

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 120 (1969)

Heft: 6

Artikel: Elektrische Potentialdifferenzen in Waldbäumen, ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren und ihre Beziehung zum Dickenwachstum

Autor: Wilhelmi, T.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767732>

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: 03.05.2026

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

Elektrische Potentialdifferenzen in Waldbäumen, ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren und ihre Beziehung zum Dickenwachstum¹

Von *Th. Wilhelmi*, Reinbek²

Oxf. 812.15:181.2:561.2

(Aus dem Institut für Weltforstwirtschaft der Bundesforschungsanstalt
für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbek bei Hamburg)

In den Wachstumsablauf von Baum und Pflanze greift eine Vielzahl Faktoren formend und bestimmend ein. Sie alle beeinflussen den Stoffwechsel des pflanzlichen Organismus in positivem oder negativem Sinn und wirken sich folglich auf das Wachstumsgeschehen aus. Belebendes Moment sind die Wetterelemente. Ihr Zusammenspiel wird vom Menschen mehr oder weniger wahrgenommen, ihre instrumentalen Meßwerte werden zur Erforschung kausaler und statistischer Zusammenhänge in Beziehung gesetzt zu den verschiedensten biologischen Erscheinungen des Tier- und Pflanzenreiches. Eine Diskussion der Beeinflussung des Wachstums durch die meteorologischen Faktoren Lufttemperatur, Niederschlag und dergleichen im üblichen Sinne entfällt im Rahmen dieser Abhandlung, vielmehr steht im Blickpunkt die Einwirkung des meteorologischen Faktors *Luftelektrizität* auf das Verhalten der Waldbäume.

Die Luftelektrizität dürfte stärker als vermutet auf die physiologischen Prozesse einwirken, wenn nicht sogar eine die Energie steuernde Komponente sein, die die Lebensvorgänge in Fluß hält. Nach eigenen in der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Reinbek durchgeführten Untersuchungen (28; 29) üben Gewitter als Ausdruck luftelektrischen Geschehens einen günstigen Einfluß auf die Dickenzunahme der Bäume aus, und zwar ab einer statischen Feldstärke von $\pm 1500/2000$ V/m.

Auch anderswo, allerdings an anderen Versuchsobjekten, wurde die Beobachtung gemacht, daß die Luftelektrizität im Leben der Pflanzen eine Rolle spielen muß. So wurde beispielsweise in Rußland festgestellt, daß in Gegenden mit zahlreichen Gewittern Getreide und Mais 10 bis 25 Tage

¹ Siehe auch: Badan, R.: A propos du Dendromètre de l'EXPO. Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen, 116. Jahrgang 1965, Seiten 429–432.

² Herrn Elektroingenieur R. Lehmann danke ich für Installation der Versuchsanlage sowie jederzeitige Beratung und Unterstützung.

früher als in vergleichbaren Gegenden reifen, vermutlich infolge der durch Gewitter erzeugten elektromagnetischen Felder (Notiz aus der Zeitschrift «Sovetskij Sojuz» Nr. 10, 1965, S. 23). Agrarwissenschaftler der University of Berkeley/Kalifornien stellten fest, daß geladene Luftpartikeln das Wachstum von Haferkeimlingen wesentlich beschleunigen (Notiz aus der «Zeit», Nr. 44, 1962, S. 22). Andererseits liegen Ergebnisse über wachstumshemmenden Einfluß elektrostatischer Felder vor. Murr (11–13) stellte an Gräsern (zum Beispiel Hirse) nicht nur Wachstumshemmungen, sondern auch Letalschäden an den Blattspitzen fest. Das erscheint widerspruchsvoll, dürfte aber bei diesen Versuchen an der Höhe der angelegten Spannungen liegen. Bei Überprüfung der Wirkung eines elektromagnetischen heterogenen Feldes auf das Wachstum von Getreide fand Streckowa (26), daß niedere Feldstärken von 58 und 62 Oe (= 4480 und 4960 A/m) das Wachstumstempo beschleunigen, dagegen Feldstärken von 100 Oe (= 8000 A/m) auf die Wachstumsgeschwindigkeit keinen Einfluß ausüben. Für Schwankungen in der Keimfähigkeit von Samen macht Brezowsky (2) luftelektrische Effekte verantwortlich.

Bisher gibt es nur wenige Arbeiten über die Wirkung elektrischer Felder auf Waldbäume. Soweit elektrophysiologische Untersuchungen überhaupt durchgeführt wurden, hat man lediglich Potentiale gemessen, die im Ablauf physiologischer Prozesse entstehen (21): P. Kunkel wies bereits 1878 in einer Arbeit über elektromotorische Wirkung an unverletzten lebenden Pflanzenteilen darauf hin, daß bioelektrische Potentiale eine Folge des Wassertransportes seien. O. Haake (1892) arbeitete über die Ursachen elektrischer Ströme in Pflanzen und vermutete hinter Atmung und Assimilation elektrische Potentiale. Lund und Marsh (1935) sind der Ansicht, daß der Ursprung von Potentialen in lebenden Organismen ein direktes Ergebnis der Oxydations- und Reduktionsprozesse (Redoxsysteme) bei der normalen Tätigkeit der einzelnen Zellen sei und sich die Potentiale von Zelle zu Zelle additiv vergrößern. Allgemein besteht heute die Ansicht, daß Änderungen in der Membranpermeabilität sowie quantitative und qualitative Unterschiede in den Bestandteilen des Zellsaftes und Protoplasmas entsprechende Änderungen in der Größe der Potentiale mit sich bringen, desgleichen unterschiedliche Stoffwechselaktivität zu Unterschieden in den Potentialdifferenzen führt. Wenn man daher nach Ursache und Wirkung fragt, erscheint es folgerichtig, daß die Potentialdifferenz auf den Ablauf innerer physiologischer Vorgänge hinweist, also sekundär in Erscheinung tritt. Die Potentiale spiegeln die inneren physiologischen Verhältnisse wider. Ihre Größe und Polarität ist ein Maß der physiologischen Aktivität. Dabei kann die gemessene Potentialdifferenz auch ein Maß für innere Änderungen sein, bevor diese wahrnehmbar sind.

