

Sind die Zytotypen von *Amelanchier ovalis* s.l. im Lechtal morphologisch unterscheidbar?

DAVID BORHO, THOMAS GREGOR, JURAJ PAULE,
JOHANN BAUER & JÖRG EWALD

Zusammenfassung: *Amelanchier ovalis* s.l., die Gewöhnliche Felsenbirne, hat in Deutschland zwei Ploidiestufen: *Amelanchier ovalis* subsp. *ovalis* ($2n=2x$) und *A. ovalis* subsp. *embergeri* ($2n=4x$). In Deutschland sind sie in den Mittelgebirgen und den Alpen sowie deren Vorland verbreitet, im Bereich des Lechs überschneiden sich die Verbreitungsgebiete. An 63 Individuen von neun Populationen im Überschneidungsbereich der beiden Sippen wurde die Ploidie an Hand von Durchflusszytometrie bestimmt und eine Vielzahl von quantitativen Blüten- und Blattmerkmalen an Frühjahrs- und Sommerbelegen vermessen. Die statistische Auswertung mittels Hauptkomponentenanalyse und Boxplots belegt die morphologische Unterscheidbarkeit der Sippen an Hand des Spitzenwinkels, der Tiefe der Zähnung und Form ausgewachsener Sommerblätter.

Key Words: *Amelanchier*, Bavarian Alps, cytotypes, microspecies, morphometry

Summary: *Amelanchier ovalis* s.l., the Snowy Mespilus, occurs in two ploidy levels in Germany: *Amelanchier ovalis* subsp. *ovalis* ($2n = 2x$) and *A. ovalis* subsp. *embergeri* ($2n = 4x$). In Germany they are found in the low mountain ranges and in the Alps as well as in the alpine foothills. In the area of the river Lech, the distributions of both cytotypes overlap. For 63 individuals from nine populations, growing in the contact zone of both cytotypes, ploidy was estimated by flow cytometry and morphology was quantified by various leaf, flower and fruit traits measured on spring and summer specimens. By means of principal component analysis and boxplots the morphological distinctness of the taxa was confirmed. Both species can be distinguished based on the tip angle, depth of dentation and the shape of fully grown summer leaves.

1 Einleitung

Von den weltweit ca. 30 *Amelanchier*-Arten (PHIPPS et al. 1990, SCHROEDER 1995; abweichendes Konzept mit sechs Arten von LANDREY 1995) ist nur die Gewöhnliche Felsenbirne *Amelanchier ovalis* s.l. in Bayern heimisch, *A. lamarckii* gilt als eingebürgert, drei weitere Arten kommen unbeständig vor (LIPPERT & MEIEROTT 2018). Die zu den apfelfrüchtigen Rosengewächsen (Kernobst, *Pyrinae*) gehörende Strauchart erreicht 2–3 m (selten 6 m) Höhe und

Anschriften der Autoren: David Borho, Grottenau 37, 85356 Freising; Dr. Thomas Gregor und Dr. Juraj Paule, Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt – Abteilung Botanik und molekulare Evolutionsforschung, Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main; Johann Bauer, Goethestraße 39, 87616 Marktoberdorf; Prof. Dr. Jörg Ewald, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising;
Korrespondenz: Jörg Ewald, E-Mail: joerg.ewald@hswt.de

besiedelt trockenwarme, sonnige Fels- und Rutschhänge, Schuttkegel und Schotterterrassen in den Kalkalpen, entlang der Vorlandsflüsse Lech und Isar, in den Juradurchbrüchen der Donau bei Neuburg und Weltenburg sowie im nördlichen Oberpfälzer Wald. Wesentliche Bestimmungsmerkmale (nach SCHROEDER 1995) sind: Die im Austrieb vorhandene wollfilzige Behaarung von Zweigen, Blättern und Blütenbechern, Blüten mit einen 5–20 mm langen Stiel und 2–4 mm langen Kelchblättern, schneeweiße bis elfenbeinfarbene, verkehrt eiförmige bis lanzettliche Kronblätter (9–20 × 2–6 mm) und weniger als 1,5 mm lange Griffel. Ausgewachsene Blätter haben einen 5–17(–22) mm langen Stiel, 1,8–5,5 cm lange und 1,5–3,5 cm breite und elliptisch oder verkehrt eiförmig bis fast rundliche Spreiten mit abgerundeter, gestutzter oder ausgerandeter Spitze. Der Blattrand ist mit nach vorne gerichteten Zähnen (3–6(–8) pro cm) gesägt. Die rötlich-braunen Knospen sind eiförmig-spitz (4–11 × 1,5–4,0 mm).

Von *Amelanchier ovalis* sind zwei Zytotypen bekannt, die von FAVARGER & STEARN (1983) als subsp. *ovalis* (diploid, $2n=2x=34$) und subsp. *embergeri* (tetraploid, $2n=4x=68$) gefasst wurden. Beide Zytotypen kommen in Deutschland vor, der tetraploide in Mitteldeutschland sowie in den westlichen Teilen des Alpenraums, der diploide in den Alpen und dem Alpenvorland (GREGOR et al. 2018). Eine triploide Pflanze ist bislang nur im schweizerischen Val d'Entremont gefunden worden (FAVARGER & STEARN 1983). Für die morphologische Unterscheidung der beiden Ploidiestufen fanden FAVARGER & STEARN (1983) die die Länge der Kronblätter und der Blütenstiele als geeignete Merkmale.

Tab. 1: Ergebnisse der morphologischen Untersuchung von *Amelanchier ovalis* von FAVARGER & STEARN (1983) mit Merkmals-Überlappung (Überschneidung der Wertbereiche beider Ploidiestufen in % des gesamten Wertbereichs).

Kürzel	Merkmal	diploid			tetraploid			Einheit	Wertbereich-Überlappung
		Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max		
L	Blattlänge	21,1	17	26	23,3	18	32	mm	53%
l	Blattbreite	15,7	11	21	17,1	10	26	mm	63%
a	Blattstiellänge größtes Blatt der Probe	10,1	6	17	12,5	9	18	mm	67%
b	Blattlänge des größten der Probe	25,8	19	36	25,8	18	41	mm	74%
a/b	Verhältnis von a zu b	0,41	0,25	0,55	0,48	0,37	0,64		46%
	Pollenkorndurchmesser	23,2	20	27,5	28,3	22,5	32,5	µm	40%
L	Blütenstiellänge		6	13		12	18	mm	8%
L	Kronblattlänge		9	14,5		14	19	mm	5%
L	Samenlänge		4	5		4,5	6	mm	25%

Das Probenmaterial dieser Messungen stammte von Pflanzen, die im botanischen Garten Neuchâtel kultiviert wurden. Berücksichtigt wurde diploides und tetraploides Material aus der Sierra de Calzora (Spanien), den Pyrenäen, Südfrankreich, den Westalpen und Italien. Eine direkte Nachbarschaft beider Ploidiestufen bestand bei einer Population im Wallis (Schweiz) in der Salanfe-Region. Aus den Ostalpen wurden ausschließlich diploide, nördlich der Alpen nur tetraploide Pflanzen gefunden (FAVARGER & STEARN 1983). Jedoch wurde die Unterscheidbarkeit

der beiden Ploidiestufen anhand morphologischer Merkmale seither immer wieder angezweifelt (GREGOR et al. 2018).

