Montane Borstgrasrasen (Festuco-Genistelletum sagittalis) im südlichen Schwarzwald: Veränderungen einer gefährdeten Pflanzengemeinschaft in den letzten 40 Jahren

Angelika Schwabe & Anselm Kratochwil

Zusammenfassung

Wir untersuchten Flügelginster-Weiden (Festuco-Genistelletum sagittalis) mit pflanzensoziologischen Aufnahmen im Abstand von 40 Jahren (1977–1978 und 2016–2020) im Schwarzwald. Die alten Aufnahmen stammen von der Autorin. Die neuen Aufnahmen wurden auf Quasi-Dauerflächen wiederholt, d.h. der alten Lage entsprechend. Flügelginster-Weiden (Festuco-Genistelletum sagittalis) gehören zu den Borstgrasrasen (Nardetalia), die generell stark gefährdet sind und deren artenreiche Ausbildungen den Status eines prioritär zu schützenden Lebensraumtyps in der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der EU haben (Code 6230). Im südwestlichen Schwarzwald sind sie besonders charakteristisch für Allmende-Gebiete. Insgesamt konnten 60 Flächen (Plots) von im Durchschnitt 21 m^2 wieder aufgenommen werden.

Um die Parameter für den Vergleich der Flächen des Festuco-Genistelletum sagittalis zu minimieren, wurden nur solche Flächen, die noch den Charakter von Nardetalia-Beständen hatten, berücksichtigt. Von den ehemals 174 Plots waren viele verändert (z.B. stärker gedüngt oder aufgeforstet).

Das Material haben wir zunächst in Form einer Stetigkeitstabelle bearbeitet, ferner konnten ältere Aufnahmen aus dem Gebiet von den 1930er Jahren bis 1975 zum Vergleich herangezogen werden. Das Gesamtmaterial wurde mit multivariaten Ordinationen analysiert (Detrended Correspondence Analysis, DCA). Zu verschiedenen Parametern (u.a. Ellenberg-Indikatorwerte) haben wir statistische Tests durchgeführt (Wilcoxon-Paardifferenztest). Wichtige Strukturmerkmale wurden für die beiden Zeitfenster mit Boxplots dargestellt.

Die DCA zeigt deutlich, dass sich die neuen Aufnahmen in der Regel einheitlich von den alten absetzen, vor allem bedingt durch die Zunahme an Nährstoffzeigern. Dies wurde getrennt für den südwestlichen sowie den südöstlichen Schwarzwald aufgezeigt.

Als besonders sensitiver Indikator für Änderungen der floristischen Struktur stellte sich die Zielarten-Ratio (Target Species Ratio) heraus (Verhältnis der Zielarten zu den sonstigen Arten), die in der Regel abnahm, insbesondere hoch signifikant im südwestlichen Schwarzwald.

Die folgenden Entwicklungen konnten festgestellt werden:

- Erlöschen der gegenüber Nährstoffen und Konkurrenz hoch sensitiven Zielarten *Antennaria dioica* und *Jasione laevis* in den Plots (Restbestände der Arten sind im weiteren Gebiet noch selten vorhanden)
- Veränderung des Verhältnisses von Zielarten zu sonstigen Arten (Zielarten-Ratio) im Sinne einer Abnahme zu Ungunsten der Zielarten
- Abnahme der Stetigkeit und Deckung von *Pleurozium schreberi* (säurezeigendes Moos)
- Zunahme der Anzahl der Nährstoffzeiger in allen Gebieten sowie im südwestlichen Schwarzwald Zunahme der Deckung der Nährstoffzeiger und des Mooses *Rhytidiadelphus squarrosus*
- Erhöhung der Ellenberg-Nährstoffzahl (N), d.h. Zunahme der Nährstoffzeiger
- Zunahme der Deckung von *Agrostis capillaris*
- Erhöhung der Ellenberg-Reaktionszahl (R) im südwestlichen Schwarzwald, d.h. Rückgang der Säurezeiger
- Auftreten des invasiven Neophyten *Lupinus polyphyllus* in den neuen Aufnahmen (noch mit kleineren Populationen und im Untersuchungsgebiet sehr lokal), eine Art, die durch N-fixierende Bakterien zur Nährstoff-Anreicherung beiträgt.

Die Zunahme von *Agrostis capillaris* und diverser Nährstoffzeiger entspricht dem schleichenden Übergang in ein höheres Niveau der Eutrophierung, das momentan noch die Koexistenz mit vielen Zielarten der Borstgrasrasen (Nardetalia) ermöglicht. An einigen geschützten Stellen, z.B. in Randbereichen oder in Weidfeldern, die sehr gutes Management erfahren, war es möglich, Bestände zu finden, die noch die nährstoffärmeren Verhältnisse der Zeit um 1977/1978 widerspiegeln. Klar belegbare Anzeichen für floristische Änderungen durch den neueren Klimawandel haben wir nicht gefunden.

Trotz der Veränderungen zeigt die floristische Struktur der Flügelginster-Weiden noch hohen naturschutzfachlichen Wert, auch im Vergleich mit anderen Gebieten in Deutschland. Dieser noch bemerkenswerte Zustand mit z.B. großen intakten Populationen von *Arnica montana* und einem Durchschnitt von 9–10 Zielarten pro Plot ist der Bewirtschaftung und Pflege durch die Landwirte und Gemeinden und der erfolgreichen Arbeit von Naturschutz-Institutionen – mit Management-Plänen und der entsprechenden Finanzierung – zu verdanken. Beweidete Flügelginster-Weiden erfüllen alle Kriterien für „high nature value farmland“; sie werden vor allem durch extensive Rinderbeweidung erhalten.

Auch wenn direkte Düngung auf Naturschutzflächen untersagt ist, liegen heute Gefährdungen vor allem in schleichenden Umwandlungen der Artenstruktur durch zunehmende Eutrophierungen, z.B. durch Nährstofftransfers über die weidende Rinderherde (nach Zufütterung oder Weidewechsel von gedüngten Flächen) oder Randeffekte von benachbarter Gülleausbringung. Dies kann durch atmogene Stickstoffeinträge verstärkt werden, die im Gebiet im Vergleich zu ganz Deutschland im niedrigeren Bereich liegen (8–10 kg N ha^{-1} a^{-1}, Periode 2013–15). Ein entsprechendes Management, das die Nährstoff-Flüsse berücksichtigt, sollte noch stärker umgesetzt werden, um diese Pflanzengesellschaften zu erhalten, die auf nährstoffarme Standorte beschränkt sind.

Stichwörter
Beweidung, Borstgrasrasen, Ellenberg-Indikatorwerte, Quasi-Dauerflächen, Zielarten

Anschriften der Verfasser:
Prof. Dr. Angelika Schwabe
Fachbereich Biologie der Technischen Universität Darmstadt
Schnittspahnstr. 10
64287 Darmstadt
schwabe@bio.tu-darmstadt.de

Prof. Dr. Anselm Kratochwil
Universität Osnabrück
Fachbereich Biologie/Chemie, Ökologie
Barbarastr. 13
49076 Osnabrück
anselm.kratochwil@uni-osnabrueck.de

Mat-grass swards (Festuco-Genistelletum sagittalis) of the montane level in the southern Black Forest: Changes of an endangered plant community in the last 40 years

Summary
We investigated stands of the Festuco-Genistelletum sagittalis in the Black Forest. We were able to compare 60 phytosociological relevés with an average size of 21 m^2 for two time windows: 1977–1978 and 2016–2020. The old relevés had been sampled by one of the authors (A.S.). The old relevés were re-sampled considering the topographical situation ('quasi-permanent plots'). Stands of the Festuco-Genistelletum sagittalis belong to Nardetalia communities, which are generally highly endangered. The species-rich types had been classified as priority habitats of the Fauna-Flora-Habitats Directive of the European Union (Code 6230). In the south-western part of the Black Forest, the Festuco-Genistelletum sagittalis is found mainly in common pasture land.

To minimise the parameters for the comparison of Festuco-Genistelletum sagittalis, we re-sampled only those plots which were still characterised by a Nardetalia community.

Among the 174 plots that were sampled in 1977–1978, many had developed into other types: they had been, e.g., fertilized or afforested.

Once the material was sampled, we compiled the relevés in a presence table, using a classical approach. Additionally, for comparison, we included older relevés from about 1930 to 1975 in separate columns in the same table. In further steps, we compiled the relevés in multivariate ordinations (Detrended Correspondence Analysis, DCA). For different parameters (also including Ellenberg indicator values), we applied statistical tests (paired exact Wilcoxon rank test in R) and showed the most important results for both time windows in boxplot diagrams.

The DCA demonstrates that the new relevés are mostly clearly separated from the old ones, mainly because of the increase in indicator species of nutrient-rich conditions. We elaborated these figures for the south-western Black Forest and separately for the south-eastern Black Forest.

The 'Target Species Ratio' (TSR) is a sensitive indicator for changes in the floristic structure, showing the ratio between the target species and all other species. TSR decreased overall, especially with high level of significance in the south-western Black Forest.

The following developments could be detected for the 60 plots:

- Absence of *Antennaria dioica* and *Jasione laevis* in the plots (although sparce presence remains in the investigated area)
- Change of the ratio between target species and other species (decrease in proportion, to the disadvantage of target species)
- Decrease of the presence and cover of the acidophytic moss *Pleurozium schreberi*
- Increase of indicator species for nutrient rich conditions in all areas and for the south-western Black Forest increase of cover of indicator species for nutrients and the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*
- Increase of the Ellenberg indicator value for nutrients (N), i.e., increase of indicator species for nutrients
- Increase of the cover of *Agrostis capillaris*
- Increase of the Ellenberg indicator value for soil reaction (R) in the south-western Black Forest, i.e., decrease of indicator species for acidity
- Occurence in the new relevés of the invasive species *Lupinus polyphyllus* (alien species: still with small populations and in the study area only locally), a species with N-fixing bacteria, which contributes to nutrient enrichments.

The increases of *Agrostis capillaris* and of different nutrient indicator species correspond to the subtle transition into a new level of eutrophication. Actually a coexistence of most of the Nardetalia target species and the nutrient indicator species is still possible. Some sites remain, either sheltered at the edges of pastures or perfectly managed, where Festuco-Genistelletum stands still reflect nutrient poor conditions comparable to the years 1977–1978. We found no clearly provable indications for floristic changes caused by new climate-change processes.

Despite these changes, the floristic structure of the Festuco-Genistelletum sagittalis remains highly valuable for nature conservation as compared with the conditions in other parts of Germany. This still remarkable status with, e.g., large populations of *Arnica montana* and an average number of target species of 9–10 per plot was realised through the efforts of farmers, local government authorities and the successful work of different nature conservation institutions (including management plans and diverse financial supports). Grazed sites of the Festuco-Genistelletum fulfill all criteria for ‘high nature value farmland’ and have to be managed mainly by extensive cattle grazing.

As a rule manuring is not allowed in the case of such valuable sites in nature protection areas. Nevertheless, nearly hidden developments do exist; e.g., by nutrient transfers of cattle (after additional feeding or when changing from nutrient-rich pastures) or by edge effects by application of liquid manure. This may be strengthened by atmospheric N-immissions, which are within the lower zone (8–10 kg N ha^{-1} a^{-1}, period 2013–15) of the range compared to Germany as a whole. A management plan that considers the nutrient

flows carefully should be increasingly integrated to protect those communities that are restricted to nutrient-poor sites.

Keywords
Ellenberg indicator values, grazing, mat-grass swards, quasi-permanent plots, target species

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	346
2	Rückgänge von Borstgrasrasen im südlichen und mittleren Schwarzwald bis in die 1980er Jahre und neuere Entwicklungen	353
3	Historische Weidepraktiken	354
4	Untersuchungsgebiet	355
5	Material und Methoden	356
5.1	Pflanzensoziologische Aufnahmen und Nomenklatur	356
5.2	Erstellung einer Stetigkeitstabelle	357
5.3	Zielarten-Ratio (Target Species Ratio)	358
5.4	Strukturelle Parameter und Ellenberg-Indikatorwerte	358
5.5	Multivariate Analyse und statistische Tests	359
5.6	Spontane Sukzession von Borstgrasrasen	360
6	Ergebnisse	361
6.1	Floristische Struktur der Flügelginster-Weiden (Festuco-Genistelletum sagittalis)	361
6.2	Artendiversität und besonders sensitive Arten	371
6.3	Zielarten-Ratio (Target Species Ratio)	372
6.4	Deckung von Arten und Veränderungen anderer Struktur-Parameter	376
6.5	Nährstoffzeiger und Ellenberg-Indikatorwert N (Stickstoff, Nährstoffe)	376
6.6	Ellenberg-Indikatorwerte R (Reaktion) und L (Licht)	377
6.7	Multivariate Analyse	377
6.8	Aktuelle Vorkommen von Flügelginster-Weiden (fast) ohne Nährstoffzeiger	382
6.9	Entwicklung von Flügelginster-Weiden und ihren Zwergstrauch-Stadien bei spontaner Sukzession	385
7	Diskussion	389
7.1	Welche wesentlichen Veränderungen haben in den Flügelginster-Weiden stattgefunden und wie sind sie interpretierbar?	389
7.1.1	Verhalten besonders sensitiver gefährdeter Arten	389
7.1.2	Verhalten anderer gefährdeter Arten	391
7.1.3	Abnahmen von Zielarten und Zielarten-Ratio, Artendiversität	391
7.1.4	Zunahmen von Nährstoffzeigern, von *Agrostis capillaris* und *Rhytidiadelphus squarrosus*	392
7.1.5	Gibt es Anzeichen für eine Thermophilisierung?	394
7.1.6	Verbrachung	394

7.1.7 Eindringen von invasiven Neobiota: *Lupinus polyphyllus* 394
7.2 Können Borstgrasrasen restituiert werden? 395
7.3 Können artenreiche Borstgrasrasen im Schwarzwald unter der heute praktizierten Bewirtschaftung und unter den aktuell wirkenden Umweltnoxen in ihrer spezifischen Qualität überleben? 395
7.4 Fazit für den Naturschutz 396

Danksagung 397

Angeführte Schriften 398

Anhang 406
Tab. A1: Abkürzungen der Pflanzennamen in Abb. 13, 15. Rote Liste (RL)-Status Deutschland. 406
Tab. A2: Lokalitäten der Plots aus den Jahren 1977–78 (Z I), die 2016–20 (Z II) wieder aufgenommen wurden. 410

Abkürzungen und Erläuterungen

A.: Aufnahme
EIW: Ellenberg-Indikatorwert
FFH: Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der EU
L: Ellenberg-Indikatorwert Licht
N: Ellenberg-Indikatorwert Nährstoffe, Stickstoff
n.p.: nicht publiziert
Nz: Nährstoffzeiger
R: Ellenberg-Indikatorwert Bodenreaktion
RL: Rote Liste Deutschlands (Metzing et al. 2018)
Schönau i. Sch.: Schönau im Schwarzwald (Wiesental)
SE-S: Südöstlicher Schwarzwald (südlicher Hochflächen-Schwarzwald und SO-Abdachung im Mittleren Schwarzwald nach Sick 1980)
SW-S: Südwestlicher Schwarzwald
TSR: Target Species Ratio (Zielarten-Ratio)
Z I: Zeitraum 1977–1978
Z II: Zeitraum 2016–2020

Erläuterung der Datensätze:

1a: Datensatz von Schwabe-Braun (1979a, 1980a) SW-S 1977/78: 36 pflanzensoziologische Aufnahmen von Flügelginster-Weiden, mittlere Meereshöhe 970 m
1aa: Sub-Datensatz von 1a (nur Wiesental-Gebiet, 22 pflanzensoziologische Aufnahmen von Flügelginster-Weiden, mittlere Meereshöhe 885 m)
1b: aktuelle Vergleichsdaten SW-S von 2016 bis 2020 (36 pflanzensoziologische Aufnahmen von Quasi-Dauerflächen)
1bb: Sub-Datensatz aktuelle Vergleichsdaten, entsprechend 1aa
2a: Datensatz von Schwabe-Braun (1979a, 1980a) SE-S 1977/78: 24 pflanzensoziologische Aufnahmen von Flügelginster-Weiden, mittlere Meereshöhe 940 m
2b: aktuelle Vergleichsdaten SE-S von 2016 bis 2020 (24 pflanzensoziologische Aufnahmen von Quasi-Dauerflächen).

Ein Verzeichnis der wissenschaftlichen und deutschen Pflanzennamen mit den Abkürzungen der Ordinationsdiagramme sowie eine Zusammenstellung der Lokalitäten der Quasi-Dauerflächen findet sich im Anhang (Tab. A1, Tab. A2).

1 Einführung

Borstgrasrasen entstanden in den planar bis hochmontanen und subalpinen Gebieten Europas durch den wirtschaftenden Menschen und sind Teile der gewachsenen Kulturlandschaft. Modelle für natürliche Vorkommen finden sich an Moorrändern, Felsbändern und in höheren Lagen auch am Rand von Lawinenbahnen und an windexponierten Graten. In Deutschland zeigen heute Borstgrasrasen noch ein Zentrum der Verbreitung im südlichen Schwarzwald, sind aber in vielen anderen Gebieten Deutschlands in hohem Maße zerstört worden, vor allem durch Aufforstungen, Düngung, spontane Sukzession und Bau touristischer Infrastrukturen. Auch im Schwarzwald sind die Bestände seit den 1950er Jahren durch diese Prozesse stark zurückgegangen. Neben dem Schwarzwald spielen heute für die montanen Borstgrasrasen in Deutschland u.a. die Gebiete Harz, Eifel, Rhön, Erzgebirge noch eine größere Rolle (Schwabe et al. 2019), doch sind die Vorkommen von Borstgrasrasen dort nicht so großflächig wie im südlichen Schwarzwald.

Die hohe Gefährdung von Borstgrasrasen wurde auch durch die nationale Einstufung als geschützter Biotoptyp (§ 30 BNatSchG) und die Einstufung des Habitattyps „Artenreiche Borstgrasrasen“ (Code 6230) als prioritär zu schützender Lebensraum in der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der EU unterstrichen (Richtlinie 92/43/EWG 1992). Finck et al. (2017) stufen „Artenreiche Borstgrasrasen“ in ihrer „Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands“ als „akut von vollständiger Vernichtung bedroht“ ein. Diese Einstufungen beziehen sich nicht auf an Arten verarmte Bestände, z.B. an Wegrändern. Für das Jahr 2020 wurden Borstgrasrasen als seltener und z.T. vom Aussterben bedrohter Vegetationstyp in Deutschland zur „Pflanzengesellschaft des Jahres“ erklärt (Schwabe et al. 2019, Natur des Jahres 2020). Der Habitattyp „Artenreiche Borstgrasrasen“ kommt vor allem in West- und Zentraleuropa und regional in Gebirgen Südeuropas vor, die Flächen schwinden aber in vielen Gebieten (Galvanék & Janák 2008, Janssen et al. 2016).

Wichtige Standortfaktoren sind relativ niedrige pH-Werte der Böden und Nährstoffarmut, extensive Bewirtschaftung (im Südschwarzwald typischerweise mit Hinterwälder Vieh, im mittleren Schwarzwald mit Vorderwälder Vieh, beides endemische Rinderrassen) mit Besatzdichten um die 0,5 Großvieheinheiten (GVE)/ha. Braunerden mit Moder als Humusform herrschen vor (siehe z.B. Krause 1962, Bücking 1979). Ziegenbeweidung spielt vor allem in Gehölz- und Zwergstrauch-reichen Beständen eine Rolle, zerstört aber die typische Struktur beweideter Flächen mit eingestreuten Gehölzen, wenn nicht eine spezielle Zäunung verwendet wird (Schwabe 1997 für das Wiesental/Südschwarzwald). Ziegenbeweidung ist vor allem für die erste Restitution verbuschter Flächen geeignet und ist eine Möglichkeit (bei entsprechendem Gehölzschutz und speziellen Praktiken zum Schutz z.B. von *Arnica montana*; siehe Kap. 7.1), wenn andere Beweidungsformen nicht umsetzbar sind. Ziegenbeweidung gibt es in unseren Untersuchungsflächen punktuell, Schafbeweidung spielt kaum eine Rolle. In anderen Gebieten tritt Schafbeweidung auf

(Schwabe et al. 2019), auch gemähte artenreiche Borstgrasrasen spielen eine Rolle (z.B. im Harz und in der Rhön; siehe Peppler 1992, Dierschke & Peppler-Lisbach 2009, Schwabe et al. 2019).

Die typische Pflanzengesellschaft der Borstgrasrasen in den montanen Lagen (500 m bis – je nach Exposition – etwa 1200 m ü. M.) ist im südlichen Schwarzwald das Festuco rubrae-Genistelletum sagittalis (Flügelginster-Weide), Abb. 1, 2. Dieser Name hat Priorität, obwohl es nach der heute gültigen Nomenklatur *Festuca nigrescens* (Taxon des *F. rubra*-Aggregates) und *Genista sagittalis* heißen muss (Metzing et al. 2018). Die Assoziation wurde bereits im Jahr 1913 aus den Vogesen von Issler beschrieben (siehe auch Issler 1942). J. & M. Bartsch (1940) bezeichnen entsprechende Bestände als „*Calluna vulgaris-Genista sagittalis*-Ass.“, Müller (1948) dokumentiert die *Genista sagittalis-Antennaria dioica*-Assoziation“ mit z.T. hoher Deckung des Katzenpfötchens. *Genista sagittalis* als Art tritt im Schwarzwald bis etwa 1400 m ü. M. auf (Belchen, Herzogenhorn).

Abb. 1: Kulturlandschaft des südwestlichen Schwarzwaldes (Wiesental, Fröhnd-Wühre, 700–800 m ü. M.): Borstgrasrasen (Festuco-Genistelletum sagittalis) mit den Blühaspekten von *Genista sagittalis* und *Arnica montana*, Gebüschen und Solitärbäumen. Im Hintergrund der Belchen (1414 m ü. M.). 12. Juni 2020. **Fig. 1:** Cultural landscape of the south-western Black Forest in the Wiesental area (Fröhnd-Wühre, 700–800 m a.s.l.): mat-grass sward (Festuco-Genistelletum sagittalis) with the flower aspects of *Genista sagittalis* and *Arnica montana*, shrubs and solitary trees. In the background: Belchen (1414 m a.s.l.). June 12, 2020.

Abb. 2: Kulturlandschaft im Schluchsee-Gebiet (Äule, 1100 m ü. M.) mit Borstrasrasen (Festuco-Genistelletum sagittalis mit gelb blühendem Flügelginster *Genista sagittalis*) und einzelnen Bäumen (*Picea abies*, *Acer pseudoplatanus*), SE Schwarzwald, 26. Juni 2020. **Fig. 2:** Cultural landscape of the Schluchsee area (Äule, 1100 m a.s.l.) with mat-grass sward (Festuco-Genistelletum sagittalis with yellow flowering *Genista sagittalis*) and single trees of *Picea abies* and *Acer pseudoplatanus*, SE Black Forest, June 26, 2020.

In anderen Gebieten kommt das Polygalo-Nardetum (Kreuzblümchen-Borstgrasrasen) vor, dem *Genista sagittalis*, *Carlina acaulis* und *Jasione laevis* fehlen. Beide Gesellschaften gehören zum Unterverband Violenion caninae (siehe Peppler-Lisbach & Petersen 2001), der im Schwarzwald typisch ist für bodenfrische bis schwach trockene, saure (aber nicht extrem saure) Standorte der mittelmontanen Stufe. In *Antennaria dioica*-reichen Flügelginster-Weiden lagen die pH-Werte (H_2O) im Oberboden bei 4,5–5,0; bei Auftreten von Düngezeigern auch bei bis zu 5,5 (Schwabe 1990a). Bücking (1979) ermittelte im Weidfeld Flüh bei Schönau i. Sch. (Wiesental) in der typischen Flügelginster-Weide pH 4,8 (H_2O) im Oberboden.

Neben der für den Unterverband namengebenden *Viola canina* kommen weitere Arten vor, die den hochmontanen Lagen fehlen, wie z.B. *Galium pusillum*, *Jasione laevis*, *Lathyrus linifolius*, *Polygala vulgaris*. Die Gesellschaft ist reich an klein- und mittelgroßen funktionellen Pflanzentypen, die oftmals mit Rosetten dem Viehverbiss durch Rinder entgehen (Rudner & Gross 2012); hochwüchsige Gräser fehlen den typischen Beständen weitgehend.

Abb. 3: Festuco-Genistelletum mit teilweise überwachsenen Granit-Wollsäcken. Im Vordergrund ist ein junger Wacholder (*Juniperus communis*) zu sehen. Äule, Schluchsee-Gebiet, 1100 m ü. M., südöstlicher Schwarzwald, 26. Juni 2020. **Fig. 3:** Festuco-Genistelletum with partly overgrown boulders (granite with spheroidal weathering). In the foreground there is a young *Juniperus communis* individual. Äule, Schluchsee area, 1100 m a.s.l., SE Black Forest, June 26, 2020.

Ein weiterer Unterverband (Juncenion squarrosi), der im Schwarzwald punktuell z.B. an Moor-Rändern vorkommt, kennzeichnet Borstgrasrasen auf feuchtem Substrat (hier nicht behandelt; s. z.B. für den Schwarzwald Schwabe & Kratochwil 1986, Schuhwerk 1988). Beide Unterverbände bilden den Verband Violion caninae und gehören zur Ordnung der Borstgrasrasen (Nardetalia).