Diese Erkenntnisse ermutigten Parr (15; 21), durch Potentialmessungen zu ermitteln, wann ein Baum für Insektenangriffe empfänglich ist und wel-

chen Wert solche entomologischen und pathologischen Forschungen besitzen. Er zieht überdies daraus den Schluß, daß Gradienten in enger Beziehung zur Wachstumstätigkeit stehen müssen. Für ihn sind solche Messungen gleichsam diagnostische Hilfsmittel zur Erkennung des Innenlebens der Bäume. Seine mit einem transportablen Vakuum-Röhrenmillivoltmeter an Kiefer durchgeführten Messungen ergaben bei normalen Bäumen im Frühjahr einen positiven Gradienten, der später im Sommer negativ wurde. Dagegen sanken die Gradienten bei subnormalen Bäumen, denen äußerlich eine schwächere Vitalität nicht anzusehen war, schon im Juni in den negativen Bereich ab. Beispielsweise betragen die elektrischen Messungen eines vitalen bzw. eines von Insekten befallenen Baumes +2,5, +1,8, +2,4 und +2,0 bzw. -3,0, -2,5, -3,6 und -3,0 mV. Die Ablesungen mit dem Millivoltmeter bewegten sich in der Größenordnung +10 bis -10 mV.

Wenn Potentialdifferenzen ein Maß für den Grad der Wachstumsaktivität sein sollen, liegt es auf der Hand zu fragen, ob sich die eingangs erwähnte, durch Gewitterstörungen verursachte Zuwachserhöhung nicht auch in höheren Potentialen zu erkennen gibt. Aufgrund der Resultate Parrs und Snows (15; 21), daß Potentialdifferenzen eng mit Wachstumsprozessen korreliert seien, geht der Verfasser bei den folgenden Untersuchungen von der Anschauung aus, daß die Wachstumsaktivität um so lebhafter sein muß, je größer diese Potentiale sind. Da das Radialwachstum der Nadel- und Laubhölzer unmittelbar nach Gewittertagen meist höhere Werte als nach gewöhnlichen Regentagen aufweist, mißt der Verfasser dem luftelektrischen Feld für das Wachstumsgeschehen große Bedeutung bei. Vermutlich geben die Gewitterimpulse den Anstoß zu lebhafterem Stoffwechselumlauf, der sich in höheren Zuwachsquoten äußert. Unter diesem Aspekt tritt die interessante Frage nach Ursache und Wirkung in umgekehrtem Sinne dergestalt auf, ob das den Baum umgebende luftelektrische Feld Potentialänderungen verursacht, welche sich ihrerseits auf die Wachstumstätigkeit auswirken. erinnert man sich an die anfangs angedeuteten Versuche in elektrischen Feldern, scheint auch dort Ursache und Wirkung vertauscht.

Die über das Problem «Potentiale in Waldbäumen» durchgeführten Untersuchungen umfassen experimentell ermittelte Angaben über die Potentialdifferenzen in Holz und Rinde, über die Beziehungen zwischen diesen Potentialen und den meteorologischen Faktoren Lufttemperatur, Globalstrahlung, Niederschlag und Luftelektrizität in Form von Gewitterstörungen sowie über die Relationen zwischen den Potentialdifferenzen und dem Dickenwachstum der Bäume.

Methodik

Die an das öffentliche Stromnetz angeschlossene elektrische Versuchsanlage zur Messung von Potentialdifferenzen in Bäumen bestand aus

- 1 Gleichspannungs-Mikrovoltmeter der Firma Philips/Hamburg (Röhrenvoltmeter mit hohem Eingangswiderstand für Messung von sehr kleinen und mittleren Gleichspannungen).
Verwendete Meßbereiche: 0 bis 30 mV, 0 bis 100 mV, 0 bis 300 mV und 0 bis 1000 mV.
- 1 Spannungsverstärker der Firma Knick/Berlin zur Anpassung eines Schreibers an das Röhrenvoltmeter.
- 1 Zweifarben-Punktschreiber der Firma Withof/Kassel.

Von dieser Versuchsanlage führten etwa 30 m lange abgeschirmte Kabelverbindungen zu einer etwa 22jährigen, 10 bis 11 m hohen Kiefer (*Pinus peuce*) im Parkgelände der Bundesforschungsanstalt. Als Elektroden fanden V2a-Stahlstifte Verwendung, von denen ein Paar als Holz-, das zweite Paar als Rindenelektroden dienten. In Anpassung an die Empfindlichkeit von Röhrenvoltmeter und Schreiber zur Registratur der Potentialwerte erwies sich ein Elektrodenabstand von 3 bis 10 cm am günstigsten. Wegen des Assimilationsvorganges wurden die Elektroden im oberen Kronenteil des Versuchsbaumes angebracht, jedoch später in etwa 2,30 m Baumhöhe verlegt, nachdem Zwischenteste ergeben hatten, daß die Elektroden in Bodennähe bei gleichen Bedingungen einen konstanten Werteunterschied von 20% zeigten. Es war daher vertretbar, die Versuche in Bodennähe fortzusetzen. Zudem erleichterte diese Maßnahme die Überwachung der angelegten Elektroden. Die gegen äußere Einflüsse abgesicherten Elektroden wurden alle zwei bis drei Wochen zur Vermeidung von Verharzung neu gesteckt und zum besseren Halt mit Gummiband versehen. Der Einstich der Holzelektroden erfolgte durch die Rinde; gegen die Rinde waren sie zuvor isoliert worden. Die Rindenelektroden erfaßten nur den Rindenteil.

Der Einstich der Elektroden verursachte im Zellgewebe einen Verletzungsstrom, der in kurzer Zeit zum Stillstand kam. Die anfänglich etwas höheren Werte sanken innerhalb einer Stunde in normale Bahnen ab.

Die Länge des Kabelweges war mit einem Potentialverlust verbunden, so daß die Messungsergebnisse nur als relative Werte zu betrachten sind. Die Potentialmessungen erfolgten in Millivolt.

Die Versuche erfolgten im wesentlichen in der Vegetationszeit 1966 mit einigen Ergänzungen in den Jahren 1967 und 1968. Außerdem liefen örtliche Messungen über Lufttemperatur, Globalstrahlung, Niederschlag und Zuwachs.

Ergebnisse

Potentialdifferenzen in Holz und Rinde im allgemeinen

Die Spannungsmessungen in Holz und Rinde ergeben eindeutig voneinander getrennte Kurven; nur selten kommen beide Kurven zur Deckung. An freundlichen und gleichmäßig trüben Tagen ist eine gewisse Parallelität unverkennbar. Der Kurvenverlauf ändert sich aber sofort bei aufkommen-

der Bewölkung, bei Regenwetter und ganz frappierend bei aufziehenden starken Gewittern. Schon einige Zeit zuvor gibt sich ein heraufziehendes Gewitter in Form eines unruhigen Ablaufes des Kurvenpaares zu erkennen, so daß man im übertragenen Sinne von einer gewissen «Wetterfühligkeit» der Bäume sprechen kann (Fig. 1). Die Potentialkurven beginnen sich zu kreuzen und zeigen während des Gewitters selbst zuweilen große Potentialsprünge (Fig. 2).

