

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Gesammelte Werke

Die Prinzipien der Mechanik

Hertz, Heinrich

Leipzig, 1910

Abschnitt 2. Das Grundgesetz

[urn:nbn:de:bsz:31-288857](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-288857)

in der Zeit und in Verbindung mit anderen Systemen verlaufenden Erscheinungen derselben ihre außerzeitlichen Eigenschaften abzuleiten.

Abschnitt 2. Das Grundgesetz.

308 Wir betrachten es als die Aufgabe der Mechanik, aus den von der Zeit unabhängigen Eigenschaften materieller Systeme die in der Zeit verlaufenden Erscheinungen derselben und ihre von der Zeit abhängigen Eigenschaften abzuleiten. Zur Lösung dieser Aufgabe stellen wir der Mechanik das folgende und nur das folgende, der Erfahrung entnommene Grundgesetz zur Verfügung:

309 **Grundgesetz.** Jedes freie System beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in einer geradesten Bahn.

Systema omne liberum perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directissimam.

Bemerkungen dazu.

310 1. Das Grundgesetz enthält nach dem Wortlaut nur Aussagen, welche sich auf freie Systeme beziehen. Da aber jeder Teil eines freien Systems ein unfreies System ist, so lassen sich aus dem Grundgesetz auch Folgerungen ableiten, welche sich auf unfreie Systeme beziehen.

311 2. Die Gesamtheit der Folgerungen, welche aus dem Grundgesetz in Hinsicht freier Systeme und ihrer unfreien Teile abgeleitet werden können, bildet den Inhalt der Mechanik. Andere Ursachen der Bewegung, als welche aus dem Grundgesetz entspringen, kennt unsere Mechanik nicht. Die Kenntniss des Grundgesetzes ist nach unserer Auffassung desselben nicht allein notwendig zur Lösung der Aufgabe der Mechanik, son-

dern auch hinreichend zu diesem Zwecke, und dies ist ein wesentlicher Teil unserer Behauptung.

3. (Definition.) Jede Bewegung eines freien materiellen Systems oder seiner Teile, welche im Einklange mit dem Grundgesetz erfolgt, nennen wir eine natürliche Bewegung des Systems im Gegensatz zu den denkbaren und den möglichen Bewegungen desselben (257, 258). 312

Die Mechanik handelt also von den natürlichen Bewegungen der freien materiellen Systeme und ihrer Teile.

4. Wir betrachten eine Erscheinung der Körperwelt als mechanisch und damit als physikalisch erklärt, wenn wir sie erkannt haben als dennotwendige Folge des Grundgesetzes und der von der Zeit unabhängigen Eigenschaften materieller Systeme. 313

5. Die vollständige Erklärung der Erscheinungen der Körperwelt würde also erfordern: 1. ihre mechanische oder physikalische Erklärung; 2. eine Erklärung des Grundgesetzes; 3. die Erklärung der außerzeitlichen Eigenschaften der Körperwelt. Die zweite und dritte dieser Erklärungen aber rechnen wir nicht mehr in das Gebiet der Physik. 314

Berechtigung des Grundgesetzes.

Das Grundgesetz betrachten wir als das wahrscheinliche Ergebnis allgemeinsten Erfahrung. Genauer gesprochen ist das Grundgesetz eine Hypothese oder Annahme, welche viele Erfahrungen einschließt, welche durch keine Erfahrung widerlegt wird, welche aber mehr aussagt, als durch sichere Erfahrungen zurzeit erwiesen werden kann. Hinsichtlich ihres Verhaltens zum Grundgesetz lassen sich nämlich die materiellen Systeme der Natur in drei Klassen einteilen. 315

1. Die erste Klasse umfaßt solche Körpersysteme oder Teile solcher Körpersysteme, welche den Bedingungen der freien Systeme nach dem unmittelbaren Ergebnis der Erfahrung genügen, und auf welche das Grundgesetz ohne weiteres An- 316

wendung findet. Hierher gehören z. B. starre Körper, welche sich im leeren Raum, oder vollkommene Flüssigkeiten, welche sich in geschlossenen Gefäßen bewegen.

