

## WINDSCHUR ODER SALZSCHUR?

## Untersuchungen über Ursachen von Kronendformationenen

Mit 2 Abbildungen und 10 Photos (z. T. als Beilage I)

GUSTAV REITZ

*Summary:* Wind-shaped or salt-shaped trees?

The real cause of the deformation of tree tops along the coast is not the wind but the salt of seawater spray. This was clearly proved by a rainless gale which lasted for several of the last days of May, 1972. The leaves of the trees exposed to the wind changed colour within a short time and were thrown off. Similar observations may be made every year through the entire vegetative period. Along the exposed side the leaves change colour, fade and the branches dry up; along the side protected from the wind the trees and bushes thrive undisturbed. By a chemical analysis eighteen times as much salt was found on the exposed side as on the protected side.

With a spraybox the same change may be simulated and the same damage results. These observations were confirmed by numerous experiments in protected places on the isle of Föhr and in the Taunus region. According to the wind tunnel investigations of TRANQUILLINI there is no physiological influence of the wind on trees. Rain may take the salt out of the air or from the leaves and diminish the damage. That is why under the same wind conditions quite different tree-top deformations result which prove nothing in bioclimatological investigations. In coping with problems of wind protection such observations should also be taken into consideration.

## I

Ein Baum kann nur in einer ebenen Landschaft unter allseitig gleichen ökologischen Bedingungen eine normale, symmetrische Krone entwickeln. Nur unter diesen Voraussetzungen wird jeder Baum einen senkrechten Stamm aufbauen, dessen Verlängerung, der Leittrieb, Kränze von unter sich gleich langen Ästen trägt. Auch aus der Entfernung lassen sich die verschiedenen Baumarten nach ihren spezifischen Kronenformen (Kugel, Kegel oder Eirund) bestimmen. Die Standorte im geschlossenen Verband, an einem steilen Berghang oder am Waldrand beweisen, daß allein ein unterschiedliches Lichtangebot die Symmetrie des Astwerks verhindert. Weitere Abweichungen vom Regelfall können auch durch natürliche oder anthropogene Schadstoffe in der Luft, durch die Gebläsewirkung des Windes in Verbindung mit festen Hydrometeoren oder durch Schneebruch verursacht werden.

In der Natur entstehen Kronendformationen entweder durch einen oder häufiger durch mehrere der genannten Faktoren (vgl. C. TROLL S. 271–274). Solche „Windschur“-Formen trifft man besonders häufig

an Küsten im Einzugsbereich salzhaltiger Meeresluft, wo sie weitgehend die Physiognomie der Landschaft bestimmen und hier sogar zur Charakterisierung der Windverhältnisse und anderer Klimatelemente herangezogen worden sind (WEISCHET, RUNGE u. a.). Die mechanische und besonders die physiologische Wirkung des Windes wird allgemein als Ursache für die anomalen Wuchsformen angesehen. Diese Auffassung drückt sich auch im Sprachgebrauch aus: Man spricht von „windgescherten“ und „windgepeitschten“ Bäumen, von „Windschur“ oder „Stromlinienform“ von Busch- und Baumgruppen. Verständlicherweise muß man beim Anblick solcher bizarren Wuchsformen den Eindruck gewinnen, daß sonst recht widerstandsfähige Bäume sich ganz dem Toben des Windes anpassen müssen, um gerade noch existieren zu können.

## II

Trifft diese Vorstellung in Verbindung mit dem Sprachgebrauch nun die wahre Ursache, oder lassen wir uns ebenso täuschen wie beispielsweise durch den Sonnen-„Aufgang“? Jedenfalls müssen wir uns darüber im klaren sein, daß die physiologische Wirkung des Windes bis jetzt eine unbewiesene Behauptung ist und es für sie auch keine Beweise gibt. Der Wind spielt als Transportmittel der Schadstoffe nur eine untergeordnete Rolle. Gegen seine sonstige Mitwirkung sprechen folgende Tatsachen:

- a) Sitkafichte, Bergkiefer, Nordische Vogelbeere und andere Baumarten, die von ihren ursprünglichen Standorten her als windfest und klimahart galten und deshalb gerne zu Windschutzzwecken an der Nordseeküste verwandt wurden, erfüllten hier die in sie gesetzten Erwartungen nicht. Aufforstungsversuche im Kreise Tondern durch die dänische Regierung im 18. Jahrhundert enttäuschten ebenso wie ähnliche Vorhaben in jüngster Zeit.
- b) In Schleswig-Holstein herrscht am westlichen Rand des Wattenmeeres nach M. MANIG eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 7 m/sec, an der Küste von 6 m/sec und erst im Landesinnern sinkt sie ab auf 5 m/sec. Berücksichtigt man dabei, daß während der Hauptvegetationsperiode Stürme seltener

