

BOTANIK

Ökologische Beobachtungen an Gebirgspflanzen

VON KARL OTTO SAUERBECK, Stuttgart

ZUSAMMENFASSUNG

Zwei seltsame Eisbildungen werden beschrieben, die im Hochgebirge gelegentlich beobachtet werden können. Sie werden der Anschaulichkeit halber Hellebarden- bzw. Korallen-Eis genannt. Bei ihrer Entstehung wirken anorganische Natur und Pflanzen zusammen. Das Hellebarden- oder Schlüsselbart-Eis setzt an Stämmchen und Halmen an und ist auf der Leeseite der Stängel lang ausgezogen und vertikal gezackt. Das Korallen-Eis umhüllt Seggenblätter an Quellen wie ein Etui. Bei ihm ist die Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit entscheidend, beim Hellebarden-Eis die Form der landschaftlichen Umgebung. Es wird versucht, die Entstehung dieser auffälligen Formen zu erklären.

Stichwörter: Pflanze und Eis, *Carex frigida*, *Elyna*

ABSTRACT

Two unusual forms of ice will be described. In high-mountain chains they can be observed now and then. Plants and anorganic nature collaborate in a surprising way to create them. In order to make things more evident we name these forms halberd ice (key-bite ice) and coral ice. Halberd ice adheres to little stems and grass stalks. Leeward it is extremely extended and vertically scalloped. Coral ice covers leaves of sedges as a case. We try to clear up the origin of those extraordinary forms. For halberd ice the geomorphological forms of the environs are decisive, in the case of coral ice, however, the saturation of the air with damp.

Key words: plants and ice, *Carex frigida*, *Elyna*

1. EINLEITUNG

Die mitteleuropäischen Gebirgspflanzen haben sich mit der großen Zahl der Frostwechsellage auseinanderzusetzen. Viele Male im Jahr sinkt die Temperatur vorübergehend unter den Gefrierpunkt, steigt aber bald erneut an. Das Wasser, das für alles pflanzliche Leben so große Bedeutung hat, gefriert und taut dann wieder auf. K. BERTSCH (1950) schreibt mit Recht: „Eine völlig schneefreie Sommerzeit gibt es nur bis zu einer Höhe von 1500 m. Weiter oben kann jeden Monat Schnee fallen. Dort berühren sich Frühling und Herbst.“ Diese Verhältnisse in den Hochregionen haben zwei Folgen, eine ökologisch-vegetationskundliche und eine aktualgeologisch-klimatische. Beide sollen uns hier beschäftigen.

Da die Temperatur den Gefrierpunkt in beiden Richtungen so häufig überschreitet, spielt neben dem Schnee auch das Eis eine größere Rolle als im Flachland. Wenn der Schnee zu Wasser geworden ist, gefriert dieses zwar wieder. Aber unter den ganz anderen Bedingungen, die Schmelzwasser nahe der Erdober-

fläche antrifft, bilden sich nicht erneut Schneekristalle. Vielmehr erstarrt das Wasser zu kompakten Eismassen. An bestimmten Stellen im Gelände lastet dann statt der lockeren, mit Luft gefüllten, daher gut isolierenden Schneedecke eine Eiskruste auf den Pflanzen. Diese schließt sie zwar noch stärker von der Außenatmosphäre ab. Aber es kommt keine gemeinsame Binnenatmosphäre für die gesamte Vegetation zustande, wie es unter dem Schnee der Fall ist. Die einzelnen Pflanzenteile verfügen nun getrennt über eine solche.

Deshalb haben die Pflanzen nicht die Möglichkeit, in einen eigentlichen Ruhezustand überzutreten, wenn die Temperatur stärker zurückgeht. Es bleibt immer nur die Möglichkeit, ihre Lebenstätigkeit vorübergehend herabzusetzen, wenn Kältegrade das erforderlich machen. Sobald Tauwetter eintritt, müssen sie sich sogleich reaktivieren. Verführen sie anders, so müssten sie das ganze Jahr auf bessere Verhältnisse warten. Sie wären dann an ihrem Standort nicht lebensfähig.

