen Hybriden hervorbringt. Dagegen kreuzen *S. officinale* und *S. tanaicense* leicht. (Gadella & al. 1974, Gadella 1978). Schon Gadella (1972) vermutete deshalb, daß *S. officinale* und *S. bohemicum* getrennte Arten sind. Aufgrund fehlender morphologischer Differenzen faßte er sie trotzdem zu einer Art zusammen.

Andere Autoren beschreiben hingegen morphologische Unterschiede zwischen den Sippen. Gelegentlich erschienen in Floren Bestimmungsschlüssel, die jedoch unbrauchbar waren. Smejkal (1978) konzipierte einen Schlüssel, dessen Merkmale sich jedoch nicht mit denen der vorliegenden Untersuchung decken. Schon im vorigen Jahrhundert erstellten Berchtold & Opiz (1839) eine sehr detaillierte Untergliederung der Art *S. officinale*:

α. *villosum*
- a. *latifolium*
- b. *angustifolium*

β. *hirsutum*
- a. *latifolium*
  - * *macranthum*
  - ** *micranthum*
- b. *angustifolium*
- c. *oblongifolium*
- d. *flavescens*

γ. *hispidum*

Dieser Gliederung lagen die Merkmale Behaarung der Blütenstandsachse, Form der Blätter, Farbe und Größe der Blüten und Griffellänge im Verhältnis zur Krone zugrunde. Der Sippe „*flavescens*“ läßt sich aufgrund der Blütenfarbe und des lang herausragenden Griffels eindeutig *S. bohemicum* zuordnen, das auch als Synonym genannt ist.

Die übrigen Sippen aus der Gruppe „*hirsutum*“ und „*hispidum*“ blühen violettrot und gehören damit eindeutig zu *S. officinale*. Für die gelblichweiß blühenden Sippen „*latifolium*“ und „*angustifolium*“ von „*villosum*“ geben Berchtold & Opiz (1839) einen nicht oder kurz herausragenden Griffel an, eine eindeutige Zuordnung ist nicht möglich. Von späteren Autoren wurde dem Merkmal „herausragender Griffel“ keine große Bedeutung mehr zugeschrieben, die vorliegende Untersuchung greift es jedoch wieder auf. Es konnte als Merkmal mit hohem diagnostischem Wert zur Unterscheidung der Sippen „*bohemicum*“ und „*officinale*“ bestätigt werden (Abbildung 6, Seite 104). Auch die Blattform erwies sich aufgrund der eigenen Befunde als wichtiges Kriterium bei der Unterscheidung der Sippen. Die Blätter von „*bohemicum*“ sind im Verhältnis zu „*officinale*“ deutlich lanzettlich, zum gleichen Ergebnis kam Bronnsack (1992). Aufgrund der Einschränkung auf im Gelände leicht zu messende Merkmale wurde die Behaarung der Pflanzen in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt. Sie wird jedoch von vielen Autoren als Unterscheidungsmerkmal genannt. Bei *S. bohemicum* ist die Behaarung von Stengel, Blütenstiel und Kelchzipfeln sowohl dichter als auch länger als bei *S. officinale* (Jaarsma & al. 1989, Bronnsack 1992). Auch die von Huizing (1985) beschriebene weichere Behaarung im oberen Stengelbereich von *S. bohemicum* ist wahrscheinlich auf längere Haare zurückzuführen. Weiterhin werden als unterscheidendes Merkmal häufig die größeren Blüten von *S. officinale* genannt (Hegi 1927, Basler 1972, Bronnsack 1992). Basler (1972) relativiert aber seine Ergebnisse aufgrund des hohen Überschneidungsbereiches bei der Blütengröße der Sippen *S. bohemicum* und *S. officinale*. Dies kann in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Die Blütengröße kann als Unterscheidungsmerkmal nicht herangezogen werden, jedoch lassen ihre Mittelwerte Tendenzen zu verschiedenen Blütentypen bei den Sippen erkennen (siehe Abbildung 8, Seite 113).

Bei der statistischen Auswertung der morphologischen Merkmale konnte eine deutliche Trennung der Sippen „*bohemicum*“ und „*officinale*“ nachgewiesen werden. Bei einem Ansatz mit einer Kombination von 10 Merkmalen lag die Trennung bei 100 % auf dem 1-%-Niveau. Dies zeigt, daß bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Merkmale eine Trennung von *S. bohemicum* und *S. officinale* auf morphologischer Ebene möglich ist.