Aus den Erfahrungen an solchen Körpersystemen ist das Grundgesetz abgeleitet. In Hinsicht dieser ersten Klasse stellt es eine nackte Erfahrungstatsache dar.

- 317 2. Die zweite Klasse umfaßt solche Körpersysteme, welche dann, aber auch nur dann den Voraussetzungen des Grundgesetzes sich fügen, oder welche dann, aber auch nur dann dem Grundgesetze folgen, wenn der unmittelbaren sinnlichen Erfahrung gewisse angebbare Hypothesen über ihre Natur hinzugefügt werden.

a) Hierher gehören erstens diejenigen Systeme, welche der Bedingung der Stetigkeit in einzelnen Lagen nicht zu genügen scheinen, also diejenigen Systeme, in welchen Stöße im weitesten Sinne vorkommen. Hier genügt die im höchsten Grade wahrscheinliche Hypothese, daß alle Unstetigkeiten scheinbare sind und verschwinden, sobald es uns gelingt, hinreichend kleine Raum- und Zeitteile in Betracht zu ziehen.

b) Hierher gehören zweitens diejenigen Systeme, in welchen Fernkräfte, die Kräfte der Wärme, und andere, nicht immer vollständig verstandene Bewegungsursachen tätig sind. Wenn wir die greifbaren Körper solcher Systeme zur Ruhe bringen, so verharren sie nicht in diesem Zustande, sondern setzen sich, freigemacht, aufs neue in Bewegung. Sie folgen also scheinbar nicht dem Grundgesetz. Hier wird die Hypothese immer wahrscheinlicher, daß die greifbaren Körper nicht die einzigen Massen, ihre sichtbaren Bewegungen nicht die einzigen Bewegungen solcher Systeme sind, sondern daß, wenn wir die sichtbaren Bewegungen der greifbaren Körper zur Ruhe gebracht haben, noch andere, verborgene Bewegungen in den Systemen bestehen, welche sich dann, wenn wir die greifbaren Körper freigeben, diesen aufs neue mitteilen. Über diese verborgenen Bewegungen lassen sich, wie es scheint, stets solche Annahmen machen, daß die vollständigen Systeme dem Gesetze gehorchen.

In Hinsicht dieser zweiten Klasse von natürlichen Systemen trägt das Grundgesetz den Charakter einer teils sehr, teils

ziemlich wahrscheinlichen, aber stets, soweit wir sehen, einer zulässigen Hypothese.

3. Die dritte Klasse der Körpersysteme enthält solche Systeme, deren Bewegungen sich nicht ohne weiteres als notwendige Folgen des Grundgesetzes darstellen lassen, und für welche auch keine bestimmten Hypothesen angegeben werden können, durch welche sie unter das Gesetz gefügt würden. Hierher gehören z. B. alle Systeme, welche organische oder belebte Wesen enthalten. Unsere Unkenntnis aller hierher gehörigen Systeme ist aber so groß, daß auch der Beweis nicht geführt werden kann, daß solche Hypothesen unmöglich seien und daß die Erscheinungen an diesen Systemen dem Gesetz widersprechen. 318

Hinsichtlich dieser dritten Klasse von Körpersystemen trägt also das Grundgesetz den Charakter einer zulässigen Hypothese.

Anmerkung. Wenn es zulässig ist, anzunehmen, daß es in der Natur kein freies System gibt, welches dem Grundgesetz nicht gehorcht, so ist es zulässig, jedes System überhaupt anzusehen als ein solches freies System oder als Teil eines solchen freien Systems, so daß es dann in der Tat kein System in der Natur gibt, dessen Bewegungen nicht durch seine Zusammenhänge und das Grundgesetz bestimmt wären. 319

Einschränkung des Grundgesetzes.