Um den taxonomischen Wert der Zytotypen innerhalb der Bayerischen Alpen, dem Hauptverbreitungsgebiet innerhalb Bayerns, zu prüfen, wurde in dieser Arbeit untersucht, ob sich die zwei Ploidiestufen morphologisch unterscheiden lassen. Nach GREGOR et al. (2018) dominiert der diploide Zytotyp in den Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen. Daneben wurden vom Wettersteingebirge westwärts auch zahlreiche Tetraploide gefunden. Im Bereich des Lechs überschneiden sich die Areale beider Ploidiestufen. Dieser Bereich eignet sich gut für eine morphologische Untersuchung, weil hier beide Ploidiestufen räumlich überlappend in vergleichbaren Habitaten, oft unmittelbar nebeneinander vorkommen, so dass geographische Isolation oder Standortunterschiede als Ursache für die Merkmalsdifferenzierung ausgeschlossen werden können.

2 Material und Methoden

Insgesamt wurden von 63 Individuen je ein Herbarbeleg im blühenden und einer im fruktifizierenden Zustand gesammelt. Bei der erstmaligen Beprobung im Mai wurde zusätzlich von jedem Individuum eine Blattprobe genommen, welche in etikettierten Plastikbeuteln für die spätere durchflusszytometrische Untersuchung gekühlt aufbewahrt wurde. Die Herbarbelege wurden mit der laufenden ID-Nummer versehen und das Pflanzenmaterial unmittelbar am Fundort gepresst. Die Individuen wurden vor Ort mit einer wetterfesten, dauerhaften Markierung (ID) versehen, um ein Auffinden im Sommer zur Entnahme der zweiten Herbarbelege zu erleichtern. Die Herbarbelege sind in der Botanischen Staatssammlung München (M) archiviert.

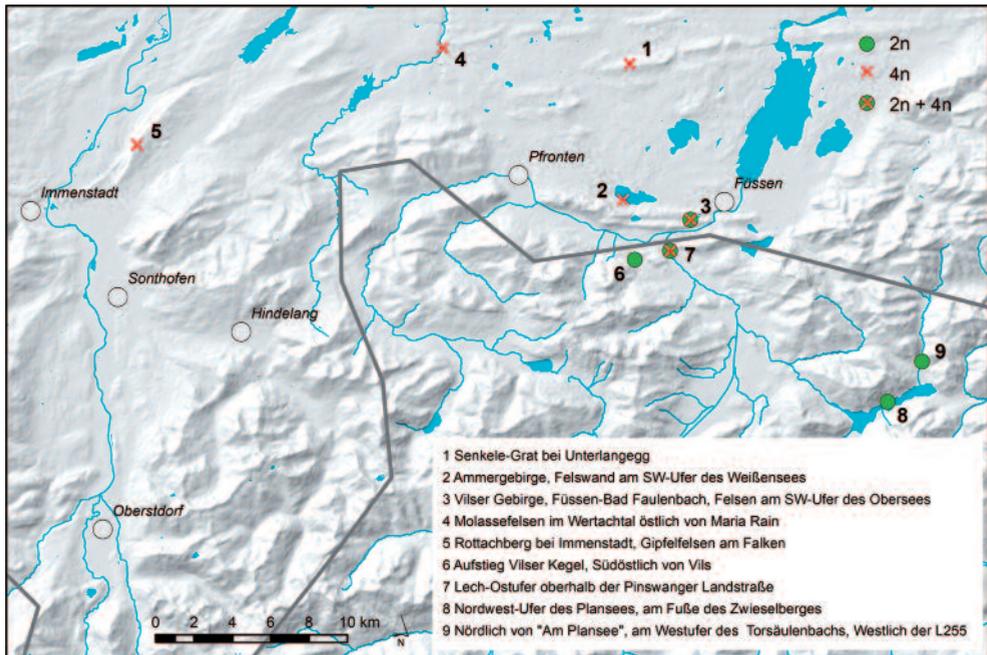
Die Herbarbelege wurden in den Naturraum-Einheiten 036 „Lech-Vorberge“, 021 „Vilser Berge“ und 022 „Ammergebirge“ (MEYNEN et al. 1953) bzw. in den forstlichen Wuchsbezirken 14.3 „Schwäbische Jungmoräne und Molassevorberge“, 15.3 „Allgäuer Flysch und Helvetikumvorralpen“ und 15.5 „Mittlere bayerische Kalkalpen“ (WALENTOWSKI et al. 2013) sowie im südlich angrenzenden forstlichen Wuchsgebiet 4.1 „Nördliche Randalpen – Westteil“ (KILIAN et al. 2019) gesammelt (siehe Abb. 1). Die Höhen der Fundorte erstreckten sich von 809 bis 1077 m. ü. NN (montane Höhenstufe).

Die Ploidie der untersuchten Pflanzen wurde mittels Durchflusszytometrie bestimmt unter Anwendung des Otto-Protokolls (DOLEŽEL et al. 2007), wie von GREGOR et al. (2018) beschrieben.

Um die morphologische Unterscheidbarkeit anhand von möglichst vielen Merkmalen zu testen, wurde an 10 Individuen (je 5 pro Ploidiestufe) ein breites Spektrum an Merkmalen gemessen (siehe Tab. 2). Im zweiten Schritt wurden nur ausgewählte Merkmale für alle beprobten Individuen aufgezeichnet.

Die Merkmale an den Blüten wurden immer an den fünf ersten Blüten des obersten Blütenstandes gemessen. Es wurden stets alle Kronblätter einer Blüte gemessen und gemittelt. Bei den Merkmalen der Blätter wurden pro Individuum je fünf Blätter des Langtriebs und des Kurztriebs vermessen. Es wurden immer die ersten fünf Blätter des Langtriebs genommen und die nächsten fünf darauffolgenden Kurztriebsblätter. Waren an einem Langtrieb nicht genügend intakte Messobjekte, wurden Blätter des zweitlängsten Langtriebs genommen.

Für die Merkmale (1) Zahntiefe, (2) Zahnwinkel, (3) Blattspitzenwinkel und Kelchblattlänge wurden mithilfe eines Binokulars (Leica MZ 6; Firma Leica Microsystems, Deutschland)



Datenquelle: © data.umweltbundesamt.at, Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de, European Environment Agency (EEA) under the framework of the Copernicus programme - copernicus@eea.europa.eu

Abb. 1: Karte des Lechgebiets in der Grenzregion zwischen Bayern und Tirol mit den beprobten Wuchsorten.

und einer daran angeschlossenen Kamera (Leica MC 190 HD) Bilder aufgenommen, welche mit dem Programm Leica Application Suite Version v4.13.0 ausgewertet wurden. Für die Messung der Pollengröße wurde dieselbe Messvorrichtung genutzt, zudem wurde ein Lichtmikroskop (Ortholux II; Firma Leitz Wetzlar, Deutschland) mit 100facher Vergrößerung verwendet. Der Winkel der Blattspitze wurde als Innenwinkel vom Blattmittelnerv zu den äußeren Geraden, welche den äußersten Blattrand bzw. die äußersten Blattspitzen tangieren, gemessen (Abb. 2). Diese Methode erleichterte das Messen mit dem Messinstrument (Geodrieck), da keine Winkel über 180° gemessen werden mussten. Es wurden immer die Winkel zu beiden Seiten des Blattmittelnervs gemessen und gemittelt. Die Blattovalität O (Abweichung in % von einem idealen Kreis, 0: idealer Kreis, 100: Linie) wurde aus der Länge (l) und der Breite (b) der Blattspreite mit der Formel nach (Verband der TÜV e.V. 2018) errechnet:

$$O = \frac{l-b}{l+b} \times 100$$

Die Blattspreitenlängen von Kurz- und Langtriebblättern wurden immer von der Spreitenbasis bis zum auslaufenden Ende des Blattmittelnervs gemessen, war die Blattspitze ausgerandet, so wurde dies bei der Längenmessung nicht mitberücksichtigt. Die Blattspreitenbreite wurde bei Kurz- und Lang-Triebblättern immer an der breitesten Stelle des Blattes gemessen, der gesägte Blattrand wurde hierbei mitberücksichtigt. Die Blattstiellänge wurde bei Kurz- und Langtriebblättern immer vom Grund des Blattstiels bis zur Spreitenbasis gemessen. Die Höhe der