Vor allem sollen hier einige Erscheinungen beschrieben werden, die zeigen, wie anorganische und organische Erscheinungen und Vorgänge im Bergwinter zusammenwirken. Ferner sollen einige Eisbildungen beschrieben werden, die durch das Zusammenspiel von Pflanzenteilen mit dem Wasser in der kalten Jahreszeit entstehen und einem aufmerksamen Auge im Gebirge (nicht allzu häufig) auffallen, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sich über den Tau zu Eis verfestigt oder Wasser vom kristallisierten festen Aggregatzustand (Schnee) über den flüssigen in den amorphen festen (Eis) übergeht und Schnee oder Eis mit Pflanzen in Berührung kommen.

2. EISSEGGENGESellschaft UND „KORALLENEIS“

2.1 Örtlichkeit und Vegetation

Einen Quellaustritt im Kleinen Walsertal (Vorarlberg) umgibt das Fragment eines Caricetum frigidae RÜBEL 1912, in dem im September fast nur die namengebende Segge sichtbar vertreten ist. Die wenigen Begleitpflanzen fielen in ihren oberirdischen Teilen meist einem Frühfrost zum Opfer. Daher ist um diese Jahreszeit nicht zu entscheiden, inwieweit man den Pflanzenwuchs einer der Subgesellschaften (Soldanello-, Tofieldio-, Primulo-, Saxifrago-Caricetum frigidae) zuordnen kann. „Anfänge eines Humusaufbaues“ (OBERDORFER 1977:268) sind in der „Quellmulde“ festzustellen. Wie es für die Bewohnerin, „stets durchfeuchteter Nassböden“ charakteristisch ist, war die Erde unmittelbar an der Quelle im Sommer für normale Touristen unbegehrbar, da zu morastig, weshalb sich die Seggen dort recht gut behaupten konnten. An Begleitpflanzen sind ganz vereinzelt *Selaginella selaginoides* oder *Bartsia alpina* eingestreut. Auf weniger nassem Grund in einiger Entfernung von der Quelle hat sich infolge häufiger Begehung durch Wanderer eine Trittgemeinschaft mit einem Deckungsgrad von nur 10–15% herausgebildet, in der *Sagina saginoides* und *Poa supina* gleich häufig anzutreffen sind.

2.2 Gesellschaftshaushalt

Die Wassertropfen, die die Quelle versprüht, reichern die Kluft mit Feuchtigkeit an, so dass häufig eine Hydratur von 100% zu verzeichnen ist. Dann schlägt sich das Wasser auf den Seggenblättern nieder. An herbstlichen Frosttagen verwandelt es sich dort in Eis, das die Blätter wie ein Panzer umkrustet. *Carex frigida* wird durch den deutschen Namen „Eissegge“ treffend charakterisiert. Die Blätter ragen dann steil, oft fast senkrecht empor. In ihrem Eis-Gehäuse haben sie bedeutende Vorteile: Scharfe Nadelchen von verwehtem Schnee und eisige Luftstöße prallen am Eis ab und erreichen das Gewebe nicht, dessen Zellen durch die eingeschlossene, von den Lebensvorgängen angewärmte Luft in den Genuss eines Binnenklimas kommt und für die die Vegetationsperiode in den Winter hinein fort dauert, während andere Pflanzen die Stoffproduktion unterbrechen müssen. *Carex frigida* ist sozusagen ein immergrüner Sommergrüner, ihre Blätter sind ohne Schutz im Winter nicht lebensfähig. Der schützende Eismantel hält ihr den Winter fern, der die übrige Vegetation trifft. Angesichts dieser Tatsache muss es nicht nur den Eisspezialisten unter den Aktualgeologen sondern auch den Botaniker interessieren, was es mit diesen Eismänteln auf sich hat.

2.3 Der Winteraspekt des Caricetum frigidae

Wenn der Schnee im Herbst nach einem Kälteeinbruch wieder geschmolzen ist, die Viehweiden ringsum längst ausaperten, stehen an Quellaustritten wie dem geschilderten Laubblätter von *Carex frigida* noch immer als gebogene, grauweiße, undurchsichtige Eiszyylinder empor (Abb. 1). Sie erinnern an Korallenstrünke oder Stalagmiten. Die Blätter sind unbeschädigt. Pflanzenteile sind in analoger Weise von Eis umkrustet wie an Kalkquellen von CaCO_3 . Bereits im Sommer hingen die oberen Teile der Seggenblätter über und waren zuletzt geknickt (Sie sind durch wenig Festigungsgewebe ausgesteift). Dies dürfte einen positiven Auslesewert haben. Soll der Tau von den Blättern mit ihrem v-förmigen Querschnitt wie von einer Dachrinne den Wurzelhälsen zugeleitet, gleichzeitig aber verhindert werden, dass beim Wachstum der Blätter im Spätsommer ein Zuviel an Wasser die Wurzel abfaulen lässt? Der Eiszapfen passt sich diesen Knickstellen an, er biegt sich (Abb. 1c). Seine Achse wechselt die Richtung. (Die Knicke sind allerdings durch die gerundeten Umrisse der Eiszyylinder kaschiert).