Das Auftreten von Potentialen in Holz und Rinde ist keineswegs nur an die Vegetationsperiode gebunden; Potentiale sind das ganze Jahr über vorhanden, wie in nachstehender Tabelle 1 ausgewiesen.

Es ist aus der Tabelle auch zu ersehen, daß die höchsten Potentialdifferenzen in den Sommer- und Herbstmonaten erreicht werden. Gegenüber 1966 ist auffallend, daß 1967 die Werte für Rinde nicht nur höher, sondern auch über denen für den Holzteil liegen.

Innerhalb eines Tagesablaufes ergab sich die Tendenz einer Zunahme der Potentiale von 0 bis 15 Uhr, ein Maximum in der Zeit von 14 bis 16 Uhr und danach eine Abnahme bis 24 Uhr (Fig. 3).

Unterzieht man die stündlichen Einzelwerte eines Tages einer Betrachtung, so ist festzustellen, daß sie sich im Laufe des Tages bei klimatischer Stabilität nur wenig ändern. Dagegen sind bei Wetterstörungen mehr oder weniger große Schwankungen zu verzeichnen. Die größte Amplitude während Gewittern betrug 180 mV. Der höchste gemessene stündliche Einzelwert in den Versuchsjahren betrug 400 mV; er wurde im Herbst 1966 bei Holz, im Herbst 1967 bei Rinde festgestellt.

Nullwerte konnten nur vorübergehend an Eis- und starken Frosttagen registriert werden. An solchen Tagen wurden auch ab und zu negative Spannungen in der Nähe des Nullwertes beobachtet. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß sehr schwache negative Spannungen bei einem relativ schweren Gewitter am 20. Juli 1966 einige Stunden lang im Holzteil auftraten.

Zur statistischen Beurteilung der Kurvenwerte wurden aus der Vegetationsperiode 1966 in einer langen Reihe die Einzelwerte Holz den entsprechenden Einzelwerten Rinde gegenübergestellt. Aus dieser Sicht ergab sich ein Korrelationskoeffizient von 0,72, der besagt, daß die Beziehungen der Potentialdifferenzen in Holz und Rinde zu korrespondieren scheinen. Eine recht straffe Korrelation konnte aus den monatlichen Stundenmitteln der Tabelle 1 errechnet werden, die für 1966 einen Koeffizienten von 0,78 erbrachte. Für 1967 betrug er 0,66.

Lufttemperatur und Potentialdifferenz

Da die Monatsmittel der Lufttemperaturen bis Juli/August gewöhnlich im Anstieg begriffen sind, sodann aber bis gegen Ende Dezember wieder absinken, und der entsprechende Vorgang auch für die gemittelten Poten-

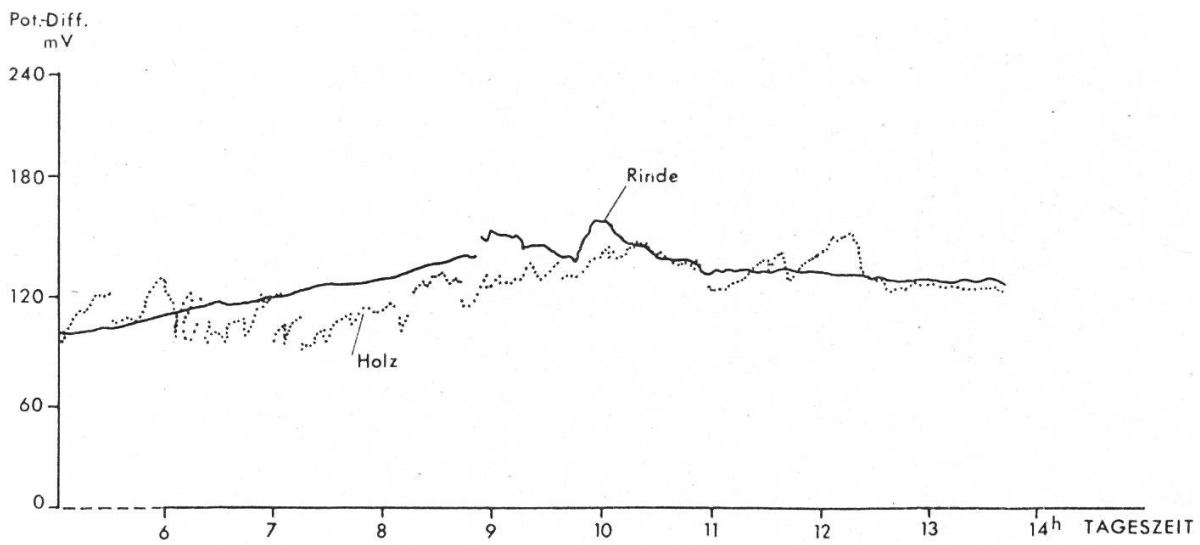


Fig. 1

Unruhiger Kurvenverlauf der Potentialwerte als Reaktion einer *Pinus peuce* auf aufkommende größere Wetterstörungen.

Allure irrégulière des courbes des différences de potentiel indiquant la réaction d'un *Pinus peuce* à l'approche de grosses intempéries.

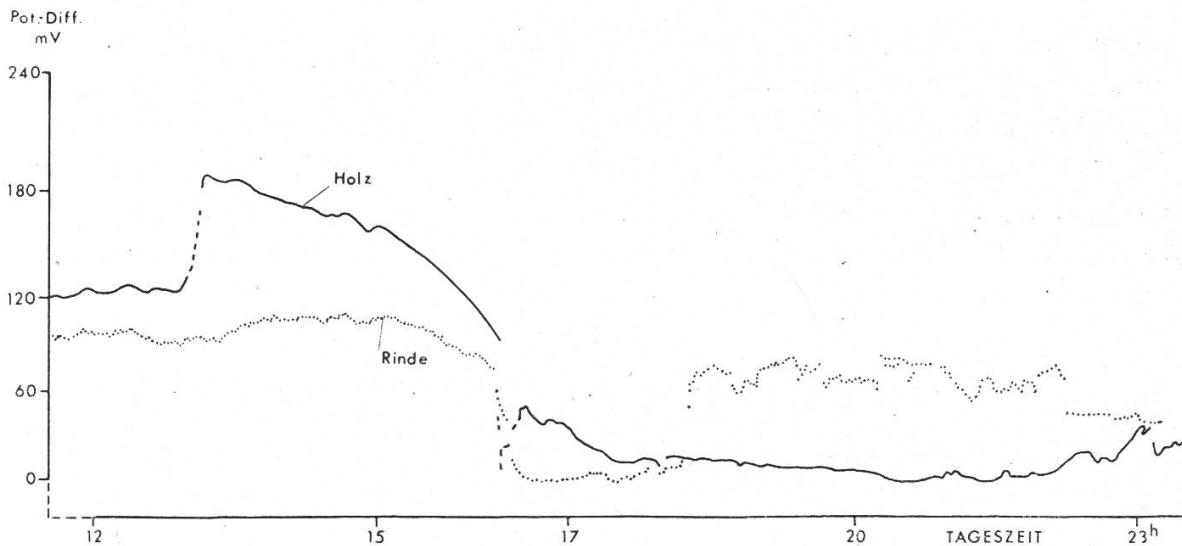


Fig. 2

Kurvenverlauf der Potentialdifferenzen in Holz und Rinde während eines lang andauernden Gewitters.

