

Veränderungen von Höhenverbreitung und Abundanz von *Somatochlora alpestris* und *Somatochlora arctica* im Harz unter dem Einfluss des Klimawandels (Odonata: Corduliidae)

Kathrin Baumann

ALNUS GbR, Lärchenweg 15a, D-38667 Bad Harzburg, alnus-k.baumann@t-online.de

Summary

Shifts of the altitudinal range and abundance of *Somatochlora alpestris* and *Somatochlora arctica* in the Harz within the impact of climate change (Odonata: Corduliidae) – From 2000–2015, the abundances of *Somatochlora alpestris* and *Somatochlora arctica* have been researched on the bogs of the Harz Mountains based on collected exuviae. In raised bogs below 850 m a.s.l. the number of *S. alpestris* has noticeably decreased recently, whereas in the highest locations of about 1,000 m a.s.l. their abundance has increased. On the whole, the proportion of the abundances of *S. alpestris* and *S. arctica* has shifted in favour of *S. arctica* in the raised bogs. In slope located soligenous bogs (which are microclimatically cooler) the abundance of *S. alpestris* has not decreased, not even in the lowest elevations of 650–700 m a.s.l. Meanwhile *S. arctica* has spread its area into the highest located bogs, though its frequency there is still smaller than that of *S. alpestris*. Most probably these processes are caused by the global climate change. Limiting factors for the cryophilic *S. alpestris* are assumed to be too high temperatures or too much fluctuation of the temperatures in the pools (increased larval mortality) and perhaps too high air temperatures (inhibition of the adults' activity). In the case of progressing global warming, very unfavourable conditions for *S. alpestris* in the raised bogs in the Harz Mountains must be forecast. By contrast, the less cold resistant *S. arctica* profits by global warming and will predictably become the dominant dragonfly in the raised bogs at all elevations in the medium term.

Zusammenfassung

Die Abundanzen (im Sinne von Häufigkeiten) von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in Mooren des Harzes wurden auf Basis von Exuviensammlungen von 2000–2015 untersucht. In den Hochmooren unterhalb von 850 m ü. NHN hat *S. alpestris* in jüngster Zeit deutlich abgenommen, wogegen ihre Abundanzen in den am höchsten gelegenen Hochmooren um 1.000 m ü. NHN angestiegen sind. Das Verhältnis der Abundanzen von *S. alpestris* und *S. arctica* hat sich in den Hochmooren insgesamt deutlich zu Gunsten von *S. arctica* verschoben. In den kleinklimatisch kühleren soligenen Hangmooren sind die Abundanzen von *S. alpestris* nicht zurückgegangen, selbst nicht in den untersten Höhenlagen

auf 650–700 m ü. NHN. *Somatochlora arctica* hat ihr Areal mittlerweile in die am höchsten gelegenen Moore erweitert, hat hier aber noch geringere Abundanzen als *S. alpestris*. Ursächlich für diese Veränderungen ist sehr wahrscheinlich der globale Klimawandel. Als begrenzende Faktoren für die kälteliebende *S. alpestris* werden primär zu hohe bzw. zu stark schwankende Temperaturen in den Schlenken (erhöhte Larvenmortalität) und eventuell auch zu hohe Lufttemperaturen (Hemmung der Aktivität der Imagines) vermutet. Die Prognose für die Vorkommen von *S. alpestris* in den Hochmooren des Harzes bei fortschreitender globaler Erwärmung ist ungünstig. Die weniger kältetolerante *S. arctica* profitiert dagegen von der Erwärmung und wird mittelfristig voraussichtlich in Hochmooren aller Höhenlagen die dominierende Libellenart sein.

Einleitung

Der moorreiche Hochharz beherbergt große, bislang als stabil eingestufte Bestände von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* (BAUMANN 2001, 2014a). Die in den Harzer Mooren am weitesten verbreitete Libelle ist die kälteliebende *S. alpestris*; sie kommt hier in allen vermoorten Höhenlagen zwischen 615 und 1035 m ü. NHN vor, und ihre Abundanz scheint nur vom jeweiligen Gewässerangebot abhängig zu sein (BAUMANN 2014b). Mit etwas geringerer Stetigkeit ist die weniger kältetolerante *S. arctica* präsent, die oberhalb von 900 m ü. NHN deutlich zurücktritt (BAUMANN 2014b).

Im Jahr 2013 wurden in einigen Hochmooren unterhalb von 850 m ü. NHN allerdings ungewöhnlich wenige Exuvien von *S. alpestris* und gleichzeitig in allen Höhenlagen außerordentlich viele Exuvien von *S. arctica* gefunden. Dies ließ den Verdacht aufkommen, dass sich klimatische Veränderungen mittlerweile erkennbar auf die Verbreitungsmuster der beiden *Somatochlora*-Arten auswirken könnten (vgl. DE KNIJF et al. 2011; BAUMANN 2014a). Der Gedanke lag auch deshalb nahe, da die Vegetation einiger Hochmoore des Harzes in jüngerer Zeit Veränderungen zeigt, die auf eine Austrocknung der Moore hindeuten und am ehesten mit erhöhten Temperaturen und abnehmenden Sommerniederschlägen im Zuge des globalen Klimawandels begründet sein dürften (BAUMANN 2009, 2015). Um der Frage nachzugehen, ob die auffälligen Exuvienzahlen des Jahres 2013 lediglich auf natürlichen Schwankungen beruhen oder ob eine gerichtete Veränderung der Abundanzen von *S. alpestris* und/oder *S. arctica* im Gange ist, wurde die Exuviensuche in den Jahren 2014 und 2015 intensiviert. Da seit dem Jahr 2000 mehr oder weniger systematische Exuviensammlungen erfolgt sind, soll nun analysiert werden, ob und inwieweit sich die Abundanzen beider Arten im Verlauf von 16 Jahren verändert haben. Konkret wird der Frage nachgegangen, ob die kälteliebende *S. alpestris* in tieferen Lagen zurückgeht und die weniger kältetolerante *S. arctica* in höheren Lagen zunimmt.

Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen erfolgten im Harz, dem nördlichsten zentraleuropäischen Mittelgebirge, das eine Höhe von 1.141 m ü. NHN erreicht. Der Harz ist von einem

so rauen Klima geprägt, dass bereits in einer Höhe von ca. 1.100 m ü. NHN die natürliche Waldgrenze erreicht wird (HERTEL & SCHÖLING 2011); dabei handelt es sich um die einzige klimatische Waldgrenze innerhalb des deutschen Mittelgebirgsraums. Zudem empfängt der Harz große Niederschlagsmengen, die sich am Westabfall des Hochharzes auf durchschnittlich rund 1.400–1.900 mm/Jahr summieren (Steigungsregen). Diese Nässe hat entscheidend zur Entstehung von zahlreichen Mooren beigetragen. Alle bedeutenderen Moore des Harzes befinden sich innerhalb des Nationalparks Harz, der grenzübergreifend in den Bundesländern Niedersachsen und Sachsen-Anhalt eingerichtet worden ist. Gegenstand der Untersuchung sind insgesamt 40 Moore mit einer waldfreien Gesamtfläche von etwa 270 ha.

Die Moore lassen sich in Hochmoore und soligene Hangmoore gliedern. Da im Harz größere Senken oder wenigstens Verebnungen als „klassische“ Geländeformen für die Hochmoorentwicklung fehlen, stellen hier rein ombrogene Hochmoore allerdings die Ausnahme dar. Vielmehr erfolgte die Moorbildung überwiegend an von Wasser überrieselten flachen Hängen: Hier entstanden zunächst vollständig von Mineralbodenwasser beeinflusste soligene Hangmoore mit geringen Torfmächtigkeiten. Nur in Bereichen mit langsamem Abfluss und geringer erodierender Kraft des Wassers konnten im Verlauf der Jahrtausende so mächtige Torfe heranwachsen, dass der Kontakt zum Mineralbodenwasser zumindest teilflächig verloren ging – es entstanden soli-ombrogene Hanghochmoore. An stärker geneigten Hängen verharrt die Moorentwicklung dagegen im Stadium des soligenen Hangmoores. Deutlich seltener ging die Moorbildung von Bergkämmen aus und setzte sich dann hangabwärts fort, so dass soli-ombrogene Kammhochmoore entstanden.

