Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 96 (1945)

Heft: 9

Artikel: Elektrische Widerstände der Bäume und Blitzgefährdung

Autor: Szpor, Stanislaw

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767952

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Land-, Alp- und Forstwirtschaft müssen miteinander arbeiten. Sie sind, so sagt *A. Strüby,* wie drei Schwestern. Sind diese unter sich einig, so herrscht Friede in der Familie. Und hier ist der Staat die Familie.

Im gleichen Sinne sprach Oberforstinspektor *M. Petitmermet* in seinem Schlußwort. Er gab der Hoffnung Ausdruck, daß dieser Gedanke auch in den Kantonen Eingang finde, zum Wohle unserer ganzen Heimat, namentlich als Hilfe für unsere Bergbevölkerung.

IX

Es bleibt uns noch die angenehme Pflicht, der Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei zu danken für die Organisation der Studienreise. Besonderer Dank gebührt den Exkursionsleitern, Forstinspektor *Dr. Heß* und *A. Strüby,* dem Präsidenten des Schweiz. Alpwirtschaftlichen Vereins sowie den lokalen Forstbeamten für die örtliche Führung und für ihre sorgfältig redigierten Berichte, die den Reiseteilnehmern zur Verfügung gestellt wurden.

J. Widrig, kant. Forstadjunkt, St. Gallen.

Literaturverzeichnis.

1. *E. Ramser & E Tschumi:* «Alpwirtschaft», Verlag Huber & Co. AG., Frauenfeld, 1945.
2. *A. Strüby & K. Herzig:* « Anleitung für die Punktierung von Alpen und Weiden », Bern, 1945.
3. *Caflisch:* « Alpkataster und Alpstatistik », « Alpwirtschaftl. Monatsblätter », Nr. 1, 1945.
4. *A. Janett:* « Über die Regelung von Wald und Weide », « Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen », Nr. 4, Jahrg. 1943.
5. *Großmann:* « Die Waldweide in der Schweiz », 1927.

Elektrische Widerstände der Bäume und Blitzgefährdung

Von Dr. Stanislaw Szpor, Winterthur

1. Einleitung.

Die ungleiche Blitzgefährdung verschiedener Baumarten ist seit vielen Jahrhunderten bekannt. Genauere Angaben sind aus neuzeitlichen Statistiken vieler Länder zu entnehmen. Eine hohe relative Häufigkeit der Beschädigung wird für die Eichen und Pappeln, weiter für die Nadelbäume, Ulmen, Weiden, Eschen, Birnbäume und Robinien festgestellt, während die Buchen, Weißbuchen, Erlen, Ahorne und Roßkastanien verhältnismäßig verschont bleiben.

Eine verschieden starke *Blitzanziehungskraft* wird mit mannigfaltigen Eigenschaften und Umständen begründet: 1. Höhe des Baumes, 2. Form der Krone (spitz oder rund), 3. Lage (auf freiem Feld, in

Alleen, im Wald usw.), 4. elektrischer Widerstand des Holzes, 5. elektrischer Widerstand der Erdung, abhängig von der Beschaffenheit der Wurzeln und von den geologischen Verhältnissen, 6. schwache Entladungen aus Spitzen (Blättern usw.) im starken elektrischen Gewitterfeld. Anderseits ist seit langem die Möglichkeit erkannt, die unterschiede in der Blitzgefährdung nicht auf die Anziehungskraft, sondern auf die *Schädigungsempfindlichkeit* der Holzarten zurückzuführen. In dieser Richtung werden verschiedene Vermutungen gemacht: 1. Schutz des Stammes durch eine Schicht von Regenwasser, wie durch einen metallischen Blitzableiter, was von der Rindenbeschaffenheit und von der Neigung der Zweige abhängig ist, 2. Spaltbarkeit der Holzarten.

Fast alle möglichen Faktoren sind seit langem bekannt und werden in verschiedenen Lehrbüchern behandelt, besonders vollständig in dem Buch von *Stahl* [1]. Die gezogenen Schlüsse entbehren aber größtenteils einer soliden physikalischen Grundlage; *eine Ergänzung in quantitativer Hinsicht* ist für die endgültige Abklärung notwendig. So ist eine stärkere Blitzanziehungskraft derjenigen Bäume, deren elektrische Widerstände kleiner sind, bei einer äußerlichen Betrachtung zwar wahrscheinlich, aber es sollte berücksichtigt werden, daß ein solcher Einfluß je nach den quantitativen Bedingungen entweder beträchtlich oder schwach, auch ganz unbedeutend sein kann. Ähnlich ist es mit der Wirkung der oberflächlichen Wasserschicht, die wohl das Holz von einem Teil des Blitzstromes entlasten kann, aber nur bei einem hohen Wert dieses Bruchteils als ein eigentlicher Blitzableiter angesehen werden dürfte.