Allure des courbes des différences de potentiel pour le bois et l'écorce mesurées au cours d'un orage de longue durée.

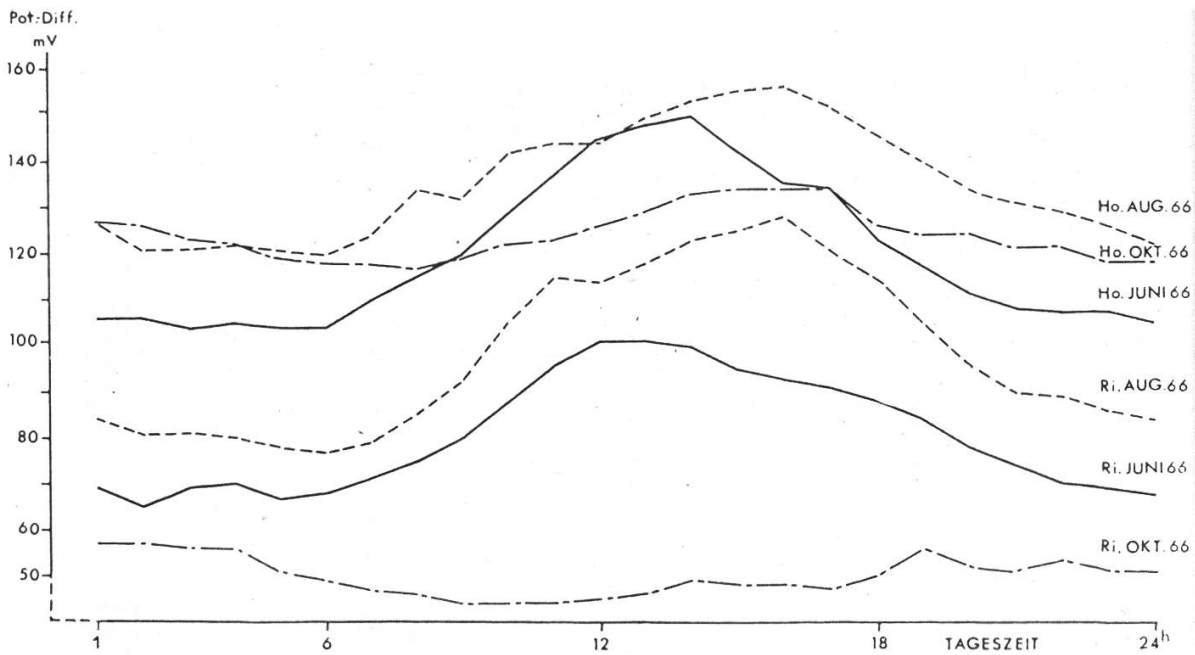


Fig. 3

Mittlere Potentialwerte der jeweiligen Tageszeit bei Holz und Rinde in den Monaten Juni, August und Oktober 1966.

Moyennes des différences de potentiel pour le bois et l'écorce à différentes heures de la journée durant les mois de juin, août et octobre 1966.

tialdifferenzen (Tabelle 1) zutrifft, lag es nahe, die entsprechenden Monatswerte zueinander in Beziehung zu setzen. Die sich ergebenden Korrelationskoeffizienten betragen in den Jahren 1966 und 1967 für Rinde 0,60 bzw. 0,78, für den Holzteil in beiden Jahren 0,45. Das bedeutet, daß zwischen den beiden Komponenten eine Beziehung bestehen muß. Stellt man aber die einzelnen Tageswerte einander gegenüber, so führt die Korrelation zu

Tabelle 1

Monatliche Stundenmittel der Potentialdifferenzen in mV

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1966												
Holz	5	8	5	14	11	120	135	135	176	155	164	95
Rinde	7	35	14	20	19	80	91	102	104	58	33	20
1967												
Holz	54	73	77	74	86	66	98	108	106	102	48	6
Rinde	106	120	111	113	110	104	186	250	233	194	192	104

unbefriedigenden Resultaten insofern, als sie einen Korrelationskoeffizienten von 0,30 nicht überschreiten.

Globalstrahlung (Himmels- plus Sonnenstrahlung) und Potentialdifferenz

Es wurde beobachtet, daß an trüben Tagen bei einem plötzlich vorübergehenden Sonnendurchbruch der Schreiber einen geringen Anstieg bei den Potentialkurven registrierte. Diese Beobachtung ließ auf Strahlungseinfluß schließen. Aus den mit Hilfe eines Solarimeters gewonnenen täglichen Globalstrahlungswerten konnte aber keine Beziehung hergeleitet werden.

Niederschlag und Potentialdifferenz

Das bereits in früheren Arbeiten (28; 29) angeschnittene Problem, Gewittertage seien von günstigem Einfluß auf das Baumwachstum, führte zu der Vermutung, daß Holz und Rinde an Gewittertagen gegenüber gewöhnlichen Regentagen und niederschlagsfreien Tagen mit höheren Potentialdifferenzen behaftet sein könnten. Unter diesem Aspekt wurden die Mittel der Tagespotentialwerte an Gewitter-, Regen- und regenlosen Tagen miteinander verglichen (Tabelle 2).

