Das Empfindungsleben der Pflanzen.

Vortrag, gehalten am 5. Nov. 1919 in der Gießener Hochſchulgeſellſchaft von Profeſſor Dr. **Adolf Hanſen** in Gießen.

Das Verſtändnis deſſen, was eine Pflanze eigentlich iſt, wird dadurch nicht unerheblich erſchwert und verdunkelt, daß man im allgemeinen die Pflanzen nicht als ſich ſelbſt genügende Naturweſen betrachtet, ſondern als Material für eine Reihe alltäglicher menſchlicher Zwecke.

Die Kulturpflanzen dienen unſerer Ernährung, eine Kartoffelpflanze oder Mohrrübe erſcheint als etwas Ordinäres und keines anderen Intereſſes wert. Wenn gegenwärtig viele Leute auch dieſe Dinge ſchätzen gelernt haben, ſo geſchah das nicht aus wiſſenſchaftlichem Intereſſe, ſondern ebenfalls des gemeinen Nutzens wegen. Auch unſere Waldbäume ſcheinen nur beſtimmt zu ſein, unſeren Ofen zu heizen, und wenn die Gartenkunſt höheren Zielen zu dienen ſcheint, ſo braucht man nur zu beachten, wie ſogar berufsmäßige Gärtner mit den Pflanzen umſpringen, um zu erkennen, daß auch hier die Pflanze als bloßes Mittel für praktiſche Zwecke angeſehen wird, die man wie totes Material behandelt. Das Bewußtſein, daß die Pflanze etwas Lebendiges und ein überaus empfindſames Lebeweſen iſt, ging immer mehr verloren, obwohl es uns aus dem Altertum vererbt wurde. Den Griechen erſchien das ganze Weltall beſeelt, alſo auch die Pflanze. In jedem Baum lebte eine Dryade und man ſcheute ſich, ihn zu verſtümmeln; im Schilf der Flußufer wohnten die Nymphen; und die Beſeelung der Pflanzen war ja auch verſtändlich, ſollten ſie doch, nach den Sagen, zum Teil durch die Macht der Götter verwandelte Menſchenkinder ſein, wie die Narziſſe, der Lorbeer u. a. Das ſind aber mythologiſche Vorſtellungen, die, ſo poetiſch ſie ſind, hier nicht aufgefriſcht werden ſollen. Denn auch von philoſophiſchem Denken des Altertums ſind bemerkenswerte Anregungen auf uns gekommen. Ariſtoteles, ein Naturforſcher von gründlicher Kenntnis der Naturgegenſtände, deren ganzes Weſen er, im Gegenſatz zu der ſpäteren bloß beſchreibenden Wiſſenſchaft zu ergründen ſuchte, hatte nicht nur die Tiere, ſondern auch die Pflanzen als beſeelt

bezeichnet, und damit das biologiſche Reich von der unbelebten Natur ſcharf unterſchieden. Es handelte ſich aber nicht mehr um einen mythologiſchen, ſondern um einen wiſſenſchaftlichen Begriff zur Erklärung von wirklich beobachteten Naturerſcheinungen. Ariſtoteles verſuchte als Urſache des Lebens ein einheitliches, wirkendes Prinzip aufzuſtellen, welches als Grund für die merkwürdigen und vielſeitigen Äußerungen des Lebens angeſehen wurde. Er nannte dieſes Prinzip Seele, jedoch in einem anderen Sinne, wie wir dies gewöhnlich in der Gegenwart tun. Seine Vorſtellung hatte eine gewiſſe Ähnlichkeit mit dem ſpäteren Glauben an eine Lebenskraft. Auch die Pflanzen haben danach eine Seele, aber von anderer Art wie die Tiere. Dieſe allein nämlich ſollten eine empfindende Seele beſitzen, während den Pflanzen nur eine ernährende Seele zugeſchrieben wurde. Wenn dieſe Anſchauung als Anbahnung eines Fortſchritts erſcheint, ſo wurde die dogmatiſche Aufſtellung qualitativ verſchiedener Seelenformen ſpäter für die Biologie verhängnisvoll, weil ſie zu der ſcharfen ſyſtematiſchen Trennung von Pflanzen und Tierreich führte, die eine allgemeine Biologie lange nicht zuſtande kommen ließ. Zuerſt aber verſchwand dieſe Anſchauung des Altertums überhaupt ganz, als im 16. Jahrhundert durch Galiläi und Descartes die mechaniſche Naturauffaſſung die Geiſter ergriff. Descartes ſah den Tierkörper als Maſchine an, die von phyſikaliſchen Kräften bewegt wurde. Dem Menſchen wurde zwar noch eine immaterielle Seele als Trägerin der Vorſtellungen, des Verſtandes und der Sprache zugeſchrieben, aber die Tiere hatten keine Seele mehr, umſo weniger die Pflanzen.

Als im 17. Jahrhundert durch den Italiener Malpighi und den Engländer Grew zu gleicher Zeit auf Grund der erſten ſorgfältigen mikroſkopiſchen Unterſuchungen die Pflanzenanatomie begründet wurde, als man dabei entdeckte, daß die Pflanzen einen überaus merkwürdigen Bau aus kleinen Elementarteilen beſäßen, die man Zellen nannte, da wurde es zwar klar, daß die Pflanze in ihrem Aufbau nicht die geringſte Ähnlichkeit mit einer Maſchine habe, aber die Anatomie gab andererſeits auch nicht den geringſten Anlaß, in den Pflanzen etwas wie eine Seele annehmen zu können. Als dann im 18. Jahrhundert Linné durch ſein ungewöhnliches Talent, die Naturobjekte zu ordnen und zu katalogiſieren eine unangreifbare Autorität in der Naturgeſchichte wurde, da wurde jedem Gedanken an eine Beſeelung der Pflanzen dogmatiſch ein Ende gemacht. Linné war kein Forſcher im Sinne des Ariſtoteles oder Malpighi. Er glaubte die Natur auf ratio-

naliſtiſchem Wege begreifen zu können. Ohne tiefere philoſophiſche Anlage, ſtellte er ganz im ſcholaſtiſchen Geiſte ſeine Dogmen auf. Er verteilte die ſämtlichen Naturgegenſtände in drei große Fächer, ſchrieb auf das eine Mineralreich, das zweite Pflanzenreich, auf das dritte Tierreich und unterſchied dieſe drei angeblichen Naturreiche in folgender Weiſe ſcharf voneinander. Er ſagte: Die Geſteine wachſen. Die Pflanzen wachſen und leben. Die Tiere wachſen, leben und empfinden. — Damit war den Pflanzen das Empfindungsleben abgeſprochen. Linné verſtand es leider nicht, die hervorragenden anatomiſchen Entdeckungen von Malpighi zu ſchätzen. Indem er auch die Gelehrten katalogiſierte, zählte er dieſen und andere bedeutende Forſcher zu den Botanophilen, zu den Dilettanten, und war, weil ihm die Geſchicklichkeit des Beobachters fehlte, ein Verächter des Mikroſkops. Der merkwürdige Aufbau der Pflanzen aus Zellen hätte ſonſt wohl dahin führen können, die rein mechaniſche Betrachtung des Organismus kritiſcher zu beurteilen, aber das Pflanzenſammeln und Pflanzentrocknen hatte nach Linnés Erfolgen jede andere Forſchungsrichtung in den Hintergrund gedrängt. Namentlich konnte der Gedanke der Entwicklung, der das Weſen aller Organismen in erſter Linie, im Gegenſatz zur toten Natur bezeichnet, nicht aufkommen, weil man ſich in der Botanik nur mit toten Pflanzen befaßte, und die ſich mehrenden Magazine der Pflanzenmumien, Herbarien genannt, von einer Erkenntnis des Lebens ganz ablenkten und die Pflanzen zu bloßen Objekten für die Kunſt der Einteilung gelten ließ. Auch als in der tieriſchen Biologie die von Leibniz in den Vordergrund geſtellte Philoſophie der Entwicklung ſich Bahn brach, blieb die Botanik ganz zurück, weil ſie die Methode des Malpighi nicht fortgebaut hatte. Während die Embryologie bei den Tieren, die mit den Studien und Beobachtungen Harveys begonnen hatte, immer größeres Intereſſe erlangte, wußte man in der Botanik von einer Embryologie überhaupt nichts, und der Entwicklungsgedanke wurde ganz und gar von der Linnéſchen Botanik beſeitigt. Denn dieſe hatte, ſoweit ſie ſich überhaupt mit ſolchen Gedanken befaßte, von Bonnet und Haller die Präformationslehre übernommen, nach der es eine Entwicklung nicht gab. Alles war von Anfang an „präformiert“ und trat nur langſam in die wirkliche Erſcheinung, d. h. wurde dem menſchlichen Auge erſt allmählich ſichtbar. Das war jedoch keine Entwicklungsvorſtellung im heutigen Sinne, nach der die Organiſation mit einer Neubildung beginnt, ſondern es gab nur ein Wachstum, ein Größerwerden des ſchon von Uranfang vorhandenen unendlich Kleinen.

Dieſe Vorſtellung glich ungefähr der Tatſache, daß ein Wanderer auf der Landſtraße in der Ferne einen dunklen Punkt auftauchen ſieht, der ſeine Natur zunächſt nicht erkennen läßt, beim Näherkommen immer deutlicher ſehen läßt, daß es eine Poſtkutſche mit vier Pferden, Kutſcher, Reiſenden und Gepäckſtücken auf dem Dache iſt. Aber dieſe wegen der mikroſkopiſchen Kleinheit aller Anlagen an ſich nicht ganz ſinnloſe Theorie der Evolution geſtaltete man nun zugunſten einer Fortdauer der Entwicklung zu der ſogenannten Einſchachtelungstheorie um, wonach die fortdauernde Erzeugung neuer Lebeweſen dadurch erklärt wurde, daß ſie alle ſeit Erſchaffung der Welt ineinander eingeſchachtelt geweſen ſeien, wie man von einer größeren Schachtel ausgehend immer kleinere ineinander einpackt. Der Schöpfer hatte nicht nur den Adam und die Eva geſchaffen und ihnen die Fähigkeit der Fortpflanzung verliehen, ſondern ſchon beim erſten Menſchenpaare ſteckte immer ein Menſch in dem anderen, alſo im erſten Menſchen die ganze Menſchheit, die ſich allmählich bis in fernſte Zeiten herauswickeln ſollte. Mit Recht bemerkt Goethe, daß dieſe Form der Präformation den Gebildeten widerlich erſcheine. Die heftige Bekämpfung der Präformationslehre durch Kaſpar Friedrich Wolff war zwar gut begründet, hatte aber keinen Erfolg, weil die von Wolff an die Stelle geſetzte mechaniſche Theorie der Entwicklung auf ganz unzureichender Beobachtung beruhte und daher nicht durchſchlagend ſein konnte. Aber das Leben zeigt ſich nicht nur in dem Entwicklungsprozeß, ſondern viel wechſelvoller in der Tätigkeit, der Arbeitsleiſtung des Entwicklungsproduktes, d. h. des fertigen Organismus. Hier lag nun in der faſt ausſchließlichen Beſchäftigung mit toten Herbariumspflanzen der Mangel jeden Fortſchrittes. Es fehlte an Beobachtung der Tätigkeit der Pflanzenorgane, und die Urſache dieſes Mangels war die fehlende Überzeugung und Einſicht, daß an den Pflanzenorganen überhaupt etwas anderes als die Form zu beobachten ſei. Als der Holländer Ingenhouſz, der als Arzt und Naturforſcher auch phyſikaliſche und phyſiologiſche Verſuche anſtellte, die Bedeutung der Blätter als Ernährungsorgane der Pflanzen zum erſtenmal aufdeckte, verſtand man dieſe Tatſache in der Botanik gar nicht und überſah damit auch die übrigen Eigenſchaften dieſer Organe, z. B. ihre Bewegung bei Lichtwechſel, vollſtändig.

