Das Zittern der Laubblätter.

Von

Alfred Hertel.

Mit 6 Abbildungen im Text.[1])

Die Beobachtung, daß ein Laubblatt, z. B. ein Espenblatt, in pendelnde, allmählich wieder abklingende Bewegung gerät, wenn es von einem Windstoß getroffen wird, hat wenig bemerkenswertes an sich.

Tatsächlich gibt es aber auch bei Ausschluß von raschen Richtungs- oder Geschwindigkeitswechseln des Luftstromes, also im völlig gleichmäßigen Windzuge, andauernde periodische Blattbewegungen. Diese vom physikalischen Standpunkt aus auffallende Erscheinung bildete den Gegenstand meiner Untersuchungen. Wenn bei ihrer kurzen Darlegung im folgenden das Wort „Zittern" gebraucht wird, so sollen damit jene wiederkehrenden Bewegungen gemeint sein, welche nach Schwingungszahl und -weite konstant bleiben, solange in der Luftzufuhr keine Änderung stattfindet.

Solche Bewegungen wurden

1) im Laboratorium an natürlichen Blättern auf verschiedene Art hervorgerufen;
2) nach ihrem wirklichen Verlaufe aufgezeichnet;
3) in Bezug auf ihr Zustandekommen qualitativ erklärt;
4) mittels einfacher Modelle aus anorganischem Material zwecks Prüfung der Erklärung nachgeahmt;
5) hinsichtlich ihres Einflusses auf das Pflanzenleben kurz betrachtet.[2])

1. Hervorrufen des Zitterns.

Ein Laubblatt, z. B. ein Blatt der Espe *(Populus tremula)* wurde (unter den erforderlichen Vorsichtsmaßregeln zur Erhaltung des Turgors) an einem Stativarm vertikal herabhängend verwendet und auf eine der drei folgenden Arten in Bewegung (Zittern) versetzt und erhalten:

[1]) Kurzer Auszug aus der auf Anregung von Herrn Geh.-Rat E. Wiedemann im physikalischen Institut in Erlangen ausgeführten Inaugural-Dissertation des Verfassers.

[2]) Die diesbezüglichen Ausführungen wollen in der Dissertation nachgesehen werden. Sie sind, wie mir scheint, gegenstandslos geworden angesichts einer Arbeit von J. v. Wiesner. Studien über den Einfluß der Luftbewegung auf die Beleuchtung des Laubes. (Sitz.-Ber. der Kais. Akad. d Wiss. in Wien. Math.-naturw. Kl. Bd. CXXIII. Abt. 1. Okt. 1914.)

I) Durch Bewegung gegen ruhende Luft (entweder geradliniges Schleppen oder auf einem Rundlauf);
II) durch Anblasen, und zwar
   α) mit einem Luftstrahl von etwa 1 qmm Querschnitt, der den Blattrand streifte,
   β) mit einem Luftstrahl von großem (etwa 1 qdm betragenden) Querschnitt, in welchem das Blatt sich bewegen konnte, ohne den Luftstrahl verlassen zu können.

2. Aufzeichnen der Bewegung.

Aus technischen Gründen wurde von der Aufzeichnung der beim Schleppen nach I entstehenden Bewegungen abgesehen. Aufzeichnungen wurden nur bei den durch Anblasen (II) unterhaltenen Zitterbewegungen gemacht und zwar, um die Bewegungen nicht zu stören, auf optischem Wege. Der Grundgedanke war dabei, einen Spiegel auf der Blattspreite zu befestigen, einen Lichtstrahl

