

Zum Wiederaanbau von *Taraxacum koksaghyz* (Asteraceae) als Kautschuklieferant in Deutschland

INGO UHLEMANN, MARIE EGGERT, JOACHIM SCHIEMANN & KATJA THIELE

Zusammenfassung: Der Anbau des in Zentralasien beheimateten diploiden, sexuellen *Taraxacum koksaghyz* als Kautschuklieferant in Deutschland erfährt eine Renaissance. Das invasive Potenzial dieser Art in Bezug auf die autochthone Vegetation erweist sich als extrem gering. Feldversuche zeigten den Zusammenbruch einer kompletten Population von *T. koksaghyz* innerhalb eines Jahres bei Auflassung und natürlicher Sukzession. Hybridisierungen zwischen *T. koksaghyz* mit autochthonen *Taraxacum*-Arten wurden nicht beobachtet. Das frühe Stadium der Domestikation von *T. koksaghyz* zeichnet sich durch große morphologische Variabilität der Art aus, die dokumentiert wird.

Abstract: The renaissance of cultivation of *Taraxacum koksaghyz* (Asteraceae) as a rubber producer in Germany. Cultivation of diploid, sexual *Taraxacum koksaghyz* from Central Asia as rubber producer is re-established in Germany. The invasive capability of this species with regard to the native vegetation is extremely low, as shown in competition experiments in grassland and agricultural fields which led to a complete collapse of *T. koksaghyz* populations within one year. Hybridization events with native *Taraxacum*-populations were not observed. The early stage of domestication of *T. koksaghyz* is characterized by an extraordinary morphological variability which is documented.

Ingo Uhlemann
Teichstraße 61, 01778 Liebenau;
greta_uhlemann@web.de

Marie Eggert
Julius-Kühn-Institut (JKI),
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen,
Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg;
marie.eggert@julius-kuehn.de

Joachim Schiemann
Julius-Kühn-Institut (JKI),
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen,

Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg;
joachim.schiemann@julius-kuehn.de

Katja Thiele
Julius-Kühn-Institut (JKI),
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen,
Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg;
katja.thiele@julius-kuehn.de

1. Einleitung

Mit dem Bestreben verschiedener Nationen, sich von Importen des Tropenkautschuks aus *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae) unabhängig zu machen, wurden seit der Mitte des 19. Jahrhunderts zahlreiche Arten, insbesondere der Familien *Asclepiadaceae*, *Asteraceae* und *Euphorbiaceae*, der gemäßigten Zone Eurasiens und Nordamerikas auf ihren Kautschukgehalt untersucht. Zwar konnte in vielen, z. T. auch weitverbreiteten und häufigen Vertretern der genannten Familien, wie z. B. *Euphorbia cyparissias*, *Euphorbia peplus*, *Lactuca serriola*, *Lactuca virosa* und *Sonchus oleraceus*, Kautschuk nachgewiesen werden (Übersicht in ULMANN 1951), jedoch in Mengen weniger als 3 % der Trockensubstanz, sodass sich daraus kein wirtschaftlicher Nutzen ergeben konnte. Seitdem wurde in ca. 2 500 Arten Kautschuk gefunden (VAN BEILEN & POIRIER 2007a & b).

Arten mit Kautschukgehalten über 5 % der Trockensubstanz und damit kommerziellem Potenzial sind ausgesprochen selten. Eine Übersicht gibt ULMANN (1951) und nennt z. B. die *Apocynaceae*, *Apocynum venetum* (bis 8,4 %), und die Vertreter der *Asteraceae*, *Scorzonera acanthoclada* (bis 7 %), *Scorzonera tausaghyz* (4–40 %), *Taraxacum hybernum* (5–6 %). Insbesondere aber erwähnt er *Parthenium argentatum*, *Asteraceae* (Guayule), mit 8–13 % und *Taraxacum koksaghyz*, *Asteraceae* (Russischer Löwenzahn), mit 3–25 %, die in unterschiedlichem Maße in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, vor allem in Europa, Russland und den USA,

angebaut wurden (KROTKOV 1945, SUOMELA 1950). Ab den 1950er-Jahren wurde der Anbau dieser alternativen Kautschuklieferanten aus Wettbewerbsgründen gegenüber synthetischem Kautschuk und *Hevea*-Kautschuk jedoch wieder aufgegeben (KIRSCHNER & al. 2013).

Seit wenigen Jahren erlebt der Anbau des Russischen Löwenzahns eine Renaissance, die neben der bereits eingangs erwähnten angestrebten Unabhängigkeit von Importen des *Hevea*-Kautschuks auch andere Ursachen hat. Dazu gehören beispielsweise die starke Nachfrage nach Naturkautschuk aufgrund seiner vom Synthesekautschuk abweichenden positiven Eigenschaften, wie z. B. der für die Reifenproduktion wichtigen Elastizität bei niedrigen Temperaturen oder der Reißfestigkeit, Gefühlsechtheit und effektiven Pathogen-Barriere bei Latexhandschuhen (CORNISH 2017, MOOIBROEK & CORNISH 2000, VAN BEILEN & POIRIER 2007a). Zudem wurde in der jüngeren Vergangenheit ein vermehrt auftretender Pathogenbefall (Schlauchpilz: *Pseudocercospora ulei*) beobachtet (HORA JUNIOR & al. 2014), der zur Südamerikanischen Blattfallkrankheit im Plantagenanbau von *Hevea brasiliensis* in Brasilien führt und erhebliche Ernteaussfälle zur Folge hat, die zu starken Preisschwankungen des Kautschuks auf dem Weltmarkt führen (EVANS 2000). Ferner sind jene mit dem Klimawandel assoziierten und damit verstärkt auftretenden Hochwasser- oder Trockenheitsphänomene in Südostasien, wo gegenwärtig 80 % der Weltproduktion des Naturkautschuks herkommen, ganz offensichtlich eine Hauptursache für dessen Produktionsrückgang in dieser Region (MOOIBROEK & VAN BEILEN 2010). Und nicht zuletzt gehen die Bemühungen dahin, dass durch den möglichen Anbau von *T. koksaghyz* auch auf weniger ertragsstarken Standorten die Kulturartenvielfalt und die Auswahl an Fruchtfolgegliedern in landwirtschaftlichen Betrieben erweitert werden kann.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Bewertung des Anbaus von *T. koksaghyz* in Bezug auf die autochthone Vegetation. Dazu gehören Fragen wie die Konkurrenzfähigkeit der Art unter natürlichen Bedingungen, mögliche Aus- und Einkreuzungen in und von angrenzende(n) *Taraxacum*-Populationen und das damit verbundene invasive Potenzial dieser Art. Zudem wird die morphologische Variabilität des *T. koksaghyz* untersucht, um dieses frühe Stadium

der Domestikation im Hinblick auf die künftige Züchtung zu dokumentieren.