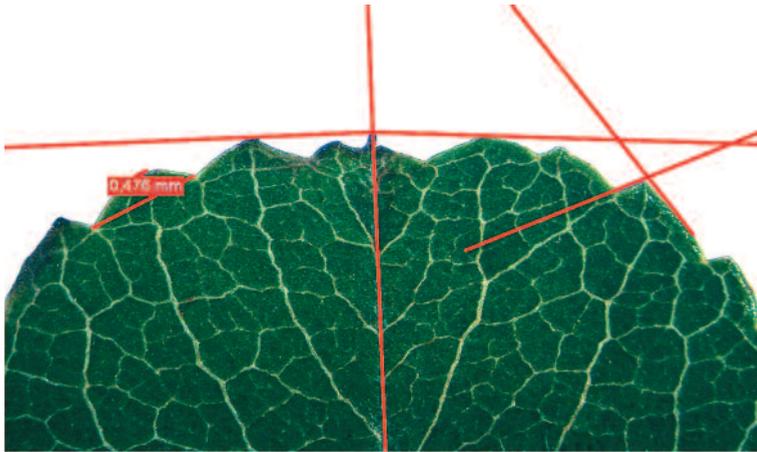


Abb. 2: Beispiel einer Vermessung an einem Blatt (ID31, Kurztrieb), mit Messung der Zahntiefe, des Blattspitzenwinkels und des Zahnwinkels mithilfe der Kamera Leica MC 190 HD und des Programms Leica Application Suite (Version 4.13.0).

breitesten Stelle, also der „Schwerpunkt“ des Blattes wurde immer von der Spreitenbasis bis zur Höhe der breitesten Stelle gemessen. Die Anzahl der Nervenpaare wurde auf der Blattunterseite gezählt. Die Tiefe der Zählung wurde als Abstand von dem höchsten Punkt des Zahnes, orthogonal zur Basis des Zahnes gemessen, welche sich aus einer Geraden bildet, die die zwei tiefsten Einschnidungen des Zahnes in die Blattspreite verbindet. Die Anzahl der Zähne pro Zentimeter wurde immer von der Blattspitze ausgehend einen Zentimeter am rechten Rand des Blattes gezählt (Sicht auf die Blattoberseite, Blattspitze oben). Der Zählungswinkel wurde immer am dritten Zahn rechts der Spitze (Sicht auf Blattoberseite, Blattspitze oben) gemessen. Bei Zähnen mit runden Zuspitzungen, wurde die Gerade zur Winkelmessung händisch eingemittelt. Bei der Vermessung vieler Kronblätter wurde das Messobjekt mit heißem Wasser rehydriert, um eine volle Entfaltung des Blütenblattes zu bewirken. Die Kelchblattlänge wurde zunächst mithilfe eines Geodreiecks gemessen. Da jedoch bei der ersten statistischen Auswertung auffiel, dass die Messdaten zu ungenau waren, wurde bei den Folgemessungen das bereits erwähnte System mit Binokular und Kamera verwendet. Die Länge der Kelchblätter wurde immer von der Kelchblattspitze zur Basis des Kelchblatts gemessen. Die Länge der Griffel wurde vom Blütenboden aus gemessen, die Staubblätter vom Blütenkelchrand. Die Länge der Blütenstiele wurde jeweils ab der letzten Verzweigung gemessen. Die Anzahl der Blüten pro Blütenstand wurde vom vordersten Blütenstand aus gezählt. Bei der Messung der Pollen wurde immer entlang der längsten Achse gemessen. Die Blattform wurde visuell von elliptisch über eiförmig und verkehrt eiförmig bis lanzettlich (JÄGER 2017) eingestuft. Die Einstufung der Blattbehaarung erfolgte von leicht behaart über behaart bis dicht behaart, ebenso die Blattstielbehaarung, die Blütenstielbehaarung und die Kronblattbehaarung. Die Kronblattform wurde von verkehrt eiförmig über elliptisch bis lanzettlich eingestuft. Die Auswahlmöglichkeiten der Kronblattfarbe waren weiß und elfenbeinfarben. Die Griffelverwachsung wurde als völlig getrennt oder verwachsen beschrieben.

Aus den Werten des gleichen Merkmals eines Individuums wurde ein Mittelwert gebildet. Für den Mittelwert der Kelchblattlänge bei Individuum-ID 30 wurde wegen fehlendem Herbarmaterial ein Mittelwert aller Mittelwerte der Kelchblattlänge von allen Individuen gleicher Ploidiestufe eingefügt. Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm PC-ORD Version 7.08 (McCune & Mefford 2018) mittels einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) durchgeführt. Als Datenmatrix für die Hauptkomponentenanalyse dienten die Mittelwerte aus den Rohdaten. Die Sekundärmatrix bestand aus dem kategorialen Merkmal der Ploidie ($2x$ und $4x$). Da für die PCA lineare Korrelationen zwischen den Variablen verwendet wurden, war es nicht nötig die Daten zu transformieren.

Die Verteilungen von einzelnen Merkmalen in den untersuchten Zytotypen wurden anhand von Boxplots verglichen. Der dargestellte Kasten („Box“) umfasst den Interquartilsabstand vom 25. bis zum 75. Perzentil (die mittleren 50 % der Messwerte) und wird in der Mitte durch den Median (mittleren Messwert der Reihe) unterteilt. Die Bärte („Whiskers“) umfassen den Wertebereich vom 5. bis zum 95. Perzentil (90 % der Messwerte). Durch Kreise gekennzeichnete Werte sind Ausreißer, die mehr als 1,5 Quartilsabstände vom Median entfernt liegen (McCune & Mefford 2018).

3 Ergebnisse

3.1 Durchflusszytometrie

Es wurden zwei unterschiedliche Proben-Standard-Fluoreszenzverhältnisse ermittelt ($0,56 \pm 0,02$ und $1,14 \pm 0,04$; Tab. 6). Diese stimmen mit den publizierten Werten, die durch Chromosomenzählungen kalibriert wurden (Gregor et al. 2018), überein und könnten so als eine diploide ($2n=2x$) und eine tetraploide ($2n = 4x$) DNA-Ploidiestufe interpretiert werden.

3.2 Ergebnisse der ersten Auswertung (Zehner-Stichprobe)

Diese Auswertung diente der Vorauswahl der für die Unterscheidung der Zytotypen geeignetsten quantitativen Merkmale an Hand einer Hauptkomponentenanalyse (PCA). Die qualitativen Merkmale wurden nicht mehr berücksichtigt, da es sich schon während der Messungen abzeichnete, dass keines der qualitativen Merkmale für die Unterscheidung der Zytotypen wichtig war.

Anhand der Hauptkomponentenanalyse der ersten morphologischen Messung konnte das Merkmalspektrum deutlich eingegrenzt werden. Die ersten zwei Achsen der PCA der Zehnerstichprobe erklärten 57,7 % der Varianz (Abb. 3, elektronischer Anhang). Achsen höherer Ordnung erwiesen sich als nicht signifikant und wurden nicht weiter betrachtet. Die Ploidiestufen waren in dem 2D-Ordinationsdiagramm gut voneinander abgrenzbar, die Wichtigkeit der Merkmale anhand von Länge und Richtung der Merkmalsvektoren in Beziehung zu den Zentroiden der Ploidiestufen erkennbar.