Tabelle 2

Potentialdifferenzen und Zuwachsraten an Gewitter-, Regen- und regenfreien Tagen, Juni bis August 1966

10 Gewittertage (I)					10 Regentage mit den höchsten Niederschlägen (ohne Gewitter) (II)				
Datum	N*	Z*	Pot. Ri.*	Pot. Ho.*	Datum	N	Z	Pot. Ri.	Pot. Ho.
	mm	mm	mV	mV		mm	mm	mV	mV
15. 6.	2,0	0,12	108	130	13. 6.	4,0	0,11	86	149
18. 6.	4,5	11	120	109	26. 6.	4,5	05	55	127
19. 6.	3,0	10	108	106	28. 6.	20,5	09	56	170
19. 7.	6,6	04	84	145	29. 6.	18,7	07	70	137
21. 7.	17,1	18	108	182	30. 6.	5,8	—	123	172
28. 7.	11,6	06	115	153	12. 7.	6,4	07	139	155
30. 7.	4,7	08	137	239	15. 7.	5,0	09	121	143
1. 8.	6,5	14	146	234	18. 7.	16,3	06	53	106
10. 8.	9,5	08	173	125	3. 8.	10,2	—	129	263
13. 8.	14,0	06	142	133	7. 8.	6,5	08	156	159
Sa.	79,5	0,97	1241	1556	Sa.	97,9	0,62	988	1581
Mittel	8,0	1,0	124	156	Mittel	9,8	0,06	99	158

Es kommt darin zum Ausdruck, daß die Potentialdifferenzen in Holz und Rinde bei Gewitter und Regen im Durchschnitt höher liegen als an regenlosen Tagen. Bei Vergleich der einzelnen Meßwerte untereinander treten jedoch Überschneidungen auf, welche besagen, daß ein Tag ohne Niederschlag durchaus einen höheren Potentialwert haben kann als ein Regentag. Die oben ausgesprochene Vermutung, nur Gewitter- und Regentage würden zu hohen Potentialdifferenzen führen, trifft daher nicht unbedingt im Einzelfalle zu. Wenn diese Annahme zu Recht bestünde, müßten straffe Beziehungen zwischen den Komponenten Niederschlag und Potentialdifferenz vorhanden sein. Korrelative Zusammenhänge ergaben sich aber bei Gegenüberstellung nicht.

Zuwachs und Potentialdifferenz

Die bisherigen Untersuchungen behandelten die Relationen zwischen Witterungsfaktoren und elektrischen Baumpotentialen. Es zeichnete sich ab, daß die Relation Lufttemperatur/Potentialdifferenz enger zu sein scheint als die Beziehung Globalstrahlung/Potentialdifferenz und die Beziehung Niederschlag/Potentialdifferenz. Wenn sich zwischen Niederschlag und Potentialdifferenz keine befriedigende Korrelation ergeben hat, so ist andererseits auffallend, daß bei Annäherung einer Regen-, insbesondere einer Gewitterfront, die Potentialkurven des Baumes einen gestörten Verlauf nehmen, welcher auf Feldstärkenänderungen in der Atmosphäre zurückzuführen ist. Deshalb ist es nicht ausgeschlossen, daß die Dynamik des unsteten Feldverlaufes die Zuwachsleistung des Baumes forciert. Wie bereits in früheren Arbeiten (28; 29) dargelegt, läßt sich ein erhöhter Tagesradialzuwachs bei starkem Gewittereinfluß nicht in Abrede stellen und bestätigt sich auch bei diesen Untersuchungen (Tabelle 2; Fig. 4). Es erhebt sich aufgrund dieser Tatsache die Frage, ob die elektrischen Potentiale eventuell doch an der Steuerung der Zuwachsbildung effektiv beteiligt sind. Aus Tabelle 2 erhellt, daß der an den Gewittertagen hervorgebrachte Zuwachsbetrag in summa größer war als an Regen- und regenlosen Tagen. Andererseits geht aber auch hervor, daß hohe Potentialdifferenzen an Regentagen sogar ohne nennenswerte Zuwachsbildung blieben. Danach kann also die Höhe der Potentialdifferenz für die Zuwachsproduktion nicht ohne weiteres verantwortlich gemacht werden. Korrelative Zusammenhänge langer Versuchsergebnisse ergaben sich erst bei Raffung der Meßwerte, das heißt bei Zusammenfassung von je vier Einzeldaten zu einem Wert. Auf diese Weise konnte für die Beziehung Zuwachs/Potentialdifferenz Rinde ein Korrelationskoeffizient von 0,72 und für Zuwachs/Potentialdifferenz Holz ein solcher von 0,81 errechnet werden. Der Schluß, der daraus gezogen werden kann, besagt, daß die elektrische Potentialdifferenz am Wachstumsgeschehen in irgendeiner, zurzeit noch unbekanntem Weise beteiligt sein muß. Eine Brücke zur Klärung dieses Phänomens dürften die Gewittertage mit ihren Feldsprüngen,

Tabelle 2

Fortsetzung 1

10 Regentage ohne Gewitter mit den höchsten Baumpotentialen (III)

<i>Datum</i>	<i>N</i> <i>mm</i>	<i>Z</i> <i>mm</i>	<i>Pot.</i> <i>Ri.</i> <i>mV</i>	<i>Datum</i>	<i>N</i> <i>mm</i>	<i>Z</i> <i>mm</i>	<i>Pot.</i> <i>Ho.</i> <i>mV</i>
13. 7.	0,3	0,04	147	30. 6.	5,8	—	172
14. 7.	1,6	03	151	13. 7.	0,3	0,04	166
2. 8.	1,5	—	135	14. 7.	1,6	03	167
4. 8.	3,0	10	156	29. 7.	0,2	01	264
5. 8.	3,0	—	153	2. 8.	1,5	—	268
6. 8.	2,0	02	144	3. 8.	10,2	—	263
7. 8.	6,5	08	156	4. 8.	3,0	10	265
8. 8.	2,5	03	209	5. 8.	3,0	—	318
9. 8.	3,0	—	207	6. 8.	2,0	02	254
11. 8.	1,8	—	157	7. 8.	6,5	08	159
Sa.	25,2	0,30	1615		34,1	0,28	2296
Mittel	2,5	0,03	162		3,4	0,03	230

10 Regentage ohne Gewitter mit den niedrigsten Baumpotentialen (IV)

<i>Datum</i>	<i>N</i> <i>mm</i>	<i>Z</i> <i>mm</i>	<i>Pot.</i> <i>Ri.</i> <i>mV</i>	<i>Datum</i>	<i>N</i> <i>mm</i>	<i>Z</i> <i>mm</i>	<i>Pot.</i> <i>Ho.</i> <i>mV</i>
21. 6.	4,0	0,02	63	21. 6.	4,0	0,02	56
22. 6.	2,0	01	55	22. 6.	2,0	01	68
24. 6.	1,0	03	74	24. 6.	1,0	03	94
25. 6.	0,5	05	51	25. 6.	0,5	05	72
26. 6.	4,5	05	55	26. 6.	4,5	05	127
28. 6.	20,5	09	56	5. 7.	0,4	06	46
5. 7.	0,4	06	46	6. 7.	7,1	02	68
7. 7.	0,1	03	29	7. 7.	0,1	03	42
8. 7.	1,2	04	22	8. 7.	1,2	04	23
23. 8.	1,2	06	55	23. 8.	1,2	06	98
Sa.	35,4	0,44	506		22,0	0,37	694
Mittel	3,5	0,04	51		2,2	0,04	69