- auftreten und daß außer der West- auch die anderen Richtungen zum Tragen kommen, dann müßte man eine physiologische Wirkung des Windes ausschließen (vgl. j). Die rasche Abnahme der Zahl von verformten Gehölzen von West nach Ost kann nach Abwägen all dieser Tatsachen nicht in kausalem Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit gestellt werden.
- c) Bei gleichen Windstärken weisen die Gehölzverformungen an der Küste wesentliche Unterschiede auf gegenüber denen im Gebirge. Nur unterschiedliche Urheber können verschiedene Schurformen hervorbringen.
- d) Die Zunahme der Vegetationsschäden von den Lofoten bis hin zu den britischen Kanalinseln steht im krassen Gegensatz zu den zugehörigen Windverhältnissen (vgl. BLÜTHGEN).
- e) Auf der Luvseite der Bäume wird man kaum abgeknicke frische Zweige finden, wohl aber zahlreiche vertrocknete, die auf andere Weise zerstört wurden. Eine mechanische Wirkung des Windes bei der Kronendeformation kann ebenfalls nicht in Betracht kommen.
- f) Das „Umbiegen“ von Zweigen und Ästen ist mit einem Bindfaden nur zu erreichen, wenn die angestrebte Richtungsänderung über Monate hinaus aufrechterhalten wird. An keiner Stelle der Erde gibt es einen nach Stärke und Richtung so konstanten Wind, daß er die gleiche Wirkung erzielen könnte.
- g) Ende Mai 1972 vernichtete ein mehrtägiger Weststurm in Nordfriesland an zahlreichen Gehölzen die jungen Blätter. Durch den Salzwind wurde in kurzer Zeit das Chlorophyll zerstört, die Blätter verfärbten sich, vertrockneten und fielen ab. Viele Bäume und Sträucher mußten vollständig, andere nur auf der Luvseite ihre Blätter ersetzen. Bei gleichen Windstärken, die von Regen begleitet sind, treten ähnliche vernichtende Wirkungen nicht auf. Dagegen kann man bei relativ schwachen Westwinden nach einiger Zeit Braun- oder Schwarzverfärbungen der Blattränder regelmäßig beobachten. Diese Verkleinerung der für die physiologischen Vorgänge nutzbaren Blattfläche ist in Meeresnähe der eigentliche Grund für die ungleichmäßige Entwicklung der Kronenform. Das Abstoßen dieser Blätter im Herbst erfolgt gewöhnlich vier bis fünf Wochen früher als das auf der geschützten Seite der Gehölze. Das auf den Blättern abgelagerte Salz summiert sich in seiner Auswirkung. Der genannte Salzwind erreichte ohne Tau und Regen in wenigen Tagen das gleiche, wie der normale Seewind mit zwischenzeitlichem Niederschlag in abgeschwächter Form über Monate verteilt.
- h) Eine chemische Analyse von braunen Nadeln der Luvseite einer Kiefer zeigte einen vielfach größeren Gehalt an NaCl als die von grünen Nadeln auf der Rückseite der selben Konifere. Dieses Ergebnis bestätigt die Beobachtung unter g): Die Schädigung der Blätter führt nach Überschreiten ihrer Toleranzgrenze zu ihrer vollständigen Zerstörung.
- i) Das Angebot an Salzpartikeln der Luft hängt nicht nur von der Windstärke, sondern auch von der Küstenform ab. Eine Brandungsküste bietet mehr Salz aus dem Meerwasser an als eine brandungsfreie Küste, wie leicht am Ausmaß der Schäden festzustellen ist.
- j) Da für die Vegetationsschäden an der Küste außer dem Seewind nur Schadstoffe aus dem Meer in Frage kommen können, liegt es nahe, die beiden Parameter „Wind“ und „Salzgehalt der Luft“ voneinander zu trennen und sie einzeln in ihrer Auswirkung auf Pflanzen zu studieren.
- TRANQUILLINI hat im Rahmen von ökologischen Untersuchungen den Einfluß des Windes auf den Gaswechsel einer Anzahl von Pflanzen nachgewiesen. In einem klimatisierten Windkanal veränderte er die Windgeschwindigkeit von 0,5 m/sec bis 20 m/sec unter Konstanthaltung der Temperatur, der relativen Feuchtigkeit, der Einstrahlung, der Wasserversorgung und des CO<sub>2</sub>-Gehalts. Von den untersuchten Pflanzen reagierte nur die Alpenrose mit ihrer Transpiration und Netto-Photosynthese sehr stark auf die Erhöhung der Windgeschwindigkeit und bestätigte deutlich ihre ökologischen Voraussetzungen ihres natürlichen Standortes: Hier kann sie nur an windgeschützten Stellen existieren. Lärche, Arve, Fichte, Vogelbeere und Grünerle passen sich mit ihrem Gaswechsel gut den veränderten Windgeschwindigkeiten an. Auch an ihren natürlichen Standorten machen ihnen große Windgeschwindigkeiten wenig aus, ihre Luv- und Leeseiten können vom Wind weder Vorteile noch Nachteile erwarten, eine „Wind“-Schur ist in Luft ohne Schadstoffe ausgeschlossen. Von den im Windkanal noch nicht geprüften Holzgewächsen, wie beispielsweise die Sitkafichte, die in salzfreier Luft und großen Windgeschwindigkeiten gesund heranwächst, kann mit großer Wahrscheinlichkeit auf einen ähnlichen Gaswechsel wie den der untersuchten Baumarten geschlossen werden.
- k) Der zweite Parameter des Seewindes, sein Salzgehalt, ist leicht durch eine gute Sprühdose zu simulieren. Mit ihr läßt sich Meerwasser in feinste Tröpfchen zersprühen, die nach kurzem Weg durch die gewöhnlich ungesättigte Luft „ausgetrocknet“ und so für unser Auge unsichtbar werden. Als dünner Film können diese winzigen Tröpfchen mit erhöhter Salzkonzentration auf Pflanzenteile aufgetragen werden, wie es in gleicher Weise der Salzwind besorgt. An windgeschützten Stellen auf der Insel Föhr und am Ostrand des Taunus wurde so eine große Anzahl von Versuchen an vielen Pflan-

zenarten durchgeführt. Die Zusammenfassung der Ergebnisse aller Versuchsreihen läßt erkennen:

1. In den Auswirkungen des Meersalzes auf Pflanzen ist kein Unterschied zwischen der „natürlichen“ und „simulierten“ Methode festzustellen.
2. Diese Salzpartikel der Luft können den meisten Pflanzen einen mehr oder weniger großen Schaden zufügen und die Entwicklung der ganzen Pflanze oder Teile von ihr verhindern.
3. Das Sprühverfahren ermöglicht, den Grad der Salzresistenz jeder Pflanze schnell, sicher und auch in Abhängigkeit von Witterungseinflüssen systematisch festzustellen.

Aus den unter a) bis k) genannten Tatsachen und Beobachtungen kann mit Sicherheit geschlossen werden, daß in der Küstenzone der Wind als Urheber der Vegetationsschäden nicht in Betracht kommen kann. Im Einzugsbereich der Seewinde sind es deshalb nur Schadstoffe, die aus dem zersprühten Meerwasser auf empfindliche Pflanzenteile gelangen.

### III

Im folgenden soll nun an einer Anzahl von Beispielen aus der freien Natur die Auswirkung der Salzlufte auf verschiedene Pflanzen gezeigt werden.

Die Blätter dieser jungen Buche (Farbphoto 1) am Loch Linnhe, südwestlich von Fort Williams an der Westküste Schottlands, zeigen deutliche Spuren von Salzeinwirkung. Wenn auch durch den Wind (bzw. das Besprühen) die Salzteilchen gleichmäßig auf die ganze Blattfläche aufgetragen werden, so beginnt die Verfärbung doch immer am Blattrande. Die Funktionsfähigkeit der Blätter ist durch die teilweise Zerstörung des Chlorophylls vermindert. Damit tritt zugleich der herbstliche Laubfall um einen Monat früher ein, selbst wenn keine weiteren Schadstoffe mehr dazukämen. Beide Ereignisse bedingen ein geringeres Wachstum des Baumes auf dieser Seite. Seine geschützte Seite dagegen kann ungestört wachsen. Die Baumkrone beginnt unsymmetrisch zu werden.

Der Weißdorn (Farbphoto 2, Frühjahr 1972) von Dunsun/Föhr bietet von den geschilderten Vorgängen gewissermaßen ein räumliches und zeitliches Gesamtbild. Der Salzwind kommt von links und hat in der Berührungzone die Blüten zerstört und einen Teil der Blätter vollständig verfärbt. Viele Zweige ragen entlaubt und abgestorben aus der Aufgleitfläche des Windes heraus. Auf der rechten Seite sind Blüten, Blätter und Jungtriebe gut erhalten geblieben, da der gefilterte Wind hier nicht mehr Schaden kann oder vorbeiströmt. Das augenblickliche Bild dieses Weißdorns ist offensichtlich in all den früheren Jahren ähnlich gewesen. Das Ergebnis davon: Auf der gefährdeten Seite ragt der Busch nur um einen Meter, auf der geschützten um vier Meter über den Wurzelhals hinaus. Das winter-

liche Bild zeigt diese asymmetrische Form und das Verdichten der Zweige an der Aufgleitfläche des Windes noch deutlicher. Ein ähnlich weit überhängender Weißdorn an der Südwest-Ecke von Guernsey wird von einem Efeu benutzt, der interessanterweise als seinen Lebensraum die salzsicherste Stelle des Busches gewählt hat. In den bewaldeten Schluchten der Südküste dieser Insel benutzt der Efeu erst Bäume weiter landeinwärts, obwohl die sonstigen Klimabedingungen für ihn in Seenähe noch günstiger wären. Er weicht offensichtlich dem starken Salzangebot aus.