Zur quantitativen Beurteilung der elektrischen Faktoren haben wir schon reiche experimentelle Angaben über den Blitz wie auch theoretische Vorstellungen über den Vorgang des Blitzschlages. Für die elektrischen Eigenschaften der Bäume verfügen wir nur über spärliche Widerstandswerte aus den älteren Messungen von *Wolff* [2] mit der Methode von *Dorn* [3] (Gleichstrom, spezielle Elektroden zur Vermeidung der elektrolytischen Polarisation). Umfangreichere Resultate stammen aus jüngster Zeit von den Messungen her, die an Bäumen in der Umgebung von Winterthur gemacht wurden. Es soll hier über die wichtigsten Ergebnisse kurz berichtet werden, um weiter eine Abklärung der Blitzgefährdung der Baumarten zu versuchen [4].

Außer den Fragen nach dem Unterschiede zwischen den Baumarten in ihrem Verhalten dem Blitzschlag gegenüber ist es zweckmäßig, auch anderen Problemen der Blitzschädigungen einige Überlegungen zu widmen: der elektromagnetischen Stromverdrängung (Hauteffekt), der Verdampfung des Saftes, der relativen Schonung der oberen Teile der Bäume. Die Untersuchung wird auf die elektrische Seite beschränkt;

---

[1] *Stahl.* Die Blitzgefährdung der verschiedenen Baumarten. 1912.

[2] *Wolf.* Zeitschr. Land- und Forstwirtschaft. 1907, S. 425.

[3] *Dorn.* Phys. Zeitschr. 1905, B. 6, S. 835.

[4] Eine vollständigere Veröffentlichung findet man in: Recueil de travaux sc. des Polonais int. en Suisse. 1944, B. II, H. 4, S. 523.

so wird z. B. die Spaltbarkeit der Holzarten, die auch eine wichtige Rolle spielen kann, außer den Betrachtungen gelassen.

2. Ergebnisse der Messungen an Bäumen.

Um eine Störung der Messungen durch die elektrolytische Polarisation am einfachsten auszuschalten, verwendete der Autor *Wechselstrom* (aus einem handbetätigten Induktor). Eine spezielle *Brückenmethode* gewährte genügende Genauigkeit und erlaubte eine rasche Bedienung. Es wurde dafür gesorgt, daß die Ergebnisse vom Einfluß der Stromverdrängung im Holz in der Nähe der Stromelektroden (die mit verhältnismäßig kleinen Nägeln gebildet wurden) frei blieben. Zu diesem Zweck griff man in der bekannten Weise zur Einführung von zusätzlichen Spannungssonden zwischen die Stromelektroden — in genügend großen Abständen von ihnen.

Die Ergebnisse aus den Versuchen an Stämmen und Zweigen wurden zur Bestimmung des *spezifischen Widerstandes* ausgewertet. Dabei ermittelte man den Querschnitt durch Messungen des äußeren Umfanges, ohne Abzug des Anteils sogar sehr dicker Borken und ohne Berücksichtigung der Abweichungen von der Kreisform. Diese angenäherten Mittelwerte für die einzelnen Querschnitte zeigten im allgemeinen keine merkliche Abhängigkeit vom Durchmesser. Die Resultate für einzelne Bäume wurden weiter in Berechnungen der Mittelwerte für die Holzarten zusammengefaßt.

Die Messungen an 384 Stämmen wurden in verschiedenen Monaten zwischen November 1942 und Oktober 1943 wiederholt, indem sie weit über 1000 Resultate brachten. Die gemeinsten Baumarten wurden bevorzugt, da für sie eine sichere Bestimmung der Mittelwerte besonders wünschenswert schien. Um die Bedeutung zufälliger Einflüsse herabzusetzen, wählte man verschiedene Stellen in der Umgebung von Winterthur oder in der Stadt selbst.

Die festgestellten Eigenschaften lassen sich teilweise auf den elektrolytischen Charakter der Widerstände zurückführen. Ein Wachsen des Widerstandes beim Sinken der Temperatur ist hier eine allgemeine Regel. Damit erklären sich die *Tagesschwankungen* des Widerstandes mit einem Minimum in den Nachmittagsstunden. Einige Untersuchungen in dieser Richtung ergeben uns Werte des täglichen Verhältnisses Maximum/Minimum (ohne Messungen in der Nacht) bis 1,46. Diese Grenze bezieht sich auf einen dünnen Stamm (0,114 m), der einer starken Sonnenbestrahlung direkt ausgesetzt ist. Meistens sind aber die Schwankungen viel schwächer, besonders für größere Stammdurchmesser und für einen Standort im Schatten.