Anhand der bisher angeführten Darstellungen wird deutlich, daß *S. bohemicum* und *S. officinale* nicht so nahe verwandt sind, daß sie zur selben Art gehören. In der vorliegenden Arbeit konnte eine Unterscheidung von *S. bohemicum* und *S. officinale* aufgrund von verschiedener Ausprägung einiger äußerlicher Merkmale festgestellt werden. Weiterhin konnten in anderen Untersuchungen Unterschiede bei einigen Inhaltsstoffen nachgewiesen werden (Mütterlein 1993, Michler & Arnold 1996). Berücksichtigt man weiterhin die unter natürlichen Bedingungen vorhandenen Kreuzungsbarrieren zwischen beiden Sippen, so muß man *S. bohemicum* als von *S. officinale* reproduktiv isoliert ansehen (Gadella & Kliphuis 1967, 1969). Damit erfüllt *S. bohemicum* die von Mayr (1967) aufgestellten Kriterien der Biospecies und sollte daher von *S. officinale* getrennt als eigene Art geführt werden. *S. bohemicum* stellt somit eine der basalen Sippen in der Gattung *Symphytum* dar. *S. officinale* ist dagegen zweifellos jünger und abgeleitet. Als Basalsippe in der Gattung sollte *S. bohemicum* ein eigener Name zuerkannt werden.

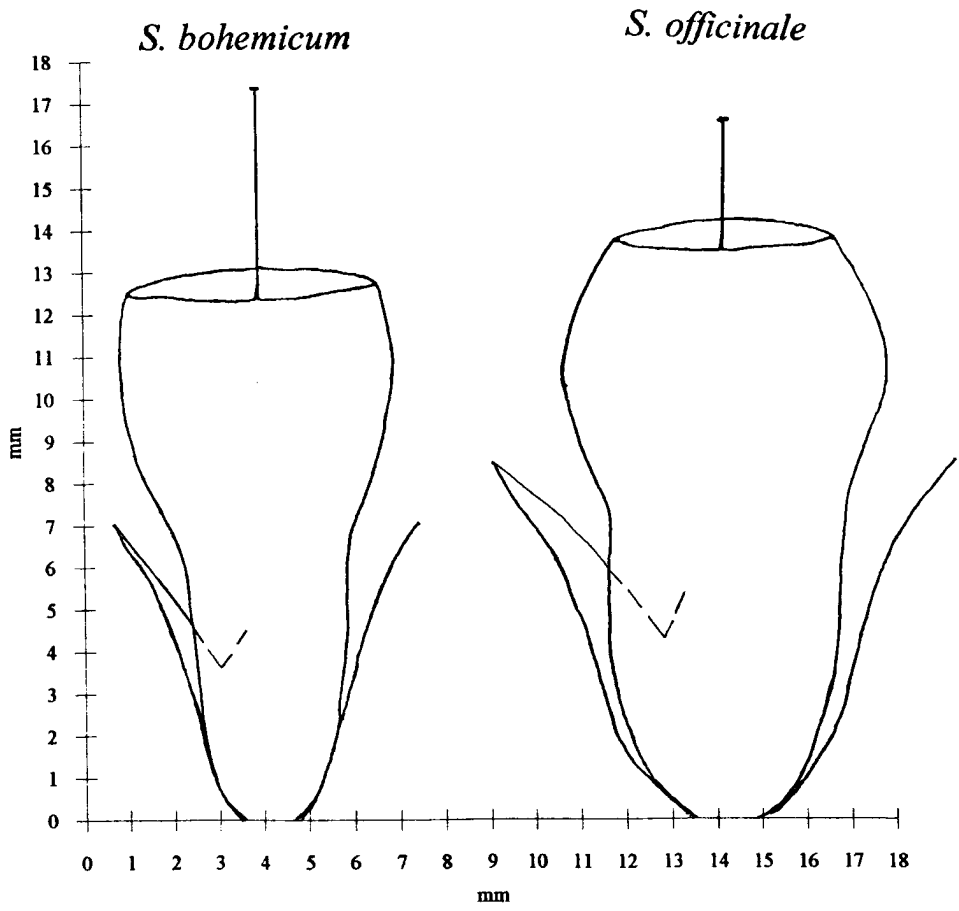


Abbildung 8: Idealblüten der Sippen *S. bohemicum* und *S. officinale*, gebildet aus den gemittelten Werten der erfaßten Merkmale.