Bei der Mehrzahl der Hochmoore überwiegt heute der ombrogene Charakter. Sie sind in großen Teilen von einer typischen Hochmoorvegetation bewachsen und weisen ausgedehnte Bulten-Schlenken-Komplexe, aber reliefbedingt auch natürlich Abflussrinnen (Rüllen) auf (Abb. 1). Die nassen waldfreien Zentren der soligenen Hangmoore werden dagegen überwiegend von Wollgras-Torfmoos-Rasen eingenommen, die mehr oder weniger deutlich von Wasser durchrieselt werden. Schlenken finden sich hier aufgrund des Reliefs nur vereinzelt (Abb. 2). Weitergehende Informationen zu Vegetation und Gewässer dieser Moore finden sich in BAUMANN (2009, 2014a).

Methoden

Exuvienaufsammlung

Grundlage für diese Arbeit sind Exuvienaufsammlungen in 17 Hochmooren auf 730–1.000 m ü. NHN und in 23 soligenen Hangmooren auf 655–1.065 m ü. NHN in den Jahren von 2000 bis 2015. Alle untersuchten Moore waren in dieser Zeit intakt oder höchstens kleinflächig anthropogen verändert, und ihr Gewässerspektrum bestand in erster Linie aus natürlichen Schlenken (Hochmoore) bzw. natür-



Abbildung 1: Typisches soli-ombrogenes Hochmoor des Harzes. Bodemoor, 17.08.2006.
– Figure 1. Typical raised bog in the Harz Mountains. Bodemoor, 17-viii-2006. Photo: KB



Abbildung 2: Typisches soligenes Hangmoor des Harzes. Moor am Brocken-Südhang, 28.08.2014.
– Figure 2. Typical slope located soligenous bog in the Harz Mountains. Bog on the southern slope of the Mount Brocken, 28-viii-2014. Photo: KB

Tabelle 1: Anzahl der je Jahr untersuchten Moore und der Untersuchungstage in Hochmooren und soligenen Hangmooren. – Table 1. Number of the examined bogs per year and number of the research days in raised bogs and slope located soligenous bogs.

Jahr	Hochmoore		Soligene Hangmoore	
	Anzahl Moore	Anzahl Untersuchungstage	Anzahl Moore	Anzahl Untersuchungstage
2000	1	10	0	0
2001	1	1	1	2
2002	1	1	0	0
2003	2	2	1	1
2004	1	1	2	1
2005	6	11	3	3
2006	8	14	0	0
2007	5	8	0	0
2008	5	5	0	0
2009	3	3	5	6
2010	0	0	1	3
2011	4	4	2	3
2012	7	13	9	20
2013	11	15	7	8
2014	10	23	5	19
2015	13	26	11	14
Summe		137		80

lichen Quellschlenken, Quellbächen und überrieselten Torfmoosdecken (soligene Hangmoore). Stärker gestörte, wiedervernässte Moore mit einem hohen Anteil an Sekundärgewässern wurden in die vorliegende Arbeit nicht einbezogen.

Die Zahl der in den einzelnen Jahren untersuchten Moore schwankte ebenso wie die jeweilige Untersuchungsintensität recht stark; teils handelte es sich um gezielte aufwändige Exuvienaufsammlungen an zahlreichen Gewässern zu idealen Zeitpunkten (im Mai/Juni zur jeweiligen Hauptemergenz der beiden Arten), teils wurden Exuvien im Rahmen anderer Kartierungen zu weniger günstigen Zeitpunkten (Juli/August) und an weniger Gewässern gesucht. Einzelne Moore wurden nur ein einziges Mal, andere in unterschiedlichen Jahren jeweils mehrmals aufgesucht. Die mit Abstand intensivsten Untersuchungen fanden in den Jahren 2013–2015 statt. In Tabelle 1 ist für jedes Jahr aufgelistet, in wie vielen Mooren und an wie vielen Tagen Exuvien gesammelt wurden. Aufgrund der großen Anzahl von insgesamt 217 Untersuchungstagen ist sichergestellt, dass die beiden Arten trotz ihrer voneinander abweichenden Schlupf-Phänologie in vergleichbarer Weise erfasst worden sind.

Auswertung

Acht der 17 Hochmoore wurden in unterschiedlichen Jahren in jeweils ähnlicher Weise (Zeitpunkt, Anzahl der Untersuchungstage) auf Exuvien beider Arten hin untersucht. Bei *S. alpestris* können direkte Vergleiche der absoluten Exuvienzahlen in unterschiedlichen Jahre erfolgen. Begünstigt wird dies dadurch, dass die Art in den Hochmooren überwiegend in der Vegetation knapp außerhalb der Schlenken schlüpft und ihre gegenüber Regen und Wind recht widerstandsfähigen Exuvien deshalb selten ins Wasser fallen, sondern meist noch viele Wochen nach dem Schlupf in der Vegetation auffindbar bleiben. *Somatochlora arctica* schlüpft zwar an den gleichen bzw. vergleichbaren Stellen, doch ihre Exuvien sind zarter und deutlich weniger widerstandsfähig; entsprechende Jahresvergleiche für diese Art wurden deshalb nicht vorgenommen.

Bei dem für alle 17 Hochmoore erhobenen Gesamtdatensatz verbietet sich aufgrund der uneinheitlichen Methodik eine jährweise Auswertung für beide Arten. Es wurden daher unter Berücksichtigung der jeweiligen Datenmengen zwei Klassen gebildet, innerhalb derer die methodischen Auswirkungen hinreichend nivelliert werden. Die beiden Klassen umfassen die Jahre 2000–2010 (822 Exuvien) und 2011–2015 (3.723 Exuvien). Die Häufigkeiten von *S. alpestris* und *S. arctica* wurden den verschiedenen Höhenstufen in 50 m-Intervallen zugeordnet und als Anteil (in Prozent) angegeben. Entsprechend wurde auch der Gesamtdatensatz der soligenen Hangmoore ausgewertet, der mit 104 Exuvien (2000–2010) bzw. 576 Exuvien (2011–2015) deutlich kleiner ist.

Im Folgenden wird der Begriff „Abundanz“ durchgängig im Sinne von „Häufigkeit“ verwendet.

Ergebnisse

Veränderung der Abundanzen von *Somatochlora alpestris* in acht Hochmooren

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Exuvienaufsammlungen von *S. alpestris* in acht Hochmooren, die in jeweils unterschiedlichen Jahren unter ähnlichen Bedingungen erfolgt sind. Im sich über 770–800 m ü. NHN erstreckenden, südexponierten Sonnenberger Moor waren die Exuvienzahlen in den drei Untersuchungsjahren 2007 (19), 2013 (20) und 2015 (10) ähnlich gering, d.h. bereits seit mindestens acht Jahren reproduzierte sich die Art nur in geringer Zahl. Jeweils 25–50 % der Exuvien wurden in derselben Schlenke gefunden, einer typischen kleinen, dauerhaft wasserführenden Erosionsschlenke. Im Radauer Born, Großen Roten Bruch und Odersprungmoor, drei um 800 m ü. NHN gelegenen Hochmooren ohne stärkere Südexposition, war die Zahl der gefundenen Exuvien über 10–15 Jahre kontinuierlich auf zuletzt jeweils 14–17 gesunken. Besonders deutlich war der Rückgang im Odersprungmoor, wo im Jahr 2000 noch 95 Exuvien, 2013 und 2015 aber nur 18 bzw. 17 Exuvien gefunden wurden.

Tabelle 2: Anzahl der in acht Hochmooren in unterschiedlichen Jahren gesammelten Exuvien von *Somatochlora alpestris*. Berücksichtigt sind je Moor nur die Jahre, in denen die Exuviensuche unter ähnlichen Bedingungen (Zeitpunkt, Anzahl der Untersuchungstage) erfolgte. Die Angaben zur Höhenlage und Größe der Moore beziehen sich auf die waldfreien Hochmoore im weiteren Sinn (vgl. BAUMANN 2009). – Table 2. Number of collected exuviae of *Somatochlora alpestris* in eight raised bogs in different years. Considered in each bog are only years with similar conditions with regard to moment and number of days of collecting exuviae. The information regarding elevation and size of each bog relates to the parts without woods (see BAUMANN 2009). -- keine Untersuchung unter den o.g. Bedingungen, no research on named conditions.