Dieser Faktor ist aber durchaus nicht ausschlaggebend für die starke *Streuung* der einzelnen Meßwerte an einer Baumart. Das Verhältnis der Extreme ergibt sich für manche Baumarten zwischen 5 und 10 oder auch höher, ohne den Vergleich auf eine allzulange Zeit auszudehnen. Tabelle 1 gibt dafür das Beispiel der Juli-Resultate. Sie

zeigen, daß die Streuung je nach der Baumart verschieden ist, *sehr stark* für: Weißtannen, Fichten, Kiefern, Pappeln, Weiden, Ulmen, Robinien, Spitzahorne, Roßkastanien und Eschen, *schwach* für: Buchen und Eichen.

Tabelle 1

Zusammenstellung der spezifischen Widerstände (in Ohm.m) aus den Juli-Messungen.

Baumart	Zahl der Meßwerte	Kleinstwert	Höchstwert	Mittelwert
Weißtanne — *Abies alba*	15	10,7	189	68,8
Fichte — *Picea excelsa*	29	44	340,5	156,3
Lärche — *Larix europaea*	11	179	381	281
Gem. Kiefer — *Pinus silvestris*	17	121,2	675	307
Schwarz- und Pyramidenpappel — *Populus nigra, pyramidalis*	12	9	35,3	18,5
Zitterpappel — *Populus tremula*	6	40,1	66,2	50,2
Silberweide und andere — *Salix alba*	13	20,2	98	47
Gem. u. Ruchbirke — *Betula verrucosa, pubescens*	9	94,6	223	151,5
Schwarz- u. Grauerle — *Alnus glutinosa, incana*	15	110,8	178,5	149
Weißbuche — *Carpinus Betulus*	5	101,3	147,2	118,8
Rotbuche — *Fagus silvatica*	25	74,5	165,3	124,7
Stieleiche — *Quercus pedunculata*	27	65,1	128	92,7
Bergulme — *Ulmus montana*	13	20,5	103,7	51,7
Birnbaum — *Pirus communis*	8	82,5	153,5	113
Apfelbaum — *Pirus Malus*	10	27,2	103,3	62,6
Vogelkirsche — *Prunus avium*	5	133,5	161	151,5
Robinie — *Robinia Pseudacacia*	10	104	690	242,5
Bergahorn — *Acer pseudoplatanus*	14	82,7	230	163
Spitzahorn — *Acer platanoides*	11	28,5	174	120,5
Gem. Roßkastanie — *Aesculus Hippocastanum*	8	6,05	63	40,5
Sommerlinde — *Tilia grandifolia*	8	57,1	136,5	103
Gem. Esche — *Fraxinus excelsior*	20	33,5	255,5	127

Meistens wird die starke Streuung durch « *anormal* » *niedrige Meßwerte* an den unteren Teilen mancher Stämme verursacht. Eine mühsame Untersuchung solcher Bäume in verschiedenen Höhen (bis ungefähr 5 m) zeigt in vielen Fällen ein ausgeprägtes Wachsen des spezifischen Widerstandes mit zunehmender Höhe. Dies ist der Fall besonders bei den « anormalen » Weißtannen und Fichten, deren Stämme oft schon bei einer Verschiebung um einige Meter, manchmal sogar um etwa einen Meter, « normale » spezifische Widerstände erreichen. Da diese Eigenschaft vielleicht auch außerhalb des Gebietes der Blitzforschung interessiert, werden einige Beispiele aus den September- und Oktobermessungen in Abb. 1 angeführt. Einer Reihe von « anormalen » Weißtannen, Fichten und Ulmen sind « normale » Eigenschaften der Weißtanne *Ab* und der Fichte *Bd* gegenübergestellt. Besonders merkwürdig ist die Zickzack-Charakteristik der Weißtanne *Aa*. Ein Wachsen des spezifischen Widerstandes nach oben kann auch in mehreren « anormalen » Spitzahornen und Roßkastanien festgestellt werden. Es gibt jedoch auch Bäume, die einen außerordentlich kleinen Wider-

stand bis in eine Höhe von mehreren Metern zeigen (z. B. eine alte Kiefer und eine junge Esche).

Kein Zusammenhang des « anormalen » Widerstandes mit irgendwelchen Faktoren (wie Durchmesser, Lage, Bodenbeschaffenheit, Zustand der Rinde und des Laubes) ist bei Weißtannen und Fichten sichtbar. Bei Ulmen, Spitzahornen und Roßkastanien scheint die « Anomalie » ältere Bäume zu bevorzugen. Auch alte Weiden geben relativ kleine Meßwerte.