6.3. Bestimmungsschlüssel

Die statistische Berechnung, die in der vorliegenden Arbeit der Trennung der Sippen zugrunde liegt, ist als Grundlage für die Zuordnung und Benennung einer Pflanze nicht einzusetzen, auch lassen sich die komplexen Korrelationen aller Merkmale nicht in knappe Worte fassen. Dennoch konnte für eine praktische Anwendung der Ergebnisse dieser Arbeit ein Bestimmungsschlüssel erstellt werden, der über die Kombination von Individuen- und Populationsebene nur wenige Pflanzen nicht erfaßt.

Bestimmungsschlüssel für die Arten *S. bohemicum* und *S. officinale*:

1. Krone violett bis rötlich oder gelblich mit violetten Farbanteilen .... *S. officinale* (12 *off.*)
1.* Krone nur gelb oder weißlich 2
2. Griffel die Krone um 3,5 mm oder mehr überragend oder Öffnung der Krone mindestens so breit wie die Glocke ..... *S. bohemicum* (17 *boh.*)
2.* Griffel die Krone weniger als 3,5 mm überragend oder Öffnung der Krone weniger breit als der Durchmesser der Glocke 3
3. Rosettenblätter oder gestielte, untere Stengelblätter lanzettlich ..... *S. bohemicum* (15 *boh.* + 1 *off.*)
3.* Rosettenblätter oder gestielte, untere Stengelblätter nicht lanzettlich ..... nicht sicher bestimmbar (5 *off.* + 3 *boh.*)

Die Zahlen in Klammern geben an, wieviele Pflanzen jeder Sippe im untersuchten Material jeweils ausgeschlüsselt werden können (Abbildung 6, Seite 104). Über das Merkmal „lanzettliche Blattform“ wird nur eine Pflanze der Sippe *S. officinale* falsch bestimmt. Kritisch ist das Merkmal „nicht lanzettliche Blattform“. Hier können acht Pflanzen nicht zweifelsfrei bestimmt werden.

Insgesamt werden von den Pflanzen der vorliegenden Untersuchung 24 nicht sicher bestimmt, dies entspricht 45 %. Die Pflanzen der Sippen *S. bohemicum* und *S. officinale* besitzen die Möglichkeit zu einer breiten Merkmalsausprägung. Von der Sippe „*officinale*“ haben nur fünf Pflanzen zufällig nicht lanzettliche Blätter entwickelt, dies könnte theoretisch aber bei den anderen 30 Pflanzen ebenfalls auftreten. Die Blattformen sind innerhalb der Sippen wie folgt verteilt:

„*bohemicum*“	lanzettlich / nicht lanzettlich	30 / 5	14 % (nicht lanz.)
„*officinale*“	lanzettlich / nicht lanzettlich	4 / 14	22 % (lanz.)
„*off.* viol.“	lanzettlich / nicht lanzettlich	3 / 8	22 % (lanz.)
„*off.* gelb“	lanzettlich / nicht lanzettlich	1 / 6	14 % (lanz.)

Von insgesamt 35 Pflanzen der Sippe „*bohemicum*“ können bereits 17 bei der zweiten Wahlmöglichkeit des Schlüssels bestimmt werden. Es bleiben 18 unbestimmte Pflanzen übrig, dies sind 51 %, unter denen 14 % mit nicht lanzettlichen Blättern sind. Auf die nahezu doppelte Anzahl aller Pflanzen von „*bohemicum*“ bezogen reduziert sich die Menge der nicht bestimmten Pflanzen auf 7 %.

Von den 18 untersuchten Pflanzen von „*officinale*“ haben insgesamt 22 % lanzettliche Blätter. Bei der ersten Wahlmöglichkeit des Schlüssels werden jedoch schon 12 Pflanzen (66 %) aufgrund der Blütenfarbe bestimmt. Von dem übrigen Drittel haben 22 % lanzettliche Blätter. Bezieht man dies wiederum auf die Gesamtheit, so bleiben von den gelblich-weiß blühenden „*officinale*“ 7 % unbestimmt.

Mit diesen Berechnungen kann die Fehlerwahrscheinlichkeit abgeschätzt werden, real können 45 % der untersuchten Pflanzen nicht sicher bestimmt werden.

Die Pflanzen, die mit diesem Schlüssel auf der Individuenebene nicht zugeordnet werden können, lassen sich aber oft über die Populationsstruktur ansprechen.