2. Systematik und Beschreibung

Die kosmopolitische Gattung *Taraxacum* F. H. Wigg. umfasst etwa 60 Sektionen und schätzungsweise 3 500 Artnamen (KIRSCHNER & ŠTĚPÁNEK 1997, 2004, 2008). *T. koksaghyz* gehört zur mittelasiatischen Sektion *Ceratoidea* KIRSCHNER & ŠTĚPÁNEK (2008), die 8 Arten (sexuell oder agamosperm) besitzt und nasse Salzstandorte besiedelt. Als typischer Vertreter dieser Sektion besitzt das durchschnittlich 5–15 cm hohe *T. koksaghyz* graugrüne, etwas sukkulente Laubblätter mit grünen, geflügelten Blattstielen, Blattspreiten mit ausgesprochen variabler Lapung (Kap. 3), Involukrum 5–8 mm Durchmesser; innere Involukralblätter 10–13 mm lang, äußere Involukralblätter 8–13, aufrecht abstehend bis anliegend, 7–10 mm lang, 1–2 mm breite äußere Involukralblätter (diese sind fast so lang wie die inneren Involukralblätter), die an der Außenseite der Spitze große Hörner aufweisen. Die Griffeläste der Blüten sind rein gelb. Alle Pollenkörner haben nahezu den gleichen Durchmesser ($29,7 \pm 3,2 \mu\text{m}$). Die Achänen (mit Pyramide) sind 2,8–3,8 mm lang, besitzen eine 0,7–1,0 mm lange Pyramide und ein 3,0–4,5 mm langes Rostrum. Die somatische Chromosomenzahl beträgt $2n = 16$, das Reproduktionssystem ist sexuell und selbstinkompatibel (KIRSCHNER & al. 2013, Abb. 1).

3. Intraspezifische Variabilität

Als diploide, sexuelle Art zeigt *T. koksaghyz* eine im Vergleich zu höherploidem, agamospermen Arten sehr große, vor allem blattmorphologische Variabilität (Abb. 2, 3), die auf Neukombinationen und Spaltungen beruht und aufgrund der fehlenden reproduktiven Isolation der Nachkommen keine Stabilität zeigt. Die Infloreszenz- und Blütenmerkmale sind nahezu invariabel. Insofern kommt den trotzdem unterscheidbaren und z. T. sehr auffälligen Phänotypen (Blatt-Morphotypen) keine taxonomische Bedeutung zu und es erscheint sinnvoll sie als konspezifisch zu betrachten. Dafür sprechen folgende Argumente. Erstens treten zwischen den Extremformen intermediäre Phänotypen auf und zweitens lassen sich die Morphotypen untereinander kreuzen und erzeugen fertile Nachkommen.



Abb. 1: Habitus von *T. koksaghyz*, Julius-Kühn-Institut (JKI), Quedlinburg; 9.9.2017, I. Uhlemann.



Abb. 2: *Taraxacum koksaghyz* im JKI Quedlinburg. Links: blattmorphologische Variabilität im Feldanbau; rechts: vegetative Vermehrung (Klonierung, In-vitro-Kultur) einer Pflanze des Typs „Glattrandige Blätter“; links: 9.9.2017, rechts: 20.10.2015; I. Uhlemann. – *T. koksaghyz* at Julius Kühn Institute Quedlinburg. Left: variability of leaves in a field; right: vegetative propagation (cloning, in vitro culture) of a plant with entire leaves.

Nun handelt es sich bei *T. koksaghyz* aber um eine potenzielle Kulturpflanze, also Pflanzen mit Domestikationssyndrom (HAMMER 1984), die sich in einem sehr frühen Stadium der Transformation zur Kulturpflanze bzw. im Übergangsstadium Wildpflanze/Kulturpflanze befinden. Deshalb erscheint es sinnvoll, zu diesem Zeitpunkt einen Überblick zu den wichtigsten Phänotypen und deren phänologischer Variabilität (Blattjahresserien) zu geben, da möglicherweise einzelnen dieser Varianten ein züchterischer Wert zukommen könnte. Das verwendete Material stammt ursprünglich aus einer Vermehrungspopulation aus 14 *T.-koksaghyz*-Akzessionen (Plant ID W6-35-156, -159, -160, -164, -166, -168, -169, -170, -172, -173, -176, -178, -181, -182) der Genbank der USDA, die 2008 im Rahmen einer Sammelreise durch Barbara Hellier im ursprünglichen Verbreitungsgebiet von *T. koksaghyz*, im Einzugsgebiet der Flüsse Kegen und Tekes in Kasachstan, gesammelt wurden (HELLIER 2011).

Phänotypen (Blattmorphotypen)

Bereits kurz nach der Entdeckung wurde versucht, *T. koksaghyz* nach der Blattgestalt zu

klassifizieren, siehe ULMANN (1951: 47, 285). Es wurden drei Blattformen unterschieden: I – „glattrandige Blätter“, II – „eingeschnittene Blätter“, III – „zerschlitzte Blätter“. Diesen Grundtypen werden sechs ausgewählte, im JKI Quedlinburg beobachtete Blattmorphotypen zugeordnet und in ihrer phänotypischen Plastizität betrachtet. Wie in Abb. 2 zu erkennen ist, sind die drei Grundtypen zu Beginn des Blattaustriebs hinreichend voneinander geschieden, verlieren aber diese Integrität mit zunehmender Entwicklung und bilden auch Blatttypen der anderen Gruppen aus. Insofern erscheint es auch hinsichtlich der Plastizität der Morphotypen nicht sinnvoll, eine weitere Aufgliederung der Art *T. koksaghyz* vorzunehmen.

4. Entdeckung und Anbaugeschichte

T. koksaghyz RODIN wurde 1931 im Rahmen einer von L. E. Rodin geleiteten botanischen Expedition in die Täler des Tianschan Gebirges, in der Nähe des Flusses Kegen, im südöstlichen Kasachstan entdeckt und 1933 beschrieben (RODIN 1933, ULMANN 1951). Die Expedition erfolgte