Tabelle 2

Fortsetzung 2

10 regenfreie Tage mit den höchsten Baumpotentialen (V)				10 regenfreie Tage mit den niedrigsten Baumpotentialen (VI)					
Datum	Z	Pot. Ri.	Pot. Ho.	Datum	Z	Pot. Ri.	Datum	Z	Pot. Ho.
	mm	mV	mV		mm	mV		mm	mV
17. 6.	0,05	110	90	2. 7.	0,02	38	17. 6.	0,05	90
17. 7.	10	84	124	3. 7.	03	46	2. 7.	02	74
24. 7.	04	84	157	4. 7.	07	41	3. 7.	03	66
25. 7.	06	107	171	24. 7.	04	84	4. 7.	07	54
26. 7.	04	86	147	17. 8.	04	42	17. 8.	04	79
27. 7.	09	95	144	18. 8.	07	52	18. 8.	07	90
19. 8.	01	69	109	19. 8.	01	69	19. 8.	01	109
20. 8.	03	70	110	20. 8.	03	70	20. 8.	03	110
21. 8.	04	63	108	21. 8.	04	63	21. 8.	04	108
22. 8.	03	52	96	22. 8.	03	52	22. 8.	03	96
Sa.	0,49	820	1256	Sa.	0,38	557		0,39	876
Mittel	0,05	82	126	Mittel	0,04	56		0,04	88

* N = Niederschlag in mm

Pot. Ri. = Potentialdifferenz/Rinde in mV

Z = Radialzuwachs in mm

Pot. Ho. = Potentialdifferenz/Holz in mV

welche sich in abgeschwächter Form auf die Bäume übertragen, insofern bilden, als diese Sprünge selbst im Baum Impulse auslösen, die den Wachstumsablauf günstig beeinflussen und zu Leistungserhöhungen beitragen. Nicht allein das Potential, sondern der Potentialsprung beflügelt vorübergehend zu größerer Wachstumsaktivität.

Schlußbetrachtung und Zusammenfassung

Anlaß zur Erforschung von Zusammenhängen zwischen elektrischen Baumpotentialen und Baumwachstum gab die langjährige Beobachtung, daß nach Gewittern die Wachstumsaktivität gewöhnlich kurzfristig stark ansteigt. Der Unterschied zwischen den Tageszuwachsrate nach Gewittern und nach gewöhnlichen Regentagen läßt vermuten, daß er durch elektrische Spannungserscheinungen hervorgerufen wird, die ihrerseits in den bei Gewittern in der Atmosphäre auftretenden Feldstärkeänderungen begründet liegen. Da Potentialdifferenzen die Ursache elektrischen Stromflusses sind, liegt es nahe anzunehmen, daß höhere elektrische Spannungen im Baum den Stofftransport wesentlich zu beeinflussen und die Wachstumsaktivität zu forcieren vermögen.

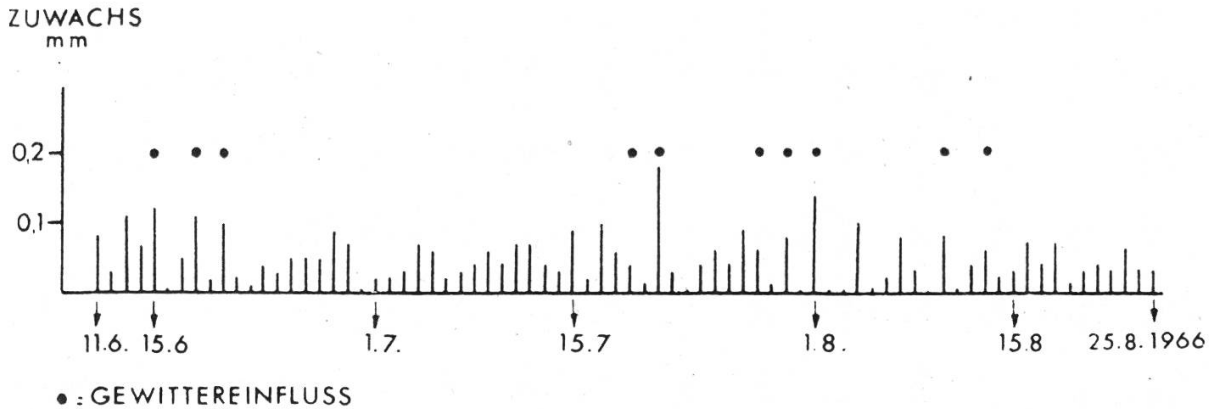


Fig. 4

Dendrometrisch ermittelter Tagesradialzuwachs einer 22jährigen *Pinus peuce* in der Zeit vom 11. Juni bis 25. August 1966.

Accroissement radial, déterminé à l'aide d'un microdendromètre, d'un *Pinus peuce* de 22 ans durant la période de temps allant du 11 juin au 25 août 1966.

Die Potentialmessungen erfolgten mit Hilfe eines Gleichspannungsmikrovoltmeters, welches mit einem Schreiber gekoppelt war. Gleichzeitig liefen zeitweise Lufttemperatur-, Niederschlags- und Strahlungsmessungen. Die Tageszuwachsrate wurden mit einem Mikrodendrometer (Karlberg/Arnberg) bestimmt.

Potentialdifferenzen eines Baumes

Über die gemessenen Baumpotentiale läßt sich aussagen:

1. Für Holz und Rinde ergaben sich getrennte Kurvenlinien, die sich nur selten zu einer Kurve vereinigen. Bei Witterungsstörungen können sie sich kreuzen. Gewitter lösen in Holz und Rinde größere Potentialsprünge aus (Fig. 1 und 2).
2. Im Verlauf eines Tages nehmen die Potentialdifferenzen von 0 bis etwa 15 Uhr zu, dann sinken sie allmählich wieder ab. Ihre höchsten Werte erreichen sie im Uhrzeitbereich von 14 bis 16 Uhr (Fig. 3).
3. Die monatlichen Stundenmittel steigen von Januar bis August an, erreichen August/September ihr Maximum und nehmen bis zum Jahresende wieder ab. Dabei zeigen Holz und Rinde die gleiche Tendenz (Tabelle 1).