Moor	Höhe [m ü. NHN]	Größe [ha]	2000	2005	2006	2007	2008	2012	2013	2014	2015
Sonnenberger Moor	770–800	43,1	--	--	--	19	--	--	20	--	10
Radauer Born	795–810	18,8	--	--	57	--	--	--	--	36	14
Großes Rotes Bruch	795–820	16,3	--	33	--	--	--	--	28	--	17
Odersprungmoor	800–820	16,7	95	--	31	--	--	--	18	--	17
Brockenfeldmoor	865–895	43,2	--	--	--	--	--	--	--	64	229
Bruchbergmoor	880–925	38,0	--	--	--	--	--	--	157	66	292
Moor Rabenklippen	970–975	5,4	--	--	--	--	4	11	37	32	60
Goethemoor	995–1000	2,5	--	--	--	--	--	--	65	34	79

Aus den vier höher gelegenen Hochmooren liegt für das lediglich sechs geeignete Larvalgewässer aufweisende Moor an den Rabenklippen (970–975 m ü. NHN) eine Zeitreihe von fünf Jahren vor. Hier zeigte sich tendenziell eine deutliche Zunahme der *alpestris*-Exuvien von 4 (2008) über 11 (2012), 37 (2013), 32 (2014) bis zuletzt 60 (2015). Bei den drei übrigen Mooren lassen sich nur die letzten zwei bzw. drei Jahre vergleichen: Im Brockenfeldmoor (865–895 m ü. NHN) wichen die Zahlen in den Jahren 2014 (64) und 2015 (229) erheblich voneinander ab. Im Jahr 2014 wurden allein 41 Exuvien (64 % aller *alpestris*-Exuvien) in einem einzigen Gewässer gefunden, das sich vom üblichen Schlenkentyp auffallend unterschied (langgestreckte, sehr schmale rüllenartige Schlenke, die nahezu permanent von Wasser durchflossen wurde, vgl. Abb. 5 links); im Jahr 2013 fanden sich hier 39 Exuvien (66 %), im Jahr 2015 17 Exuvien (7 %). Im Bruchbergmoor (880–925 m ü. NHN) schwankten die Exuvienzahlen von 66 (2014) über 157 (2013) bis 292 (2015). In allen Jahren wurde die Mehrzahl der Exuvien in zeitweilig bis dauerhaft durchflossenen Schlenken gefunden, die sich entweder in natürlichen Abflussrinnen oder in seit langem verfallenen Gräben entwickelt hatten (Abb. 5 rechts). In dem am höchsten gelegenen Goethemoor (995–1.000 m ü. NHN) zeigten sich ebenfalls schwankende Exuvienzahlen zwischen 34 (2014) und 79 (2015). Die Exuvien fanden sich nur in den relativ nassesten Schlenken dieses stark zur Austrocknung neigenden Moores; durchflossene Schlenken fehlen hier jedoch.

Tabelle 3: Anzahl und Anteil der Exuvien von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in Hochmooren in den unterschiedlichen Höhenstufen im Vergleich der Zeiträume von 2000–2010 und 2011–2015. Angegeben ist zudem die Abnahme bzw. Zunahme des Anteils der jeweiligen Art in Prozent. – Table 3. Number and proportion of exuviae of *Somatochlora alpestris* and *S. arctica* in raised bogs in different elevations comparing the periods 2000–2010 and 2011–2015. Also given are increase or decrease of the proportion of each species (per cent). **AZ** Anzahl, number, **AT** Anteil, proportion.

Höhe [m ü. NHN]	<i>Somatochlora alpestris</i>					<i>Somatochlora arctica</i>				
	2000–2010		2011–2015		Abnahme [%]	2000–2010		2011–2015		Zunahme [%]
AZ	AT [%]	AZ	AT [%]	AZ		AT [%]	AZ	AT [%]		
700–749	15	33	0	0	100	31	67	9	100	149
750–799	75	48	59	12	75	82	52	432	88	169
800–849	261	53	202	15	72	227	47	1.116	85	181
850–899	41	69	352	44	36	18	31	444	56	181
900–949	53	93	515	71	24	4	7	211	29	414
950–1.005	14	93	331	86	8	1	7	52	14	200
Summe	459	56	1.459	39		363	44	2.264	61	

Veränderung des Anteils der Exuvien von von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in 17 Hochmooren

Im Zeitraum von 2000–2010 wurden in den Hochmooren insgesamt 459 Exuvien von *S. alpestris* und 363 von *S. arctica* gesammelt, was einem Verhältnis von 56:44 entspricht (Tab. 3). Von 2011–2015 fanden sich 1.459 *alpestris*- und 2.264 *arctica*-Exuvien, d.h. das Verhältnis beider Arten hatte sich auf 39:61 deutlich zu Gunsten von *S. arctica* verschoben.

Bei Betrachtung der unterschiedlichen Höhenstufen zeigte sich, dass der Anteil der *alpestris*-Exuvien 2011–2015 überall ab- und der der *arctica*-Exuvien dementsprechend überall zugenommen hatte (Tab. 3). Die Abnahme des Anteils der *alpestris*-Exuvien fiel jedoch mit zunehmender Höhenlage kontinuierlich geringer aus: Auf 700–749 m ü. NHN wurde gar keine *alpestris*-Exuvie mehr gefunden, auf 750–799 m ü. NHN betrug die Abnahme des *alpestris*-Anteils 75 %, auf 850–899 m ü. NHN 36 % und auf 950–999 m ü. NHN nur noch 8 %.

In den Hochmooren oberhalb von 900 m ü. NN war die Zahl der Exuvien beider Arten deutlich angestiegen: Bei *S. alpestris* erhöhte sich die Zahl von 2000–2010 auf 2011–2015 um den Faktor 13 (von 67 auf 846 Exuvien), bei *S. arctica* ergab sich eine Zunahme um den Faktor 53 (von fünf auf 263 Exuvien).

Abbildung 3 visualisiert die Daten aus Tabelle 3. Von 2000–2010 war nur auf 700–749 m ü. NHN der Anteil der *alpestris*-Exuvien deutlich geringer als der der *arctica*-Exuvien. Von 750–849 m ü. NHN, d.h. in der Höhenlage mit den meisten Hochmooren, war der Anteil beider Arten fast gleich groß. Von 850–899 m ü. NHN

überwog *S. alpestris* mit einem Anteil von 69 %, darüber mit 93 %. Im Zeitraum von 2011–2015 dagegen fehlte *S. alpestris* unterhalb von 750 m ü. NHN und spielte bis 849 m ü. NHN im Vergleich zu *S. arctica* nur eine sehr geringe Rolle (12–15 %). Von 850–899 m ü. NHN betrug der *alpestris*-Anteil 44 %. Erst oberhalb davon überwog *S. alpestris* mit Anteilen von 71 % (900–949 m ü. NHN) bzw. 86 % (950–999 m ü. NHN).