Die Betrachtung der Boxplots (Abb. 4, im elektronischen Anhang zu diesem Artikel) unterstützte die Merkmalseingrenzung. Anhand der Ergebnisse wurden die Merkmale auf die 21 für die Unterscheidung wesentlichen (mit den höchsten PCA-Eigenvektoren der 10er-Stichprobe, vgl. Abb. 3, elektronischer Anhang) reduziert (siehe Tab. 2 im elektronischen Anhang).

Tab. 4: Mittelwerte, Minimum und Maximum der morphologischen Merkmale aller Herbarbelege (n=126) mit Überlappung der Wertbereiche in %.

	diploid			tetraploid			Einheit	Wertbereich-Überlappung
	Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max		
Blütenstiellänge	7,62	3,60	12,70	10,19	5,20	16,50	mm	58%
Blattbreite Kurztrieb	15,52	11,00	22,20	17,64	13,60	23,10	mm	71%
Blattbreite Langtrieb	19,52	13,60	32,60	22,84	17,60	29,60	mm	63%
Blattlänge Kurztrieb	25,73	17,20	40,00	22,98	18,60	30,70	mm	53%
Blattlänge Langtrieb	30,64	23,60	49,20	28,92	21,80	35,60	mm	44%
Blattstiellänge Kurztrieb	8,34	4,20	14,80	7,77	4,60	13,20	mm	81%
Verhältnis Blattstiel/Spreitenlänge	0,32	0,24	0,37	0,34	0,25	0,43		66%
Blattspitzenwinkel Kurztrieb	74,59	60,00	91,60	101,19	89,20	115,60	°	4%
Blattspitzenwinkel Langtrieb	70,30	55,20	92,40	93,68	75,00	112,40	°	30%
Fruchtstiellänge	12,66	7,60	21,20	14,32	8,60	20,20	mm	85%
Höhe der breitesten Stelle Kurztrieb	13,36	8,50	19,60	11,99	9,80	15,00	mm	47%
Prozentuale Höhe der breitesten Stelle	51,92	49,00	49,42	52,20	48,86	52,69	%	
Kelchblattlänge	2,94	2,37	4,10	3,52	2,74	4,24	mm	73%
Kronblattbreite	4,45	2,80	6,40	5,16	3,90	7,60	mm	52%
Kronblattlänge	13,76	10,40	17,40	16,20	13,80	19,80	mm	38%
Ovalität Kurztrieb	24,78	19,43	32,94	13,11	6,28	17,26		0%
Verhältnis von Blattlänge/-breite	166	148	196	130	113	142	%	
Ovalität Langtrieb	22,88	12,79	31,14	11,98	7,01	19,65		28%
Zähne auf 1 cm Kurztrieb	6,12	1,60	9,00	5,58	4,00	6,80	n	38%
Zähne auf 1 cm Langtrieb	5,39	1,60	13,20	5,08	3,40	6,80	n	29%
Zahntiefe Kurztrieb	0,32	0,03	0,74	0,60	0,28	1,03	mm	46%
Zahntiefe Langtrieb	0,34	0,10	0,59	0,77	0,51	1,24	mm	7%
Zahnwinkel Kurztrieb	113,79	21,00	139,80	102,23	75,60	162,60	°	45%
Zahnwinkel Langtrieb	106,11	45,00	137,00	97,03	78,00	113,80	°	39%

3.3 Auswertung des gesamten Probenmaterials

Nachdem an allen Herbarbelegen die in 3.2 ausgewählten Merkmale (vgl. Tab. 2) vermessen waren, wurden diese einer zweiten PCA unterzogen. Die ersten beiden Achsen der PCA erklärten 57% der Varianz.

Im PCA-Ordinationsdiagramm aller Individuen (Abb. 5) wurde die morphologische Abgrenzbarkeit der beiden Ploidiestufen anhand der beiden ersten Hauptkomponenten bestätigt.

Die Boxplots verdeutlichten die Abgrenzung der Ploidiestufen durch morphologische Merkmale. Abb. 6a-e zeigt jene Merkmale mit deutlich messbaren Differenzen, die jedoch Überschneidungen der Zytotypen aufweisen.

Die Boxplots in Abb. 6f-h zeigen eine eindeutige Abgrenzbarkeit der beiden Ploidiestufen:

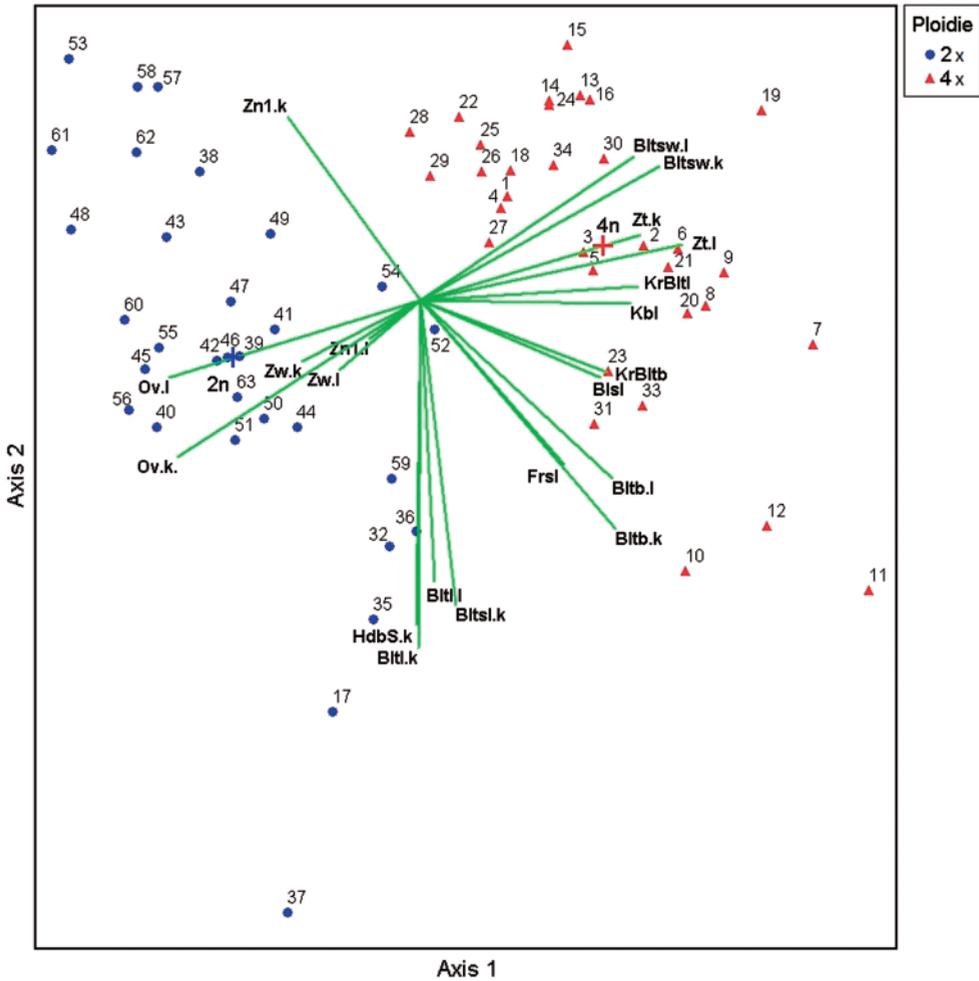


Abb. 5: PCA aller Individuen ($n=63$) mit Darstellung der Merkmale als Vektoren; die Kreuze bezeichnen die Zentroide der Ploidiestufe, die Vektoren die Faktorenladungen der Merkmale; Merkmalskürzel siehe Tab 2 (elektronischer Anhang).

tetraploide Individuen wiesen durchweg größere Zahntiefen an den Blättern des Langtriebs, stumpfere Blattspitzenwinkel und weniger ovale Blätter am Kurztrieb auf als die diploiden.

