

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 33 (1942)
Heft: 1

Artikel: Physik und Technik unter strenger und unter statistischer Gesetzlichkeit
Autor: Kummer, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061630>

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: 03.04.2026

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

La fig. 6 représente outre les caractéristiques de r_+ et r_- la courbe de la charge Q en fonction du temps t . L'échelle de Q est choisie de telle façon, que l'intersection des courbes de Q et de r correspond à la limite du phénomène des avalanches élémentaires. Ce tableau qualitatif montre qu'après l'arrêt d'une flèche le rayon r doit augmenter d'abord plus vite que la charge Q , ensuite plus lentement, pour qu'après une pause une nouvelle flèche soit formée. On voit aussi qu'un front négatif exige plus de temps pour obtenir l'intersection des courbes de Q et de r_- , ce qui est causé par la partie électronique e de la caractéristique de r_- . Cette comparaison des moments S et E dans la fig. 6 présente une bonne concordance qualitative avec les données expérimentales, puisque les pauses dans le cas de Schonland sont en moyenne plus longues

que dans le cas de McEachron. Cependant l'importance de cet accord ne doit pas être exagérée, puisque les genres de la non-uniformité du champ primaire dans les deux cas peuvent différer entre eux.

Il n'est pas possible de citer ici toutes les conclusions concernant différents types de décharges et diverses constatations expérimentales. On se borne à noter la concordance de la théorie avec le fait que les points d'arrêt des flèches sont choisis de préférence par les branchements et par les changements de direction. Le hasard joue évidemment un rôle comparativement important dans la phase où un électron, provenant par exemple de la ionisation photoélectrique, est choisi dans l'espace étendu du front arrêté pour commencer une nouvelle flèche.

Physik und Technik unter strenger und unter statistischer Gesetzlichkeit

Von W. Kummer, Zürich.

530.16

Strenge Gesetzlichkeit einerseits, statistische Gesetzlichkeit andererseits, die der Vorausbestimmung physikalischer und technischer Vorgänge zugrunde gelegt werden, beruhen auf unmittelbarem Bewusstsein der Notwendigkeit, bzw. der Möglichkeit; die Vorgänge können einheitlich als determiniert gemäss statistischer Gesetzlichkeit begriffen werden.

Les phénomènes de la physique et de la technique sont évalués a priori soit moyennant des lois de rigueur, soit moyennant des lois statistiques, une conscience immédiate, soit de la nécessité, soit de la possibilité étant en jeu; en outre, tous les phénomènes peuvent être conçus comme déterminés moyennant des lois statistiques.

Die Determinationsform der Kausalität, die für Physik und Technik seit ihren Anfängen bis in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts als allein massgebende galt, hat zum Inhalt die Bestimmung von Späterem durch Früheres, d. h. eine zeitliche Hintereinanderschaltung von Determinationselementen. Neben ihr besteht aber auch eine Determination als Nebeneinanderschaltung, d. h. eine Wechselwirkung von Gleichzeitigem auf Gleichzeitiges. Unter diesen Determinationen stehen Vorgänge von stets gleichbleibendem, oder auch von mehr oder weniger variiertem Ablauf. Bei gleichbleibendem Ablauf spricht man von der strengen Gesetzlichkeit der sog. Naturgesetze. Jahrhundertlang wurden für Physik und Technik die Begriffe Kausalität und Naturgesetze als synonym betrachtet, als wesentliche Begriffe strenger Gesetzlichkeit. Nun brachten aber die letzten acht Jahrzehnte die physikalische Erforschung der Molekularbewegung, des radioaktiven Atomzerfalls, der Quantenemission und der Elektronenbewegung, sowie die sich jeweils auf solche Forschungen stützenden technischen Anwendungen; bei diesen Forschungen war jedoch in der Regel die Unbrauchbarkeit der Formulierung einer strengen Gesetzlichkeit festzustellen, während eine Formulierung statistischer Gesetzlichkeit, also eine Formulierung gemäss irgendwie veränderter Determination den Vorgängen gerecht werden konnte. Der praktische Wert einer gesetzlichen Formulierung überhaupt liegt bekanntlich vor allem darin, dass sie die Vorausbestimmung, bzw. die Vorausberechnung physikalischer und technischer Vorgänge erst ermöglicht. So hatte sich das frühere Urteil, in der Physik und in der

Technik herrsche einzig und allein strenge Gesetzlichkeit des Geschehens, als ein Vorurteil erwiesen.

