

1932 E 174  
Landwirtschaftliche Hochschule Hohenheim.  
Reden und Abhandlungen.

---

Nr. 1.

# Die Arbeitsleistung der grünen Pflanze.

Rede gehalten bei Antritt des Rektorates  
am 25. April 1931  
von dem ordentlichen Professor der Botanik

**Dr. H. Schroeder.**



---

Verlagsbuchhandlung von Eugen Ulmer, Stuttgart, Olgastr. 83  
Verlag für Landwirtschaft und Naturwissenschaften

Ein Vortrag aus dem Gebiet der Naturwissenschaften darf in der Gegenwart, in der diese durch Vermittlung der Technik unsere Lebensführung auf Schritt und Tritt beeinflussen, mit Sicherheit auf die Anteilnahme weiter Kreise rechnen. Indessen stellt das Behandeln naturwissenschaftlicher Gegenstände einige Anforderungen an die Zuhörer, die der Redner beschränken kann, die er aber nicht zu beseitigen vermag. Denn während in anderen Disziplinen, ich nenne als Beispiel die Geschichte, das einzelne Ereignis als solches fesselt, wirkt ein naturwissenschaftliches Thema, sofern nicht praktische Fragen berührt werden, nur beim Aufrollen großer Zusammenhänge. Ein bloßer Ausschnitt lockt nicht, das ganze Bild muß wenigstens in groben Umrissen angedeutet werden. Bei der Größe der Natur wird jedes derartige Bild als nur von einem Einzelstandpunkt aus aufgenommen, mit einer gewissen Einseitigkeit behaftet sein. Das ist gleichfalls, will man der Gefahr der Oberflächlichkeit entgehen, unvermeidlich. Wie aber der lebenswahre Bericht etwa eines unbedeutenden Vorpostengefichtes stärkere Teilnahme erweckt als die phantasievolle Schilderung einer erdachten Schlacht, wie der erlebte Roman tiefer ergreift als der erdichtete, weil wahres und nicht ersonnenes Menschenschicksal uns entgegentritt, so schmückt auch die Schöpfungen der heutigen Naturwissenschaft der unwiderstehliche Zauber der Wirklichkeit.

Erst, nachdem die Chemie eine gewisse Höhe erreicht hatte, konnte das alte Problem der Kohlenstoffernährung der grünen Pflanzen mit Aussicht auf Erfolg angegriffen werden. Alle vorausgehenden Bemühungen mußten sich auf bloße Spekulationen beschränken, oder mußten, wie der berühmte und für seine Zeit

bewundernswerte Versuch van Helmonts zu Fehlschlüssen führen. Erst nachdem die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft festgestellt war, konnte erkannt werden, daß die grüne Pflanze aus der Luft Stoff aufnimmt und an die Luft Stoff abgibt. Sobald diese Grundlage gewonnen war, vollzog sich die Weiterentwicklung erstaunlich rasch. Es ist gewiß kein Zufall, daß einer der Entdecker des Sauerstoffs, Priestley, den ersten Schritt getan hat, indem er Sauerstoffentwicklung bei grünen Algen beobachtete. Ihm folgte Ingenhoucz, welcher erkannte, daß dieser Vorgang sich nur im Hellen abspielt und endlich Senebier mit der Entdeckung, daß das Kohlendioxyd der Luft, gewöhnlich Kohlensäure genannt, aufgenommen und zerlegt werde. Nach den sorgfältigen quantitativen Untersuchungen de Saussures war die Lehre von der Kohlenstoffernährung der Pflanze — der grünen Pflanze, die ich heute allein berücksichtige, auch wenn ich das nicht immer ausdrücklich anmerke — in ihrer heutigen Form gefunden. Die grüne Pflanze entnimmt mit ihren Blättern der umspülenden Luft Kohlensäure und bildet aus dieser unter Mitverarbeitung von Wasser und unter Abgabe von Sauerstoff organische Substanz, doch nur, was für meine Ausführungen von besonderer Bedeutung ist, bei Zutritt von Licht.

Dieser Satz beschreibt nur das Prinzipielle des Vorganges. Aus ihm ergaben sich sofort und mehr noch, wie ich zeigen werde, im Laufe der Zeit eine Fülle neuer Fragen, die zum nicht geringen Teil noch heute der endgültigen Beantwortung harren. Denn die vorgetragene Lösung ist unvollständig und sie ist einseitig. Unvollständig nicht nur wegen Vernachlässigung physiologischer Gesichtspunkte, sondern schon vom Standpunkt der Chemie, weil über den Weg, auf welchem die Umwandlung sich vollzieht und über die Hilfsmittel, deren sich die Pflanze bedient, keinerlei Aussagen gemacht werden; einseitig, weil nur eine, die stoffliche Seite, der Frage beachtet wird.

Es liegt mir daran, diese Einseitigkeit überzeugend zum Ausdruck zu bringen. Darum beginne ich mit einer scheinbar abschweifenden Betrachtung. Die Nährstoffe der Pflanze, soweit ich dieselben heute berücksichtige, bilden Kohlensäure und Wasser, zu den im Stoffwechsel aus diesen erzeugten Produkten gehören u. a.: Zucker, Stärke und Holz. Das Holz unserer Bäume, das

brennbar ist, das beim Verbrennen Wärme entwickelt und abgibt, die zum Heizen, zum Verdampfen von Wasser und durch Vermittlung des gespannten Dampfes zum Treiben von Maschinen, zum Bewegen von Lasten und zu sonstigen mechanischen oder Arbeitsleistungen verwendet werden kann. Die Rohstoffe: die Kohlensäure, das Wasser sind nicht brennbar. Sie lassen sich daher nicht in der eben gekennzeichneten Weise benutzen. Sie entstehen vielmehr beide bei der Verbrennung von Holz als nutzlose, mitunter lästige Abfallstoffe, die durch den Kamin weggeschafft werden.