Flügelginster-Weiden kennzeichnen vor allem das Allmende-Gebiet im südwestlichen Schwarzwald, mit besonderem Schwerpunkt im Talgebiet der Wiese und den Nebentälern. Hier sind sie charakteristisch für das unparzellierte „Wilde Feld“ der Allmenden, das traditionell im Tagesgang mit Hinterwälder Vieh beweidet wurde (siehe zu den Allmenden auch die Fallstudien von Henschel & Konold 2008 und Korhammer & Konold 2013). Einige höher gelegene Flächen gehören zu den Genossenschaftsweiden oder auch den gemeinschaftlichen Jungvieh-Hochweiden (Eggers 1957, Geiger 1983). Es finden sich zudem Flügelginster-Weiden in den Hochtälern der Hauensteiner Alb (Bernauer und Menzenschwander Gebiet) sowie in der Umgebung des Schluchsees, im Hotzenwald und im Bereich der „SO-Abdachung im Mittleren Schwarzwald“ bei Schönwald und Scho-

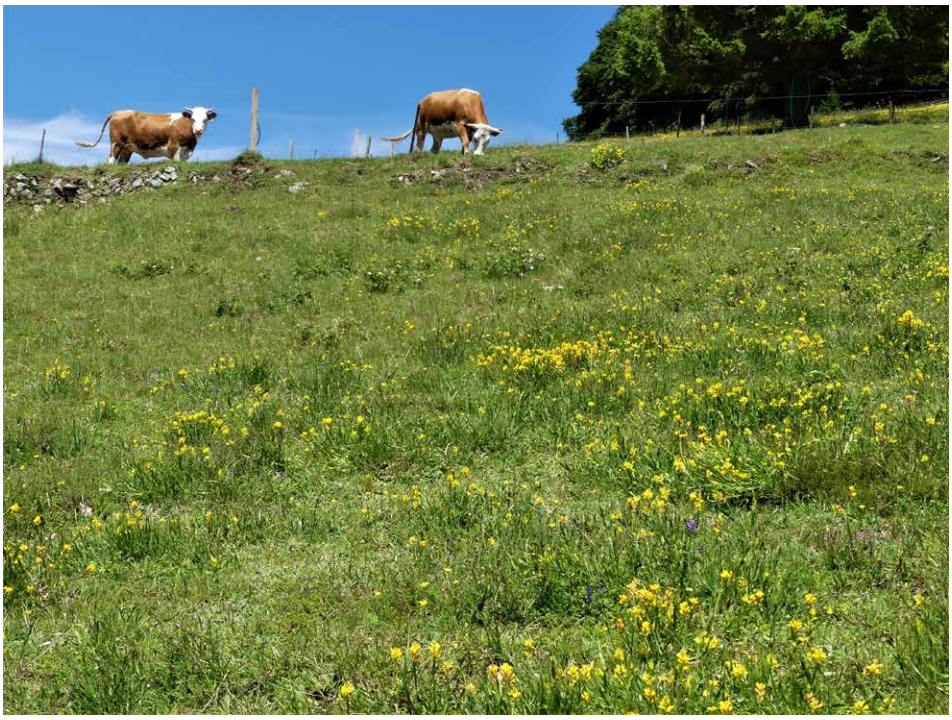

Abb. 4: Festuco-Genistelletum nach einer Periode selektiver Beweidung (*G. sagittalis* wurde von den Hinterwälder Rindern nicht gefressen). Fröhnd, Schneckenkopf (SW Schwarzwald, 950 m ü. M.), 12. Juni 2020.
Fig. 4: Festuco-Genistelletum after a period with selective grazing (*G. sagittalis* had been avoided by the Hinterwälder cattle). Fröhnd, Schneckenkopf (SW Black Forest, 950 m a.s.l.), June 12, 2020.

nach. Auch in höheren Lagen des westlichen und zentralen Mittleren Schwarzwaldes treten Flügelginster-Weiden auf (Rohrhardsberg, Kostgefäll), wohingegen in niederen Lagen im ehemaligen Reutberggebiet Borstgrasrasen mit dem Brand-geförderten Besenginster (*Sarothamnus scoparius*) vorkommen (Schwabe-Braun 1980a,b); der letztere Typ ist heute vom Aussterben bedroht. In den hochmontanen Lagen tritt das Leontodonto helvetici-Nardetum strictae (Schweizer Löwenzahn-Borstgras-Gesellschaft) auf (Feldberg-Gebiet, Belchen, Schauinsland, Kandel). Den Veränderungen dieser Gesellschaft wird eine gesonderte Arbeit gewidmet, der der Vergleich von etwa 50 pflanzensoziologischen Aufnahmen von Schwabe-Braun (1979a) zugrunde liegen soll (in Vorber.).

Flügelginster-Weiden sind bestimmende Elemente eines einzigartigen Vegetations- und Strukturmosaiks im Schwarzwald, zu dem u.a. auch Pionierfluren, Gebüsche, Steinrasseln und einzeln stehende knorrige Weidbuchen gehören und das auch Lebensraum für gefährdete Tierarten ist, wie z.B. der Zippammer *Emberiza cia* (inzwischen im Schwarzwald vom Aussterben bedroht) und dem Graublauen Bläuling *Pseudophilotes baton* (Schwabe-Braun 1979b, Schwabe & Kratochwil 1987, Schwabe & Mann 1990).

Abb. 5: Festuco-Genistelletum (von Rindern beweidet) mit blühender *Arnica montana*, die intensive Rosetten-Bildung zeigt, gefördet durch Viehtritt. *Arnica* ist in dieser Fläche noch vorhanden, obwohl es bereits Nährstoff-Zeigerarten gibt (8 Arten in der Aufnahme 31b, 8 Zielarten, TSR 0,34). Fröhnd-Wühre, 800 m ü. M., SW Schwarzwald, 12. Juni 2020. **Fig. 5:** Cattle-grazed Festuco-Genistelletum with flowering *Arnica montana*, showing intensive vegetative spreading by rosettes, initiated by trampling of cattle. *Arnica* is still present, although there are already nutrient indicators (8 species in relevé 31b, 8 target species, TSR 0,34). Fröhnd-Wühre, 800 m a.s.l., SW Black Forest, June 12, 2020.

In den Abb. 3–6 werden einige Elemente dieser Strukturen gezeigt: Flügelginster-Weide mit Granit-Wollsäcken und jungem Wacholder (*Juniperus communis*), Abb. 3; ein typisches Fleckenmuster der Vegetation nach selektiver Beweidung (Abb. 4); Arnika-Bestände mit vegetativen Rosetten, die durch Viehtritt gefördert werden (Abb. 5); Flügelginster-Weiden mit Zwergstrauch-überzogenen Gneisblöcken (Abb. 6).

In der vorliegenden Studie soll ein Vergleich zwischen Probeflächen in heute noch bestehenden Flügelginster-Weiden mit den quasi-identischen Flächen geführt werden, die von der Autorin vor 40 Jahren im Rahmen einer Dissertation an der Fakultät für Biologie, Freiburg i.Br., untersucht wurden (Dissertation Schwabe-Braun 1979a, publiziert: 1979b, 1980a, b).

Neben dem offensichtlichen Rückgang ehemaliger Borstgrasrasen durch Aufforstung, spontane Sukzession und Aufdüngung liegt dieser Arbeit der Fragenkomplex nach fein-

Abb. 6: Von Rindern beweideter Bestand des Festuco-Genistelletum im frühen September in Muggenbrunn (südwestlicher Schwarzwald). Gneisblöcke durchsetzen die Fläche und sind teilweise überwachsen von *Calluna* und (noch) dem azidophytischen Moos *Pleurozium schreberi*. 1050 m ü. M., 9. September 2020. **Fig. 6:** Cattle-grazed Festuco-Genistelletum stand in early September in Muggenbrunn (SW Black Forest). Boulders (gneiss) are scattered and partly overgrown by *Calluna* and (still) the acidophytic moss *Pleurozium schreberi*. 1050 m a.s.l., September 9, 2020.

strukturellen floristischen Änderungen zugrunde, die nur durch genaue Vergleiche der Struktur der Pflanzengemeinschaft beantwortet werden kann. Insbesondere sollen Fragen nach der Veränderung der Artenstruktur gestellt werden, so z.B. nach dem Verhalten von Zielarten im Vergleich zu Nährstoffzeigern, der Phytodiversität und der übergeordneten Frage, ob artenreiche Borstgrasrasen, in diesem Falle Flügelginster-Weiden, unter der heute praktizierten Bewirtschaftung und unter den aktuell wirkenden Umweltnoxen in ihrer spezifischen Qualität schutzfähig sind. Zu diesen Umweltnoxen gehören Schadstoffe wie die atmogene Stickstoff-Deposition (Gaudnik et al. 2011). Stevens et al. (2004), Duprè et al. (2010), Stevens et al. (2010, 2011) und Pannek et al. (2015) haben in großen europäischen Transekten negative Effekte kumulativer atmosphärischer Stickstoff-Deposition auf die Artenstruktur in Borstgrasrasen belegt. Auch Klimafaktoren („Thermophilisierung“) können eine Rolle für floristische Änderungen in Borstgrasrasen spielen (Gottfried et al. 2012). Wir werden prüfen, ob es Hinweise für Auswirkungen der N-Deposition gibt und/oder für eine Thermophilisierung.

2 Rückgänge von Borstgrasrasen im südlichen und mittleren Schwarzwald bis in die 1980er Jahre und neuere Entwicklungen

Nachdem im 19. Jahrhundert ein Maximum der Ausdehnung von Weidfeld-Flächen erreicht wurde (siehe Karte vom Amtsbezirk Schönau in: Grossherzoglich Bad. Min. des Innern 1889), kam es bis in die 1980er Jahre zu starken Abnahmen von Extensivweiden. Für den Kreis Lörrach betrugen die Rückgänge hier zwischen 1888 (Grossherzoglich Bad. Min. des Innern 1889) und 1973 mehr als 50 % (von 7088 ha auf 3668 ha, bei letzterem Wert sind auch gedüngte Weiden eingeschlossen). Die Werte für Schönau i. Sch. waren 1888: 162 ha, 1973: 73 ha; für Wieden 1888: 550 ha, 1973: 370 ha. Im Mittleren Schwarzwald sind die Rückgänge der Reutfelder noch gravierender (Schwabe-Braun 1980a).

Am Beispiel des Meßtischblattes Freiburg SO (8013) konnte aufgezeigt werden, dass von 1954/55 (Kartierung von Oberdorfer & Lang 1957) bis 1984 Flügelginster-Weiden um 88 % abnahmen, Besenginster-Weiden um 96 % und hochmontane Borstgrasweiden (Leontodonto-Nardetum) um mindestens 85 % (Hobohm & Schwabe 1985). Kersting (1991) ermittelte bei einer großflächigen Kartierung im Gebiet der Allmendweiden im Vergleich Ende der 1950er Jahre (Kartierung Dr. W. Krause) bis 1988 Rückgänge von submontan-montanen Flügelginster-Weiden um 65 % und von Borstgras-reichen Magerweiden der montan-hochmontanen Lagen um 40 %. Entsprechend stiegen die Anteile von Aufforstungen (oft mit Douglasie *Pseudotsuga menziesii*) und Fettweiden. Für die Zeitspanne 1979 bis 1989–90 konnten die Strukturveränderungen der charakteristischen Vegetationskomplexe mit Hilfe von vergleichenden Sigma-Aufnahmen untersucht werden (Vergleich mit den Aufnahmen von Schwabe-Braun 1979a, b). Es zeigte sich hier, dass die Deckung der Indikatorgesellschaften ohne Düngeeinfluss innerhalb von 10 Jahren von 29 % auf 12 % (Festuco-Genistelletum Komplex) bzw. von 16 % auf 2 % (Komplex der Besenginster-reichen Borstgrasrasen) zurückgegangen waren. Gleichzeitig nahmen die (leicht) gedüngten Untergesellschaften und die Fettweiden (noch in geringem Maße) sowie Pioniergebüsche zu (Schwabe 1991).

Seit den 1990er Jahren gab es intensive Bemühungen um die Erweiterung der Schutzgebiete für den Naturschutz, um die gefährdeten Habitate in der charakteristischen Kulturlandschaft des Schwarzwaldes zu erhalten und die Beweidung zu sichern. Im Rahmen der Natura 2000-Verpflichtungen sind viele Fauna-Flora-Habitat-Gebiete eingerichtet worden, die auch Weidfelder enthalten, so wie z.B. die Gebiete „Gletscherkessel Präg und Weidfelder im Oberen Wiesental“, „Blasiwald und Unterkrummen“, „Oberer Hotzenwald“, „Schönwälder Hochflächen“ und andere. Mit dem Naturschutzgroßprojekt „Feldberg – Belchen – Oberes Wiesental“ wurde ein wichtiger Grundstein für das Biosphärengebiet Schwarzwald (errichtet 2016) gelegt. Eine Reihe von Weidfeld-Komplexen mit Flügelginster-Weiden sind in den letzten 30 Jahren als Naturschutzgebiete ausgewiesen worden (angegeben mit dem Jahr der Verordnung) wie z.B. „Gletscherkessel Präg“ (1994), „Kohlhütte-Lampenschweine“ (1996), „Rüttewies-Scheibenrain“ (1997), „Kostge-

fäll“ (1997), „Rohrhardsberg – Obere Elz“ (1997), „Schauinsland“ (2002) und „Wiedener Weidberge“ (2009).

Die Erhaltung und Weiterentwicklung von extensiven Beweidungssystemen als „high nature value farmland“ (siehe z.B. Luick et al. 2019) unter Beibehaltung der spezifischen Biodiversität und Struktur in den Vegetationskomplexen (Rosenthal et al. 2012) ist eine große Herausforderung (siehe dazu auch die Fallstudie „Häg-Ehrsberg und Fröhnd“ im südwestlichen Schwarzwald von Korhammer & Konold 2013).

Zusammenfassend zeigt sich seit den 1950er Jahren (und beginnend bereits 1889) ein Wandel in der Auffassung, zunächst ausgehend von dem ökonomischen Bestreben, die Allmendweiden möglichst zu meliorieren und im damaligen Sinne zu verbessern (Krause 1962, Krause & Frei 1965), über Aufforstungswellen bis hin zu der Bewahrung und Weiterentwicklung zu „high nature value farmland“ und Naturschutz-Flächen seit den 1990er Jahren.

3 Historische Weidepraktiken

Zum Verständnis der floristischen Struktur der Flügelginster-Weiden sind die traditionellen Weidepraktiken im Hütebetrieb von Bedeutung. Es gab in den Borstgrasrasen nicht nur eine extensive Nutzung, sondern auch höheren Viehbesatz und damit einen Wechsel zwischen selektiver Über- und Unterbeweidung (siehe auch für das Gebiet Ibach/Wittenschwand im Hotzenwald Reif et al. 1996, Reif & Katzmaier 1996/97). In den ältesten pflanzensoziologischen Aufnahmen von Flügelginster-Weiden aus dem Schwarzwald (J. & M. Bartsch 1940) ist die Deckung des Flügelginsters, der vom Weidevieh verschmäht wird, hoch, was für die zeitweilig starke Wirkung der selektiven Überbeweidung spricht. Auch *Nardus* reichert sich bei dieser Praxis stark an (vor allem in den oberen montanen Lagen von > 800 m ü. M). Auch dürften sich bei höherem Fraßdruck mit Verdrängung schattender Arten im Wechsel mit Unterbeweidung inzwischen extrem gefährdete, lichtliebende und konkurrenzschwache Rosettenpflanzen wie *Antennaria dioica* vegetativ ausgebreitet haben. In den Aufnahmen von J. & M. Bartsch (1940, erhoben in den 1930er Jahren) deckt der Flügelginster bei 4 Aufnahmen mehr als die Hälfte der Aufnahmeflächen.

Neben den Gebieten mit Reutbergwirtschaft vor allem im Mittleren Schwarzwald gab es auch z.B. im Wiesental (Südschwarzwald) Flächen mit zeitweiliger Ackernutzung und eingeschobenem Brand (Schorbäcker); dies förderte z.B. nach der Wiederbesiedlung der Äcker Pionierarten der Borstgrasrasen (Schwabe-Braun 1980a). Insgesamt war dies eine wenig nachhaltige Form der Bewirtschaftung (siehe auch Konold 2004). Diese geringe Nachhaltigkeit trifft auch auf die stark mit Vieh überbesetzten Flügelginster-Weiden zu (siehe unten und Hermle & Deil 2002).

Eine historische Darstellung beschreibt die Situation der Weiden im ehemaligen Amtsbezirk Schönau Ende des 19. Jahrhunderts; siehe Grossherzoglich Bad. Min. des Innern (1889). Damals wurde eine Großvieheinheit (GVE) bei den Hinterwälder Kühen mit 200 kg Gewicht angegeben (zur Zeit der Untersuchungen der Flügelginster-Weiden von Schwabe-Braun 1979a, 1980a: um 400 kg, Bröckl 1989). Die in der historischen Darstellung angegebenen Zahlen zeigen, dass es in vielen Gemeinden einen hohen Besatz gab, so z.B. in Muggenbrunn mit 125 ha Fläche und 130 Rindern im Durchschnitt (1850–1880) und in Wieden mit 550 ha Weidefläche und 593 Rindern (1887). Eine Verbesserung sei möglich „auf dem Wege der Reduzierung der Viehzahl“ (Grossherzoglich Bad. Min. des Innern 1889); es werden jedoch in der Schrift auch viele Richtlinien formuliert zu verschiedenen Maßnahmen der Melioration. Es ist aber allgemein davon auszugehen, dass es auch immer wieder Flächen mit geringerem Weidedruck gab, auf denen diejenigen Arten der Borstgrasrasen, die von den Weidetieren abgefressen werden, auch fruktifizieren konnten.

4 Untersuchungsgebiet

Der Vergleich mit den pflanzensoziologischen Aufnahmen von 1977/78 war in Teilen des südwestlichen Schwarzwaldes möglich: Gießhübel-Schauinsland, Münstertal (Münsterhalden), Wiesental und Nebentäler, oberes Wehratal (Todtmoos) sowie im südöstlichen Schwarzwald; siehe Tab. A2.

Große Teile des Untersuchungsgebietes waren in der Würmeiszeit vergletschert; es entstanden z.B. glazial überformte Hochtäler im Gebiet der ehemaligen Alb- und Schluchsee-Gletscher (Hemmerle et al. 2016). Die biogeographische Grenze zwischen dem rhenanischen und dem Kaltluft-betonten danubischen Relief (aktuell sowie ehemals zur Donau entwässernde Gebiete) ist von verschiedenen Autoren herausgearbeitet worden, so z.B. von Oberdorfer (1982) mit der Gliederung der Waldgesellschaften und von Schwabe (1987) am Beispiel der natürlichen Vorkommen von Kälte-resistenten Arten wie *Alnus incana* (Grauerle) in den Hochtälern der Hauensteiner Alb sowie *Salix pentandra* (Lorbeer-Weide) im Bereich des südöstlichen Hochflächen-Schwarzwaldes und der SO-Abdachung im Mittleren Schwarzwald. Diese Grenze ist auch für die Analyse der montanen Borstgrasrasen von Bedeutung und veranlasste zu einer getrennten Betrachtung der Gebiete.

Der geologische Untergrund ist geprägt durch sauer verwitternde Gesteine: Gneise und Granite (teilweise Randgranit und Granitporphyr) und ihre Umwandlungsprodukte; bei Neuenweg Unterkarbon-Konglomerat, im Gebiet Schönau-Schönenberg Grauwacken und Schiefer. Moränenmaterial tritt vor allem in den glazial überformten Hochtälern auf (siehe dazu Metz & Rein 1958).

Die Jahresmittel-Temperaturen liegen im Untersuchungsgebiet bei 5,5 bis 8,5 °C (Periode 1961 bis 2010). Temperatur-Erhöhungen verstärkten sich in den letzten Jahrzehnten der Langzeit-Interwalle sowie aktuell (Deutscher Wetterdienst). Beispiele sind Lenzkirch 852 m ü. M. (am direkten Ostrand des Untersuchungsgebietes gelegen) mit einer Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von 6,1 °C (1961–1990) auf 6,9 °C (1981–2010) und Schönwald 1021 m ü. M. (mit den Aufnahmeflächen 48, 49; siehe Tab. A2) im Bereich der SO-Abdachung im Mittleren Schwarzwald mit 5,8 °C (1961–1990) auf 6,4 °C (1981–2010). Niederschläge haben einen abnehmenden Gradienten von West in Luvlage nach Ost (unter Einberechnung der Höhenlagen): von um 1700 mm bei Schönau i. Sch. (535 m ü. M.) im Zentrum der Allmendweiden und dem Wehratal (Todtmoos, 781 m ü.M., um 2000 mm) bis nach St. Blasien (795 m ü. M., um 1700 mm, unterhalb der Alb-Hochtäler gelegen) und Schluchsee (993 m ü. M., um 1550 mm; Deutscher Wetterdienst).

5 Material und Methoden

5.1 Pflanzensoziologische Aufnahmen und Nomenklatur

Es liegen insgesamt 174 pflanzensoziologische Aufnahmen von Flügelginster-Weiden aus den Jahren 1977/78 vor, die als Originalaufnahmen publiziert wurden (Schwabe-Braun 1979a, 1980a, Tab. I a, b). Ein Teil dieser Aufnahmen konnte 2016 bis 2020 mit jeweils identischen Flächengrößen wiederholt werden. Die mittlere Größe der pflanzensoziologischen Aufnahmeflächen (Plots) liegt bei 21 m^2. Es sind Quasi-Dauerflächen, die nach genauem Karteneintrag und den damaligen Beschreibungen wieder aufgesucht werden konnten. Sie ermöglichen keinen Zentimeter-genauen Vergleich wie markierte Dauerflächen. Das Verfahren der Analyse von Quasi-Dauerflächen ist bereits von verschiedenen Autoren – ebenfalls für Vergleiche von Borstgrasrasen in zwei Zeitfenstern – mit Erfolg angewendet worden, so z.B. von Schwabe et al. (1989), Peppler-Lisbach & Könitz (2017) und Peppler-Lisbach et al. (2020).

Die alten Aufnahmeflächen liegen im südwestlichen sowie im südöstlichen Schwarzwald (einschließlich der SO-Abdachung im Mittleren Schwarzwald) sowie im Mittleren Talschwarzwald; siehe Karte Abb. 1 in Schwabe-Braun (1980a, b). Der Hotzenwald im engeren Sinne ist damals nicht einbezogen worden, da er von Schuhwerk (Abschluss der Dissertation 1988, Geländeaufnahmen von Flügelginster-Weiden um 1975) umfassend monographisch bearbeitet wurde. Da die Fragestellung auf die Veränderungen der Vegetation der Borstgrasrasen abzielte, wurden nur Flächen ausgewählt, deren Grundstruktur immer noch diesem Typ zugeordnet werden konnte. Dies diente dazu, die Parameter für den Vergleich zu minimieren. Daraus folgt, dass Flächen, die inzwischen bestockt sind oder langjährige Brachen darstellen, und auch solche, die stark aufgedüngt wurden, keine Berücksichtigung fanden. Auch Aufnahmen mit starken Faziesbildungen (z.B. von Zwergsträuchern) sind ausgeschlossen worden. Die nur kleinflächigen Vorkommen im

westlichen und zentralen Mittleren Schwarzwald (14 alte Aufnahmen) mit u.a. starkem Bewirtschaftungswechsel auf dem Rohrhardsberg (Wiederbeweidung der damaligen langjährigen Brache; siehe Schwabe 1990b) wurden nicht einbezogen. Von den (ohne den westlichen und zentralen Mittleren Schwarzwald) 160 Aufnahmeflächen erfüllte etwa die Hälfte die oben formulierten Kriterien.

Es sollte die Bandbreite der Assoziation abgebildet werden; daher umfassen die Referenz-Aufnahmen von 1977/78 Bestände des „typicum“ und „trifolietosum“. Von etwa 80 möglichen Aufnahmen sind 60 wiederholt worden. Die nicht berücksichtigten Flächen waren untypisch, weil sie z.B. Übergangsbestände zu hochmontanen Borstgrasrasen darstellten oder sie konnten aus logistischen Gründen nicht aufgesucht werden; zudem sollte das Verhältnis von „typicum“ zu „trifolietosum“-Aufnahmen etwa dem der alten Aufnahmen entsprechen. Die pflanzensoziologischen Originalaufnahmen wurden zu beiden Zeitpunkten nach der erweiterten Braun-Blanquet-Skala angefertigt (siehe Reichelt & Wilmanns 1973). Die Skala dieser Artmächtigkeiten sei im Folgenden erläutert (r bis 2m: Deckung jeweils unter 5 %, 2a bis 5: Individuenzahl bzw. Zahl der Triebe beliebig). r: 1 Individuum/Trieb, +: 2–5 Individuen/Triebe, 1: 6–50 Individuen/Triebe, 2m > 50 Individuen/Triebe, 2a: Deckung 5–15 %, 2b: Deckung 16–25 %, 3: Deckung 26–50 %, 4: 51–75 %, 5: Deckung 76–100 %. Diese Angaben zu den Artmächtigkeiten werden bei den hier abgedruckten Originalaufnahmen verwendet und sind auch in die Ordinationsdiagramme eingegangen (siehe unten).

Die Nomenklatur der Höheren Pflanzen und die Einstufung nach der „Roten Liste“ (Tab. A1) richten sich nach Metzing et al. (2018), die Nomenklatur der Moose nach Caspari et al. (2018) und die der Flechten nach Wirth et al. (2011). Die Nomenklatur der Pflanzengesellschaften folgt Peppler-Lisbach & Petersen (2001).

5.2 Erstellung einer Stetigkeitstabelle

Die Stetigkeitstabelle enthält die Vergleiche der beiden Zeitfenster 1977–78 und 2016–20, getrennt nach SW-S und SE-S. Als Referenz für die Struktur von Borstgrasrasen im Schwarzwald ohne ausgeprägten Düngereinfluss und ohne die Umweltnoxen der letzten 40 Jahre sind in der Stetigkeitstabelle auch Aufnahmen von J. & M. Bartsch (1940, aufgenommen in den 1930er Jahren), von Müller (1948) aus den 1940er Jahren und (bereits mit geringem Einfluss von Dünger) von Krause (n.p.) aus dem Wiesental-Gebiet (frühe 1950er Jahre) sowie von Schuhwerk (Originalaufnahmen n.p.: 1973–75) aus dem zentralen Hotzenwald bei Ibach eingefügt worden. Aus den zur Verfügung stehenden Originalaufnahmen von Krause und Schuhwerk wurde eine Auswahl nach den oben formulierten Kriterien zusammengestellt (Kap. 5.1): Repräsentation von „typicum“ und „trifolietosum“-Beständen zur Abbildung der gesamten Assoziation, keine starken Zwergstrauch- oder Adlerfarn-Dominanzen. Die Flächengröße der Plots von Krause ist nicht bekannt, die von Schuhwerk liegt bei ca. 20 m^2/Plot (vergleichbar denjenigen von

Schwabe-Braun 1979a). Die 34 Aufnahmen von Krause repräsentieren Gebiete, die vor allem zwischen 800 und 900 m ü. M. liegen (mittlere Höhe 850 m). Die eigenen Aufnahmen liegen im Mittel bei 970 m (SW-S) bzw. 940 m (SE-S), inkludieren aber im SW-S Aufnahmegebiete von Krause. Für einige Auswertungen im Vergleich zu Krause wurde aus den eigenen Aufnahmen ein Sub-Datensatz „Wiesental und Randgebiete“ gebildet (1aa, bzw. 1bb: 22 Aufnahmen, mittlere Höhe 885 m; siehe „Abkürzungen und Erläuterungen“).

Die Vergleiche mit den älteren Aufnahmen anderer Autoren dienen nur der groben Orientierung zur möglichen Veränderung der Typen; ein ähnlich genauer Vergleich wie bei den Quasi-Dauerflächen der Typen 1a, b und 2 a, b ist nicht möglich, zumal die Kopfdaten der Aufnahmen mit Angaben zur Exposition u.a. teilweise nur fragmentarisch vorliegen.

Die Einordnung von Zielarten geschah in Anlehnung an Oberdorfer (1957, 1978), Schwabe-Braun (1980a) und Oberdorfer (2001) und umfasst Nardetalia-/Violion caninae-Arten und Differentialarten.

Anhand der Stetigkeitstabelle werden die Veränderungen der Artenstruktur im Vergleich 1977–78 und 2016–20 vorgestellt, wobei Stetigkeitsunterschiede von > 15 % in den beiden Zeitfenstern markiert sind und diese Veränderungen dann vor allem für ökologisch einheitliche Gruppen betrachtet werden. Ein statistischer Test jeder einzelnen Art bezüglich der Zu- oder Abnahme kann zu Zufalls-Signifikanzen führen, daher werden Tests vor allem auf Artengruppen (z.B. Nährstoffzeiger) oder Deckungen (siehe Kap. 6.4) bezogen.