Kommen in einer größeren Population die Blütenfarben violett und gelblich-weiß vor, so gehören die gelblich-weiß blühenden Pflanzen mit großer Wahrscheinlichkeit zu *S. officinale*. Sie können als Verlustmutanten angesehen werden, die in der Regel nur in der Nachbarschaft von violett blühenden Exemplaren auftreten. Pflanzen in Mischpopulationen, die keine eindeutig ausgeprägten Merkmale haben, können nicht bestimmt werden. Einzeln vorkommende gelblich-weiß blühende Pflanzen gehören meist zu *S. bohemicum*. Große Populationen mit ausschließlich gelblich-weiß blühenden Pflanzen gehören ebenfalls zur Art *S. bohemicum*.

7. Literatur

Basler A. 1972: Cytotaxonomische Untersuchungen an der Boraginaceen -Gattung *Symphytum* L. Untersuchungen an überwiegend norddeutschen Pflanzen der Arten *S. asperum* Lepech., *S. officinale* L. und *S.* ×*uplandicum* Nym. – Botan. Jahrb. Syst., Pflanzengesch. Pflanzengeogr. **92**, 508-553, Stuttgart.

Benkert D., F. Fukarek & H. Korsch (Hrsg.) 1996: Verbreitungsatlas der Farn - und Blütenpflanzen Ostdeutschlands. – Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, Lübeck & Ulm. 615 S., 9 Folienkarten.

Berchtold F. & P. M. Opiz 1839: Oekonomisch -technische Flora Böhmens 2(2).– Th. Thabor, Prag. III + 280 S.

Bronnsack B. 1992: Morphologische Untersuchungen zur Taxonomie innerh alb des *Symphytum officinale*-Aggregats. – Unveröffentlichte Zulassungsarbeit, 102 S. Erlangen.

Bucknall C. 1913: A revision of the genus *Symphytum* Tourn. – J. Linnean Soc. Bot. **41**, 491-556, London.

Eigsti O. J. & P. Dustin Jr. 1955: Colchicin in Agricultur e, Medicine, Biology and Chemistry. – Iowa State College Press, Ames, Iowa. 470 p.

Fægri K. 1931: Über die in Skandinavien gefundenen *Symphytum*-Arten. Nebst einigen Betrachtungen über das Artproblem innerhalb der betreffenden Artengruppe. — Bergens Museums Årbok 1931, Naturvidensk. Rekke **4**, 1-47, 2 Taf., Bergen.

Frank K. 1993: Phänologie und Symphänologie von *Symphytum officinale* L. *ssp. officinale* und *ssp. bohemicum*. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, 128 S. Erlangen.

Gadella T. W. J. 1972: Cytological an d hybridization studies in the genus *Symphytum*. – Symp. Biolog. Hung. **12**, 189-199, Budapest.

Gadella T. W. J. 1978: Variatie en hybridisatie bij enkele taxa van het genus *Symphytum*. – Gorteria **9**, 88-93, Leiden.

Gadella T. W. J. 1987: Pattern and proce ss in biosystematic and evolutionary studies. In: P. Hovenkamp (ed.): Systematics and evolution: a matter of diversity, 35 -54. – Utrecht University, Utrecht.

Gadella T. W. J. 1990: Hybridization in *Symphytum*: pattern and process. – Sommerfeltia **11**, 79-96, Oslo.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1967: I. *Symphytum officinale* L. in the Netherlands. Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum*. – Proc. Koninkl. Nederl. Akad. Wetenschappen, Series C, Biolog. Medical Sci., **70**, 378-391, Amsterdam.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1969: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum*. II. Crossing experiments between *Symphytum officinale* L. and *Symphytum asperum* Lepech. – Acta Botan. Neerland. **18**, 544-549, Amsterdam.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1971: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum* III. Some *Symphytum* hybrids in Belgium and the Netherlands. – Biolog. Jaarb. Dodonaea **39**, 97-107, Gent.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1972: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum* IV. Cytogeographic investigations in *Symphytum officinale* L. – Acta Botan. Neerland. **21**, 169-173, Amsterdam.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1973: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum*. V. Some notes on W. European plants with the chromosome number 2n = 40. – Botan. Jahrb. Syst., Pflanzengesch. Pflanzengeogr. **93**, 530-538, Stuttgart.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis. 1975: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum* VII. Some hybrids between *S. asperum* Lepech. and *S. officinale* L. in Denmark. – Proc. Koninkl. Nederl. Acad. Wetenschappen, Series C, Biolog. Medical Sci., **78**, 182-188, Amsterdam, Oxford.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1978: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum* VIII. Chromosome numbers and classification of ten European species. – Proc. Koninkl. Nederl. Acad. Wetenschappen, Series C, Biolog. Medical Sci., **81**, 162-172, Amsterdam, Oxford & New York.