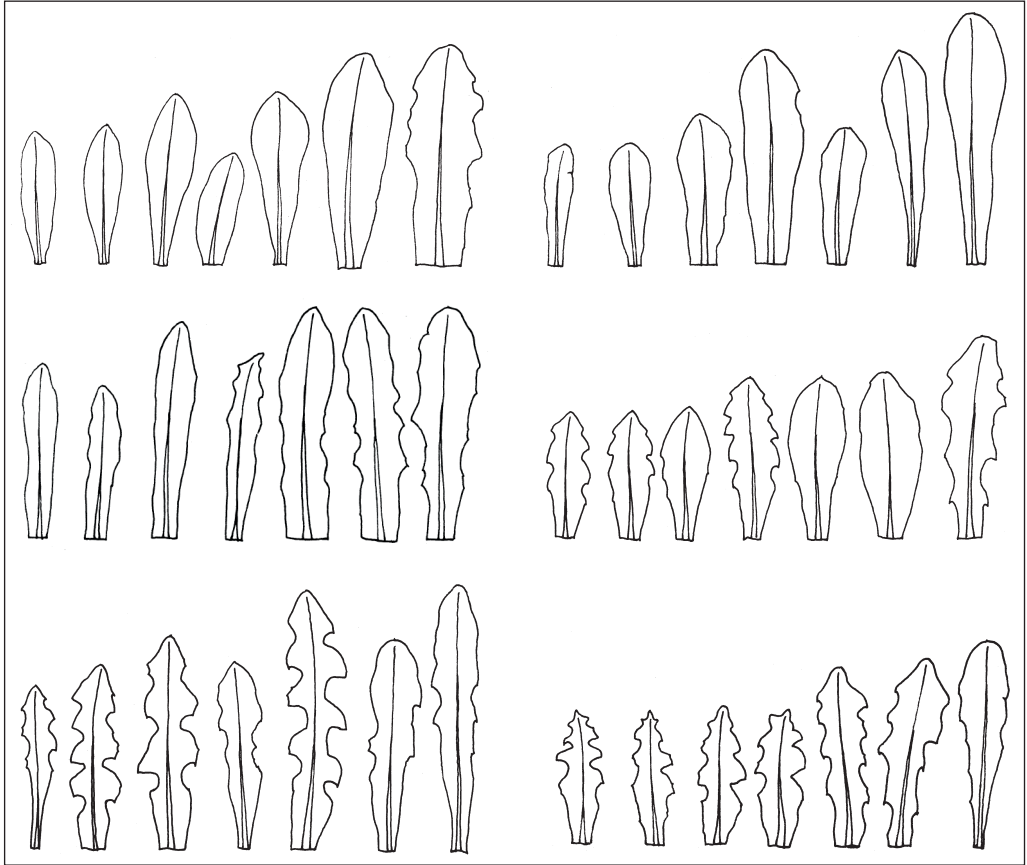


Abb. 3: Phänotypische Plastizität der Laubblätter von Einzelpflanzen (Tkok) von *Taraxacum koksaghyz* aus einer Anzuchtserie am JKI Quedlinburg im Frühjahr 2016. Jeweils (von links nach rechts) Blatt 1/2 vom 9.4., Blatt 3/4 vom 17.4., Blatt 5/6 vom 7.5. und Blatt 7 vom 15.5.2016. Obere Reihe: „glattrandige Blätter“ (links Tkok 29/1, rechts Tkok 32/3), mittlere Reihe: „eingeschnittene Blätter“ (links Tkok 31/3, rechts Tkok 32/1), untere Reihe: „zerschlitzte Blätter“ (links Tkok 27/3, rechts Tkok 35/3). Blattbelege im Herbarium I. Uhlemann. – Phenotypic variation of *T. koksaghyz* plants at Julius Kühn Institute Quedlinburg, spring 2016. Leaves 1–2 from 9th April, leaves 3–4 vom 17th April, leaves 5–6 from 7th of May and leaf 7 from 15th May. Upper row: entire leaves (left Tkok 29/1, right Tkok 32/3), central row: sinuate-dentate or sinuate-lobulate leaves (left Tkok 31/3, right Tkok 32/1), lower row: lobed leaves (left Tkok 27/3, right Tkok 35/3). Vouchers in herbarium I. Uhlemann.

aufgrund einer „Verordnung über die Durchsicht der Flora der Union auf Kautschuk-führende Pflanzen“ in der damaligen Sowjetunion. Schnell wurde das Potenzial dieser Art erkannt und bereits ein Jahr später mit der züchterischen und agronomischen Bearbeitung in mehreren eigens dafür eingerichteten Forschungsstationen vor allem auf dem Gebiet der Ukraine und Weißrusslands begonnen (ULMANN 1951). Gleichzeitig wurde der großflächige Anbau der Wildform betrieben. 1937 betrug die Anbaufläche über 5 000 ha und 1941 wurde sie bereits auf 67 000 ha geschätzt (ANONYMUS 1941).

Im Jahr 1938 gelangte *T.-koksaghyz*-Saatgut über die landwirtschaftliche Forschungsanstalt Puławy in Polen an das Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung in Müncheberg (MEDUCKI 2002). Auch dort wurde mit der Züchtung und der Entwicklung ackerbaulicher Methoden begonnen und 1941 erstreckte sich der Versuchsanbau von *T. koksaghyz* in Müncheberg bereits auf 4 ha (WIELAND 2001).

Intensiviert wurden diese Aktivitäten, als nach dem Überfall auf die Sowjetunion dort vorhandenes *T.-koksaghyz*-Saatgut und technologisches Wissen beschlagnahmt und der

Pflanzenzuchtstation Rajsko, einem dem Konzentrationslager Auschwitz angegliedertem Landwirtschaftsbetrieb, zur Verfügung gestellt wurde. Unter dem Tarnnamen „Pflanze 4711“ wurden dort umfangreiche Arbeiten unter anderem zur Erfassung von phänotypischen Merkmalen und Entwicklungsstadien, zur Selektion und gezielten Kreuzung und zur Kautschukanalyse durchgeführt (HEIM 2003). Großflächiger Anbau von *T. koksaghyz* wurde in den durch Deutschland besetzten Gebieten in Osteuropa betrieben, 1943 betrug die Anbaufläche ca. 40 000 ha. Mit dem Ende des 2. Weltkrieges endeten die Bemühungen zum Anbau von *T. koksaghyz* im westlichen Teil Deutschlands. In der damaligen Sowjetunion, in der sowjetischen Besatzungszone Deutschlands und in Polen gingen die Arbeiten bis in die 1950er-Jahre weiter (MORGENSTERN & TOBLER 1948, ULMANN 1951); (Abb. 4).

Auch in anderen Ländern gab es Bestrebungen, *T. koksaghyz* als Kautschuklieferanten anzubauen, z. B. in Finnland, Großbritannien und Schweden (SUOMELA 1950) und in den USA ab 1942 (WHALEY & BOWEN 1947), jedoch wurden auch diese Bestrebungen wegen der besseren Verfügbarkeit von *Hevea*-Kautschuk durch den Wegfall der kriegsbedingten Handelshindernisse bald wieder eingestellt.

Das vorläufige Ende des Anbaus von *T. koksaghyz* vor über einem halben Jahrhundert hatte bis vor Kurzem erhebliche Konsequenzen für die Verfügbarkeit geeigneten Saatgutes. Wie Untersuchungen in nationalen Samenbanken weltweit ergaben, war *T.-koksaghyz*-Saatgut nahezu komplett durch solches einer agamospermen Begleitart im natürlichen Verbreitungsgebiet, *T. brevicorniculatum*, ersetzt worden (KOROLEVA 1940a & b), was vermutlich durch das undifferenzierte Aufsammeln riesiger Mengen von vermeintlichen *T.-koksaghyz*-Achänen, die anteilig durch solche jener morphologisch nahestehenden, agamospermen und damit konkurrenzstärkeren Begleitart kontaminiert waren, die sich später in der Kultur durchsetzen konnte, erklärt werden kann (KIRSCHNER & al. 2013). *T. brevicorniculatum* produziert zwar auch Kautschuk, aber wesentlich weniger als *T. koksaghyz*, und ähnelt dieser Art durch das Vorhandensein von kleinen Hörnern auf der Außenseite der äußeren Hüllblätter (Abb. 9). Untersuchungen der natürlichen Habitate von *T. koksaghyz* in der jüngeren Vergangenheit in

Kasachstan (Tianschan-Täler) zeigten Wildbestände erheblichen Ausmaßes (20 Populationen mit 1 000–100 000 Individuen), die sich offensichtlich von der intensiven Besammlung in den 1930/40er Jahren, die ungefähr 2,5 t Achänen pro Jahr umfasste (KOCHENENKO 1933, SINGAREV 1934, NICHIPOROVICH 1935), erholt hatten (VOLIS & al. 2009, VAN DIJK & al. 2010).



Abb. 4: Reihenkulturen von *Taraxacum koksaghyz* auf der Kollektivfarm „Chyrvonaia zmena“, 1951¹. – Rows of cultivated *T. koksaghyz* at the collective farm “Chyrvonaia zmena”.

Gegenwärtig existiert in Deutschland neben 4 Versuchsstandorten bereits ein Praxisanbau von Russischem Löwenzahn auf ca. 20–30 ha im östlichen Teil Mecklenburg-Vorpommerns. Auch international gibt es Bestrebungen, diese Pflanzen als Lieferanten von Naturkautschuk für industrielle Zwecke erneut nutzbar zu machen, z. B. in den USA, in den Niederlanden, in China und in Kasachstan.

5. Agronomische Merkmale

Für die industrielle Kautschukgewinnung aus *T. koksaghyz* sind der (Trocken-) Wurzelsertrag sowie der Kautschukgehalt der Wurzeln und somit der erzielte Kautschukertrag je Flächeneinheit von übergeordneter Bedeutung. Die Zusammensetzung der Wurzel erlaubt aber auch eine weitere Nutzung der Pflanze, beispielsweise zur Gewinnung von Inulin, das in der industriellen Verwendung in der Bioplastik-, Bioethanol- oder Biogasproduktion oder in der Nahrungsmittel-Produktion Verwendung findet (RAMIREZ-CADAVID & al. 2017). Mehrjährige

¹ aus <https://www.sb.by/articles/kuzmovy-dorozhki.html>



Abb. 5: *Taraxacum koksaghyz* im Versuchsanbau des JKI Quedlinburg, 12.4.2014; I. Uhlemann. – *T. koksaghyz* field at Julius Kühn Institute Quedlinburg.