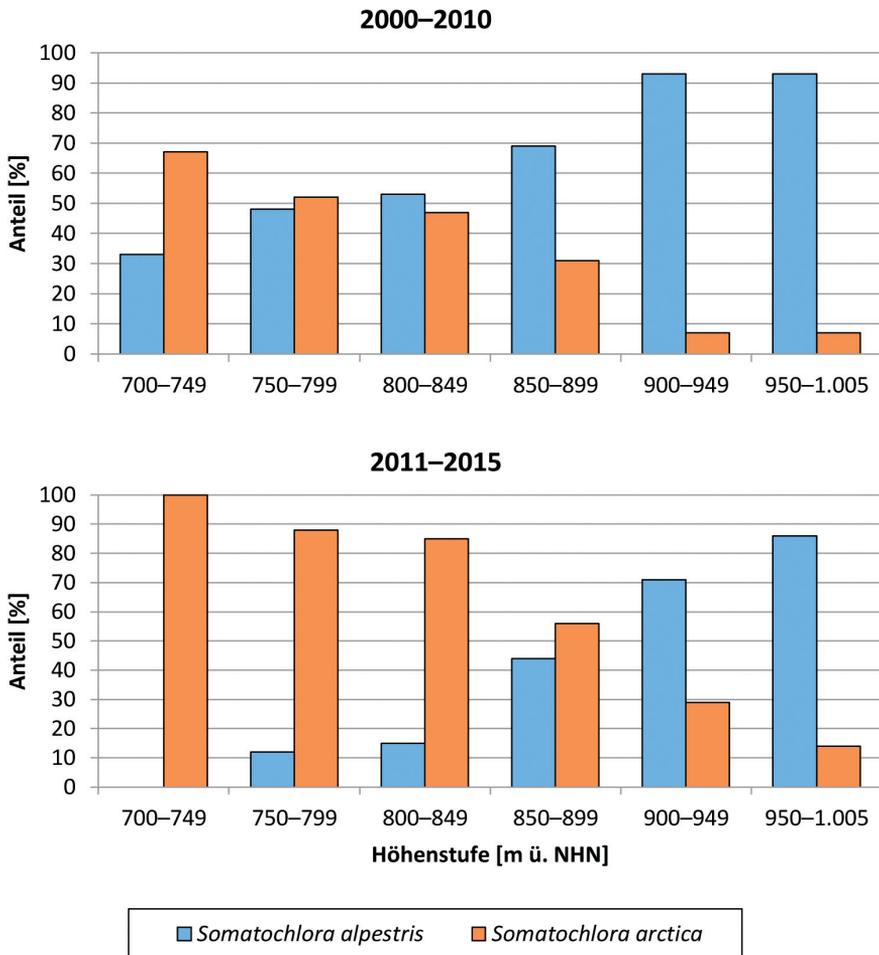


Abbildung 3: Anteil der Exuvien von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in Hochmooren in den unterschiedlichen Höhenstufen im Vergleich der Zeiträume 2000–2010 und 2011–2015. – Figure 3. Proportion of exuviae of *Somatochlora alpestris* and *S. arctica* in raised bogs in different elevations comparing the periods 2000–2010 and 2011–2015.

Tabelle 4: Anzahl und Anteil der Exuvien von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in soligenen Hangmooren in den unterschiedlichen Höhenstufen im Vergleich der Zeiträume von 2000–2010 und 2011–2015. – Table 4. Number and proportion of exuviae of *Somatochlora alpestris* and *S. arctica* in slope located soligenious bogs in different elevations comparing the periods 2000–2010 and 2011–2015. **AZ** Anzahl, number, **AT** Anteil, proportion.

Höhe [m ü. NHN]	<i>Somatochlora alpestris</i>				<i>Somatochlora arctica</i>			
	2000–2010		2011–2015		2000–2010		2011–2015	
	AZ	AT [%]	AZ	AT [%]	AZ	AT [%]	AZ	AT [%]
650–699	19	40	223	60	29	60	147	40
700–749	0	0	0	0	0	0	0	0
750–799	1	50	85	69	1	50	39	31
800–849	2	100	28	90	0	0	3	10
850–899	8	100	0	0	0	0	0	0
900–949	12	100	14	100	0	0	0	0
950–999	0	0	2	100	0	0	0	0
1.000–1.050	32	100	30	86	0	0	5	14
Summe	74	71	382	66	30	29	194	34

Soligene Hangmoore

In den soligenen Hangmooren wurden im Zeitraum von 2000–2010 insgesamt 74 Exuvien von *S. alpestris* und 30 Exuvien von *S. arctica* gesammelt, was einem Verhältnis von 71:29 entspricht. Für den Zeitraum von 2011 bis 2015 ergab sich ein Verhältnis von 66:34 (382 *alpestris*- und 194 *arctica*-Exuvien). Die Verteilung auf die unterschiedlichen Höhenstufen zeigt ein uneinheitliches Bild (Tab. 4): Von 650–699 m ü. NHN, 750–799 m ü. NHN und 950–999 m ü. NHN hatte der *alpestris*-Anteil zugenommen. Oberhalb von 800 m ü. NHN wurden erstmals im Zeitraum von 2011–2015 Exuvien von *S. arctica* gefunden.

Diskussion

Abnahme der Schlupfabundanz von *Somatochlora alpestris* in Hochmooren um 800 m ü. NHN

Die in drei der vier untersuchten Hochmoore um 800 m ü. NHN festgestellte Abnahme der Schlupfabundanz im Zeitraum von 2000–2015 ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit einem realen Rückgang von *S. alpestris* in dieser Höhenlage gleichzusetzen. Dafür spricht u.a. die jeweilige Kontinuität der abnehmenden Exuvienzahlen. Bei diesen drei Mooren handelt es sich um für den Harz sehr typi-

sche Hochmoore mit nur geringer Neigung (Radauer Born, Odersprungmoor, Großes Rotes Bruch). Das vierte entsprechend untersuchte Hochmoor (Sonnenberger Moor), in dem die Exuvienzahlen auch schon zu Beginn der Untersuchungen niedrig waren, ist dagegen ein in weiten Teilen recht deutlich süd- bis südwestexponiertes Moor, in dem es bei sonnigem Wetter spürbar wärmer ist als in den anderen Mooren. Dieses Moor ist von auf den globalen Klimawandel hinweisenden Vegetationsveränderungen stärker betroffen als jedes andere Hochmoor des Harzes (BAUMANN 2009, 2015). Insofern erscheint es folgerichtig, dass die kälteliebende *S. alpestris* hier schon seit längerem nur (noch) ein kleines Vorkommen hat.

In allen vier über einen längeren Zeitraum untersuchten Hochmooren um 800 m ü. NHN wurden 2015 insgesamt lediglich 10–17 Exuvien gefunden. Betrachtet man die Größe dieser Moore und ihren Reichtum an Schlenken, sind diese Zahlen ausgesprochen gering; es wurden jeweils weit weniger als 10 % der potenziell geeigneten Schlenken tatsächlich zur Reproduktion genutzt. Es erscheint äußerst unwahrscheinlich, dass die zuletzt so geringen Exuvienzahlen eine Folge zufälliger Populationsschwankungen oder zufälliger Witterungsereignisse sind; in nur 100–200 m höher gelegenen Mooren wurden deutlich mehr Exuvien gefunden (s.u.), obwohl diese grundsätzlich denselben Witterungsbedingungen ausgesetzt waren. Bei einer Art mit drei- bis vierjähriger Entwicklungszeit (STERNBERG 2000a) ist die Analyse eventueller witterungsbedingter „Störfälle“ ohnehin schwierig. Mögliche sich auf die Schlupfabundanz negativ auswirkende Witterungsbedingungen sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die in den Jahren 2013–2015 geschlüpften Imagines gehen vermutlich auf in den Jahren 2009–2012 geschlüpfte Elterngenerationen zurück. Betrachtet man die Temperaturen und Niederschläge in diesen Jahren (Tab. 6), zeigt sich ein sehr heterogenes Bild mit einem besonders trockenwarmen Frühjahr (2011), einem sehr kalten Frühjahr (2010), einem trockenwarmen Sommer (2010) sowie einem ungewöhnlich kalten Juni (2009, 2012) und Juli (2011). Der Vergleich dieser Daten mit denen der Jahre 1996/1997 und 2002/2003 – als damals vermutlich die Elterngenerationen der besonders guten *alpestris*-Jahre 2000 und 2006 geschlüpft waren – ergibt kein klares Bild. Auch diese vier Jahre waren sehr unterschiedlich: Es gab zwei extrem nasse (1997, 2002) und einen trockenen Sommer (2003). Ungewöhnlich warm war zweimal der Mai (2002, 2003), einmal der Juni (2003) und dreimal der August (1997, 2002, 2003), ungewöhnlich kalt jeweils der Mai und der Juli 1996. Aus all diesen Daten lässt sich keine witterungsbedingte Ursache für „gute“ oder „schlechte“ *alpestris*-Jahre ableiten.

KARLE-FENDT & STADELMANN (2013) postulieren für ein Moor im Allgäu, dass überdurchschnittlich hohe Temperaturen im April und Mai bei stärker an Hochmoore gebundenen Arten zu auffällig niedrigen Schlupfzahlen führen. Dieser Zusammenhang trifft für *S. alpestris* im Harz eindeutig nicht zu: Die „schlechten“ *alpestris*-Jahre 2013–2015 hatten in den zugehörigen Monaten fünfmal unterdurchschnittliche und nur einmal überdurchschnittliche Temperaturen. Die besonders exuvienreichen Jahre hatten dagegen ein außergewöhnlich warmes Frühjahr (2000) bzw. einen kühlen April und einen durchschnittlich warmen Mai (2006).

Tabelle 5: Mögliche negative Auswirkungen extremer Witterungsbedingungen auf die Schlupfabundanzen von *Somatochlora alpestris* (ap) und *S. arctica* (ac). – Table 5. Possible sorts of negative effects of extreme weather conditions on the emergence abundance of *Somatochlora alpestris* (ap) and *S. arctica* (ac).