Zwar hatte ſogar Linné ſchon die Blattbewegungen der Mimosa pudica und der merkwürdigen Inſektivore Dionaea muscipula beobachtet, aber daß es ſich hier um Empfindlichkeit handelte, die ein allgemeiner Ausdruck des Lebens ſei, war ihm nicht in den Sinn ge-

kommen. Vielmehr hielt man ſolche Vorkommniſſe für Abweichungen von der Regel der Natur, denen man mehr Abneigung als Intereſſe entgegenbrachte. Nicht Fachbotaniker waren es, welche zuerſt dieſe inzwiſchen vermehrten Tatſachen ſtudierten und wiſſenſchaftlich zu erforſchen ſtrebten, ſondern Goethe, Humboldt, Schopenhauer und ſpäter nochmals ein Philoſoph: Fechner, haben zuerſt das Gebiet des Empfindungslebens der Pflanze zu verſtehen geſucht. Da ſie aber keine Fachleute waren, dauerte es bis in die neueſte Zeit hinein, bis die Botanik ſelbſt dieſen Anregungen Folge leiſtete und ſie durch eigene Entdeckungen erweiterte.

Inzwiſchen war 1840 in der Botanik eine der wichtigſten Entdeckungen für das Verſtändnis des Lebens überhaupt von Hugo v. Mohl gemacht worden, nämlich die Entdeckung, daß die Zelle nicht, wie man bis dahin annahm, einen Inhalt beſitze, der einer wäſſrigen Löſung gleich zu achten ſei, ſondern daß die Zelle eine lebendige Subſtanz enthalte, welcher Mohl den Namen Protoplasma gab. Dieſe Subſtanz beſitzt neben anderen eigentümlichen Eigenſchaften diejenige, welche man bei den Tieren ſchon als Reizbarkeit bezeichnet hatte. Das Protoplasma, eine farbloſe, ſchleimähnliche kolloidale Subſtanz, iſt trotz aller Unſcheinbarkeit ſeiner äußeren Erſcheinung, nicht nur ganz allein der Träger des Lebens der Zelle, ſondern auch des aus den Zellen ſich aufbauenden Pflanzenkörpers und ſeiner Organe. Dieſe Entdeckung bildete das fehlende Zwiſchenglied zum Verſtändnis der Lebensvorgänge als Wirkungen chemiſch-phyſikaliſcher Kräfte. Der von Descartes aufgeſtellten Maſchinentheorie der Organismen hatte dieſe Einſicht gefehlt. Bei einer Maſchine greifen die phyſikaliſchen Kräfte in beſtimmter Weiſe an vorhandenen Strukturteilen an. Es war aber nicht einzuſehen, wie das bei der Pflanze, die nicht aus Rädern und Hebeln, ſondern aus den Zellen und ihren Umwandlungen, alſo aus Bläschen, Faſern und Röhren zu beſtehen ſchien, möglich ſein ſollte, um die Bewegungen des Lebens durch äußere Kräfte hervorzurufen. Die Vorſtellungen darüber waren gänzlich roh und unentwickelt geweſen und blieben es noch eine zeitlang. So war man noch in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts der Anſicht, die Wurzel ſinke, durch die Schwere der Erde herabgezogen, durch ihr bloßes Gewicht in den Boden. Damit war jedoch nicht einzuſehen, warum eine hervorbrechende Keimwurzel eine Krümmung macht, um ihre Stellung zu erreichen, warum Stengel und Blätter durch das Licht, und zwar in entgegengeſetzter Richtung bewegt werden können. Beim Studium der Zelle und ihres Protoplasmas erkannte man erſt, daß

durch die äußeren Naturkräfte, Licht, Schwerkraft u. a. eine Eigenſchaft des Protoplasmas ausgelöſt werde, die man Reizbarkeit nannte, daß dieſe Kräfte im Protoplasma molekulare Bewegungen veranlaſſen, die erſt zur Maſſenbewegung der Organe führen. Während bei einer Maſchine die Kräfte nur in eine beſtimmte Richtung geleitet werden, um eine Arbeit zu leiſten, ermöglicht die Reizbarkeit dem Protoplasma die Kräftewirkung umzuſetzen in einen ganz anderen Vorgang, den wir Empfindung nennen.

Das Weſen dieſer Empfindung iſt aber kaum in den erſten Anfängen verſtändlich. Aber es wandelte ſich nun die Descarteſche Anſicht von einer unmittelbaren Tätigkeit phyſikaliſcher Kräfte im Pflanzenkörper in die Lehre von den Reizerſcheinungen um. Man kann das Leben als eine Summe von Reizerſcheinungen definieren. Obwohl in der Botanik Sachs und Pfeffer als die Begründer dieſes Fortſchritts genannt werden, ſo iſt dieſe Vorſtellungsweiſe doch zuerſt auch wieder von einem Philoſophen, nämlich von Schopenhauer, ausgeſprochen worden. In ſeiner Schrift „über den Willen in der Natur" (1836) findet ſich ein kurzes Kapitel betitelt „Pflanzenphyſiologie" (Reclam, Werke III, S. 267). Dort ſchreibt er: „Während das Leben der Tiere noch eine ganz andere Sphäre hat, ſo geht hingegen das ganze Leben der Pflanze ausſchließlich nach Reizen vor ſich. Alle ihre Aſſimilation, Wachstum, Hinſtreben der Krone nach dem Licht, mit den Wurzeln nach beſſerem Boden, ihre Befruchtung, Keimung uſw. iſt Veränderung auf Reize. Bei einzelnen wenigen Gattungen kommt hierzu noch eine eigentümliche ſchnelle Bewegung, die ebenfalls nur auf Reize erfolgt, wegen welcher ſie jedoch ſenſitive Pflanzen genannt werden. Bekanntlich ſind dies hauptſächlich Mimosa pudica, Hedysarum gyrans und Dionaea muscipula. Das Beſtimmtwerden ausſchließlich und ohne Ausnahme durch Reize iſt der Charakter der Pflanze. Mithin iſt Pflanze jeder Körper, deſſen eigentümliche, ſeiner Natur angemeſſene Bewegungen und Veränderungen alle Mal und ausſchließlich durch Reize erfolgen." (Vgl. Hanſen, Ernährung der Pflanzen, 2. Aufl., Vorrede.)

„Auf der niedrigeren Stufe der Pflanzenwelt, wie auch des vegetativen Lebens im tieriſchen Organismus, vertritt nun, als Beſtimmungsmittel der einzelnen Äußerungen des überall vorhandenen Willens und als das Vermittelnde zwiſchen der Außenwelt und den Veränderungen eines ſolchen Weſens, Reiz und zuletzt im Unorganiſchen phyſiſche Einwirkung überhaupt, die Stelle der Erkenntnis, und ſtellt ſich, wenn die Betrachtung, wie hier, von oben herab ſchreitet, als ein Surrogat der Er-

kenntnis, mithin als ein ihr bloß Analoges dar. Wir können nicht ſagen, daß die Pflanzen Licht und Sonne eigentlich wahrnehmen: allein wir ſehen, daß ſie die Gegenwart oder Abweſenheit derſelben verſchiedentlich ſpüren, daß ſie ſich nach ihnen neigen und wenden, und wenn freilich meiſtenteils dieſe Bewegung mit der ihres Wachstums zuſammenfällt, ſo iſt ſie darum doch nicht weniger, als eben dieſe, vorhanden. Und die Richtung jenes Wachſens wird durch das Licht ebenſo, wie eine Handlung durch ein Motiv, beſtimmt und planmäßig modifiziert, desgleichen bei den rankenden, ſich anklammernden Pflanzen, durch die vorgefundene Stütze, deren Ort und Geſtalt. Weil alſo die Pflanze überhaupt Bedürfniſſe hat, wenngleich nicht ſolche, die den Aufwand eines Senſoriums und Intellekts erforderten; ſo muß etwas Analoges an die Stelle treten, um den Willen in den Stand zu ſetzen, wenigſtens die ſich ihm darbietende Befriedigung zu ergreifen, wenn auch nicht ſie aufzuſuchen. Dieſes nun iſt die Empfänglichkeit für Reiz, deren Unterſchied von der Erkenntnis ich ſo ausſprechen möchte, daß bei der Erkenntnis das als Vorſtellung ſich darſtellende Motiv und der darauf erfolgende Willensakt deutlich voneinander geſondert bleiben, und zwar um ſo deutlicher, je vollkommener der Intellekt iſt; — bei der bloßen Empfänglichkeit für Reiz hingegen das Empfinden des Reizes von dem dadurch veranlaßten Wollen nicht mehr zu unterſcheiden iſt und beide in eins verſchmelzen."

Wenn dieſe Anſchauung nicht alſobald in die Pflanzenphyſiologie eindrang, ſo lag das weſentlich daran, daß dieſe Betrachtungsweiſe zu einſeitig philoſophiſch formuliert war, und es noch zu ſehr an einem gründlichen Studium der Reizerſcheinungen ſelbſt fehlte, von denen Schopenhauer nur wenige Beiſpiele kannte. Aus demſelben Grunde hat auch das Buch eines ſpäteren Philoſophen, Fechners Buch „Nanna oder über das Seelenleben der Pflanze" (1848), trotz alles Aufſehens, welches dasſelbe machte, doch naturwiſſenſchaftlich keine treibende Kraft gehabt. Fechner ſtellte zwar, was in den botaniſchen Lehrbüchern damals ganz vermißt wurde, die nun ſchon anſehnlichere Zahl bekannter Reizerſcheinungen zuſammen, aber während Schopenhauer nur ſeinen „Willen" als Fundament des Lebens anſah, bemühte ſich Fechner, die Reizvorgänge ſummariſch wieder von einer Pflanzenſeele abzuleiten, die der Tierſeele analog ſein ſollte. Fechner ſchrieb der Pflanze Triebe und Inſtinkte zu, welche die Erſcheinungen ihres Lebens beherrſchen ſollten. Es war alſo im weſentlichen dieſe Annahme eines vitalen Lebensprinzips nur eine Rückkehr zu Ariſtoteles, mochte auch die Anführung einzelner, aber ohne Zuſammenhang behandelter Tatſachen,

moderner erſcheinen. Irgendwelcher Fortſchritt war durch dieſe bloße Privatmeinung Fechners nicht gewonnen.

Auch wenn die Biologie nicht glaubte, daß unmittelbar aus der Wirkungsweiſe der phyſikaliſchen Kräfte der unbelebten Natur ſich das Leben verſtehen laſſe, ſo konnte ſie ſich, nach den neueren Ergebniſſen der empiriſchen Forſchung immer weniger dazu verſtehen, als Grund des Pflanzenlebens eine verborgene Urſache anzunehmen, mochte man ſie nun als Seele oder mit einem ſcheinbar naturwiſſenſchaftlichen Ausdruck als „Lebenskraft" bezeichnen, welchen Ausdruck auch Schopenhauer, wenn auch nicht im Sinne der eigentlichen Vitaliſten wie Blumenbach u. a. noch verteidigt. Es war der Biologie nicht darum zu tun, in erſter Linie das Leben als eine Geſamterſcheinung, ſondern in ſeinen einzelnen ſehr merkwürdigen Äußerungen zu begreifen, und dieſes Studium führte zu der Überzeugung, daß ſo wenig in der unbelebten Natur eine Erſcheinung auf eine einzige Urſache zurückgeführt werden kann, es auch nicht möglich iſt, daß das Leben eine einzige Urſache habe, ihm ein einziges Prinzip zugrunde liegt.