4 Diskussion

Die Untersuchung belegt, dass sich die beiden Ploidiestufen von *A. ovalis* s.l. im Untersuchungsgebiet des Oberen Lechtals morphologisch voneinander unterscheiden lassen. In der Hauptkomponentenanalyse (PCA) bilden die Ploidiestufen zwei klare Cluster (Abb. 6). Die drei Individuen (ID17, 33 und 34), welche jeweils in Mischpopulationen mit der anderen Ploidiestufe gesammelt wurden, stechen hierbei nicht heraus, sondern sind in der 2D-Ordinations-

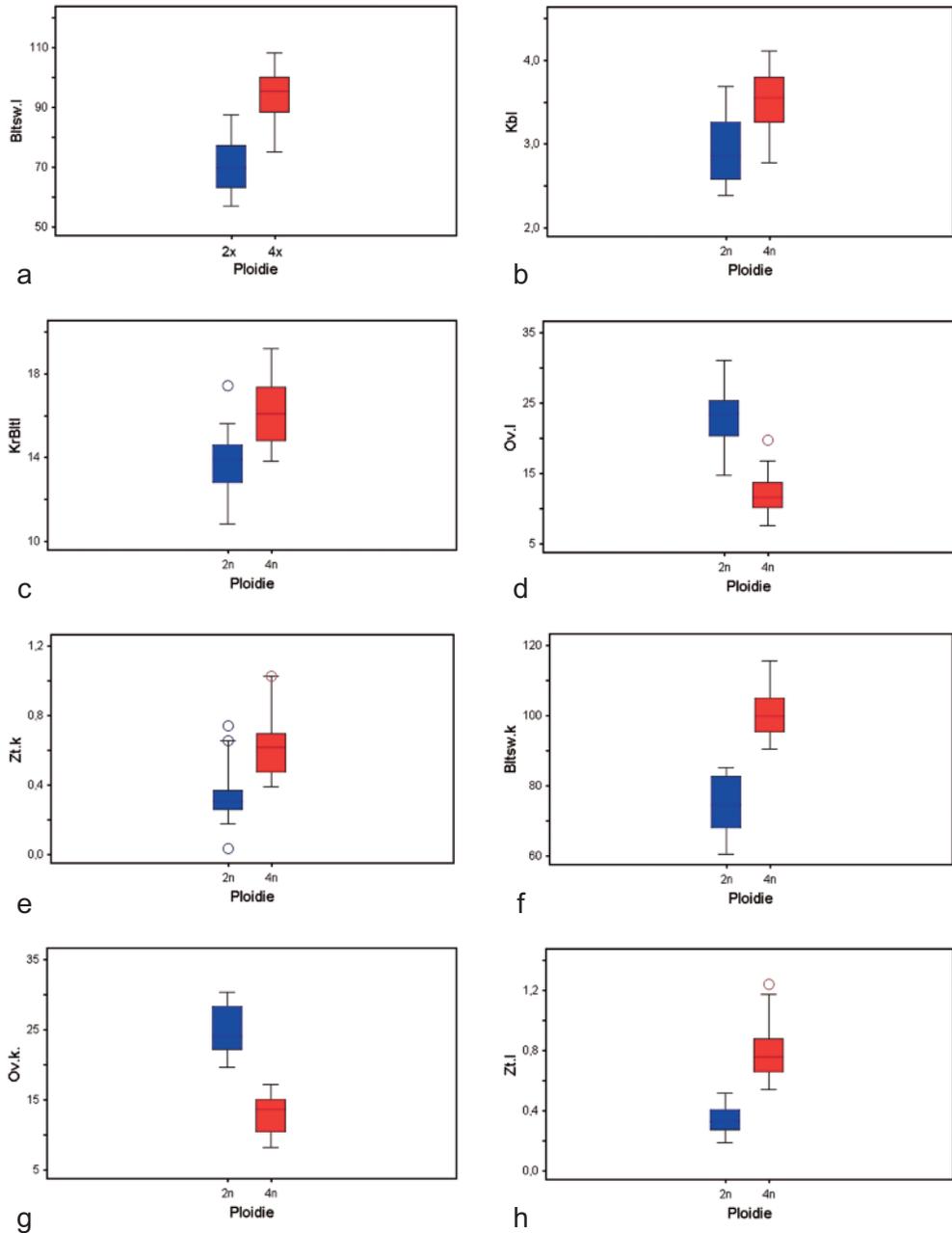


Abb. 6: Morphologische Merkmale mit deutlichen Differenzen (a-e) und mit nicht überlappenden Verteilungen (f-h) zwischen den Zytotypen; Merkmalskürzel siehe Tab. 2.

Tab. 5: Übersicht der untersuchten Individuen und Fundortpopulationen mit Proben-Standard-Fluoreszenzverhältnis (PSF). In Rot die Abweichungen von vermuteter zu tatsächlich gemessener relativen Genomgröße.

ID_Nr.	Koordinaten	Datum	Uhrzeit	Hangneigung	Exposition	vermutete Ploidie	m ü. NN	Fundort	PSF	Ploidie
1	47.633434, 10.633272	07.05.2018	14:10	26°	S	4x	948	Senkele-Grat bei Unterlangegg	1,16	4x
2	47.633481, 10.633412	07.05.2018	14:15	26°	S	4x	948		1,16	4x
3	47.633526, 10.633505	07.05.2018	14:20	28°	S	4x	948		1,17	4x
4	47.631993, 10.645527	07.05.2018	15:05	60°	S	4x	918		1,16	4x
5	47.631803, 10.645821	07.05.2018	15:15	66°	S	4x	918	Ammergebirge, Felswand am SW-Ufer des Weißensees	1,16	4x
6	47.569648, 10.630186	07.05.2018	16:05	85°	N	4x	814		1,16	4x
7	47.569593, 10.630246	07.05.2018	16:10	85°	N	4x	814		1,16	4x
8	47.569593, 10.630246	07.05.2018	16:15	85°	N	4x	814		1,16	4x
9	47.569593, 10.630246	07.05.2018	16:20	85°	N	4x	814	Vilsener Gebirge, Füssen-Bad Faulenbach, Felsen am SW-Ufer des Obersees	1,16	4x
10	47.569525, 10.630296	07.05.2018	16:25	35°	NO	4x	814		0,58	2x
11	47.569525, 10.630296	07.05.2018	16:30	85°	NO	4x	814		1,16	4x
12	47.569382, 10.630360	07.05.2018	16:35	80°	NO	4x	814		1,17	4x
13	47.561012, 10.677202	07.05.2018	17:13	67°	NNO	4x	809	Molassefelsen im Wertachtal östlich von Maria Rain	1,16	4x
14	47.561035, 10.677139	07.05.2018	17:30	57°	NNO	4x	809		1,16	4x
15	47.561063, 10.677110	07.05.2018	17:40	85°	NNO	4x	809		1,16	4x
16	47.561034, 10.676849	07.05.2018	17:45	84°	N	4x	809		1,16	4x
17	47.560927, 10.676498	07.05.2018	17:50	87°	NNW	4x	809	Rottachberg bei Immenstadt, Gipfelfelsen am Falken	1,16	4x
18	47.560927, 10.676498	07.05.2018	18:00	76°	NNW	4x	809		1,15	4x
19	47.560927, 10.676498	07.05.2018	18:05	67°	NNW	4x	809		1,17	4x
20	47.63239, 10.503511	11.05.2018	09:00	68°	S	4x	858		1,16	4x
21	47.63273, 10.503529	11.05.2018	09:07	68°	S	4x	858	Rottachberg bei Immenstadt, Gipfelfelsen am Falken	1,16	4x
22	47.639327, 10.503524	11.05.2018	09:15	68°	S	4x	858		1,15	4x
23	47.639264, 10.503584	11.05.2018	09:18	68°	S	4x	858		1,16	4x
24	47.639271, 10.503609	11.05.2018	09:25	69°	S	4x	858		1,17	4x
25	47.639255, 10.503656	11.05.2018	09:35	68°	S	4x	858	Rottachberg bei Immenstadt, Gipfelfelsen am Falken	1,16	4x
26	47.591002, 10.292826	11.05.2018	10:31	10°	W	4x	1077		1,16	4x
27	47.590922, 10.292768	11.05.2018	10:37	11°	W	4x	1077		1,15	4x
28	47.590642, 10.292467	11.05.2018	10:48	62°	W	4x	1077		1,16	4x
29	47.590591, 10.292484	11.05.2018	10:55	79°	W	4x	1077	Rottachberg bei Immenstadt, Gipfelfelsen am Falken	1,15	4x
30	47.590553, 10.292579	11.05.2018	11:05	25°	NO	4x	1077		1,15	4x
31	47.590508, 10.292417	11.05.2018	11:15	41°	W	4x	1077		1,16	4x