Gadella T. W. J. & E. Kliphuis 1984: Population variability, hybridization and introgression in *Symphytum officinale* L. in the Netherlands. – Botan. Jahrb. Syst., Pflanzengesch. Pflanzengeogr. **104**, 519-536, Stuttgart.

Gadella T. W. J., E. Kliphuis & K. U. Kramer 1970: Zytotaxonomische Untersuchungen an Blütenpflanzen aus dem Osten Österreichs. – Wissenschaftl. Arb. Burgenl. **44**, 187-195, Eisenstadt.

Gadella T. W. J., E. Kliphuis & F. H. Perring 1974: Cytotaxonomic studies in the genus *Symphytum*. VI. Some notes on *Symphytum* in Britain. – Acta Botan. Neerland. **23**, 433-437, Amsterdam.

Grau J. 1971: Cytologische Untersuchungen an Boraginaceen II. — Mitt. Botan. Staatssamml. München **9**, 177-194, München.

Haeupler H. & P. Schönfelder (Hrsg.) 1989: Atlas der Farn - und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland, 2., durchges. Auflage. – Eugen Ulmer, Stuttgart. 768 S., 30 Folienkarten.

Hansen K. 1981: Dansk feltflora. – Gyldendal, Copenhagen. 759 S.

Harmata K. 1977: Pollen morphology and taxonomy in the genera *Symphytum* L. and *Procopiania* Gusuleac. – Acta Sci. Litt. Univ. Iagellonicae 462, Folia Botan. **5**, 7-29, Kraków.

Hegi G. 1927: DCXXII. *Symphytum* L. ... . In: Illustrierte Flora von Mittel-Europa. V. Band, 3. Teil, 2220-2226. – Carl Hanser, München.

Huizing H. J. 1985: Phytochemistry, systematics and biogenesis of pyrrolizidine alkaloids of *Symphytum* taxa. – Thesis, Groningen. 210 p.

Huizing H. J., T. W. J. Gadella & E. Kliphuis 1982: Chemotaxonomical investigations of the *Symphytum officinale* polyploid complex and *S. asperum* (*Boraginaceae*): The pyrrolizidine alkaloids. – Pl. Syst. Evol. **140**, 279-292, Wien.

Jaarsma T. A., E. Lohmanns, T. W. J. Gadella & T. M. Malingré 1989: Chemo taxonomy of the *Symphytum officinale* agg. (*Boraginaceae*). – Pl. Syst. Evol. **167**, 113-127, Wien.

Kornerup A. & J. H. Wanscher 1975: Taschenlexikon der Farben, 2., unveränderte Auflage. – Musterschmidt, Zürich, Göttingen. 252 S. + 1440 Farbnuancen, 600 F arbnamen.

Lang W. & P. Wolff 1993 (Hrsg.): Flora der Pfalz – Verbreitungsatlas der Farn - und Blütenpflanzen für die Pfalz und ihre Randgebiete. – Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften in Speyer/Rhein, Speyer. 444 S.

Löve À. & D. Löve 1974: Cytotaxonomical Atlas of the Slovenian Flora. – J. Cramer, Lehre. 1241 S.

Mayr E. 1967: Artbegriff und Evolution. – Parey, Hamburg, Berlin. 617 S.

Mekki L., H. t`Hart, N. Z. El-Alfy, A. Dewedar & T. W. J. Gadella 1987: The Giemsa C -banded karyotype of diploid *Symphytum officinale* (*Boraginaceae*). – Acta Botan. Neerland. **36**, 33-37, Amsterdam.

Michler B. 1994: Vegetationskundliche, bodenkundliche, phänologische und morphologische Untersuchu ngen zur Variabilität sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe a m Beispiel der Pyrrolizidinalkaloide in *Symphytum officinale* agg. – Dissertation, Erlangen-Nürnberg. 193 S.

Michler B. & C.-G. Arnold 1996: Pyrrolizidinalkaloide in Beinwellwurzeln. Ein Beispiel für die Variabilität sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe. – Deutsche Apoth. Zeit. **136**, 2447-2452, Stuttgart.

Murín A. 1978: Index of chromosome numbers of Slovakian flora. Part 6. – Acta Fac. Rerum Nat. Univ. Comenianae, Botan. **26**, 1-42, Bratislava.