2.4 Genese der Eiszapfen um die Seggenblätter

Wie entstehen diese mehr oder weniger aufrechten Eiszapfen, die die Carex-Blätter umhüllen? Wo eine Quelle sprudelt, ist die Luftfeuchtigkeit absolut und relativ höher als anderswo. Sobald die Temperatur anzieht, schlägt sich der Überschuss an Wasserdampf als Tau auf den Blättern nieder und gefriert schließlich zu Eis, wenn sich genügend Wasser angesammelt hat. Der Knick in den Seggenblättern verstärkt sich, wenn Wasser, später Eis zum Eigengewicht des Blattes hinzutritt. Sehr häufig liegt das Blatt von *Carex* exzentrisch im Innern des Eises. Da dieses bei dessen schräger Stellung auf der erdabgewandten Seite viel dicker

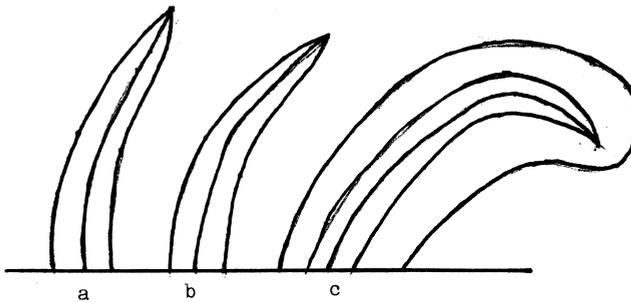


Abb. 1. *Carex frigida*: Blatt (a) beugt sich, vom Wasser benetzt (b), das dann zu einem Eiszapfen erstarrt (c). Schematischer Längsschnitt, der häufige Knick bei b und c nicht berücksichtigt.

umkrustet ist als auf der erd zugewandten (auf diese tropft der Tau nicht ab). Um das Blatt im Eiszapfen bildet sich von innen eine eisfreie Pufferzone, da es bei seinen Lebensvorgängen Wärme erzeugt und dabei den Stalagmiten von innen anschmilzt. Deshalb kommt das Blatt mit dem kalten, starren Eis nicht (oder nur ganz vorübergehend) in Berührung. Es wird von dem Eismantel in seiner Lebensfähigkeit nicht beeinträchtigt, sondern eher noch gefördert. Zwar kommen ihm in warmen Stunden Licht und Wärme weniger zugute als freien Pflanzenblättern, weil das Eis einen Teil des Sonnenlichts absorbiert. Andererseits aber sind die Verhältnisse in seinem Eisfutteral weitgehend konstant. Bei Wetterwechseln braucht die Pflanze nicht enzymatisch umzuschalten. Trüb ist das Eis der Zapfen aus physiologischen und meteorologischen Gründen:

1. Dem Wasser derselben ist Wasser aus der Atmung und Sauerstoff aus der Photosynthese der Segge beigemengt. Beides ist ungleichmäßig verteilt, weil die Stomata und die interstomatären Gewebeteile im Blatt ungleich verteilt sind.

2. Der Erdboden rund um die Quelle ist aufgeweicht, bei Gewitterregen und heftigen Güssen spritzt Erde zu den Blättern hoch und überzieht diese mit Bodenteilen, die Tau und Eis auflösen und als Verunreinigungen in sich aufnehmen. Vor allem Dingen an der Blattoberseite, die es dick überzieht, hat das Eis eine körnige Oberfläche. Es bildet sich ja nicht ausschließlich aus Tau und Nebeltropfchen, außerdem in mehreren aufeinander folgenden Phasen:

- a. Zuerst schlägt sich auf dem Blatt allseits Wasser nieder.
- b. Da dieses oberseits nicht abtropft, bildet sich dort bei einem Temperaturwechsel ein dickerer Überzug aus Eis als unterseits.
- c. Wenn Schneefälle einsetzen, bleibt der Schnee auf der flachen bis konkaven Eiskruste liegen, die die v-förmige Blattoberseite u-förmig und abgeschwächt nachformt.
- d. Auf dem Erdboden schmilzt der Schnee rasch wieder, seine Eisnadelchen zerkratzen jedoch die – bisherige – Oberfläche auf dem Eis-Etui um das Seggenblatt. Dort schmelzen sie langsamer als der Schnee auf dem Boden, da der dicke

Eiszylinder unter ihnen sich an warmen Tagen mit ihnen in die Schmelzkraft des Sonnenscheins teilt. Wenn sie schmelzen, bleibt das Wasser in der Kerbe stehen. Nachts oder bei kaltem Wetter erstarrt es wieder, wobei die Lage des Blattes im Eiszapfen immer exzentrischer wird. Die Vorgänge können sich im Herbst mehrmals wiederholen. Wenn „Koralleneis“ entsteht, erleidet die Pflanze nicht nur Einwirkungen von der anorganischen Natur. Vielmehr beeinflusst sie auch ihrerseits den Ablauf von Vorgängen in dieser (der Eisbildung).

2.5 Schlussfolgerung

Das „Koralleneis“ verdankt seine Entstehung – neben dem Zusammenwirken von alpinem Kaltklima und extrem hoher Luftfeuchtigkeit am Standort des Caricetum frigidae – der Gestalt von Organen der Eissegge, verbessert aber als „Klimakammer“ auch die Lebensumstände des Sauergrases ganz erheblich, indem es dessen Blättern gleichsam „Zimmertemperatur“ verschafft und die Photosynthese von *Carex frigida* von der Jahreszeit ziemlich unabhängig macht.

3. NACKTRIEDGESELLSCHAFT UND „HELLEBARDENEIS“

3.1 Örtlichkeit und Vegetation

In einem Windkanal beim Pfad auf die Schlicke unweit des Vilser Kegels (Tirol) hat sich eine Pflanzendecke ausgebildet, die sich von der sonst auf der Schlicke angesiedelten Vegetation scharf unterscheidet und als Elynetum myosuroidis BRAUN-BLANQUET 1913 anzusprechen ist. Sie setzt sich aus wenigen Arten zusammen, die nach OBERDORFER 1979 typisch für Windecken oder Windgrate sind (Deckungsgrad nach BRAUN-BLANQUET):

<i>Elyna myosuroides</i>	3.5
<i>Erigeron uniflorus</i>	+1
<i>Oxytropis campestris</i>	+1
<i>Euphrasia minima</i>	+1

Elyna, *Erigeron* und ganz vereinzelt *Oxytropis* kommen nur im Windkanal vor, während *Euphrasia* auf dem längst ausgelaugten Kalkhang der Schlicke überall an sonst pflanzenfreien Flecken (Rand der Pfade, Erdanrisse) ihre scheckigen Blüten erhebt. Sie kann als Zufällige in das Elynetum eindringen, weil sie als Therophyt bereits abgestorben ist, wenn die Winde im Spätjahr Kaltluft führen. *Erigeron uniflorus* muss gegen diese Winde abgehärtet sein, da es ihrer – als anemochore Art – zur Beförderung seiner Samen bedarf. Der Deckungsgrad beträgt in der Nacktriedgesellschaft ca. 60 %. Obwohl *Elyna* als Rasenbildner an sich recht unduldsam ist, verbleiben vegetationsfreie Flächen, auf denen auch die gesellschaftsfremde *Euphrasia* eine Chance hat, weil immer wieder Boden durch Steinchen, Rieselgut usw. überdeckt wird.

Unterhalb vom Pfad und dem Elynetum darüber ist eine Runse in den Hang eingetieft, die ein Alnetum viridis BRAUN-BLANQUET 1918 trägt, auf das die Be-

schreibung (BERTSCH 1950:31) genau zutrifft: „wo die Nebel lange kleben bleiben und in Runsen, wo kühle, feuchte Winde durchziehen“. In dem undurchdringlichen Gewirr der Grünerlenäste kann sich nur selten (und meist ganz oben am Rand des Pfades) *Cicerbita alpina* ein Plätzchen ergattern. Nur diejenigen Erlen-Stämmchen, die über das Niveau des Pfades hinausragen, kommen als Träger von „Hellebardeneis“ in Frage. Dieses heftet sich ihnen von oben her an und zeigt mit seinem plattenförmigen Auswuchs nach unten.