Tab. 5: Fortsetzung

ID_Nr.	Koordinaten	Datum	Uhrzeit	Hangneigung	Exposition	vermutete Ploidie	m ü.NN	Fundort	PSF	Ploidie
32	47.541794, 10.639222	11.05.2018	12:24	83°	NNO	2x	867	Aufstieg Vilsener Kegel, südöstlich von Vils	0,58	2x
33	47.546272, 10.663514	11.05.2018	13:17	49°	SWW	2x	809	Lech-Ostufer oberhalb der Pinswanger Landstraße	1,16	4x
34	47.546230, 10.663409	11.05.2018	13:27	51°	SWW	2x	809		1,17	4x
35	47.546206, 10.663374	11.05.2018	13:41	43°	SW	2x	809		0,58	2x
36	47.545919, 10.663136	11.05.2018	13:51	47°	S	2x	809		0,58	2x
37	47.545811, 10.663186	11.05.2018	13:52	47°	S	2x	809		0,58	2x
38	47.477184, 10.815885	11.05.2018	14:11	33°	SO	2x	983		0,58	2x
39	47.477186, 10.815818	11.05.2018	14:17	33°	SO	2x	983		0,57	2x
40	47.477223, 10.815812	11.05.2018	14:25	33°	SO	2x	983		0,57	2x
41	47.477223, 10.815812	11.05.2018	14:31	33°	SO	2x	983		0,58	2x
42	47.477537, 10.815576	11.05.2018	14:45	33°	SO	2x	983		0,58	2x
43	47.477406, 10.815428	11.05.2018	14:50	33°	SO	2x	979	0,58	2x	
44	47.479145, 10.821123	11.05.2018	14:55	35°	SOO	2x	979	0,58	2x	
45	47.479288, 10.821354	11.05.2018	15:11	32°	SOO	2x	979	0,58	2x	
46	47.479404, 10.821587	11.05.2018	15:16	43°	SOO	2x	979	0,58	2x	
47	47.479634, 10.824531	11.05.2018	15:38	38°	SOO	2x	979	0,58	2x	
48	47.479634, 10.824331	11.05.2018	15:49	36°	SOO	2x	979	0,57	2x	
49	47.479837, 10.824616	11.05.2018	15:55	35°	SOO	2x	979	0,57	2x	
50	47.479872, 10.824770	11.05.2018	16:05	31°	SOO	2x	979	0,57	2x	
51	47.479963, 10.824884	11.05.2018	16:15	37°	SOO	2x	979	0,57	2x	
52	47.480009, 10.824839	11.05.2018	16:19	37°	SOO	2x	979	0,57	2x	
53	47.480002, 10.824739	11.05.2018	16:32	34°	SOO	2x	979	0,58	2x	
54	47.479963, 10.824657	11.05.2018	16:41	30°	SOO	2x	979	0,58	2x	
55	47.496215, 10.839152	11.05.2018	16:59	0°	–	2x	1011	0,58	2x	
56	47.496322, 10.839270	11.05.2018	17:05	0°	–	2x	1011	0,58	2x	
57	47.496215, 10.839128	11.05.2018	17:15	0°	–	2x	1011	0,57	2x	
58	47.496224, 10.839172	11.05.2018	17:17	0°	–	2x	1011	0,58	2x	
59	47.495901, 10.839320	11.05.2018	17:25	0°	–	2x	1011	0,58	2x	
60	47.495787, 10.839344	11.05.2018	17:37	0°	–	2x	1003	0,58	2x	
61	47.495670, 10.839404	11.05.2018	17:45	0°	–	2x	1003	0,58	2x	
62	47.495525, 10.839457	11.05.2018	17:52	0°	–	2x	1003	0,58	2x	
63	47.495442, 10.839389	11.05.2018	18:11	0°	–	2x	1003	0,58	2x	

grafik in der Punktwolke klar ihrer Ploidiestufe zugeordnet. Das bestärkt die Hypothese, dass sich die Ploidiestufen anhand von fixierten Merkmalen und nicht infolge geographischer oder standorts-bedingter Variation unterscheiden lassen.

Viele der gemessenen Merkmale sind für eine Bestimmung ungeeignet, da sie sich zu ähnlich sind, bzw. die Bereiche der Messwerte sich zu stark überschneiden (siehe Tab. 3 und 4). Andere Merkmale wie Kronblattlänge, Ovalität der Blätter des Langtriebs und Zahntiefe der Blätter der Kurztriebe weisen deutlichere Wertdifferenzen zwischen den Ploidiestufen auf, zeigen jedoch als Unterscheidungsmerkmal für die morphologische Bestimmung zu große Überlappungen.

Die gemessenen Mittelwerte (Tab. 3 und 4 im elektronischen Anhang) stimmen zum großen Teil mit den von FAVARGER & STEARN (1983) ermittelten (Tab. 1) überein. Eine Ausnahme bilden die Blattspreitenlängen, bei denen der diploide Typ am Lech sowohl an Kurz- wie auch an Langtrieben die größeren Mittelwerte und Maxima aufwies, während FAVARGER & STEARN (1983) die längeren Blattspreiten immer an tetraploiden Individuen gemessen hatten. Bei allen Blüten-Merkmalen (Kronblattlänge, Kronblattbreite, Kelchblattlänge, Blütenstiellänge und Fruchtsstiellänge) waren, in Übereinstimmung mit FAVARGER & STEARN (1983), die Werte der tetraploiden Stufe größer. Bei der Blattstiellänge waren die Unterschiede zwischen den Ploidiestufen sehr gering. FAVARGER & STEARN (1983) führen die Blattstiellänge im Verhältnis zur Blattspreitenlänge als Unterschied an, obwohl nur ein wenig ausgeprägter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Verhältnisse von 7 % ersichtlich ist und die Bereiche der Minima und Maxima sich zu 46 % überschneiden (Tab. 1). Das errechnete Verhältnis zwischen Stiel- und Spreitenlänge aus der Lechpopulation bringt keine neuen Erkenntnisse. Im Gegensatz zu FAVARGER & STEARN (1983) wurden jedoch nicht immer die größten Blätter vermessen, was einen direkten Vergleich erschwert. Auch die nach FAVARGER & STEARN (1983) aussagekräftigsten Merkmale, Blütenstiellänge und Kronblattlänge (Tab. 1) zeigen am Lech eine große Überlappung der Wertbereiche (Tab. 5).