5.3 Zielarten-Ratio (Target Species Ratio)

Ein komprimiertes Maß für die typische Ausbildung von gefährdeten Rasengesellschaften ist der Zielarten-Index (TSR), der zuerst für gefährdete Sandrasen etabliert wurde (Eichberg et al. 2010). Hierbei wird die Zahl der Zielarten (siehe Kap. 5.2) durch die Zahl aller Arten dividiert (spezifisch für jede pflanzensoziologische Aufnahme). Wir verwenden den qualitativen Index, dem die Frequenz der Arten zugrunde liegt, entsprechend dem Vorgehen bei den Ellenberg-Indikatorwerten (siehe unten). Für die statistische Prüfung wurde der Wilcoxon-Paardifferenztest eingesetzt (siehe Kap. 5.5).

5.4 Strukturelle Parameter und Ellenberg-Indikatorwerte

Die Umrechnung der Deckungen aus den Originalaufnahmen in eine Prozentskala erfolgte nach Eichberg et al. (2010): r = 0,1 %, + = 0,3 %, 1 = 1 %, 2m = 3 %, 2a = 9 %, 2b = 19 %, 3 = 38 %, 4 = 63 %, 5 = 88 % Deckung.

Für die Parameter Stickstoff/Nährstoffe, Reaktion, Licht und Temperatur wurden die ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg (Ellenberg-Indikatorwerte; siehe Ellenberg et al.

2001 und Ellenberg & Leuschner 2010, Kap. 27) berechnet. Das ökologische Verhalten in Bezug auf einen Standortfaktor wird als Ziffer 1 bis 9 ausgedrückt: Bei der **Stickstoff-/Nährstoffzahl (N)** bedeutet die Ziffer 1: nährstoffarme Standorte anzeigend, Ziffer 9 heißt: starke Eutrophierung anzeigend. Bei **Reaktion (R)** bedeutet 1: Starksäurezeiger und 9: starker Basenzeiger; bei **Licht (L)** bedeutet 1: Tiefschattenpflanze, 9: Pflanze wächst im vollen Licht.

Der **Temperatur-Indikatorwert** wurde zwar berechnet; es gibt aber bei den verwendeten Aufnahmen nur 45 eingestufte gegenüber 62 indifferenten Arten, so dass wir diese Werte nicht einbeziehen (Gefahr von Scheinsignifikanzen); siehe zu den indifferenten Arten für die anderen berechneten Indikatorwerte Kap. 6.5, 6.6.

Die Zeigerwerte für Weideverträglichkeit und Tritt (Dierschke & Briemle 2002) sind für Borstgrasrasen sehr unvollständig, da sie vor allem für das Kulturgrasland entwickelt wurden. Feuchte-Indikatorwerte ko-variieren mit N-Indikatorwerten (Chytrý et al. 2009). Kryptogamen (Moose, Flechten) und Gehölz-Jungwuchs wurden generell ausgeschlossen für die Berechnung. Bei den Moosen gibt es keine N-Werte wegen der Unsicherheit der Daten, und die Vorkommen von Gehölzen sind nicht verwendbar, da sich die Indikator-Werte auf ausgewachsene Individuen und nicht – wie in unseren Aufnahmen – auf oft kurzlebigen Jungwuchs beziehen.

Die Zeigerwerte sind immer wieder hinterfragt worden, dennoch geben sie einen ersten Überblick über eingetretene Änderungen, wenn sie auch Messungen nicht ersetzen können. Besonders vorsichtig müssen die N-Werte interpretiert werden, da die Datensicherheit z.T. kritisch zu beurteilen ist (Diekmann 2003); das trifft jedoch z.B. nicht für die in der Stetigkeitstabelle klassifizierten Nährstoffzeiger zu. Der hier verwendete qualitative Ansatz, der nur die Frequenz der Arten berücksichtigt, wird von verschiedenen Autoren als zielführend benannt, z. B. von Böcker et al. (1983), Diekmann (2003) und Chytrý et al. (2009).

Für die Feststellung von signifikanten Unterschieden wurde der Wilcoxon-Paardifferenztest verwendet (siehe Kap. 5.5).

5.5 Multivariate Analyse und statistische Tests

Für die Analyse der Vegetationsveränderungen kamen multivariate Ordinationen mit dem Programm PC-ORD 6.0 für Windows zum Einsatz (McCune & Mefford 2011). Die 2 x 60 Aufnahmen der beiden untersuchten Zeitfenster wurden mit dem vollständigen Arteninventar zugrunde gelegt mit Ausnahme der Gehölze. Die juvenil auftretenden Gehölze, die oft nur eine sehr geringe Lebensdauer haben und die Bedingungen eines Standortes dann nicht widerspiegeln, haben nur geringen Aussagewert und können die Ordination verzerren.

Für die multivariate Behandlung sind die Braun-Blanquet-Werte in eine Ordinalskala (0–9) transformiert worden. Danach wurde eine Korrespondenzanalyse (Detrended Correspondence Analysis, DCA) mit den Einstellungen „downweight rare species“, „rescale axes“ und „number of segments = 26“ durchgeführt. Die grafische Darstellung erfolgte mit den ursprünglichen Einheiten („raw data“). Die Skalierung der 1. und 2. Achse der Ordinationsdiagramme erfolgte in Einheiten der Standardabweichung (1 SD = 100 Einheiten). Bei einem Abstand von etwa 4 SD erfolgt ein vollständiger Wechsel in der Artenzusammensetzung (Hill & Gauch 1980). Neben den Eigenwerten („eigenvalues“) wurden die Prozentsätze der erklärten Varianz (after-the-fact evaluation, Distanzmaß Sørensen [Bray-Curtis]) berechnet. Zusätzlich führten wir auch Ordinationen nur mit Präsenz-Absenz-Werten durch, die jedoch keine wesentlichen Abweichungen im Vergleich zu denjenigen mit Ordinalskala erbrachten. Diese Ordinationen sind aus Platzgründen nicht in diese Publikation integriert worden.

Die Ordinationen wurden zunächst für den gesamten Datensatz, dann getrennt für den SW-S und den SE-S (Plots und Arten) durchgeführt. Im Artendiagramm sind als Vektoren die Zahl der Nährstoffzeiger pro Plot, die der „Zielarten-Ratio (TSR) pro Plot und der Deckung von *Agrostis capillaris* pro Plot eingetragen.

Die Unterschiede verschiedener Parameter zwischen den beiden Zeitfenstern (TSR, Deckung von *Agrostis*, *Pleurozium* und *Rhytidiadelphus squarrosus*, Mittlere Zahl Nährstoffzeiger, Nährstoffzahl Ellenberg) wurden anhand von Boxplots dargestellt (Boxplot-Funktion; R Core Team 2019). Der untere und der obere Bereich der Box zeigt das 25. und das 75. Perzentil (unteres Quartil und oberes Quartil) und der Balken den Median (das 50. Perzentil) an. Die Enden der vertikalen Linien charakterisieren die minimalen und maximalen Datenwerte. Die „outliers“ werden einzeln mit „o“ aufgetragen.

Die statistische Prüfung der Daten wurde mit dem Wilcoxon-Paardifferenztest (Hedderich & Sachs 2012) jeweils im Vergleich der alten und neuen Originalaufnahmen durchgeführt (R-Paket „coin“, version 1.3-1); siehe Hothorn et al. (2019). Die Ordinations- und Boxplot-Diagramme wurden mit dem Zeichenprogramm Eazy Draw 9.6.1 optimiert.

5.6 Spontane Sukzession von Borstgrasrasen

Für manche Fragestellungen ist es wichtig, Kenntnisse zur spontanen Sukzession von Borstgrasrasen zu haben. Es gibt im aufgelassenen Weidfeld Flüh bei Schönau i. Sch. (Wiesental) im „Bannwald Flüh“ 4 gezäunte (Wildausschluss) und 4 nicht gezäunte (jeweils paarweise angeordnete) Dauerflächen (à 19 m^2, 600–700 m ü. M.). Eine der nicht gezäunten Flächen besteht seit 1976 (Fläche 2 n, Schwabe-Braun 1979c), die anderen wurden 1996 angelegt und seitdem regelmäßig mit pflanzensoziologischen Aufnahmen dokumentiert. Dieser Datensatz wurde bis zum Jahre 2014 einschließlich mit den kompletten Aufnahmen publiziert (Schwabe & Kratochwil 2015). Zwei weitere Jahre (2016

und 2019) konnten inzwischen hinzugefügt werden. Hier geben wir diesen Datensatz verkürzt wieder, beginnend mit dem 1. Jahr und endend mit den bisher noch nicht publizierten Daten der Jahre 2016 und 2019. Eine Rinderbeweidung fand seit den 1950er Jahren nicht mehr statt, aber die Fläche wird von Rehwild und Gämsen genutzt, vor allem im Winter. Auf den gezäunten Probeflächen wurde dieser Effekt für inzwischen gut 20 Jahre ausgeschlossen. Ansonsten gibt es keine gezäunten Flächen zum Studium der spontanen Sukzession in Borstgrasrasen im Schwarzwald; nicht gezäunte Probeflächen von Schreiber (1986) in einer Flügelginster-Weide bei Schönau werden zum Vergleich einbezogen.

6 Ergebnisse

6.1 Floristische Struktur der Flügelginster-Weiden (Festuco-Genistelletum sagittalis)

Die Analyse der Stetigkeitstabelle (Tab. 1) zeigt die folgenden Ergebnisse:

In der **Gruppe a (Zielarten Nardetalia)** zeigen sich in **Gruppe a1** starke Rückgänge zwischen Z I (Spalten 1a, 2a) und Z II (Spalten 1b, 2b), insbesondere bei den Nährstoffliehenden Pionierarten *Antennaria dioica* und *Jasione laevis* (Abb. 7). Beide Arten sind auf den Weidfeld-Plots aktuell nicht mehr gefunden worden. Auch *Polygala serpyllifolia* nahm insbesondere im SW-S ab; etwas geringer waren die Verluste bei der ebenfalls niedrigwüchsigen *Viola canina*, der Kennart des Unterverbandes Violenion caninae. *Cuscuta epithymum* (Abb. 8) zeigte ebenfalls Abnahmen; hier kann jedoch jährliche Fluktuation eine Rolle spielen (siehe Kap. 7.1.2). Die alten Aufnahmen aus den 1930er und 1940er Jahren (Spalten A, B) weisen hohe Stetigkeit von *Antennaria dioica* von 71–83 % auf. *Arnica montana* (Abb. 5, 9) konnte sich im SW-S mit Stetigkeiten in 1b von 56 % gegenüber 69 % in 1a (50 % gegenüber 68 % im Datensatz 1bb, 1aa) halten. Im SE-S gab es Rückgänge von 38 % auf 21 %. *Danthonia decumbens* fehlte im Z II in den Plots, wurde aber im Gebiet Gießhübel-Schauinsland noch außerhalb der Aufnahmeflächen gefunden. In der **Gruppe a2**, Spalten 1b und 2b sind Arten zusammengestellt mit Zunahmen, darunter auch die Art der Vorwarnliste *Dianthus deltoides* im SE-S (siehe Tab. A1), die im Z I zwar vertreten war in den Gebieten, nicht aber in den Plots. Bemerkenswert ist die Zunahme von *Centaurea nigra*, die von der sukzessiven Beweidung von Parzellen (Staffelbeweidung) profitiert (Tritt-Empfindlichkeit der Art nach Dierschke & Briemle 2002).

Bei den sonstigen Zielarten (**Gruppe a3**) zeigen sich keine gravierenden Veränderungen. Die auch im Z I in den Plots seltene Rote Liste-Art *Thesium pyrenaicum* (Abb. 9) fehlte zwar im Z II in den Plots, wurde aber z.B. im SW-S im Umkreis der Aufnahmen 10b, 11b gefunden. Insgesamt ist die floristische Struktur der Zielarten in Gruppe a3 beim Vergleich der Spalten 1a, b und 2a, b nicht stark verändert.

Tab. 1: Stetigkeitstabelle der vergleichenden pflanzensoziologischen Aufnahmen des Festuco-Genistelletum sagittalis im Schwarzwald 1977–78 (Schwabe-Braun 1980a) und 2016–20 (Schwabe n.p.); Spalten 1a, 1b (südwestlicher Schwarzwald: SW-S), Spalten 2a, 2b (Südöstlicher Schwarzwald und Südost-Abdachung Mittlerer Schwarzwald: SE-S). Zum Vergleich sind weitere Aufnahmen aus dem Südschwarzwald mit Aufnahmezeitpunkten von den 1930er Jahren bis 1973–75 angefügt (Spalten A–D). Spalten 1a, 1b; 2a, 2b: Abnahmen zwischen a und b > 15 %: **Wert** oder **0** fett und unterstrichen, Spalte b grau hinterlegt; bei Zunahme: weiß hinterlegt und ebenfalls fett und unterstrichen. Die Werte in der Tabelle (Prozente) beziehen sich auf die jeweilige Zahl der Aufnahmen pro Spalte (= 100 %) und die Stetigkeit einer spezifischen Art in diesen Aufnahmen.
Tab. 1: Presence table of the comparative phytosociological relevés of the Festuco-Genistelletum sagittalis in the Black Forest 1977–78 (Schwabe-Braun 1980a) and 2016–20 (Schwabe n.p.); columns 1a, 1b (SW Black Forest: SW-S), columns 2a, 2b (SE Black Forest: SE-S). For comparison, further relevés from the southern Black Forest are included: from the 1930s until 1973–75 (columns A–D). Columns 1a, 1b; 2a, 2b: decreases between a and b > 15 %; **value** or **0** bold and underlined, column b grey background; in the case of increases: white background and also bold and underlined. Percentages refer to the number of relevés (= 100 %) of each single column and the presence of the specific species in these relevés.

Autor	Bart.	Müller	Krause	Schu.	Schw.	Schw.	Schw.	Schw.
Spaltencode	A	B	C	D	1a	1b	2a	2b
Naturraum	Süd-S	Süd-S	Wiese	Hotz.w.	SW-S	SW-S	SE-S	SE-S
Zeiträume: 1930er Jahre bis 2016–2020	1930er	1940er	1950er	73–75	77–78	16–20	77–78	16–20
Zeitraum (Kürzel)	-	-	-	-	Z I	Z II	Z I	Z II
Höhenlage ü. M. unterer Wert	950-	500-	800-	1000-	730-	730-	800-	800-
Höhenlage ü. M. oberer Wert	1080	1130	1100	1100	1140	1140	1000	1000
Zielarten Ratio (TSR) Mittel (optimal um 0,6)	x	0,52	0,48	0,48	0,44	0,35	0,49	0,42
TSR optimale (höchste) Werte/Plot	x	0,64	0,69	0,63	0,63	0,59	0,64	0,59
TSR niedrigste Werte/ Plot	x	0,4	0,3	0,39	0,26	0,13	0,37	0,16
Mittl. Zahl Nährstoffzeiger/Plot	1,0	0,4	1,8	2,2	2,7	6,5	2,5	4,3
Max. Zahl Nährstoffzeiger/Plot	2	4	6	6	7	12	5	8
Ellenberg-Indikator-wert Licht Mittel	x	7,4	6,8	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8
Ellenberg-Indikator-wert Reaktion Mittel	x	3,2	3,2	3,1	3,3	3,7	3,1	3,2
Ellenberg-Indikator-wert Nährstoffe Mittel	x	2,2	2,7	2,6	2,8	3,2	2,7	2,9
Mittlere Artenzahl	x	x	x	21,1	25,1	26,4	23,9	24,6
Zahl der Aufnahmen	6	7	34	10	36	36	24	24

Spaltencode	**A**	**B**	**C**	**D**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**
a Zielarten Nardetalia					**Vergleich**		**Vergleich**	
a1 Rückgänge > 15 % 1a-b und/od. 2a-b								
Viola canina	33	29	26	40	61	**33**	33	**17**
Arnica montana	50	43	56	60	69	56	38	**21**
Galium saxatile	67	29	76	90	86	**53**	88	**63**
Cuscuta epithymum	50	29	-	30	17	25	29	**13**
Luzula campestris agg.	-	57	56	40	72	**22**	71	**38**
Antennaria dioica	83	71	24	10	17	**0**	4	-
Danthonia decumbens	67	-	44	30	22	**0**	13	21
Polygala serpyllifolia	50	-	3	-	42	**3**	25	13
Galium pusillum (= pumilum)	-	-	9	-	28	**11**	8	-
Jasione laevis	50	-	-	-	-	-	21	**0**
a2 Zunahmen > 15 % 1a-b und/od. 2a-b								
Hieracium pilosella	83	71	74	60	53	**69**	75	83
Veronica officinalis	50	29	62	70	67	69	67	**83**
Carex pilulifera	-	-	62	60	33	**50**	50	50
Pimpinella saxifraga	-	14	12	-	11	**31**	17	21
Centaurea nigra	-	-	3	-	3	**19**	17	**38**
Dianthus deltoides	-	-	-	-	-	3	-	**25**
a3 Sonstige Zielarten								
Calluna vulgaris	100	86	82	70	50	39	71	71
Carlina acaulis	100	86	29	10	36	28	33	21
Festuca nigrescens	100	29	76	100	92	100	100	100
Genista sagittalis	100	100	100	100	94	89	100	96
Meum athamanticum	17	29	6	30	28	31	63	71
Nardus stricta	100	71	21	80	61	56	96	92
Potentilla erecta	83	57	97	100	92	89	96	88
Polygala vulgaris	-	57	29	30	17	14	13	-
Genista pilosa	50	-	6	-	11	3	-	-
Jasione montana	-	29	12	-	6	-	4	-
Carex caryophyllea	17	-	-	-	3	8	-	-
Genista anglica	-	-	21	-	17	14	-	-
Hieracium lactucella	-	-	3	-	-	6	-	-
Lathyrus linifolius	-	-	-	-	3	6	-	-

Spaltencode	**A**	**B**	**C**	**D**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**
Succisa pratensis	-	-	-	-	3	3	-	-
Carex pallescens	-	-		-	6	-	4	-
Dianthus sylvaticus (= seguieri)	33	-	-	-	-	-	-	-
Gentianella campestris	-	14	-	-	-	-	-	-
Lycopodium clavatum	-	-	3	-	-	-	-	-
Carex leporina	-	-	-	-	3	-	-	-
Pedicularis sylvatica	-	-	-	-	-	-	4	-
Thesium pyrenaicum	-	-	-	-	-	-	4	-
b Nährstoffzeiger/ schwache Nährst.z.								
b1 Zunahmen > 15 % 1a-b und/od. 2a-b								
Plantago lanceolata	33	29	38	20	61	75	33	**83**
Euphrasia officinalis agg.; A: sp.,C: incl. sp.	33	14	18	50	17	**47**	8	8
Rhinanthus minor	-	14	3	10	6	**39**	4	**21**
Trifolium pratense	-	14	26	20	31	**64**	25	29
Stellaria graminea	-	-	12	-	22	**44**	50	58
Hypochaeris radicata	-	-	-	-	6	**39**	4	**29**
Ranunculus acris	-	-	-	-	19	**64**	17	**33**
Scorzoneroides autumnalis	-	-	-	-	11	**28**	4	4
Taraxacum sect. Ruderalia	-	-	3	-	3	**28**	-	**29**
Cerastium holosteoides	-	-	12	-	3	**31**	-	-
b2 Sonst. Nährstoff-zeiger/schwache N.								
Trifolium repens	33	29	35	40	42	56	33	33
Alchemilla vulgaris agg.	17	14	-	-	6	11	17	29
Rumex acetosa	-	-	15	-	36	42	33	29
Prunella vulgaris	17	-	-	-	3	6	-	
Heracleum sphondylium	-	-	-	-	3	14	-	8

Spaltencode	**A**	**B**	**C**	**D**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**
Poa pratensis	-	-	-	-	3	11	-	13
Dactylis glomerata	-	-	-	-	-	8	8	13
Phleum pratense	-	-	-	-	-	3	4	8
Pimpinella major	-	-	-	-	3	8	-	
Vicia sepium	-	-	-	-	-	6	4	-
Cynosurus cristatus	-	-	-	-	-	11	-	-
Arrhenatherum elatius	-	-	-	-	-	6	-	-
Galium album	-	-	-	-	-	8	-	-
Holcus lanatus	-	-	-	-	-	3	-	-
c Sonstige (Zu-, Abnahmen > 15 %)								
Agrostis capillaris	83	14	97	100	94	100	100	100
Achillea millefolium agg.	17	43	26	30	72	81	50	**67**
Anthoxanthum odoratum	33	71	65	80	83	**61**	67	71
Vaccinium myrtillus	67	71	53	90	61	**33**	71	58
Campanula rotundifolia	83	14	24	80	53	53	58	54
Deschampsia flexuosa	33	29	79	90	83	**44**	79	71
Teucrium scorodonia	33	14	74	20	17	17	4	13
Vaccinium vitis-idaea	17	29	3	70	8	3	25	25
Thymus pulegioides	100	43	29	20	61	67	38	50
Silene nutans	33	-	21	20	14	8	13	4
Holcus mollis	17	-	68	10	47	**28**	4	**25**
Briza media	-	57	3	-	8	11	50	38
Leucanthemum vulgare agg.	-	43	9	-	8	14	21	21
Lotus corniculatus	-	29	15	10	39	44	-	**21**
Hypericum perforatum	-	-	24	20	28	42	13	**33**
Veronica chamaedrys	-	-	18	20	42	44	21	33
Rumex acetosella	-	-	24	-	39	36	21	**46**
Knautia arvensis	-	-	6	-	8	17	13	8
Deschampsia cespitosa	-	-	3	-	3	11	17	17
Leontodon hispidus	-	-	6	-	11	**28**	8	17

Spaltencode	**A**	**B**	**C**	**D**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**
Luzula luzuloides	-	-	3	-	11	8	17	**0**
Fragaria vesca	-	-	15	10	8	6	-	4
Hieracium lachenalii	-	-	-	20	14	8	33	**13**
Poa chaixii	-	-	6	-	22	28	8	-
Ranunculus poly-anthemos subsp. nemorosus	-	-	3	-	17	3	-	4
Gnaphalium sylvaticum	17	-	6	-	3	-	-	-
Platanthera bifolia	-	-	18	-	8	3	-	-
Euphorbia cyparissias	-	-	12	-	3	6	-	-
Genista tinctoria	-	-	12	-	3	3	-	-
Ranunculus bulbosus	-	-	3	-	3	11	-	-
Silene vulgaris (= cucubalus)	-	-	3	10	6	-	-	-
Bistorta officinalis	-	-	3	-	6	-	-	-
Hieracium laevigatum	-	-	-	10	3	6	-	-
Melampyrum pratense	-	-	-	10	-	3	4	-
Cirsium palustre	-	-	-	-	-	6	8	8
Hieracium sp.	50	-	3	-	-	-	-	-
Solidago virgaurea	-	-	15	-	-	3	-	-
Atocion rupestre (= Silene rupestris)	-	-	3	-	-	3	-	-
Festuca ovina agg.	-	-	-	-	3	3	-	-
Lupinus polyphyllus (invasive Art!)	-	-	-	-	-	3	-	8
d Moose (Zu-, Ab-nahmen > 15 %)								
Pleurozium schreberi	100	43	74	80	67	**25**	79	**58**
Rhytidiadelphus squarrosus	-	-	12	30	19	**56**	21	8
Hylocomium splendens	17	14	9	-	-	8	4	4
Polytrichum formosum	67	-	26	-	14	-	13	**33**
Pseudoscleropodium purum	-	-	-	-	3	6	4	13
Dicranum scoparium	50	-	3	10	-	-	-	-

Spaltencode	**A**	**B**	**C**	**D**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**
Ceratodon purpureus	-	-	-	-	3	6	4	-
Brachythecium albicans	-	-	-	-	3	-	4	4
Rhytidiadelphus triquetrus	17	-	3	-	-	-	-	-
e Gehölze (zumeist juvenil), Rubus								
Picea abies	17	57	41	10	8	11	29	21
Sorbus aucuparia	33	-	15	10	28	17	25	17
Juniperus communis Str	33	71	26	-	11	-	13	17
Fagus sylvatica	17	-	9	-	3	8	4	-
Rubus idaeus	17	-	-	-	-	8	4	4
Acer pseudoplatanus	-	-	-	-	19	22	4	17
Rubus fruticosus agg.	-	14	6	-	-	3	-	-
Prunus spinosa	-	-	-	-	3	8	4	-
Populus tremula	17	14	-	-	-	-	-	-
Salix caprea	17	-	-	-	-	3	-	-
Pinus sylvestris	-	29	-	-	-	-	4	-
Betula pendula	-	14	-	-	-	-	-	4
Prunus avium	-	-	3	-	3	-	-	-
Corylus avellana	-	-	3	-	-	-	4	-
Sorbus aria	-	-	-	-	6	6	-	-
Rosa canina	-	-	-	-	-	11	8	-

Sonstige (Spalte), %: (A) Pteridium aquilinum 33, M Polytrichum piliferum 17, M Rhytidiadelphus loreus 33; (B) Ajuga reptans 29, Anemone nemorosa 14, Carlina vulgaris 14, Platanthera chlorantha 29, M Polytrichum juniperinum 14, Racomitrium canescens 14, Sarothamnus scoparius 14; (C) Linaria vulgaris 3, M Abietinella abietina 3, M Rhytidium rugosum 6, Pyrus communis 3, Carpinus betulus 3; (1a) Dactylorhiza maculata 8, Trifolium medium 6, M Plagiomnium cuspidatum 6, Acer platanoides 6, Amelanchier ovalis 3; (1b) Cardamine pratensis 3, Epipactis helleborine 6, Galeopsis tetrahit 3, Vicia angustifolia 3; (2a) Melampyrum sylvaticum 4, M Pohlia nutans 4, Frangula alnus 4; (2b) Vicia cracca 4. **Vorkommende Flechten:** (A) Cladonia arbuscula agg., Cladonia sp., Cetraria islandica je 17; (B) Cladonia rangiferina, Cetraria islandica je 14; (C) C. rangiferina 6, Cladonia sp. 9; (D) Cladonia furcata agg.10; (1a) C. arbuscula agg. 3; (1b) C. arbuscula agg. 3; (2a) C. furcata agg. 4, Cladonia sp. 4.

Quellen: Spalte (A) 6 A.: J. & M. Bartsch (1940), Tab. 69, S-Schwarzwald; (B) 7 A.: Müller (1948): Tab. 18, A.1,2,4,5,7,8,11, S-Schwarzwald; (C) 34 A.: Krause (n.p.) weiteres Wiesental-Gebiet; (D) 10 A.: Schuhwerk (n.p.) Hotzenwald; (1a, 2a) 60 A.: Schwabe-Braun (1980a); (1b, 2b) dito Schwabe n.p., aktuelle Vergleichsaufnahmen Südwest- (SW-S), Südost-Schwarzwald (SE-S).

Weitere Erläuterungen:
x: keine Angabe, da Plot-Größe fehlt; bei (A) keine Zuordnung bestimmter Arten zu Plots.

Abb. 7: Die mittlerweile seltene Rote-Liste Art und Pionierpflanze auf nährstoffarmen Substraten *Jasione laevis* wurde nicht mehr in den Plots gefunden, sondern am Rande einer Festuco-Genistelletum-Fläche. SE Schwarzwald, Oberaha, Schluchsee Gebiet, 1000 m ü. M., 30. Juni 2020. **Fig. 7:** The current rare and red-listed pioneer species on nutrient poor substrates *Jasione laevis* was only detected on the edge of a Festuco-Genistelletum stand (in no case in the plots). SE Black Forest, Oberaha, Schluchsee area, 1000 m a.s.l., June 30, 2020.