Anbauversuche am Versuchsstandort des JKI Quedlinburg (51,4°N, 11,8°O, 140 m NN, langjähriger Jahresdurchschnitt: 8,9°C, 497 mm Niederschlag, Lössboden, Humus 2,1 %, pH 7,1) haben das bisher als gering einzustufende Ertragspotenzial von *T. koksaghyz* in seiner derzeitigen Form gezeigt (KREUZBERGER & al. 2016, EGGERT & al. 2018). Maximale Kautschukerträge von 30–60 kg pro ha während der Blüte im zweiten Standjahr bei Kautschukgehalten von 8–9 % in der Wurzeltrockenmasse zeigen, dass in *T. koksaghyz* noch ein großes Potenzial zur Ertragssteigerung vorhanden ist. Allein durch agronomische Maßnahmen wie die Verbesserung der Bestandesetablierung durch ein verbessertes Saatverfahren, verringerte Reihenabstände und durch geeignete Düngemaßnahmen ist mindestens eine Verdopplung des Ertragsniveaus des vorhandenen Materials zu erwarten.

Durch züchterische Verbesserung der agronomischen Merkmale der Pflanze (v. a. Wurzelgröße und Kautschukgehalt) können weitere Ertragssteigerungen erreicht werden, wie aktuelle Prognosen von 389 kg Kautschuk pro ha aus den USA zeigen (RAMIREZ-CADAVID & al. 2017). Mechanische oder chemische Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Ackerunkräuter sind für den Anbau von *T. koksaghyz* während

der Etablierung und der gesamten Vegetationsdauer essenziell (Abb. 5). Dabei machen aus pflanzenbaulicher Sicht vor allem der zeitlich versetzte Feldaufgang/Keimung (z. T. 20–40 Tage) bei kühler und trockener Witterung im Frühjahr, die langsame Jugendentwicklung sowie die geringe Wuchshöhe mit der bodenständigen Blattrosette den Russischen Löwenzahn in jeder Wachstumsphase anfällig für die Beschattung durch Ackerunkräuter.

6. Invasives Potenzial

Um das Invasionsvermögen des *T. koksaghyz* in die autochthone Vegetation beurteilen zu können, mussten folgende Eigenschaften überprüft werden: [a] die Konkurrenzfähigkeit der Art unter natürlichen Bedingungen, [b] das Hybridisierungsvermögen der Art mit autochthonen *Taraxaca* und [c] das Auftreten der Art als Unkraut in anderen Kulturpflanzenbeständen.

6.1 Konkurrenzfähigkeit von *T. koksaghyz* unter natürlichen Bedingungen

Im Hinblick auf das Wettbewerbsvermögen der Art wurden ausgepflanzte oder ausgesäte, unkrautfreie Feldbestände mit definierten Reihenabständen des *T. koksaghyz* (Sukzessionsbeete) der Invasion von Ackerwildpflanzen (Unkräuter nach BAKER (1965)) überlassen. Monatlich erfolgten Vegetationsaufnahmen nach BRAUN-BLANQUET (1964). Zudem wurde die Anzahl der *T.-koksaghyz*-Individuen erhoben. Diese Sukzessionsversuche erstreckten sich jeweils über ein Jahr (2016 und 2017) und fanden auf Parzellen auf dem Gelände des JKI Quedlinburg statt, die von Wirtschaftsgrünland (*Molinio-Arrhenatheretea*) oder Ackerland (diverse Kulturen: *Phacelia*, *Beta*) umgeben waren.

6.1.1 Wirtschaftsgrünland

Tabelle 1 und Abbildung 6 zeigen das Konkurrenzverhalten von *T. koksaghyz* auf einer Sukzessionsfläche mit Mahd, eingebettet in das Wirtschaftsgrünland des JKI, welches von April bis Oktober 2016 untersucht wurde. Ausgehend von einem nahezu unkrautfreien Bestand mit einer Gesamtdeckung von 10 %

Tab. 1: Sukzessionsfläche mit *Taraxacum koksaghyz* eingebettet in das Wirtschaftsgrünland des JKI Quedlinburg; 5 Reihen *T. koksaghyz* im Abstand von 50 cm, Mahd am 23.6.2016. – Sukzession of *T. koksaghyz* surrounded by grassland of the Julius Kühn Institute Quedlinburg; 5 rows, 50 cm between; mowed at 23.6.2016.

Aufnahme-Nr.	1	2	3
Datum	23.4.2016	29.5.2016	1.10.2016
Größe der Aufnahmefläche [m²]	85	85	85
Gesamtdeckung [%]	10	75	90
Artenzahl	12	25	25
<i>Taraxacum koksaghyz</i>	1	1	r
Anzahl der Pflanzen	203	61	5
Stellarietea mediae			
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	.	+	+
<i>Cirsium arvense</i>	r	+	1
<i>Galinsoga parviflora</i>	.	.	+
<i>Geranium pusillum</i>	r	+	+
<i>Lamium amplexicaule</i>	+	1	.
<i>Lamium purpureum</i>	+	3	.
<i>Mercurialis annua</i>	.	.	r
<i>Solanum nigrum</i>	.	.	+
<i>Stellaria media</i>	+	+	.
<i>Thlaspi arvense</i>	.	r	.
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	.	r	r
<i>Urtica urens</i>	r	r	+
<i>Veronica hederifolia</i>	+	1	.
<i>Veronica persica</i>	+	+	.
<i>Veronica polita</i>	.	+	.
Sisymbrietea			
<i>Amaranthus retroflexus</i>	.	r	1
<i>Chenopodium album</i>	.	1	1
<i>Datura stramonium</i>	.	.	r
<i>Foeniculum vulgare</i>	.	.	r
<i>Hordeum murinum</i>	.	.	+
<i>Lactuca serriola</i>	.	r	.
<i>Nepeta cataria</i>	.	.	r
<i>Picris hieracioides</i>	.	.	r
Artemisietea			
<i>Elymus repens</i>	.	1	+
<i>Euphorbia helioscopia</i>	.	r	.
<i>Malva sylvestris</i>	.	.	+
Plantaginetea			
<i>Lolium perenne</i>	.	.	+
<i>Matricaria discoidea</i>	.	r	.
<i>Polygonum aviculare</i>	.	r	2
<i>Poa annua</i>	r	+	1
Molinio-Arrhenatheretea			
<i>Bellis perennis</i>	r	r	r
<i>Scorzonoides autumnalis</i>	.	.	+
<i>Plantago lanceolata</i>	.	r	2
<i>Poa pratensis</i>	.	r	.
<i>Taraxacum officinale</i>	+	1	4



Abb. 6: Phänologie eines *Taraxacum-koksaghyz*-Versuchsfeldes eingebettet in das Wirtschaftsgrünland des JKI Quedlinburg in 2016. Obere Reihe: 23.4.2016, Mittlere Reihe: 29.5.2016, untere Reihe: 1.10.2016; I. Uhlemann. – Phenology of a *T. koksaghyz* field within grassland at Julius Kühn Institute Quedlinburg. Upper row: 23.4.2016, central row: 29.5.2016, lower row: 1.10.2016.