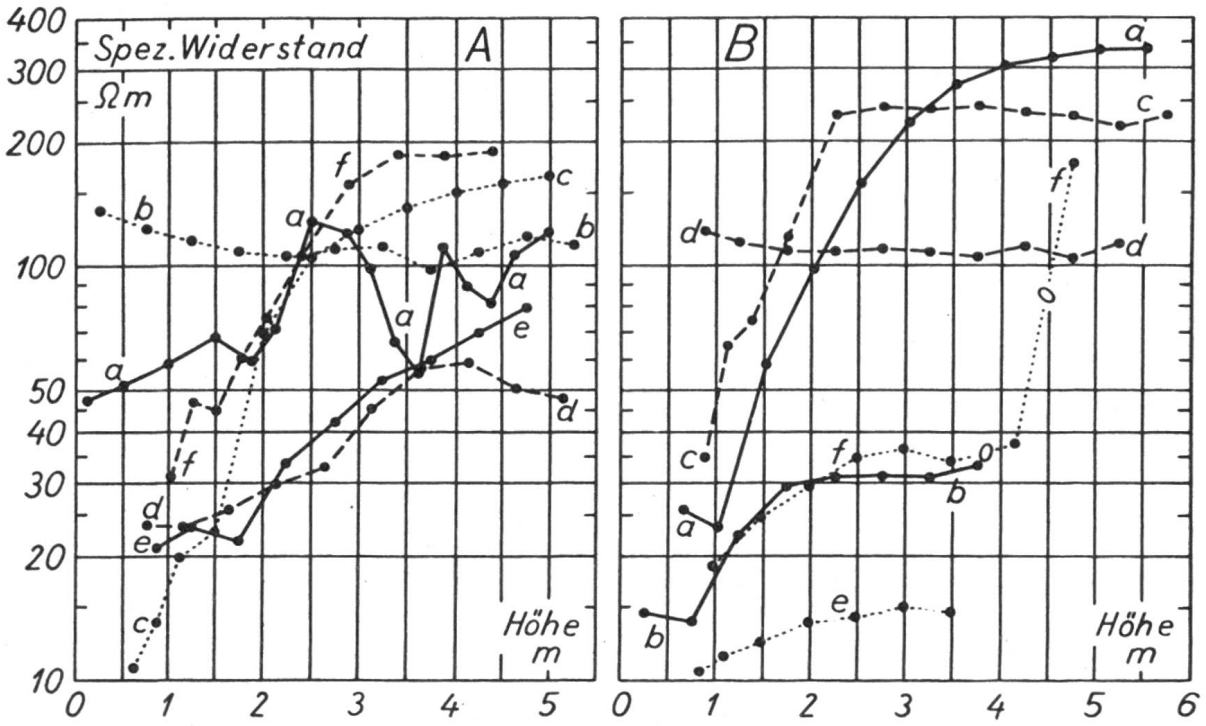

Abbildung 1.

Ausgewählte Beispiele der Änderung des spezifischen Widerstandes in Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden.

A. Weißtannen mit folgenden Durchmessern: *a)* 0,101—0,067 m; *b)* 0,25—0,19 m; *c)* 0,53—0,34 m; *d)* 0,53—0,43 m; *e)* 0,82—0,66 m *f)* 1,16—0,86 m.

B. Fichten mit folgenden Durchmessern: *a)* 0,28—0,18 m; *b)* 0,3—0,2 m; *c)* 0,51—0,35 m; *d)* 0,67—0,51 m.
Bergulmen mit den Durchmessern: *e)* 0,74—0,61 m; *f)* 0,87—0,105 m.
o — Ausgeprägter Verzweigungspunkt.

Die « normalen » Bäume, die stark überwiegen, zeigen nur mäßige Schwankungen längs des Stammes. Eine beträchtliche Änderung tritt oft sprunghaft bei Verzweigungen auf, ohne jedoch die Streuung der Ergebnisse bei einer Baumart wesentlich zu steigern. Somit sind die berechneten Mittelwerte des spezifischen Widerstandes im allgemeinen nicht nur für die unteren, sondern auch für die oberen Teile der Stämme und für die Zweige charakteristisch. Die starke Streuung darf dabei aber keinesfalls vergessen werden. Am wenigsten berechtigt ist die Behandlung der Mittelwerte bei denjenigen Baumarten, welche öfters

die « Anomalie » zeigen, auch bei Weißtannen und Fichten, obgleich sie mit relativ zahlreichen Messungen belegt sind.