Die **Gruppen b1, 2** dokumentieren die Nährstoffzeiger. Insgesamt 10 Arten zeigen eine Zunahme von > 15 %, davon 4 sowohl im SW-S als auch im SE-S. 7 Arten (darunter die Fettweiden-Art *Cynosurus cristatus*) traten in den Aufnahmen des SW-S neu auf. In den alten Aufnahmen vor 1976 bis in die 1930er Jahre (Spalten D-A) fehlen 13 dieser Nährstoff-Zeigerarten vollkommen.

In der **Gruppe c** (Sonstige) gab es u.a. folgende Stetigkeitsveränderungen (siehe dazu auch die Diskussion Kap. 7.1.6.): *Anthoxanthum odoratum* und *Holcus mollis* zeigen eine Abnahme im SW-S, ebenso verloren *Deschampsia flexuosa* im SW-S (− 39 %) sowie *Vaccinium myrtillus* (− 28 % SW-S, − 13 % SE-S) an Stetigkeit. Eine der einjährigen Arten ist *Rumex acetosella*, die im SE-S zunahm; die Art nimmt zu bei Bodenstörungen.

Die Einordnung von *Leontodon hispidus* erfolgte bei den „Sonstigen“ und nicht bei den Nährstoffzeigern. Gerade in den höheren Lagen um 1000 m tritt die Pflanze auch an ma-

Abb. 8: Der einjährige Vollparasit *Cuscuta epithymum* (Rote-Liste Art) zeigt ausgeprägte Fluktuationen von Jahr zu Jahr. Als Wirtspflanze dient u.a. *Genista sagittalis*. Geschwend, 750 m ü. M., SW Schwarzwald, 12. Juni 2020.
Fig. 8: The annual holoparasitic species *Cuscuta epithymum* (red-listed) shows pronounced fluctuations from year to year. *Genista sagittalis* serves as host plant, as do other species. Geschwend, 750 m a.s.l., SW Black Forest, June 12, 2020.

geren Stellen auf (siehe Kap. 6.7). Auch Philippi (1989) klassifiziert *L. hispidus* in seinen Aufnahmen aus dem Belchen-Gebiet nicht als Düngezeiger.

Bei den Moosarten (**Gruppe d**) fällt bei den Veränderungen der Stetigkeit das reziproke Verhältnis von *Pleurozium schreberi* (Abnahme) und *Rhytidiadelphus squarrosus* (Zunahme im SW-S, Abb. 10) auf; siehe dazu auch die Unterschiede in der Deckung (Kap. 6.4).

Die Effekte sind besonders stark beim Vergleich mit den Aufnahmen von Krause (n.p.) aus den 1950er Jahren; siehe unten: Datensatz „Wiesental und Randbereiche“. Der verkleinerte Datensatz „Wiesental und Randbereiche“ (**1aa und 1bb**, nicht abgedruckt; 22 A. aus dem Datenpool der 36 Aufnahmen SW-S 1a, b) zeigt eine ähnliche mittlere Höhenlage wie die Flächen von Krause, Spalte C (siehe Kap. 5.2). Die Ergebnisse weichen bei wenigen Arten ab: Die Stetigkeit von *Pimpinella saxifraga* erhöhte sich von 18 % in 1aa auf 50 % in 1bb (gegenüber 11 %, 1a versus 31 %, 1b); *Deschampsia flexuosa* nahm

Abb. 9: Die seltene Art *Thesium pyrenaicum*, (mit kleinen weißen Blüten, zusammen mit *Arnica montana*; beides Rote-Liste Arten) im Festuco-Genistelletum mit sehr gutem Beweidungs-Management im südwestlichen Schwarzwald (Gießhübel nahe Schauinsland, 1080 m ü. M., 30. Juni 2020). **Fig. 9:** The rare *Thesium pyrenaicum* (with small white flowers, together with *Arnica montana*; both red-listed) in a Festuco-Genistelletum stand with good management practice in the south-western Black Forest (Gießhübel near Schauinsland, 1080 m a.s.l., June 30, 2020).

um 50 % in 1bb gegenüber einer Erhöhung um 39 % in 1b ab und *Holcus mollis* um 32 % in 1bb gegenüber 19 % in 1b. Die Stetigkeit von *Rhytidiadelphus squarrosus* nahm um 45 % in 1bb zu (gegenüber 37 % in 1b). Verglichen mit Krause stieg die Stetigkeit von *R. squarrosus* von 12 % (Spalte C) auf 68 % in 1bb, die des Säurezeigers *Pleurozium schreberi* sank von 74 % (Spalte C) auf 27 % in 1bb. *Teucrium scorodonia* erreicht bei Krause (Tab. 1, Spalte C) hohe Stetigkeit (74 %), in unserem 1aa Datensatz: 23 % und bei 1bb: 27 %; siehe dazu Kap. 7.1.6.

In einigen Gebieten des SE-S kommt noch vitaler Jungwuchs von *Juniperus communis* vor, so insbesondere im Schluchsee-Gebiet (**Gruppe e**, Spalte 2b); siehe Abb. 6.

Abb. 10: Inzwischen typischer Aspekt des Festuco-Genistelletum im SW Schwarzwald mit dem Moos *Rhytidiadelphus squarrosus*, das bei stärker eutrophen Bedingungen zunimmt (hier im Bild zusammen mit *Veronica officinalis*, *Galium saxatile*). Münsterhalden, 730 m ü. M., 11. Juni 2020. **Fig. 10:** Current typical aspect of the Festuco-Genistelletum in the south-western Black Forest with the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*, which increased with more eutrophic conditions (in the picture together with *Veronica officinalis*, *Galium saxatile*). Münsterhalden, 730 m a.s.l., June 11, 2020.

6.2 Artendiversität und besonders sensitive Arten

Die mittlere Artenzahl zeigt im Vergleich Z I und Z II keine signifikante Veränderung in der Summe und pendelt im Mittel um 25–26 pro Plot im SW-S (Datensätze 1a, b und 1aa, 2bb) und 24 pro Plot im klimatisch harscheren SE-S (Tab. 2). Bei Schuhwerk (n.p., Aufnahmezeitpunkt 1973–75) im winterkalten Gebiet des zentralen Hotzenwaldes lagen die Werte bei 21 (Tab. 1, Spalte D).

Antennaria dioica konnte im Bereich unserer Plots und in der näheren Umgebung nicht mehr gefunden werden (vormals vorhanden in 5 der verwendeten Aufnahmeflächen aus dem SW-S bei Schwabe-Braun 1980a und in einer Aufnahme n.p.). Bei dem 1989 (Schwabe 1990a) durchgeführten Vergleich mit den *Antennaria*-Flächen von Schwabe-Braun (1980a) wurde noch ein vitales Vorkommen bei Muggenbrunn in einem Gneis-

block-durchsetzten Bereich (Abb. 6) gefunden. Die floristische Struktur 1989 und 2020 geben wir im Folgenden wieder:

Violenion caninae-Bestand, Muggenbrunn Heubühl, 1060 m ü. M., SW, 10°, 6 m^2 (jeweils 1. Wert: 1989, 22 Arten; 2. Wert: 2020, 20 Arten, -- Art fehlte); Deckung Feldschicht 60 %, 75 %; Kryptogamenschicht: 40 %, 30 %.

Zielarten: *Antennaria dioica* 2a, --; Arnica montana 1, 1; *Calluna vulgaris* 2a, 2a; *Carex pilulifera 2m, 2m*; *Carlina acaulis* +, --; *Festuca nigrescens* +, 1; *Galium saxatile* 2m, 2a; *Potentilla erecta* 2m, 2m; *Hieracium pilosella* 1, 2m; *Veronica officinalis* +, +; *Viola canina* 1, --; *Nardus stricta* --, 1; sonstige Arten: *Agrostis capillaris* 2m, 2m; *Deschampsia flexuosa* 2a, 2a; *Vaccinium myrtillus* 2a, 2a; *Anthoxanthum odoratum* 1, --, *Campanula rotundifolia* 1, --; *Euphrasia officinalis* agg. +, --; *Achillea* millefolium --, 2m; *Rumex acetosella* --, 1; *Teucrium scorodonia* --, 1; *Veronica chamaedrys* --,1; Moose: *Pleurozium schreberi* 2a, 2a; *Polytrichum formosum* 2m, 2m; Flechten: *Cladonia rangiferina* 2b, 2b; *Cladonia arbuscula* agg. 2a, 1; *Cetraria islandica* 2m, --.

Der im Jahr 2020 dokumentierte Bestand weist noch *Arnica montana* auf; Düngezeiger fehlen.

Antennaria kommt im montanen Gebiet (außerhalb der hochmontanen Gipfelregionen des Feldberggebietes, Belchen und Kandel) aktuell noch punktuell im Hotzenwald (D. Köppler, in litt., siehe Kap. 2) und ebenfalls punktuell in wenigen anderen Gebieten vor (Regierungspräsidium Freiburg, Abt. Naturschutz und Landschaftspflege, Stand 2018). Die ebenfalls direkt in den Plots nicht mehr aufgefundene schmalblättrige Pionierart *Jasione laevis* (Abb. 7) fanden wir noch an locker bewachsenen Wegrändern im Umfeld von Aufnahmeflächen im Schluchsee-Gebiet. Die kleinblättrige und niedrigwüchsige *Polygala serpyllifolia* ging ebenfalls in unseren Untersuchungsflächen zurück, vor allem im SW-S unterhalb 1000 m (Wiesental-Datensatz 1bb: Rückgang um 41 %); siehe dazu Kap. 7.1.5.

6.3 Zielarten-Ratio (Target Species Ratio)

Im Gegensatz zur reinen Summe der Artenzahl, kann bei der Berechnung der TSR der proportionale Anteil der Zielarten dargestellt werden (Tab. 2). Der TSR sank im SW-S hoch signifikant von 0,44 auf 0,35, im SE-S schwach signifikant von 0,49 auf 0,42 (Tab. 2 und Abb. 11a). Bei den älteren Aufnahmen liegen die Werte bei 0,52 (Müller 1948, 1940er Jahre) und bei 0,48 (Krause, 1950er Jahre und Schuhwerk, 1973–75). Höchste Werte liegen im Z I bei 0,63–0,64 (Maximum bei Müller 1948, 1940er Jahre: 0,64, bei Krause (1950er Jahre) 0,69 und bei Schuhwerk (1973–75) 0,63); Tab. 1. Bei den jüngeren Aufnahmen (Z II) betragen die Maximalwerte 0,59 (Tab. 1, Tab. A2).

Tab. 2: Strukturmerkmale und Ellenberg-Indikatorwerte der pflanzensoziologischen Aufnahmen in den beiden Untersuchungszeiträumen: 1977–78 und 2016–20. Wilcoxon-Paardifferenztest; SE: Standardfehler; n.s.: nicht signifikant; *** hoch signifikant, ** signifikant, * schwach signifikant.
Table 2: Structural characteristics and 'Ellenberg Indicator Values' of the phytosociological relevés in both time windows: 1977–1978 and 2016–2020. Paired exact Wilcoxon rank test in R; SE: standard error; n.s.: no significance; *** highly significant, ** significant, * weakly significant.

	Mit-telw. SE	SW-S Zeitp.1a 1977–78	SW-S Zeitp.1b 2016–20	Zeitp.1a-Zeitp.1b		SE-S Zeitp.1a 1977–78	SE-S Zeitp.1b 2016–20	Zeitp.1a-Zeitp.1b	
Zahl der Aufnahmen:		36	36			24	24		
				p				*p*	
Artenzahl/Plot	Mw	25,1	26,4	0,1640	n.s.	23,9	24,6	0,7560	n.s.
	SE	0,62	0,80			0,91	1,23		
Zielarten/Plot	Mw	10,9	9,3	0,0169	*	11,5	10,2	0,0130	*
	SE	0,40	0,48			0,28	0,51		
Zielarten-Ratio/Plot	Mw	0,44	**0,35**	**≤0,001**	***	0,49	0,42	0,0210	*
	SE	0,02	0,02			0,02	0,02		
Agrostis capillaris	Mw	5,3	**15,8**	**≤0,001**	***	5,1	**12,5**	**≤0,001**	***
mittl. Deckung/ Plot %	SE	0,56	1,76			0,85	1,61		
Deschampsia flexuosa	Mw	13,0	**2,0**	**≤0,001**	***	6,1	5,2	0,3720	n.s.
mittl. Deckung/ Plot %	SE	2,36	1,07			1,24	1,15		
Festuca nigrescens	Mw	13,6	14,5	0,7070	n.s.	9,8	9,1	0,9740	n.s.
mittl. Deckung/ Plot %	SE	2,14	1,78			1,66	1,43		
Nardus stricta	Mw	3,9	5,9	0,1700	n.s.	11,2	9,8	0,5720	n.s.
mittl. Deckung/ Plot %	SE	0,88	1,33			1,12	1,49		
Pleurozium schreberi	Mw	8,1	1,9	**≤0,001**	***	6,7	2,5	0,0110	*
mittl. Deckung/ Plot %	SE	1,48	1,08			1,07	0,87		

	Mit-telw. SE	SW-S Zeitp.1a 1977–78	SW-S Zeitp.1b 2016–20	Zeitp.1a-Zeitp.1b		SE-S Zeitp.1a 1977–78	SE-S Zeitp.1b 2016–20	Zeitp.1a-Zeitp.1b	
Zahl der Aufnahmen:		36	36			24	24		
				p				*p*	
Rhytidiadelphus squarrosus mittl. Deckung/ Plot %	Mw	1,9	**7,0**	**≤0,001**	***	1,1	0,3	0,1250	n.s.
	SE	0,81	1,78			0,52	0,18		
Feldschicht mittl. Deckung/ Plot %	Mw	94,6	94,9	0,8260	n.s.	93,7	94,0	0,7460	n.s.
	SE	0,53	0,59			1,17	0,76		
Kryptogamen-schicht mittl. Deckung/ Plot %	Mw	10,1	9,0	0,4430	n.s.	7,5	4,9	0,0190	*
	SE	1,70	1,92			1,10	0,92		
Zahl der Nährstoff-zeiger/Plot	Mw	2,7	**6,5**	**≤0,001**	***	2,5	4,3	0,0062	**
	SE	0,34	0,45			0,50	0,53		
Nährstoffzeiger mittl. Deckung/ Plot %	Mw	2,9	**7,5**	**≤0,001**	***	2,7	3,0	0,1147	n.s.
	SE	0,66	0,89			0,35	0,23		
Ellenberg Nährstoffzahl/Plot Skala 1-9: N-Flieher-starke N-Zeiger	Mw	2,8	**3,2**	**≤0,001**	***	2,7	2,9	0,0090	**
	SE	0,05	0,06			0,04	0,07		
Ellenberg Reaktionszahl/Plot Skala 1–9: stark sauer-stark basisch	Mw	3,3	**3,7**	**≤0,001**	***	3,1	3,2	0,0740	n.s.
	SE	0,07	0,09			0,05	0,06		
Ellenberg Lichtzahl/Plot Skala 1–9: Schatten-/ Volllichtpflanzen	Mw	6,9	6,9	0,5760	n.s.	6,9	6,9	0,6680	n.s.
	SE	0,03	0,05			0,04	0,04		

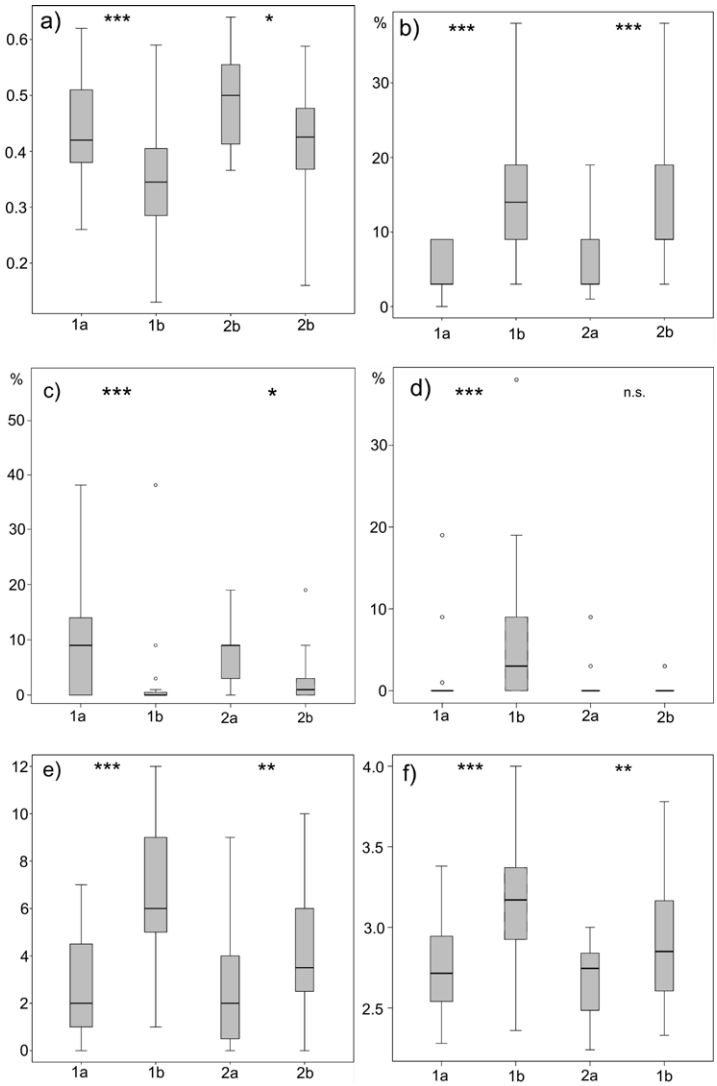

Abb. 11: Box-Plot Diagramme von Struktureigenschaften der verglichenen pflanzensoziologischen Aufnahmen a) Zielarten-Ratio (TSR); b) Deckung von *Agrostis capillaris*; c) Deckung der Moosart *Pleurozium schreberi*; d) Deckung der Moosart *Rhytidiadelphus squarrosus*; e) Nährstoffzeiger; f) Ellenberg-Indikatorwert: Nährstoffe. Die oberen und unteren Teile der Boxes zeigen das 25 % und 75 % Perzentil (unteres und oberes Quartil), der Strich in der Box das 50 %-Perzentil. Anfang und Ende der vertikalen Linie: Minimum- und Maximum-Werte; Ausreißer: ‚o'; 1a, b: SW Schwarzwald, 36 Plots; 2a, b: SE Schwarzwald: 24 Plots; a: Zeitfenster 1977–1978, b: 2016–2020.
Fig. 11: Box plot diagrams of structural characteristics of the compared relevés. a) Target Species Ratio (TSR); b) Cover of *Agrostis capillaris*; c) Cover of the moss *Pleurozium schreberi*; d) Cover of the moss *Rhytidiadelphus squarrosus*; e) nutrient indicator species; f) Ellenberg Indicator Value: nutrients. The lower and upper parts of the boxes show the 25th and 75th percentiles (lower quartile and upper quartile), the bars show the median (50th percentil). Ends of the vertical lines: minimum and maximum values; outliers: 'o'; 1a, b: south-western Black Forest, 36 plots; 2a, b: SE Forest: 24 plots; a: time window 1977–1978, b: 2016–2020.

6.4 Deckung von Arten und Veränderungen anderer Struktur-Parameter

Arten, die höhere Deckungsgrade erreichen, wurden für die beiden Zeitperioden verglichen, darunter auch solche, die sich in den Stetigkeiten für Z I und Z II (Tab. 1) nicht oder kaum unterscheiden (z.B. *Agrostis capillaris, Festuca nigrescens*); siehe Tab. 1. *Agrostis* zeigte sowohl im SW-S als auch im SE-S eine hoch signifikante Zunahme in der Deckung, die nun, ausgehend von im Mittel 5 % pro Plot in den Jahren 1977/78, im Mittel bei 13 % im SE-S und 16 % im SW-S liegt (Tab. 2, Abb. 11 b). *Deschampsia flexuosa* nahm im SW-S in Z II hoch signifikant in der Deckung ab; *Festuca nigrescens* und *Nardus stricta* zeigten keine Veränderungen in der Deckung (Tab. 2). Die beiden Moose *Pleurozium schreberi* und *Rhytidiadelphus squarrosus* veränderten ihre Deckung in einem reziproken Verhältnis: *P. schreberi* nahm hoch signifikant ab im SW-S und schwach signifikant im SE-S, *R. squarrosus* nahm im SW-S hoch signifikant zu (Tab. 2, Abb. 11 c, d).

Die Deckungen von Feld- bzw. Kryptogamenschicht (Moose, Flechten) änderten sich nicht oder kaum (schwach signifikante, geringfügige Abnahme der Deckung der Kryptogamen im SE-S); siehe Tab. 2.

6.5 Nährstoffzeiger und Ellenberg-Indikatorwert N (Stickstoff, Nährstoffe)

Die mittlere Zahl der Nährstoffzeiger pro Plot erhöhte sich von 2,7 auf 6,5 im SW-S (hoch signifikant) und in geringerem Maße (signifikant) von 2,5 auf 4,3 im SE-S (Tab. 2, Abb. 11 e). In den alten Aufnahmen von Müller (1948) liegt der Wert bei 0,4, bei Krause (1950er Jahre) bei 1,8 und bei Schuhwerk (1973–75) bei 2,2 (Tab. 1). Die maximale Zahl von Nährstoffzeigern pro Plot lag im SW-S (Z II) bei 12 gegenüber 7 in Z I (SE-S 5 versus 8) sowie 2 bei Bartsch (1940) (Tab. 1).

Der mittlere EIW Nährstoffe pro Plot erhöhte sich um 0,4 Einheiten von 2,8 auf 3,2 (SW-S, hoch signifikant) bzw. um 0,2 (2,7 auf 2,9: SE-S, signifikant); Tab. 2, Abb. 11 f. In den alten Aufnahmen von Müller (1948) liegt der Wert bei 2,2, bei Krause (1950er Jahre) bei 2,7 und bei Schuhwerk (1973–75) bei 2,6 (Tab. 1). Die Zahl der von Ellenberg et al. (2001) eingestuften Arten liegt hier bei 92 versus 15 indifferenten.

Bemerkenswert ist, dass einige Pionierarten mit höheren N-Zahlen (*Carex pilulifera* N3 und *Veronica officinalis* N4 stabil geblieben sind oder zugenommen haben; das trifft auch für *Hieracium pilosella* zu (N2: dieser Wert ist wahrscheinlich von Ellenberg et al. 2001 zu niedrig eingeschätzt worden).

6.6 Ellenberg-Indikatorwerte R (Reaktion) und L (Licht)

Der mittlere EIW Bodenreaktion pro Plot erhöhte sich im SW-S hoch signifikant um 0,4 Einheiten (von 3,3 auf 3,7), im SE-S zeigte sich keine signifikante Veränderung (Tab. 2). Die Zahl der von Ellenberg et al. (2001) eingestuften Arten liegt bei 69 versus 38 indifferenten. Der EIW Licht zeigt keine signifikante Veränderung im Vergleich Z I und Z II bei 99 eingestuften Arten versus 8 indifferenten (Tab. 2). Die mittleren Lichtzahlen liegen bei 6,9 in Z I und Z II. In den alten Aufnahmen von Müller (1948) mit reichlich *Antennaria dioica* (Lichtzahl 8), aufgenommen u.a. in Blasiwald Sommerseite, erreicht der mittlere EIW Licht 7,4 (Tab. 1, Spalte B).

6.7 Multivariate Analyse

In einem ersten Schritt wurde eine Ordination vom **Gesamtmaterial der eigenen Aufnahmen** gemacht (SW-S und SE-S, jeweils Z I und Z II, nicht gedruckt). Die horizontale Achse 1 (Eigenwert 0,1883) umfasst von links nach rechts die SD-Einheiten 0–2,5, die vertikale Achse 2 (Eigenwert 0,0963) die Einheiten 0–1,4. Eine grobe Anordnung wird hier deutlich, indem sich die jüngeren Aufnahmen vom SW-S vor allem entlang der 1. Achse im Bereich zwischen 0 und 1 SD positionieren, die älteren folgen zwischen 1 und 2 SD. In entsprechender Weise sind die Flächen vom SE-W darüber angeordnet (versetzt auf der Achse 1 nach rechts, vor allem im mittleren und oberen Bereich der Achse 2 positioniert). Die Ecktypen der 2 x 60 Aufnahmen werden auf der äußersten linken Seite zwischen 0,8 und 1 SD der Achse 2: Plot 1b (Schönenberg, Dossen: TSR 0,13) und rechts durch die Plots 41a, b (Blasiwald Althütte: TSR 0,57, 0,53) repräsentiert. Plot 1b SW-S und Plot 41a SE-S sind gut 2 SD auf der Achse 1 separiert, was auf einen starken Artenwechsel hinweist. 46,5 % der Varianz im Diagramm wird durch die Achsen 1 und 2 erklärt.

Zur besseren Aufschlüsselung der zeitlichen Entwicklung wurden die Datensätze SW-S und SE-S, die verschiedene Naturräume repräsentieren (siehe Kap. 4), getrennt einer multivariaten Behandlung unterzogen (Abb. 12: SW-S, Plots; Abb. 13: SW-S, Arten; Abb. 14: SE-S, Plots; Abb. 15: SE-S, Arten; siehe auch Tab. A1, A2).