So wurde denn das Studium der Reizvorgänge bei den Pflanzen den Philoſophen ganz abgenommen und von den Botanikern, zuerſt beſonders von Sachs und Pfeffer methodiſch angegriffen, was aber erſt Ende der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts begann. Daher ſtehen wir alſo bei den Reizerſcheinungen der Pflanzen heute noch vor einem ganz neuen Gebiet mit allen ſeinen Schwierigkeiten. Die Aufgabe iſt es nicht nur, naturphiloſophiſch, ſondern mit naturwiſſenſchaftlicher, d. h. phyſikaliſch-chemiſcher Methodik feſtzuſtellen, was die Reizbarkeit ſei und wie dieſe Eigenſchaft zur Übertragung von äußeren Kräftewirkungen auf den Organismus wirke. Es genügt dazu natürlich nicht, die Reizvorgänge, namentlich Bewegungen der verſchiedenen Organe empiriſch zu beobachten und zu beſchreiben, ſondern es iſt zunächſt eine weſentlich analytiſche Denkarbeit nötig, welche verſucht, die hinter den Tatſachen verborgenen mechaniſchen Vorgänge zu verſtehen, alſo theoretiſch zu verarbeiten.

Immer von neuem geſchieht der Verſuch, die Lebensvorgänge auf einem anderen Wege zu verſtehen, nämlich durch eine Lehre, die man Vitalismus genannt hat und die, obwohl ſeit Ariſtoteles in verſchiedenen Formen auftretend, doch immer den Grundgedanken vertritt, das Leben werde nicht von bekannten Naturkräften beherrſcht, ſondern von einer beſonderen zentralen, aber nicht erkennbaren Urſache, „einer Lebenskraft", welche Dubois als Magd für alles nicht unrichtig be-

zeichnete. Die Naturwiſſenſchaft kann dieſer Anſicht keinen wiſſenſchaftlichen Wert zuerkennen. Will man Kants Ausſpruch, daß in jeder Naturwiſſenſchaft nur ſo viel wahre Wiſſenſchaft ſtecke, als Mathematik darinnen ſei, nicht glatt annehmen, ſo kann man ihn jedenfalls ſo verſtehen, daß in jeder Naturwiſſenſchaft nur ſo viel wahre Wiſſenſchaft ſteckt, als ſie nicht mit der Mathematik in Widerſpruch ſteht. Und das tut der Vitalismus, denn für die Lebenskraft gibt es keinen Begriff der Größe und ſie läßt ſich nicht meſſen oder mathematiſch behandeln, verdient alſo nicht den Namen Kraft. Wir wollen uns hiermit nicht mit dem Vitalismus in einen Streit einlaſſen. Das wäre ganz unfruchtbar, da die Lebenskraft zu den Antinomien der Vernunft gehört, die nicht lösbar ſind. Aber eines möge doch gerade an dieſer Stelle hervorgehoben werden, was ſchon der Pflanzenphyſiologe Julius Sachs in ſeinen Vorleſungen über Pflanzenphyſiologie (2. Aufl. S. 623) ausführte: „Es würde einen ſehr niedrigen Horizont wiſſenſchaftlicher Bildung verraten, in dem Vergleich des Organismus mit einer Maſchine eine Herabſetzung des Organismus ſehen zu wollen, denn in einer Maſchine, wenn auch nur von Menſchenhänden gemacht, liegt das Reſultat tiefſten und ſorgfältigſten Nachdenkens und hoher Intelligenz, ſoweit es ihre Struktur betrifft, und wirkſam ſind in ihr ſchließlich dieſelben Naturkräfte, welche in anderer Kombination die Lebenskräfte eines Organs darſtellen. Die Vergleichung des organiſchen Lebens mit unorganiſchen Prozeſſen kann nur dann als Erniedrigung des erſteren gelten, wenn man ſo töricht geweſen iſt, die letzteren als etwas Niedriges und Gemeines aufzufaſſen, während die unbegreifliche Größe und Durchgeiſtigung der Natur in beiden Fällen ſich gleichartig offenbart.“ Trotz dieſer Darlegung von Sachs erklärt der Vitalismus immer von neuem, daß er die phyſikaliſch-chemiſche Methode zur Erforſchung des Lebens für minderwertig hält. Nun ſind aber die phyſikaliſchen Geſetze durch die Gedankenarbeit desſelben Menſchengehirns aufgeſtellt, welches auch die Lebenskraft erdacht hat. Für die Geringſchätzung und Wertbeſtimmung des Mechanismus als minderwertige Anſchauung iſt alſo gar kein Grund gegeben.

Wir haben uns nun darüber geeinigt, daß die phyſikaliſchen Kräfte, oder wie man heute allgemeiner ſagt, die Energieformen nicht unmittelbar auf den Pflanzenkörper wirken, um Bewegungsvorgänge hervorzurufen, ſondern durch Vermittlung des Protoplasmas ſeiner Zellen. Und wir haben den nächſten Erfolg der Reizbarkeit auch Empfindung genannt, womit eine Analogie zu einem ſchon bekannten Begriff

der Tierphyſiologie angebahnt iſt. Es fragt ſich nun, können die Pflanzen Empfindung haben, die Linné ihnen abſtritt? Wir antworten darauf: ſie müſſen Empfindung haben, nicht bloß aus dem logiſchen Grunde, weil ſie ſich ſonſt mit der Umwelt gar nicht verſtändigen könnten, was für ihre Exiſtenz notwendig iſt, ſondern weil wir die Tatſache der Empfindung leicht empiriſch feſtſtellen können.

Wenn ich eine in einem Topf im Freien ſenkrecht gewachſene Pflanze, eine Sonnenroſe oder Balſamine oder eine andere Pflanze in das Zimmer nehme und ſie ans Fenſter ſtelle, ſo haben ſich die Verhältniſſe inſofern geändert, als nun die eine Seite des Pflanzenſtengels, die dem Zimmer zugekehrt iſt, weniger Licht empfängt als die dem Fenſter zugewendete Seite. Dieſe Differenz *empfindet* die Pflanze und krümmt ſich gewöhnlich mit ihrem Stengel der ſtärkeren Beleuchtung zu. Bei anderen Pflanzen verhält es ſich umgekehrt, die Stengel oder andere Organe krümmen ſich von der Lichtquelle fort. Man nennt *dieſe* Reizbarkeit der Pflanzen durch Licht *Heliotropismus* und unterſcheidet je nach der Richtung der Krümmungen einen *poſitiven* und *negativen* Heliotropismus. Der Pflanzenſtengel reagiert dabei nicht auf eine beſtimmte Intenſität des Lichtes. Er krümmt ſich bei bewölktem Himmel geradeſo dem Fenſter zu, wie bei hellem Sonnenſchein, es muß nur die Beleuchtung der einen Seite geringer ſein, als die der anderen. Iſt das nicht der Fall, dann bleibt der Stengel vollkommen gerade, wie es bei Pflanzen im Freien zu beobachten iſt, womit alſo der Beweis geliefert iſt, daß nur *ungleiche* Beleuchtung, alſo ein phyſikaliſcher Vorgang die Krümmung des lebendigen Pflanzenſtengels hervorruft. Daß nicht eine andere Energieform wie das Licht oder eine unbekannte innere Urſache die heliotropiſche Krümmung bewirkt, läßt ſich leicht auf verſchiedene Weiſe experimentell feſtſtellen. Stellen wir eine Pflanze in einen vollkommen finſteren Raum, ſo bleibt ſie völlig unbewegt und gerade, alſo das Licht iſt unter allen Umſtänden für die Krümmung verantwortlich. Wir können aber auch beweiſen, daß es bei einſeitiger *Beleuchtung* der Pflanzenorgane tatſächlich der Lichtunterſchied iſt, der als Reizurſache wirkt. Wenn wir unſere Pflanze auf einen langſam rotierenden Teller ſtellen, der durch ein Uhrwerk getrieben Tag und Nacht den Pflanzentopf dreht, ſo werden, auch wenn wir das Licht nur von einer Seite wirken laſſen, alle Teile des Stengels nacheinander gleich beleuchtet. Die Pflanze empfindet dann keinen Unterſchied mehr und der Stengel bleibt dann auch bei einſeitig einfallendem Licht durch ein Fenſter vollkommen gerade. Die *Wahrnehmung* eines Unterſchiedes

kann aber nur auf Empfindungsvermögen beruhen, welches der Pflanze eigentümlich ist. Die Pflanzen sind meistens so empfindlich gegen Lichtdifferenzen, daß sie darin die Empfindlichkeit des menschlichen Auges übertreffen. Merkwürdiger aber ist es, daß die Pflanzen auch die Strahlen verschiedener Wellenlänge, welche das weiße Licht zusammensetzen, empfinden und unterscheiden, allerdings nicht wie das menschliche Auge als verschiedene Farben. Wenn wir auf einen positiv heliotropischen Pflanzenstengel die roten und gelben Strahlen des Spektrums wirken lassen, was man mit farbigen Gläsern oder sogenannten Sachsschen Glocken, die mit farbigen Flüssigkeiten gefüllt sind, erreichen kann, so krümmt sich der Stengel gar nicht oder kaum merklich, dagegen krümmt er sich ebenso wie im weißen Lichte, wenn wir das Licht durch ein blaues Lichtfilter, etwa blaue Glasscheiben, gehen lassen. Das Protoplasma wird also durch die Strahlen verschiedener Wellenlänge verschieden gereizt, d. h. ähnlich wie die chemischen Verbindungen nur durch bestimmte Strahlen verändert werden, finden auch Veränderungen im lebendigen Protoplasma nur durch gewisse Strahlen statt.

Ohne ein Empfindungsvermögen wäre die Pflanze begreiflicherweise allen ungünstigen Zufällen preisgegeben. Denn die dem Licht zugewendete Krümmung eines Stengels veranlaßt nicht nur den Stengel, sich dem Lichte zu nähern, sondern die daran sitzenden Blätter bei ungünstiger Beleuchtung den Lichtstrahlen zuzuwenden und den Blättern für ihre Ernährungsarbeit die günstigste Beleuchtung zu verschaffen. Das ist der Zweck, wenn man dem Bedürfnis nach Zweckvorstellungen genügen will.

Daß in anderen Fällen ein negativer Heliotropismus zweckmäßiger ist, lehren uns die Klammerwurzeln des Efeus. Der Efeu klettert bekanntlich in die höchsten Bäume oder an Mauern hinauf und befestigt seine Stengel durch die mit der Unterlage fest verwachsenden Wurzeln. Diese entstehen nur an der schwächer beleuchteten Seite, die der Unterlage zugewendet ist, und wenn man diese Seite stärker beleuchtet, hört die Wurzelbildung an dieser Seite auf, um an der dunkleren Seite zu beginnen, was also ganz in der Hand eines Experimentators liegt und nicht von Lebenskräften abhängig ist. Die Klammerwurzeln krümmen sich infolge ihres negativen Heliotropismus immer der Unterlage zu. Die Empfindlichkeit der Wurzeln gegen das Licht zwingt also die Organe, ihrem Zwecke nachzukommen, ganz wie Schopenhauer schon angedeutet hat. Die Wurzeln sind gleichzeitig auch empfindlich gegen Feuchtigkeitsdifferenzen, und da die Unterlage, z. B. ein Baumstamm,

in der Regel feuchter ist als die Luft, so krümmen sich die Efeuwurzeln auch der feuchteren Fläche zu und befestigen sich also um so besser an ihrer Stütze.