Die zwei Weißdornbüsche von Photo 3 sind ein Beweis dafür, in welcher extremer Weise alte Gehölze die horizontale Wuchsrichtung annehmen. Dieser Doppelbusch steht in geringer Entfernung von dem Beispiel auf Farbphoto 2, ist aber vom Erdboden an den Seewinden ständig ausgesetzt. Der Saftstrom und das Lichtangebot begünstigen bei jeder Pflanze das Wachstum nach oben. Auch hier wird es immer wieder von beiden Weißdornen versucht; nur die Salzsperre verhindert es vollständig, wie die vielen herausragenden dünnen Jungtriebe bezeugen. Hier beginnt die Krone erst in der Verlängerung des senkrechten Stammes, das Salz hat jede Astbildung nach Westen zu verhindern, weil im Vorfeld selbst der geringste Schutz fehlt. Beim rechten Busch beginnt die Krone sogar erst mehr als ein Meter jenseits vom Wurzelhals, sein Stamm ist stark nach rechts geneigt. Dieses extreme Überhängen ist nicht das Werk des Winddruckes, sondern vorwiegend das des Konkurrenzdruckes des linken Busches unter gleichzeitiger Mithilfe des Salzes. Ausreichendes Licht und das Fehlen des Salzes erlauben auf der rechten Seite die relativ günstigste Wuchsbedingung. Das Absterben der Äste auf der Unterseite wird nicht nur durch Lichtmangel, sondern auch durch den geringeren Saftstrom und durch Salzaufnahme mitverursacht.

An der Westküste von Föhr auf der Geest bei Utersum wurden 1963, von der deichlosen Küste beginnend, landeinwärts 200 Meter weit mehrere Grundstücke mit Sitkafichten eingepflanzt. Nach neun Jahren waren die nächsten am Strand höchstens 0,5 m hoch und krank oder schon vernichtet, die am anderen Ende hatten schon 3 m Höhe erreicht und waren relativ gesund. Die Spitze einer solchen zurückgebliebenen Sitkafichte (Farbphoto 4) hat auf der Seeseite alle Nadeln bis auf drei unten verloren. Obwohl die erhalten gebliebenen Nadeln der Rückseite parallel zur Strömungsrichtung stehen und durch den Leittrieb teilweise Salzteilchen abgefangen bekommen, haben sie mit der Aufnahme von Salz schon ihre Toleranzgrenze überschritten, was die nach oben hin zunehmende Braunfärbung beweist. Wenn die Bepflanzung dieser ehemaligen Äcker auch von Schutzmaßnahmen einfachster Art wie an der Südküste begleitet gewesen wäre (Erdwall mit aufgesetztem Reisigzaun), hätte dieser große Ausfall nicht zu sein brauchen. Wahrscheinlich hat man sich zu sehr von der Vorstellung leiten lassen, daß die Sitkafichte in



3



8



6



9

*Photo 3:* Die beiden Weißdornbüsche stehen in der Nähe von Nr. 2. Sie sind noch stärker der Salzlufte ausgesetzt und können nur noch in horizontaler Richtung wachsen.

The two hawthorns stand close to No. 2. They are still more exposed to the salt-air and can grow only in a horizontal direction.

*Photo 6:* Diese Sitkafichte nördlich von Utersum/Föhr mußte schon mehrere Male ihren Leittrieb ersetzen. Ihre Wuchsform ist dem Salzansturm angepaßt. Trotzdem werden bald die letzten grünen Nadelbüschel abgestorben sein. 11. V. 1972.

This *Picea sitchensis* northern of Utersum/Föhr had to substitute its leading shoot at different times. The tree has accommodated itself to the attack of salt. Nevertheless, the last green bunches of needles will soon perish.

*Photo 8:* Zwei Tage Salzsturm haben Ende Mai 1972 das Laub dieser jungen Eiche an der Südküste von Föhr vernichtet. Sie verlor alle Blätter und mußte sie durch neue ersetzen.

The saltstorm over two days destroyed the foliage of this young oak on the southern coast of Föhr in the last days in May 1972. The tree lost all its leaves and had to produce new leaves.

*Photo 9:* Ulmenbusch von der Südküste von Föhr nach dem Salzsturm. Die Äste auf der Westseite sind entlaubt; der Ostteil des Busches ist verschont geblieben, weil er dem Sturm eine kleinere Angriffsfläche bot und im Schutz des westlichen Teils stand.

An elm copse on the south coast of Föhr after the salt-storm. The branches on the western side are stripped of their leaves. The eastern part of the copse has escaped from the damage, because it presented a smaller plane of attack to the storm and because it stood in the shelter of the western part.

ihren Stammgebieten sich gegen härteres Klima behauptet hat. Die neben dem milderen Klima hier zusätzlich gültige ökologische Bedingung mit dem Salzgehalt der Luft hat man nicht beachtet. Das günstigere Klima kann jedoch die Wirkung des Salzes nicht ausschalten. Alle gleichzeitig gepflanzten Bäume rundum haben bei gleichem Strandabstand ähnliche Schäden aufzuweisen. Das ganze Ausmaß der Salzwirksamkeit drückt sich auch darin aus, daß erst auf 200 m Strandabstand die maximale Höhe von 3 m erreicht wird. Das wäre ein Böschungswinkel der Salzschurfäche von ungefähr  $1^\circ$ ; dagegen wird im oben zitierten Beispiel von der Südküste ein Winkel von über  $30^\circ$  erzielt.

Die Sitkafichte auf Farbphoto 5 vom gleichen Standort hat mit etwas größerem Strandabstand auch eine größere Überlebenschance gehabt. Aber auch hier sind alle Zweige, die sich der Salzlufte entgegenreckten, bis auf den Boden herunter braun und zerstört worden. Die ganze linke Seite ist wie abgeschnitten, eine chemische Analyse der braunen Nadeln könnte im Vergleich zu den grünen auf der Rückseite des selben Baumes etwa eine 20fache Menge an NaCl ergeben. Die Endknospen der Zweige auf der rechten Seite sind unten schon alle vollständig aufgegangen. Je weniger Salz sie aufnehmen mußten, um so ausgeprägter sind sie ein Büschel hellgrüner Nadeln und werden sich in den nächsten Wochen zu einem jungen Trieb von 15 bis 20 cm Länge auswachsen. Diese Endknospen sind in den höheren Lagen kleiner und sehr zurückgeblieben, auch die kleinste Gunst der Lage macht sich für sie bemerkbar. Auf der Salzseite sind kaum Anzeichen neuen Lebens zu bemerken. Falls sich hier Knospen gebildet haben, werden sie schon im empfindlichsten Stadium, beim Aufspringen, mit Salzteilchen eingedeckt und vernichtet.

Das Endstadium einer Sitkafichte aus einer Hecke in der Marsch nördlich Utersum/Föhr erläutert Photo 6. Der ursprüngliche Leittrieb und sein erster Nachfolger sind zwar noch vorhanden, aber schon lange abgestorben. Der zweite Nachfolger ist, ähnlich wie bei Schneebrüchen im Gebirge, aus einem Seitenast hervorgegangen, aber kleiner als der eine Seitenast. Die Äste auf der „geschützten“ Seite tragen nur noch am Ende kleine intakte Nadelbüschel, weil sie am längsten den Schutz der Äste und der inzwischen abgestorbenen Nadeln links von ihnen hatten. Der Vergleich dieser Baumruine mit einer gleichaltrigen Sitkafichte läßt die ganze Tragweite der Salzschaäden erkennen.