Der **Datensatz SW-S** mit 2 x 36 Aufnahmen (Abb. 12, Plots, Z I und Z II jeweils mit Pfeilen verbunden; Achse 1 und 2 erklären 56,9 % der Varianz) zeigt eine klare Abgrenzung zwischen den rot gefärbten (unten bei 1 SD Achse 1 positionierten) alten Aufnahmen und den oberhalb anschließenden grün gefärbten neuen. Eine entsprechende Abfolge zeigen, nach oben rechts versetzt, die Flächen der oberen mittelmontanen Stufe (A. 8–14; siehe Tab. A2) bei 1100 m ü. M. Fast alle Pfeile zwischen Z I und Z II gehen von rechts unten nach links oben. Die Richtung entspricht den Vektoren in Abb. 13: Zahl der Nährstoffzeiger und Deckung von *Agrostis capillaris* und der Konzentration von grün gefärbten Nährstoffzeigern. Der Vektor in die entgegengesetzte Richtung wird durch die Zunahme

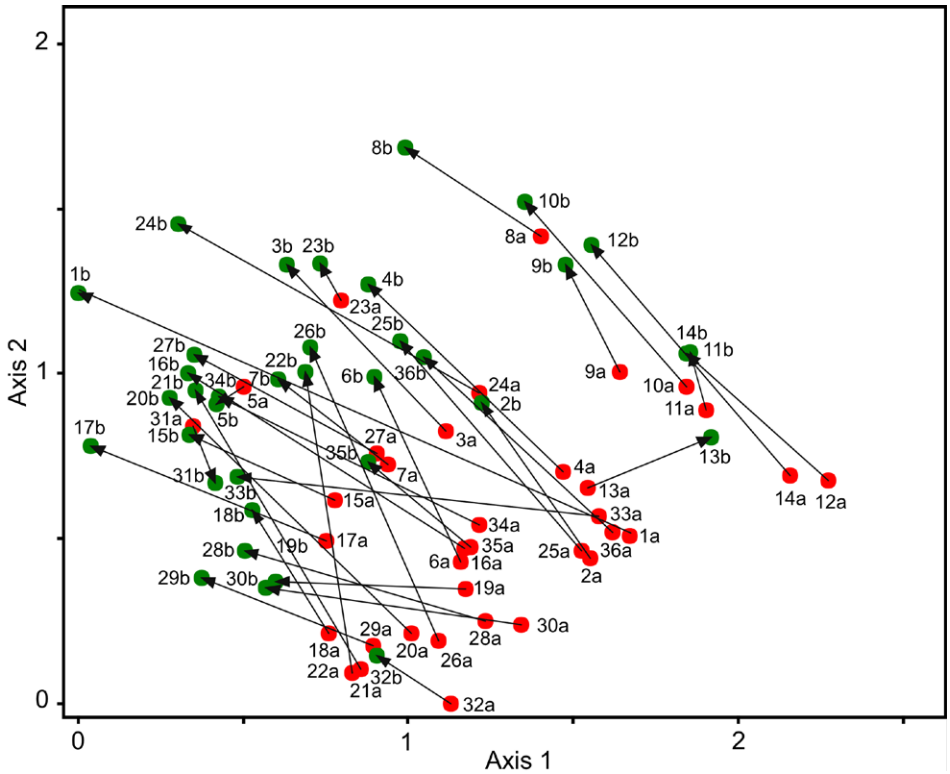

Abb. 12: Detrended Correspondence Analysis (DCA) der pflanzensoziologischen Aufnahmen des Südwest-Schwarzwaldes (36 Plots; rote Punkte: 1977–1978, grüne Punkte: 2016–2020). Eigenvalues: Axis 1: 0,20996, Axis 2: 0,12684. Prozente der Post-Hoc-Varianz nach Sørensen (Bray-Curtis): Axis 1: 36,8 % Axis 2: 20,1 %. Axis 1 und 2 erklären 56,9 % der Varianz. Die Aufnahmen des Zeitfensters a: 1977–1978 und die neuen Aufnahmen b: 2016–2020 wurden durch Pfeile von a nach b verbunden. **Fig. 12:** Detrended Correspondence Analysis (DCA) of the relevés of the south-western Black Forest (36 plots; red dots: 1977–1978, green dots: 2016–2020. Eigenvalues: Axis 1: 0,20996, Axis 2: 0,12684. Percentages of post hoc variance Sørensen (Bray-Curtis): Axis 1: 36,8 % Axis 2: 20, 1 %. Axis 1 and 2 explain 56, 9 % of the variance. The relevés of the time window a: 1977–1978 and the new one b: 2016–2020 are connected with arrows from a to b.

der Zielarten-Ratio hin zu den alten Plots markiert. Im Bereich der Z I-Aufnahmen konzentrieren sich auch inzwischen fehlende (*Antennaria dioica*) oder stark zurückgegangenen Zielarten (z.B. *Polygala serpyllifolia*); Abb. 13. Die Zielart *Pimpinella saxifraga* ist in der linken Hälfte des Diagramms positioniert. Sie gilt im Schwarzwald als Differentialart für die klimatisch wärmeren Bestände des Violenion caninae (Oberdorfer 1978) und hat im Z II zugenommen, insbesondere wenn man nur die Wiesental-Bestände berücksichtigt (siehe Kap. 7.1.5). Die Moose *Pleurozium schreberi* (Rückgang, dunkelrotbraun) und *Rhytidiadelphus squarrosus* (Zunahme, ocker) sind so zugeordnet, wie es in den Kapiteln 6.4, 6.5 ausgeführt wurde. Die höher montan gelegenen Flächen im oberen rechten Teil der Ordination werden u.a. durch die dort konzentrierten Arten *Meum athamanticum, Poa chaixii* sowie *Centaurea nigra* und Feuchtezeiger differenziert. Die dort ebenfalls

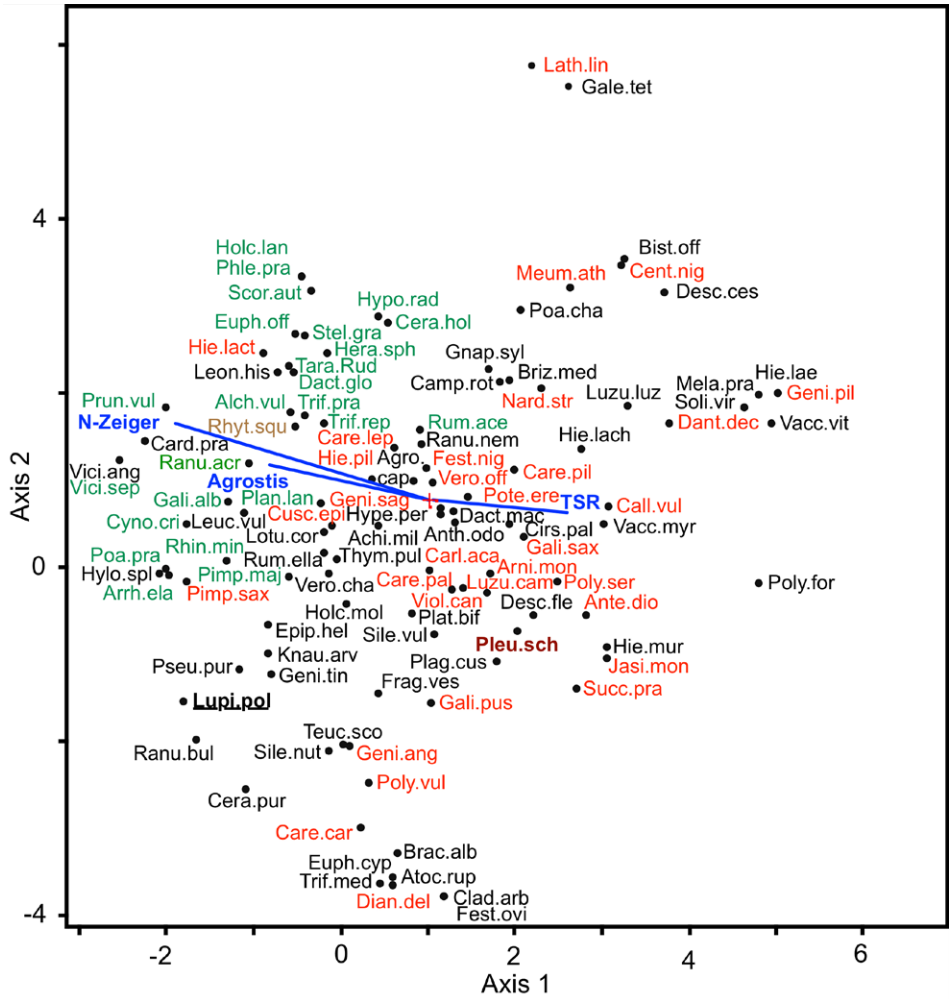

Abb. 13: Darstellung der Arten für die DCA der Abb. 12. Zielarten: rot, Nährstoffzeiger: grün; das azidophytische Moos *Pleurozium schreberi* ist rotbraun gefärbt, die Moosart *Rhytidiadelphus squarrosus* (Indikator höherer Eutrophie) ocker, „Sonstige“ schwarz und die invasive neobionte Art *Lupinus polyphyllus* ist schwarz unterstrichen. Die Deckung von *Agrostis capillaris*, die Zahl der Nährstoffzeiger und die Zielarten-Ratio sind als Vektoren dargestellt (blau). Abkürzungen: s. Tab. A1. **Fig. 13:** Depiction of the species from the same DCA as Fig. 12. Target species: red, nutrient indicator species: green, the acidophytic moss *Pleurozium schreberi* is coloured in red-brown, the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* (indicator of a higher eutrophic level) is coloured in ocher, ‘other species’ in black and the invader *Lupinus polyphyllus* is underlined in black. The cover of *Agrostis capillaris*, the number of nutrient indicator species and the ‘Target Species Ratio’ (TSR) per plot are shown as vectors in blue. For abbreviations, see Table A1.

gemeinsam angeordneten Arten *Genista pilosa* und *Lathyrus linifolius* spiegeln die subatlantische Prägung der südwestlichen Gebiete im Schwarzwald wider, letztere Art tritt jedoch auch noch im Hotzenwald auf (siehe Kap. 6.8).

Auch hier ist wie bei der gemeinsamen Ordination (siehe oben) die Fläche 1b (Schönenberg) mit einem TSR Wert von nur 0,13 ganz links angeordnet. Der Pfeil zur alten Aufnahme geht hier über mehr als 1,5 SD Einheiten und ist der längste von allen. Kurze Pfeile mit demnach relativ geringen floristischen Umschichtungen weisen die Flächen 32 (Geschwender Halde, ehemaliges Zippammer-Brutgebiet) und 11 (Gießhübel Schauinsland) auf. Die Fläche 13 (ebenfalls Gießhübel) hat eine inverse Richtung von links nach rechts. Hier verbesserte sich der TSR-Wert von 0,42 auf 0,59 (Tab. A2). Diese Aufnahme wurde auch in das Kap. 6.8 (aktuelle Aufnahmen praktisch ohne Nährstoffzeiger) integriert.

Die invasive neophytische Art *Lupinus polyphyllus* wurde bisher im SW-S in den Plots nur in Fröhnd gefunden und ist im Bereich der neuen Aufnahmen angeordnet (A. 28b, Abb. 12, 13).

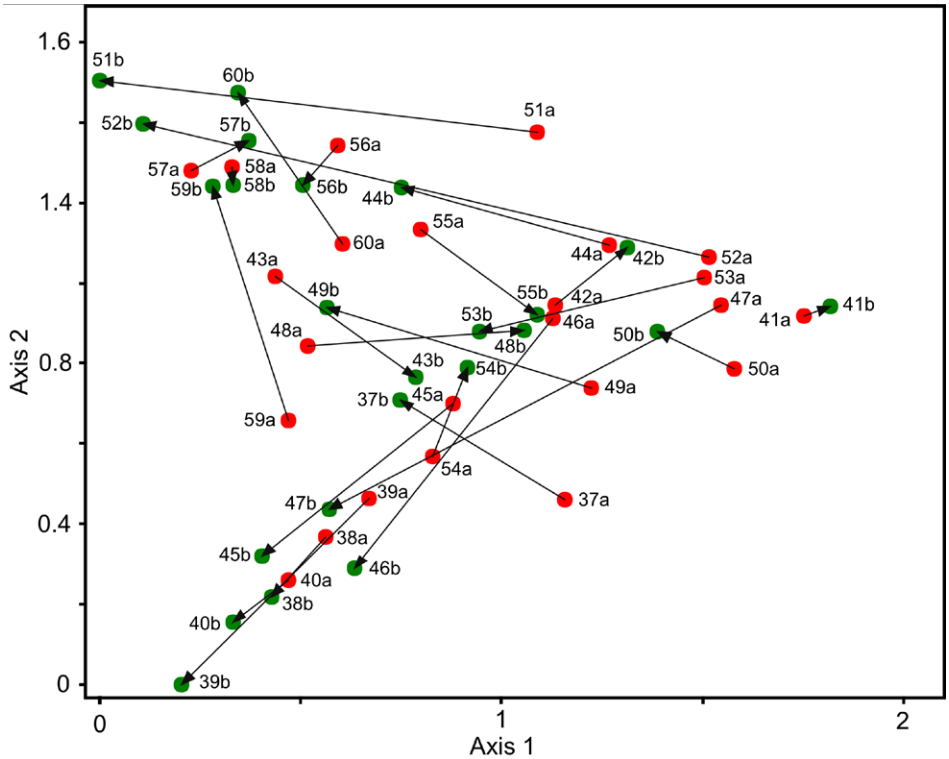

Abb. 14: DCA der pflanzensoziologischen Aufnahmen des südöstlichen Schwarzwaldes (24 Plots; rote Punkte: 1977–1978, grüne Punkte: 2016–2020). Eigenvalues: Axis 1: 0,16506 Axis 2: 2: 0,12544. Prozente der Post-Hoc-Varianz nach Sørensen (Bray-Curtis): Axis 1: 24,9 % Axis 2: 20,7 %. Axis 1 und 2 erklären 45,6 % der Varianz. Die Aufnahmen des Zeitfensters a 1977–1978 und die neuen Aufnahmen b: 2016–2020 wurden durch Pfeile von a nach b verbunden. **Fig. 14:** Detrended Correspondence Analysis of the relevés of the SE Black Forest (24 plots; red dots: 1977–1978, green dots: 2016–2020. Eigenvalues: Axis 1: 0,16506 Axis 2: 2: 0,12544. Percentages of post hoc variance Sørensen (Bray-Curtis): Axis 1: 24,9 % Axis 2: 20,7 %. Axis 1 and 2 explain 45,6 % of the variance. The relevés of time window a: 1977–1978 and the new one b: 2016–20 are connected with arrows from a to b.

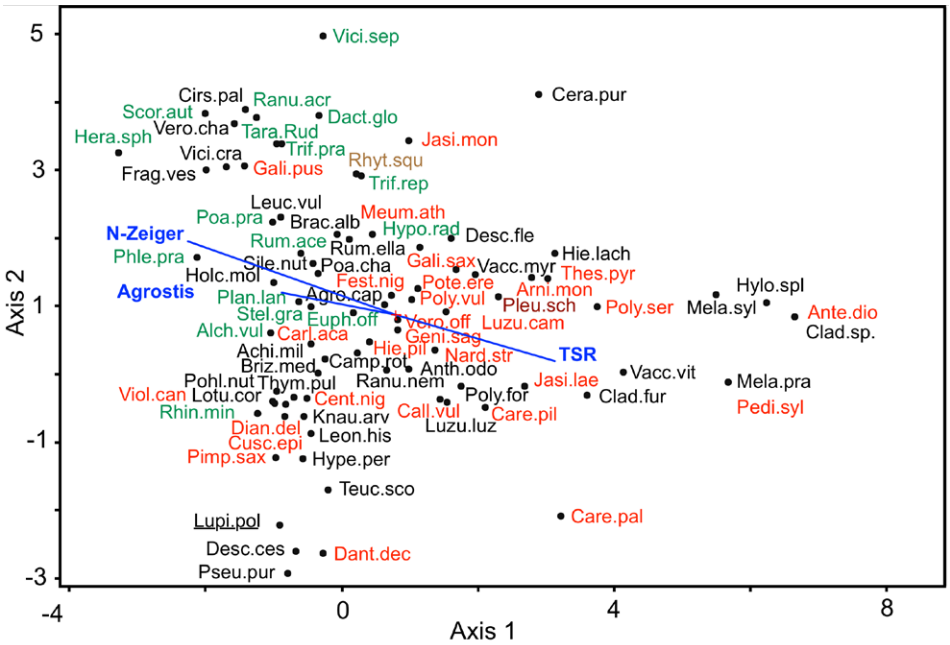

Abb. 15: Darstellung der Arten für die DCA der Abb. 14. Weitere Erläuterungen, s. Abb. 13. **Fig. 15:** Depiction of the species from the same DCA as Fig. 14. For further explanations, see Fig. 13.

Die DCA des **Datensatzes SE-S** (2 x 24 Aufnahmen; Abb. 14 Plots; Abb. 15 Arten; Achse 1 und 2 erklären 45,6 % der Varianz) zeigt Veränderungen auf, die teilweise geringer sind als beim SW-S. Zielarten wie *Pleurozium schreberi* und Nährstoffzeiger wie *Rhytidiadelphus squarrosus* zeigen eine ähnliche Grundstruktur wie in Abb. 12. Im Prinzip befinden sich auch hier die Aufnahmen vom Z I auf der rechten Seite, Z II auf der linken Seite. Entsprechend verlaufen die Vektoren (Abb. 15): Zahl der Nährstoffzeiger und Deckung von *Agrostis capillaris* von der Mitte nach links und bei den TSR-Werten nach rechts in die Richtung der meisten Aufnahmen aus Z I. *Leontodon hispidus* nimmt hier in den stärker montan getönten Beständen des SE-S keine Position zwischen den Nährstoffzeigern ein (siehe Kap. 6.1), wohl aber im SW-S.

Die in den Plots nicht mehr aufgefundenen Arten *Jasione laevis*, *Antennaria dioica* und die inzwischen in Lagen unterhalb 1000 m ü. M. seltene *Polygala serpyllifolia* finden sich rechts in Abb. 15. Es gibt einige Flächen mit inversen Entwicklungen, so z. B. Plot 48 (Schönwald Bühl) mit Verbesserung des TSR von 0,41 auf 0,48; Menzenschwand Hinterdorf (Ziegenweide), Plot 55: TSR von 0,50 auf 0,55; drei Plots in Blasiwald: Sommerseite Plot 43 (TSR von 0,37 auf 0,50) und Althütte Plot 41 (keine Nährstoffzeiger Z I und Z II, TSR ähnlich: 0,57 auf 0,53) und Plot 42 (TSR ähnlich 0,50 auf 0,47, ein Nährstoffzeiger Z II). Die Fläche Blasiwald Althütte (41b) ist die einzige von 60 Flächen vom Z II insgesamt (SW-S, SE-S), die keine Nährstoffzeiger aufweist und hier und auch bei

der Gesamtordination (siehe oben) weit auf der rechten Seite positioniert ist; s. auch Kap. 6.8. Im SE-S stehen *Genista sagittalis* und *Nardus stricta* im Zentrum des Diagramms, wohingegen *Nardus* im SW-S etwas in Richtung der höher gelegenen Flächen verschoben ist (in den niederen montanen Flächen des Wiesentals fehlt die Art oft).

Die neophytische Art *Lupinus polyphyllus* wurde in Bernau Weierle und Bernau-Riggenbach (A. 37, 39) in zwei Plots nachgewiesen und befindet sich links unten in Abb. 15. Dort ist auch *Danthonia decumbens* angesiedelt, die in Bernau häufiger vorkommt.

6.8 Aktuelle Vorkommen von Flügelginster-Weiden (fast) ohne Nährstoffzeiger

Wenige Aufnahmen des Datensatzes 1b, 2b dokumentieren noch heute sehr nährstoffarme Verhältnisse. Sie sind in Tab. 3 als Originalaufnahmen zusammengestellt (A. 13b, Gießhübel SW-S; 41b–43b, Blasiwald Althütte SE-S; siehe Tab. A2 und Abb. 12–15). Hinzu kommen einige neue Aufnahmen aus dem Jahre 2020, die am Rande von Weidfeldern (innerhalb des Weidezauns) an Oberhängen gemacht wurden (Präg und Gießhübel SW-S; Ibach, Hotzenwald SE-S; siehe Abb. 16). Die A. 1 stellt eine junge Brache dar und ist daher bereits ärmer an Zielarten. Die im Kap. 6.2 wiedergegebene Aufnahme aus Muggenbrunn enthält ebenfalls keine Nährstoff-Zeiger, hat aber eine recht kleine Flächengröße (wegen der Vergleichbarkeit mit der alten *Antennaria*-reichen Aufnahme) und wurde daher nicht in Tab. 3 integriert.

Von der Artenstruktur her bemerkenswert ist, dass das säurezeigende Moos *Pleurozium schreberi* durchgängig vorhanden ist, *Rhytidiadelphus squarrosus* fehlt, und auch der Säurezeiger *Deschampsia flexuosa* ist mit hoher Stetigkeit vertreten. Nährstoffzeiger spielen fast keine Rolle. Alle Merkmale treffen auch auf die Aufnahme Muggenbrunn im Kap. 6.2 zu. Die Aufnahmen der Tab. 3 vermitteln noch das charakteristische Bild des Festuco-Genistelletum sagittalis typicum, so wie es z.B. bei Schwabe-Braun (1979a, 1980a, Tab. Ia) dokumentiert wurde. Die mittlere Artenzahl in Tab. 3 ist 22,1, die im „typicum“ bei Schwabe-Braun (1980a) 23,0. Das „typicum“ ist mit geringen Ausnahmen 2020 kaum mehr im Untersuchungsgebiet vorhanden.

Ohne die A. 1 liegen die TSR-Werte im Mittel bei 0,49 (das entspricht dem Wert vom SE-S 1977/78). Der EIW Nährstoffe liegt bei 2,5 (entspricht etwa dem Wert von Schuhwerk 1973–75, Tab. 1, Spalte D, der das Ibacher Gebiet bearbeitet hatte), Reaktion bei 2,9 (noch etwas niedriger als die Werte aus den 1970er Jahren: um 3,0–3,3). Man muss allerdings berücksichtigen, dass in Tab. 3 nur das Festuco-Genistelletum typicum abgebildet ist, in den Spalten D, 1b und 2b (Tab. 1) aber auch trifolietosum-Bestände enthalten sind mit durchweg höheren R-Werten.

Tab. 3: Pflanzensoziologische Aufnahmen aus den Jahren 2018–2020: Festuco-Genistelletum sagittalis (fast) ohne Nährstoffzeiger. **Table 3:** Relevés from 2018–2020: Festuco-Genistelletum sagittalis (nearly) without indicator species for nutrients.

Laufende Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Südwestl./-östl. Schwarzwald	SW	SW	SW	SW	SW	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Lokalität Kürzel	Pr	Gie	Gie	Gie	Gie	Iba	Iba	Iba	Bla	Bla	Bla
EIW Licht (Mittel = M 6,8)	6,9	6,9	6,8	6,4	7,1	6,8	6,9	7,0	6,8	6,6	7,1
EIW Reaktion (M 2,9)	3,5	2,8	2,6	2,5	2,9	3,1	3,1	3,1	2,6	2,9	2,9
EIW Nährstoffe (M 2,5)	2,7	2,6	2,4	2,7	2,7	2,4	2,4	2,7	2,3	2,6	2,5
Jahr (2018–20)	18	20	20	20	19	20	20	20	18	18	18
Meereshöhe (Dekameter)	93	106	108	108	110	106	108	109	106	111	111
Exposition	ENE	W	W	W	NW	S	S	SSE	N	SSE	SW
Neigung °	15	10	5	10	18	15	17	15	10	25	30
Flächengröße (m^2)	20	20	20	20	25	20	20	20	25	25	25
Feldschicht (%)	70	90	90	90	95	95	95	95	95	99	95
Moosschicht (%)	40	20	25	10	10	3	3	1	20	3	5
Zielarten-Ratio (M 2–11: 0,49)	0,29	0,54	0,39	0,40	0,59	0,46	0,50	0,50	0,53	0,50	0,50
Artenzahl (M 22,1)	21	22	23	20	22	26	26	30	15	14	24
Zielarten Nardetalia											
Genista sagittalis	2a	2a	1	2a	1	2a	2a	2a	+	2a	2a
Nardus stricta	2m	2a	2b	2b	2a	2a	2a	2a	2b	2b	2a
Festuca nigrescens	2m	2m	2m	2m	2a	2a	2m	2a	1	2a	2m
Galium saxatile	2m	2a	2a	2a	2a	2m	2m	2m	2m	2m	1
Potentilla erecta	2m	2m	2m	2m	2m	2m	2m	2m	2m	2m	2m
Veronica officinalis		2m	2m	2m	1	2m	2m	2m		1	2m
Arnica montana	2b	1	1		2m	1	1	1	1		
Calluna vulgaris		2m	2a	2m	2b	1	2a	2a	1		
Hieracium pilosella		+				2a	2a	2m		1	2a
Meum athamanticum		1	1	1	1			1			2m
Carex pilulifera					2m	2m	1	1	1		1
Centaurea nigra		1			1			+			
Viola canina					1	+	+				
Luzula campestris agg.							1	1			1
Carlina acaulis							+	+			

Laufende Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nährstoffzeiger											
Hypochaeris radicata			+		+	+		+			
Trifolium pratense	+					1					
Plantago lanceolata							1				2m
Sonstige											
Agrostis capillaris	2a	2m	2m	2m	2m	2b	2a	2m	2m	2b	2a
Vaccinium myrtillus	2a	2a	2a	2b	2a	1	1	+	1	2a	2m
Deschampsia flexuosa		2a	2a	2b	1	2m	2a	2a	2b	2b	2a
Anthoxanthum odoratum	+	1	1				1	2m		+	2m
Vaccinium vitis-idaea			+	+		+		+	1	+	
Hieracium lachenalii	+			+		+	+	+			
Achillea millefolium agg.	+					1	2m	2m			2m
Silene nutans						1	+	+			+
Hieracium laevigatum		+	+		+						
Rumex acetosella						1	1				+
Thymus pulegioides						2m	2m				2m
Moose											
Pleurozium schreberi	3	2b	2b	2a	2a	2m	2m	1	2b	2m	2a
Hylocomium splendens	2a								2m		
Gehölze juvenil											
Sorbus aucuparia	+	+	+	+			+	+	+		
Picea abies	+	+	+	+				+		+	

Außerdem kamen vor (1-2 x) **Zielarten**: A. 2 Polygala serpyllifolia +, A. 5 Polygala vulgaris +, A. 6 Galium pumilum +, A. 8 Lathyrus linifolius 2m, A. 11 Danthonia decumbens +, Dianthus deltoides +. **Nährstoffzeiger**: A. 4 Stellaria graminea +, A. 8 Rumex acetosa +. **Sonstige**: A. 1 Campanula rotundifolia 1, Poa chaixii 2m, Hypericum perforatum +, A. 2 Melampyrum sylvaticum +, Solidago virgaurea +, A. 3 Melampyrum sylvaticum +, Anemone nemorosa 2m, A. 4 Poa chaixii +, Solidago virgaurea +, A. 5 Cirsium palustre +, Deschampsia cespitosa +, A. 6 Teucrium scorodonia +, Leucanthemum vulgare agg. +, A. 7 Teucrium scorodonia +, A. 8 Veronica chamaedrys +, A. 11 Campanula rotundifolia 1, Briza media 1. **Moos**: A. 3 Polytrichum formosum 2m. **Gehölze juv., Rubus**: A. 1 Fagus sylvatica +, Salix caprea +, A. 3 Rubus idaeus +, A. 4 Fagus sylvatica +, A. 5 Acer pseudoplantanus +, A. 8 Juniperus communis +.

Lokalitäten: A. 1 Präg Wildbodenbächle, junge Brache; A. 2–5 Gießhübel nahe Schauinsland (A. 5 entspricht A. 13b, Tab. A2); A. 6–8 Ibach Hotzenwald, Großbühl; A. 9–11 Blasiwald (entspricht A. 41b, 42b: Althütte u. 43b Sommerseite, s. Tab. 2A).

Abb. 16: Das Festuco-Genistelletum in Ibach (Hotzenwald, SE Schwarzwald) ist reich an Vegetationsstrukturen (u.a. *Juniperus communis* Sträucher) und zeigt im Bereich der Oberhänge fast keine Nährstoffzeiger (s. auch Tab. 3). 1080 m ü. M., 30. Juni, 2020. **Fig. 16:** The Festuco-Genistelletum in Ibach (Hotzenwald, SE Black Forest) is rich in structures of vegetation (e.g. with *Juniperus communis* shrubs) and shows in the upper parts of the slopes nearly no nutrient indicator species (see Table 3). June 30, 2020.