Aus 2. und 3. kann gefolgert werden, daß zwischen den Potentialdifferenzen während eines Tages bzw. den monatlichen Stundenmitteln der Potentialdifferenzen und den entsprechenden Werten der Lufttemperatur eine Beziehung zu bestehen scheint. Die Werte der Lufttemperatur erreichen ebenfalls am frühen Nachmittag bzw. im September im Durchschnitt ihr Maximum. Die sich ergebenden Korrelationskoeffizienten betragen für

Rinde 0,60 bzw. 0,78 und für Holz in beiden Fällen 0,45. Vielleicht stehen die günstigeren Korrelationskoeffizienten mit der stärkeren Erwärmung der Rinde in Zusammenhang.

Eine Beeinflussung der Potentialdifferenzen durch Globalstrahlung und Niederschlag konnte nicht festgestellt werden.

Zuwachs und Potentialdifferenz

Der Versuch der Koppelung von Potential- mit Wachstumswerten führte zu dem Ergebnis, daß elektrische Vorgänge von außen her an der Zuwachsproduktion beteiligt sein müssen. Durch Raffung der Zuwachs- und der entsprechenden Potentialwerte ließ sich ein Korrelationskoeffizient von 0,72 (Holzteil) und 0,81 (Rindenteil) errechnen. Wohl mag die Höhe der Potentiale selbst, wie ursprünglich gedacht, nicht unbedingt die Höhe der Zuwachsraten beeinflussen, aber die bei Eintritt von Gewitterentladungen im Baum auftretenden Potentialsprünge dürften als dynamischer Faktor die Ursache von höheren Zuwachsraten sein; die in der Atmosphäre durch Gewitter ausgelösten Feldsprünge sind gleichsam belebendes Element und Impuls zur Wachstumsaktivierung.

Den feinen Plasmaverbindungen (Plasmodesmen), die von jeder Zelle zu ihren Nachbarzellen durch die Zellwand führen, wird bekanntlich für den Stofftransport große Bedeutung beigemessen. Vielleicht werden gerade durch die atmosphärischen Feldsprünge kleinste Weiten- und Strukturänderungen der Plasmodesmen hervorgerufen, die mit einem gesteigerten Saftleitvermögen einhergehen. Wahrscheinlicher aber ist eine Reaktion an der Zellmembran in Form einer Permeabilitätssteigerung. Möglicherweise verursacht der Impuls auch elektrostatische Änderungen an den Grenzflächen der Zellen.

Überschaut man den Komplex «Potentialdifferenz und Holzproduktion» bei Baum und Pflanze, hat es den Anschein, daß die meteorologischen Faktoren und hier speziell die elektrischen Spannungsfelder der Atmosphäre Auf- und Abbau von Potentialen in einem Organismus steuern und letzten Endes auch eine günstige Wirkung auf Wachstumsprozesse ausüben.

Résumé

Les différences de potentiel électrique dans les arbres forestiers, leur dépendance de facteurs météorologiques et leur rapport avec l'accroissement en diamètre

L'observation faite depuis longtemps qu'après des orages, la croissance des arbres était en général fortement stimulée durant une brève période, a été le motif d'une étude des rapports existant entre les potentiels électriques des arbres et leur accroissement. La différence constatée entre les accroissements journaliers après des orages et ceux suivant les jours de pluie ordinaire, laisse penser que cette différence

est provoquée par des phénomènes de tension électrique, qui eux-mêmes sont dus à des modifications des champs électriques qui ont lieu dans l'atmosphère au cours des orages. Etant donné que des différences de potentiel sont la cause de courants électriques, il est possible d'admettre que des tensions électriques plus fortes dans un arbre influencent sensiblement le flux de la sève et sont ainsi capables d'activer la croissance.

Les mesures de potentiels furent exécutées à l'aide d'un microvoltmètre à courant continu relié à un enregistreur. On fit en même temps des mesures de température, de précipitations et de rayonnement. Les accroissements journaliers furent mesurés à l'aide d'un microdendromètre (Karlberg/Arnberg).

Les différences de potentiel dans un arbre

Les potentiels mesurés sur un arbre permettent les commentaires suivants :

1. Les courbes obtenues pour le bois et celles pour l'écorce sont différentes et elles ne se confondent que rarement. Lors d'intempéries, elles peuvent se croiser. Des orages provoquent dans le bois et dans l'écorce de gros écarts de potentiel (voir fig. 1 et 2).
2. Au cours d'une journée, les différences de potentiel augmentent de 0 à 15 heures, puis diminuent de nouveau lentement. Elles atteignent les valeurs les plus élevées entre 14 et 16 heures (fig. 3).
3. Les moyennes horaires mensuelles augmentent de janvier à août, atteignent leur maximum en août/septembre, et redescendent jusqu'à la fin de l'année. Dans ce cas, le bois et l'écorce montrent la même tendance (tableau 1).

On peut déduire des points 2. et 3. qu'entre les différences de potentiel d'une journée, respectivement les moyennes horaires mensuelles des différences de potentiel, et les valeurs correspondantes de la température de l'air, il existe, semble-t-il, un certain rapport. Les valeurs de la température de l'air atteignent également en moyenne au début de l'après-midi, respectivement en septembre, leur maximum. Les coefficients de corrélation calculés s'élèvent pour l'écorce à 0,60, respectivement à 0,78, et pour le bois dans les deux cas à 0,45. Il est possible que les coefficients de corrélation plus favorables pour l'écorce sont dus à un réchauffement plus fort de celle-ci.

Il n'a pas été possible de déterminer une influence du rayonnement global et des précipitations sur les différences de potentiel.

Accroissement et différence de potentiel

L'essai d'accouplement des valeurs de potentiel et des valeurs d'accroissement a montré que des phénomènes électriques extérieurs influencent la croissance des arbres. En groupant les valeurs d'accroissement et les valeurs correspondantes de potentiel, il a été possible de calculer un coefficient de corrélation de 0,72 pour le bois et de 0,81 pour l'écorce. On peut supposer que la grandeur des potentiels n'influence pas nécessairement le montant de l'accroissement, comme on l'avait présumé à l'origine ; mais les sauts de potentiel que l'on enregistre dans les arbres lors de décharges électriques orageuses constituent très probablement un facteur dynamique qui provoque des accroissements plus élevés. Les sauts produits par les orages dans les champs électriques de l'atmosphère agissent comme un élément vivifiant et une impulsion activant la croissance.