Murín A. & J. Májovský 1982: Die Bedeutung der Polyploidie in der En twicklung der in der Slowakei wachsenden Arten der Gattung *Symphytum* L. – Acta Fac. Rerum Nat. Univ. Comenianae, Botan. **29**, 1-24, Bratislava.

Mütterlein R. 1993: Untersuchungen zum Pyrrolizidinalkaloidgehalt und Pyrrolizidin -alkaloidmuster in *Symphytum officinale* L. – Dissertation, Erlangen. 176 S.

Pawłowski B. 1961: Uwagi o żywokostach – Observationes ad genus *Symphytum* L. pertinentes. – Fragm. Florist. Geobotan. **7**, 327-356, Kraków.

Pawłowski B. 1971: Symphyta mediterranea nova vel minus cognita. – Nowe Lud mało znane śródziemnomorskiè żywokosty. – Fragm. Florist. Geobotan. **17**, 17-37, Krakow.

Perring F. H. 1975: *Symphytum* Survey. – Watsonia **10**, 296-297, London.

Preitschopf A. 1996: *S. officinale* L.: Standort – Zytogenetik – Inhaltsstoffe. Untersuchungen zur Variabilität pharmazeutisch relevanter Inhaltsstoffe. – Dissertation, Erlangen. 237 S.

Rieger R. 1963: Die Genommutationen (Ploidiemutationen). – Fischer, Jena. 183 S.
Sandbrink J. M., J. van Brederode & T. W. J. Gadella, 1990: Phylogenetic relat ionship in the genus *Symphytum* L. (*Boraginaceae*). – Proc. Koninkl. Nederl. Akad. Wetenschappen, Biolog., Chemical, Ge o-log., Physical Medical Sci., **93**, 295-334, Amsterdam, Oxford & New York.
Schönfelder P., A. Bresinsky, E. Garnweidner, E. Krach, H. Lin hard, O. Mergenthaler, W. Nezadal & V. Wirth 1990: Verbreitungsatlas der Farn - und Blütenpflanzen Bayerns. – Eugen Ulmer, Stuttgart. 1 -752, [1], 32 Folienkarten.
Schubert R., K. Werner & H. Meusel (Hrsg.) 1988: Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD. Band 2. Gefäßpflanzen. Begründet von Prof. Dr. Werner Rothmaler, 14., durchges. Auflage. – Volk und Wissen, Berlin. 639 S.
Shirato K., T. Shintani, G. Nakanishi & A. Kamizyô 1985: Chromosome numbers in genus *Symphytum*. – Chrom. Inform. Serv. **38**, 21-23, Tokyo.
Smejkal M. 1978: Die Gattung *Symphytum* L. in der Tschechoslowakei. – Zprávy Èeskoslov. Botan. Spolecnosti **13**, 145-161, Praha.
Stearn W. T. 1986: The Greek species of *Symphytum* (*Boraginaceae*). – Ann. Musei Goulandris **7**, 175-220, Kifissia.
Wickens G. E. 1969: A revision of *Symphytum* in Turkey and adjacent areas. – Notes Royal Botanic Garden Edinburgh **29**, 157-180, Edinburgh.

8. Anhang

Tabelle 7: Liste der Fundorte, sortiert nach der Sammelnummer. Nr. = Sammelnummer, Dipl = diploider Chromosomensatz, TK = topographische Karte/Viertelquadrant.

Nr.	Sippe	Dipl	Menge	TK	Rechts-Hoch-Wert	Land, Kreis
1	boh.	24	viele	5817/42	3473960/5555520	Hessen, Frankfurt am Main
2	Typ 43	43	1	5817/42	3474080/5556600	Hessen, Frankfurt am Main
3	boh.	24		5917/13	3466890/5548120	Hessen, Groß-Gerau
4	boh.	24		5917/13	3466870/5548120	Hessen, Groß-Gerau
5	off.	48	zerstreut	5323/21	3542200/5616920	Hessen, Vogelsbergkreis
6	Typ 38	38	1	5417/23	3471700/5603500	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
7	boh.	24	2	5417/23	3472820/5603840	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
8	Typ 38	38	1	5417/23	3472700/5603860	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
9	off.	48		5417/23	3472240/5603800	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
10	off.	48	mehrere	5417/23	3472100/5603780	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
11	off.	48	viele	5417/23	3471980/5603700	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
12	Typ 43	43	1	5417/23	3471950/5603620	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
13	boh.	24	2	5417/23	3471840/5603480	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
14	off.	48	1	5417/24	3473720/5603970	Hessen, Gießen
15	off.	48	5	5417/24	3473600/5603840	Hessen, Gießen
16	Typ 38	38	1	5417/24	3474230/5603900	Hessen, Gießen
17	boh.	24	viele	6016/44	3462320/5529420	Hessen, Groß-Gerau
18	boh.	24	viele	6116/21	3458300/5528600	Hessen, Groß-Gerau
19	boh.	24	zerstreut	6116/21	3458230/5528400	Hessen, Groß-Gerau
20	off.	48	viele	6116/13	3453240/5527040	Hessen, Groß-Gerau
21	off.	48	viele	6116/13	3453240/5527000	Hessen, Groß-Gerau
22	off.	48	viele	6116/13	3453240/5526960	Hessen, Groß-Gerau