Jahr des Schlupfes der Elterngeneration	
Kälte/Nässe	<ul style="list-style-type: none"> nur wenige Imagines erreichen die Geschlechtsreife (ap, ac) Paarungs- und Eiablage-Aktivitäten sind eingeschränkt (ap, ac)
Nässe	<ul style="list-style-type: none"> starke Niederschläge während der Eiablagezeit lassen eine Differenzierung zwischen geeigneten und ungeeigneten (temporär wasserführenden) Schlenken nicht zu (ap, ac)
Trockenheit	<ul style="list-style-type: none"> starke Trockenheit während der Eiablagezeit schränkt die Zahl der zur Eiablage genutzten Gewässer ein (ap, ac)
Hitze	<ul style="list-style-type: none"> Paarungs- und Eiablage-Aktivitäten sind eingeschränkt (STERNBERG 2000a) (ap)
Zeitraum der Embryonal- und Larvalentwicklung	
Hitze/ Trockenheit	<ul style="list-style-type: none"> sehr lang anhaltende Austrocknung der Schlenken führt zur Larvenmortalität (ap, ac)
Hitze	<ul style="list-style-type: none"> hohe Wassertemperaturen erhöhen die Larvenmortalität (STERNBERG 1990) (ap)
Temperatur- schwankungen	<ul style="list-style-type: none"> stark schwankende Wassertemperaturen erhöhen die Larvenmortalität (STERNBERG 1990) (ap)

Damit sind die Abundanzen von *S. alpestris* in Hochmooren auf rund 800 m ü. NHN mit großer Sicherheit stark rückläufig, ohne dass dies in einzelnen Jahren mit ungünstigen Witterungsverhältnissen begründet wäre. Vielmehr handelt es sich um einen fortschreitenden Rückgangsprozess, der mit klimatischen Veränderungen zusammen hängen dürfte.

Zunahme der Schlupfabundanzen von *Somatochlora alpestris* in Hochmooren um 1.000 m ü. NHN

In den Hochmooren um 1.000 m ü. NHN scheinen die Schlupfabundanzen von *S. alpestris* kontinuierlich anzusteigen. Auf Basis eigener Untersuchungen wurde dies im auf 970–975 m ü. NHN gelegenen Moor an den Rabenklippen für den Zeitraum von 2008–2015 festgestellt. Besonders bemerkenswert ist der Fund von 60 Exuvien im Jahr 2015, weil dieses Kammhochmoor ausgesprochen arm an Schlenken ist, die für eine erfolgreiche Reproduktion von *S. alpestris* hinreichend lange Wasser führen. Im gesamten Moor waren nur sechs potenzielle Larvalgewässer vorhanden, alle wurden erfolgreich genutzt. Zudem dürfte die Schlupfabundanz auch im Goethemoor (995–1.000 m ü. NHN) zugenommen haben: Die eigenen Untersuchungen decken zwar nur die Jahre 2013–2015 ab und ergaben 34–79

Tabelle 6: Mittlere Lufttemperaturen 2 m über Boden und Niederschlagssummen auf dem Brocken (1.141 m ü. NHN), jeweils bezogen auf das gesamte Jahr und die Monate April bis August (berechnet aus Basisdaten des Deutschen Wetterdienstes). – Table 6. Average air temperatures 2 m above ground and precipitation sum on the Mount Brocken (1,141 m a.s.l.), each related to the whole year and April to August. T Temperatur [°C], temperature [°C], N Niederschlag [mm], precipitation [mm].

	Jahr		April		Mai		Juni		Juli		August	
	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
2015	4,42	1687	2,13	99	5,43	64	8,64	93	12,47	185	14,64	107
2014	5,15	1656	5,50	109	5,82	171	9,35	138	13,80	210	9,41	128
2013	3,03	1657	1,32	69	5,69	286	9,22	75	13,62	69	12,12	79
2012	3,54	1577	1,45	68	8,08	89	8,18	134	10,81	166	12,46	99
2011	4,87	1398	6,41	46	7,90	50	10,08	117	9,65	146	11,51	153
2010	2,44	1731	2,64	37	3,69	179	10,33	46	14,89	49	10,52	278
2009	3,79	1696	7,22	30	7,28	136	7,83	107	11,54	166	13,02	53
2008	3,89	1913	1,03	150	8,91	38	10,66	100	11,94	178	10,88	126
2007	4,30	2725	5,69	23	8,15	317	11,20	171	10,67	219	11,06	244
2006	4,56	1556	1,35	115	6,63	170	10,48	66	16,73	86	9,06	183
2005	3,68	1571	3,63	71	6,29	128	9,69	114	11,69	131	9,71	96
2004	3,35	1741	3,33	73	4,92	106	8,44	110	10,16	157	12,55	196
2003	4,47	1318	1,83	86	7,80	63	12,74	71	12,54	134	14,50	47
2002	4,28	2210	1,37	145	8,03	131	10,40	111	11,44	341	14,07	185
2001	3,51	2093	0,64	110	8,03	65	7,60	173	12,18	166	12,53	128
2000	4,25	1853	4,35	76	8,80	98	10,24	102	8,35	221	11,76	109
1999	3,89	1715	3,00	90	7,14	63	8,36	121	12,72	93	10,88	133
1998	3,31	2342	2,69	141	8,09	120	9,74	140	9,33	197	10,09	230
1997	3,69	1945	-0,59	134	6,14	180	9,14	145	10,92	332	14,59	106
1996	2,22	1621	3,08	50	4,71	169	8,98	88	9,29	140	11,49	170
1995	3,71	1993	2,01	148	5,95	137	7,70	146	14,54	83	13,03	106
Mittel	3,83	1809	2,86	89	6,83	131	9,48	113	11,87	165	11,90	141

Exuvien, doch ELLWANGER (1996) fand mit deutlich höherer Untersuchungsintensität im Jahr 1993 lediglich sieben und im Jahr 1994 – bei 12 Kartierdurchgängen – 25 Exuvien. Auch dieses Moor ist vergleichsweise arm an Reproduktionsgewässern; es wurden zwar nicht an allen potenziell geeigneten Schlenken Exuvien gefunden, aber ihr Anteil ist mit rund 80 % ebenfalls sehr hoch.

Es ist daher festzustellen, dass *S. alpestris* in jüngster Zeit in Moore höherer Lagen (> 950 m ü. NHN) ausweicht und hier nahezu jedes hinreichend wasserführende Gewässer erfolgreich zur Reproduktion nutzt.

Neubesiedlung von Hochmooren um 1.000 m ü. NHN durch *Somatochlora arctica*

Aus früheren Untersuchungen ist aus Harzer Hochmooren oberhalb von 950 m ü. NHN lediglich ein einziger Reproduktionsnachweis von *Somatochlora arctica* bekannt: ELLWANGER (1996) fand im Jahr 1994 eine einzelne Exuvie im Goethemoor (995–1.000 m ü. NHN). Die ersten Exuvienfunde in weiteren ähnlich hoch gelegenen Mooren gelangen im Rahmen eigener Untersuchungen erst in den Jahren 2008 (Moor an den Rabenklippen, 970–975 m ü. NHN) und 2014 (Hangmoor am Königsberg, 1.005 m ü. NHN). Die Schlupfabundanzen waren hier überwiegend sehr gering; lediglich im offenbar zuerst besiedelten Goethemoor wurden zuletzt immerhin 24 Exuvien gefunden. Bezeichnenderweise befindet sich dieses Moor auf dem relativ windgeschützten Sattel zwischen Brocken und Königsberg, es dürfte also gegenüber den anderen Mooren dieser Höhenlage klimatisch begünstigt sein. Diese Beobachtungen belegen eindeutig, dass *S. arctica* ihr Verbreitungsgebiet in größere Höhenlagen erweitert.

Höhenabhängige Veränderung der Schlupfabundanzen von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in Hochmooren

Somatochlora alpestris gilt als die am weitesten verbreitete Art in den intakten Hochmooren des Harzes, dicht gefolgt von *S. arctica* (BAUMANN 2014b). Die aktuelle Untersuchung widerspricht dem zwar (noch?) nicht, zeigt aber eine deutliche Zunahme der Schlupfabundanz von *S. arctica* im Vergleich zu der von *S. alpestris*. Die relative Zunahme von *S. arctica* steigt mit der Höhenlage an. Oberhalb von 900 m ü. NHN ist diese eindeutig in der Ausbreitung von *S. arctica* und nicht im Rückgang von *S. alpestris* begründet. Unterhalb von 850 m ü. NHN dagegen ist ein realer Rückgang der Schlupfabundanzen von *S. alpestris* zu verzeichnen; ob sich hier gleichzeitig die Abundanzen von *S. arctica* erhöhen, lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten nicht sicher beantworten, erscheint aber wahrscheinlich. In den am tiefsten gelegenen Hochmooren des Harzes (730–770 m ü. NHN) wurden zuletzt nur noch einzelne Exuvien von *S. alpestris*, aber zahlreiche von *S. arctica* gefunden.