Der Stechginster auf den Britischen Kanalinseln ist für Untersuchungen der vorliegenden Art sehr gut geeignet. Er ist überall auf Ödland und an den Küsten der Inseln anzutreffen, bleibt wegen seiner Stacheln unbehelligt und seine Blättchen und besonders seine leuchtend gelben Blüten im März reagieren schnell auf Salzlufte. Die Inselgruppe ist auch wegen ihrer übrigen Vegetation für solche Studien gut zu nutzen. Die Ausläufer des Azorenhochs verursachen oft frische See-

winde ohne Regen und die Folgen der Salzlufte sind nicht zu übersehen. Das etwa zwei m<sup>2</sup> große Stechginsterpolster (Farbphoto 7) auf einer nach Süden vorspringenden Felsenrippe auf Guernsey läßt erkennen, daß hier, durch die Bodenbeschaffenheit bedingt, die Salzlufte fast aus allen Richtungen tätig wird. An der Randzone sind die Blüten nicht hochgekommen oder zerstört worden. In den beiden Lücken oben links ist die Zerstörung am weitesten fortgeschritten. Hier sind die Blätter vernichtet, an den übrigen Stellen nur verfärbt. Aus allen Schadstellen rundum darf aber nicht auf vorherrschende Windrichtung, auf Windstärke oder Windhäufigkeit geschlossen werden. Der Tidenhub, die Gezeiten- und Brandungsverhältnisse können mit günstigem Wind die ausgeprägteste Schadstelle unter Umständen in zwei Tagen zustandebringen.

#### IV

Der unter II g) erwähnte Salzsturm hat Ende Mai 1972 an der deutschen Nordseeküste der gesamten Vegetation im Einzugsbereich der Salzlufte damals schwere Schäden zugefügt. Zwei Umstände ließen diese Wetterlage zu einer Katastrophe für die Pflanzenwelt werden: Der Sturm brachte bei bewölktem Wetter große Mengen von Salzteilchen mehrere Tage lang auf Blätter und junge Zweige, ohne daß Regen oder Tau die Folgen davon abmildern konnten. Dazu war es der ungünstigste Zeitpunkt im ganzen Jahr, weil sich die Blätter gerade erst gebildet hatten und gegen Salz noch besonders empfindlich waren; das gleiche Ereignis im Spätsommer hätte nur einen Teil des Schadens angerichtet.

Diese Eiche (Photo 8), etwa 70 m von der Hochwasserlinie an Föhrs Südküste entfernt, hatte vor Beginn des Sturms ausgewachsene, gesunde, große Blätter, von denen zwei Tage später auf dem Bild nur noch wenige in diesem Zustand erhalten sind. Die übrigen zeigen alle Übergänge bis hin zur völligen Vernichtung, sind dann schwarz und zusammengerollt. Ein Teil ist schon abgefallen. Drei Tage später hatte die Eiche alle Blätter verloren und war kahl wie im Winter, und das Anfang Juni! Fünf Wochen später hatte sich neues Laub gebildet, der Baum hatte etwa wieder den Zustand von vor dem Sturm erreicht.

Das Photo 9 stellt einen Ulmenbusch von Föhrs Südküste nach dem Salzsturm dar. Sein rechter Teil hat die meisten Salzpartikel abgefangen und dadurch seine Blätter eingebüßt. Die Äste auf der linken Seite erhielten die Luft gefiltert. Das restliche Salz kam hier außerdem nicht mehr so zur Geltung, da die Zweige und Blätter aerodynamisch günstiger zum Wind stehen. Während die Zweige der rechten Seite die zugeführten Nährstoffe der nächsten fünf Wochen für die Entwicklung neuer Blätter verwenden mußten, konnte die linke Seite alle Energien in das Längenwachstum stecken. Der Busch hat offensichtlich schon oft vor ähnlichen Situa-

tionen gestanden, da seine rechte Seite in der gesamten Entwicklung gegenüber der linken weit zurückgeblieben ist.

Zahlreiche Beispiele dieser Art lassen erkennen: Ist das Gehölz locker aufgebaut, also „durchblasbar“, dann gehen alle Blätter verloren. Bei dichtem Wuchs werden nur die Blätter der vordersten Zweige zerstört; den kompakten Teil der Rückseite überspült der Salzstrom, ohne nennenswerten Schaden anzurichten.

## V

Die früher sehr empfohlene Anpflanzung der Sitkafichte ist nach den gemachten Erfahrungen in Küstennähe nicht mehr zu vertreten. Weder als Feldhecke oder als Alleebepflanzung noch im Schutz eines geschlossenen Forstes wird die Sitkafichte alt. Hier ist sie gegen geringe Salzmengen im Dauerangebot ebenfalls empfindlich und kränkelt bald. Der Borkenkäfer bevorzugt bei seiner Eiablage gerade solche Bäume, ihre Vernichtung wird dadurch noch beschleunigt.

Zwischen Weser und Ems wurde seither das Bild der Landstraßen von den weit überhängenden Rüstern geprägt. Da sie sich ebenfalls in der Seeluft nur schlecht behaupten konnten und bald zahlreiche Ausfälle hatten, ersetzt man sie jetzt durch die besonders raschwüchsige Schwarzpappel. Diese Baumart erreicht gewöhnlich die Höhe und den Stammdurchmesser einer 60- bis 80jährigen Rüster schon mit 20 Jahren. Die Salzlufte kann der Pappel wegen ihrer Schnellwüchsigkeit, ihres Kronenaufbaus und der günstigeren aerodynamischen Bedingungen ihrer Blätter nur wenig schaden. Sie entwickelt einen geraden, senkrechten Stamm mit fast normaler Krone.

In Ostfriesland findet man bisweilen Zufahrtswege der Einzelgehöfte mit gleichaltrigen Rüstern eingefasst. Verläuft eine solche Rüsternallee in west-östlicher Richtung, dann kann man an ihr die Größenordnung der Salzsäden im Laufe der Jahrzehnte abschätzen. Ähnlich wie beim einzelnen Busch oder Baum die exponierten Äste, müssen hier die ersten Bäume (von Westen gesehen) den größten Teil des Salzes aufnehmen. Die aufgenommene Salzmenge steht deutlich im umgekehrten Verhältnis zur Holzproduktion jeden einzelnen Baumes. In 70 Jahren haben die geschützt stehenden Bäume die dreifache Holzmasse gegenüber den vordersten hervorgebracht.

Diese große „Ertragsminderung“ ist bei allen Gehölzgruppen mit schrägen Aufgleitflächen in Küstennähe in der gleichen Größenordnung festzustellen. Jeder Waldrand, jede Schutzpflanzung um ein Gehöft, ein Feld oder eine Vogelkoje weisen ähnliche Verhältnisse auf. Der Böschungswinkel wird oft vom Menschen beeinflusst: Äußere Grenze einer Schutzpflanzung und die Höhe des Hauses bestimmen hier die Größe des Winkels.

Aus diesen Beobachtungen darf auf keinen Fall auf

eine Ertragsminderung gleicher Größenordnung bei den Kulturpflanzen (Getreide, Hackfrüchte, Futterpflanzen) geschlossen werden. Es treten auch bei diesen Pflanzen Salzsäden in Bodennähe auf, wie auch hierfür die Beobachtungen nach dem Sturm Ende Mai 1972 angeführt werden können. Die Auswirkungen sind allerdings viel geringer als bei den genannten Gehölzen. Folgende Beobachtung mag eine Erklärung dazu bieten: Der verzinkte Stacheldraht um Viehweiden an der Küste korrodiert stets zuerst am obersten Draht und später erst an den unteren der Reihenfolge nach. Im Binnenland geschieht dies in umgekehrter Reihenfolge, weil hier der oberste Draht zuerst abtrocknet, dort aber das meiste Salz auffängt. Das Salzangebot für die Pflanzen nimmt zum Boden hin mit der Windgeschwindigkeit ab. Die Aufrauung des Bodens durch die Bewachsung sorgt dazu noch für das teilweise Ausfiltern der Salzteilchen.