Am Pfad haben sich einzelne Horste von *Carex sempervirens* zwischen Nacktriedgesellschaft und Grünerlengebüsch eingeschoben.

3.2 Eisbildung an *Elyna*, *Alnus viridis* und *Carex sempervirens* im Windkanal

Die orthotropen Organe der Pflanzen im Windkanal geben Anlass für eine Eisbildung, die von außerordentlichem Reiz ist und die auch der Alpenwanderer nur selten zu sehen bekommt. Sie wäre ohne vertikale Pflanzenteile bei sonst gleichen Umständen, also bei Durchzug kalter Winde immer genau in derselben Richtung, nicht denkbar. Außerdem wandelt sie sich ab, je nachdem, ob die Pflanze als Ansatzpunkt für das Eis

- a. einen grünenden Halm ohne Knoten,
- b. einen solchen mit Knoten,
- c. ein verholztes Stämmchen ohne Stomata bietet. Statt verholzter Stämmchen können es aber auch Pfosten für Wegweiser u. ä., also tote Stangen sein.

Für den Lebenshaushalt der Pflanzen selbst haben die ungewöhnlichen Eisbildungen anders als das „Koralleneis“ (s. o.) nur verhältnismäßig geringe Bedeutung. Die Eishülle als solche mag für die Epidermis bei krautigen Pflanzen wie *Elyna* oder *Carex sempervirens* „Sommer im Winter“ bedeuten. Doch spielt dies gewiss keine allzu große Rolle, da das Gewebe bei beiden Pflanzen ohnedies winterhart ist; bei der Segge ist dieser Umstand sogar im Artnamen festgehalten. Den holzigen Ästen der Grünerle bringt die Vereisung wohl noch weniger Nutzen; womöglich verursacht sie im Frühjahr beim Auftauen Fäulnis. Namentlich aber die einzigartige, kaum je einmal zu beobachtende Form des „Hellebardeneises“ mit der einseitigen, vom Pflanzenteil abstehenden Eisplatte an der windabgewandten Seite ist für die Pflanzen im Lebenslauf gleichgültig.

3.3 Genese des „Hellebardeneises“

Nach dem Ende eines vorzeitigen Kälteeinbruchs im Herbst lässt sich an Stellen, an denen starker Wind in unveränderlicher Richtung bläst, eine ungewöhnliche Eisform an vertikalen Pflanzenteilen (Halmen von *Carex sempervirens*, Stämmchen von *Alnus viridis*) beobachten, die in der Form an eine Hellebarde oder einen Schlüsselbart erinnert (Abb. 2). Durch die Reibung am Grund wird an den zum Teil gebogenen Rändern einer Mulde die Luft angewärmt und erlangt eine gewisse Schmelzkraft. Wenn der Schnee nach einer episodischen Kaltzeit bereits wieder ausgeapert ist, hält er sich auf dem Fußpfad vor dem letzten – ansteigenden – Geländestreifen vor dem Steilabfall noch. Der Wind hat ihn dort zusammengeweht, daher hatte er daselbst ein beträchtliches Volumen erlangt.

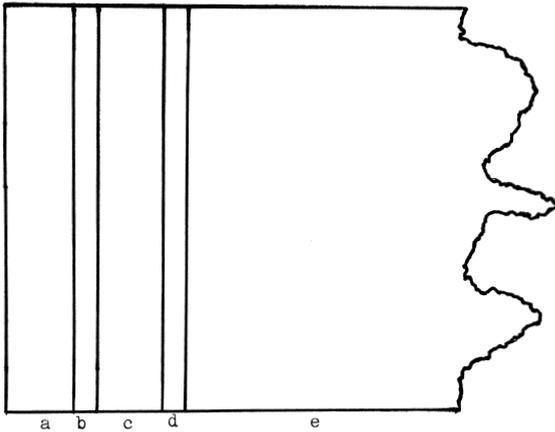


Abb. 2. Schematischer Längsschnitt durch ein *Alnus-verticillata*-Stämmchen bei Frost. a Eis, b Luft, c Holz und Rinde, d Luft, e Hellebardeneis.