Die Erschütterung der Alleinherrschaft der strengen Gesetzlichkeit auf den Gebieten der Physik und der Technik veranlasste Physiker und Philosophen zu einer Umstellung ihrer Naturansicht. Zahlreiche Versuche der Erklärung, bzw. Deutung der veränderten Sachlage wurden unternommen. Extrem ist die Deutung, die Naturgesetze seien überhaupt nur Fiktionen, auf Grund welcher der Mensch sein Dasein ordne; ebenso unwissenschaftlich ist die Deutung der veränderten Determination als Indeterminismus oder sogar als Erscheinung eines auch im Anorganischen möglichen freien Willens. Ernster zu nehmen ist die von ersten Autoritäten der physikalischen Forschung vertretene Ansicht, die statistische Gesetzlichkeit sei nur eine Vordergrundgesetzlichkeit, als Notbehelf unserer unvollständigen Erkenntnis, welche die allen Vorgängen zugrunde liegende strenge Gesetzlichkeit noch nicht allseitig erfasst hätte. Wir können dieser Auffassung vor allem deshalb nicht beipflichten, weil sie den Gegensatz strenger und statistischer Gesetzlichkeit erkenntnistheoretisch als einen Gegensatz von Notwendigkeit und Zufälligkeit, anstatt, wie wir es vertreten, als einen Gegensatz von Notwendigkeit und Möglichkeit, darstellt. Es ist für menschliches Begreifen allerdings sehr naheliegend, physikalische und technische Vorgänge nachträglich als ausnahmslos gemäss strenger Gesetzlichkeit determiniert zu halten, wozu aber kein logischer Zwang bewiesen werden kann. Zu der von uns kritisierten Auffassung, strenge und statistische Gesetzlichkeit seien vom Gegensatz der Notwendigkeit

und der Zufälligkeit aus zu verstehen, hat wesentlich der Umstand beigetragen, dass die Mathematik der statistischen Gesetzlichkeit, d. h. die Wahrscheinlichkeitsrechnung, ursprünglich ausschliesslich und auch heute noch teilweise als Analyse des Zufalls gilt. Am klassischen Beispiel des Würfelwurfs, der von den sechs, mit den Nummern 1 bis 6 bezeichneten Flächen des Würfels schliesslich eine dieser Flächen obenauf sehen lässt, ist der populäre Zufallsbegriff naheliegend; das Obenauferscheinen z. B. der mit der Nummer 6 bezeichneten Fläche ist eben kein notwendiges Ereignis, für die populäre Auffassung dagegen ein «zufälliges». Erkenntnistheoretisch gilt uns dieses Ereignis objektiv schlicht als ein «mögliches», indem wir den Zufall aus dem Reich des physikalisch-anorganischen Geschehens streng ausschliessen, da uns für dieses Reich nur Notwendigkeit und Möglichkeit als Modi des Bewusstseins, vor der Erfahrung der Wirklichkeit als zulässig erscheinen. Das Gebiet des Zufalls lassen wir *da* gelten, wo es auch den freien Willen gibt, d. h. im Bereich des menschlichen Handelns, wo Zwecke gesetzt und zur Ausführung bestimmt werden, die man mit den Mitteln der realen Welt erreichen will. Will ich zweckhaft die Nummer 6 beim Würfeln erreichen, dann kann ich, als Handelnder, also vom Zufall sprechen. Die objektive, also betont nicht subjektive, Beurteilung des Würfelwurfs darf sein Ergebnis jedoch nicht als ein zufälliges erklären, sondern als die Verwirklichung einer der sechs Möglichkeiten des Würfelwurfs, die mit der Notwendigkeit verbunden sind, dass eine Auswahl aus ihnen sich verwirklicht. Nach dem Satz vom Grunde, der für reales Geschehen stets in anderem Realem seinen Grund erkennt, gilt für den Würfelwurf: der Wurf ist der Grund, der zur Folge hat, dass sechs Möglichkeiten und eine Notwendigkeit auftreten. Zufall wäre aber die Aufhebung des Satzes vom Grunde. In der subjektiven Betrachtung des Würfelwurfes ist die Verwendung des Begriffs des Zufalls deshalb zulässig, weil er die Grenze des für menschliches Wollen und Zwecksetzen, das ein ideales und kein reales Sein hat, Erreichbaren bezeichnet; er ist hier der Ausdruck der Lückenhaftigkeit menschlicher Voraussicht. Im objektiv betrachteten, anorganisch-physikalischen Geschehen gibt es aber keinen Zufall, kein Versagen des Realgrundes; dagegen ist das Versagen eines *Ideal*grundes bei versuchter Realisierung eine alltägliche Erscheinung, deren Bewertung als Zufall in der Reflexion durchaus zulässig sein kann. Zurückkommend auf den Würfelwurf, mit seinem «Kollektiv» von sechs Möglichkeiten und einer Notwendigkeit, stellt also die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht eine Analyse des Zufalls, sondern eine Analyse von Möglichkeit und Notwendigkeit dar. Die Wahrscheinlichkeit des Obenauferscheins einer der sechs Würfelflächen ist identisch mit der Häufigkeit ihres empirischen Erscheinens in Würfeln von sehr grosser Zahl. Diese Häufigkeit ist also a priori durch Rechnung, a posteriori durch empirische