In einem Körpersystem, welches dem Grundgesetz gehorcht, gibt es keine neue Bewegung, noch auch Ursachen neuer Bewegung, sondern nur die Fortsetzung der bisherigen Bewegung in gewisser einfacher Weise. Man kann kaum umhin, ein solches Körpersystem als ein lebloses oder totes zu bezeichnen. Wollte man also den Satz auf die gesamte Natur als das allgemeinste freie materielle System erweitern, und aussagen: die gesamte Natur verfolge mit gleichbleibender Geschwindigkeit eine geradeste Bahn, so würde man sich in Widerspruch setzen zu einem gesunden und natürlichen Ge- 320

fühl. Es erscheint daher vorsichtiger, die wahrscheinliche Gültigkeit des Satzes zu beschränken auf leblose Systeme. Es trifft dies zusammen mit der Aussage, daß der Satz, angewandt auf die Systeme der dritten Klasse (318), eine unwahrscheinliche Hypothese bilde.

- 321 Auf diese Erwägung ist indessen im folgenden keine Rücksicht genommen, und es ist auch nicht nötig, Rücksicht auf sie zu nehmen, weil, wie wir sahen, das Grundgesetz auch in Hinsicht dieser Systeme eine wenn auch nicht wahrscheinliche, so doch zulässige Hypothese bildet. Könnte der Nachweis geführt werden, daß die belebten Systeme dem Satz widersprechen, so würden diese dadurch aus der Mechanik ausscheiden. Zugleich würde dann, aber auch erst dann, unsere Mechanik eine Ergänzung erfordern in bezug auf diejenigen unfreien Systeme, welche zwar selber leblos, aber doch Teile solcher freier Systeme sind, welche belebte Wesen enthalten.

Nach allem, was wir wissen, könnte diese Ergänzung indessen dann auch geleistet werden, und zwar durch die Erfahrung, daß belebte Systeme auf unbelebte niemals einen anderen Einfluß auszuüben vermögen, als welcher auch durch ein unbelebtes System ausgeübt werden könnte. Darnach ist es möglich, jedem belebten System ein unbelebtes unterzuschieben, welches jenes in den gerade behandelten Problemen zu vertreten vermag, und dessen Angabe wir verlangen dürfen, um das gegebene Problem zu einem rein mechanischen zu machen.

- 322 **Anmerkung.** In der gewöhnlichen Darstellung der Mechanik wird ein ähnlicher Vorbehalt für überflüssig gehalten, und als sicher angenommen, daß die Grundgesetze die belebte wie die unbelebte Natur in gleicher Weise umfassen. Es ist dies in jener Darstellung auch erlaubt, da man den Formen der Kräfte, welche dort in die Grundgesetze eintreten, zunächst den weitesten Spielraum läßt und sich vorbehält, später und außerhalb der Mechanik zu erörtern, ob die Kräfte der belebten und der unbelebten Natur verschieden seien, und welche Eigenschaften etwa die einen vor den anderen auszeichnen. In unserer Darstellung ist größere Vorsicht geboten, da eine bedeutende Zahl von Erfahrungen,

welche sich zunächst nur auf die unbelebte Natur beziehen, in das Grundgesetz selbst schon einbezogen ist, und die Möglichkeit späterer Abgrenzung eine weit beschränktere ist.

Zerlegung des Grundgesetzes.

Die gewählte Fassung des Gesetzes schließt sich absichtlich an die Fassung von NEWTONS erstem Bewegungsgesetz unmittelbar an. Offenbar aber enthält diese Fassung drei von einander unabhängige Aussagen, nämlich die folgenden:

1. Ein freies System verfolgt keine anderen seiner möglichen Bahnen, als nur die geradesten Bahnen;
2. Verschiedene freie Systeme beschreiben in identischen Zeiträumen einander proportionale Längen ihrer Bahnen;
3. Die am Chronometer gemessene Zeit (298) wächst proportional der Bahnlänge irgend eines bewegten freien Systems.