Eine der interessantesten Erscheinungen ist es, daß die Pflanzen auch bei Lageveränderungen gegen die Schwerkraft Krümmungen zeigen, die ihre Organe wieder in eine normale Lage zurückversetzen. Wenn man eine im Wachstum begriffene senkrecht entwickelte Pflanze horizontal legt, so krümmt sich das fortwachsende Ende des Stengels so lange, bis es wieder genau senkrecht steht, die Hauptwurzeln dagegen machen nach entgegengesetzter Seite ebenfalls eine Krümmung, bis sie wieder senkrecht abwärts wachsen können. Diese Tatsache wurde zuerst 1809 von dem Engländer Knight experimentell festgestellt, und als wirkliche Schwerkraftswirkung erkannt. Auch gegen die Schwerkraft verhalten sich die Organe teils positiv, teils negativ, so daß man einen positiven und negativen Geotropismus unterscheiden kann. Knight stellte fest, daß, wenn man die Schwerkraft ausschaltet, die wachsenden Pflanzenteile andere Richtungen einschlagen. Er schaltete die Schwerkraftswirkung dadurch aus, daß er auf Scheiben befestigte Keimpflanzen in schnelle Rotation versetzte. Dadurch wurde die Schwerkraft durch Zentrifugalkraft kompensiert. Später wurde von Sachs ein Apparat konstruiert, den man Klinostat nennt, bei dem eine horizontale, die wachsende Pflanze tragende Achse in langsame Rotation versetzt wird, wobei die Zentrifugalkraft nicht in Wirkung kommt. Da aber bei der langsamen Rotation des horizontal liegenden Stengels alle Punkte seiner Oberfläche nacheinander in gleiche Lage zur Schwerkraftsrichtung gebracht werden, so findet gar keine Krümmung des Stengels statt. Damit ist bewiesen, daß die Pflanze auch hier nur durch eine einseitige Wirkung der Schwerkraft reizbar ist.

Da die Richtung und Stellung der Organe die gesamte Gestalt einer Pflanze bedingen, so erkennt man also, daß die Gestalt der Pflanzen nicht von unbekannten inneren Ursachen allein, sondern in erster Linie von bekannten physikalischen Kräften abhängig ist. Heliotropismus und Geotropismus sind die wesentlichen äußeren Ursachen der Gestalt aller Pflanzen. Es ist kein Zufall, daß auf der ganzen Erde, wo wir uns auch befinden, die Stengel und Baumstämme senkrecht, ihre Seitenzweige horizontal oder schief, ihre Wurzeln abwärts wachsen. Alle diese Richtungen sind Wirkungen der Schwerkraft und des Heliotropismus.

Wenn man nach der Absicht des Vitalismus bei der Erklärung aller Lebensvorgänge die Physik ausschließen wollte, so wäre es schlechter-

dings unmöglich, einen Grund anzugeben, warum auf der ganzen Erde bei Pflanzen die Keimwurzeln abwärts, die Stengel in entgegengeſetzter Richtung wachſen.

Wenn wir eine Bohne mit ihrer Fläche auf feuchten Boden legen und keimen laſſen, ſo tritt die Keimwurzel horizontal hervor und würde niemals in den Boden eindringen, wenn ſie nicht durch ihren poſitiven Geotropismus gezwungen würde, eine Krümmung zu machen und nun ſenkrecht abwärts zu wachſen. Die Reizbarkeit der Organe erſetzt alſo den Pflanzen das Bewußtſein. Da ihnen eine Überlegung über die Gunſt oder Ungunſt der äußeren Verhältniſſe vollſtändig abgeht, ſo werden ſie durch dieſe Bedingungen ſelbſt gezwungen, in zweckmäßiger Weiſe zu reagieren. Trotzdem ſind die Verhältniſſe viel verwickelter, als es den Anſchein hat. Die Wurzel ſoll in den Boden eindringen, um dort zu ihren Nährſtoffen zu gelangen, aber nicht die Nährſtoffe wirken anziehend oder anlockend auf die Wurzeln, ſondern eine phyſikaliſche Kraft, die zu den Nährſtoffen und zu dem Zweck ihrer Aufnahme gar keine Beziehung hat, zwingt die Wurzel, den richtigen Weg einzuſchlagen.

Haben wir in dieſen Beiſpielen einige Äußerungen des Empfindungslebens der Pflanzen kennen gelernt, ſo ſind wir doch noch weit entfernt, dieſe Vorgänge damit theoretiſch erfaßt zu haben. Wenn Licht und Schwerkraft Krümmungen von Organen hervorrufen, ſo iſt das kein ſo einfacher mechaniſcher Vorgang, als wenn ich einen biegſamen Stab durch Druck mit der Hand krumm biege. Weder das Licht noch die Schwerkraft wirken auf die Maſſe der Pflanzenorgane unmittelbar bewegend ein. Die gegen dieſe Kräfte veränderte Lage der Pflanze wird nur von dem Protoplasma ihrer Zellen als Reiz empfunden. Und das Protoplasma überträgt dieſe Reizwirkung auf die anatomiſchen Beſtandteile der Organe in einer uns unbekannten Weiſe. Sie veranlaßt bei einſeitiger Beleuchtung die Zellen der einen Stengel- oder Wurzelſeite ſtärker in die Länge zu wachſen. Indem dieſe Seite ſich verlängert, entſtehen Krümmungen der Organe in dem einen oder anderen Sinne. Der Reiz auf das Protoplasma löſt alſo erſt einen ganz anderen Prozeß, einen Wachstumsvorgang, und zwar ungleichſeitiges Längenwachstum aus, ehe die tropiſtiſche Krümmung entſtehen und der Zweck erreicht werden kann. Dieſe Krümmung iſt dann eine bleibende und kann durch Änderung der Lage des Organs nicht rückgängig gemacht werden.

In welcher Weiſe die Schwerkraft auf das Protoplasma wirkt, darüber wiſſen wir noch ſehr wenig, da wir ſelbſt eine ähnliche Empfind-

lichkeit gegen die Schwerkraft gar nicht beſitzen. Ein Menſch kann ſein ganzes Leben lang in horizontaler Lage zubringen, ohne einen Zwang durch die Schwerkraft zu ſpüren, ſich aufzurichten. Von Haberlandt wurde eine Theorie aufgeſtellt, daß im Protoplasma verteilte kleine Körperchen, Statolithen genannt, bei veränderter Lage der Organe innerhalb der Zelle ihre Lage veränderten, indem ſie der Anziehungskraft der Erde folgen. Dieſe veränderten Druckwirkungen ſollen vom Protoplasma empfunden und es dadurch zu einer Reizäußerung veranlaßt werden. Durch dieſe Theorie wird die rätſelhafte Reizerſcheinung wenigſtens mit der bekannten Wirkung der Schwerkraft als Anziehung fallender Körper in Einklang gebracht. Wie aber die Empfindung dieſes Reizes in mechaniſche Wachstumbewegungen umgeſetzt werden kann, darüber fehlt jede Vorſtellung. Für den Heliotropismus gibt es überhaupt noch keine Theorie.

Eine zum Teil äußerſt feine Empfindlichkeit gegen einſeitigen mechaniſchen Druck beſitzen die Kletterpflanzen, deren ſchlaffe, anfangs dünne Stengel ihnen nicht ermöglichen, aufrecht zu ſtehen und die daher andere Pflanzen als Stützen benutzen, um ihre Blätter und Blüten dem Licht entgegenzubreiten. Daß manche Kletterer dazu ihre Wurzeln benutzen, haben wir oben am Efeu erläutert. Der Hopfen, die Gartenbohne und andere ſogenannte Schlingpflanzen benutzen zum Klettern ihre Stengel, mit denen ſie ſich infolge des einſeitigen Druckes um Stützen ſpiralig herumwinden. Durch den Druck wird ein ſchwächeres Wachstum der gedrückten Seite veranlaßt und durch die Verlängerung der entgegengeſetzten Stengelſeite krümmt ſich der Stengel um die Stütze herum. Er würde aber von dieſer herabrutſchen, wenn nicht gleichzeitig die geotropiſche Eigenſchaft des Stengels ihn nach oben ſtreckte, wodurch ſich die Spiralwindungen feſt an die Stütze anlegen. Andere Kletterpflanzen beſitzen beſondere fadenförmige, auch verzweigte Organe, Ranken genannt, mit denen ſie ſich infolge ihrer Reizbarkeit, die ſehr bedeutend iſt, um Stützen herumwickeln und die Pflanzen gewiſſermaßen feſtbinden. Solche Ranken beſitzen der Wein, die Kürbisarten und viele andere. Auch die Krümmung der Ranken entſteht durch ungleichſeitiges Längenwachstum infolge einſeitigen Druckes. Manche Ranken wie die der wilden Weinarten (Ampelopsis) können auch an flachen Hauswänden hinaufklettern, da ihre verzweigten Ranken an den Spitzen bei der Berührung mit der Wand flache Saugſcheiben erzeugen, mit denen ſich die Ranken ungemein feſt kleben.

Eines erkennen wir ganz deutlich, nämlich, daß es gar nicht zu begreifen wäre, wie die Pflanzen ohne ein Empfindungsvermögen ihrer Lebensarbeit genügen und ihre Lebensziele erreichen sollten. Es kann uns nicht kümmern, daß wir noch nicht sagen können, was Empfindung bei den Pflanzen eigentlich sei, denn wir wissen auch bei uns diesen Begriff nicht weiter zu erläutern. Als sicher kann aber gelten, daß bei den Pflanzen die Empfindung nicht mit Bewußtseins- oder Gefühlselementen verbunden ist. Es fehlt auch den höchsten Pflanzen ein Zentralorgan und ein Nervensystem, die erst ein Bewußtsein begreiflich machen würden. Die Anatomie hat nichts kennen gelehrt, was auf solche Analogie mit dem Tierreich deutete. Daher ist es denn bloße Sensationslust, wenn in der populären Literatur von psychischen Eigenschaften der Pflanzen, sogar von einer „Pflanzenpsychologie" geredet wird. Die Pflanzenpsychologie ist nichts als Mythologie und keine Wissenschaft.

Der Weg der Forschung muß natürlich dahin gehen, statt bloßer Begriffsvergleichung die Kenntnis der Tatsachen zu vermehren, die sich als Empfindungen zu erkennen geben. Daß das Protoplasma allein die reizbare, empfindliche Substanz der Pflanze ist, läßt sich am besten durch das Verhalten niederer, nur aus Protoplasma bestehender Organismen zeigen. Freilebendes Protoplasma der Myxomyceten oder Schleimpilze, der Schwärmsporen von Algen u. a. zeigen eine deutliche Reizbarkeit durch Licht, Schwerkraft, Feuchtigkeitsdifferenzen, gegen elektrische Schläge usw. Im Wasser verteilte Schwärmsporen verhalten sich je nach der Abstammung so, daß sie bei einseitiger Beleuchtung dem Lichte zuschwimmen und sich an einer Stelle passender Intensität als grüne Schicht im Behälter ansammeln, zu starkes Licht fliehen sie dagegen. Myxomycetenplasmodien können durch Feuchtigkeit gezwungen werden, an einer Glasplatte in die Höhe zu kriechen, und deshalb findet man sie in der Natur sehr häufig hoch oben an Grashalmen sitzen, wo sie hinaufgekrochen sind, bis sie eine passend feuchte Unterlage empfinden.