Feststellung zu ermitteln. Wir haben offenbar statistische Gesetzlichkeit vor uns, mit ihrer besonderen Determinationsart, die eine andere ist, als die Determinationsart der strengen Gesetzlichkeit, die wir z. B. beim freien Fall des Würfels, als Gesetz seiner konstanten Fallbeschleunigung, feststellen.

Vom Standpunkt der Erkenntnistheorie aus gilt nun bezüglich der Vorgänge in Physik und Technik allgemein folgendes: Vor ablaufenden Vorgängen gibt es für den Menschen ein unmittelbares Bewusstsein der Wirklichkeit, nicht aber unmittelbar, sondern erst in der Reflexion ein Bewusstsein der Notwendigkeit, bzw. der Möglichkeit; in der Vorausbestimmung, bzw. Vorausberechnung von Vorgängen machen wir jedoch unter allen Umständen Gebrauch vom unmittelbaren Bewusstsein der Notwendigkeit, bzw. der Möglichkeit, indem wir die diesen Erkenntnismodi adäquaten Formulierungen der strengen bzw. der statistischen Gesetzlichkeit anwenden, natürlich gestützt auf frühere Erfahrung der Wirklichkeit, die aber gegen unsere Erkenntnismodi indifferent ist.

Die Tatsache, dass die Vorgänge in der Physik und in der Technik teils durch strenge Gesetzlichkeit, teils durch statistische Gesetzlichkeit vorausbestimmbar erscheinen, lässt sich einheitlich durch eine allgemein gemäss statistischer Gesetzlichkeit orientierte Determination begreifen; damit wird ausgesagt, alle Naturgesetze seien ausnahmslos als statistisch, d. h. mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit gültig, anzusehen, wobei die grösste, als sog. Gewissheit gegebene Wahrscheinlichkeit, bzw. Häufigkeit in empirischem Sinn, eben Vorgänge betrifft, deren Vorausberechnung auf Grund strenger Gesetzlichkeit ohne Erfolgversager bleibt¹⁾. Diese Auffassung lässt sich aus der Erörterung des mathematischen Wahrscheinlichkeitsbegriffes begründen. Bekanntlich definiert man die mathematische Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Ereignisses als den Quotienten aus der Anzahl der günstigen Fälle zur Anzahl der möglichen Fälle. Dem Verschwinden des Quotienten entspricht die Unmöglichkeit, seinem Werte 1 entspricht die Gewissheit, d. h. die Notwendigkeit des Eintreffens des Ereignisses; Werten zwischen 0 und 1 entsprechen Möglichkeiten des Eintreffens, die je nach der Höhe des Zahlenwertes als mehr oder weniger wahrscheinlich gelten. Dass der Uebergang von der Möglichkeit zur Notwendigkeit vollkommen stetig erfolgt, lässt sich mathematisch aus der Definitionsgleichung

$$w = \frac{g}{m} \text{ oder: } m \cdot w - g = 0,$$

in der w die Wahrscheinlichkeit, m die Zahl der möglichen, g die Zahl der günstigen Fälle bedeuten, folgern; w ist mathematisch die Unbekannte