(*T. koksaghyz*-Jungpflanzen und Jungpflanzen weiterer 11 autochthoner Segetal-, Ruderal- und Grünlandarten) erhöhte sich der Deckungsgrad innerhalb eines Monats auf 75 %, was im Wesentlichen auf eine erfolgreiche und schnelle Entwicklung von *Lamium purpureum* zurückzuführen war. In diesem Zeitraum verdoppelte sich Zahl der eingewanderten Unkraut-Arten. Die Population des *T. koksaghyz* hingegen reduzierte sich auf ca. ein Drittel der ursprünglichen Individuenzahl. Ende Juni erfolgte eine komplette Mahd des Versuchsbeetes, um ein übliches Management des Wirtschaftsgrünlands zu imitieren. Während sich der Wildpflanzenbestand zügig wiederherstellte und drei Monate später eine Gesamtdeckung von 90 % zeigte,

verblieben nur 5 Individuen von *T. koksaghyz* (2,5 %). Auffälligerweise erreichte das autochthone *Taraxacum officinale*² eine Deckung von über 50 %.

² Die gelegentliche Wiederverwendung des Binoms *Taraxacum officinale* F. H. WIGGERS, Basionym: *Leontodon taraxacum* L., erfolgt an dieser Stelle und im Folgenden (z. B. in den Tabellen der Vegetationsaufnahmen) im alten Linnischen/Wiggerschen Aggregat-Sinn, wenn auf eine Betrachtung der agamospermen Arten („Kleinarten“) verzichtet wird bzw. diese nicht sinnvoll erscheint (KIRSCHNER & ŠTĚPÁNEK 2011). Stehen diese Arten aber im Fokus, wird von Vertretern der *Taraxacum* sect. *Taraxacum* gesprochen und geschrieben bzw. werden diese namentlich aufgeführt.

6.1.2 Ackerland

Tabelle 2 und Abbildung 7 zeigen das Konkurrenzverhalten von *T. koksaghyz* auf einer Sukzessionsfläche ohne Mahd, eingebettet in das Ackerland des JKI, welches von November 2016 bis Oktober 2017 untersucht wurde. Ausgehend von einem bereits einjährigen, damit etablierten und mäßig stark verunkrauteten Bestand von *T. koksaghyz*, das mit ca. 30 % Deckung ähnlich dominant wie die begleitende Ackerkratzdistel auftrat, sowie weiteren 5 Segetal-, Ruderal- und Grünlandarten, zeigten sich die Deckungsverhältnisse ähnlich im darauffolgenden April zu Beginn der Vegetationsperiode, mit dem Unterschied, dass bereits 11 spontane Begleitarten zu verzeichnen waren, deren Zahl sich in den Folgemonaten nur noch

geringfügig erhöhte. Der Gesamtdeckungsgrad der Untersuchungsfläche betrug nach nur zwei Monaten 90 %, was im Wesentlichen auf die rasante Entwicklung von *Cirsium arvense* und *Senecio vulgaris* zurückzuführen war. Letzte Art wurde nach ihrem Absterben im Juni nach ebenso schneller Entwicklung von *Sonchus asper* in etwa gleicher Deckung ersetzt. Alle übrigen Begleitarten (einschließlich *T. officinale*) blieben im gesamten Jahr untergeordnet. Die Anzahl der im Jahr 2017 bereits zweijährigen *T.-koksaghyz*-Pflanzen belief sich zum Vegetationsbeginn auf nahezu 1 000, zeigte allerdings bereits ab Mai einen signifikanten Rückgang, der monatlich etwa 300 Pflanzen umfasste und bereits Anfang September einen kompletten Zusammenbruch der ursprünglichen Populations zur Folge hatte.

Tab. 2: Sukzessionsfläche mit *Taraxacum koksaghyz* eingebettet in das Ackerland des JKI Quedlinburg; 9 Reihen *T. koksaghyz* im Abstand von 50 cm. – *T. koksaghyz* succession adjacent to fields of Julius Kühn Institute JKI Quedlinburg; nine rows with 50 cm between.

Aufnahme-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Datum	26.11.2016	1.4.2017	1.5.2017	3.6.2017	17.7.2017	12.8.2017	9.9.2017
Größe der Aufnahme­fläche [m²]	50	50	50	50	50	50	50
Gesamtdeckung [%]	60	50	75	95	95	95	90
Artenzahl	7	13	14	14	14	14	14
<i>Taraxacum koksaghyz</i>	3	3	3	2	+	+	r
Anzahl der Pflanzen	973	973	691	378	80	23	1
Stellarietea mediae							
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	.	r	r	+	.	.	.
<i>Cirsium arvense</i>	3	1	3	3	4	4	4
<i>Galium aparine</i>	r	r	+	1	.	.	r
<i>Geranium pusillum</i>	.	r	r	r	+	r	.
<i>Lamium amplexicaule</i>	.	r	r	r	.	.	r
<i>Senecio vulgaris</i>	2	2	3	1	+	+	r
<i>Solanum nigrum</i>	.	.	.	.	2	2	2
<i>Sonchus asper</i>	.	+	1	3	1	+	r
<i>Stellaria media</i>	.	r	r	.	r	.	r
<i>Thlaspi arvense</i>	r	r	+	+	.	.	.
<i>Urtica urens</i>	.	.	.	.	.	r	.
Sisymbrietea							
<i>Chenopodium album</i>	.	.	.	r	r	r	.
<i>Conyza canadensis</i>	.	.	r	+	1	1	1
<i>Crepis capillaris</i>	.	.	.	.	r	r	.
<i>Matricaria recutita</i>	r	+	+	2	+	.	r
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	.	.	.	.	.	r	+
Molinio-Arrhenatheretea							
<i>Plantago lanceolata</i>	.	.	.	.	r	r	r
<i>Taraxacum officinale</i>	r	1	1	1	1	1	+
<i>Acer pseudoplatanus</i> (juv.)	.	+	+	1	1	1	1



Abb. 7: Phänologie eines *Taraxacum-koksaghyz*-Versuchsfeldes eingebettet in das Ackerland des JKI Quedlinburg. Obere Reihe: 1.5.2017, mittlere Reihe: 3.6.2017, untere Reihe: 12.8.2017; I. Uhlemann. – Phenology of a *T. koksaghyz*-field within agricultural land of the Julius Kühn Institute Quedlinburg. Upper row: 1.5.2017, central row: 3.6.2017, lower row: 12.8.2017.



Abb. 8: *Taraxacum koksaghyz* (links, ausgesät) und *T. (sect. Taraxacum) collarispinulosum* (rechts, spontan) in einem verunkrauteten Versuchsbeet im JKI Quedlinburg, 25.4.2015; I. Uhlemann. – *T. koksaghyz* (left, seeded) and *T. (sect. Taraxacum) collarispinulosum* (right, spontaneous) in a weedy experimental bed at Julius Kühn Institute Quedlinburg.

Die beiden Versuche zum Konkurrenzverhalten des Russischen Löwenzahns in den Sukzessionsbeeten zeigten übereinstimmend dessen ausgesprochen geringe Wettbewerbsfähigkeit (Abb. 6, 7, 8). In beiden Fällen war ein rasanter, sukzessiver und kompletter Zusammenbruch der *T. koksaghyz*-Populationen innerhalb eines Jahres zu verzeichnen. Diese Ergebnisse werden dadurch bestätigt, dass sich trotz ausgedehnten Anbaus der Art in den 1940er- und 1950er-Jahren in Deutschland (Kap. 4) im floristischen Schrifttum keine Angaben zu Vorkommen außerhalb der Anbauflächen finden lassen.