Diese Korrosion, besonders an blanken Metallteilen (Pflugschar, Schienen) oder an verchromten Fahrzeugteilen und Beschlägen, verläuft in Küstennähe sehr viel schneller und intensiver als weiter landeinwärts. In Ostfriesland ist nach der Aussage eines praktischen Arztes die Verständigung mit Patienten über die Telefonfreileitung bei starkem, niederschlagsfreiem Westwind schwierig. Die nicht isolierten Drähte fangen anscheinend die Salzionen noch stärker ein als die Pflanzen. Brillenträger können sich nach einem kurzen Spaziergang am Strand bei Seewind leicht über die Menge der auf den Gläsern abgelagerten Salzteilchen überzeugen. Die angeführten Beispiele mögen auf die ständige Anwesenheit von Salz in der Luft hinweisen, das natürlich in seiner Menge großen Schwankungen unterliegt.

## VI

Der Übergang der Salzwassertröpfchen in die Luft hängt in erster Linie von der Windgeschwindigkeit ab und geschieht nicht nur am Strand, sondern auch draußen auf der freien Meeresfläche. Die Verteilung der zersprühten Wasserteilchen in der Luft ist nicht gleichmäßig wie die des Wasserdampfes, sondern eher in der Art einer Haufenbewölkung vorzustellen. Da zudem die umgebende Luft selten mit Feuchtigkeit gesättigt ist, geben die Salzwassertröpfchen einen wesentlichen Teil ihres Wassers ab. Mit dem bloßen Auge können sie jetzt nicht mehr wahrgenommen werden. Auch bei der Sprühdose läßt die Austrocknung die Tröpfchen nach einem Weg von einem Meter unsichtbar werden.

Die Ablagerung dieser konzentrierten Salztröpfchen auf Pflanzenteile geschieht etwa so wie die von unterkühlten Wassertropfen bei der Bildung von Raufrost. Die ausgekämmten Salzteilchen bleiben auf der Windseite auch der dünnsten Zweige haften, ihre Leeseite bleibt frei von ihnen. Blätter verschiedener Gehölzarten fangen je nach Beweglichkeit unterschiedlich viel Salz auf. Die Reaktion der Blätter auf das Salz hängt

außerdem von mehreren Faktoren ab. Die Struktur des Blattes und der Zellwände, Zusammensetzung der Zellflüssigkeit, Verhalten der Spaltöffnungen spielen eine wesentliche Rolle. Auf das Alter der Blätter war schon hingewiesen worden. Beim Besprühen von Blättern des gleichen Baumes zeigte es sich, daß sie im Sommer erst bei einer mehrfachen Salzmenge die gleichen Schäden zeigen wie im Frühjahr mit der einfachen.

Die Schäden an der Vegetation scheinen in erster Linie über osmotische Vorgänge zustande zu kommen. Das Wassertröpfchen hat beim Austritt aus der Meeresoberfläche einen Salzgehalt von etwa 34‰, nach dem Austrocknen einen noch wesentlich höheren. Dementsprechend hat sich auch der osmotische Druck erhöht und je nach den Eigenschaften der Zellwände diffundiert Wasser nach außen. Das könnte das rasche Vertrocknen der Blätter bei starkem Salzbefall erklären.

Die chemische Analyse und die Düngung über die Blätter beweisen beide, daß Salze auch in das Blattinnere eindringen können. Interessant ist bei dieser Spritzdüngung noch, daß junge Blätter mit ihrer Ober- und Unterseite etwa die gleiche Stoffmenge aufnehmen. Die älteren Blätter dagegen nehmen mit der Unterseite doppelt so viel auf wie mit der Oberseite. Diese Düngersalze werden in stark verdünnten Lösungen in Tropfenform aufgetragen, und nicht jeder künstliche Dünger kann ohne Schaden für die Blätter verwendet werden. Auch die Meersalze, überwiegend NaCl, stehen manchmal in stark verdünnter Form zum Eindringen in die Blätter zur Verfügung. Bei Regen und Taubildung sinkt der Salzgehalt der zersprühten Partikel durch Wasseraufnahme, und gleichzeitig setzt die Verdunstung aus.

Auf welche Weise das Blatt durch das eingedrungene Salz geschädigt wird und wie groß schließlich sein Anteil an der Zerstörung gegenüber dem des von außen wirkenden Salzes ist, kann nicht entschieden werden. Deshalb darf eine chemische Analyse hier nicht absolut gewertet werden wie die der Überprüfung auf industrielle Abgase (D. H. KÖSEL).

Da der NaCl-Anteil an den Seesalzen 78% beträgt, genügt für eine Untersuchung auf Schadstoffe aus dem Meer die Bestimmung dieser Salzmenge. Zu diesem Zweck wurden von einer jungen Kiefer aus einem geschlossenen Bestand hinter der Düne auf Sylt abgestorbene braune Nadeln von der exponierten Seite und gesunde grüne Nadeln auf der geschützten Seite ausgewählt. Bei 700 °C wurden sie verglüht, der Glührückstand dann in heißes Wasser gebracht und potentiometrisch titriert. Die gleiche Menge brauner Nadeln wies gegenüber der von grünen Nadeln des selben Baumes den achtzehnfachen Gehalt an NaCl auf. Das Ergebnis bestätigt noch einmal, in welchem starkem Maße die exponierte Seite eines Baumes das Salz ausfiltert und die Leeseite begünstigt.

Es bliebe nun noch die Frage zu klären, ob Verformungen von Gehölzen an der Küste auch teilweise auf mechanischem Wege möglich wären, wie sie im Gebirge

mit Schleifspuren an Stämmen und Ästen bestätigt werden (F. K. HOLTMEIER). Für einen solchen Vorgang gilt das Energiegesetz:

$$E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

Die winzigen (flüssigen) Salztröpfchen bringen in diese Funktion eine so kleine Masse ein, daß die resultierende Aufprallenergie verschwindend klein wird. Bei Sandkörnern oder Eiskristallen dagegen ist die Masse um einige Zehnerpotenzen größer, so daß mit einem starken Wind eine Gebläsewirkung schon zustandekommt. Im Hochgebirge können Licht und Wärme im Frühjahr schon für die Bildung junger Nadeln ausreichen und gleichzeitig starke Winde mit festen Hydrometeoren auftreten. Kommt dann durch das Bodenrelief noch ein Düseneffekt hinzu, dann ist das Eisgebläse vollständig. Die großen Unterschiede bei den Schurformen auf kleine Entfernungen ist oft allein von den Strömungsverhältnissen abhängig: Nach dem Gesetz bringt eine dreifache Windgeschwindigkeit die neunfache Wirkung hervor. Der Aufprall von unterkühlten Regentropfen, die dabei sofort in Eis übergehen, verursachen an den Bäumen keinen Schaden. Eis- oder Sandgebläse kommen an der Küste praktisch nie vor.

## VII

Nach den bisherigen Ausführungen kann allein das Salz aus dem Meerwasser die Ursache für die Kronendeformationen an der Küste sein, der Wind ist nur das Transportmittel für diesen Schadstoff. Genau so wenig biegt der Wind Zweige und Äste auf die Dauer um (II f). Die zahlreichen, scheinbar umgebogenen Zweige dieser Ulme unmittelbar hinter dem Deich in Ostfriesland auf Photo 10 unterstreichen ebenso wie die nach links weit überhängende Baumkrone und der gekrümmte Stamm die scheinbare Wirkung des Windes. In solcher Art verformte Rüstern sind an dieser Küste häufig anzutreffen und sehr typisch. Im Binnenland und im Gebirge können sie so geformt nicht angetroffen werden.