Nur die beiden ersten Aussagen enthalten Erfahrungstatsachen von großer Allgemeinheit. Die dritte rechtfertigt nur unsere willkürliche Festsetzung der Zeitmessung und enthält nur die besondere Erfahrung, daß ein Chronometer in gewisser Hinsicht sich verhält wie ein freies System, obgleich es genau genommen kein solches ist.

Methode der Anwendung des Gesetzes.

Wird eine bestimmte Frage in Hinsicht der Bewegung eines materiellen Systemes gestellt, so muß von den folgenden drei Fällen notwendig einer eintreten:

1. Es kann die Frage so gestellt sein, daß das Grundgesetz zu einer bestimmten Beantwortung derselben ausreicht. In diesem Falle ist das Problem ein bestimmtes mechanisches Problem, und die Anwendung des Grundgesetzes gibt seine Lösung.

2. Es kann die Frage so gestellt sein, daß das Grundgesetz zu einer bestimmten Beantwortung derselben unmittelbar nicht

ausreicht, daß aber der Fragestellung eine oder mehrere Annahmen hinzugefügt werden können, durch welche die bestimmte Anwendung des Grundgesetzes möglich gemacht wird.

Ist nur eine einzige solche Annahme möglich, und setzen wir voraus, daß das Problem überhaupt ein mechanisches Problem sei, so muß diese Annahme auch zutreffend sein; das Problem kann also als ein bestimmtes mechanisches Problem betrachtet werden, und die Anwendung der hinzugefügten Annahme und des Grundgesetzes gibt die Lösung.

Sind mehrere Annahmen möglich, und setzen wir voraus, daß das Problem überhaupt ein mechanisches Problem sei, so muß eine dieser Annahmen zutreffen; das Problem kann alsdann als ein unbestimmtes mechanisches Problem betrachtet werden, und die Anwendung des Grundgesetzes auf die verschiedenen möglichen Annahmen gibt die möglichen Lösungen.

- 326 **3.** Es kann die Frage so gestellt sein, daß das Grundgesetz zur Beantwortung nicht ausreicht, und daß auch keine Annahmen hinzugefügt werden können, durch welche die Anwendung des Grundgesetzes möglich gemacht würde. In diesem Falle muß in den Voraussetzungen der Fragestellung selbst ein Widerspruch liegen gegen das Grundgesetz oder gegen die Eigenschaften der Systeme, auf welche sie sich bezieht; die gestellte Frage kann alsdann überhaupt nicht als ein mechanisches Problem betrachtet werden.

Angenäherte Anwendung des Grundgesetzes.

- 327 **Bemerkung.** Wenn aus den gegebenen Bedingungsgleichungen eines Systems zusammen mit dem Grundgesetze Gleichungen folgen, welche genau die Form der Bedingungsgleichungen haben, so ist es für die Bestimmung der Bewegung des Systems gleichgültig, ob wir allein jene ursprünglichen oder neben und statt derselben die abgeleiteten Bedingungsgleichungen als Darstellungen des Zusammenhanges des Systems betrachten.

Denn wenn wir auch aus der Reihe der ursprünglichen Bedingungsgleichungen alle diejenigen streichen, welche schon analytisch aus den übrigen und aus den abgeleiteten Bedin-

gungsgleichungen folgen, so genügen doch den jetzt übrig bleibenden ursprünglichen und abgeleiteten Gleichungen sicherlich nur mögliche Verrückungen, wenn auch im allgemeinen nicht alle Verrückungen, welche nach den ursprünglichen Gleichungen möglich waren. Eine Bahn, welche unter der ursprünglichen größeren Mannigfaltigkeit eine geradeste war, wird es um so mehr unter der jetzigen beschränkten Mannigfaltigkeit sein. Und da sich die natürlichen Bahnen unter dieser beschränkteren Mannigfaltigkeit finden müssen, so sind die natürlichen Bahnen die geradesten unter denjenigen, welche nach den jetzigen Bedingungsgleichungen möglich sind. Dies ist aber die Behauptung.