6.9 Entwicklung von Flügelginster-Weiden und ihren Zwergstrauch-Stadien bei spontaner Sukzession

Dauerflächen im ehemaligen Gemeinde-Weidfeld von Schönau i. Sch. im „Bannwald Flüh“ konnten seit 1976 (eine Fläche, Schwabe-Braun 1979c) und gezäunt mit Wildausschluss sowie zum Vergleich ungezäunt seit 1996 (2 x 4 Flächen) untersucht werden. Das Gebiet liegt im Kerngebiet unserer Untersuchungsflächen im SW-S im Wiesental. Im seit 1960 brachliegenden Weidfeld, das jedoch noch von Wildverbiss (Rehwild, Gämsen) beeinflusst wird, ließen sich die Phasen der spontanen Sukzession vor allem in den gezäunten Flächen dokumentieren (Schwabe & Kratochwil 2015; in Tab. 4 ergänzt durch die hier erstmals veröffentlichten Ergebnisse der Jahre 2016 und 2019). Im Zusammenhang der hier vorliegenden Studie ist hervorzuheben, dass Zielarten der Borstgrasrasen nach und nach erlöschen und die Gesamt-Artenzahlen z.T. dramatisch abnehmen (Tab. 4).

Tab. 4: Gekürzter Datensatz zur spontanen Sukzession von Borstgrasrasen und *Calluna*-Stadien (Weidfeld Flüh, Schönau i. Sch., SW-S). Daten bis 2014 in Schwabe & Kratochwil (2015); 2016, 2019: Neuaufnahmen, nicht publiziert. Flächen à 19 m² mit/ohne Wildausschluss: z, n.
Table 4: Shortened dataset of spontaneous succession of mat-grass swards and *Calluna* stages ('Weidfeld Flüh', Schönau i. Sch., SW Black Forest). Complete dataset in Schwabe & Kratochwil (2015); 2016, 2019: new unpublished relevés. Plots à 19 m² with/without exclusion of deer: z, n.

Aufnahmeplot	**1z**	**1z**	**1z**	**1n**	**1n**	**1n**	**2z**	**2z**	**2z**	**2n**	**2n**	**2n**	**2n**	**3z**	**3z**	**3z**	**3n**	**3n**	**3n**	**4z**	**4z**	**4z**	**4n**	**4n**	**4n**
Jahre (1976) 1996–2019	96	16	19	96	16	19	96	16	19	76	96	16	19	96	16	19	96	16	19	96	16	19	96	16	19
Meereshöhe (m ü.M.)	668			668			650			650				663			664			630			630		
Exposition	SSE			SSE			W			W				W			W			NW			NW		
Neigung (°)	12			12			17			17				28			28			10			10		
Strauchschicht (%)	5	45	60	2	25	30	5	20	20	0	0	20	30	0	2	4	0	2	2	0	55	60	0	2	3
Feldschicht (%)	90	60	30	80	70	70	70	60	40	95	80	70	70	70	90	90	70	90	90	70	50	30	70	100	90
Moosschicht (%)	60	50	8	70	70	60	40	40	20	5	40	50	30	60	20	15	60	40	10	60	30	40	60	30	30
Artenzahl ohne Gehölze	12	6	4	12	6	5	25	14	13	20	24	21	18	16	6	4	19	6	6	18	10	8	16	12	9
Artenzahl Gehölze	1	1	1	4	4	4	2	4	4	0	2	6	6	0	1	1	1	1	2	0	6	6	0	2	3
Zielarten																									
Calluna vulgaris	4	2b	2a	3	2a	2b	2a	2b	2b	+	2a	1	+	4	5	4	4	4	5	2a					
Potentilla erecta	2m			1			2m	1		1	1	1	+	2m			2m			2m	1	1		1	
Festuca nigrescens	1						2a	1	+	2b	2m	1	1	1			1			3			2b	2m	1
Galium harcynicum	2m			2m							2m	2a	+	2m			2m			2m	2a	2a	2a	2m	2m
Genista sagittalis	2m			+			2a			2a	1	1	+	2m			2m			1			1		
Galium pumilum							2m			2m	1		+	1			1			+					
Veronica officinalis							+	1	+	+	1	+	+												
Carex pilulifera	+			+				1	2m				2m												
Viola canina							1			2m	1			+						+					
Pimpinella saxifraga							2m				+	+											+		
Arnica montana											+	+		2m			2a								
Cuscuta epithymum																	+							2m	2m
Genista anglica							2a										2a								
Luzula campestris										+															
Polygala vulgaris										+															

Aufnahmeplot	1z	1z	1z	1n	1n	1n	2z	2z	2z	2n	2n	2n	2n	3z	3z	3z	3n	3n	3n	4z	4z	4z	4n	4n	4n
Heidelbeer-Fazies																									
Vaccinium myrtillus	2b	3	2b	3	4	4																			
Sonstige: Graminoide																									
Holcus mollis	2a	+		1	+		2b	1	1	1	2	3	4	2a	+		2m	1	+	3	1	1	3	2m	1
Deschampsia flexuosa	2a	1		2a	+	+	2b	2a	2m	3	3	2b	3	2a			2a	+	+	2a	2b	2a	2a	4	4
Agrostis capillaris	2m			1			2b	2m	1	1	2a	2m	1	1			+			2b	2m		2a	2m	1
Anthoxanthum odoratum																	1								
Carex pairae																				1					
Poa pratensis																							+		
Sonstige: Krautige																									
Teucrium scorodonia								2a	2m		2b	2a	2a	2a	2a	2a	2a	2b	2a	1	2a	1	1	2a	2a
Achillea millefolium	+						2m	+		+	1	1	+	+									+		
Thymus pulegioides							2m		1	2m	1	2m	+										2m		
Stellaria graminea							2m				+									+	+		+	1	+
Rumex acetosella							+	2m	2m	+			+												
Veronica chamaedrys							+			1										1			+	+	
Genista tinctoria							+										1			1	+	+			
Fragaria vesca								2m	1					+			1								
Senecio ovatus											+				+										
Trifolium medium							1					+													
Campanula rotundifolia											+	+													
Euphorbia cyparissias											1	+													
Rumex acetosa							+			+															
Galeopsis tetrahit																				+			1		
Moose																									
Pleurozium schreberi	4	3	2a	4	4	3	2a	3	2b		2b	3	2a	4	2a	2a	4	3	2a	2m	2a	2a			
Hylocomium splendens		2a	2m	2a	2m	2a	+	2m	2m		+	2m	2m	2a	2m	2m	2m	2m	2a						

Aufnahmeplot	**1z**	**1z**	**1z**	**1n**	**1n**	**1n**	**2z**	**2z**	**2z**	**2n**	**2n**	**2n**	**2n**	**3z**	**3z**	**3z**	**3n**	**3n**	**3n**	**4z**	**4z**	**4z**	**4n**	**4n**	**4n**
Rhytidiadelphus squarrosus							2b			2a	2b	2m								4	3	3	4	3	3
Scleropodium purum											2a	2m	2m												
Dicranum scoparium				2m																					
Gehölze juvenil																									
Acer pseudoplatanus											r						r		r			+			r
Sorbus aucuparia												r	+								r	r			
Frangula alnus												+	+								r	r			
Quercus petraea												+	+											r	r
Fagus sylvatica	r											r	r												
Rosa canina								+	+		+														
Carpinus betulus												r									r	r			
Picea abies				+									+												
Abies alba				r																					
Prunus spinosa																					r				
Gehölze Strauchschicht																									
Fagus sylvatica	2a	3	4	r	2a	2b															r	r		r	r
Crataegus monogyna							2a	2b	2b			2b	2b		r	r		r	r						
Quercus petraea								r	r												4	4			
Corylus avellana				r	r	r																			
Prunus spinosa							+	+	+																
Picea abies					2a	2a																			
Abies alba					r	r																			

Außerdem kamen je einmal vor (Sonstige: Krautige): 2z 1996 Lotus corniculatus +, Silene nutans +; 2n 1976 Leontodon hispidus +, Trifolium pratense 1; 3n 1996 Hypericum perforatum; 4n 1996 Heracleum sphondylium +; 4n 2016 Ranunculus polyanthemos subsp. nemorosus +.

Bemerkenswert ist die Aufnahme 2, die eine starke Aktivität von Schermaus (*Arvicola terrestris*) und Ameisen (*Lasius*) zeigt und kleine Störstellen aufweist; hier haben sich noch Zielarten wie z.B. *Veronica officinalis* halten können. Zwergsträucher wie *Calluna vulgaris* (ebenfalls Zielart) sind noch vertreten und wirken auch verdämmend. In einigen gezäunten Flächen nahm die Gehölzdeckung stark zu (im letzten Jahr teilweise bis auf 60 %, ausgehend von maximal 5 %: A. 1z, 4z). In drei Flächen hat die Saumart *Teucrium scorodonia* zugenommen. Gräser wie *Deschampsia flexuosa*, einmal auch *Holcus mollis* bzw. einmal *Vaccinium myrtillus* haben sich vermehrt. *Agrostis capillaris* nimmt in allen Flächen ab oder erlischt sogar. Bemerkenswert ist, dass es in keiner Fläche Hinweise auf Zunahme von Nährstoffzeigern gibt, und auch das säurezeigende Moos *Pleurozium schreberi*, mit starken Rückgängen der Stetigkeit und Deckung in unseren vergleichenden Datensätzen der Flügelginster-Weiden, konnte sich in den Flächen halten. *Rhytidiadelphus squarrosus* kommt vor allem in einer Fläche am Mittelhang vor (A. 4), einem Anreicherungsstandort; die Art erreichte dort im Jahr 2019 eine Deckung von 25–50 %, ausgehend von 50–75 % im Jahre 1996.

Zwei Plots von Schreiber (1986) in Fröhnd (Festuco-Genistelletum trifolietosum und typicum, spontane Sukzession, Plots ohne Wildausschluss, 850–870 m ü. M.) zeigen von 1975–1984 teilweise ein Erlöschen von Zielarten (*Polygala vulgaris, Arnica montana*); die Brachezeiger *Holcus mollis* und *Teucrium scorodonia* nahmen zu; im „trifolietosum“ nahmen *Trifolium repens* und *T. pratense* um mindestens 10 % ab.

7 Diskussion

7.1 Welche wesentlichen Veränderungen haben in den Flügelginster-Weiden stattgefunden und wie sind sie interpretierbar?

7.1.1 Verhalten besonders sensitiver gefährdeter Arten

Als besonders sensitive Arten können die Arten der Roten Liste *Antennaria dioica*, *Jasione laevis* und *Polygala serpyllifolia* für die untersuchten Flügelginster-Weiden hervorgehoben werden. Diese Arten sind konkurrenzschwach und insbesondere *J. laevis* und *A. dioica* können z.B. im *Agrostis capillaris*-Filz nicht überleben. Wie bei allen lokalen Aussterbe-Ereignissen, spielen auch hier die bereits vor 40 Jahren kleinen und fragmentierten Populationen sicherlich eine Rolle. Entsprechende Befunde zu *A. dioica* gibt es auch z.B. aus Oberfranken, wo ein Erhaltungsprojekt durchgeführt wird, das auch Auspflanzungen umfasst (Regierung von Oberfranken 2018).

Das Katzenpfötchen war bis in die 1940er Jahre noch im gesamten Schwarzwald weit verbreitet mit z.T. hohen Deckungen in den Aufnahmen von J. & M. Bartsch (1940) und Müller (1948). Starke Rückgänge und Erlöschen von Populationen in Flügelginster-Weiden des Untersuchungsgebietes wurden für *Antennaria* bereits für den Zeitraum 1977 bis

1989 (Schwabe 1990a) belegt. Im Zeitraum der Studie von 1977 bis 1989 erlosch *Antennaria* bei 13 Aufnahmepaaren in Flügelginster-Weiden hoch signifikant in 10 Flächen. Die Bereiche, in denen die Art 1989 fehlte, waren entweder mit Düngezeigern durchsetzt oder lagen brach. Köppler (2002) erwähnt noch Restbestände im Hotzenwald; von diesen Beständen gab es 2018 noch Vorkommen kleinster Populationen (Köppler, in litt.). Auch in anderen mittelmontanen Gebieten gibt es punktuell noch sehr selten Vorkommen in Flügelginster-Weiden (Regierungspräsidium Freiburg, Abt. Naturschutz und Landschaftspflege, in litt., Stand der Kartierung 2018). In hochmontanen Lagen (vor allem im Feldberg-Gebiet) kommt die Pflanze im Leontodonto-Nardetum aktuell noch vor. Philippi (1989; Manuskriptabschluss 1984) dokumentierte für die 1970er Jahre bis 1984 die Flügelginster-Weiden im Belchen-Gebiet (Tab. 14, Aufn. 1–20, 705–1200 m ü. M.), die praktisch durchweg bereits Düngezeiger enthielten. *A. dioica* ist in den Aufnahmen nicht enthalten.

Die Art mit dem sehr geringen Ellenberg Nährstoff-Wert von 2 (der eigentlich 1 betragen sollte) und dem hohen Lichtwert von 8 wächst in lückiger Vegetation ohne ausgebildete Streuschicht und kann nur dort die kleinblättrigen Rosetten bilden, die dann Blütenstände entwickeln und auch der vegetativen Fortpflanzung dienen. Staminate und karpellate Klone der Pflanze wachsen getrennt; z.T. wurden unausgewogene Verhältnisse in der Geschlechtsverteilung beobachtet (Rosche et al. 2014). Die Art ist auf eine Mykorrhizierung angewiesen (Varga & Kytöviita 2010). Sauerwein et al. (i. Dr.) stellten in Nordosthessen starke Rückgänge der Art fest und bei verbliebenen Restpopulationen oft rein vegetative Klone. Die Art zeigte hohe Empfindlichkeit gegenüber Trockenstress in den Jahren 2018 und 2019. Bereits Schröter (1926) bezeichnete *A. dioica* als „Magerkeitszeiger par excellence“. Sie ist eine Indikatorart, die bereits bei geringster Erhöhung der Nährstoffe überwachsen wird. In den alten Aufnahmen von Müller (1948) aus Bernau-Riggenbach und Blasiwald Sommerseite (beides Gebiete unserer Aufnahmeflächen) gab es Aufnahmen mit Deckungswerten von > 50 %. Restpopulationen von *Antennaria* in Ost- und Norddeutschland (vorwiegend karpellate Individuen) zeigten noch genetische Diversität (Rosche et al. 2018), die jedoch wie allgemein bei kleinen Populationen (Young et al. 1996) nach und nach zu verarmen droht, vor allem auch wenn durch stochastische Prozesse entweder karpellate oder staminate Klone lokal erlöschen und so eine sexuelle Reproduktion nicht mehr möglich ist (Rosche et al. 2018).

Auch die in den Plots ebenfalls erloschene *Jasione laevis*, die von Oberdorfer (2001) als Violion caninae-Art (im Sinne von Peppler & Petersen 2001: Violenion c.) eingestuft wird („vor allem mit *Genista sagittalis*“, Oberdorfer l.c.), hat eine niedrige N-Zahl von 2 und eine Lichtzahl von 9.

Polygala serpyllifolia ist schmalblättrig und kleinwüchsig (EIW: L8, N2). Sie hat vor allem im Gebiet SW-S unterhalb von 1000 m ü. M. in den Plots abgenommen. Möglicherweise ist dies auch ein Hinweis auf die Wirksamkeit von Klimafaktoren (siehe Kap. 7.1.5). Die Art hat eine niedrige Ellenberg-Temperaturzahl von 4 und für Violenion caninae-Bestände eine relativ hohe Feuchtezahl von 6. Sie zeigt im hochmontanen Bereich und auch an

nährstoffarmen Feuchtstandorten im montanen Gebiet noch höhere Präsenz (RP Freiburg, Abt. Naturschutz und Landschaftspflege, in litt., Stand der Kartierung 2018).

7.1.2 Verhalten anderer gefährdeter Arten

Bestände der Rote Liste- und FFH-Anhangsart *Arnica montana* treten in den untersuchten Flügelginster-Weiden noch mit größeren Populationen auf. In verschiedenen anderen Gebieten in Deutschland sind starke Rückgänge zu verzeichnen (Schwabe et al. 2019). Im Unterschied zu den oben erwähnten Arten ist *Arnica* nicht empfindlich gegenüber frühen Stadien von Brachen; im Gegenteil, sie reichert sich sogar in jüngeren Brachen an und blüht besonders üppig, wie dies am Rohrhardsberg (Mittlerer Schwarzwald) zwischen 1978 und 1988 gezeigt werden konnte (Schwabe 1990b). Bei weiterer Dauer der Brachlegung erlöscht sie jedoch, wie z.B. im Weidfeld Flüh bei Schönau i. Sch. deutlich wird (Tab. 4). Die kleiner werdenden Populationen haben eine geringere Zahl an Früchten und geringere Samengewichte (Kahmen & Poschlod 2000). Gegenüber Düngung ist die Art außerordentlich sensitiv; bei Stickstoffdüngung verliert sie an Konkurrenzkraft (Pegtel 1994) und ist allgemein sehr empfindlich gegenüber Eutrophierung (Maurice et al. 2012). Der Rückgang von *A. montana* aufgrund von Düngungsmaßnahmen wurde bereits seit den 1950er Jahren beobachtet, z.B. von Knapp (1953) in der Rhön. In einer Studie in Hessen, die auch Gewächshaus-Experimente einschloss, stellten Hollmann et al. (2020) fest, dass die Kombination von erhöhten Nährstoff-Gaben (N,P,K) und höherem pH-Wert, verbunden mit einer darauf folgenden Verschlechterung der Konkurrenz- und Keimfähigkeit, zum Schwinden der Populationen führt. Auch *Arnica* ist auf Mykorrhizierung angewiesen (Heijne et al. 1994). Durch den Tritt der Rinder wird die Rosettenbildung von *Arnica* gefördert (Abb. 5); die Pflanze wird nicht gefressen (Schwabe 1990b). Versuche mit Ziegenbeweidung im Schwarzwald (Burenziegen, Schönenberg) zeigten hingegen, dass *Arnica* von diesen Weidetieren stark befressen wird (Schwabe 1997). „Das Rindvieh rühret den Wohlverleih nicht an; die Ziegen fressen ihn umso begieriger“ (zitiert aus „Flora fuldensis…“ 1784, nach Maiweg & Frahm-Jaudes 2008); siehe auch Schwabe et al. (2019). Daher sollte in Ziegenweiden mit Hilfe von Staffelbeweidung und zeitweiligen Auszäunungen dafür Sorge getragen werden, dass die langfristige Erhaltung der Arnika-Populationen auch dort möglich ist.

Die parasitische *Cuscuta epithymum*, die nach der Stetigkeitstabelle Rückgänge von gut 15 % in der Stetigkeit im SE-S zeigt, fluktuiert stark von Jahr zu Jahr. Das konnte z.B. im Weidfeld Flüh bei Schönau i. Sch. für die Jahre 1977/78 und 1987/88 dokumentiert werden (Schwabe et al. 1989). Daher muss es sich hier nicht um einen Trend handeln.

7.1.3 Abnahmen von Zielarten und Zielarten-Ratio, Artendiversität

Die direkte Abnahme von Zielarten ist im SW-S hoch signifikant und im SE-S schwach signifikant. Besonders hervorzuheben ist jedoch die Umstrukturierung des Verhältnisses zwischen Zielarten und anderen Arten, dargestellt durch die Zielarten-Ratio. Andere Ar-

ten, zu großen Teilen Nährstoffzeiger, gewinnen immer mehr an Gewicht, und es ist zu befürchten, dass sich längerfristig das Gewicht zugunsten der anderen Arten verschiebt. Diese Verschiebung führte auch dazu, dass die Artendiversität in der Summe keiner signifikanten Änderung unterlag. Die mittlere Artenzahl liegt nach wie vor bei 25–26 Arten (SW-S) bzw. 24 (SE-S). Der Befund, dass die Artenzahl nicht konsistent abgenommen hat, wohl aber die Proportion von Habitatspezialisten, wurde auch in einer großen Metastudie in west- und zentraleuropäischen Trockenrasen und Nardetalia-Gesellschaften herausgearbeitet (Diekmann et al. 2019).

7.1.4 Zunahmen von Nährstoffzeigern, von *Agrostis capillaris* und *Rhytidiadelphus squarrosus*

Im Versuchsgut Rengen (475 m ü.M.) in der Eifel konnten Chytrý et al. (2009) bei verschiedenen Düngungsvarianten seit 1941 (mit geringen Unterbrechungen) die Umwandlung von Beständen des Polygalo-Nardetum (Violenion caninae) in Molinio-Arrhenatheretea-Gesellschaften (auch mit einer Analyse der Ellenberg-Indikatorwerte) belegen. Die Erhöhungen der Indikatorwerte: N und R waren besonders hoch bei den P-Behandlungen.

Nach den NP-Behandlungen sind die in unserer Tabelle als Zielarten klassifizierten Sippen *Polygala vulgaris*, *Viola canina*, *Hieracium pilosella*, *Potentilla erecta*, *Carex pilulifera*, *C. panicea*, *Luzula campestris*, *Danthonia decumbens*, *Nardus stricta* erloschen; sie wurden u.a. ersetzt durch Nährstoffzeiger (die auch bei uns auftreten) wie z.B. *Arrhenatherum elatius*, *Galium album*, *Ranunculus acris*.

Die Indikatorwerte für Nährstoffe lagen in der Kontrolle im Mittel bei 3,2 (entspricht unserem Wert für den SW-S: Z II), in den NP-Behandlungen bei 5,0–5,7; diejenigen für Bodenreaktion bei 4,3 (Kontrolle) und 6,1–6,6 (NP-Behandlungen). Unser Mittelwert für R liegt bei 3,3 im SW-S 1977/78 (maximal im ZII bei 4,8; Aufnahme 1b). Die Ergebnisse von Chytrý et al. (2009) und unsere Werte im Vergleich zeigen den Weg, der sich schleichend einstellen kann und im Sinne der Erhaltung artenreicher Borstgrasrasen angehalten werden muss. *Agrostis capillaris* ist im Vergleich mit unserem Material im Rengen-Experiment zu selten, um eine mögliche Förderung durch Düngung aufzeigen zu können.

Krause (1954) analysierte im Bereich der Allmendweiden qualitativ einige Düngungsflächen, die in den Jahren 1935–39 begründet wurden (PK+Stallmist, teilweise Kalkammonsalpeter). 1953 konnten u.a. eine Abnahme von *Deschampsia flexuosa*, *Pleurozium schreberi* und eine Zunahme von *Rhytidiadelphus squarrosus* festgestellt werden. Das nächste Stadium der Entwicklung von Straußgras-Flügelginster-Weiden in einem Nährstoffgradienten war die Umwandlung in eine „Kammgras-Rotschwingel (*Festuca rubra* s.str.)-Straußgras-Weißklee-Weide“ (Krause l.c.). Eine Abnahme von *Pleurozium schreberi* beobachteten auch Bogenrieder & Wilmanns (1991) auf zu stark mit Rindern besetzten hochmontanen Borstgrasrasen im Feldberg-Gebiet.

In einer Vergleichsstudie mit Quasi-Dauerflächen (1986/87 und 2012, publiziert von Peppler-Lisbach & Könitz 2017 im Vergleich mit Peppler 1987) im Polygalo-Nardetum (50 %), Juncetum squarrosi und der *Galium saxatile-Nardus stricta*-Ges. des Werra-Meißner-Gebietes konnten die Autoren zunächst feststellen, dass fast alle ehemals aufgenommenen Flächen noch als Borstgrasrasen eingestuft werden konnten und im Gegensatz zu den alten Aufnahmen mit vorherrschenden Brachestadien seit einigen Jahren wieder weitgehend bewirtschaftet wurden (je knapp 40 % beweidet bzw. gemäht). Die Autoren fanden verschiedene Indikatoren für Eutrophierung nach 25 Jahren: Kennarten der Borstgrasrasen nahmen ab (z.B. *Arnica montana*, *Danthonia decumbens*), Nährstoffzeiger nahmen zu (z.B. *Trifolium pratense*, *T. repens*, *Stellaria graminea*, *Taraxacum* sect. *Ruderalia*, *Rhytidiadelphus squarrosus*; insgesamt 9 Arten, die auch bei uns zugenommen haben), ebenso erfolgte eine Zunahme der im Vergleich gemessenen pH-Werte sowie der Ellenberg N- und R-Werte und der Deckung von *Agrostis capillaris*. Es ließ sich eine Erhöhung der Deckung der Moosschicht feststellen. Die Hintergrundbelastung von Stickstoffeinträgen lag im Werra-Meißner-Gebiet 2009 bei 15–19 kg N ha^{-1} a^{-1}; dies überschreitet die von Roth et al. (2013) angegebenen Werte der „critical loads“ (10 bis 15 kg N ha^{-1} a^{-1}) für Grasland. Pepppler-Lisbach & Könitz (l.c.) gehen von einem vernetzten Gefüge zwischen N-Deposition und Unternutzung aus. Auch Untersuchungen in der Rhön erbrachten ähnliche Ergebnisse (Peppler-Lisbach et al. 2020). In den beiden Arbeiten werden die Effekte des seit den 1990er Jahren stattfindenden Rückganges der bodenversauernden atmosphärischen SO_2-Depositionen diskutiert, die eine Erhöhung der pH-Werte in den Böden verursachen können (Mitchell et al. 2018). Dies kann jedoch auch durch Düngungseffekte geschehen (positive Korrelation zwischen N und R; siehe Hill & Carey 1997).

Die N-Depositionswerte lagen in unserem Gebiet bei 9–10 kg ha^{-1} a^{-1}; im Schluchsee-Gebiet auch niedriger bei 8 (Umweltbundesamt 2020, Periode 2013–2015).

Die Rahmenbedingungen bei Peppler-Lisbach & Könitz (l.c.) sind mit unserem Gebiet und Datensatz nicht ganz vergleichbar, da z.B. bei uns keine Zunahmen in der Moosschicht nachweisbar sind, die auf Unternutzung hindeuten könnten. Allgemein sind fast alle der untersuchten Flächen im Schwarzwald in Bewirtschaftung, ohne ausgeprägte Unternutzung. Eine sehr gute Bewirtschaftung zeigte sich z.B. bei der Fläche „Gießhübel“ (nahe Schauinsland). Hier wurden mit einer Staffelbeweidung und je zwei Weidegängen von mehreren Wochen das gleichmäßige Abweiden, aber auch die Erholung der Vegetation gesichert (RP Freiburg, Abt. Naturschutz und Landschaftspflege, in litt.). Diese Fläche weist auch noch am Oberhang Bereiche auf, die den fast erloschenen Typ des Festuco-Genistelletum sagittalis typicum (ohne Nährstoffzeiger) repräsentieren (Tab. 3). Eine entsprechende Staffelbeweidung wurde auch von Kurtogullari et al. (2020) für montane Gebiete in den Berner Alpen vorgeschlagen; sie wird auch in nährstoffarmen Sandrasen des Oberrheingebietes seit dem Jahr 2000 mit Schafen durchgeführt (Schwabe et al. 2015).

Trotz der weitgehend adäquaten Bewirtschaftung der Weidfelder im SW-S und SE-S gibt es in unseren Datensätzen eine hoch signifikante Zunahme der Deckung von *Agrostis capillaris* und im SW-S eine hoch signifikante Abnahme der Deckung von *Deschampsia flexuosa*. So ist davon auszugehen, dass die erhöhte Deckung von *Agrostis* (im SW-S auch der Nährstoffzeiger) das momentane erhöhte Nährstoffniveau der Böden widerspiegelt.