Ein erfahrener Gärtner kann durch Schnitt, Abbinden oder andere „Erziehungsmaßnahmen“ Gehölzen jede gewünschte Form aufprägen und fortwährend erhalten. Die Japaner sind Meister in der Aufzucht kunstvoll geschnittener Koniferen; auch unsere Gärtner erzielen durch Beschneiden und Binden beispielsweise solche extremen Formen, daß das Spalierobst seine Äste nur in einer Ebene entwickelt. So kann auch ein Jahrestrieb (a, Abb. 1) durch Schnitt an der gekennzeichneten Stelle dazu gebracht werden, daß im nächsten Jahr das erste Auge unterhalb des Schnittes den Trieb senkrecht nach oben fortsetzt (b, Abb. 1), und nach dem zweiten Schnitt wächst der Zweig im dritten Jahr nach links oben (===) weiter. Durch



Photo 10: Das „Umbiegen“ der Zweige dieser Ruster hinter dem Deich in Ostfriesland ist ausschließlich das Werk des Salzes und nicht des Windes (vgl. Abb. 1). In gleicher Weise entstanden der gekrümmte Stamm und die asymmetrische Baumkrone.

The „turning up“ of the branches of this elm behind the dike in Ostfriesland is exclusively the work of the salts and not of the wind (cf. Abb. 1). The crooked trunk and the asymmetrical top of the tree are formed in the same manner.

diese beiden Maßnahmen ist die anfängliche Richtung um  $110^\circ$  geändert worden. Die gleiche Richtungsänderung könnte man auch erreichen, indem man den Zweig (a) zu einem Dreiteilbogen umbiegt und in dieser Form festbindet. Wenn der Zweig konstant über etwa vier Monate in dieser Stellung gehalten wird, bleibt diese Richtung auch nach Entfernen des Fadens ungefähr erhalten.

Das Ergebnis der zwei Richtungsänderungen nach der schematischen Darstellung (a und b Abb. 1) könnte auch erreicht werden durch das Ausbrechen der Knospen oberhalb der angedeuteten Schnittstellen. Nach einer der drei Methoden kann jedenfalls durch den Menschen das gleiche „Umbiegen“ von Zweigen erreicht werden, das in der Natur ganz selbstverständlich wieder dem Wind zugeschrieben wird. Auch bei vorherrschendem Westwind wechselt die Richtung in einem Sektor von  $90^\circ$ , und an unserer Nordseeküste wird selten ein Zweig mehrere Minuten lang aus seiner Ruhestellung herausgebogen. Immer wieder kehrt er zwischendurch an seinen Ausgangspunkt zurück oder wird durch entgegengesetzte Winde in die Gegenrichtung gedrückt. Durch eine sorgfältigere Beobachtung und Beurteilung der Vorgänge in der Natur wäre ein solcher Fehlschluß nicht entstanden.

Wie das Farbphoto 4 und die Überlegungen über die Ablagerung von Salzteilen zeigen, fängt die Luvseite auch des dünnsten Zweiges die Salze auf, seine Rückseite bleibt verschont. Übertragen wir diese Bedingungen auf das Schema (Abb. 1), dann werden bei Wind von rechts vorwiegend die rechten Knospen und die Triebspitzen vom Salz vernichtet. Dieses entspricht etwa dem Ausbrechen der Knospen durch den Menschen. Eine geschlossene Knospe (c, Abb. 1) ist durch harte Schuppen, durch Harz verklebt, gegen Salzwasser vollständig geschützt. Selbst eine kleinere Salzmenge kann sie beim Aufbrechen und in der ersten Zeit nach der Entfaltung der Blätter vollständig vernichten. Eine Knospe auf der zuletzt erreichten Zweigrichtung (===, Abb. 1b) ist auch nach dem Öffnen noch durch die dachziegelartig wirkenden äußeren Schuppen gegen Salz gut geschützt. Diese letzte Zweigverlängerung steht auch günstiger zur Windrichtung als die Richtung (a) und wird überdies durch die abgestorbenen Triebenden noch geschützt. Weitere „Salzschnitte“ würden schließlich den Zweig vollständig in die horizontale Richtung stellen und dadurch den größtmöglichen Schutz und die günstigste Wachstumsbedingung bei Salzgefahr bieten. So kommt nicht nur das „Umbiegen“ des einzelnen Zweiges, sondern auch der ganzen Krone zustande. Das Wachstum an der Küste ist nicht ein Anpassen an die Windrichtung, sondern das Ausweichen vor dem Salz.

Ein weiteres Kennzeichen der Salzeinwirkung auf Baumkronen ist die besenartige Verdichtung an der Grenzfläche zum Salzstrom hin. Ein normal wachsender Sproß wird an einem gesunden Baum jährlich bis zu 50 cm lang. Im folgenden Jahr wird er aus der Endknospe seine Verlängerung und aus den letzten zwei oder drei Seitenknospen Verzweigungen bilden. Diese großen Abstände der Seitenzweige vom unteren Ende des Haupttriebs ergeben so einen lockeren Aufbau der Krone. Unter Salzeinfluß wird ein großer Teil des Triebes vernichtet, die Verzweigung beginnt kurz hinter dem Sproßanfang. Der ganze Zweig ist wie gestaucht und die Randzone der Krone ist sehr dicht geworden (Abb. 2).

## VIII

Das Farbphoto 7 liefert einen Beweis dafür, wie verwickelt manchmal die Windverhältnisse sein können. Von besonders interessanten Strömungsbedingungen im großen Maßstab und ihren Auswirkungen auf die Baumform in der Columbia-Schlucht weiß C. TROLL zu berichten. Die Westwinde nehmen zum Ostende der Schlucht zu und die Ostwinde nach Westen zu. Im Westteil der Schlucht sind wider Erwarten durch Eisgebläsewirkung die Bäume verformt. Am Ostende der Schlucht sind es die „bekanntesten Windformen von der Meeresküste“.

Auf dem etwa 5 m steil abfallenden Gotingkliff

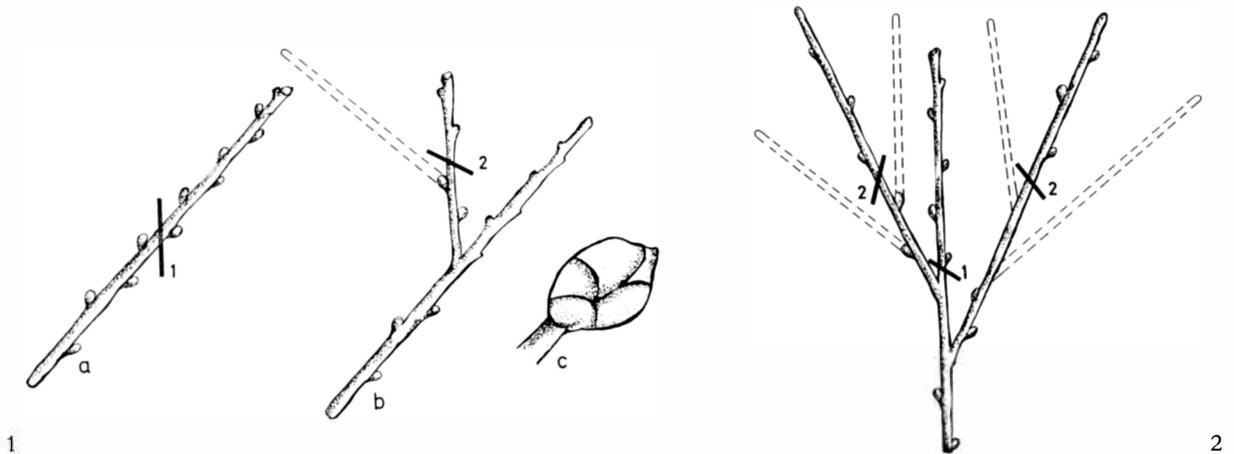


Abb. 1: Schematische Erklärung der Richtungsänderung eines jungen Sprosses durch Wind von rechts. Wenn beim Aufspringen der Knospe (c) das Salz ihre Spitze trifft, werden die jungen Blätter oder Triebe vernichtet. Kommt dagegen das Salz von der Knospenbasis, gleitet es an den Deckschuppen ab, und sein Schaden ist dann gering. Der einjährige Sproß (a) ist oberhalb von (1) durch Salzablagerung ausgetrocknet. Unterhalb von (1) werden die ersten Blattknospen zu Triebknospen. Die oberste Knospe steht im Schutze des Triebes und hat eine bessere Lebenserwartung als die folgende, die gegen den Wind steht. Im zweiten Jahr (b) mag der neue Trieb bis (2) erhalten bleiben. Die neue Richtung (==) im dritten Jahr ist dem Salz von rechts gut angepaßt und der Trieb wird nur noch wenig Salz auffangen.