Nr.	Sippe	Dipl	Menge	TK	Rechts-Hoch-Wert	Land, Kreis
23	Typ 43	43	1	6116/13	3453250/5526900	Hessen, Groß-Gerau
24	off.	48	viele	6116/13	3453250/5526890	Hessen, Groß-Gerau
25	off.	48	5	6116/13	3453160/5526860	Hessen, Groß-Gerau
26	boh.	24	5	6116/14	3453640/5527220	Hessen, Groß-Gerau
27	boh.	24	viele	6016/34	3456430/5531180	Hessen, Groß-Gerau
28	boh.	24	viele	6016/34	3456300/5532100	Hessen, Groß-Gerau
29	boh.	24	viele	6016/34	3456220/5532160	Hessen, Groß-Gerau
30	boh.	24	viele	6016/34	3456220/5532100	Hessen, Groß-Gerau
31	boh.	24	zahlreich	6119/13	3488670/5525940	Hessen, Darmstadt-Dieburg
32	boh.	24	mehrfach	6516/24	3460900/5479785	Baden-Württemberg, Mannheim
33	off.	48	mehrfach	6516/24	3460900/5479785	Baden-Württemberg, Mannheim
34	boh.	24	häufig	6617/11	3464760/5573560	Baden-Württemberg, Rhein-Neckar-Kreis
35	off.	48		7930/3	4402100/5321200	Bayern, Ostallgäu
36	boh.	24		7129/2	4401230/5418400	Bayern, Donau-Ries
37	off.	48	mehrere	7616/33	3452140/5354170	Baden-Württemberg, Rottweil
38	boh.	24		4624/24	3556140/5692230	Hessen, Werra-Meißner-Kreis
39	boh.	24	zerstreut	5126/42	3580060/5633300	Thüringen, Wartburgkreis
40	boh.	24		5417/21	3471680/5604200	Hessen, Lahn-Dill-Kreis
41	boh.	24	2	5818/42	3487260/5555780	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
42	Typ 38	38	1	5817/42	3475820/5554300	Hessen, Frankfurt am Main
43	Typ 43	43	1	5817/42	3475820/5554300	Hessen, Frankfurt am Main
45	off.	48	1	5817/23	3473160/5559680	Hessen, Frankfurt am Main
46	off.	48	zahlreich	5514/43	3436800/5587070	Hessen, Limburg-Weilburg
47	Typ 47	47	1	5514/43	3436800/5587070	Hessen, Limburg-Weilburg
48	off.	48	zahlreich	5514/43	3436800/5587070	Hessen, Limburg-Weilburg
49	off.	48	zahlreich	5514/43	3436800/5587070	Hessen, Limburg-Weilburg
50	Typ 47	47	1	5514/43	3437760/5586970	Hessen, Limburg-Weilburg
51	off.	48	einige	5514/43	3437760/5586970	Hessen, Limburg-Weilburg
52	off.	48	einige	5514/43	3437760/5586970	Hessen, Limburg-Weilburg
53	Typ 46	46	1	5514/43	3437680/5586870	Hessen, Limburg-Weilburg
54	Typ 38	38	1	5717/44	3474610/5565220	Hessen, Hochtaunuskreis
55	asperum	36	1	7741/43	4544780/5341710	Bayern, Altötting
59	Typ 38	38	1	5816/23	3458880/5558540	Hessen, Main-Taunus-Kreis
60	Typ 38	38	1	5816/23	3458880/5558540	Hessen, Main-Taunus-Kreis
61	Typ 43	43	1	5816/23	3461280/5559540	Hessen, Main-Taunus-Kreis
62	boh.	24	viele	5816/23	3461280/5559540	Hessen, Main-Taunus-Kreis
63	boh.	24	viele	5816/23	3461260/5559280	Hessen, Main-Taunus-Kreis
64	Typ 42	42	1	5816/23	3461240/5559380	Hessen, Main-Taunus-Kreis
65	boh.	24	1	5817/24	3475180/5558660	Hessen, Frankfurt am Main
66	boh.	24	1	5720/32	3503770/5567020	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
67	boh.	24	zerstreut	5720/31	3500940/5565590	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
68	asperum	32		5323/14	3539810/5615200	Hessen, Vogelsbergkreis
69	boh.	24	zahlreich	5916/14	3456670/5548100	Hessen, Main-Taunus-Kreis
70	boh.	24	zerstreut	5916/14	3456540/5548320	Hessen, Main-Taunus-Kreis
71	boh.	24	zahlreich	5916/13	3454020/5546320	Hessen, Wiesbaden
72	boh.	24	einige	5919/14	3491620/5546340	Hessen, Offenbach
73	boh.	24	zerstreut	5817/43	3470840/5553060	Hessen, Frankfurt am Main
74	boh.	24	2	5819/31	3489240/5556760	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
75	boh.	24	zahlreich	5819/31	3489340/5556760	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
76	boh.	24	1	5819/31	3489250/5556960	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
77	boh.	24	zahlreich	5819/14	3492940/5557180	Hessen, Main-Kinzig-Kreis
78	boh.	24	zahlreich	5818/23	3484260/5557240	Hessen, Frankfurt am Main
79	boh.	24	zahlreich	5818/23	3484160/5557200	Hessen, Frankfurt am Main
80	boh.	24	zahlreich	6116/24	3463900/5525640	Hessen, Groß-Gerau
81	boh.	24	zahlreich	6116/24	3463900/5525540	Hessen, Groß-Gerau
82	boh.	24	zahlreich	6116/24	3463850/5525540	Hessen, Groß-Gerau