Vergleich der Situation in den Hochmooren mit der in den soligenen Hangmooren

Die Daten aus diesen beiden Moortypen sind nur eingeschränkt vergleichbar, weil es in den soligenen Hangmooren deutlich weniger potenzielle Reproduktionsgewässer gibt und zudem die Auffindbarkeit der Exuvien erheblich erschwert ist: Durch die hohe Wasserdynamik werden die Exuvien in durchflossenen Gewässern nach Regenfällen leicht weggespült. Dennoch ist mit ziemlich großer Sicherheit zu sagen, dass der in den Hochmooren insgesamt nachgewiesene deutliche Rückgang von *S. alpestris* auf die soligenen Hangmoore nicht zutrifft. Die hier über alle Höhenlagen ermittelte Abnahme des Anteils der *alpestris*-Exuvien von 71 % auf 66 % ist bei einer Differenz von 5 % geringer als in den Hochmooren

(12 %). Zudem wurde in den soligenen Hangmooren – in völligem Gegensatz zu den Hochmooren – in der untersten Höhenstufe eine Verschiebung des *alpestris*:*arctica*-Verhältnisses zu Gunsten von *S. alpestris* festgestellt. Aus den o.g. Gründen darf dies nicht überinterpretiert werden, umgekehrt finden sich jedoch keinerlei Indizien dafür, dass die Schlupfabundanzen von *S. alpestris* in den soligenen Hangmooren tieferer Lagen rückläufig sind.

Dass *S. alpestris* in den soligenen Hangmooren augenscheinlich weder insgesamt noch in den tieferen Lagen abnimmt, könnte in den kleinklimatischen Verhältnissen begründet sein. Die stets von Quellwasser durchflossenen bzw. überrieselten, in Wald eingebetteten kleinen Moore erwärmen sich unter Sonneneinstrahlung weniger als die Hochmoore. Zudem weisen die Reproduktionsgewässer der soligenen Hangmoore deutliche geringere Temperaturschwankungen auf.

Dennoch erweitert *S. arctica* in den soligenen Hangmooren (wie auch in den Hochmooren) ihre Verbreitung in größere Höhenlagen. Der erste Reproduktionsnachweis oberhalb von 900 m ü. NHN gelang im Jahr 2013 (Moor am Brocken-Nordhang, 1.065 m ü. NHN), anschließend 2015 im Heinrichshöhemoor (1.035 m ü. NHN) und im Moor am Brocken-Südhang (1.015 m ü. NHN). ELLWANGER (1996) beobachtete allerdings bereits im Jahr 1994 eine Eiablage auf 950 m ü. NHN im Ilse-Quellmoor, wo bis heute kein Exuvienfund gelang.

Mögliche Wirkfaktoren des Klimawandels auf das Verbreitungsmuster von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica*

Die Abundanzverschiebungen zwischen der kälteliebenden *S. alpestris* und der weniger kältetoleranten *S. arctica* sind mit größter Wahrscheinlichkeit auf den globalen Klimawandel zurückzuführen. Die Jahresmitteltemperatur auf der höchsten Erhebung des Harzes, dem 1.141 m hohen Brocken, ist von 2,9°C (1961–1990) auf 3,5°C (1981–2010) angestiegen (Quelle: Deutscher Wetterdienst); im Zeitraum von 2006–2015 lag die Jahresmitteltemperatur bei 4,0°C und von 2011–2015 sogar bei 4,2°C (Tab. 7). Zudem nahmen die Niederschläge im Sommerhalbjahr ab und im Winterhalbjahr zu. Im Zeitraum von 2010–2015 fielen auf dem Brocken von Mai bis August 519 mm Niederschlag jährlich, von 2005 bis 2015 war die Menge mit 540 mm und von 1995–2004 mit 561 mm größer (Berechnung der Werte aus Tab. 6). Entsprechend veränderte Abflussmengen in Bächen wurden bereits festgestellt (LANGE 2013). So dürften zwei unterschiedliche Faktoren auf die beiden *Somatochlora*-Arten einwirken – die Erhöhung der Temperatur und die verminderte Wassermenge in den Mooren.

Eine mögliche Austrocknung der Larvalgewässer scheint jedoch nicht das entscheidende Kriterium für den Rückgang von *S. alpestris* zu sein. Zwar könnten die mehr oder weniger unveränderten Abundanzen in den stets gut wasserversorgten soligenen Hangmooren in diese Richtung deuten, doch es spricht auch einiges dagegen: *S. alpestris* erträgt ebenso wie *S. arctica* die vorübergehende Austrocknung ihrer Larvalgewässer (z.B. STERNBERG 2000a, b). Nach eigenen Beobachtungen verhalten sich die Arten im Harz diesbezüglich ähnlich: Exuvien wurden stets nur an Schlenken gefunden, die selbst in trockenen Sommern

nicht länger als 2–3 Wochen ununterbrochen ohne offenes Wasser waren und in Trockenphasen wenigstens noch feuchten Torfschlamm oder feuchte Torfmoose aufwiesen. Diese Kriterien erfüllen auch gegenwärtig noch zahllose Schlenken. Dennoch wurden zuletzt in Hochmooren unterhalb von 850 m ü. NHN nur in einem Bruchteil dieser Schlenken *alpestris*-Exuvien gefunden, wogegen *S. arctica* zahlreich präsent war. In dieser Höhenlage waren zuletzt selbst in den einst für *S. alpestris* besonders typischen, kaum bewachsenen und vergleichsweise steil-ufrigen Schlenken (Abb. 4) kaum noch Exuvien dieser Art zu finden, obgleich diese Gewässer nicht in schädlichem Maß ausgetrocknet waren. War es in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts in einigen Jahren noch möglich, in den Hochmooren auf rund 800 m ü. NHN an derartigen Schlenken *alpestris*-Exuvien einfach nur „einzusammeln“, so mussten sie zuletzt mit deutlich geringerem Erfolg mühsam gesucht werden. Gleichzeitig sind heute aber an einem ähnlichen Schlenkentyp in Hochmooren auf rund 1.000 m ü. NHN mit großer Wahrscheinlichkeit *alpestris*-Exuvien zu finden.

Konkurrenz mit *S. arctica* um die Reproduktionsgewässer scheint höchstens ein untergeordnetes Kriterium für den Rückgang von *S. alpestris* in tieferen Lagen zu sein, denn an den o.g. ehemals besonders typischen *alpestris*-Schlenken finden sich oft gar keine Exuvien mehr; *S. arctica* besiedelt schwerpunktmäßig kleinere und insbesondere schmalere oder auch stärker verwachsene Schlenken.



Abbildung 4: (Einst) typische, nicht durchflossene Schlenke mit recht steilen Ufern und weitgehend vegetationsfreier Wasserfläche. In diesem Schlenkentyp wurden zuletzt unterhalb von 850 m ü. NHN nur noch selten, um 1.000 m ü. NHN dagegen regelmäßig Exuvien von *S. alpestris* gefunden. Großes Rotes Bruch, 21.06.2005. – Figure 4. (Former) typical non-flooded pool with steep banks and predominantly without vegetation. In this kind of pool *alpestris*-exuviae have been found rarely below 850 m recently, but regularly around 1,000 m. Großes Rotes Bruch, 21-vi-2005. Photo: KB

Sehr auffällig ist der jüngste Befund aus noch recht gut von *S. alpestris* besiedelten Mooren mittlerer Höhenlagen: Auffallend viele Exuvien wurden in Gewässern gefunden, welche die längste Zeit des Jahres mehr oder weniger deutlich durchflossen waren, z.B. in natürlichen schlenkenartigen Rüllen oder auch in schlenkenartigen Gewässern innerhalb historischer, mittlerweile rüllenartig entwickelter Entwässerungsgräben (Abb. 5). Derartige Gewässertypen sind in den typischen, wenig geneigten Hochmooren unterhalb von 850 m ü. NHN kaum zu finden und fehlen insbesondere in den drei genauer untersuchten Hochmooren mit stark rückläufigen Exuvienzahlen nahezu vollständig.