Fest steht in der Biologie, daß ohne die Gegenwart von Protoplasma keine Empfindung bei den Pflanzen möglich ist. Niemals wirkt die Schwerkraft, Licht usw. auf das anatomische Bauwerk einer Pflanze unmittelbar ein, sondern das Protoplasma allein empfindet den Reiz und gibt ihn, freilich in einer uns rätselhaften Weise, weiter. Das läßt sich z. B. beim Geotropismus leicht einsehen. Die Entstehung einer geotropischen Krümmung ist kein momentaner Vorgang, sondern er-

fordert immer eine gewiſſe Zeit von wechſelnder Dauer. Legt man einen reizbaren Stengel oder eine Wurzel nur ganz kurze Zeit horizontal, ſo nimmt das Protoplasma den Reiz auf, ohne daß ſchon eine Krümmung entſteht. Wartet man das Eintreten dieſer Krümmung nicht ab, ſondern bringt die Pflanze vorher wieder in normale Lage, ſo kann das Protoplasma den empfangenen Reiz nicht einfach abſchütteln. Es tritt nun nachträglich noch eine Krümmung ein, ſolange, bis das Protoplasma die Rückkehr in die normale Lage wieder empfindet. Solche ſogenannte Nachwirkungen beweiſen, daß es ein Irrtum wäre, zu glauben, die ſogenannte mechaniſche Naturforſchung habe ganz rohe Vorſtellungen von der Einwirkung von Stoßkräften auf die Organe, worüber Schopenhauer ſeinen nicht immer zutreffenden Witzen freien Lauf läßt. Auch die mechaniſche Naturforſchung iſt vitaliſtiſch in ihrem Sinne, ſie wendet ſich nur gegen eine vitaliſtiſche Mythologie, die von mancher Seite noch immer verteidigt wird.

Freilebendes Protoplasma kommt verhältnismäßig ſelten vor. Im allgemeinen iſt das Protoplasma in Zellen eingeſchloſſen und ſteht mit der Außenwelt gar nicht in Berührung. Wie ſollen alſo die Reizurſachen zur Wirkung kommen, wie ſollen ſie vom Protoplasma empfunden werden, das ſie gar nicht berühren können? Man würde die Reizvorgänge weniger gut verſtehen, wenn nicht bei vielen Pflanzen ganz beſtimmte Einrichtungen zur Aufnahme der Reize gefunden worden wären.

Unter den inſektenfreſſenden Pflanzen gibt es eine mit Namen Dionaea muscipula, welche die Inſekten in der Weiſe fängt, daß ein wie eine Falle bewegliches Blatt bei der Berührung zuſammenſchlägt und das Inſekt feſthält. Das Blatt iſt auf ſeiner ganzen Fläche unempfindlich gegen Berührung. Auf jeder Blatthälfte ſtehen aber drei kaum ſichtbare feine, lange Borſten, und nur bei einer Berührung dieſer findet ein momentanes Schließen des Blattes ſtatt. Wir können auch die Gelenkpolſter der Blätter von Mimosa pudica, die ſich bei jeder Erſchütterung zuſammenneigen, an ihrer Oberſeite mit einer Nadel berühren, ohne eine Bewegung hervorzurufen. Wird aber eines der an der Unterſeite der Blattgelenke ſtehenden Haare leiſe berührt, ſo ſenkt ſich der Blattſtiel und die Blättchen legen ſich zuſammen. Es tritt die ſogenannte Reizſtellung des Blattes ein. Bei den Ranken der Kürbispflanzen und anderen iſt die Außenſeite der Ranke unempfindlich, dagegen genügt der Druck eines Seidenfadens oder Papierſtückchens auf der inneren Ranke, um eine ſtarke Krümmung der Ranke hervorzurufen. Es gibt alſo vielfach beſtimmte Stellen an den Organen für

die Aufnahme des Reizes, von denen aus der Reiz dem Protoplasma zugeleitet wird. Haberlandt hat ſolche Einrichtungen als Sinnesorgane bezeichnet, um damit die Analogie des Empfindungslebens bei Pflanzen und Tieren hervorzuheben. Es fragt ſich aber, ob dieſe Bezeichnung zweckmäßig iſt. Bei den Tieren dienen die Sinnesorgane nicht nur dazu, die Reize aufzunehmen, ſondern durch Weiterleitung der Reize in einem Nervenſyſtem, im Gehirn beſtimmte Vorſtellungen hervorzurufen. Im tieriſchen Auge entſteht nicht nur die Empfindung von Hell und Dunkel, ſondern ein Bild eines Gegenſtandes und durch Leitung zum Zentralorgan eine beſtimmte Vorſtellung. Da mit den einfachen Empfängnisvorrichtungen der Reize bei den Pflanzen niemals Nerven verbunden ſind, und keine Vorſtellungen erregt werden können, ſo kann die Bezeichnung „Sinnesorgan" leicht zur Weiterführung von falſchen Analogien führen, was auf einem ſo ſchwierigen Gebiet vermieden werden ſollte. Man würde dieſe Einrichtungen, die meiſt auch nicht die Form beſonderer Organe beſitzen, beſſer als Rezeptionseinrichtungen oder Rezeptionsorgane bezeichnen. Denn es iſt durch keinerlei Tatſache wahrſcheinlich gemacht, daß die Pflanzen mit den Fühltüpfeln ihrer Ranken oder mit den linſenähnlichen Epidermiszellen ihrer Blätter Druck oder Licht wahrnehmen. Vielmehr iſt es ſo gut wie ſicher, daß, wenn den Pflanzen eine Empfindung zukommt, ihr jedes Wahrnehmungsvermögen abgeht.

Die Hauptfrage, zu deren Beantwortung uns noch jede Vorſtellung fehlt, iſt die, auf welche Weiſe der mechaniſche Reiz vom Protoplasma aufgenommen wird und welche Veränderungen in dieſer Subſtanz ſtattfinden, die zu der endlichen Reizwirkung, meiſtens einer Bewegung, führen müſſen. Vielleicht iſt die Sache oft einfacher, als man meint. Man kann leicht bei der Mimosa pudica feſtſtellen, daß die Bewegung der Blätter bei der Berührung zuſtande kommt durch eine Waſſerbewegung in den Gelenken. Bei der Normalſtellung der Blätter ſind die Blattgelenke prall und turgeſzent, nach der Berührung ſind ſie ſchlaff und beweglich. Die Gelenke, die das Senken und Heben des Blattes beſorgen, ſind alſo nichts weiter, als Schwellkörper, die bald durch Waſſereintritt ſteif, bald durch Waſſerverluſt ſchlaff werden und dadurch die Bewegung der paſſiven Blattſtiele und Blättchen verurſachen. Die Reizwirkung löſt alſo im Protoplasma hier nur eine Waſſerſtrömung aus, die in der Ruhe wieder ausgeglichen wird. Das iſt ein ſehr einfacher mechaniſcher Vorgang, deſſen Wirklichkeit dadurch bewieſen wird, daß man die Reizſtellung der Blätter auch hervorrufen kann, wenn man

der Pflanze durch Einritzen oder Einschneiden eine Spur Wasser entzieht, ohne die Gelenke zu berühren.

Durch ähnliche periodische Wasserströmungen werden bei Lichtwechsel bei zahlreichen Pflanzen, namentlich den Leguminosen, Bewegungen der Blätter hervorgerufen, welche wie bei der Mimosa an Gelenken befestigt sind und durch deren periodisches Schlaff- und Steifwerden bald gehoben, bald gesenkt werden. Da diese Bewegungen mit dem Lichtwechsel von Tag und Nacht einhergehen, hat man sie auch als Schlafbewegungen der Pflanzen bezeichnet und die abendliche Stellungsänderung der Blättchen als Schlafstellung bezeichnet. Es ist das nur ein Bild, da der physiologische Vorgang des Schlafes bei den Pflanzen nicht vorkommt.

In anderen Fällen dagegen liegen die mechanischen Vorgänge ganz im Verborgenen. Bekanntlich öffnen und schließen sich manche Blüten, teils durch Temperatur-, teils durch Lichtwechsel. Wenn man z. B. im Frühjahr morgens früh geschlossene Tulpen aus dem Freien in ein warmes Zimmer bringt, so öffnen sie sich. Geöffnete Kakteenblüten kann man zum Schließen veranlassen, wenn man sie am hellen Tage mit einer dunklen Hülle bedeckt, umgekehrt öffnet sich die Blüte der zu den Kakteen gehörigen Königin der Nacht erst bei beginnender Dunkelheit. Licht- und Temperaturwechsel sind ohne Zweifel Ursachen der Bewegung, aber wir finden keinerlei Sinnesorgane, um die Reize aufzunehmen. Demnach ist die Lehre von den Sinnesorganen der Pflanzen noch sehr lückenhaft. Besonders spricht gegen die allgemeine Notwendigkeit von Sinnesorganen die Tatsache, daß auch einzellige Organismen, die überhaupt aller Organe gänzlich entbehren, die gleiche Reizbarkeit zeigen, wie höhere Pflanzen.

Die namentlich von Pfeffer studierten Erscheinungen der Chemotaxis niederer Organismen sind außerordentlich bemerkenswert für die ganze Frage der Empfindung bei Pflanzenzellen. Bei den Moosen und Farnen müssen beim Befruchtungsvorgang die männlichen Keimzellen, Spermatozoiden genannt, um die Befruchtung zu besorgen, in dem die Pflanzen benetzenden Wasser sich schwimmend zu den mikroskopisch kleinen weiblichen Archegonien bewegen, um in diese einzudringen. Man mußte es immer als Rätsel betrachten, daß die Spermatozoiden die weiblichen Zellen auch wirklich auffinden und hat sich mit dem Begriff einer Fernwirkung abgefunden, der aber nichts erklärt. Pfeffer entdeckte, daß die Anziehung der Spermatozoiden dadurch erfolgt, daß die Archegonien gewisse chemische Verbindungen in ihre

Umgebung abſcheiden, die anlockend auf die Spermatozoiden wirken. Bei den Mooſen iſt das Anlockungsmittel Zucker, bei den Farnen Äpfelſäure. Dieſe Stoffe verteilen ſich in dem umgebenden Waſſertropfen und die Empfindlichkeit der Spermatozoiden iſt ſo groß, daß ſie trotz der ſtarken Verdünnung der gelöſten Subſtanzen deren Gegenwart empfinden, und von ihnen angelockt, die Richtung zu den Archegonien einſchlagen. Es ſieht dem ähnlich, wie wenn ein Tier auf weite Entfernung durch den Geruch eine Witterung aufnimmt und die Richtung einſchlägt. Doch iſt der Vorgang ein ganz anderer, da es ſich nicht um einen Geruchſinn handelt. Damit iſt der unklare Begriff der Fernwirkung ausgeſchaltet und die Erſcheinung naturwiſſenſchaftlich vorläufig erklärt. Pfeffer bewies die Tatſache dadurch, daß er den in einem Waſſertropfen verteilten Spermatozoiden eine Glaskapillare mit einer äußerſt verdünnten Zucker- oder Äpfelſäurelöſung darbot. Die Spermatozoiden eilen dann nicht nur auf die Glaskapillare zu, die ja mit einem Archegonium nicht die geringſte Ähnlichkeit beſitzt, ſondern dringen mit großer Energie in die Glasröhre ein, welche bald von den Zellen erfüllt wird.

Auch bewegliche Bakterien ſind chemotaktiſch. Wenn man ihnen Nährſtoffe, z. B. eine dünne Fleiſchextraktlöſung darbietet, ſo eilen ſie darauf zu, fliehen dagegen ſchädliche Subſtanzen, z. B. Kalilauge. Dieſe kleinen Zellen haben alſo gewiſſermaßen einen chemiſchen Sinn. Das geht bei den inſektenfreſſenden Pflanzen ſo weit, daß ſie ſogar die elementare chemiſche Zuſammenſetzung unterſcheiden. Sie ſetzen ihre Fangapparate und Sekretionsorgane nur dann in Bewegung, wenn ihnen ſtickſtoffhaltige Subſtanzen, alſo Inſekten, Eiweißſtoffe u. dgl. dargeboten werden. Stickſtofffreie Stoffe, wie Zucker, Gummi, Stärke, haben auf die Reizbarkeit der Inſektivoren gar keine Wirkung. Dieſes Unterſcheidungsvermögen iſt alſo ganz eigenartig und kann nicht mit dem Geſchmack verglichen werden, was eine ganz rohe Analogie wäre.