On accorde, dans le transport des produits d'assimilation, une grande importance aux fines liaisons de plasma (plasmodesmes) qui conduisent, à travers les parois cellulaires, d'une cellule aux autres. Il est possible que justement ces sauts de tension dans l'atmosphère entraînent de petites modifications de la dimension et de la structure de ces plasmodesmes, ce qui provoquerait une augmentation de leur capacité de transport des sèves. Plus probable encore est une réaction de la membrane cellulaire sous la forme d'une augmentation de sa perméabilité. Il est possible aussi que l'impulsion provoque des modifications électrostatiques sur les surfaces limitrophes des cellules.

Si l'on considère ce problème « *différence de potentiel et production de bois* » chez les arbres, on a l'impression que des facteurs météorologiques, et dans ce cas spécialement les champs électriques de l'atmosphère, commandent l'augmentation et la diminution de potentiels dans un organisme et finalement exercent aussi un effet favorable sur le processus de croissance.

Traduction Farron

Schrifttum

- (1) *Audus, L. J.*: Magnetotropism: a new plant-growth response. — *Nature (London)* 185 (1960), S. 132–134. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 147 (1960), 3, S. 290
- (2) *Brezowsky, H.*: Über die Beeinflussung der Samenkeimung durch atmosphärische Vorgänge. — *Arch. Meteor. Geophys., Ser. B.* Bd. 13 (1965), S. 521–530. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* 257 (1966), 5, S. 607
- (3) *Bünning, E.*: Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze. — Berlin, Heidelberg, Göttingen: Springer 1948
- (4) *Büsgen, M., und Münch, E.*: Bau und Leben unserer Waldbäume. — Jena: Fischer 1927
- (5) *Goodwin, C. W., et al.*: A portable vacuum-tube millivoltmeter. — *J. Forest.* Bd. 41 (1943), 6, S. 414–416
- (6) *Haberditzl, W.*: Können Magnetfelder chemische Reaktionen beeinflussen? — Ref.: *Umschau* Bd. 67 (1967), 16, S. 528
- (7) *Höber, R.*: Physikalische Chemie der Zellen und Gewebe. — Bern: Stämpfli & Cie. 1948/49
- (8) *Huber, B.*: Die Saftströme der Pflanzen. — Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1956
- (9) *Kiepenheuer, K. O., et al.*: Über die Wirkung von Meterwellen auf das Teilungswachstum der Pflanzen. — *Naturwissenschaften* Bd. 36 (1949), 1, S. 27–28
- (10) *Ling, G. N.*: Elektrische Potentiale lebender Zellen. — *Naturwiss. Rundsch.* Bd. 20 (1967), 10, S. 415–426
- (11) *Murr, L. E.*: Plant growth response in a simulated electric field environment. — *Nature* Bd. 200 (1963), S. 490–491. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 218 (1964), 1, S. 47
- (12) *Murr, L. E.*: Plant growth response in an electrokinetic field. — *Nature* Bd. 207 (1965), S. 1177–1178. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 259 (1966), 1, S. 129

- (13) *Murr, L. E.*: Biophysics of plant growth in an electrostatic field. — *Nature* Bd. 206 (1965), S. 467–470. Ref.: *Umschau* Bd. 65 (1965), 15, S. 483
- (14) *Novitskii, Yu. J.*: Biomagnetism and plant life. — *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Biol.* Bd. 32 (1967), S. 257–261. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 281 (1967), 1, S. 27
- (15) *Parr, Th.*: Voltage gradients in trees as an indicator of susceptibility to insect attack. — *J. Forest.* Bd. 41 (1943), 6, S. 417–421
- (16) *Pittman, U. J.*: Magnetism and plant growth. III. Effect on germination and early growth of corn and beans. — *Can. J. Plant Sci.* Bd. 45 (1965), S. 549–555. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 258 (1966), 2, S. 185
- (17) *Reiter, R.*: *Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre.* — Leipzig: Akad. Verlagsges. Geest & Portig KG. 1960
- (18) *Rosene, H. F., und Lund, E. J.*: Bioelectrical fields and correlation in plants. — In: «Growth and Differentiation in Plants». Herausg. v. W. E. Loomis. Ames: The Iowa State Coll. Press 1949. S. 219–252
- (19) *Shidlovskaya, I. L., et al.*: Effect of the atmospheric electric field and air ions on mineral nutrition and metabolism in maize plants. — *Fiziol. Rastenij* Bd. 13 (1966), S. 657–664. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 270 (1967), 4, S. 492
- (20) *Sidaway, G. H.*: Influence of electrostatic fields on seed germination. — *Nature* Bd. 211 (1966), S. 303. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 274 (1967), 1, S. 85
- (21) *Snow, A. G.*: Voltage gradients in forest trees. — *J. Forest.* Bd. 40 (1942), 11, S. 872–876
- (22) *Sokolov, D. V.*: Experimentelle Bestimmung der elektrischen Spannung im Gewebe von Holzarten. — *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Lesn. Zh. (Archangel'sk)* Bd. 3 (1960), 1, S. 127–129
- (23) *Stern, K.*: *Elektrophysiologie der Pflanzen.* — Berlin: Springer 1924
- (24) *Steudel, Th.*: Wie beeinflussen elektrische Ladungen die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten? — *Umschau* Bd. 66 (1966), 21, S. 708
- (25) *Strasburger, E.*: *Lehrbuch der Botanik.* 29. Aufl. Stuttgart: Fischer 1967
- (26) *Strekowa, V. Yu., et al.*: Some physiological and cytological changes in germinating seeds in a stationary magnetic field. I. Effect of inhomogeneous magnetic field of low intensity. — *Fiziol. Rastenij* Bd. 12 (1965), S. 920–929. Ref.: *Ber. Wiss. Biol.* Bd. 260 (1966), 5, S. 617–618
- (27) *Varga, A.*: Mikroorganismen unter elektrischem Gleichstrom. — *Umschau* Bd. 66 (1966), 22, S. 746
- (28) *Wilhelmi, Th.*: Der Einfluß von Gewittern auf das Radialwachstum unserer Waldbäume. — *Umschau* Bd. 62 (1962), 22, S. 705–706
- (29) *Wilhelmi, Th.*: Das Radialwachstum der Bäume unter dem Einfluß der Luftelektrizität. — *Wetter Leben* Bd. 17 (1965), 11/12, S. 219–227
- (30) *Ziegler, H.*, Der Ferntransport der Stoffe in der Pflanze. I. Der Wassertransport. II. Der Transport im Phloem. — *Umschau* Bd. 62 (1962), 18, S. 562–565; 63 (1963), 3, S. 86–90
- (31) *Ziegler, H.*: Der Ferntransport organischer Stoffe in den Pflanzen. — *Naturwissenschaften* Bd. 50 (1963), 6, S. 177–186