Laut STERNBERG (2000a) ist fließendes Wasser an sich für die Habitatwahl von *S. alpestris* ohne jede Bedeutung; vielmehr werden nach seiner Erfahrung aus den Mooren des Schwarzwalds Rüllen oft nur aufgrund des Fehlens anderer geeigneter Gewässer besiedelt. So stellt sich die Frage, ob die Befunde aus dem Harz mit einer Präferenz der Weibchen für den durchflossenen Gewässertyp gleichzusetzen sind oder ob die gehäuften Exuvienfunde eher dahingehend zu interpretieren



Abbildung 5: Neuerdings finden sich Exuvien von *Somatochlora alpestris* in Hochmooren unterhalb von 950 m ü. NHN schwerpunktmäßig in durchflossenen schlenkenartigen Gewässern wie in dieser sehr schmalen, unauffälligen Rülle (links, Brockenfeldmoor, 17.07.2013) oder in Schlenken in historischen Gräben, die längst verlandet sind, aber als „Sekundärrüllen“ immer noch durchflossen werden (rechts, Bruchbergmoor, 20.06.2013). – Figure 5. Recently exuviae of *Somatochlora alpestris* are found in raised bogs below 950 m mainly in natural small flooded pools like this inconspicuous narrow pool (left side, Brockenfeldmoor, 17-vii-2013) or in old silted-up ditches with small flooded hollows (right side, Bruchbergmoor, 20-vi-2013). Photos: KB

sind, dass die Larvalentwicklung hier erfolgreicher verläuft als in den „normalen“, nicht durchflossenen Schlenken. Letzteres erscheint wahrscheinlicher, ist aber in den untersuchten Mooren vermutlich nicht in einem letalen Wassermangel in den „normalen“ Schlenken begründet (s.o.). Denkbar ist allerdings, dass in den durchflossenen Schlenken bzw. rüllenartigen Gewässern die insgesamt niedrigeren Wassertemperaturen die Larvalentwicklung von *S. alpestris* begünstigen; das könnte auch den offenbar unveränderten Reproduktionserfolg der Art in soligenen Hangmooren erklären. STERNBERG (1990) stellte in Aufzuchtversuchen fest, dass junge *alpestris*-Larven weder anhaltend hohe Temperaturen noch Temperaturschwankungen vertragen und die geringsten Mortalitätsraten bei konstanten niedrigen bis mittleren Temperaturen (< 21°C) auftreten. Dies spricht dafür, dass der Reproduktionserfolg von *S. alpestris* in den durchflossenen schlenkenartigen Gewässern mit ihren niedrigeren und weniger stark schwankenden Temperaturen tatsächlich größer ist als in den „normalen“ Schlenken. Genau hier besteht der entscheidende Unterschied zu *S. arctica*, deren Exuvien im Harz auch in tieferen Lagen nicht gehäuft in durchflossenen Schlenken zu finden sind. Die Larven dieser Art tolerieren nach STERNBERG (1990) Temperaturschwankungen ausgezeichnet und haben bei höheren Temperaturen eine geringere Mortalität als die von *S. alpestris*. So ist es recht wahrscheinlich, dass im Zuge des Klimawandels die „normalen“ Schlenken in den Hochmooren tiefer und mittlerer Lagen ein der Larvalentwicklung von *S. alpestris* nicht mehr durchgängig zuträgliches Temperaturregime entwickelt haben.

Der Klimawandel könnte sich auch unmittelbar auf die Imagines von *S. alpestris* auswirken. STERNBERG (2000a) geht davon aus, dass den Imagines Regulationsmechanismen gegen zu hohe Temperaturen fehlen; wird es zu warm, geht ihre Aktivität zurück. Die schon seit längerem geringen *alpestris*-Schlupfabundanzen im südexponierten, besonders warmen Sonnenberger Moor könnten tatsächlich für eine Aktivitäts-Limitierung der Imagines sprechen. Auch die offenbar unveränderten Schlupfabundanzen in den kleinklimatisch kühleren soligenen Hangmooren könnten in diese Richtung deuten. Aus Beobachtungen von Imagines lässt sich hierzu allerdings nichts beitragen: Im Harz sind die Abundanzen fliegender Tiere in der Regel in allen Höhenlagen gering. Selbst bei vermeintlich gutem Flugwetter gelingen bei einem mehrstündigen Aufenthalt in einem Hochmoor manchmal nur einzelne Beobachtungen (sowohl von *S. alpestris* als auch von *S. arctica*); die Anzahl der Exuvien und der Imagines scheint in vielen Jahren nicht zusammenzupassen. Dies könnte auch auf eine hohe Mortalität der Imagines hindeuten.

Verbreitung von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* in Bezug auf die Jahresmitteltemperaturen

Sich auf die letzten Jahre beziehende Angaben zur Höhenverbreitung der beiden Arten sind bislang nicht publiziert. Grundsätzlich ist (bzw. war?) *S. alpestris* in Deutschland von 600–2.080 m ü. NHN verbreitet (BAUMANN & BROCKHAUS 2015), wogegen hier von *S. arctica* keine Nachweise oberhalb von 1.500 m ü. NHN bekannt sind (BAUMANN et al. 2015). Allerdings sagt die Höhenlage wenig über das jeweilige Klima aus; im Harz wird die natürliche Waldgrenze z.B. bereits bei rund

1.100 m ü. NHN erreicht (HERTEL & SCHÖLING 2011), in den deutschen Alpen liegt sie rund 700 m höher. Sinnvollerweise muss bei der Höhenverbreitung deshalb ein Bezug zur Jahresmitteltemperatur hergestellt werden.

Somatochlora alpestris besiedelt im Harz Höhenlagen mit einer Jahresmitteltemperatur (1981–2010) von ca. 4,2–6,3°C. Dies entspricht dem Verbreitungsgebiet der Moore und ist insofern nicht aussagekräftig. In Höhenlagen mit Jahresmitteltemperaturen über 5,7°C (2011–2015) bzw. 5,5°C (2006–2015) ist *S. alpestris* in Hochmooren stark rückläufig und besiedelte von 2013 bis 2015 nur noch einen Bruchteil der potenziell geeignet erscheinenden Schlenken. Bei Temperaturen unter 5,2°C (2011–2015) bzw. 5,0°C (2006–2015) reproduzierte sich *S. alpestris* dagegen im gleichen Zeitraum in nahezu allen potenziell geeignet erscheinenden Schlenken. Bezüge der Höhenverbreitung von *S. alpestris* zu Jahresmitteltemperaturen finden sich bei WILDERMUTH (2005a) für die Schweizer Alpen. Dort fehlt *S. alpestris* bei Jahresmitteltemperaturen über 7°C fast vollständig und ist bei 5–6°C selten. Ihren Verbreitungsschwerpunkt hat sie in den thermischen Höhenstufen mit Jahresmitteltemperaturen zwischen 0 und 4°C. Derart niedrige Temperaturen werden im Harz allerdings aktuell nicht einmal auf der höchsten Erhebung (1.141 m ü. NHN) erreicht (Tab. 7). Im Vergleich zur Schweiz befinden sich die *alpestris*-Vorkommen des Harzes durchweg im relativ schwach besiedelten Temperaturbereich und liegen damit offenbar oberhalb des klimatischen Optimums.

Somatochlora arctica hat im Harz ihren Schwerpunkt bei Jahresmitteltemperaturen (1981–2010) über ca. 4,8°C und nimmt bei ca. 4,2–4,8°C aktuell zu (in kälteren Höhenlagen fehlen geeignete Habitate). Bezogen auf die jüngste Zeit erfolgt die Zunahme in Höhenlagen mit Temperaturen von 4,9–5,5°C (2011–2015) bzw. 4,7–5,3°C (2006–2015). Nach WILDERMUTH (2005b) hat die Art ihren Schwerpunkt in der Schweiz bei 3–6°C, kommt aber auch noch bei 1–3°C vor; dabei ist nicht bekannt, ob hier regelmäßig eine Reproduktion erfolgt. Im Vergleich mit der Schweiz erscheint *S. arctica* im Harz tendenziell wärmebedürftiger.