¹⁾ In ähnlicher Weise lautet die Auffassung von *H. Poincaré*, dessen Werke uns seinerzeit viel Belehrung und Anregung boten; heute können wir seinem Manipulieren mit dem Begriff der Kontingenz, d. h. der Zufälligkeit, nicht mehr heifpflichten.

einer linearen Gleichung, die sowohl arithmetisch als auch geometrisch, d. h. als Gleichung einer Geraden mit Punkten als Wurzeln der Gleichung, in den möglichen Werten w von 0 bis 1, den Charakter vollkommener Stetigkeit hat, bei steigenden Werten w also den allmählichen Uebergang der Möglichkeit in die Notwendigkeit lehrt. Bedenkt man, dass die Notwendigkeit als positivster relationaler Modus, den höchsten Grad von Determination verlangt, da das Notwendige ja stets auf Grund von Etwas, d. h. von ausreichenden Bedingungen erst notwendig wird, so ist in der Möglichkeit offenbar die Unvollständigkeit derjenigen Bedingungen gegeben, die für das Notwendige und die ihm entsprechende strenge Gesetzlichkeit erforderlich sind. Der Möglichkeit und ihren reduzierten Bedingungen und der ihr entsprechenden statistischen Gesetzlichkeit liegt eben eine veränderte Determination zugrunde. Man kann auch sagen, in den Fällen blosser Möglichkeit, also mathematisch gesprochen für $w < 1$, gebe es Nebenumstände, die der Erfüllung der für Notwendigkeit, d. h. für $w = 1$, erforderlichen Bedingungen im Wege seien. Diese Darstellung, nach der strenge Gesetzlichkeit in der Physik und in der Technik durch Nebenumstände in nur statistische Gesetzlichkeit «abgeschwächt» werde, lässt sich durch die Erfahrung stützen, gemäss welcher sich kaum je Vorgänge beobachten lassen, in denen nur ein einziges Naturgesetz wirksam wäre. Schon im einfachsten Phänomengebiet, in der Mechanik fester Körper, zeigt sich der rein mechanische Vorgang als Abstraktion, da in Wirk-

lichkeit die Vorgänge stets von weitem Zustandsänderungen, z. B. thermischen, elektrischen usw. begleitet sind. Bleiben die Vorgänge bei genügend vielen und genügend objektiv verfolgten Beobachtungen von konstantem Ablauf, so lassen sich die in Betracht kommenden Naturgesetze einzeln erkennen oder gar teilweise eliminieren. Zeigen die Vorgänge aber gegenüber einem mit Recht zu erwartenden Normalverlauf Abweichungen, sog. Fehler, die statistisch feststellbar und in der Fehlerrechnung beurteilungsfähig sind, so liegt zweifelsfrei statistische Gesetzlichkeit neben oder über eventueller strenger Gesetzlichkeit vor. Jeder technische Fabrikationsprozess kennt diese Erscheinung, die die Grosszahlforschung wissenschaftlich bearbeitet und der industriellen Praxis damit nutzbar macht. Neben dieser mehr und mehr angewendeten Verwertung der Formulierung statistischer Gesetzlichkeit erinnern wir an das von uns in den Bänden 1926, 1929, 1936 und 1939 des Bulletin des SEV bearbeitete Problem des Belastungsausgleichs in Zentralanlagen, bzw. an die auf dieses Problem zurückführbaren technischen Anliegen.