Die Sonne konnte ihn noch nicht ganz abschmelzen. An der Einmündung des Luftkanals ist der schneebedeckte Streifen aber wesentlich schmaler als davor und dahinter. Er ist sogar lückenhaft, weil der stärkere Wind ihn weiter trug und in die Tiefe kippte, statt ihn abzuladen, wo seine Geschwindigkeit sich im vorübergehenden Aufstieg vermindert. Wenn der Schnee beim Aufprall auf vertikale Pflanzenteile, die den Grat überragen (auch auf Pfosten eines Viehzauns, Wegweiser) stößt, erzeugt die plötzliche Verlangsamung der Luftbewegung bei milderem Wetter zusätzliche Wärme, die Schneeflocken in Schmelzwasser verwandelt, das danach alsbald wieder vereist. Grünerlen-Stämme und -Zweige überkrustet dann ein dünner Überzug aus Eis als zarter Hohlzylinder. Dieser wächst sich anschließend nach einer bestimmten Richtung zu einer weit ausgezogenen Eisplatte aus, deren Eis (schon bald) im vertikalen Verlauf zunehmend gezackt ist (Abb. 2). Der lange einseitige Fortsatz des Eiszylinders ist an allen Stämmchen vollkommen gleich ausgebildet. Die vereisten Reiser erinnern an die beblätterten Stängel von Kompasspflanzen wie *Lactuca serriola*.

Die Gebilde entstehen so: Der Wind befestigt eine Schneekappe auf der Luvseite. Diese verdickt sich allmählich. Der Schnee wird von der Schwerkraft nicht auf den Boden gestürzt (Wind, Kohärenz). Wegen des Widerstands, den ihm das Stämmchen entgegengesetzt, weicht der Wind nach den Seiten aus. Dabei reißt er einem Teil des Schnees (vor allem aber des Wassers, zu dem es taut), mit sich auf die Flanken und auf die Leeseite des Zylinders. Im Lee liegt unbewegte Luft. Deshalb kehren sich die Verhältnisse um. Dort ist der Überzug der Sträucher bald stärker als auf der Luvseite, obwohl sich die Kappe auf der dem Wind zugewandten Seite erneuert, sooft sie auch abgedrängt wird. Für den Luftstrom ist das Stämmchen ein Hindernis, dem er ausweichen muss. Er schleppt den Schnee (oder das Schmelzwasser) über die Leeseite auf der Rinde hinaus mit. Am Gegen-

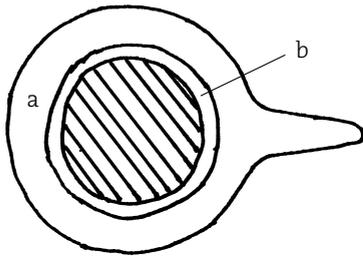


Abb. 3. Die Ausbildung einer Luftschicht (b) bei orthotropen Pflanzenteilen unter einem Eismantel. Längsschnitt durch ein Stämmchen mit Hellebardeneis.

pol der Auftreffstelle vereinigt sich die Luft nämlich wieder mit der Luft, die auf die andere Seite des Stämmchens ausgewichen war. Nun bremsen die beiden aufeinander prallenden Luftzüge einander gegenseitig ab. Dabei wird das Wasser dann dort zu schwer und setzt sich ab. So bildet sich an der Eisröhre um das Stämmchen ein Auswuchs, der für den Wind ein von ihm selbst geschaffenes Hindernis wird. Die Luft, die ihm ausweichen muss, fließt nun parallel zu ihrer ursprünglichen Richtung, von der sie das Stämmchen abgelenkt hatte. Die inselhaftete Kalme wird zu einem langen, schmalen Raum der Windstille verformt. Die einseitig aufgesetzte Eisplatte im Lee wird nun immer breiter. Weiterer Schnee wird auf der Luvseite angepresst, während das Eis auf der Leeseite nicht an das Stämmchen gedrückt wird. Daher reicht das Eis auf der Bergseite, zu dem der Schnee komprimiert wurde, (fast) unmittelbar an das Stämmchen heran. Auf der Talseite dagegen bildet sich durch die Atemtätigkeit der Pflanzen (die ein exothermer Vorgang ist) ein mit Luft gefüllter Raum als Pufferzone zwischen Epidermis und Eiskruste.