Prognose für *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* im fortschreitenden Klimawandel

Der deutlichste Rückgang von *S. alpestris* ist in Hochmooren des Harzes unterhalb von 850 m ü. NHN zu verzeichnen, bei denen es sich durchweg um wenig geeignete Moore handelt. Dieser Rückgang ist insofern dramatisch, als sich in dieser Höhenlage die meisten Hochmoore befinden. Auf 850–950 m ü. NHN finden sich Hochmoore mit stärker geeigneten Partien, in denen das Gewässerangebot vielfältiger ist und die insbesondere auch durchflossene schlenkenartige Gewässer umfassen. In derartigen Gewässern wurden zuletzt vermehrt Exuvien gefunden. Es sieht so aus, als sei eine erfolgreiche Reproduktion in Hochmooren unterhalb von 950 m ü. NHN in durchflossenen Gewässern zunehmend wahrscheinlicher als in nicht durchflossenen Schlenken. In den am höchsten gelegenen Hochmooren auf 950–1.005 m ü. NHN erfolgt die Reproduktion dagegen noch in allen potenziell geeignet erscheinenden Schlenken. Der Typus der durchflossenen schlenkenartigen Gewässer fehlt in diesen Mooren.

Tabelle 7: Jahresmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe über Boden in verschiedenen Zeiträumen auf dem Brocken und in definierten tieferen Höhenlagen. Quelle für die Jahresmitteltemperatur auf dem Brocken von 1981–2010 ist der Deutsche Wetterdienst, alle übrigen Jahresmitteltemperaturen sind aus Basisdaten des Deutschen Wetterdienstes für die Wetterstationen auf dem Brocken und in Braunlage berechnet worden. – Table 7. Annual average air temperature 2 m above ground in different periods on the Mount Brocken and in different lower elevations. Source for the average air temperature 1981–2010 is the "Deutscher Wetterdienst". The average air temperatures for the remaining periods have been calculated with base data of the "Deutscher Wetterdienst" (meteorology stations on the Mount Brocken and in Braunlage).

	Jahresmittel der Lufttemperatur [°C]			
	1981–2010	1996–2015	2006–2015	2011–2015
Brocken (1.141 m ü. NHN)	3,5	3,8	4,0	4,2
Hochharz (800 m ü. NHN)	5,3	5,6	5,8	6,0
Hochharz (900 m ü. NHN)	4,8	5,1	5,3	5,5
Hochharz (1.000 m ü. NHN)	4,2	4,5	4,7	4,9

Sollte die Abhängigkeit von *S. alpestris* von durchflossenen Schlenken mit weiter ansteigenden Temperaturen zunehmen und sich schließlich auch auf diese Hochlagen-Moore erstrecken, wäre die Prognose für die Art äußerst ungünstig. Als Refugien könnten nur soligene Hangmoore dienen, in denen bislang in allen Höhenstufen keine Rückgangstendenzen festzustellen sind. Diese Moore sind allerdings vergleichsweise arm an Reproduktionsgewässern, so dass sich hier nur kleine Populationen erhalten könnten.

Deutlich günstiger ist die Prognose für *S. arctica*, die derzeit nirgends rückläufig zu sein scheint und sich ganz im Gegenteil oberhalb von 950 m ü. NHN ausbreitet. Es ist zu erwarten, dass *S. arctica* mittelfristig in sämtlichen Hochmooren des Harzes zur vorherrschenden Art wird. Eine Gefährdung ist auch bei weiter ansteigenden Temperaturen derzeit nicht erkennbar. Probleme für diese Art sind zu erwarten, wenn die Hochmoore künftig deutlich trockener werden sollten und die Reproduktion nur noch in einem Teil der aktuellen Larvalgewässer gelingt; ein langfristiges Verschwinden der Art aus den Hochmooren erscheint aber wenig wahrscheinlich. Die soligenen Hangmoore wird *S. arctica* künftig – wie bislang – gemeinsam mit *S. alpestris* besiedeln, doch ist zu erwarten, dass ihre Abundanzen oberhalb von 900 m ü. NHN zunehmen werden.

Dank

Großer Dank gebührt der Nationalparkverwaltung Harz dafür, dass sie mir für die umfangreichen Untersuchungen in den Mooren die entsprechenden Geneh-

migungen erteilt hat. Daniela Keller, Rüdiger Mauersberger und Hansruedi Wildermuth danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- BAUMANN K. (2001) Habitat und Vergesellschaftung von *Somatochlora alpestris* und *S. arctica* im Nationalpark Harz (Odonata: Corduliidae). *Libellula* 20: 47–67
- BAUMANN K. (2009) Entwicklung der Moorvegetation im Nationalpark Harz. *Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz* 4: 1–244
- BAUMANN K. (2014a) Die Libellenarten im Nationalpark Harz. In: Nationalparkverwaltung Harz (Ed.) Die Libellen des Nationalparks Harz. *Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz* 11: 7–135
- BAUMANN K. (2014b) Verbreitung und Einnischung der Libellen in den intakten Mooren des Nationalparks Harz. In: Nationalparkverwaltung Harz (Ed.) Die Libellen des Nationalparks Harz. *Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz* 11: 136–159
- BAUMANN K. (2015) Vegetations-Monitoring im Sonnenberger Moor, Odersprungmoor, Großen Roten Bruch und Rotenbeekbruch (Nationalpark Harz). Im Auftrag der Nationalparkverwaltung Harz, unveröffentlicht
- BAUMANN K. & T. BROCKHAUS (2015) *Somatochlora alpestris* (Sélys, 1840). Alpen-Smaragdlibelle. *Libellula Supplement* 14: 234–237
- BAUMANN K., T. BROCKHAUS, H.-J. CLAUSNITZER & J. OTT (2015) *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840). Arktische Smaragdlibelle. *Libellula Supplement* 14: 238–241
- DE KNIJF G., U. FLENER, C. VANAPPELGHEM, C.O. MANCI, V. KALKMAN & H. DEMOLDER (2011) The status of two boreo-alpine species, *Somatochlora alpestris* and *S. arctica*, in Romania and their vulnerability to the impact of climate change (Odonata: Corduliidae). *International Journal of Odonatology* 14: 111–126
- ELLWANGER G. (1996) Zur Ökologie von *Somatochlora alpestris* Sélys (Anisoptera: Corduliidae) am Brocken im Hochharz (Sachsen-Anhalt). *Libellula* 15: 101–129
- HERTEL D. & D. SCHÖLING (2011) Below-ground response of Norway spruce to climate conditions at Mt. Brocken (Germany) – A re-assessment of Central Europe's northernmost treeline. *Flora* 206: 127–135
- KARLE-FENDT A. & H. STADELMANN (2013) Entwicklung der Libellenfauna eines regenerierenden Hochmoores nach Renaturierungsmaßnahmen (Odonata). *Libellula* 32: 1–30
- LANGE A. (2013) Hydraulische Untersuchungen im Westharz mit Blick auf ein sich änderndes Klima. In: Nationalparkverwaltung Harz (Ed.) Zur Situation der Gewässer im Nationalpark Harz – Tagung 2012 in Drübeck. *Schriftenreihe aus dem Nationalpark Harz* 10: 5–9
- STERNBERG, K. (1990) Autökologie von sechs Libellenarten der Moore und Hochmoore des Schwarzwaldes und Ursachen ihrer Moorbindung. Dissertation, Fakultät für Biologie, Universität Freiburg
- STERNBERG K. (2000a) *Somatochlora alpestris* (Sélys, 1840). Alpen-Smaragdlibelle. In: STERNBERG, K. & R. BUCHWALD (Ed.) Die Libellen Baden-Württembergs. Band 2: 236–250. Ulmer, Stuttgart
- STERNBERG K. (2000b) *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840). Arktische Smaragdlibelle. In: STERNBERG, K. & R. BUCHWALD (Ed.) Die Libellen Baden-Württembergs. Band 2: 251–264. Ulmer, Stuttgart

WILDERMUTH H. (2005a) *Somatochlora alpestris* (Selys, 1840). Alpen-Smaragdlibelle. In: WILDERMUTH H., Y. GONSETH & A. MAIBACH (Ed.) Odonata – Die Libellen der Schweiz. Fauna Helvetica 12, CSCF/SEG, Neuchâtel: 270–273

WILDERMUTH H. (2005b) *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840). Arktische Smaragdlibelle. In: WILDERMUTH H., Y. GONSETH & A. MAIBACH (Ed.) Odonata – Die Libellen der Schweiz. Fauna Helvetica 12, CSCF/SEG, Neuchâtel: 274–277

Manuskripteingang: 17. März 2016