Dieſe kurzen Ausführungen haben Sie, wie ich glaube, von zweierlei Tatſachen überzeugt. Einmal davon, daß es gar keinem Zweifel unterliegt, daß die Pflanzen ein Empfindungsleben ebenſo gut beſitzen, wie die Tierwelt, und ebenſo gut wie dieſe beſitzen müſſen, um überhaupt unter den ihnen aufgezwungenen Bedingungen leben zu können, — zweitens davon, daß die Tatſachen dieſes Empfindungslebens zu den intereſſanteſten gehören, welche die empiriſche Forſchung zutage gefördert hat. Unendlich viel des Rätſelhaften bietet gerade dieſes Gebiet der Forſchung, aber deshalb auch die lockendſten und dankbarſten Aufgaben. Denn auch der empiriſche Forſcher findet den Hauptreiz da,

wo die Wiſſenſchaft vor Rätſeln ſteht, und es iſt ein großer Irrtum, zu glauben, daß der Empiriker ſich mit der Förderung zuſammenhangloſer leicht wahrnehmbarer Tatſachen begnüge und ihm ein metaphyſiſches Bedürfnis ganz abginge. Das iſt eine Fabel, die von einer gewiſſen Richtung zur Mehrung eigenen Ruhmes gern verbreitet wird. Die Vernunft des Naturforſchers iſt keine andere als die jedes normalen Menſchen und unterliegt dem gleichen Schickſal, welches Kant in der Vorrede zur Kritik der reinen Vernunft ſchon hervorgehoben hat. Daß die Vernunft ohne ihre Schuld von Fragen beläſtigt wird, die ſie nicht abweiſen kann, da ſie ihr durch ihre eigene Natur aufgedrängt werden, die ſie aber auch endgültig nicht beantworten kann, da ſie alles Vermögen der menſchlichen Vernunft überſteigen. Die Metaphyſik bedrückt die Naturforſchung aber viel weniger, als das ſelbſtbewußte Urteil auf Grund erfundener Analogien, welches auf dem hier behandelten Gebiet mit dem Begriffe „Pflanzenpſychologie" und anderen Begriffsſpielereien auftritt.

Allerdings befaßt ſich der Naturforſcher zuerſt nur mit den Erſcheinungen der Natur, im Kantſchen Sinne. Aber er ſtellt ſich nicht auf den Standpunkt des mißverſtandenen Kant, daß „Erſcheinung" und „Ding an ſich" unüberbrückbare Gegenſätze ſeien und daß das letztere ewig für die Erkenntnis ausfiele. Vielmehr ſollte auch der Naturforſcher an Goethes Anſchauung von der Bedeutung der Urphänomene ſich anſchließen, daß in der Erſcheinung ſchon ein Stück vom Weſen der Dinge ſich erkennen läßt. Für den Naturforſcher kann das „Ding an ſich" nur den Wert eines Reſtes haben, vor dem ſein Erkenntnisvermögen wegen unſerer menſchlichen Unvollkommenheit zunächſt Halt machen muß, eines Reſtes aber, der mit der Erſcheinung eng zuſammenhängt und daher das von Goethe empfohlene Streben rechtfertigt, ſo weit als möglich vermindert zu werden.

Goethe ſchrieb an den Chemiker Wackenroder in Jena, von dem er die Luft in den Hülſen von Colutea arborescens analyſiert wünſchte: „Ob wir gleich gern der Natur ihre geheime Encheireſis, wodurch ſie Leben ſchafft und fördert, zugeben, und, wenn auch keine Myſtiker, doch zuletzt Unerforſchliches eingeſtehen müſſen, ſo kann der Menſch, wenn es ihm ernſt iſt, doch nicht von dem Verſuche abſtehen, das Unerforſchliche ſo in die Enge zu treiben, daß er ſich dabei begnügen und ſich völlig überwunden geben muß."

Wir können hinzufügen, daß die Zeit dieſes Überwundenſeins für den Naturforſcher noch in weiter Ferne liegt.

Anmerkungen.

Zu Seite 41. Zum wiſſenſchaftlichen Verſtändnis der Organiſation der Pflanze gelangt man am beſten durch die Auffaſſung ihrer erſten Organe als Grundorgane (Wurzel, Sproß, Blatt) und der abweichenden Formen als Metamorphoſen (Blüten, Klammerorgane, Speicherorgane uſw.). Dieſe Betrachtungsweiſe bezeichnete Goethe als Morphologie. Die Beziehung der Organe auf ihre Funktion führte zu der von Decandolle benutzten Bezeichnung „Organographie“ (vgl. Goebel, Organographie der Pflanzen, 2. Aufl.; A. Hanſen, Repetitor. der Botanik, 10. Aufl.). Die Anpaſſung an die äußeren Bedingungen des Bodens, der Atmoſphäre und des Lichtes führte dazu, daß die Organe der Pflanzen nicht wie bei den Tieren im Innern des Körpers verborgen liegen, ſondern als äußere Glieder auftreten, was den Pflanzen einen vom Tier ſo verſchiedenen Charakter verleiht.

Zu Seite 42. Linné, Philosophia botanica, Stockholm 1751, S. 1.

Zu Seite 42. Der engliſche Mikroſkopiker Robert Hooke hatte 1660 das Mikroſkop ſoweit verbeſſert, daß er in ſeiner „Mikrographia“ 1667 berichten konnte, der Flaſchenkork und andere Pflanzenteile ſeien nicht homogen, ſondern ganz von Poren durchſetzt. Er verglich das mikroſkopiſche Bild eines Pflanzendurchſchnittes mit dem Ausſehen einer Bienenwabe und nannte danach auch die Hohlräume im Pflanzenkörper Zellen (cells). Der lateiniſche Name cellula wurde ſpäter allgemein in der Biologie angenommen und iſt bis heute erhalten geblieben, obwohl der Begriff der Zelle längſt ein anderer geworden iſt. Die erſten zuſammenhängenden Pflanzenanatomien erſchienen merkwürdigerweiſe gleichzeitig von Nehemia Grew, Sekretär der Royal Society, und Marcello Malpighi, Profeſſor der Medizin in Bologna. An demſelben Tage, 11. Mai 1671, legten beide Gelehrten ihre vorläufigen Abhandlungen der Geſellſchaft vor. Die ausführlichen mit Tafeln verſehenen Werke erſchienen ſpäter, Grews Anatomy of Plants 1682, Malpighis Anatomes Plantarum 1675. Malpighi war der weitaus genialere und vielſeitigere Forſcher. Die von Schleiden ohne Grund ausgeſprochene Behauptung, Grew habe die Priorität Malpighis beeinträchtigt, iſt ſchon von Sachs (Geſchichte der Botanik) widerlegt worden. (Vgl. Hanſen, Zur Geſchichte und Kritik des Zellenbegriffes 1897.)

Zu Seite 43. Die entwicklungsgeſchichtliche Forſchung beginnt mit Caſpar Friedrich Wolffs Unterſuchungen (Theoria generationis 1759). Vgl. Hanſen, Goethes Metamorphoſe 1907.

Zu Seite 43. Die Embryologie wurde erſt durch die Unterſuchungen William Harveys (1578—1658) begründet, auch Malpighi beteiligte ſich als einer der Erſten daran.

Zu Seite 43. Als eigentlicher Begründer der Präformation als Theorie iſt Malpighi zu bezeichnen. Die Form der Einſchachtelungslehre bekam ſie durch Vallisneri, Profeſſor der Medizin in Padua (1661—1730). Im Ei ſollte

ſchon das ganze Tier ſtecken. Da jeder Organismus natürlich auch wieder einen Eierſtock mit Eiern hat, in dem wieder völlig fertige Tiere in unſichtbarer Kleinheit ebenfalls mit Ovarien und Eiern verſteckt ſind, ſo wäre immer eine Generation in die andere eingeſchachtelt. Alles, was in Jahrmillionen entſteht, war ſchon von Anfang an vorhanden. Es gibt bei dieſer Anſicht keine Entwickelung von Neubildungen, ſondern nur eine Auswickelung. Dieſe haltloſe Anſicht wird ſchon durch die Paläontologie widerlegt.

Zu Seite 44. Jan Ingenhouſz wurde 1730 in Breda in Holland geboren, wurde Arzt und war einige Zeit in ſeiner Vaterſtadt tätig. Größeren Ruhm erwarb er in ſeinem Beruf in England, wo ihn Pringle an Maria Thereſia, welche mehrere Kinder an den Blattern verloren hatte, empfahl, um in Wien die kaiſerliche Familie zu impfen. Während ſeines dortigen Aufenthaltes beſuchte ihn Joſef II. häufig bei ſeinen phyſikaliſchen Verſuchen, die er mit Vorliebe und Erfolg anſtellte. Er führte an der Elektriſiermaſchine Glasplatten ein, ſtellte Verſuche über Fortpflanzung der Wärme in Metallen an uſw. Er ging dann wieder nach Holland, beſuchte Deutſchland und Frankreich und kehrte nach England zurück, wo er 1799 ſtarb. Er hatte 1779 die Sauerſtoffausſcheidung grüner Pflanzenteile im Sonnenlicht beobachtet und daraus geſchloſſen, daß die Pflanzen ihre Hauptnahrung aus der Kohlenſäure der Luft gewönnen. Seine Theorie blieb aber lange unbeachtet, obwohl ſie ſpäter von Humboldt verbreitet wurde. Erſt Liebig brachte dieſe Forſchungen wieder zu voller Anerkennung. Vgl. Hanſen, Ernährung der Pflanzen, 2. Aufl. 1901, S. 12ff.

Zu Seite 45. Hugo von Mohl, Profeſſor in Tübingen 1805—1872, einer der Begründer der Zellforſchung, veröffentlichte ſeine erſten Unterſuchungen 1844 in der von ihm begründeten Botaniſchen Zeitung, welche lange das führende Organ in der Botanik war, bis ſie 1910 infolge einer kleinlichen geſchäftlichen Differenz mit dem Verleger einging. In einem Aufſatz „Über die Saftbewegung im Innern der Zellen" in der Botaniſchen Zeitung, 1846 S. 73, ſchrieb Mohl: „Da, wie ſchon bemerkt, die zähe Flüſſigkeit überall, wo Zellen entſtehen ſollen, den erſten, die künftigen Zellen andeutenden feſten Bildungen vorausgeht, da wir annehmen müſſen, daß dieſelbe das Material für die Bildung des Nucleus (Zellkern) und des Primordialſchlauches (Wandbelag) liefert, indem dieſe in der nächſten räumlichen Verbindung mit derſelben ſtehen, ſondern auch auf Jod auf analoge Weiſe reagieren, daß alſo ihre Organiſation der Prozeß iſt, welcher die Entſtehung der neuen Zelle einleitet, ſo mag es wohl gerechtfertigt ſein, wenn ich zur Bezeichnung dieſer Subſtanz eine auf dieſe phyſiologiſche Funktion ſich beziehende Benennung in dem Worte Protoplasma vorſchlage."