Trotz allen Einwänden wird in Tabelle 2 eine *Klassifikation der*

Tabelle 2

Klassifikation der Baumarten nach ihrem mittleren spezifischen Widerstand. *(Genauere Bezeichnungen der Baumarten in Tabelle 1).*

Ohm.m	April (erste Hälfte)	Mai	Juli	September
	Pappel	Pappel	Pappel	Pappel
30				
	Weide Zitterpappel Roßkastanie	Weide Zitterpappel	Roßkastanie Weide	Walnußbaum Roßkastanie Weide
50				
	Ulme	Ulme Roßkastanie Apfelbaum	Zitterpappel Ulme	Zitterpappel Ulme
60				
		Weißtanne	Apfelbaum Weißtanne	
70				
	Weißtanne			Platane Apfelbaum Linde
90				
	Linde Buche Birke Bergahorn Weißbuche	Linde Eiche Spitzahorn	Eiche Linde	Weißtanne Eiche
110				
	Spitzahorn Erle Eiche	Weißbuche Vogelkirsche Birnbaum Esche Buche Erle Bergahorn	Birnbaum Weißbuche Spitzahorn Buche Esche	Spitzahorn Erle Buche Birnbaum
140				
	Vogelkirsche Esche	Fichte Birke	Erle Birke Vogelkirsche Fichte Bergahorn	Weißbuche Esche Fichte Birke Vogelkirsche Bergahorn
210				
	Fichte Lärche Robinie Kiefer	Robinie Kiefer Lärche	Robinie Lärche Kiefer	Robinie Lärche Kiefer

Baumarten nach den gefundenen Mittelwerten des spezifischen Widerstandes gemacht, und zwar separat für einzelne Monate. Die Unterschiede zwischen den monatlichen Zusammenstellungen sind dabei nicht nur auf die Streuung und auf den Einfluß der Temperatur zurückzuführen. Es wird z. B. die beträchtliche relative Verschiebung bei der Birke, dem Bergahorn, weiter bei der Buche und der Weißbuche im April nach den kleineren Widerständen hin offensichtlich durch die Menge des Saftes hervorgerufen. Die weniger zahlreichen Ergebnisse aus dem Spätherbst und Winter werden hier nicht angeführt; die gefundene starke Erhöhung beim Frost ist eine natürliche Eigenschaft elektrolytischer Widerstände.

Die Messungen an *Erdungen* der Bäume ergeben relativ sehr kleine Widerstände, was mit den Bodenverhältnissen bei Winterthur in einigem Zusammenhang stehen mag. Dreierlei petrographische Klassen sind in diesen Untersuchungen vertreten: 1. Obere Süßwassermolasse, 2. Grundmoräne, 3. Sand und Alluvionsschotter. Außerdem soll die Wahl verschiedenartiger Beobachtungsstellen (auf einem steilen Hügel, am Flußufer usw.) eine Mannigfaltigkeit der hydrographischen Verhältnisse sichern. Die Bodenbeschaffenheit zeigt jedoch nicht den vermuteten beträchtlichen Einfluß auf unsere Meßergebnisse. Einigen Zusammenhang kann man vielmehr mit dem spezifischen Widerstand des Holzes feststellen, was auf die Rolle der Wurzeln im Erdungswiderstand hinweist. Außerdem zeigen Bäume mit größeren Durchmessern eine ausgeprägte Tendenz zu kleineren Widerständen.

Die Meßwerte sind stark abhängig von der Stelle, wo die Sonde eingeschlagen wird. Am Ende einer entblößten Wurzel findet man gewöhnlich einen viel kleineren Widerstand als an einer Stelle, die nahe der Stammachse (zwischen den Wurzeln) liegt. Diese Stellen mit höheren Meßergebnissen sind am besten geeignet, die Baumerdung zu kennzeichnen. Eine Reihe solcher Resultate (für jeden Baum ein Mittelwert von einigen Stellen zwischen den Wurzeln) stammt aus den Juli-Messungen, bei denen hervorzuheben ist, daß sie in relativ trockenem Boden gemacht wurden. Die 62 Ergebnisse liegen zwischen ungefähr 30 und 1500 Ohm, größtenteils zwischen 50 und 500 Ohm. Daß diese Erdungswiderstände relativ sehr klein sind, zeigen die berechneten äquivalenten Stammlängen (mit Zugrundelegung des Durchmessers oberhalb der merklichen Verbreiterung nach den Wurzeln): zwischen ungefähr 0,06 und 2 m, meistens zwischen 0,1 und 0,5 m.