6.2 Hybridisierungsvermögen mit autochthonen *Taraxacum*-Arten

Die meisten mitteleuropäischen *Taraxacum*-Arten sind Elemente polyploid-agamospermer, miteinander vernetzter Formenschwärme, die

als Sektionen (früher Aggregate) klassifiziert werden. In Deutschland sind gegenwärtig 412 beschriebene Arten bekannt, die sich auf 13 Sektionen und mindestens drei weitere Gruppen mit möglichem Sektionsrang verteilen (UHELMANN & al. 2016). Hybridisierungsereignisse sind an Reproduktionssysteme gebunden, von denen es bei *Taraxacum* insgesamt drei verschiedene in Deutschland gibt: 1. obligat agamospermes Reproduktionssystem (im gesamten Gebiet, in Nord- und Mitteldeutschland nur dieses); 2. fakultativ agamospermes Reproduktionssystem (Bayern) und 3. sexuelles Reproduktionssystem (Süd-Hessen, Süd-West-Bayern, Baden-Württemberg) (Nijls & al. 1990, UHELMANN 2001). Aus der Existenz bzw. Koexistenz dieser Reproduktionssysteme folgt gebietsspezifisch die Möglichkeit oder Unmöglichkeit bestimmter Hybridisierungswege. Grundsätzlich sind die meisten autochthonen *Taraxacum*-Arten pollenbildend und damit in der

Lage als potenzieller väterlicher Kreuzungspartner zu fungieren. *T. koksaghyz*, als sexuelle Art, kann in Gebieten mit rein agamospermen Arten nur die potenziell mütterliche Seite darstellen. In den übrigen Landesteilen sind auch reziproke Kreuzungsereignisse denkbar.

Im Hinblick auf das invasive Potenzial von *T. koksaghyz* müssen zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Erstens das Auskreuzen dieser Art als männlicher Kreuzungspartner in Populationen autochthoner Arten (im Wesentlichen *T. sect. Taraxacum* = *T. officinale*) in der Nähe der Anbauggebiete und die folgende Etablierung dieser (agamospermen?) Hybriden als Epökophyten. Diese Variante wäre nur im südlichen Deutschland möglich. Und zweitens das Einkreuzen pollenführender autochthoner *Taraxacum*-Arten in *T.-koksaghyz*-Felder und die anschließende Migration/Etablierung der Hybriden in die angrenzende Vegetation. Diese Möglichkeit existiert im gesamten Gebiet.

Insofern wurden in den Jahren 2014 bis 2018 an drei Versuchsflächen von *T. koksaghyz*: Julius-Kühn-Institut, Quedlinburg (Sachsen-Anhalt), Julius-Kühn-Institut, Groß Lüsewitz (Mecklenburg-Vorpommern), und bei Straubing (Bayern) jene an die *T.-koksaghyz*-Felder angrenzenden Flächen in einem Radius von ca. 200 m einer Inventarisierung der Gattung *Taraxacum* unterzogen, um gegebenenfalls solche Hybriden bzw. auch *T. koksaghyz* selbst aufzufinden. Diese Inventarisierungen erbrachten ausnahmslos Vertreter der *T. sect. Taraxacum* und *T. sect. Hamata*, aber keine Pflanzen mit Hybridcharakter oder *T. koksaghyz*. Folgende Arten (Herbarbelege in HAL, GLM) wurden nachgewiesen:

MTB 4232/2 – Sachsen-Anhalt, Quedlinburg, Gelände des Julius-Kühn-Instituts, 2014–2017, Artenzahl: 37: *T. acervatum*, *T. alatum*, *T. amaurolepis*, *T. amplum*, *T. atrox*, *T. baecchiiforme*, *T. caninum*, *T. capillosum*, *T. collarispinulosum*, *T. contractum*, *T. crassum*, *T. debrayi*, *T. deltoidifrons*, *T. elegantius*, *T. exsertiforme*, *T. fasciatum*, *T. gustavianum*, *T. hamatiforme*, *T. hempelianum*, *T. ingens*, *T. interveniens*, *T. leptoscelum*, *T. macranthoides*, *T. oblongatum*, *T. obtusifrons*, *T. ohlsenii*, *T. piceatum*, *T. porrigentilobatum*, *T. praecox*, *T. pseudohabile*, *T. pulchrifolium*, *T. purpureum*, *T. retroflexum*, *T. sertatum*, *T. subsaxenii*, *T. subxanthostigma*, *T. urbicola*.

MTB 1939/2 – Mecklenburg-Vorpommern, Groß Lüsewitz, Gelände des Julius-Kühn-Instituts, 2014–2015, Artenzahl: 21: *T. acervatum*, *T. acroglossum*, *T. alatum*, *T. amplum*, *T. caninum*, *T. contractum*, *T. cordatum*, *T. curtifrons*, *T. ekmanii*, *T. exsertiforme*, *T. hamatiforme*, *T. hamatum*, *T. hemicyclum*, *T. laticordatum*, *T. oxyrrhinum*, *T. praeradians*, *T. sellandii*, *T. sertatum*, *T. sublaeticolor*, *T. subpraticola*, *T. subundulatum*.

MTB 7141/1 – Bayern, nördlich Straubing, Donauinsel, 2015, Artenzahl: 4: *T. atrox*, *T. crassum*, *T. oblongatum*, *T. pulchrifolium*.

Um das Hybridisierungsvermögen besser beurteilen zu können, wurden 2015 zusätzlich Kreuzungsversuche mit Handbestäubung durchgeführt. 18 Pflanzen eines ausgewählten *T.-koksaghyz*-Klons (diploid, sexuell) fungierten als genetische Mutter und wurden mit 8 verschiedenen triploiden, agamospermen Vertretern der *T. sect. T. Taraxacum* (*T. acervatum*, *T. contractum*, *T. crassum*, *T. deltoidifrons*, *T. elegantius*, *T. oblongatum*, *T. pseudohabile*, *T. urbicola*) kontrolliert handbestäubt (Pollen-Donor = genetischer Vater), wobei pro Art zwei Kreuzungen vorgenommen wurden. Keine der durchgeführten Kreuzungen führte zu F1-Hybriden. Allerdings ergaben die anschließenden Aussaaten 46 Pflanzen, die morphologisch identisch mit *T. koksaghyz* waren und sich vermutlich auf einen partiellen Zusammenbruch der Selbstinkompatibilität zurückführen lassen (Mentorpollen-Effekt, Tas & van Dijk 1999).

Im Jahr 2016 fand ein weiterer Hybridisierungsversuch statt. Dabei wurden Pflanzen der bereits im Vorjahr als mögliche Väter genutzten Arten mit Pflanzen des genannten *T.-koksaghyz*-Klons als Mütter gemeinsam in Gazeelten zur Blüte gebracht. Zur Bestäubung wurden Goldfliegen (*Lucilia sericata*) eingesetzt. Dieser Versuch erbrachte keinerlei Samenanatz auf den *T.-koksaghyz*-Müttern.

Das Negativ-Ergebnis in Bezug auf F1-Hybriden stimmt mit den Kreuzungsexperimenten überein, die von ČERNÝ & al. (2010) durchgeführt wurden und nur sehr wenige F1-Hybriden erbrachten, was jene Autoren auf den geringen Prozentsatz an haploiden Pollen (ca. 1 %) zurückführen, der bei irregulärer Meiose triploider agamospermer Taraxaca entsteht. Vergleichbare negative Resultate bei der Kombination



Abb. 9: *Taraxacum brevicorniculatum* als Durchwuchs in einem Kerbelfeld bei Sossau nordwestlich von Straubing nach einer vorjährigen Vorfrucht von *T. koksaghyz* mit geringen Verunreinigungen ($< 0,001\%$ Vegetationsdeckung) durch *T. brevicorniculatum*; 18.5.2015, I. Uhlemann. – *T. brevicorniculatum* in a field of *Anthriscus cerefolium* at Sossau northwest of Straubing (Bavaria); in 2014 here culture of *T. koksaghyz* with a minimal contamination ($< 0,001\%$ vegetation cover) of *T. brevicorniculatum*.

triploider agamospermer mit diploiden sexuellen Taraxaca erhielten bereits früher PODDUBNAJA-ARNOLDI (1939 a, b), JOSEFSSON (1952) sowie FÜRNKRANZ (1960).