Durch die ſeit dieſen Anfängen einſetzende, mit allen mikroſkopiſchen Hilfsmitteln zu einer umfangreichen Methode ausgebildeten Zellforſchung, an der ſich hunderte von Forſchern aller Nationen beteiligen, wurde feſtgeſtellt, daß das Protoplasma in Pflanzen und Tieren die alleinige lebende Subſtanz iſt, auf der alle Äußerungen des Lebens beruhen. Alle Zellbildung, Wachstum, aller Stoffwechſel und Fortpflanzung gehen vom Protoplasma aus. Zu dieſer erſtaunlichen Wirkung des Protoplasmas ſteht im Gegenſatz ſeine relativ einfache Zuſammenſetzung, die nur bekannte Elemente umfaßt: Kohlenſtoff, Waſſerſtoff, Sauerſtoff, Stickſtoff, Schwefel, Phosphor, einige Salze und Waſſer bauen das Protoplasma auf. Der Menge nach wiegt das Waſſer vor, welches bis zu 90% be-

tragen kann. Sehr merkwürdig iſt, daß das Protoplasma auch ganz eintrocknen kann, z. B. in Samen, ohne zu ſterben. Bei der Keimung nehmen die Samen Waſſer auf, und das Protoplasma lebt wieder auf, oft erſt nach vielen Jahrzehnten. Das Protoplasma iſt in den Zellen von ſchleimähnlicher, kolloidaler Beſchaffenheit. Es zeigt eine ſchon von Corti (1774) und von Treviranus (1811) beobachtete ſtrömende Bewegung, die von den äußeren Bedingungen der Temperatur, des Lichtes, elektriſcher Ströme uſw. beeinflußt wird, demnach nach allgemeinen Bewegungsgeſetzen verlaufen dürfte. Auch die Chemie des Protoplasmas weiſt nur bekannte Stoffe und keine rätſelhafte Lebenssubſtanz auf. Die feſten Beſtandteile ſind Eiweißſtoffe, Nukleine, Salze des Kaliums, Calciums, Magneſiums und Eiſens. Als Durchgangsprodukte finden ſich Zerfallsprodukte der Eiweißſtoffe, ferner Kohlehydrate, Fette uſw. Dieſe Zuſammenſetzung erklärt nicht die lebendigen Eigenſchaften des Protoplasmas, aber rechtfertigt ebenſowenig die Annahme einer beſonderen Lebenskraft. Man hat, um die lebendigen Äußerungen des Protoplasmas zu begreifen, auch eine unſichtbare beſondere Struktur desſelben angenommen (Bütſchlis Wabenſtruktur, Nägelis Idioplasma u. a.) jedoch liegen darüber ſichere Beobachtungen nicht vor.

Zu Seite 45. Die Kenntniſſe über Struktur und Chemie des Protoplasmas geben keine Möglichkeit, das Empfindungsvermögen dieſer Subſtanz zu begreifen. Das Vorhandenſein dieſes Vermögens iſt aber aus Beobachtungen zu erſchließen, denn das Protoplasma läßt Veränderungen erkennen, wenn ſich die äußeren Verhältniſſe ändern. Licht, Schwerkraft, Temperatur und andere Einwirkungen werden offenbar vom Protoplasma empfunden. Wie aber dieſe Reize aufgenommen werden, warum es empfindlich iſt, iſt ganz unbekannt, demnach auch, ob das ganze Protoplasma oder nur beſtimmte Regionen oder Beſtandteile die Reize aufnehmen. Auch über die Wege der notwendigen und leicht zu beobachtenden Weiterleitung der Reize wiſſen wir nichts genaues, da keine Analogien mit tieriſchen Nerven bei den Pflanzen zu erkennen ſind. Doch iſt die Entdeckung wichtig, daß der Protoplasmakörper der Zellen durch feine Protoplasmafäden, die durch die Zellwände hindurchgehen (Plasmodesmen) miteinander in Verbindung ſtehen. Wir ſind bezüglich der Analyſe der Protoplasmaſtruktur an der Grenze unſerer optiſchen Hilfsmittel angelangt. Ehe dieſe Grenze nicht überſchritten werden kann, iſt ein Verſtändnis des molekularen Baues des Protoplasmas nicht zu erreichen, und ohne dieſe Einſicht ſind ſeine lebendigen Eigenſchaften mechaniſch nicht zu verſtehen. An die Stelle dieſes Verſtändniſſes einen bloßen Hylozoismus zu ſetzen, wie es von Wiesner u. a. verſucht wurde, iſt ganz unfruchtbar. Nach Kant (Kr. d. Urteilskraft, Reclam S. 279) iſt dieſe Anſicht der Tod jeder Philoſophie.

Zu Seite 46. Sachs hat in ſeinen Vorleſungen über Pflanzenphyſiologie Schopenhauers Erörterungen einfach übernommen. Der Begriff des Reizes war jedoch in der Botanik zweideutig geworden, da man dasſelbe Wort ſowohl für die Reizurſachen, Licht, Temperatur, Schwerkraft uſw., als auch für die unbekannte innere Wirkung dieſer äußeren Urſachen benutzte. Da über dieſe innere Wirkung (Perception) jede Vorſtellung fehlte, hatte der Begriff einen myſtiſchen Beigeſchmack. Pfeffer hat in ſeiner Pflanzenphyſiologie und ausführlich in ſeiner Schrift „Die Reizbarkeit im Pflanzenreich“ (Verhandlungen d. D. Naturforſcherverſammlung 1893) eine Definition des noch ungeklärten Begriffes „Reiz“

gegeben, indem er ihn dem allgemeinen mechaniſchen Begriff „Auslöſung“ unterordnete. Dadurch wurde der Begriff anſchaulich, wenn auch nicht erklärt. Daß die Reizerſcheinungen kauſale Vorgänge ſind, ergibt ſich aus der deutlichen Unterſcheidung von Reizurſache und Reizwirkung. Der Vergleich der letzteren mit einer Auslöſung bei einer Maſchine, wie ihn Pfeffer erörtert, bleibt natürlich nur ein Vergleich zur Erläuterung des Begriffes. Er bezeichnet die Aufhebung einer energetiſchen Spannung. Damit iſt jeder myſtiſchen Vorſtellung ein Ende bereitet, wenn auch ein tieferer Einblick in das Geſchehen nicht erreicht. Man erkennt aber, daß jeder Reiz aus zwei Faktoren beſteht, aus der äußeren Urſache, die bekannt iſt, und aus der Reaktion der Pflanzenzelle. Man kann dieſen Faktor nicht gut den ſubjektiven nennen, weil die Pflanze als Weſen ohne Bewußtſein nicht als Subjekt bezeichnet werden kann. Es handelt ſich um einen Reflex des Protoplasmas auf äußere Anſtöße. Doch laſſen ſich die Reizerſcheinungen begrifflich noch weiter zerlegen und auf dieſe Weiſe der Weg zur experimentellen Unterſuchung finden. Durch die begriffliche Zerlegung des Reizvorganges erhält man eine Reizkette, deren Glieder ineinander greifen. Den Anfang der Reizkette bildet die Aufnahme des Reizes durch das Protoplasma (Perception). Bis zum Sichtbarwerden des Reizes verſtreicht eine gewiſſe Zeit (Reaktionszeit). Danach tritt die Reaktion ein. Der Reiz muß aber eine beſtimmte Zeit gewirkt haben (Präſentationszeit). Perzipiert wird auch ein momentaner Reiz, allein ſo lange die Präſentationszeit nicht erreicht iſt, bleibt er wirkungslos. Es kann aber auch die Präſentationszeit durch Summierung unterbrochener Reize erreicht werden, ſo daß eine Reaktion endlich auch durch kurz dauernde Reize erreicht wird. Die Größe der Reizung iſt proportional der „Reizmenge“, worunter man das Produkt aus Reizintenſität und Reizdauer verſteht. (A. H. Blaauw, Die Perception des Lichtes. in Recueil d. traveaux bot. Néerland. 1905, S. 209—373.) Dieſe Zerlegung des Reizbegriffes beſeitigt die Unklarheit, bald die Urſache, bald die Perception als „Reiz“ zu bezeichnen. Pfeffer wünſchte ſogar das Wort ganz durch „Auslöſung“ zu erſetzen, allein das iſt wegen des hiſtoriſchen Anrechtes des Wortes „Reiz“ nicht zu empfehlen. Übrigens iſt auch in der Tier- und Menſchenphyſiologie dieſelbe begriffliche Schwierigkeit vorhanden. (Vgl. Biolog. Zentralblatt Bd. 19 [1899], Th. Beer, A. Bethe, J. v. Uexküll, Vorſchläge zu einer objektiven Nomenklatur in der Phyſiologie des Nervenſyſtems.) Darſtellungen der Reizerſcheinungen findet man in Sachs Vorleſungen über Pflanzenphyſiologie; Pfeffer, Pflanzenphyſiologie; Joſt, Vorleſungen über Pflanzenphyſiologie. Sammlung Göſchen Bd. 591; E. G. Pringsheim, Die Reizbewegungen der Pflanzen, 1912.

Zu Seite 49. Natürlich iſt die Bezeichnung der Pflanze als Maſchine ein bloßer Vergleich zur vorläufigen Erläuterung und als ſolcher unvollkommen. Eine Pflanze iſt nicht dasſelbe wie eine Maſchine (vgl. Hanſen, Die Entwicklung der Botanik ſeit Linné, Gießen 1902, S. 18). Von der Maſchine unterſcheidet ſich die Pflanze u. a. dadurch, daß ihre Teile wachſen und einen Stoffwechſel beſitzen, ohne in Unordnung zu geraten. Wenn eine Maſchine einen Stoffwechſel zeigt, z. B. roſtet, wird ſie geſtört. Man ſtelle ſich vor, daß in einer Maſchine ein Rad plötzlich anfinge zu wachſen, um den Unterſchied ſchlagend zu erkennen. Darum iſt aber die Maſchine immer noch nicht minderwertig gegenüber dem Organismus, denn ſie übertrifft ihn weit in ſeiner Leiſtungsfähigkeit.

Zu Seite 52. Th. Andrew Knight (Oswalds Klaſſiker d. exakt. Wiſſ. Nr. 62) hat zwar zuerſt mit Sicherheit die Richtung der Sproſſe und Wurzeln auf die Schwerkraft zurückgeführt, ſtand aber auf rein mechaniſchem Standpunkt. Wenn er auch keine unmittelbare Wirkung der Schwere annahm, ſo ſollte doch die Schwerkraft auf die Verteilung des Saftes wirken, und dadurch geotropiſche Krümmungen hervorgebracht werden. Nur ganz nebenher ſtreift er den Gedanken einer Reizbarkeit. Darum gelang es ihm auch nicht, andere Richtungen der Seitenzweige und Seitenwurzeln als Geotropismus zu erkennen. Noch Hofmeiſter hielt an dieſer Anſicht Knights feſt, der erſt Frank 1868 entgegentrat; doch erſt Sachs griff die Frage des Geotropismus in umfangreichen, in den Arbeiten des Botaniſchen Inſtituts zu Würzburg und in Flora 1873 veröffentlichten, Unterſuchungen an. Das Endergebnis war, daß Knights und Hofmeiſters Anſichten denen Schopenhauers wichen.