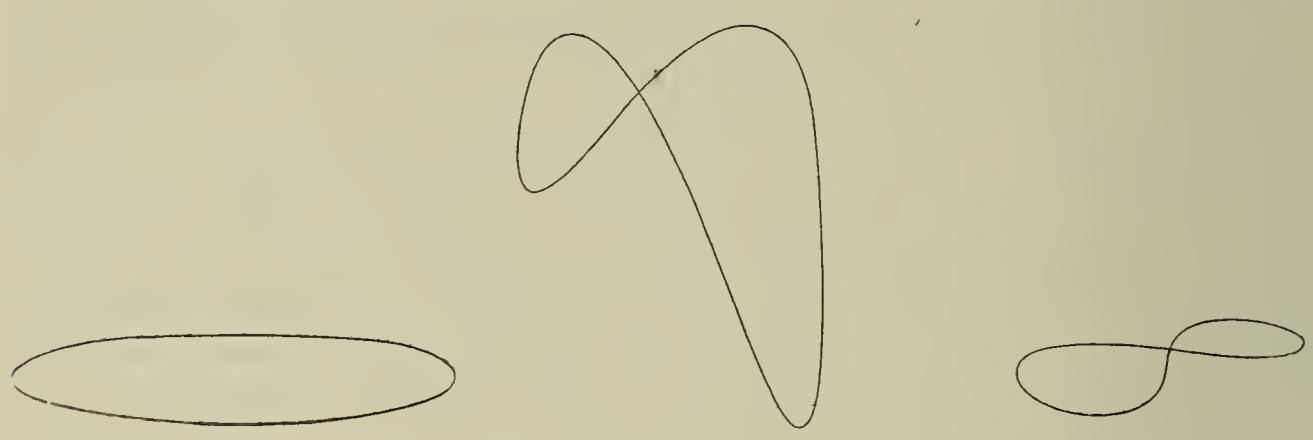

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.
Zeichnungen nach Photographie.

auf ihn fallen zu lassen und dann die leuchtende Kurve, die der reflektierte Strahl auf einem seitlich aufgestellten Schirm zeichnete, festzuhalten, was durch eine photographische Platte besorgt wurde. In dieser Weise wurden von den nach IIα am Rand streifend angeblasenen Blättern eine Reihe von Aufnahmen erhalten (Abbildung 1, 2, 3). Die Methode wurde dann schließlich so verbessert (durch Anwendung von Lichtblitzen (von je etwa $^1/_{2500}$ Sek. Dauer und $^1/_{200}$ Sek. Zwischenraum) und 3 synchronen Aufnahmeserien auf 3 zusammengehörigen Films), daß für 40 aufeinanderfolgende, zusammen eine einzige Schwingung (Hin- und Hergang) des Blattes ausfüllende Zeitmomente jeweils die räumliche Lage des Blattes mit großer Annäherung festgestellt, also der ganze Schwingungsvorgang recht genau rekonstruiert werden konnte. (Abbildung 4.)

3. Ergebnisse dieser Aufzeichnungen.

Die Beobachtungen von Laubblättern auf dem Rundlauf und beim gradlinigen Schleppen zeigten, daß wider Erwarten der Stiellänge nicht der entscheidende Einfluß auf das Zittern zukomme.

Versuche an 65 Espenblättern ergaben nämlich, daß Blätter, bei denen die Stiellänge nur 25 Prozent des größten Blattdurchmessers ausmachte, ebensogut zum regelmäßigen Zittern gebracht werden konnten, wie solche, bei denen die Stiellänge 150 Prozent und mehr vom größten Blattdurchmesser betrug.

Einen wichtigen Wink gab die Beobachtung, daß Espen- und Lindenblätter von möglichst gleicher Form, Größe und Stiellänge verschieden leicht zum Zittern gebracht werden konnten, und zwar immer die Espenblätter viel leichter als die Lindenblätter.

Ich schloß daraus, daß neben der Stiellänge der Stielbau, vor allem der Querschnitt, maßgebend sein müsse.

Die Kurven 1, 2, 3 zeigten das überraschende Ergebnis, daß das Schwingungsverhältnis, nämlich Anzahl der Schwingungen durch Biegung des Stieles: Anzahl der Schwingungen mit Torsion des Stieles sehr einfach und ganzzahlig sei.

Die Abbildung 4, welche den Durchschnitt einer ungefähr in Schwerpunkthöhe liegenden Horizontalebene durch die aufeinanderfolgenden Stellungen der Blattspreite wiedergibt, bestätigt dieses Resultat und erweiterte es dahin, daß das Schwingungsverhältnis $\frac{\text{Biegungsschwingungszahl}}{\text{Torsionsschwingungszahl}} = 1:1$ sei.

Sehr zahlreiche Versuche auf dem Rundlauf, sowie an Espenblättern, die an einem auf freiem Felde stehenden Baum hingen und durch den natürlichen Wind zitternd erhalten wurden, gaben immer wieder das gleiche Resultat, Abstimmung der Schwingungszahlen von Torsion und Biegung im Verhältnis 1:1. Erschien schon diese Abstimmung merkwürdig, so kam noch überraschender das Ergebnis einer weiteren, sehr umfassenden Versuchsreihe an über 100 Blättern von *Pop. tremula* und *Pop. Canadensis*, nämlich: Die Abstimmung der Schwingungszahlen von Torsion und Biegung im Verhältnis 1:1 ist bei natürlichen Blättern von Espe und Kanadischer Pappel in weitgehendem Maße von der Stiellänge unabhängig. Die Stiele konnten in allen untersuchten Fällen um 65 Prozent und mehr verkürzt werden, ohne daß das Abstimmungsverhältnis sich geändert hätte, während nach den Formeln der technischen Mechanik jede Längenänderung des Stieles die Biegungsschwingungszahl in ganz anderem Maße ändert als die zugehörige Torsionsschwingungszahl.