6.3 *Taraxacum koksaghyz* als Unkraut in anderen Kulturpflanzenbeständen

Ein weiteres Indiz für die geringe Konkurrenzfähigkeit von *T. koksaghyz* ist sein extrem seltenes Auftreten als Durchwuchs aus versehentlich nicht geernteten Wurzeln eines vorjährigen Anbaus in anderen Kulturpflanzenbeständen („Kulturpflanze“ als Unkraut), wie dies z. B. von RAUBER (1984) für *Hordeum vulgare* im Feldanbau von Raps erwähnt wird. Nur einmal wurde im Zuge der Untersuchungen ein solches Verhalten von sehr wenigen Pflanzen des *T. koksaghyz* auf einem Versuchsstandort bei Sossau

nordwestlich Straubing (Bayern) im Mai 2015 in einem Kerbelfeld (*Anthriscus cerefolium*) beobachtet. Ebenfalls konnte dort der Durchwuchs von *T. brevicorniculatum* beobachtet werden, das als Begleitart im natürlichen Verbreitungsgebiet und in einigen Saatgutpartien von *T. koksaghyz* vorkommt (siehe Kap. 4 & Abb. 9).

7. Ausblick

Innerhalb der Gattung *Taraxacum* darf *T. koksaghyz* ohne Zweifel als die Art mit dem umfangreichsten Schrifttum bezeichnet werden. Dies verwundert nicht angesichts der Tatsache, dass es sich abgesehen von diversen Vertretern der Sektion *Taraxacum*, die zur Salatproduktion verwendet werden, wie z. B. *T. officinale* ‚Riesentreib‘ und des purpurblättrigen *T. rubifolium* von den Färöer Inseln, das gelegentlich

als Zierpflanze verwendet wird, um die einzige Kulturpflanze der Gattung handelt. Viele dieser Arbeiten konzentrieren sich auf den Anbau von *T. koksaghyz* und behandeln agronomische und züchterische Aspekte. Im Kontext der Wiedereinführung dieser (potenziellen) Kulturpflanze in Deutschland gilt es zudem das Risiko für die autochthone Vegetation in Form des Auskreuzungs- und Invasionsvermögens zu beurteilen, was in dieser Arbeit in Experimenten zum Konkurrenzverhalten, aber auch durch die Untersuchung der an die *T.-koksaghyz*-Felder angrenzenden Vegetation vorgenommen wurde. Zudem wird *T. koksaghyz* nicht als Bestandteil der Flora Deutschlands geführt (BUTTLER & HAND 2008) und in keiner deutschen Flora aufgeführt, was nach ca. zwei Jahrzehnten des Anbaus dieser Art (1940er–50er-Jahre) ein ebenso gewichtiges Argument für ein geringes oder sogar fehlendes Invasionsvermögen ist.

Natürlich bleiben weiterhin Fragen offen. Wie würde sich *T. koksaghyz* im Feldanbau in Süddeutschland verhalten, wo sexuelle und fakultativ agamosperme *Taraxacum*-Arten vorkommen? Gäbe es in diesen Regionen Hybridisierungen mit anschließender Etablierung der Hybriden, wie dies von LAFFALDANO & al. (2018) in den USA beobachtet wurde? Wie groß wäre das Invasionsvermögen von züchterisch hergestellten oder natürlichen Hybriden zwischen *T. koksaghyz* und Vertretern der *Taraxacum* sect. *Taraxacum* sowie dem auch noch gegenwärtig als gelegentliche Saatgutverunreinigung vorkommenden *T. brevicorniculatum*?

Bis diese Fragen zufriedenstellend geklärt sind, sollte der Anbau von *T. koksaghyz* auf Norddeutschland – einer Region mit obligat agamospermen, autochthonen *Taraxaca* (UHLEMANN 2001) – beschränkt bleiben.

8. Danksagung und Förderhinweis

Die dieser Publikation zugrunde liegenden Forschungsvorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 0315971B und 31B0059B und des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung unter dem Förderkennzeichen 22009116 gefördert. Wir danken Dr. Fred Eickmeyer für die Bereitstellung des Saatgutes und ihm sowie Dr. Brigitte Ruge-Wehling und Dr. Helge Flüß für den Zugang zu

den Versuchsflächen und Mitwirkung bei der Arterfassung. Dr. Jan Kirschner (Tschechische Republik, Průhonice) danken wir für wertvolle Hinweise zur Anbaugeschichte und Literatur von *T. koksaghyz*.

9. Literatur

- ANONYMUS 1941: Anbau von Kautschukpflanzen in der UdSSR. – Chem. Industr., Nachr.-Ausgabe 64: 373.
- BAKER, H. G. 1965: Characteristics and modes of origin of weeds. – p. 147–172. In: BAKER, H. G. & STEBBINS G. L. (ed.), The genetics of colonizing species. – New York: Academic Press.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. – Berlin, Wien, New York: Springer.
- BUTTLER, K. P. & HAND, R. 2008: Liste der Gefäßpflanzen Deutschlands. – Kochia, Beiheft 1.
- ČERNÝ, T., KIRSCHNER, J. & ŠTĚPÁNEK, J. 2010: Pathways towards the creation of an agamospermous hybrid dandelion rich in rubber. – Presentation abstracts of Agropolis International Symposium: The future of natural rubber, 14.–15. October 2010, Montpellier, France.
- CORNISH, C. 2017: Alternative Natural Rubber Crops: Why should we care? – Technol. Innov. 18: 245–256.
- DEN NIJS, J. C. M., KIRSCHNER, J., ŠTĚPÁNEK, J. & VAN DER HULST, A. 1990: Distribution of diploid sexual plants of *Taraxacum* sect. *Ruderalia* in East-Central Europe, with special reference to Czechoslovakia. – Pl. Syst. Evol. 170: 71–84.
- EGGERT, M., SCHIEMANN, J. & THIELE, K. 2018: Yield performance of Russian dandelion transplants (*Taraxacum koksaghyz* L. RODIN) in flat bed and ridge cultivation with different planting densities. – Eur. J. Agron. 93: 126–134.
- EVANS, H. C. 2000: Invasive neotropical pathogens of tree crops. South American Leaf Blight of rubber. p. 84–91. In: WATLING, R., FRANKLAND, J., AINSWORTH, M. & ROBINSON, C. (ed.), British Mycological Society Symposium. Tropical Mycology: vol 2: Micromycetes. – Wallingford, CABI Publishing.