Zur Zeit findet die rechnerische Verwertung der statistischen Gesetzlichkeit auf dem Gebiete der Technik noch lange nicht die ihr gebührende Beachtung; es mag dies vor allem dadurch begründet sein, dass der Techniker in der in Betracht fallenden Rechnungsweise immer noch vorzugsweise eine Analyse des Zufalls an Stelle einer Analyse von Notwendigkeit und Möglichkeit erblickt.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Neue Turbine des EW Luzern-Engelberg

Mitgeteilt vom EW Luzern-Engelberg

621.241.2

Im Kraftwerk Obermatt des EW Luzern-Engelberg wird zur Vergrösserung der Energieerzeugung eine alte Pelton-turbine von 3000 kW ersetzt. Diese Turbine wurde 1914 für ein Kraftwerk in Mexiko gebaut. Infolge des Krieges konnte sie nicht abgeliefert werden. Da sie ungefähr für die Verhältnisse von Obermatt passte, erwarb sie das EW Luzern-Engelberg im Jahre 1918 gelegentlichsweise. Sie war für ein Gefälle von 320 m, eine Wassermenge von 1,19 m³/s und eine Drehzahl von 500/min gebaut, während das Gefälle in Obermatt 300 m beträgt. Das hat zur Folge, dass der Wirkungsgrad des Aggregates verhältnismässig tief liegt. Ausserdem sind im Verlaufe der letzten 25 Jahre im Turbinenbau bedeutende Fortschritte erzielt worden.

Der Generator ist für 3700 kVA, Drehzahl 500/min gebaut.

Wiederholte Messungen an der zu ersetzenden Turbine ergaben einen maximalen Wirkungsgrad von 78,4% bei günstigsten Betriebsverhältnissen. Demgegenüber werden für neue Turbinen 87,5% garantiert, was besagt, dass mit der gleichen Wassermenge 11,6% mehr elektrische Energie erzeugt werden können. Auf Grund der in der Obermatt vorliegenden Betriebs- und Zuflussverhältnisse rechnet man mit einer Mehrproduktion von rd. 1 800 000 kWh, wovon rd. 650 000 kWh auf die Wintermonate November-April entfallen. Dieser Mehranfall an Energie kann mit 25 000 Fr. pro Jahr bewertet werden.

Die Kosten einer neuen Pelton-Turbine von max. 3400 kW Leistung, fertig montiert, belaufen sich auf rd. 130 000 Franken. Der Einbau einer solchen muss somit technisch und wirtschaftlich als lohnend bezeichnet werden.

Luftkraftwerke in Russland und den Vereinigten Staaten

[Nach Dimitry Stein, Elektrizitätswirtsch. Bd. 40 (1941), Nr. 16.]

621.311.24(47)(73)

Es ist wenig bekannt, dass Russland und die Vereinigten Staaten bereits zahlreiche Windkraftwerke aufweisen. In Russland ist es oft schwierig, entlegene Dörfer wirtschaftlich an ein grosses Verteilungsnetz anzuschliessen. Dann hilft man sich mit einem lokalen Kraftwerk. Bereits 1931 wurde auf der Krim das erste Luftkraftwerk dem Betrieb übergeben. Propeller und direkt gekuppelter Generator sind in einem torpedoartigen Gehäuse drehbar auf einem ca. 40 Meter hohen Gittermast montiert. Das dem Propeller entgegengesetzte Ende des Gehäuses ist mit dem Boden durch einen schräg abwärts führenden Ausleger verbunden. Das bodenseitige Ende des Auslegers hat ein Rad, das auf einer rund um den Gittermast führenden kreisförmigen Schienenbahn bewegbar ist. Sobald der Wind die Richtung ändert, erfolgt automatisch und elektromotorisch die entsprechende Bewegung des Auslegers und damit die Einstellung des Propellers in die neue Windrichtung. Die Einrichtung entwickelt bei 8 Meter Windgeschwindigkeit pro Sekunde 90 kW. 1936/37 wurde ein neuer Typ auf den Markt gebracht, der 75 kW bei 8 Meter Windgeschwindigkeit pro Sekunde leistet und der keinen Ausleger benötigt. Ein weiterer neuerzeitlicher Typ (Fig. 1) arbeitet in Verbindung mit einer Akkumulatoren-batterie, die aber nur für 11% der Netzspannung bemessen ist und mit dem Generator in Serie arbeitet. Wir haben also hier nicht einen «Ladung-Entladung-Betrieb», sondern die Batterie von 200 Ah dient vielmehr dazu, die Netzspannung zu halten. Der Propeller dieses vollautomatischen Typs entwickelt 10 kW bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s. Die