7.1.5 Gibt es Anzeichen für eine Thermophilisierung?

Wie in der Borstgrasrasen-Studie von Peppler-Lisbach & Könitz (2017) gibt es noch keine klar belegbaren Anzeichen für Vegetationsveränderungen durch neuere Klimaänderungen. Der komplette Rückgang von *Polygala serpyllifolia* (EIW Temperatur 4, Feuchte 6) in Plots unterhalb 1000 m im SW-S im Vergleich zum Z I könnte so interpretiert werden (neben der Beobachtung, dass die Art leicht überwachsen wird z.B. in *Agrostis*-Beständen). Auffällig ist jedoch, dass die Art auch bei Krause (Spalte C, Tab. 1) im Wiesental in den 1950er Jahren sehr selten war, bei Philippi (1989) im Belchengebiet jedoch auch in Lagen unterhalb 900 m stet vorkam. Das könnte auch für Schwankungen der Populationen sprechen. Die Zunahme von *Pimpinella saxifraga*, vor allem im Wiesental, wäre ebenfalls im Zusammenhang mit jüngeren Klimaänderungen diskutierbar (Differentialart der wärmeren Violenion-Lagen im Schwarzwald). Die Art reichert sich auch bei Versaumungen an, jedoch gibt es bei dem momentanen guten Pflegezustand der Flächen keine sonstigen Anzeichen dafür.

7.1.6 Verbrachung

Anzeichen für Verbrachung gibt es nur in Ausnahmefällen. Die Flächen sind durchweg in Bewirtschaftung und in einem guten Pflegezustand, auch durch umfangreiche Naturschutzprogramme und Managementpläne. Zunahmen von Brachezeigern wie z.B. *Teucrium scorodonia* können nicht festgestellt werden. Erstaunlicherweise erreicht die Art in den Aufnahmen von Krause (Tab. 1, Spalte C) eine Stetigkeit von 74 %; siehe Kap. 6.1. Verglichen mit unseren beiden Datensätzen, reduziert auf das Wiesental-Gebiet, sind es 23 % (1aa) bzw. 27 % (1bb). Da *T. scorodonia* von den Rindern verschmäht wird, könnte die hohe Stetigkeit bei Krause auf geringe Weidepflege in einer Umbruchsituation der 1950er Jahre zurückzuführen sein. In späteren Jahren sind solche Weidereste auf Veranlassung der ehemaligen Weideinspektion Schönau gemulcht worden (Hanson et al. 1998).

Die Abnahme von *Holcus mollis* (gilt ebenfalls als Brachezeiger) im SW-S und Zunahme im SE-Schwarzwald, zeigt keine eindeutige Tendenz. Gegensätzliche Zu- bzw. Abnahmen kamen auch im Weidfeld Flüh bei Schönau i. Sch. vor (Tab. 4); Fluktuationen der Art z.B. durch Parasiten-Befall sind bekannt (Clay & Brown 1997).

7.1.7 Eindringen von invasiven Neobiota: *Lupinus polyphyllus*

Die aus dem pazifischen Nordamerika kommende Art *L. polyphyllus* trat 1977/78 noch nicht in unseren Plots auf. Sie hat sich inzwischen nach anthropogener Einbringung im

Zusammenhang mit Ansaaten an Böschungen an verschiedenen Stellen im Schwarzwald etabliert. Die Reproduktionskraft ist mit bis zu 2000 Samen pro Pflanze groß, die Samen können bis etwa 50 Jahre noch keimfähig sein. Bisher tritt sie nur in wenigen unserer Plots auf (Bernau und Wiesental Fröhnd). In den Ordinationen der Abb. 13 und 15 befindet sich die Art jeweils links unten in der Darstellung im Kontext der neuen Aufnahmen. Aus anderen Gebieten ist bekannt, dass insbesondere der symbiontisch durch *Bradyrhizobium* sp. fixierte Luftstickstoff zu schwerwiegenden Veränderungen in Borstgrasrasen führen kann, z.B. zur Zurückdrängung von *Arnica* im Bioshärenreservat Rhön (Kowarik 2003, Starfinger & Kowarik 2011, Nehring et al. 2013). Wegen der Verstärkung von Nährstoff-Akkumulationen und der Verdrängung von Zielarten sollten Lupinen in Borstgrasrasen vollständig zurückgedrängt werden, z.B. durch zweimalige frühe Mahd (Nehring et al. 2013) der Lupinen oder in frühen Stadien auch durch Ausgraben.

7.2 Können Borstgrasreichen restituiert werden?

Alle bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Restitution von zerstörten Borstgrasrasen nur sehr schwer möglich ist. Ein besonders schwieriges Problem ist die Ausmagerung, wenn die Flächen bereits ein hohes Nährstoffniveau erreicht haben (Ceulemans et al. 2013, Schelfhout et al. 2017). In den Niederlanden gelang eine solche Rückführung in Borstgrasrasen selbst in 25 Jahren kaum (Bakker et al. 2009). Neben der Schwierigkeit der Ausmagerung höherer N- und vor allem der P-Levels stellt auch die Regenerationsfähigkeit der Bestände über die Samenbank im Boden ein großes Problem dar (Matějková et al. 2003). Viele der wertgebenden Arten verfügen über keine langlebige Samenbank (so z.B. *Antennaria dioica*, *Dianthus deltoides*; Thompson et al. 1997, Godefroid et al. 2018); Ausnahmen sind z.B. die noch relativ häufigen *Potentilla erecta*, *Campanula rotundifolia* und *Galium saxatile* (siehe dazu Bode 2005 und Waesch 2006).

Wenn bei jüngeren Brachen noch Zielarten vorhanden sind, kann eine Restitution erfolgversprechend sein, so wie das Dierschke & Peppler-Lisbach (2009) für wieder gemähte Borstgrasrasen im Harz zeigen konnten. Nach diesen Befunden sollten alle Anstrengungen darauf konzentriert werden, Bestände, die noch Zielarten bergen, optimal zu bewirtschaften.

7.3 Können artenreiche Borstgrasrasen im Schwarzwald unter der heute praktizierten Bewirtschaftung und unter den aktuell wirkenden Umweltnoxen in ihrer spezifischen Qualität überleben?

Das momentane Nährstoffniveau in den Flügelginster-Weiden spiegelt sich in einer erhöhten Deckung von *Agrostis capillaris* und deutlich erhöhter Anzahl von Nährstoffzeigern (im Vergleich zu 1977/78) wider. Momentan sind aber noch fast alle Zielarten in den Beständen erhalten, wenn auch mit gesunkener Proportion im Vergleich zu Nicht-Zielarten. Die

Bestände sind nicht degradiert und haben sich auch nicht z.B. in den Lagen um 1000 m ü. M. in reine *Nardus*-Fazies umgewandelt, so wie es aus anderen Gebieten bekannt ist (z.B. montan bis subalpine Gebiete der Berner Alpen: Kurtogullari et al. 2019).

Auch aktuell konnten noch wenige Bestände gefunden werden, die von der Artenkombination her dem Zustand von 1977/78 entsprechen. Sie sind reich an Säurezeigern wie *Pleurozium schreberi* und Nährstoff-Fliehern (Nährstoffzeiger einschließlich *Rhytidiadelphus squarrosus* fehlen fast vollständig) und liegen am Rande von bewirtschafteten Weidfeldern an Oberhängen (Fläche Gießhübel, nahe Schauinsland, Weidfeld Muggenbrunn Heubühl) und in geschützten Hochtal-Bereichen (Ibach im Hotzenwald, Schluchsee-Gebiet: Blasiwald).

Diese Flächen stellen Modelle dar, dass trotz der atmogenen N-Deposition von 8–10 kg N^{-1} a^{-1} bei entsprechender Bewirtschaftung Eutrophierungsprozesse zumindest gemindert werden können. Der Bereich der „critical loads“ für die Schutzfähigkeit von Borstgrasrasen wird mit 10 bis 15 kg N ha^{-1} a^{-1} angegeben (Roth et al. 2013).

Auch *Juniperus communis*, der in vielen Gebieten vor allem NW-Europas keine oder kaum Verjüngung aufweist und auf Lücken in der Vegetationsdecke angewiesen ist (De Frenne et al. 2020), zeigt in einigen Flächen z.B. des Schluchsee-Gebietes vitale Verjüngung (Abb.3). Die geringe Vitalität der Samen in NW-Europa wird u.a. auf zu hohe N-Deposition zurückgeführt (Gruwez et al. 2014). Es gibt jedoch vor allem im SW-S Gebiete, wo die Verjüngung fehlt.

Die Bewirtschaftung der Flächen im Schwarzwald sollte noch weiter optimiert werden im Sinne einer Vermeidung oder wenigstens Reduzierung von direkten und indirekten lokalen Nährstoff-Transfers. Diese können z.B. durch Faeces-Akkumulation nach Wechsel der Tiere von gedüngten Weiden auf Borstgrasrasen, nach Zufütterung und Immissionen bei Güllespritzungen auf Nachbarflächen entstehen.

7.4 Fazit für den Naturschutz

Die für den Naturschutz ungünstigen Entwicklungen der letzten 40 Jahre sind in den untersuchten Flügelginster-Weiden:

- Weitgehendes Erlöschen bzw. starker Rückgang der gegenüber Nährstoffen und Konkurrenz hoch sensitiven Zielarten *Antennaria dioica* und *Jasione laevis* in Flügelginster-Weiden
- Veränderung des Verhältnisses von Zielarten zu sonstigen Arten (Zielarten-Ratio) im Sinne einer Abnahme zu Ungunsten der Zielarten (vor allem im SW-S)
- Abnahme der Deckung des Säurezeigers *Pleurozium schreberi*, Indikator für nährstoffarme Verhältnisse

- Zunahme der Zahl der Nährstoffzeiger (SW-, SE-Schwarzwald) und Zunahme der Deckung von *Rhytidiadelphus squarrosus* im SW-Schwarzwald
- Zunahme der Ellenberg-Nährstoffzahl
- Zunahme der Deckung von *Agrostis capillaris*
- Zunahme der Ellenberg-Reaktionszahl im SW-Schwarzwald.

Da sich aktuell die meisten Flügelginster-Weiden in einem Transitionsstadium befinden mit (noch) fast allen Zielarten aber (schon) vielen Nährstoffzeigern ist aus quantitativer Sicht scheinbar noch kein stärkerer Verlust festzustellen. Es hat sich jedoch die Qualität der Flügelginster-Weiden geändert, indem Arten hinzugekommen sind, die eine Entwicklung zu immer stärker dominierenden Nährstoffzeigern einleiten können. In fast allen anderen Gebieten mit Vorkommen von Borstgrasrasen in Deutschland ist jedoch diese Entwicklung weiter fortgeschritten als in unserem Untersuchungsgebiet und teilweise in einem irreversiblen Zustand (siehe Kap. 7.2).

Der Schutz der Flügelginster-Weiden ist immer mit einer extensiven Nutzung verbunden und kann so auch zur Erhaltung und Entwicklung des endemischen Landschlages Hinterwälder und Vorderwälder Rind in der Kulturlandschaft des Schwarzwaldes beitragen.

Danksagung

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Regierungspräsidiums Freiburg, Abt. Naturschutz und Landschaftspflege, gaben wertvolle Informationen zur Bewirtschaftung von Flächen und zum aktuellen Vorkommen stark gefährdeter Arten der Borstgrasrasen. Dr. D. Köppler (Wehr) informierte uns über Vorkommen von *Antennaria dioica* im Hotzenwald.

Im Jahr 1976 erhielt die Autorin Originalaufnahmen von Dr. W. Krause aus dem Wiesental-Gebiet (aufgenommen in den 1950er Jahren) von der damaligen Weideinspektion Schönau zur Auswertung. Freundlicherweise übermittelte auch Franz Schuhwerk der Autorin im Jahr 1979 seine Originaltabelle der Flügelginster-Weiden aus dem Hotzenwald aus den Jahren 1973–75. Der „Verein für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Freiburg i.Br.“ unterstützte die Untersuchungen im „Bannwald Flüh“ u.a. logistisch. Von Dr. C. Storm, Darmstadt, erhielten wir wertvolle Diskussionsbeiträge. Prof. Dr. W. Konold, Freiburg i. Br., gab wichtige Hinweise zum Manuskript. Allen sei herzlich gedankt für die Unterstützung.

Angeführte Schriften

Bakker, J. P., Elzinga, J. A., & de Vries, Y. (2009): Effects of long-term cutting in a grassland system: perspectives for restoration of plant communities on nutrient-poor soils. Appl. Veg. Sci, 5: 107–120.

Bartsch, J. & Bartsch, M. (1940): Vegetationskunde des Schwarzwaldes. Pflanzensoziologie, 4: 1–229. Fischer, Jena.

Bode, F. (2005): Subrezenter Vegetations- und Landschaftswandel im Südschwarzwald – untersucht am Beispiel des Menzenschwander Tals. Diss. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., Fak. f. Biologie, 146 S., Freiburg i. Br.

Bogenrieder, A. & Wilmanns, O. (1991): Der Einfluss von Schaf- und Rinderbeweidung auf die Weidfeldvegetation der Feldbergkuppe. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., 66: 7–30.

Böcker, R., Kowarik, I. & Bornkamm, R. (1983): Untersuchungen zur Anwendung der Zeigerwerte nach Ellenberg. Verh. Ges. Ökol., Festschrift Ellenberg, 9: 35–56.

Bröckl, A. (1989): Das Hinterwälder Rind ein Rassekleinod des Südschwarzwaldes. In: Der Belchen. Natur-und Landschaftsschutzgeb. Bad.-Württ., 13: 471–479. Karlsruhe.

Bücking, W. (1979): Bodenchemismus und Nährstoffe im Bannwald „Flüh“. Waldschutzgebiete im Rahmen der Mitt. der FVA,1: 81–101 u. Anhang.

Caspari, S., Dürhammer, O., Sauer, M. & Schmidt, C. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der Moose (Anthocerotophyta und Bryophyta). Naturschutz und Biologische Vielfalt, 70: 361–489.

Ceulemans, T., Merckx, R., Hens, M. & Honnay, O. (2013): Plant species loss from European semi-natural grasslands following nutrient enrichment – is it nitrogen or is it phosphorus? Global Ecol. Biogeogr., 22: 73–82.

Chytrý, M., Hejcman, M., Hennekens, S. M. & Schellberg, J. (2009): Changes in vegetation types and Ellenberg indicator values after 65 years of fertilizer application in the Rengen Grassland Experiment, Germany. Appl. Veg. Sci., 12: 167–176.

Clay, K. & Brown, V. K. (1997): Infection of *Holcus lanatus* and *H. mollis* by *Epichloë* in experimental grasslands. Oikos, 79: 363–370.

De Frenne, P., Gruwez, R. Hommel, P. W. F. M., De Schrijver, A., Huiskes, R.P.J. … & Verheyen, K. (2020): Effects of heathland management on seedling recruitment of common juniper (*Juniperus communis*). Plant Ecol. Evol., 153: 188–198.

Deutscher Wetterdienst: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_.../temp_... (Zugriff 18.08.2020).

Diekmann, M. (2003): Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. Basic Appl. Ecology, 4: 493–506.

Diekmann, M., Andres, C., Becker, T., Bennie, J., Blüml, V. ... & Wesche, K. (2019): Patterns of long-term vegetation change vary between different types of semi-natural grasslands in western and central Europe. J. Veg. Sci., 30: 187–202.

Dierschke, H. & Briemle, G. (2002): Kulturgrasland. Ulmer, 239 S., Stuttgart.

Dierschke, H. & Peppler-Lisbach, C. (2009): Erhaltung und Wiederherstellung der Struktur und floristischen Biodiversität von Bergwiesen – 15 Jahre wissenschaftliche Begleitung von Pflegemaßnahmen im Harz. Tuexenia, 29: 145–179.

Duprè, C., Stevens, C. J., Ranke, T., Bleeker, A., Peppler-Lisbach, C. … & Diekmann, M. (2010): Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years – the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. Glob. Change Biol., 16: 44–357.

Eggers, H. (1957): Die Weidewirtschaft im südlichen Schwarzwald. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 47: 147–253.

Eichberg, C., Storm, C., Stroh, M. & Schwabe, A. (2010): Is the combination of topsoil replacement and inoculation with plant material an effective tool for the restoration of threatened sandy grassland? Appl. Veg. Sci., 13: 425–438.

Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6. Aufl. Ulmer, 1333 S., Stuttgart.

Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V. & Werner, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3. Aufl. Goltze, 262 S., Göttingen.

Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. 3. fortgeschr. Fassung. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 156: 1–637.

Galvánek, D. & Janák, M. (2008): Management of Natura 2000 habitats. 6230 *Species-rich *Nardus* grasslands. European Commission. Technical Report 14/24. ec.europa.eu/.../natura2000/management/habitats/ (Zugriff am 10.08.2020).

Gaudnik, C., Corcket, E., Clement, B., Delmas, C. E. L., Gombert-Courvoisier, S. … & Alard, D. (2011): Detecting the footprint of changing atmospheric nitrogen deposition loads on acid grasslands in the context of climate change. Glob. Change Biol., 17: 3351–3365.

Geiger, F. (1983): Weidewirtschaft im Südschwarzwald heute – die Staatliche Weideinspektion Schönau als landschaftsgestaltender Faktor. Z. f. Agrargeogr., 1: 262–287.

Godefroid, S., Le Pajolec, S., Hechelski, M. & Van Rossum, F. (2018): Can we rely on the soil seed bank for restoring xeric sandy calcareous grasslands? Restor. Ecol., 26: 123–133.

Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatssi, M., Barancok, P. … & Grabherr, G. (2012): Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. Nat. Clim. Change, 2: 111–115.

Großherzoglich Bad. Min. des Innern (1889) (Ed.): Die Erhaltung und Verbesserung der Schwarzwaldweiden im Amtsbezirk Schönau. Amtliche Darstellung. Karlsruhe (mit Karte 1 : 50.000). Malsch & Vogel, 234 S., Karlsruhe.

Gruwez, R., De Frenne, P., De Schijver, A., Leroux, O., Vangansbeke, P. & Verheyen, K. (2014). Negative effects of temperature and atmospheric depositions on the seed viability of common juniper (*Juniperus communis*). Ann. Bot., 113: 489–500.

Hanson, G., Elsässer, M. & Martin, W. (1998): Unkrautproblematik extensiver Bergweiden im Südschwarzwald. 4. Alpenländisches Expertenforum, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, Irdning: 9–14.

Hedderich, J. & Sachs, L. (2012): Angewandte Statistik. 14. Aufl., Springer, 881 S., Berlin.
Heijne, B., Dueck, T. A., van der Eerden, L. J. & Heil, G. W. (1994): Effects of atmospheric ammonia and ammonium sulphate on vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization in three heathland species. New Phytol., 127: 685–696.
Hemmerle, H., May, J.-H. & Preusser, F. (2016): Übersicht über die pleistozänen Vergletscherungen im Schwarzwald. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 106: 31–67.
Henschel, K. & Konold, W. (2008): Geschichte der Allmendflächen und Ackerterrassen in der Gemeinde Häg-Ehrsberg (Südschwarzwald). Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 98: 143–180.
Hermle, S. & Deil, U. (2002): Rezenter Landschaftswandel in Schwarzwald und Vogesen – Gleichsinnige oder unterschiedliche Tendenzen? Arch. Nat. Landschaftsforsch., 41: 1–21.
Hill, M. O. & Carey, P. D. (1997): Prediction of yield in the Rothamsted Park grass experiment by Ellenberg indicator values. J. Veg. Sci., 8: 579–586.
Hill, M. & Gauch, H. (1980): Detrended Correspondence Analysis, an improved ordination technique. Vegetatio, 42: 47–58.
Hobohm, C. & Schwabe, A. (1985): Bestandsaufnahme von Feuchtvegetation und Borstgrasrasen bei Freiburg i.Br. - ein Vergleich mit dem Zustand von 1954/55. Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i.Br., 75: 5–51.
Hollmann, V., Donath, T. W., Grammel, F., Himmighofen, T., Zerahn, U. & Leyer, I. (2020): From nutrients to competition processes: Habitat specific threats to *Arnica montana* L. populations in Hesse, Germany. PLoS ONE, 15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233709.
Hothorn, T., Hornik, K. van de Wiel, M. A., Winell, H. & Zeileis, A. (2019): Coin: Conditional Inference Procedures in a Permutation Test Framework (version 1.3-1). https://cran.r-project.org/web/packages/coin/coin (Zugriff am 05.02.2019).
Issler, E. (1942): Vegetationskunde der Vogesen. Pflanzensoziologie 5: 1-192. Fischer, Jena.
Janssen, J. A. M., Rodwell, J. S., García Criado, M., Gubbay, S., Haynes, T. .... & Valachovič, M. (2016): European Red List of Habitats. Part 2: Terrestrial and freshwater habitats. European Commission, Brussels.
Kahmen, S. & Poschlod, P. (2000): Population size, plant performance, and genetic variation in the rare plant species *Arnica montana* L. in the Rhön, Germany. Basic Appl. Ecol., 1: 43–51.
Kersting, G. (1991): Allmendweiden im Südschwarzwald – eine vergleichende Vegetationskartierung nach 30 Jahren. Min. Ländl. Raum, Ern., Landw. u. Forsten Bad.-Württ., 117 S., Stuttgart.
Knapp, R. (1953): Über die natürliche Verbreitung von *Arnica montana* L. und ihre Entwicklungsmöglichkeit auf verschiedenen Böden. Ber. Dt. Bot. Ges., 66: 168–179.
Köppler, D. (2002): Landschaften und Vegetation des oberen Hotzenwaldes. Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Naturschutz, 18: 1–28.
Konold, W. (2004): Obrigkeit und Nachhaltwirtschaft – Ausbeutung, Beharrung und Naturschutz – Beispiele aus dem südlichen Schwarzwald. In: Döring, R. & Rühs, M.

(Hrsg.): Ökonomische Rationalität und praktische Vernunft. Königshausen und Neumann, Würzburg: 327-345.

Korhammer, K. & Konold, W. (2013): Fallstudie „Häg-Ehrsberg und Fröhnd (Südschwarzwald)“. In: Heinl, T. & Stadelbauer J. (Ed.): Die Kulturlandschaften des ländlichen Raums in Baden-Württemberg – Entwicklungen, Kontexte, Perspektiven. Akademie f. Raumforschung u. Landesplanung. Arbeitsmat., 359: 85–102. Hannover.

Kowarik, I. (2003): Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, 380 S., Stuttgart.

Krause, W. (1954): Zur ökologischen und landwirtschaftlichen Auswertung von Vegetationskarten der Allmendweiden im Hoch-Schwarzwald. Angewandte Pflanzensoziologie (Wien), Festschrift Aichinger, 2: 1076–1100.

Krause, W. (1962): Über das Leistungspotential der Allmendweiden des Hochschwarzwaldes. In: Lieth, H. (Ed.) Die Stoffproduktion der Pflanzendecke: 67–116. Fischer, Stuttgart.

Krause, W. & Frei, J. (1965): Die Verbesserung der Allmendweiden im Südschwarzwald, dargestellt an der Gemeinde Schönenberg (Kreis Lörrach). Das wirtschaftseigene Futter, 3: 181–200.

Kurtogullari, Y., Rieder, N. S., Arlettaz, R. & Humbert, J.-Y. (2020): Conservation and restoration of *Nardus* grasslands in the Swiss northern Alps. Appl. Veg. Science, 23: 26–38.

Luick, R., Freese, J., Reisinger, E., Röder, N. & Schoof, N. (2019): Politische Rahmenbedingungen und Ökonomie extensiver Weidesysteme. Kap. 9.1 Der agrarpolitische Rahmen. In: Naturnahe Beweidung und NATURA 2000 – Ganzjahresbeweidung im Management von Lebensraumtypen und Arten im europäischen Schutzgebietssystem NATURA 2000. Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz: 302–328. Bad Sassendorf.

Maiweg, S. & Frahm-Jaudes, B. E. (2008): Natura 2000. Die Situation der Arnika (*Arnica montana* L.) in Hessen – Art des Anhangs V der FFH-Richtlinie. Hess. Min. für Umwelt, Ländl. Raum u. Verbr.schutz (Ed.). 65 S. u. Anhang, Wiesbaden.

Matějková, I., van Diggelen, R. & Prach, K. (2003): An attempt to restore central European species-rich mountain grassland through grazing. Appl. Veg. Sci., 6: 161–168.

Maurice, T., Colling, G., Muller, S. & Matthies, D. (2012): Habitat characteristics, stage structure and reproduction of colline and montane populations of the threatened species *Arnica montana*. Plant Ecol., 213: 831–842.

McCune, B. & Mefford, M. J. (2011): PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.0. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.

Metz, R. & Rein, G. (1958): Geologisch-petrographische Übersichtskarte des Südschwarzwaldes 1: 50.000 (mit Erläuterungen). Verl. Schauenburg, 126 S., 14 Abb., 1 geologische Karte, Lahr.

Metzing, D., Garve, E. & Matzke-Hajek, G. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der Farn- und Blütenpflanzen (Tracheophyta) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 70: 13–358.

Mitchell, R. J., Hewison, R. L., Fielding, D. A., Fisher, J. M., Gilbert, D.J. … & Riach, D. (2018): Decline in atmospheric sulphur deposition and changes in climate are the ma-

jor drivers of long-term change in grassland plant communities in Scotland. Environm. Pollut., 235: 956–964.

Müller, K. (1948): Die Vegetationsverhältnisse im Feldberggebiet. In: Müller, K. (Ed.) Der Feldberg im Schwarzwald: 211–362. Bielefelds Verlag, Freiburg i. Br.

Natur des Jahres (2020): Pflanzengesellschaft des Jahres Borstgrasrasen (Nardetalia strictae). Natur und Landschaft, 95: 89.

Nehring, S., Kowarik, I., Rabitsch, W. & Essl, F. (Ed.) (2013): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. BfN-Skripten, 352: 126–127.

Oberdorfer, E. (1957): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. 1. Aufl. Fischer, 564 S., Jena.

Oberdorfer, E. (1978) (Bearb.): Nardo-Callunetea. In: Oberdorfer, E. (Hrsg.): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. 2. Aufl., Teil II: 208–248. Fischer, Stuttgart.

Oberdorfer, E. (1982): Erläuterungen zur vegetationskundlichen Karte Feldberg 1 : 25.000. Beih. Veröff. Natursch. Landschpfl. Bad.-Württ., 27: 1–86. Karlsruhe.

Oberdorfer, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. 8. Aufl. Ulmer, 1056 S., Stuttgart.

Oberdorfer, E. & Lang, G. (1957): Eine Vegetationskarte von Freiburg i. Br. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 47: 139–145 u. Karte.

Pannek, A., Duprè, C., Gowing, D. J. G., Stevens, C. J. & Diekmann, M. (2015): Spatial gradients in nitrogen deposition affects plant species frequency in acidic grasslands. Oecologia, 177: 39–51.

Pegtel, D. M. (1994): Habitat characteristics and the effect of various nutrient solutions on growth and mineral nutrition of *Arnica montana* L. grown on natural soil. Vegetatio, 114: 109–121.

Peppler, C. (1987): Nardetalia-Gesellschaften im Werra-Meißner-Gebiet. Tuexenia, 7: 245–265.

Peppler, C. (1992): Die Borstgrasrasen (Nardetalia) Westdeutschlands. Diss. Bot., 193: 1–404.