Angesichts dieser Ergebnisse schienen mir nur folgende zwei Annahmen zulässig zu sein:

Entweder durften die Formeln der Mechanik für Torsions- und Biegungsschwingungen belasteter Stäbe auf Blattstiele nicht angewandt werden,

oder es wurde die Torsion durch die Biegung (oder umgekehrt) erzwungen.

Daß die erste Annahme nicht zutreffe, schloß ich, in dynamischer Hinsicht vielleicht etwas keck, aus statischen Versuchen über Biegung und Torsion, aus denen hervorging, daß sich, von sehr starken Nachwirkungserscheinungen abgesehen, die Blattstiele wie Stäbe verhielten.

Somit blieb noch die Annahme einer Zwangsbeziehung zwischen Torsion und Biegung.

Ich veranstaltete deshalb folgenden Versuch:

Eine astfreie Kiefernholzlatte (750 × 8 × 16) mm³ wurde horizontal und hochkant [d. h. breite Querschnittseite (16 mm) vertikal, schmale (8 mm) horizontal, Längserstreckung (750 mm) ebenfalls horizontal] mit einem Ende in einen Schraubstock eingespannt. Ließ ich nun im Mittelpunkt des freien Endquerschnittes eine Kraft angreifen, die den Stab seitlich abwärts bog, so zeigte sich, daß jedesmal mit der Biegung eine beträchtliche Verdrehung des freien Endquerschnittes auftrat. (Vergl. Fig. 5.)

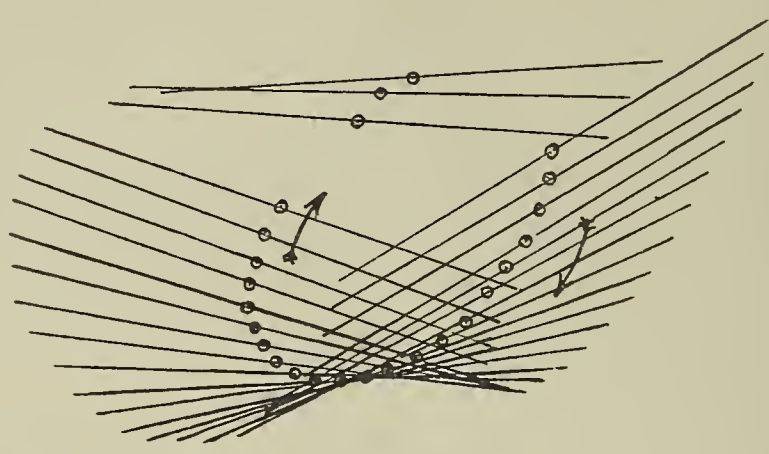

Fig. 4.

Damit war nun allerdings das Vorhandensein einer Verdrehung, welche durch die Biegung erzwungen war, gezeigt.[1])

---

[1]) Hierbei scheinen mir zwei dunkle Punkte noch der Aufklärung bedürftig:

1. Bei genau kreiszylindrischem Stabquerschnitt scheint mir wenigstens bei homogenen Stäben keine eindeutige Entscheidung darüber möglich zu sein, wie der Sinn der Verdrehung mit der Biegung zusammenhängen soll, weil doch bei solchen Stäben das Verhalten gegen Biegung nach allen radialen Richtungen als gleich vorausgesetzt werden muß.

Versuche an Blattmodellen mit kreiszylindrischen Stielen zeigten aber, daß doch eine solche Abhängigkeit der Verdrehung von der Biegung existieren muß. Der Widerspruch klärt sich vielleicht dadurch auf, daß ein bereits tordierter Stab sich bei Biegung nicht mehr nach allen radialen Richtungen gleich verhält. Eine Vortorsion muß aber m. E. angenommen werden, weil bei völliger Symmetrie der Blatthälften und wenn die Windrichtung senkrecht zur Ruhelage der Blattebene steht, zu einer seitlichen Bewegung des Blattes mangels eines zureichenden Grundes für die Bevorzugung einer der beiden möglichen Anfangsrichtungen kein Grund bestehen würde und die Bewegung somit gar nicht beginnen könnte.