3. Quantitative Folgerungen über die Blitzgefährdung der Bäume.

Die Betrachtung hinsichtlich der Blitzgefährdung der Bäume soll hier zuerst auf die *Blitzanziehungskraft,* dann auf die *Schädigungsempfindlichkeit* gerichtet werden. Für die erstere sind die Vorgänge bei den Vorentladungen der Blitze entscheidend; bei einem Mehrfachblitz, der innerhalb einer kurzen Gesamtzeit mehrere Teilschläge auf demselben Weg wiederholt, handelt es sich hier offensichtlich um die *erste Vorentladung.* Für die Beschädigung sind dagegen die großen Stoßströme

bei den *Hauptentladungen* sehr wichtig; ein Mehrfachblitz gibt mehrere Stromstöße einzelner Hauptentladungen, zwischen denen noch ein kleinerer, aber relativ langdauernder Strom die Gefahr erhöhen kann.

Die *erste Vorentladung* geht unter gewöhnlichen Verhältnissen von der Wolke ruckweise nach der Erde hinab, d. h. der Funkenkanal verlängert sich nach unten stufenweise. Da der ganze Weg meistens eine Länge von einigen Kilometern aufweist, können die Bäume, und andere mäßig hohe Gegenstände, zuerst keinen Einfluß auf die Bewegung des Funkenkopfes ausüben. Erst wenn die Vorentladung sich in einer relativ kleinen Entfernung befindet, z. B. etwa 100 m, kann die *Anziehung* durch die erhöhten Gegenstände eine große Rolle spielen.

In dieser letzten Phase der herabrückenden Vorentladung kommt auch eine *Wirkung der elektrischen Widerstände* in Betracht. Ein großer Widerstand kann aber nur dann die Anziehung des Blitzes hindern, wenn der Spannungsabfall (also das Produkt aus Widerstand × Strom) einen nicht zu kleinen Bruchteil der gesamten Spannung zwischen dem Funkenkopf und der Erde ausmacht. Die untere Grenze der wirksamen Spannungsabfälle kann auf etwa 1 Million Volt geschätzt werden. Die mitspielenden Ströme werden vom Entladungskanal induziert. Für die Endphase, in der die Wahl nach der Einschlagstelle sich abspielt, kann man kaum die Größenordnung von 1 Ampere in einem mäßig großen Gegenstand in Rechnung ziehen; die höheren Größenordnungen 10 und 100 Ampere darf man nur für die allerletzten Momente vermuten. Diese Schätzungen führen zur Schlußfolgerung, daß der Einfluß des Widerstandes auf die Anziehung des Blitzes bei etwa 1 000 000 Ohm beträchtlich sein kann, bei 100 000 schwach und bei 10 000 Ohm wenig wahrscheinlich ist.

Wenn man jetzt die *spezifischen Widerstände der Baumarten* betrachtet, also Mittelwerte etwa zwischen 20 und 300 Ohm.m, so findet man durch einfache Berechnungen, daß die Grenze von 1 000 000 Ohm nur bei äußerst kleinen Durchmessern der Stämme, unter 0,1 m, erreicht wird, daß die Größenordnung 100 000 Ohm nur noch bei jungen Bäumen vorkommt, und daß sogar der Wert 10 000 Ohm bei mäßig dicken Stämmen nicht immer überschritten wird.

Außer der Beschränkung auf kleine Durchmesser sind auch die *Abstände zwischen den Bäumen* nicht gleichgültig. Über etwa 100 m ist mit einer Konkurrenz in der Blitzanziehung kaum zu rechnen. Anderseits verteilt sich der induzierte Strom bei kleinen Abständen von einigen Metern, z. B im Wald, fast bis zum letzten Moment auf mehrere Bäume, was die Bildung eines merklichen Spannungsabfalles nicht begünstigt. Außerdem schließt die sekundäre Ausbreitung der Entladungen auf die benachbarten Bäume jede Bedeutung einer selektiven Wahl aus.

Noch weniger Bedeutung fällt den *Erdungswiderständen* zu. Die bei Winterthur gefundenen Werte liegen beträchtlich unter der niedrigsten Grenze von 10 000 Ohm, bei der man kaum noch einen Einfluß auf die Anziehung des Blitzes vermuten kann. Viel höhere Erdungswiderstände der Bäume scheinen in gewöhnlichen Verhältnissen wenig wahrschein-

lich, vielleicht mit der Ausnahme von Felsen und sehr trockenem Sand. Diese Folgerungen stehen in keinem Widerspruch mit der oft festgestellten Begünstigung der Gewitter (aber nicht einzelner Blitze) durch *hydrographische und orographische Faktoren* mancher Gegend, wo auch die Blitzschädigungen an Bäumen besonders zahlreich sind.