- FÜRNKRANZ, D. 1960: Cytogenetische Untersuchungen an *Taraxacum* im Raume von Wien. – Österr. Bot. Z. 107: 310–350.
- HAMMER, K. 1984: Das Domestikationssyndrom. – Kulturpflanze 32: 11–34.
- HEIM, S. 2003: Kalorien, Kautschuk, Karrieren. Pflanzenzüchtung und landwirtschaftliche Forschung in Kaiser-Wilhelm-Instituten, 1933–1945. – Göttingen: Wallstein.
- HELLIER, B. C. 2011: Collecting in Central Asia and the Caucasus: U. S. National Plant Germplasm System Plant Explorations. – Hort. Sci. 46: 1438–1439.
- HORA JÚNIOR, B. T. DA; MACEDO, D. M. DE; BARRETO, R. W.; EVANS, H. C.; MATTOS, C. R. R.; MAFFIA, L. A. & MIZUBUTI, E. S. G. 2014: Erasing the past: a new identity for the Damoclean pathogen causing South American leaf blight of rubber. – PLoS ONE 9: e104750.
- IAFFALDANO, B., CARDINA, J. & CORNISH, K. 2018: Hybridization potential between the rubber dandelion *Taraxacum kok-saghyz* and common dandelion *Taraxacum officinale*. – Ecosphere 9(2): e02115.
- JOSEFSSON, A. 1952: Breeding experiments with rubber dandelion *Taraxacum kok-saghyz* RODIN. – Sveriges Utsädesför. Tidskr. 63: 293–385.
- KIRSCHNER, J. & ŠTĚPÁNEK, J. 1997: A nomenclatural checklist of supraspecific names in *Taraxacum*. – Taxon 46: 87–98.
- & — 2004: New sections in *Taraxacum*. – Folia Geobot. Phytotax. 39: 259–274.
- & — 2008: The most common dandelions in Middle Asia: The problem of *Taraxacum* sect. *Macrocornuta*, *T.* sect. *Ceratoidea* sect. *nova*, and the identity of *T. halophilum*. – Phytomorphology 48: 61–78.
- & — 2011: Typification of *Leontodon taraxacum* L. (\equiv *Taraxacum officinale* F.H. Wigg.) and the generic name *Taraxacum*: A review and a new typification proposal. – Taxon 60: 216–220.
- , —, ČERNÝ, T., DE HEER, P. & VAN DIJK, P. J. 2013: Available *ex situ* germplasm of the potential rubber crop *Taraxacum koksaghyz* belongs to a poor rubber producer, *T. brevicorniculatum* (*Compositae-Crepidinae*). – Genet. Resour. Crop Evol. 60: 455–471.
- KOCHENENKO, L. 1933: Semennoi fond koksaghyza [Samenvorräte von *T. koksaghyz*]. – Sov. Kauchuk 3: 11–14.
- KOROLEVA, V. A. 1940a: Novye vidy oduvanchika iz Tian-Shana [Neue Löwenzähne aus dem Tian-Shan]. – Bot. Mater. Gerb. Bot. Inst. Akad. Nauk SSSR 8: 91–98.
- 1940b: Biologicheskoe osobennosti koksaghyza i zasoryayushchikh ego plantacii nekauchukonosnykh oduvanchikov [Spezielle biologische Merkmale von *T. koksaghyz* und anderen Löwenzähnen ohne Kautschuk im Anbau]. – Vestn. Soc. Rastenievodstva 1: 12–31.
- KROTKOV, G. A. 1945: A review of literature on *Taraxacum kok-saghyz*. – Bot. Rev. 11: 417–461.
- KREUZBERGER, M., HAHN, T., ZIBEK, S., SCHIE-MANN, J. & THIELE, K. 2016: Seasonal pattern of biomass and rubber and inulin of wild Russian dandelion (*Taraxacum koksaghyz* L. Rodin) under experimental field conditions. – Eur. J. Agron. 80: 66–77.
- MEDUCKI, S. 2002: Agrarwissenschaftliche Forschung in Polen während der deutschen Okkupation. – p. 233–249. In: HEIM, S. (ed.), Autarkie und Ostexpansion. – Göttingen: Wallstein.
- MOOIBROEK, H. & BEILEN, J. VAN 2010: EU-PEARLS: EU-based production and exploitation of alternative rubber and latex sources. – Presentation abstracts of Agropolis International Symposium: The future of natural rubber, 14.–15. October 2010, Montpellier, France.
- & CORNISH, K. 2000: Alternative sources of natural rubber. – Appl. Microbiol. Biotechnol. 53: 355–365.
- MORGENSTERN, C. & TOBLER, F. 1948: Zur wissenschaftlichen und praktischen Kenntnis der Kautschukpflanze *Taraxacum kok-saghyz* Rod. – Planta 36: 188–198.
- NICHIPOROVICH, A. A. 1935: Kornevye kauchukonosy SSSR i ikh ispol'zovanie [Root rubber-bearing plants of USSR and their exploitation]. – Moscow: ONTI.
- PODDUBNAJA-ARNOLDI, V. 1939a: The development of pollen and embryosac in interspecific hybrids of *Taraxacum*. – Acad. Sci. USSR 24: 374–377.
- 1939b: Embryogenesis in remote hybridization in the genus *Taraxacum*. – Acad. Sci. USSR 24: 382–385.
- RAMIREZ-CADAVID, D. A., CORNISH, K. & MICHEL, F. C. JR. 2017: *Taraxacum koksaghyz* (TK): compositional analysis of a feedstock

- for natural rubber and other bioproducts. – *Industr. Crops Prod.* 107: 624–640.
- RAUBER, R. 1984: Woher kommt die Unkrautgerste? – *DLG-Mitt.* 5: 244–246.
- RODIN, L. E. 1933: Nowy wid oduwantschika [Eine neue Löwenzahnart]. – *Acta Inst. Bot. Acad. Sci. URSS*, Ser. 1: 187–189.
- SHINGAREV, M. I. 1934: V pokhod za semenami kauchukonosov [Seed campaign of the rubber bearing plants]. – Moskau: Goskhimtekhnizdat.
- SUOMELA, H. 1950: On the possibilities of growing *Taraxacum koksaghyz* in Finland. – *Valt. Maatalous Koetoiminnan Julk.* 132.
- TAS, I. C. & VAN DIJK, P. 1999: Crosses between sexual and apomictic dandelions (*Taraxacum*). I. Inheritance of apomixis. – *Heredity* 83: 707–714.
- ULMANN, M. 1951: Wertvolle Kautschukpflanzen des gemäßigten Klimas dargestellt aufgrund Sowjetischer Forschungsarbeiten. – Berlin: Akademie.
- UHLEMANN, I. 2001: Distribution of reproductive systems and taxonomical concepts in the genus *Taraxacum* F.H. Wigg. (*Asteraceae*, *Lactuceae*) in Germany. – *Feddes Repert.* 112: 15–35.
- , KIRSCHNER, J. & ŠTĚPÁNEK, J. 2016. *Taraxacum* F.H. Wigg. – p 133–184. In: MÜLLER, F., RITZ, C. M., WELK, E. & WESCHE, K. (ed.), *Rothmaler Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Ergänzungsband*, ed. 11. – Heidelberg: Springer Spektrum.
- VOLIS, S., UTEULIN, K. & MILLS, D. 2009: Russian dandelion (*Taraxacum kok-saghyz*): one more example of overcollecting in the past? – *J. Appl. Bot. Food Qual.* 83: 60–63.
- VAN BEILEN, J. B. & POIRIER, Y. 2007a: Guayule and Russian dandelion as alternative sources of natural rubber. – *Crit. Rev. Biotechnol.* 27: 217–231.
- & — 2007b: Establishment of new crops for the production of natural rubber. – *Trends Biotechnol.* 25: 522–529.
- VAN DIJK, P., KIRSCHNER, J., ŠTĚPÁNEK, J., BAITULIN, I. O. & ČERNÝ, T. 2010: *Taraxacum koksaghyz* RODIN definitely is not an example of overcollecting in the past. A reply to S. VOLIS et al. 2009. – *J. Appl. Bot. Food Qual.* 83: 217–219.
- WHALEY, W. G. & BOWEN, J. S. 1947: Russian dandelion (*kok-saghyz*): an emergency source of natural rubber. – Washington, D.C.: US Department of Agriculture.
- WIELAND, T. 2002: Die politischen Aufgaben der deutschen Pflanzenzüchtung. – p. 35–56. In: HEIM, S. (ed.), *Autarkie und Ostexpansion*. – Göttingen: Wallstein.