2. Die Figur 5 zeigt, daß beim Wegbiegen des (hinter der Zeichenebene und normal zu ihr eingeklemmt gedachten) Stabes aus seiner Ruhelage R der (schraffierte) freie Endquerschnitt Verdrehungen erleidet, die symmetrisch zur Ruhelage sind, sodaß also bei der in Anmerkung 1 angenommenen Lage von Blatt und Windrichtung die Umsteuerung der Blattfläche gerade beim Überschreiten der Ruhelage erfolgen würde, was zur Folge hätte, daß das Blatt sich selbst bremsen würde. Die Umstellung darf erst nach Überschreitung der Ruhelage erfolgen, wie genauer in meiner Dissertation aus einem Analogiebeispiel ersehen werden kann. Obwohl ich glaube, daß durch Berücksichtigung des Trägheitsmomentes der Blattfläche sich die nötige Verzögerung ergäbe, habe ich um allen diesen Komplikationen auszuweichen, den doch in den meisten Fällen vorhandenen Zustand ins Auge gefaßt, bei welchem der Wind schief zur Blattfläche ankommt.

Die Bewegung dürfte also auf folgende Art zustande kommen und verlaufen. (Vergl. Fig. 6.)

Windrichtung W sei schief zur Ruhelage R des Blattes. Nach dem Avanzini'schen Gesetz[1]) greift die Windkraft nicht im geometrischen Schwerpunkt der Blattfläche, sondern in einem Punkte X näher dem Vorderrande an. Die Windkraft P hat man sich nun dadurch, daß man im Schwerpunkt zwei ihr der Größe nach gleiche, parallele, aber die eine nach der Vorder-, die andere nach der Rückseite des Blattes weisende und also einander zu Null aufhebende gedachte Hilfskräfte P' und P" anbringt, in ein Drehpaar P P" und eine Einzelkraft P' zerlegt zu denken. P' greift im Schwerpunkt an und verschiebt das Blatt entgegen der elastischen Kraft des Blattstieles, P" P dreht das Blatt um den Stiel herum; so gelangt das Blatt allmählich nach A, B, C und, einmal in

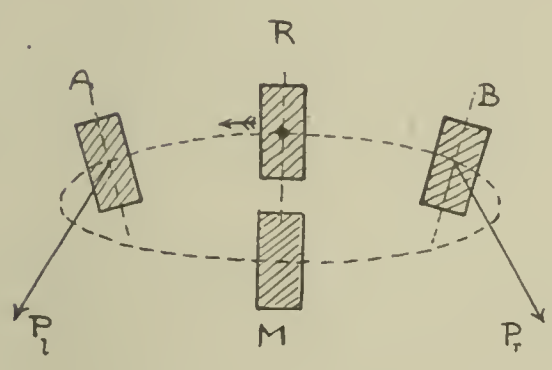

Fig. 5.

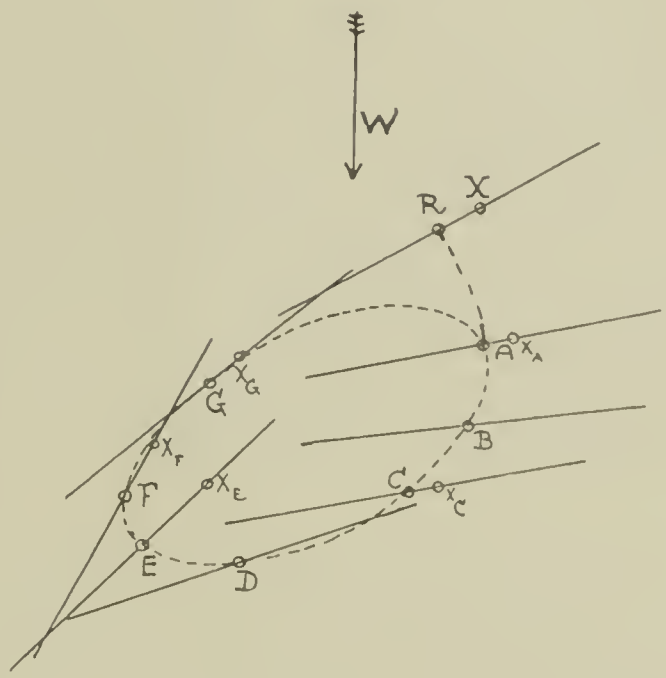

Fig. 6.