Wenn man zu den Problemen der *Schädigungsempfindlichkeit* übergeht, ist es zweckmäßig, zuerst den seit langem vermuteten Schutz des Stammes durch eine *Schicht des Regenwassers* abzuklären. Soll eine solche Schicht als Blitzableiter wirken, so muß sie einen bedeutend kleineren Widerstand im Vergleich zu dem des Stammes besitzen. Dies kann jedoch nicht der Fall sein, da der Querschnitt der Wasserhülle immer kleiner ist als derjenige des Holzes, und da der spezifische Widerstand des Wassers nicht besonders niedrig ist; z. B wird der Wert von 100 Ohm.m als normal für den Kunstregen in Laboratorien angenommen und entspricht auch der Mitte unserer Tabelle 2 für Bäume (Größenordnung auch für die besonders in Betracht kommende Buche). Somit ist der Anteil der Wasserschicht in der Abführung des Blitzstromes ganz unbedeutend.

Weitere quantitative Folgerungen erlangt man durch Berücksichtigung des *Stoßstromes,* der mit der schnell aufsteigenden *Hauptentladung* — nach dem Abschluß der Vorentladung — verbunden ist. Die registrierten Stromstärken liegen nicht selten über 30 000 Ampere, in einzelnen Fällen sogar über 100 000 Ampere. Daraus folgen sehr hohe Spannungsabfälle längs des Stammes, die leicht mehrere hunderttausend Volt/m erreichen, da auch sehr dicke Bäume mit kleinsten spezifischen Widerständen gewöhnlich mehr als 10 Ohm/m besitzen. Bei so hohen Spannungen muß man mit dem *Überschreiten der elektrischen Stoßfestigkeit* rechnen, die für frisches Holz zwar durch keine experimentellen Angaben bestimmt ist, aber nach den zahlreichen Meßergebnissen für trockenes Holz (etwa zwischen 300 000 und 600 000 Volt/m, mit einer Tendenz nach kleineren Werten bei Benetzung) wahrscheinlich unter 300 000 Volt/m liegen muß.

Bei der Überschreitung der Stoßfestigkeit entsteht eine *Funkenentladung längs des Stammes,* was als eine Verlängerung des Blitzkanals bis zur Erde betrachtet werden kann. Der Funke erreicht einen relativ kleinen Widerstand, erzwingt somit eine merkliche Senkung der Spannung und eine Mäßigung der an das Holz abgegebenen Energie, erfährt aber selbst eine starke Konzentrierung der Energie. Er entwickelt bei sehr hohen Temperaturen beträchtliche Drucke, die bei der Umhüllung mit einem festen Stoff zu explosionsartigen Erscheinungen führen. Somit sind starke Schädigungen der Bäume, vollständige oder partielle Zersplitterung, auf die Entstehung des Funkens *innerhalb des Stammes* zurückzuführen, während bei *äußeren Entladungen* die Bäume mit oberflächlichen Brandkanälen oder sogar ohne deutlich erkennbare Spuren davonkommen.

Diese Folgerungen stehen im Einklang mit vielen Tatsachen, die jetzt eine befriedigende Deutung erhalten. Der seit langem bekannte

Zusammenhang der Blitzgefährdung der Baumarten mit der *Rindenbeschaffenheit* ist leicht dadurch zu erklären, daß die Unebenheit der Oberfläche die Bildung eines äußeren Funkens erschwert, ähnlich wie es bei den Hochspannungsisolatoren der Fall ist, und daß bei einer glatten Rinde die äußere Entladung leichter entsteht und so den Baum vor einer inneren Beschädigung behütet. Dabei kann auch die Benetzung der Oberfläche durch das Regenwasser den äußern Funken auf einer glatten Rinde zusätzlich begünstigen (auch analog der Eigenschaften der Isolatoren). Somit tritt die Beschädigung durch die innere Funkenentladung besonders bei denjenigen Baumarten hervor, die eine stark unebene Oberfläche besitzen: Eichen, Pappeln, Nadelhölzer, Ulmen, Weiden, Eschen, Birnbäume und Robbinien, unter denen Vertreter aller Klassen des spezifischen Widerstandes (Tabelle 2) vermischt sind. Die relative Schonung der jüngeren Bäume, wie auch im allgemeinen der oberen Teile, ist wenigstens teilweise auf die verhältnismäßig glatte Oberfläche zurückzuführen. Unter den vom Blitz geschonten (aber nicht gemiedenen) Baumarten steht die glattrindige Buche an weitaus wichtigster Stelle; weiter zeigen auch die Weißbuchen, Erlen, Ahorne und Roßkastanien entweder eine glatte Rinde oder nur mäßige Unebenheiten.