3.4 Unterschiede je nach der biologischen Beschaffenheit der Pflanze

Bei toten Reisern und bei Pfosten u. ä. sitzt das Eis allerdings unmittelbar der Unterlage fest auf. Bei grünen Stängeln dagegen bildet sich ein Hohlzylinder aus Luft als Binnenatmosphäre (Abb. 3). Wegen der intensiven Atmung dieser Halme vermittelt er auf allen Seiten zwischen dem Halm und dessen Eisüberzug. Da das „Hellebardeneis“ ganz locker aufliegt, kann man es wie ein aufgeschraubtes Teil mit dem Finger in eine andere Richtung drehen. Verholzte, aber lebende Äste vermitteln. Bei ihnen ist der luftgefüllte Hohlzylinder in der Regel unvollständig ausgebildet. Er ist auf der windabgewandten Seite ausgeprägter als auf der windzugewandten. Die Eislamelle im Lee ist nicht an allen Stellen gleich breit. Immer ist sie in Zacken ausgezogen:

- a. Bei Stängeln ohne Knoten hält sich das aber in Grenzen.
- b. Die Stängel von *Carex sempervirens* (und der Mehrzahl der Pflanzen) sind jedoch durch Knoten gegliedert. Zuweilen sind ihnen außerdem leere Spinnen- und Insektenkokons u.ä. angeklebt. Der Wind (der Schnee-Kristall-

nadeln und Steinstaub mitführt) wird an den Knoten etwas früher abgebremst als an den Internodien. Deshalb weicht er dort nach oben und unten aus. (Wegen des Gewichts des verfrachteten Schnees wird er etwas stärker nach unten abgedrängt als nach oben). Wenn er auf der Leeseite angelangt ist, vereinigt er sich mit dem Luftstrom, der der Peripherie der Internodien folgt. Deshalb rotiert an den Knoten selbst weniger schneeführende Luft als an den Internodien, aber unmittelbar unter (und auch über) ihnen sogar noch mehr. Deshalb ist die Eisplatte auf der Höhe der Knoten schmaler, knapp unter und über diesen sogar breiter als sonst (Abb. 2).

3.5 Die Metamorphose des „Hellebardeneises“ im Verlauf der Zeit

Wie sich die Eislamelle später ausgestaltet, hängt davon ab, ob der Wind der bestimmende Faktor bleibt oder ob er abebbt und dann die Schwerkraft eine größere Rolle spielt. Die Unterschiede in der Breite der Eisplatte werden immer ausgeprägter. Dauert der Sturm an, so vereist das Schmelzwasser wieder, rinnt nach auswärts und zieht jedes vorspringende Körnchen lang aus. Dann sind die Vorsprünge zahlreich, nicht streng an die Knoten gebunden, klein und schmal. Nimmt die Windgeschwindigkeit (die Tragfähigkeit der Luft) dagegen ab, so tröpfelt ein Teil des Schmelzwassers zum nächstunteren Vorsprung herab und verstärkt diesen. Dann finden sich die Auswüchse nach wie vor (fast) nur auf der Höhe der Knoten. Sie sind dann auf die Dauer wenig zahlreich, aber umso größer, und an ihrem oberen Teil am stärksten ausgezogen.

4. ABSCHLIESSENDE ÜBERLEGUNGEN

Eisbildungen verändern nicht nur die Lebensbedingungen für die Pflanze, z. B. durch die Ausbildung einer Binnenatmosphäre, die die Stomata schützt und sogar an Frosttagen Photosynthese ermöglicht, wie dies bei „Koralleneis“ und „Hellebardeneis“ der Fall ist. Nicht nur sehen sich die vereisten Halme, soweit sie am Leben sind, bei Tauwetter in eine andere Lage versetzt als diejenigen, die auf der aufgeaperten Hochfläche wachsen und den Schutz der Schneedecke nicht mehr genießen. Vielmehr beeinflusst auch umgekehrt die Pflanze die Entwicklung der Eisbildung entscheidend, obwohl ihre Organe von dieser zu ganz anderen Zwecken ausgestaltet wurden (die Halme heben die Infloreszenz der Anemogamen empor, den Knoten kommt eine Stützfunktion zu). Einerseits bestimmt das Aktualgeologisch-Meteorologische das Biologische, andererseits aber das Biologische auch wieder das Aktualgeologisch-Meteorologische. Formen und Vorgänge der anorganischen und organischen Natur bedingen sich gegenseitig.