Schwung, weiter nach D und E. Aber mit der zunehmenden Biegung ist eine Verdrehung des Blattes nach Vers. 5 verbunden. Anfangs ist diese Verdrehung gering, weil ja auch die Wegbiegung von der Ruhelage gering ist, und weil ihr das vom Winddruck herrührende Drehpaar P P" entgegenarbeitet. Allmählich hat aber das Blatt seine Höchstgeschwindigkeit erreicht und damit ist die Differenz zwischen Wind- und Blattgeschwindigkeit, d. h. die relative Geschwindigkeit des Windes in Bezug auf die Blattfläche, ein Minimum geworden, also auch der Druck auf das Blatt. Jetzt kommt die Wirkung der zwangläufigen, von der Biegung herrührenden Verdrehung voll zur Geltung, bei D hat sie das Blatt zu verdrehen begonnen und die Linksdrehung nimmt zu bis etwa F; die Biegungskraft hat inzwischen das Blatt gezwungen umzukehren und sich gegen R hinzubewegen, wegen des Trägheitswiderstandes nicht in gerader, sondern gekrümmter Bahn; da das Blatt jetzt seine Spreite nahe parallel dem relativen Winddruck hält, kann

[1]) Vorausgesetzt, daß dessen Anwendung bei so kleinen Flächen erlaubt ist.

es rasch in die Stellung G usw. gelangen, wobei wegen der Annäherung an R die erzwungene Verdrehung ohnedies rückgängig gemacht wird. Dann kann bei A der neue Kreislauf wieder beginnen. Zittert aber erst einmal ein Blatt, so stört das die Ruhe der anderen und die nötigen Unsymmetriebedingungen für die anderen Blätter, die zur Einleitung ihrer Bewegungen unerläßlich sind, sind geschaffen. Eine Kontrolle für die Richtigkeit der Hauptzüge dieser Erklärung erhält man auf folgende Art: Man denkt sich das Blatt vertikal abwärts hängend und einen die Windrichtung angebenden Pfeil durch den Schwerpunkt gehend; wenn dieser Pfeil nicht normal zur Blattfläche steht, so bildet er unter vielen anderen auch einen Minimalwinkel mit der Blattebene; diesem Winkel lege man einen Drehsinu dadurch bei, daß man überlegt, in welcher Richtung der Pfeil um den Schwerpunkt gedreht werden muß, damit er diesen Winkel überstreicht. Im nämlichen Drehsinne muß dann der Schwerpunkt nach der obigen Erklärung zu Fig. 6 die elliptische Kurve durchlaufen. Dieses Resultat kann durch Beobachtung leicht nachgeprüft werden. Der Hauptinhalt der ganzen Erklärung ist: Das Blatt wendet, mit dem Winde gehend, diesem die Breitseite zu, gegen den Wind dagegen geht es, indem es seine Blattfläche möglichst parallel der Windrichtung stellt, damit der Widerstand so klein wie möglich wird. Diese günstige Einstellung wird zwangsweise im richtigen Augenblick durch die mechanischen Eigenschaften des Stieles bewirkt.

4. Nachahmung des Zitterns mit Hilfe von Blattmodellen.

Nach längeren Vorversuchen gelang es, Modelle herzustellen, deren Zitterbewegungen in jeder Hinsicht denen natürlicher Espenblätter entsprachen. Die Blattspreite bestand aus Glimmerblättchen von Quadratform (Seitenlänge 30 mm), oder von Kreisform (Radius 15 mm), oder Rechtecksform (lange Seite horizontal, kurze vertikal, Stiel parallel zur kurzen Rechtecksseite) oder Ellipsenform (lange Achse 50 mm horizontal, kurze Achse 25 mm vertikal, Stiel in der Verlängerung der kurzen Achse). Als Stiel diente durchweg Kupferdraht von ca. $^1/_5$ mm Durchmesser und etwa 50 mm Länge. Die Modelle mit quadratischer und kreisförmiger Blattfläche zitterten jedoch nur dann, wenn der Stiel auf etwa $^1/_4$ seiner Länge durch Hämmern oder Walzen abgeflacht war, so daß die Abflachungsebene normal zur Blattfläche stand. Die Größe des Modells hat auf die Bereitwilligkeit zur Zitterbewegung im Schwingungsverhältnis 1 : 1 keinen Einfluß, denn Modelle aus papierüberzogenen quadratischen Holzrahmen von 60 cm Seitenlänge an Holzstielen von 120 cm Länge und (8×16) mm² Querschnitt zitterten tadellos, wenn die 16 mm lange Seite des Stielquerschnittes hochkant, also normal zur Blattfläche stand, also der Stab mit der Schmalseite auf die Blattfläche geleimt war.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: BH_33_1

Autor(en)/Author(s): Hertel Alfred

Artikel/Article: Das Zittern der Laubblätter 303-308