Folgerung 1. Gewinnen wir aus der Erfahrung die 328
 Kenntnis, daß ein System gewissen Bedingungsgleichungen tatsächlich genügt, so ist es für die Anwendung des Grundgesetzes vollständig gleichgültig, ob jene Zusammenhänge ursprüngliche, d. h. physikalisch nicht weiter erklärbare (313) sind, oder ob es Zusammenhänge sind, welche sich darstellen lassen als die notwendige Folge anderer Zusammenhänge und des Grundgesetzes, welche also eine mechanische Erklärung zulassen.

Folgerung 2. Gewinnen wir aus der Erfahrung die 329
 Kenntnis, daß gewissen Bedingungsgleichungen eines materiellen Systems nur angenähert, nicht aber genau genügt werde, so ist es gleichwohl zulässig, jene Bedingungsgleichungen als angenäherte Darstellungen eines wahren Zusammenhanges bestehen zu lassen und durch Anwendung des Grundgesetzes auf sie angenäherte Aussagen über die Bewegung des Systems zu gewinnen, obwohl es unzweifelhaft feststeht, daß jene angenäherten Bedingungsgleichungen nicht einen ursprünglichen, stetigen, gesetzmäßigen Zusammenhang darstellen, sondern nur als die angenäherte Folge unbekannter Zusammenhänge und des Grundgesetzes angesehen werden können.

Anmerkung. Auf der vorstehenden Folgerung beruht jede 330
 praktische Anwendung unserer Mechanik. Denn bei allen Zusammenhängen zwischen grobsinnlichen Massen, welche die Physik entdeckt und die Mechanik verwertet, lehrt eine hin-

reichend genaue Untersuchung, daß sie nur angenäherte Gültigkeit haben und daher nur abgeleitete Zusammenhänge sein können. Die letzten, ursprünglichen Zusammenhänge sind wir gezwungen in der Welt der Atome zu suchen, und sie sind uns unbekannt. Aber auch wenn sie uns bekannt wären, müßten wir auf ihre Benutzung zu praktischen Zwecken verzichten und verfahren, wie wir verfahren. Denn die wirkliche Beherrschung jedes Problems erfordert stets die Beschränkung der Betrachtung auf eine äußerst kleine Zahl von Variablen, während das Zurückgehen auf die Zusammenhänge der Atome die Einführung einer unermesslichen Zahl von Veränderlichen nötig machen würde.

Daß wir aber das Grundgesetz so anwenden dürfen, wie wir es anwenden, ist nicht als eine neue Erfahrung neben dem Grundgesetz anzusehen, sondern ist, wie wir sahen, eine notwendige Folge eben dieses Gesetzes selbst.

Abschnitt 3. Bewegung der freien Systeme.

Allgemeine Eigenschaften der Bewegung.

I. Bestimmtheit der Bewegung.

- 331 **Lehrsatz.** Eine natürliche Bewegung eines freien Systems ist eindeutig bestimmt durch die Angabe der Lage und der Geschwindigkeit des Systems zu einer bestimmten Zeit.

Denn durch die Lage und die Richtung der Geschwindigkeit ist die Bahn des Systems eindeutig bestimmt (161); die konstante Geschwindigkeit des Systems in seiner Bahn ist durch die Größe der Geschwindigkeit zur Anfangszeit gegeben.

- 332 **Folgerung 1.** Durch den gegenwärtigen Zustand (261) eines freien Systems sind seine zukünftigen Zustände und seine vergangenen Zustände zu allen Zeiten eindeutig bestimmt.

- 333 **Folgerung 2.** Könnte man in irgend einer Lage die Geschwindigkeit eines Systems umkehren (was niemals gegen die