Schematic interpretation of the directional change of a young shoot by wind from the right. If the bud (c) is opening and the salt comes against the point, the young leaves or shoots will be annihilated. If the salt comes from the base of the bud, it will slip off on the external scales and the damage will be slight. The one year old shoot (a) is dried up above (1) by deposition of salt. Below (1) the first leaf-buds become shoot-buds. The highest bud is standing in the protection of the shoot and has a better life expectancy than the following, which stand to windward. In the second year (b) the new shoot may be preserved till (2). The new direction (==) in the third year is well accommodated to the salt from the right and the shoot will only take up a little salt.

Abb. 2 erklärt schematisch, wie das Wachstum von Gehölzen gestaucht wird und mit den abgestorbenen Sprossen das Zweigwerk an der Aufgleitfläche des Salzes besenartig sich verdichtet.

Figure 2 explains schematically the manner in which the growth of trees is "stooked" and how the live branches, together with the dead shoots on the boundary towards the salt, are crowded together like a besom.

auf Föhr ziehen zwei Waldstreifen landeinwärts. Die Bäume vorne am Kliff sind wenig geschädigt, weil der Wind senkrecht hochkommt. In der Mitte der Waldstreifen aber ist eine Lücke entstanden, weil der Südwestwind durch eine Kliffücke mit flachem Abhang hier angreifen kann.

An Steilhängen unserer Mittelgebirge sind sehr oft scheinbar windgeformte Bäume anzutreffen, deren Kronen talwärts zeigen. Hier ist die Lichtabschirmung durch den Berghang die Ursache und nicht stürmische Bergwinde rund um den Gipfel. Fehlschlüsse ähnlicher Art können auch an der Küste vorkommen, wenn Witterungsregelfälle (H. FLOHN) vorwiegend die Salzschäden bringen, das Salz aus der vorherrschenden Windrichtung aber regelmäßig durch Regen ausgewaschen wird. Aus dem Vergleich der zahlreichen verformten Gehölze an der deutschen und dänischen Küste mit den wenigen an der norwegischen auf die Windverhältnisse schließen zu wollen, ergäbe ein falsches Bild.

Im Binnenland findet man oft durch den Winddruck schiefgestellte Bäume mit symmetrischen Kronen. Eine längere Frostperiode wird in Mitteleuropa vor-

wiegend durch eine Westwetterlage abgelöst. Bei dem einsetzenden Tauwetter haben wir dann kurz eine „Schlammerperiode“. Der Frostboden ist dann noch nicht bis unten hin aufgetaut, das Schmelzwasser kann nicht einsickern und verwandelt die schon aufgetaute Bodenschicht in einen dünnen Brei. In diesem Zustand vermag ein kurzer, heftiger Windstoß je nach Hebelwirkung den Baum schief- oder umzudrücken. Es bleibt hier dem Zufall überlassen, ob der Wind gerade aus NW oder SW kam. Eine klimatologische Erkenntnis kann man daraus nicht gewinnen.

M. YOSHIMURA hat am Fudschijama in fast zweijährigen Beobachtungen an verformten Lärchen die lokalen Windverhältnisse untersucht. TRANQUILLINI hat nun gerade bei der Lärche im Windkanal festgestellt, daß ihre Werte für die Transpiration bis  $v=20$  m/sec maximal 10% über dem Ausgangswert liegen. Für die Netto-Photosynthese bewegen sich die Werte zwischen  $\pm 8\%$ . Dieses Verhalten der Lärche schließt eine Abhängigkeit ihrer Verformung vom Wind vollständig aus. Die wirklichen Ursachen könnten sein: Eisgebläse, Hanglage (täuscht Fallwind vor) und vielleicht Salz.

## IX

Da der Einfluß des Windes auf die Vegetation seit her stark übertrieben oder falsch eingeschätzt wurde, ist es an der Zeit, das Windschutzproblem neu zu überdenken. Wenn die Ernteerträge (W. KREUTZ) hinter den Waldstreifen der russischen Steppe in trockenen Jahren ein Vielfaches der Ernte in der offenen Landschaft sind, und wenn außerdem die Erträge von geschützten Flächen zwischen normalen und trockenen Jahren stark schwanken, ist die Annahme berechtigt, daß hier nicht die Transpiration, sondern die Evaporation den Ausschlag gibt. Nach TRANQUILLINI ist die Evaporation für  $v=20$  m/sec viermal so groß wie bei  $v=0,5$  m/sec. Die Erhaltung des Bestandsklimas, der Bodenbakterien, -feuchtigkeit, -struktur und des  $\text{CO}_2$ -Vorrats könnten andere Maßnahmen (vgl. W. KREUTZ) besser leisten als die Waldstreifen.

In den Küstengebieten ist ein dichtes Windschutznetz am dringendsten erforderlich und am wenigsten ausgebaut. Seine wichtigste Aufgabe ist hier der Schutz der Weidetiere gegen Wärmeverlust und zu starke Sonneneinstrahlung. In der freien Wildbahn zieht sich jedes Tier nach der Äsung in seine Deckung zurück. Eine kleine Busch- oder Baumgruppe auf der Weide und eine Hecke rundum würden gegen die schlimmsten Witterungsunbilden schützen und das Wohlbefinden der Tiere verbessern. Der überhängende Weißdorn von Farbphoto 2 war der bevorzugte Aufenthalt zweier Pferde, weil sie auf ihrer Weide keinen anderen Unterschlupf fanden.

*Literatur*

BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimatologie. De Gruyter, Berlin 1966.  
FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. 2. Aufl. Stuttgart 1954.

HOLTMEIER, F. K.: Der Einfluß der orographischen Situation auf die Windverhältnisse im Spiegel der Vegetation. Erdkunde XXV 1971, 178–195.

KÖSEL, D. H.: Gefahr für die „grüne Lunge“? Bild der Wissensch. X 1971.

KREUTZ, W.: Der Windschutz. Ardey Verlag, Dortmund 1952.

– : Bodenerwärmung und Trockenheit sowie Ursachen der Dürre im ungewöhnlich langen und heißen Sommer 1947. Zeitschr. für Meteorologie Juli/August 1950, 195–212.

RUNGE, F.: Windgeformte Bäume und Sträucher und die von ihnen angezeigte Windrichtung auf Terschelling. Met. Rundschau XI/XII 1955.

– : Windgeformte Bäume in den Tälern der Zillertaler Alpen. Meteorologische Rundschau XI 1958.

– : Windgeformte Bäume in den Tälern der Allgäuer Alpen. Meteorologische Rundschau XII 1959.

TRANQUILLINI, W.: Photosynthese und Transpiration einiger Holzarten bei verschieden starkem Wind. Centralblatt für das gesamte Forstwesen I/1969, 35–48.