Die meisten in FISCHER et al. (2008) genannten Bestimmungsmerkmale für *Amelanchier ovalis* s.l. (Griffellänge, Griffelteilung bis zur Basis, unterseits filzig behaarte Kronblätter) waren im Untersuchungsgebiet anwendbar. Die von FISCHER et al. (2008) genannten stumpfen Blätter waren an Langtrieben sowie an Kurztrieben tetraploider Pflanzen vorhanden. Abweichend davon wurden v.a. an diploiden Individuen zahlreiche spitze Blattspreiten gemessen.

LAUBER & WAGNER (2001) nennen als Bestimmungsmerkmale der *Amelanchier ovalis* s.l. die 2–4 cm langen (TUTIN et al. 1986: 2,5–5,0 cm), fein gezähnten Blätter, die schmal-ovalen, 1,5–2 cm langen Kronblätter, den fünfteiligen Griffel und die kugeligen schwarz-bläulichen, im Durchmesser 5–10 mm dicken Früchte genannt. Die am Lech gemessenen Blattlängen reichten mit 1,8 cm bis zu maximal 5 cm Blattlänge über diese Angaben hinaus. Auch am Lech wurden Kronblätter mit <1,5 cm gemessen. Der Durchschnitt der Messungen stimmt jedoch mit den Angaben des Bestimmungsbuchs überein. Dagegen erscheinen die in Flora Europaea angegeben 10–13 mm bei der Länge der Kronblätter zu gering (TUTIN et al. 1986). Der Blattrand, der hier als fein gezähnt beschrieben ist, passt am Lech besser auf die Ausprägung des diploiden Typs, wohingegen der in TUTIN et al. (1986) beschriebene „eher grob bezahnte“ Blattrand zu den Messungen des tetraploiden Typs passt. Die von LAUBER & WAGNER (2001) sowie TUTIN et al. (1986) gemachten Angaben zu den Früchten stimmen mit den Beobachtungen am Lech überein (vgl. Tab. 3, elektronischer Anhang).

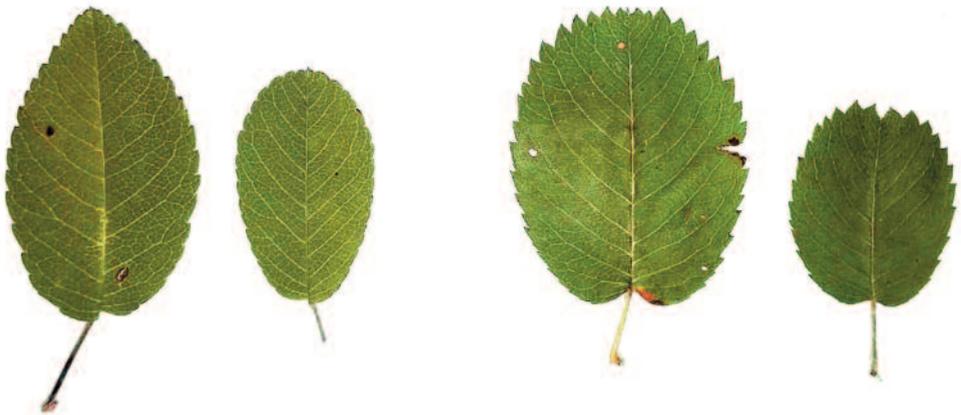


Abb. 7: Ausgeprägte differente Morphologie hinsichtlich Blattovalität, Blattspitzenwinkel und Zähnungstiefe: Links Lang- und Kurztriebs-Blatt des Individuums ID56 (2x; *Amelanchier ovalis* s. str.), rechts Lang- und Kurztriebs-Blatt des Individuums ID19 (4x; *A. embergeri*).

Im Lechgebiet erweisen sich die folgenden drei der untersuchten Merkmale als für die Unterscheidung der Ploidiestufen besonders geeignet: Blattspitzenwinkel, Ovalität der Blätter des Kurztriebs und Zahntiefe an den Blättern des Langtriebs (vgl. Abb. 7).

Die Blattspitzenwinkel der Kurztriebe unterscheiden sich deutlich (vgl. Abb. 8). Die Blattspitzen des tetraploiden Typs sind zum Großteil abgerundet bis ausgerandet, die des diploiden Typs reichen von spitz bis abgerundet. Die Werte dieses Merkmals überschneiden sich nur bei zwei Ausreißern, den Individuen, welche das Minimum der tetraploiden und das Maximum der diploiden Stufe repräsentieren (vgl. Tab. 4). Der Grenzwert, der die Zytotypen trennt, liegt bei ca. 90° des Innenwinkels zwischen Blattmittelnerv und der Geraden, die den Blattrand tangiert, also bei dem gesamten Blattspitzenwinkel von ca. 180° . Der Blattspitzenwinkel ist aufgrund der Überschneidung der Werte nicht als alleiniges Bestimmungsmerkmal geeignet, sondern kann zusätzlich ermittelt werden um eine genaue Bestimmung wahrscheinlicher zu machen.

Die Zahntiefen der Blätter der Langtriebe sind ebenfalls signifikant unterschiedlich (Abb. 2). Die Ausprägung der tiefen Bezahnung ist bei den Blättern des Langtriebs noch deutlicher zu sehen (Tab. 4). Die Messwerte überlappen sich jedoch leicht, zudem liegen die Unterschiede im Zehntel-Millimeter Bereich, was die Präzision einer gewöhnlichen Pflanzenbestimmung überschreitet. Auch dieses Merkmal kann als zusätzliche Absicherung dienen. Sind die Zähne länger als 0,55 mm, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um den tetraploiden Zytotyp.

Die Ovalität der Blätter der Kurztriebe ist zwischen den beiden Ploidiestufen ebenfalls signifikant unterschiedlich (Abb. 2), wobei die länglichen Blätter der Diploiden stärker von der Kreisform abweichen als Tetraploide. Hier gibt es keine Überschneidung der Werte (Tab. 4), der Grenzwert liegt bei $O=18,35$ (errechnet als Mittelwert aus dem Minimum des diploiden und dem Maximum des tetraploiden Typs). Da die Werte auf den Mittelwerten von fünf Blättern beruhen, können einzelne Blätter auch Werte außerhalb der Typgrenze haben. Bei der Bestim-

mung sind also Kurztriebblätter mit durchschnittlicher Blattform zu betrachten. Statt der Formel für die Ovalität kann im Feld das Verhältnis von Blattspreitenlänge zu -breite verwendet werden (Tab. 4): Sind Blätter 1,5 (1,48) mal so lang wie breit oder länger, liegt der diploide, sind sie nur unwesentlich länger (1,1mal, <1,5mal) als breit, der tetraploide Typ vor.

Es ist zu prüfen, ob die Unterscheidbarkeit der beiden Ploidiestufen, welche sich im Rahmen dieser Arbeit herausgestellt hat, auch für *Amelanchier-ovalis*-Populationen außerhalb des Lechgebiets gilt. In Deutschland ist das Lechgebiet das bis jetzt einzig bekannte sympatrische Areal beider Ploidiestufen.