Die hohen Spannungsabfälle längs des getroffenen Stammes können auch *sekundäre Funkenentladungen zu den benachbarten Bäumen* verursachen, besonders auf den kürzesten Luftwegen zwischen den Zweigen. Dies führt zu einer Ausdehnung der Blitzwirkungen auf mehrere Bäume und zu einer weiteren Verwischung der nicht sehr starken Selektivität in der Blitzanziehung.

Weitere Überlegungen führen zur Feststellung, daß die *elektromagnetische Stromverdrängung* (Hauteffekt, Skineffekt) bei den Blitzvorgängen in Bäumen im allgemeinen nicht zum Vorschein kommt. Die größere Gefährdung der äußeren Schichten der Stämme muß also durch eine Begünstigung der Funkenbildung in diesen Schichten (Strukturbeschaffenheit) erklärt werden.

Auch betreffs der *Verdampfung des Saftes,* die oft als die Ursache der Beschädigung betrachtet wird, führt unsere Untersuchung zu einem quantitativen Beitrag. Einfache Berechnungen zeigen nämlich, daß eine Erwärmung bis zur Siedetemperatur vor der Entstehung des Funkens nur unter der Bedingung möglich ist, wenn sich die Energie in äußerst kleinen Bruchteilen des enthaltenen Wassers konzentrieren kann.

4. Zusammenfassung.

1. Die Messungen zeigen eine starke Streuung des spezifischen Widerstandes im Bereiche einzelner Baumarten, besonders derjenigen, bei denen oft « Anomalien » in den unteren Teilen der Stämme hervortreten.
2. Die Widerstände der Stämme und Zweige sind stark temperaturabhängig, was zu den Tagesschwankungen führt und auch die Jahresänderungen teilweise, aber nicht völlig, erklärt.

3. Trotz einigen Einwänden kann die Tabelle 2 der mittleren spezifischen Widerstände für manche Vergleiche zwischen den Baumarten dienen.
4. Die Erdungswiderstände der Bäume sind bei Winterthur relativ sehr klein.
5. Die Widerstände der Stämme können nur selten einigen Einfluß auf die Anziehung des Blitzes haben (bei kleinem Durchmesser der Stämme, bei nicht zu kleinem und nicht zu großem Abstand zwischen benachbarten Bäumen) und spielen darum keine merkliche Rolle in den Statistiken der Schädigungen.
6. Noch weniger Bedeutung bei der Blitzanziehung haben die Erdungswiderstände der Bäume.
7. Eine Schicht von Regenwasser auf dem Stamm besitzt nicht die Eigenschaften eines wirksamen Blitzableiters.
8. Die Blitzschädigung hängt hauptsächlich von der Lage der unvermeidlichen Funkenentladung längs des Stammes ab; bei einer inneren Entladung kommt es zu explosionsartigen Erscheinungen, während ein äußerer Funke ungefährlich ist.
9. Unebenheiten der Rinde erschweren die Entstehung des äußeren Funkens und begünstigen somit merkliche Schädigungen, was viele Tatsachen der Statistiken erklärt, besonders betreffs der Unterschiede zwischen den verschiedenen Baumarten.
10. Die elektromagnetische Stromverdrängung (Hauteffekt) ist nicht beträchtlich bei den Blitzvorgängen in den Bäumen.
11. Die verbreiteten Vermutungen über die Verdampfung des Saftes sind nicht einwandfrei bewiesen.

MITTEILUNGEN

Was eine kleine Landgemeinde zu leisten vermag

Von O. Anliker, Sumiswald

Ich hatte in den Jahren 1943/44 Gelegenheit, in der Gemeinde Lüscherz am Bielersee größere Boden- und Verkehrsverbesserungsarbeiten durchzuführen, die verdienen, einer weitern Öffentlichkeit bekanntgegeben zu werden.

Die Gemeinde Lüscherz liegt am Bielersee zwischen Erlach und Hagneck, in sonniger Lage, aber etwas abseits vom großen Verkehr. Ihre Station der Biel—Täuffelen—Ins-Bahn befindet sich eine halbe Stunde vom Dorf entfernt. Bei dieser Station zweigt die Staatsstraße ab und führt über Lüscherz nach Erlach.

Lüscherz ist eine rein landwirtschaftliche Gemeinde. Das Ackerland befindet sich im Großen Moos, in einer Entfernung von 2—6 km vom Dorf. Um vom Dorf dorthin zu gelangen, ist auf der Staatsstraße im Großholz ein starkes Gegengefälle zu überwinden, das die Bewirtschaftung der Äcker erschwert. Die Einwohnergemeinde besitzt 78 ha