– : Einfluß des Windes auf den Gaswechsel der Pflanzen. Umschau in Wissenschaft und Technik 26/1970.

TROLL, C.: Der Mount Rainer und das mittlere Cascadengebirge, Erdkunde IX 1955, 264–286.

WEISCHET, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Randlandschaften. Münchener Geogr. Hefte Nr. 8 1955.

– : Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatischen Windverhältnisse (dargestellt am Beispiel der Köln-Bonner Bucht). Erdkunde V 1951, 221–227.

– : Geographische Beobachtungen auf einer Forschungsreise in Chile. Erdkunde XIII 1959, 6–22.

YOSHIMURA, M.: Die Windverbreitung im Gebiet des Mt. Fuji. Erdkunde XXV 1971.

## FROST IN DEN NILGIRIS

Klimatologische und ökologische Beobachtungen in den kalten Tropen Südindiens<sup>1)</sup>

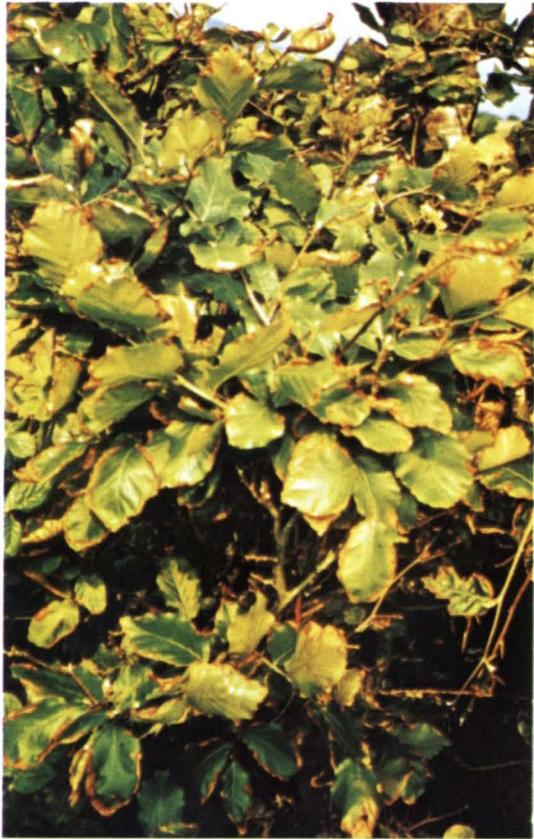
Mit 5 Abbildungen, 6 Photos und 6 Tabellen

HANS J. VON LENGERKE

*Summary:* Frost in the Nilgiris—Climatological and Ecological Observations in the Cold Tropics of South India

<sup>1)</sup> Dieser Beitrag entstand auf der Grundlage klimatologischer Feldforschungen in Südindien (Juni 1972 bis Juli 1973) – angeregt von Herrn Prof. Dr. U. SCHWEINFURTH, Direktor des Instituts für Geographie am Südasien-Institut der Universität Heidelberg, und ermöglicht durch die freundliche Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) sowie der Indischen Regierung (Ministry of Education and Social Welfare), wofür auch an dieser Stelle aufrichtig gedankt sei.

By discussing the spatial and temporal aspects of frost formation in the Nilgiris—its distribution, frequency and intensity—the author presents the first systematic investigation of frost in South India and thus fills a regional gap in our knowledge of this climatic phenomenon of the cold tropics. The analysis is based on all available, mainly unpublished and scattered information (instrumental as well as visual records) collected during field work in 1972/73. It reveals that in the Nilgiris, particularly in the central and western parts of the elevated plateau, night frost is an annually recurrent, though highly variable, climatic feature during a potential frost season of almost six months—from the third week in October to the second



Farbphoto 1: VII. 1976. Junge Rotbuche am Loch Linnhe, Schottland. Erste Schäden durch Salzluft: Die Blattränder sind braun verfärbt.

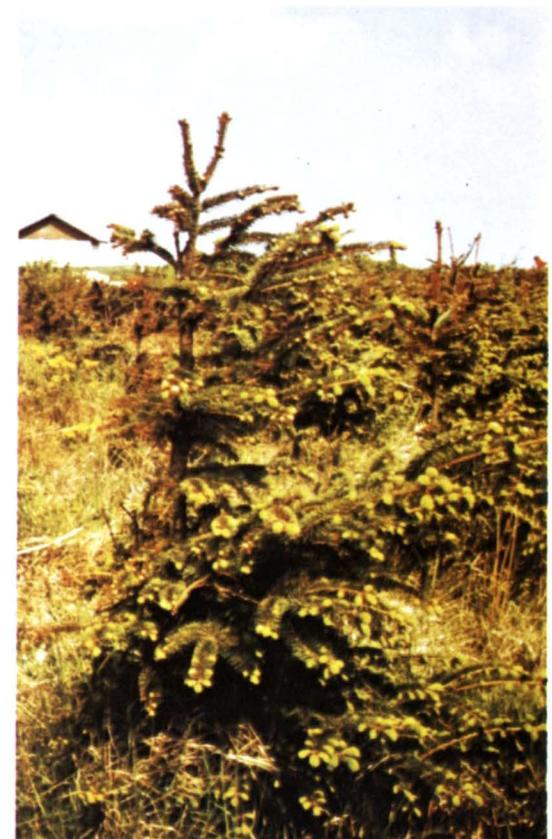
The young common beech of Loch Linnhe, Scotland. Initial damage by salt-air: the edges of the leaves are discoloured brown.



Farbphoto 2: Weißdorn westlich von Dunsum/Föhr. Der Salzwind hat von links her Blüten vernichtet und Blätter ganz oder teilweise verfärbt. Abgestorbene Jungtriebe aus früheren Jahren ragen oben heraus. Der Busch kann nur noch nach rechts wachsen. Hawthorn to the west of Dunsum/Föhr. The salt-wind has destroyed the blossoms from the left side and has completely or partly discoloured the leaves. Dead young shoots from former years project outward. The bush can grow only to the right.

Farbphoto 4: 11. V. 1972. Der Leittrieb einer 12jährigen Sitkafichte in Strandnähe bei Utersum/Föhr hat durch das Salz aus westlicher Richtung die Nadeln aus dem Vorjahr links verloren (ohne Schadstoffe bleiben sie 5-7 Jahre erhalten). Die Nadeln auf der Rückseite sind, von unten nach oben zunehmend, braun gefärbt und zeigen, wie stark sich der Schutz im Vorgelände, der Schutz durch die günstigere Stellung zum Wind oder durch den dünnen Trieb auswirkt.

The twelve year old leading shoot of this spruce (*Picea sitchensis*), located near the coast at Utersum/Föhr, has lost the needles of the preceding year on the left side as a result of the salt blown from the west (normally the needles remain firm without harmful substances for 5-7 years). The needles on the other side are increasingly coloured brown from bottom to top and show by their position to the wind, by the foreground or by their thin shoots how much more favourable the shelter is.



Farbphoto 5: 11. V. 1972: Diese Sitkafichte steht weiter landeinwärts und besser geschützt als Nr. 4. Trotzdem sind alle Zweige nach links durch Salz weitgehend zerstört.

This *Picea sitchensis* lies further inland and is more sheltered from the salt than No. 4. Nevertheless, all branches to the left are destroyed largely by the salt.



Farbphoto 7: III. 1972. Der Stechginster an der Südküste von Guernsey ist von allen Seiten mehr oder weniger dem Salz ausgesetzt. An diesen Stellen gibt es keine Blüten und die Blätter sind braun geworden.

The gorse on the southern coast of Guernsey is exposed to the salt more or less from all sides. On these exposed places there is no blossom and the leaves become brown.