5. SCHNEEKRISTALL UND LEBENDE PFLANZE

In einem anderen Fall setzt sich die Pflanze nur passiv mit der umgebenden Luft auseinander. Nach plötzlichem herbstlichem Schneefall fand sich auf dem Weg von Grän im Tannheimer Tal in Tirol auf den Aggenstein neben und über einer *Gentiana campestris*-Pflanze Schnee, der zart violett verfärbt war. In seiner blassen Tönung erinnerte er an zerlaufenen Kopierstift. Einen Augenblick konn-

te der Beobachter glauben, die Enzianblüten spiegelten sich im Schnee, der zu Eisschnee verdichtet war, oder sie schimmerten durch ihn hindurch. Aber die Schneeschicht behielt ihre auffällige Farbe, wenn man sie abhob, obwohl sie nun von der Enzianpflanze getrennt war, die im Boden rasch in sich zusammensank. Der Farbstoff war also wirklich in den Schnee übergetreten. Das überrascht. Im Gegensatz zu den meisten anderen Pflanzenfarbstoffen soll der Enzianfarbstoff nicht aus einer Farblösung bestehen, sondern aus festen Kristallen. Man muss annehmen, dass die Nadelspitzen der Schneekristalle die Kristalle des Farbstoffs mechanisch schädigten (PÄECH 1950: 179 gibt für *Gentiana acaulis* ein Glykosid Gentianin als Farbstoff an; für andere Enzian-Arten gilt wohl Ähnliches). Als dann der Schnee zu schmelzen begann, muss nachträglich etwas vom Farbstoff in das Schmelzwasser in Lösung gegangen sein. Vielleicht waren die besonderen Druckverhältnisse dafür verantwortlich, die der Tritt von Menschenfüßen und Geißen- oder Gamsen-Hufen zur Folge hatte. Jedenfalls ist dies ein Beispiel dafür, dass die erste Kältewelle im Herbst in den Bergen die Vegetationszeit einer Pflanze jäh beenden kann. Submontane und montane Pflanzen sind von der Beständigkeit des Herbstwetters wesentlich abhängiger als alpine.

6. SCHLUSS

Einige Beispiele zeigten, dass die besonderen klimatischen Verhältnisse im Bergwinter sich unter dem Einfluss von Pflanzen anders auswirken als auf Boden ohne Pflanzenwuchs, aber auch das Leben der Pflanzen stark beeinflussen. Oft sind Pflanzen so eingerichtet, dass Schnee und Eis sie fördern, statt ihnen Schaden zuzufügen (wärmende Schneedecke, Frostkeimer). Es gibt aber durchaus auch Pflanzen, denen der erste Schnee ein zeitliches Limit setzt. An extremen Standorten können sie ihren Lebenszyklus nicht jedes Jahr abschließen. Vom Leben an den extremsten Stellen sind sie sogar ausgeschlossen. Auf der anderen Seite ergab sich, dass die Pflanzen im Gebirge ihrerseits der Eisbildung bestimmte Formen aufprägen, die in einer pflanzenleeren Landschaft nicht entstehen könnten. Das pflegt man meist nicht zu beachten.

LITERATUR

- BERTSCH, K. (1950): Lebensgemeinschaften in den Alpen. 216 S.; Ravensburg (Verlag Otto Maier)
- OBERDORFER, E. (1977): Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil I, 2. Auflage. 311 S.; Stuttgart, New York (Verlag Gustav Fischer)
- OBERDORFER, E. (1979): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 3. Aufl., 987 S.; Stuttgart (Verlag Eugen Ulmer)
- PÄECH, K. (1950): Biochemie und Physiologie der sekundären Pflanzenstoffe. 368 S.; Berlin, Göttingen, Heidelberg (Verlag Springer)
- SAUERBECK, K. O. (1989): Die Vorgänge bei der Besiedlung einer Böschung durch Pflanzen am Beispiel einer Straßenböschung bei Stuttgart-Birkach. – Jahresh. Ges. Naturk. Württ. 144: 159–175.

TROLL, W. (1936): Taschenbuch der Alpenpflanzen. 150 S.; Esslingen, München (Verlag Schreiber)

WALTER, H. (1946): Die Grundlagen des Pflanzenlebens und ihre Bedeutung für den Menschen. Einführung in die allgemeine Botanik für Studierende der Hochschulen. 480 S.; Stuttgart (Verlag Eugen Ulmer)

Anschrift des Verfassers:

DR. KARL OTTO SAUERBECK

Eduard-Steinle-Str. 33

70619 Stuttgart