Peppler-Lisbach, C. & Könitz, N. (2017): Vegetationsveränderungen in Borstgrasrasen des Werra-Meißner-Gebietes (Hessen, Niedersachsen) nach 25 Jahren. Tuexenia, 37: 201–228.

Peppler-Lisbach, C. & Petersen, J. (2001): Calluno-Ulicetea. Teil 1: Nardetalia strictae. Synopsis der Pflanzengesellschaften Deutschlands. 8: 1–117. Goltze, Göttingen.

Peppler-Lisbach, C., Stanik, N., Könitz, N. & Rosenthal, G. (2020): Long-term vegetation change in *Nardus* grasslands indicate eutrophication, recovery from acidification, and management change as the main drivers. Appl. Veg. Sci. 23: 508-521.

Philippi, G. (1989): Die Pflanzengesellschaften des Belchen-Gebietes im Schwarzwald. In: Der Belchen. Natur- und Landschaftsschutzgeb. Bad.-Württ., 13: 747–890. Karlsruhe.

R Core Team (2019): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; version 3.6.0.

Regierung von Oberfranken, Bearb. Blachnik, T. (2018): Artenhilfsprogramm Botanik Oberfranken – Erhaltungsprojekt für akut vom Aussterben bedrohte Populationen von *Antennaria dioica* in Nordost-Oberfranken. Projektzusammenfassung 2015–2018. https://agentur-blachnik.de/pdf/erhaltungsprojekt-antennaria-abschlussbericht-2018.

Reichelt, G. & Wilmanns, O. (1973): Vegetationsgeographie. Das Geographische Seminar. Westermann, 210 S., Braunschweig.

Reif, A. & Katzmaier, R. (1996/1997): Zur Landnutzungsgeschichte der Allmendweiden von Ibach und Wittenschwand, Südschwarzwald. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 86/87: 55–98.

Reif, A., Katzmaier, R. & Knörzer, D. (1996): „Extensivierung“ in der Kulturlandschaftspflege: Begriffsdiskussion am Beispiel von Allmendweiden im Südschwarzwald. Naturschutz und Landschaftsplanung, 28: 293–298.

Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie). https://eur-lex.europa.eu (Zugriff am 10.07.2020).

Rosche,C., Schrieber, K., Hirsch, H., Blachnik, T., Träger, S. … & Hensen, I. (2014): Sexuelle Reproduktion und klonales Wachstum in kleinen Populationen von *Antennaria dioica* (L.) Gaertner Hercynia N. F., 47: 59–86

Rosche, C., Schrieber, K., Lachmuth, S., Durka, W., Hirsch, H. … & Hensen, I. (2018): Sex ratio rather than population size affects genetic diversity in *Antennaria dioica*. Plant Biol., 20: 789–796.

Rosenthal, G., Schrautzer, J. & Eichberg, C. (2012): Low-intensity grazing with domestic herbivores: A tool for maintaining and restoring plant diversity in temperate Europe. Tuexenia, 32: 167–205.

Roth, T., Kohli, L., Rihm, B. & Achermann, B. (2013): Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland. Agric. Ecosyst. Environ., 178:121–126.

Rudner, M. & Groß, M. (2012): Funktionelle Pflanzentypen für Borstgrasrasen im Schwarzwald. Tuexenia, 32: 141–166.

Sauerwein, B., Adam, L. & Stanik, N. (i. Dr.): Historische Verbreitung und Vitalität aktueller Vorkommen des Katzenpfötchens (*Antennaria dioica*) in Nordost-Hessen. Botanik und Naturschutz in Hessen 34.

Schelfhout, S., Mertens, J., Perring, M. P., Raman, M., Baeten, L. … & De Schriever, A. (2017): P-removal for restoration of *Nardus* grasslands on former agricultural land: cutting traditions. Rest. Ecol., 25: 178–187.

Schreiber, K.-E (1986): Sukzessionsstudien an Grünlandbrachen im Hochschwarzwald. Abh. Westf. Mus. Naturk., 48: 81–92.

Schröter, C. (1926): Das Pflanzenleben der Alpen. 2. Aufl. Verl. Albert Raustein, 1288 S., Zürich.

Schuhwerk, F. (1988): Naturnahe Vegetation im Hotzenwald (Südöstlicher Schwarzwald). Diss. Univ. Regensburg., 526 S. und Anhang. (verfügbar als digitaler Sonderband der Bayerischen Botanischen Ges., http://bbgev.de/sonderbaende.html).

Schwabe, A. (1987): Fluß- und bachbegleitende Pflanzengesellschaften und Vegetationskomplexe im Schwarzwald. Diss. Bot., 102: 1–368 u. Anhang.

Schwabe, A. (1990a): Veränderungen in montanen Borstgrasrasen durch Düngung und Brachlegung: *Antennaria dioica* und *Vaccinium vitis-idaea* als Indikatoren. Tuexenia, 10: 295–310.

Schwabe, A. (1990b): Syndynamische Prozesse in Borstgrasrasen: Reaktionsmuster von Brachen nach erneuter Rinderbeweidung und Lebensrhythmus von *Arnica montana*. Carolinea, 48: 45–68.

Schwabe, A. (1991): A method for the analysis of temporal changes in vegetation pattern on a landscape level. Vegetatio, 95: 1–19.

Schwabe, A. (1997): Zum Einfluß von Ziegenbeweidung auf gefährdete Bergheiden-Vegetationskomplexe: Konsequenzen für Naturschutz und Landschaftspflege. Natur und Landschaft, 72: 183–192.

Schwabe, A., Eichberg, C., Stroh, M. & Storm, C. (2015): Gefährdete Sandvegetation der nördlichen Oberrheinebene: vegetationsökologische Untersuchungen der Technischen Universität Darmstadt 1995-2013 im Landkreis Darmstadt-Dieburg und im Bereich der Stadt Darmstadt. Braunschweiger Geobot. Arb.,11: 249–300. https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbbs_derivate_00036743/ Festschrift_Brandes_2015.

Schwabe, A. & Kratochwil, A. (1986): Schwarzwurzel- (*Scorzonera humilis*-) und Bachkratzdistel- (*Cirsium rivulare*)-reiche Vegetationstypen im Schwarzwald: Ein Beitrag zur Erhaltung selten werdender Feuchtwiesentypen. Veröff. Naturschutz Landschaftspfl. Bad.-Württ., 61: 277–333.

Schwabe, A. & Kratochwil, A. (1987): Weidbuchen im Schwarzwald und ihre Entstehung durch Verbiß des Wälderviehs: Verbreitung, Geschichte und Möglichkeiten der Verjüngung. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspfl. Bad.-Württ., 49: 1–118.

Schwabe, A. & Kratochwil, A. (2015): Pflanzensoziologische Dauerflächen-Untersuchungen im Bannwald „Flüh“ (Südschwarzwald) unter besonderer Berücksichtigung der Weidfeld-Sukzession. Standort.Wald, 49: 5–49.

Schwabe, A., Kratochwil, A., & Bammert, J. (1989): Sukzessionsprozesse im aufgelassenen Weidfeld-Gebiet des „Bannwald Flüh“ (Südschwarzwald): 1976-1988. Mit einer vergleichenden Betrachtung statistischer Auswertungsmethoden. Tuexenia, 9: 351–370.

Schwabe, A. & Mann, P. (1990): Eine Methode zur Beschreibung und Typisierung von Vogelhabitaten, gezeigt am Beispiel der Zippammer (*Emberiza cia*). Ökol. Vögel – Ecol. Birds, 12: 127–157.

Schwabe, A., Tischew, S., Bergmeier, E., Garve, E., Härdtle, W. … & Dierschke, H. (2019): Pflanzengesellschaft des Jahres 2020: Borstgrasrasen. Tuexenia, 39: 287–308.

Schwabe-Braun, A. (1979a): Weidfeld-Vegetation im Schwarzwald: Geschichte – Gesellschaften und ihre Komplexe – Bedeutung für den Naturschutz. Diss. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., Fak. f. Biologie, 204 S., Freiburg i. Br.

Schwabe-Braun, A. (1979b): Sigma-Soziologie von Weidfeldern im Schwarzwald: Methodik, Interpretation und Bedeutung für den Naturschutz. Phytocoenologia, 6: 21–31.

Schwabe-Braun, A. (1979c): Die Pflanzengesellschaften des Bannwaldes ,,Flüh“ bei Schönau (Südschwarzwald). Waldschutzgebiete im Rahmen der Mitt. der FVA, 1: 1–67 u. Anhang mit Tab. u. Vegetationskarte 1: 2.500.

Schwabe-Braun, A. (1980a): Eine pflanzensoziologische Modelluntersuchung als Grundlage für Naturschutz und Planung. Weidfeld-Vegetation im Schwarzwald: Geschichte der Nutzung - Gesellschaften und ihre Komplexe - Bewertung für den Naturschutz. Urbs et Regio, 18: 1–212 u. Anhang

Schwabe-Braun, A. (1980b): Wirtschaftsbedingte Vegetationstypen auf Extensivweiden im Schwarzwald. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 70: 57–95.

Sick, W. D. (1980): Der Schwarzwald. Landeskundlicher Überblick. In: Liehl, E. & Sick, W. D. (Hrsg.): Der Schwarzwald. Beiträge zur Landeskunde. Veröff. Alemann. Inst. Freiburg i. Br. 47: 529–545. Bühl/Baden.

Starfinger, U. & Kowarik, I. (aktualisiert v. Nehring, S.) (2011): Artensteckbrief *Lupinus polyphyllus.* Bundesamt für Naturschutz. https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/lupinus-polyphyllus.html (Zugriff 23.08.2020).

Stevens, C. J., Dise, N. B., Mountford, J. O. & Gowing, D. J. (2004): Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. Science, 303: 1876–1879.

Stevens, C. J., Duprè, C., Dorland, E., Gaudnik, C., Gowing, D. J. G. … & Diekmann, M. (2010): Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. Environm. Pollut., 158: 2940–2945.

Stevens, C. J., Gowing, D. G. J., Wotherspoon, K. A., Alard, D., Aarestadt, P. A. … & Corcket, E. (2011): Addressing the impact of atmospheric nitrogen deposition on western European grasslands. Environ. Managem., 48, 885–894.

Thompson, K., Bakker, J. P. & Bekker, R. M. (1997): The Soil Seed Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity. Cambridge Univ. Press, 276 pp., Cambridge.

Umweltbundesamt (2020): Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff, Bezugsjahre 2013–2015. http://gis.uba.de/website/depo1/ (Zugriff am 10.07.2020).

Varga, S. & Kytöviita, M. M. (2010): Interrelationships between mycorrhizal symbiosis, soil pH and plant sex modify the performance of *Antennaria dioica*. Acta Oecol., 36: 291–298.

Waesch, G. (2006): Untersuchungen zum Diasporenvorrat unterschiedlich genutzter Wiesen im Thüringer Wald – Kann die Samenbank eine Regeneration von Grasland bewirken? Tuexenia, 26: 275–295.

Wirth, V., Hauck, M., von Brackel, W., Cezanne, R., de Bruyn, U. … & John, V. (2011): Checklist of lichens and lichenicolous fungi in Germany. Version 2: 19 January 2011. Georg August University of Göttingen. http://www.gwdg.de/~mhauck, Göttingen, Germany.

Young, A., Boyle, T. & Brown, T. (1996): The population genetic consequences of habitat fragmentation. Trends Ecol. Evol, 11: 413–418.

Anhang

Tab. A1: Abkürzungen der Pflanzennamen in Abb. 13, 15. Rote Liste (RL)-Status Deutschland: Metzing et al. (2018). 3 = gefährdet, V = Vorwarnliste.
Table A1: Abbreviations of the plant species in Figures 13, 15. Red-list (RL) status Germany: Metzing et al. (2018). 3 = endangered, V = near threatened.

RL	Kürzel	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
.	Achi.mil	Achillea millefolium agg.	Gewöhnliche Schafgarbe
.	Agro.cap	Agrostis capillaris	Rotes Straußgras
.	Alch.vul	Alchemilla vulgaris agg.	Gewöhnlicher Frauenmantel
3	Ante.dio	Antennaria dioica	Zweihäusiges Katzenpfötchen
.	Anth.odo	Anthoxanthum odoratum	Gewöhnliches Ruchgras
3	Arni.mon	Arnica montana	Berg-Wohlverleih, Arnika
.	Arrh.ela	Arrhenatherum elatius	Glatthafer
.	Atoc.rup	Atocion rupestre (= Silene r.is)	Felsen-Leimkraut
.	Bist.off	Bistorta officinalis	Wiesen-Knöterich
.	Briz.med	Briza media	Gewöhnliches Zittergras
.	Call.vul	Calluna vulgaris	Besenheide
.	Camp.rot	Campanula rotundifolia	Rundblättrige Glockenblume
.	Card.pra	Cardamine pratensis	Wiesen-Schaumkraut
V	Care.car	Carex caryophyllea	Frühlings-Segge
.	Care.lep	Carex leporina	Hasenpfoten-Segge
.	Care.pal	Carex pallescens	Bleich-Segge
.	Care.pil	Carex pilulifera	Pillen-Segge
V	Carl.aca	Carlina acaulis	Stängellose Silberdistel
.	Cent.nig	Centaurea nigra	Schwarze Flockenblume
.	Cera.hol	Cerastium holosteoides	Gewöhnliches Hornkraut
.	Cirs.pal	Cirsum palustre	Sumpf-Kratzdistel
3	Cusc.epi	Cuscuta epithymum	Quendel-Seide
.	Cyno.cri	Cynosurus cristatus	Wiesen-Kammgras
.	Dact.glo	Dactylis glomerata	Gewöhnliches Knaulgras
.	Dact.mac	Dactylohiza maculata agg.	Geflecktes Knabenkraut
V	Dant.dec	Danthonia decumbens	Dreizahn
.	Desc.ces	Deschampsia cespitosa	Rasen-Schmiele

RL	Kürzel	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
.	Desc.fle	Deschampsia flexuosa	Draht-Schmiele
V	Dian.del	Dianthus deltoides	Heide-Nelke
.	Epip.hel	Epipactis helleborine	Breitblättrige Stendelwurz
.	Euph.cyp	Euphorbia cyparissias	Zypressen-Wolfsmilch
.	Euph.off	Euphrasia officinalis agg.	Gewöhnlicher Augentrost
.	Fest.nig	Festuca nigrescens	Horst-Rotschwingel
.	Fest.ovi	Festuca ovina agg.	Schaf-Schwingel
.	Frag.ves	Fragaria vesca	Wald-Erdbeere
.	Gale.tet	Galeopsis tetrahit	Gewöhnlicher Hohlzahn
.	Gali.alb	Galium album	Weißes Labkraut
V	Gali.pus	Galium pusillum (= pumilum)	Heide-Labkraut
.	Gali.sax	Galium saxatile	Harzer (Sand-) Labkraut
3	Geni.ang	Genista anglica	Englischer Ginster
V	Geni.pil	Genista pilosa	Haar-Ginster
V	Geni.sag	Genista sagittalis	Flügel-Ginster
V	Geni.tin	Genista tinctoria	Färber-Ginster
.	Gnap.syl	Gnaphalium sylvaticum	Wald-Ruhrkraut
.	Hera.sph	Heracleum sphondylium	Wiesen-Bärenklau
.	Hie.lach	Hieracium lachenalii	Gewöhnliches Habichtskraut
3	Hie.lact	Hieracium lactucella	Öhrchen-Habichtskraut
.	Hie.lae	Hieracium laevigatum	Glattes Habichtskraut
.	Hie.mur	Hieracium murorum	Wald-Habichtskraut
.	Hie.pil	Hieracium pilosella	Mausohr-Habichtskraut
.	Holc.lan	Holcus lanatus	Wolliges Honiggras
.	Holc.mol	Holcus mollis	Weiches Honiggras
.	Hype.per	Hypericum perforatum	Tüpfel-Johanniskraut
.	Hypo.rad	Hypochaeris radicata	Gewöhnliches Ferkelkraut
3	Jasi.lae	Jasione laevis	Ausdauernde Sandrapunzel
.	Jasi.mon	Jasione montana	Berg-Sandrapunzel
.	Knau.arv	Knautia arvensis	Wiesen-Witwenblume
V	Lath.lin	Lathyrus linifolius	Berg-Platterbse
.	Leon.his	Leontodon hispidus	Rauer Löwenzahn

RL	Kürzel	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
.	Leuc.vul	Leucanthemum vulgare agg.	Wiesen-Margerite
.	Lotu.cor	Lotus corniculatus	Gewöhnlicher Hornklee
.	Lupi.pol	Lupinus polyphyllus	Vielblättrige Lupine
.	Luzu.cam	Luzula campestris agg.	Artengruppe Feld-Hainsimse
.	Luzu.luz	Luzula luzuloides	Schmalblättrige Hainsimse
.	Mela.pra	Melampyrum pratense	Wiesen-Wachtelweizen
.	Mela.syl	Melampyrum sylvaticum	Wald-Wachtelweizen
V	Meum.ath	Meum athamanticum	Bärwurz
V	Nard.str	Nardus stricta	Borstgras, Bürstling
3	Pedi.syl	Pedicularis sylvatica	Wald-Läusekraut
.	Phle.pra	Phleum pratense	Wiesen-Lieschgras
.	Pimp.maj	Pimpinella major	Große Pimpernelle
.	Pimp.sax	Pimpinella saxifraga	Kleine Pimpernelle
.	Plan.lan	Plantago lanceolata	Spitz-Wegerich
3	Plat.bif	Platanthera bifolia	Weiße Waldhyazinthe
.	Poa.cha	Poa chaixii	Berg-Rispengras
.	Poa.pra	Poa pratensis	Wiesen-Rispengras
3	Poly.ser	Polygala serpyllifolia	Quendel-Kreuzblume
V	Poly.vul	Polygala vulgaris	Gewöhnliche Kreuzblume
.	Pote.ere	Potentilla erecta	Blutwurz
.	Prun.vul	Prunella vulgaris	Gewöhnliche Braunelle
.	Ranu.acr	Ranunculus acris	Scharfer Hahnenfuß
.	Ranu.bul	Ranunculus bulbosus	Knolliger Hahnenfuß
.	Ranu.nem	Ranunculus polyanthemos subsp. nemorosus	Hain-Hahnenfuß
.	Rhin.min	Rhinanthus minor	Kleiner Klappertopf
.	Rum.ace	Rumex acetosa	Wiesen-Sauerampfer
.	Rum.ella	Rumex acetosella	Kleiner Sauerampfer
.	Scor.aut	Scorzoneroides autumnalis	Herbst-Schuppenlöwenzahn
.	Sile.nut	Silene nutans	Nickendes Leimkraut
.	Sile.vul	Silene vulgaris = cucubalus	Taubenkropf-Leimkraut
.	Soli.vir	Solidago virgaurea	Echte Goldrute

RL	Kürzel	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
.	Stel.gra	Stellaria graminea	Gras-Sternmiere
V	Succ.pra	Succisa pratensis	Teufelsabbiss
.	Tara.Rud	Taraxacum sect. Ruderalia	Wiesen-Löwenzahn-Gruppe
.	Teuc.sco	Teucrium scorodonia	Salbei-Gamander
3	Thes.pyr	Thesium pyrenaicum	Wiesen-Leinblatt
.	Thym.pul	Thymus pulegioides	Arznei-Thymian
.	Trif.med	Trifolium medium	Mittel-Klee
.	Trif.pra	Trifolium pratense	Rot-Klee
.	Trif.rep	Trifolium repens	Weiß-Klee
.	Vacc.myr	Vaccinium myrtillus	Heidel-, Blaubeere
.	Vacc.vit	Vaccinium vitis-idaea	Preiselbeere
.	Vero.cha	Veronica chamaedrys	Gamander-Ehrenpreis
.	Vero.off	Veronica officinalis	Echter Ehrenpreis
.	Vici.ang	Vicia angustifolia	Schmalblättrige Wicke
.	Vici.cra	Vicia cracca	Vogel-Wicke
.	Vici.sep	Vicia sepium	Zaun-Wicke
V	Viol.can	Viola canina	Hunds-Veilchen
		Moose	
.	Brac.alb	Brachythecium albicans	
.	Cera.pur	Ceratodon purpureus	
.	Hylo.spl	Hylocomium splendens	
.	Plag.cus	Plagiomnium cuspidatum	
.	Pleu.sch	Pleurozium schreberi	
.	Pohl.nut	Pohlia nutans	
.	Poly.for	Polytrichum formosum	
.	Pseu.pur	Pseudoscleropodium purum	
.	Rhyt.squ	Rhytidiadelphus squarrosus	
		Flechten	
.	Clad.arb	Cladonia arbuscula	
.	Clad.fur	Cladonia furcata agg.	
.	Clad.sp.	Cladonia sp.	

Tab. A2: Lokalitäten der Plots aus den Jahren 1977–1978 (Z I), die 2016–20 (Z II) wieder aufgenommen wurden. Die Nummern entsprechen der Darstellung in Abb. 12, 14. MTB: Meßtischblatt 1:25.000. Angegeben sind zusätzlich die Zahl der Nährstoffzeiger pro Plot (Nz) und die Zielarten-Ratio (TSR).
Table A2: Localities of the plots from the years 1977–1978 (Z I) which had been re-sampled 2016–2020 (Z II). The numbers correspond to Figures 12, 14. MTB: No. of ordnance survey map with scale 1:25.000. Additionally there is information about the number of nutrient indicators per plot (Nz) and target-species ratio (TSR).

Südwestlicher Schwarzwald									
Nr.	Lokalität	MTB	ü.M.	Z I	Nz	TSR	Z II	Nz	TSR
1	Schönenberg Dossen	8213	820	1a	1	0,55	1b	6	0,13
2	Muggenbrunn Heubühl	8113	1050	2a	1	0,62	2b	4	0,38
3	Muggenbrunn Dachswegle	8113	1110	3a	6	0,35	3b	6	0,33
4	Muggenbrunn Dachswegle	8113	1140	4a	2	0,47	4b	6	0,39
5	Aitern Auf d. Winden	8113	850	5a	7	0,26	5b	9	0,29
6	Aitern Auf d. Winden	8113	870	6a	4	0,46	6b	6	0,28
7	Aitern Auf d. Winden	8113	850	7a	5	0,52	7b	9	0,33
8	Gießhübel Schauinsland	8013	1100	8a	2	0,37	8b	10	0,36
9	Gießhübel Schauinsland	8013	1100	9a	1	0,52	9b	4	0,47
10	Gießhübel Schauinsland	8013	1080	10a	1	0,50	10b	6	0,43
11	Gießhübel Schauinsland	8013	1080	11a	0	0,55	11b	1	0,44
12	Gießhübel Schauinsland	8013	1120	12a	0	0,50	12b	7	0,39
13	Gießhübel Schauinsland	8013	1100	13a	2	0,42	13b	1	0,59
14	Gießhübel Schauinsland	8013	1120	14a	0	0,59	14b	2	0,38
15	Präg Wildbodenbächle	8213	930	15a	7	0,27	15b	10	0,29
16	Präg Wildbodenbächle	8213	920	16a	3	0,29	16b	12	0,26
17	Schneckenkopf oh. Schönau	8213	860	17a	5	0,38	17b	6	0,24
18	Schneckenkopf oh. Schönau	8213	950	18a	5	0,41	18b	4	0,44
19	Schneckenkopf oh. Schönau	8213	900	19a	3	0,48	19b	3	0,45
20	Tunau Eck	8213	820	20a	4	0,38	20b	7	0,32
21	Tunau Eck	8213	940	21a	4	0,42	21b	7	0,28
22	Tunau Eck	8213	860	22a	2	0,30	22b	6	0,42
23	Wieden b. d. Schafbuchen	8113	1050	23a	5	0,40	23b	6	0,44
24	Wieden b. d. Schafbuchen	8113	1040	24a	5	0,53	24b	9	0,25
25	Todtmoos-Weg	8213	1060	25a	1	0,43	25b	5	0,35
26	Todtmoos-Weg	8213	1060	26a	3	0,32	26b	9	0,22
27	Todtmoos-Weg	8213	1060	27a	4	0,42	27b	10	0,31
28	Fröhnd Holzer Kreuz	8213	950	28a	1	0,63	28b	10	0,38
29	Fröhnd Holzer Kreuz	8213	950	29a	2	0,32	29b	7	0,30

Südwestlicher Schwarzwald									
Nr.	Lokalität	MTB	ü.M.	Z I	Nz	TSR	Z II	Nz	TSR
30	Fröhnd Holzer Kreuz	8213	960	30a	1	0,50	30b	6	0,38
31	Fröhnd-Wühre	8213	800	31a	5	0,42	31b	8	0,34
32	Geschwender Halde	8113	750	32a	2	0,43	32b	2	0,53
33	Neuenweg	8112	930	33a	0	0,42	33b	9	0,20
34	Münsterhalden	8112	730	34a	2	0,35	34b	8	0,28
35	Münsterhalden	8112	730	35a	1	0,38	35b	5	0,34
36	Todtnauberg Ratschert	8113	116	36a	1	0,62	36b	8	0,38
Südöstlicher Schwarzwald mit SO-Abdachung Mittlerer Schwarzwald									
37	Bernau Weierle	8214	880	37a	1	0,60	37b	6	0,37
38	Bernau-Riggenbach	8114	1030	38a	2	0,52	38b	4	0,41
39	Bernau-Riggenbach	8114	970	39a	4	0,41	39b	3	0,50
40	Bernau-Riggenbach	8114	1060	40a	3	0,55	40b	4	0,44
41	Blasiwald Althütte	8214	1110	41a	0	0,57	41b	0	0,53
42	Blasiwald Althütte	8214	1110	42a	2	0,50	42b	1	0,47
43	Blasiwald Sommerseite	8214	1070	43a	4	0,37	43b	1	0,50
44	Blasiwald Althütte	8214	1110	44a	1	0,57	44b	5	0,43
45	Wilhelmshöhe (Schonach)	7815	950	45a	2	0,46	45b	3	0,42
46	Wilhelmshöhe (Schonach)	7815	960	46a	2	0,48	46b	3	0,48
47	Wilhelmshöhe (Schonach)	7815	980	47a	0	0,39	47b	2	0,45
48	Schönwald Bühl	7815	960	48a	5	0,41	48b	3	0,48
49	Schönwald Bühl	7815	950	49a	0	0,57	49b	8	0,36
50	Lauben (Schonach)	7815	960	50a	0	0,55	50b	2	0,38
51	Weissenbach (Schönwald)	7815	960	51a	3	0,56	51b	6	0,31
52	Weissenbach (Schönwald)	7815	960	52a	0	0,64	52b	8	0,16
53	Weissenbach (Schönwald)	7815	960	53a	1	0,56	53b	3	0,59
54	Menzenschwand Hinterdorf	8114	920	54a	1	0,54	54b	2	0,42
55	Menzenschwand Hinterdorf	8114	930	55a	5	0,50	55b	3	0,55
56	Schluchsee Äule	8114	1120	56a	7	0,38	56b	8	0,37
57	Schluchsee Äule	8114	1100	57a	9	0,37	57b	10	0,34
58	Schluchsee Oberaha	8114	950	58a	6	0,43	58b	7	0,44
59	Schluchsee Oberaha	8114	1000	59a	0	0,46	59b	6	0,40
60	Schluchsee Oberaha	8114	980	60a	1	0,39	60b	6	0,32