Nr.	Sippe	Dipl	Menge	TK	Rechts-Hoch-Wert	Land, Kreis
85	off.	48	zerstreut	5916/43	3460900/5542780	Hessen, Main-Taunus-Kreis
86	boh.	24	zerstreut	5916/43	3460820/5542760	Hessen, Main-Taunus-Kreis
87	off.	48	zerstreut	5916/43	3460900/5542780	Hessen, Main-Taunus-Kreis

Weitere Funde ohne Chromosomenbestimmung aus Hessen:

Symphytum bohemicum

5619, 3491/5581, westlich Bingenheim, westlich Bahnlinie, Naturschutzgebiet „Bingenheimer Ried“, Feuchtgrünland, zahlreich
5619, 3493/5577, nördlich Staden, nördlich Nidda, Grünlandbrache, zahlreich
5818, 3482/5561, Bad Vilbel, Niddaufer
5819, 3496/5557, nordöstlich Lamboy „Oberer Bruch“, Feuchtgrünland; viele
5819, 3494/5557, nördlich Lamboy, südlich Autobahn 66, östlich Bahnlinie, „Unterer Bruch“, Feuchtgrünland, viele
5819, 3493/5557, Autobahnabfahrt Hanau-Nord (Autobahn 66), nördlich Hanau, zahlreich
5916, 3453/5540, südlich Hochheim, nördlich Main, östlich Autobahn 671, Weidengehölz am Mainufer, viele
6017, 3468/5534, nördlich Worfelden, „Am Apfelbach“, einige
6017, 3464/5538, westlich Mörfelden, Mönchbruchwiesen, Parkplatz am Schloß, Feuchtgrünland, einige

Symphytum ×uplandicum

5819, 3492/5556, östlich Hanau-Wilhelmsbad, zwischen Fasanerie und Bundesstraße 8/40, Damm zur Straße, Gartenflüchtling, zahlreich
5819, 3488/5554, südlich Maintal-Dörnigheim, 100 m östlich Fähre nach Mühlheim, Mainufer, 1 Exemplar
6116, 3460/5520, Naturschutzgebiet „Kühkopf“, nordwestlich Stockstadt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanik und Naturschutz in Hessen

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: 10

Autor(en)/Author(s): Wille Irith

Artikel/Article: Symphytum officinale (Boraginaceae) in Süd- und Mittelhessen. Cytologisch-morphologische Untersuchungen zur Abgrenzung der Sippen 87-119