Zu Seite 52. Die unleugbare Abhängigkeit der Lebensvorgänge von äußeren Bedingungen, eine Abhängigkeit, die bei den Pflanzen nicht bloß im optimalen Verhalten, ſondern nicht weniger in den Starrezuſtänden (Wärme-, Kälte-, Dunkelſtarre, Trockenſtarre) hervortritt, beweiſt, daß eine Lebenskraft allein nicht ausreicht, die Erſcheinungen zu erklären. Man müßte alſo annehmen, daß die äußeren Energieformen die Tätigkeit einer Lebenskraft erſt auslöſten. Daß damit ein tieferes Verſtändnis erlangt würde, iſt nicht einzuſehen, das Rätſel würde nur um eine Etappe zurückgedrängt. Wenn eine bekannte Kraft, ſtatt zu wirken, erſt eine unbekannte Kraft zur Wirkung veranlaſſen ſollte, ſo erfährt man dadurch nichts über deren Natur und Fähigkeit. Die Anſicht des Vitalismus hätte die Naturwiſſenſchaft trotzdem keinen Grund zu bekämpfen, wenn er ſie nicht für Naturwiſſenſchaft ausgäbe. Die Begriffe Lebenskraft, Entelechie u. a. ſind keine Begriffe von Theorien, nicht einmal von wiſſenſchaftlichen Fiktionen. Es liegt gar kein Grund zu der Behauptung vor, die Lebensvorgänge verliefen ſo, als ob es eine Lebenskraft gäbe. Dieſe Annahme iſt kein Poſtulat, ſondern bloße Willkür. Man könnte den Begriff der Lebenskraft als Notbehelf für die Vorſtellung noch unbekannter kauſaler Verknüpfungen, als eine Unterſtützung der Phantaſie, gelten laſſen. Solche bloß logiſchen Hilfsmittel hätten eine Berechtigung. Dann gehören die Begriffe Lebenskraft, Entelechie aber nicht zur Biologie, ſondern zur Erkenntniskritik, da ſie vorläufige Erkenntnisgründe ſind, wie z. B. Seele uſw. Der Vitalismus begeht aber den Fehler, dieſen Prinzipien Realität beizulegen, ohne auch nur einen Beweis liefern zu können. Indem er dabei die energetiſche Biologie angreift, verbreitet er den Irrtum, die experimentellen Biologen bildeten ſich ein, durch ihre Methode feſtſtellen zu wollen, warum der Organismus lebendig iſt. Die Biologie will aber nur auf ihre Weiſe feſtſtellen, wie der Organismus lebendig ſein kann. Die Energetik wird ſich nicht weiter verſteigen, wie zum Beweiſe der Möglichkeit. Sie iſt viel zu nüchtern, um zu glauben, zur Gewißheit einer Erklärung des Lebens durchdringen zu können, die der Vitalismus ſchon zu haben angibt. Das Leben wird deshalb ſtets ein Rätſel bleiben, weil ſowohl für die wiſſenſchaftliche Technik, wie für die Vernunft ſchließlich eine Grenze übrig bleibt. Man nehme an, daß es gelänge, lebendiges Protoplasma künſtlich herzuſtellen, ſo bleibt es ewig ungewiß, ob das Protoplasma zuerſt auf dieſelbe Weiſe entſtanden iſt. Kein Chemiker wird behaupten, daß in der Natur Kohlehydrate und Eiweißſtoffe

nach den Methoden Emil Fiſchers hervorgingen. Aber daß andererſeits ſolche Stoffe in der Natur ohne chemiſche Geſetze entſtanden ſeien, wird ebenſowenig zugegeben werden können. Wenn der Vitalismus Chemie und Phyſik bei der Erklärung zurückweiſt, dann müßte er einen Urgrund, einen Schöpfer nachweiſen können, von dem wir nichts wiſſen und wiſſen können, da das Sache des Glaubens iſt. Wäre ein Beweis möglich, dann hätte die Naturwiſſenſchaft aufzuhören, aber ebenſo der Vitalismus. Der Verſuch, einem Schöpfer von der menſchlichen Vernunft erdachte Prinzipien zuzumuten, wäre Naivität. Wir könnten die Mittel einer ſchöpferiſchen Natur, die nach vitaliſtiſcher Annahme nach anderen Geſetzen verfahren ſoll, als die Naturwiſſenſchaft bekannt gemacht hat, gar nicht verſtehen. Solange die Gewißheit über einen abſoluten Urgrund fehlt, gibt es keinen Weg, als mit naturwiſſenſchaftlicher Technik und Logik der Natur ihre Geſetze abzufragen. Der Verſuch, ihr Prinzipien zuzumuten, wo ſie uns eine Auskunft verweigert, iſt erfolglos.

Zu Seite 54. Über die Empfindlichkeit der Ranken vgl. Mohl, über das Winden der Schling- und Rankenpflanzen; W. Pfeffer, Zur Kenntnis der Kontaktreize, Unterſ. a. d. Bot. Inſtitut zu Tübingen 1885, B. 1, S. 483.

Zu Seite 54. Zur Statolithentheorie vgl. Haberlandt, Über die Perception des geotropiſchen Reizes. Ber. d. d. Bot. Geſ. 1900, ebenda 1902; Haberlandt, Statolithenfunktion der Stärkekörner, Jahrb. f. wiſſ. Bot. B. 38, 1903, ebenda B. 42, 1906. Gegen die Theorie wird eingewendet, daß die als Statolithen angeſehenen Stärkekörner doch in erſter Linie als organiſche Reſerveſtoffe der Ernährung dienen, und daß ferner geotropiſche Reizbarkeit auch bei ſtärkefreien Organismen beobachtet iſt. Der Frage ſtehen experimentell beſondere Schwierigkeiten entgegen. Doch hat Haberlandt das unbeſtreitbare Verdienſt, den Geotropismus als kauſales Problem von dem Myſtizismus befreit zu haben, mit dem es Darwin umgeben hatte, indem er der Wurzelſpitze eine Gehirnfunktion zuſchreiben wollte (vgl. Detleſſen, Arbeiten des Bot. Inſtituts zu Würzburg, B. II, S. 627.

Zu Seite 55. Es ſpricht nichts dafür, den Pflanzen ein Gefühl zuzuerkennen, das wäre bei der gänzlichen Schutzloſigkeit ein faſt grauſamer Gedanke. Noch weniger kann die Biologie dem Verſuch zuſtimmen, den Pflanzen das Analogon von Bewußtſein und Erkenntnis zuzuſchreiben, was in überraſchender Weiſe in neuerer Zeit von dem Philoſophen E. Becher verſucht wurde (Die fremddienliche Zweckmäßigkeit der Pflanzengallen, Leipzig 1917). Die „fremddienliche Zweckmäßigkeit" iſt keine Hypotheſe, ſondern ein klaſſifikatoriſcher Begriff. Die bloße Annahme von „Oberkräften" Zuſtänden der Luſt und Unluſt" zur Erklärung der Pflanzengeſtaltung hat mit der Biologie keinen Zuſammenhang und iſt ein rein naturphiloſophiſcher Glaube, der für die Biologie unannehmbar bleibt, wenn nicht an Stelle klarer Forſchungsmethode ein dunkler Myſtizismus treten und die Arbeit eines Jahrhunderts gefährdet werden ſoll. Gegen die Anſicht Bechers hat ſich ſogleich erklärt Küſter in „Die Naturwiſſenſchaften" 1917 S. 567 und Zeitſchr. für inductive Abſt.- und Vererbungslehre 1919 Bd. 21 S. 119.

Zu Seite 57. Die Frage, ob die Pflanzen Sinnesorgane zur Aufnahme der Reize beſitzen, iſt noch keineswegs gelöſt. Daß irgendwelche Vorrichtungen vorhanden ſeien, um das in Zellwände eingeſchloſſene Protoplasma den Reizurſachen zugänglich zu machen, iſt eine naheliegende Forderung, und die von Haberlandt

nachgewieſenen anatomiſchen Strukturen beſtätigen die Vermutung, wenn auch leider nicht allgemein. Es gibt aber die Bezeichnung „Sinnesorgan“ für ſolche pflanzlichen Bauverhältniſſe auch zu Bedenken Anlaß. Der Ausdruck iſt der menſchlichen Phyſiologie entnommen, auf die höheren Tiere mit Recht übertragen, dann aber weiter nur logiſch gefolgert worden, daß wegen der Verwandtſchaft auch die niederen Tiere Sinnesorgane hätten, und da auf niederſter Stufe Pflanzen und Tiere nicht zu unterſcheiden ſeien, auch Pflanzen Sinnesorgane haben müßten, zumal die höheren. Aber dieſer Schluß iſt durchaus nicht zwingend. Wie ſich beim menſchlichen Embryo ontogenetiſch die Sinnesorgane erſt in einem beſtimmten Stadium entwickeln, ſo könnte dieſe Entwickelung phylogenetiſch erſt auf der Stufe des Tierreichs begonnen haben. Es iſt immer bedenklich, einen Begriff einer anderen Wiſſenſchaft zu entlehnen, der dort noch ſehr unbeſtimmt iſt. Einige Zoologen nennen Sinnesorgane nur ſolche Organe, die äußere Eindrücke aufnehmen, um eine Erkenntnis zu ermöglichen, in dem Nerven den Reiz zu einem Zentralorgan leiten, das die Pflanzen nicht beſitzen. Andere nennen Sinnesorgane auch die bloßen Aufnahmeorgane, für die Beer, Bethe und v. Uexküll den Namen „Rezeptoren“ empfehlen. (Biolog. Zentralbl. 1899 S. 517.) Wie wenig eindeutig der Ausdruck in der Botanik iſt, geht daraus hervor, daß Haberlandt, der vorwiegend die Frage nach Sinnesorganen der Pflanzen aufgerollt hat, Sinnesorgane im weiteren, im engeren und im engſten Sinne unterſcheidet. (Haberlandt, Sinnesorgane im Pflanzenreich, Leipzig 1901, S. 7. Derſelbe, Lichtſinnesorgane der Laubblätter, 1905. Vgl. dazu Kniep, Biolog. Zentralblatt 1907; Fitting Botan. Zeitung 1906, S. 296 u. 360; Nordhauſen, Zeitſchr. f. Bot. 1910 S. 465.) Immerhin iſt die ganze auf anatomiſchen Befunden fußende Darlegung Haberlandts dem Beſtreben entſprungen, bei der Reizbarkeit den Weg kauſaler Erklärung einzuſchlagen, ſoweit als möglich. Das iſt ein erfreulicher Fortſchritt gegenüber dem rohen Vergleich mit dem tieriſchen Sinnesleben, wie er von Noll in einem Vortrage „Das Sinnesleben der Pflanzen“ (Ber. d. Senckenberg. Geſ. zu Frankfurt 1896) verſucht wurde. Hier werden nicht nur die Gelenkpolſter der Mimoſa als Sinnesorgane, die Hauſtorien von Cuscuta als Geſchmacksspapillen bezeichnet, ſondern S. 18 die Reizerſcheinungen der Pflanzen den fünf menſchlichen Sinnen entſprechend gegenüber geſtellt. Das ſind die alten groben Vergleiche, die Linné mit den Organen der Säugetiere und Blütenpflanzen anſtellte.

Zu Seite 57. Die fundamentalen Arbeiten W. Pfeffers über die intereſſanten Reizbewegungen der Blätter ſind folgende: Unterſ. üb. Reizbarkeit der Pflanzen, Leipzig 1873; Unterſ. üb. Öffnen und Schließen der Blüten, in phyſiolog. Unterſuchungen, Leipzig 1873; Die periodiſchen Bewegungen der Blattorgane, Leipzig 1875; Unterſuchungen und Beiträge zur Kenntnis der Schlafbewegungen in Band 30 und 34 der Abh. d. K. Sächſ. Geſ. d. Wiſſ., Math. u. Phyſ. Klaſſe.

Zu Seite 58. Pfeffers Unterſuchungen über Chemotaxis in den Unterſuchungen aus dem Bot. Inſtitut zu Tübingen, B. 1, S. 363, B. 2, S. 582. Neuere Arbeiten über Reizbarkeit niederer Organismen u. a.; G. Funk, Ber. d. d. Bot. Geſ. 37, S. 187, Buder in Jahrb. f. Wiſſ. Bot. 58, S. 525; G. Schmid, Flora N. F. 11, 12; F. Oltmanns, Zeitſchr. f. Bot. 9, S. 257; Fechner ebenda 7, S. 289.