Die von FARVARGER & STEARN (1983) unterschiedenen Zytotypen wurden auf der taxonomischen Ebene der Unterarten eingestuft. Diese Auffassung unterstellt eine geographische und/oder standörtliche Differenzierung der Sippen mit entsprechenden Übergangsformen. In dem untersuchten Areal wurden weder triploide Individuen noch morphologische Übergangsformen gefunden. Wenn man das Gesamtareal, einschließlich Zytotypen-Kontaktzonen in Ostalpen und Pyrenäen, betrachtet, wurde unter 148 studierten Herkünften nur eine triploide Pflanze beobachtet. Dies deutet auf einen fehlenden Genfluss zwischen den zwei Zytotypen und impliziert, dass die Polyploidie eine Kreuzungsbarriere in *Amelanchier ovalis* s.l. darstellt. Solche reproduktiv getrennten, aber phänotypisch unterscheidbaren Sippen werden üblicherweise als eigene Arten bewertet (FISCHER 2015). Deswegen würden wir empfehlen, die di- und tetraploiden Zytotypen als Kleinarten *Amelanchier ovalis* Medik. s. str. und *Amelanchier embergeri* (Landolt) Farvarger & Stearn zu behandeln und in unklaren Fällen *Amelanchier ovalis* agg. zu verwenden.

Folgender Bestimmungsschlüssel könnte in Bayern bzw. Deutschland verwendet werden:

- (1) Gri bis zum Blütenboden **frei**, den Achsenbecher nicht od. maximal um die Hälfte der Griffellänge überragend; KrBl unterseits zottig **behaart**; Bl elliptisch, nicht zugespitzt
..... **2**
- (1*) Gri zumind. am Grund miteinander **verwachsen**, den Rand des Achsenbechers weit überragend; KrBl unterseits **kahl**, höchstens bewimpert; Bl vorn kurz **bespitzt**
..... *Amelanchier spicata*, *Amelanchier lamarckii*, etc.
- (2) Blattspitzenwinkel der Kurztriebsblätter rundlich bis ausgerandet, im Durchschnitt 180° **nicht unterschreitend**; Blattlänge der Kurztriebsblätter im Durchschnitt **nicht** die 1,5 fache Blattbreite überschreitend; Zahntiefe des Blattrandes an der Spitze von Blättern des Langtriebs durchschnittlich 0,55 mm tief oder tiefer *Amelanchier embergeri*
- (2*) Blattspitzenwinkel der Kurztriebsblätter stumpf bis spitz, im Durchschnitt 180° **nicht überschreitend**; Blattlänge der Kurztriebsblätter im Durchschnitt **länger** als die 1,5 fache Blattbreite; Zahntiefe des Blattrandes an der Spitze von Blättern des Langtriebs durchschnittlich kleiner als 0,55 mm *Amelanchier ovalis* s. str.

5 Danksagung

Unser Dank gilt Dr. Birgit Reger für die Kartenbearbeitung.

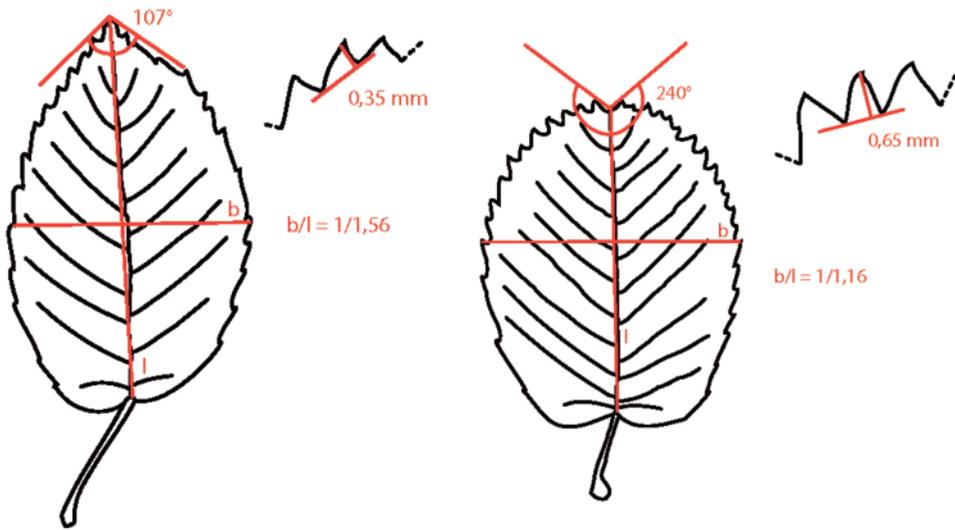


Abb. 8: Beispielmessungen an Kurztriebsblättern und Zähnen der Langtriebe; links *Amelanchier ovalis* s. str., rechts *A. embergeri*.

6 Literaturverzeichnis

- BRECHNER, E., DREESMANN, D. & DINKELAKER, B. 2001: Kompaktlexikon der Biologie 1: A bis Fotom. – Springer Spektrum, Berlin.
- DOLEŽEL, J., GREILHUBER, J. & SUDA, J. 2007: Estimation of nuclear DNA content in plants using flow cytometry. – *Nature Protocols* **2**: 2233–2244.
- FAVARGER, C., & STEARN, W.T. 1983: Contribution à la cytotaxonomie de l'*Amelanchier ovalis* Medikus (Rosaceae). – *Botanical Journal of the Linnean Society* **87**: 85–103.
- FISCHER, M.A. et al. (Hrsg.): Burgenlandflora - Die Pflanzenwelt des Burgenlands. – <http://burgenlandflora.at/einfuehrung-in-die-taxonomie/> [abgerufen am 09.01.2020]
- FISCHER, M.A., OSWALD, K. & ADLER, W. 2008: Exkursionsflora für Österreich Liechtenstein Südtirol. 3 Auflage. – Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.
- GREGOR, T., BAUER, J., ENGELHARDT, M., HAND, R., HEIN, H., LIPPERT, W., MAYER, A., MEIEROTT, L., PARKER, H. & PAULE, J. 2018: *Amelanchier ovalis* s.l. - zwei Zytotypen in Deutschland. – *Kochia* **11**: 65–75.
- JÄGER, E.J. (Hrsg.) 2017: Rothmaler, Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband, 21. Auflage. – Springer Spektrum, Halle.
- KILIAN, W., MÜLLER, F. & STARLINGER, F. 2019: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs - Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. – Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- LANDRY, P. 1975: Le concept d'espèce et la taxinomie du genre *Amelanchier* (Rosacées). – *Bulletin de la Société Botanique de France* **122**: 243–251.
- LAUBER, K. & WAGNER, G. 2001: Flora Helvetica, Flora der Schweiz. 3 Auflage. – Haupt, Bern.
- LIPPERT, W. & MEIEROTT, L. 2018: Kommentierte Artenliste der Farn und Blütenpflanzen Bayerns. Vorarbeiten zu einer neuen Flora von Bayern. 2. Auflage als Online-Version. – Bayerische Botanische Gesellschaft, München. – <https://www.bbgev.de/sonderbaende>

- MCCUNE, B. & MEFFORD, M.J. 2018: PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.08. – Wild Blueberry Media, Corvallis.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J. & FEHN, H. 1953: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. – Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg.
- PHIPPS, J.B., ROBERTSON, K.R., SMITH, P.G. & ROHRER, J.R. 1990: A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae). – *Botany* **68**: 2209–2269.
- SCHROEDER, F.G. 1995: *Amelanchier*. – In: SCHOLZ, H. (Hrsg.): Illustrierte Flora von Mitteleuropa Band IV. Teil 2B. 2. Auflage. – Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin und Wien: 385–404.
- TUTIN, T., HEYWOOD, V., BURGESS, N., MOORE, D., VALENTINE, D., WALTERS, S. & WEBB, D. 1986: Flora Europaea 2. Rosaceae to Umbelliferae. – Cambridge University Press, Cambridge.
- VERBAND DER TÜV e.V. 2018: AD 2000 Regelwerk. Beuth Verlag, Berlin.
- WALENTOWSKI, H., EWALD, J., FISCHER, A., KÖLLING, C. & TÜRK, W. 2013: Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. 3. Auflage. – Geobotanica, Freising.