Die grüne Pflanze verwandelt demnach Stoffe wie Kohlensäure und Wasser, die unbrauchbar sind, als Kraftquelle für Arbeitsleistungen zu dienen, in solche, die in dieser Richtung verwendet werden können. Nennt man die Fähigkeit, direkt oder indirekt mechanische Arbeit zu leisten, Energie, so kann ich kurz, wenn auch vielleicht nicht aufs Letzte korrekt, sagen, die Nährstoffe der Pflanzen enthalten keine Energie, die Produkte ihres Stoffwechsels sind durch hohen Energiegehalt ausgezeichnet.

Mit diesen Ausführungen ist ein Problem angedeutet, das für die heutige Wissenschaft unmittelbar und zwingend aus der um die Wende des 18. und 19. Jahrhunderts aufgestellten Kohlenstoffernährungslehre für die Pflanze sich ergibt. Es gehört indes zu den Problemen, welche erst in der Folgezeit auftauchten; nicht nur zu seiner Lösung, schon zu seinem Erkennen war das Wissen jener Zeit nicht reif. Wiederum mußten zuvor die Chemie und diesmal namentlich die Physik fortgeschritten sein. Es mußte einer der Grundpfeiler der modernen Naturwissenschaft, das Prinzip der Erhaltung der Energie, gefunden sein. Wie Stoff, Materie weder erschaffen noch vernichtet werden kann, so ist auch Energie, die Fähigkeit mechanische Arbeit zu leisten, unerschaffbar und unzerstörbar; wie aber weiterhin Stoffe ineinander umgewandelt werden können, so lassen sich auch die verschiedenen Erscheinungsformen der Energie ineinander überführen. Beides erfolgt nach festen Gesetzen, deren grundlegendes für die Materie lautet: Die Summe der Massen aller an einer Umsetzung beteiligten Stoffe bleibt unverändert, und das entsprechende für Energie: Die Energiesummen bleiben bei allen Wandlungen gleich. So wie dieses Prinzip erkannt war, mußte folgerichtig die Frage aufgeworfen werden: Woher stammt die Energie, die in Produkten

der Pflanze enthalten ist, während sie ihren Nährstoffen fehlt? Oder schärfer gefaßt: Welche Energieform führen die grünen Pflanzen in die chemische Energie ihrer Produkte über? Dabei ist unter chemischer Energie diejenige Energieform zu verstehen, deren Dasein bei chemischen Umsetzungen, also z. B. bei der Verbrennung, durch Verwandlung in andere Energieformen zumeist Wärme offenkundig wird.

Die beiden Männer Julius Robert Mayer und Hermann Helmholtz, welche um die Mitte des verflossenen Jahrhunderts als die ersten das Prinzip der Erhaltung der Energie in seiner Allgemeingültigkeit erfaßten, zogen schon in ihren frühesten Arbeiten die Folgerungen für die Vorgänge bei der Kohlenstoffernährung der Pflanze. In diesem Falle wurde also das Problem erkannt, konnte erst erkannt werden, als die Möglichkeit gegeben war, es zu lösen. Aufstellen und Lösen, prinzipielles Lösen fallen zusammen. Die Ausführungen von Julius Robert Mayer und Hermann Helmholtz, sind für die geistige Einstellung eines jeden derselben derart kennzeichnend, daß es verlohnt, ihre eigenen Worte wiederzugeben.

Der 30jährige schwäbische Arzt Mayer, mehr philosophisch veranlagt, vielleicht sogar etwas poetisch angehaucht, schreibt 1845 in seinem zweiten hergehörigen Aufsatz: „Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte in starre Form umgewandelt aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen, und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen“. Der Ausführung dieser Gedanken widmet Mayer hiernach mehrere Druckseiten.

Der 27jährige Hermann Helmholtz, gleichfalls seines Zeichens damals Mediziner, aber vorwiegend physikalisch-mathematisch eingestellt, bringt 1847 folgendes:

„In den Pflanzen sind die Vorgänge hauptsächlich chemische und außerdem findet, wenigstens in einigen, eine geringe Wärmeentwicklung statt. Vornehmlich wird in ihnen eine mächtige Quantität chemischer Spannkräfte deponiert, deren Äquivalent uns als Wärme bei der Verbrennung der Pflanzensubstanz geliefert

wird. Die einzige lebendige Kraft, welche dafür nach unseren bisherigen Kenntnissen während des Wachstums der Pflanzen absorbiert wird, sind die chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. Es fehlen uns indessen noch alle Angaben zur näheren Vergleichung der Kraftäquivalente, welche hierbei verloren gehen und gewonnen werden.“ Also rein sachlich, kurz und treffend. Ich war in Versuchung zuzusetzen, nüchtern, hätte ich mich nicht des Ausspruches eines Philosophen, ich glaube Schopenhauers, erinnert, der da sagt, daß das Große am wirkungsvollsten mit einfachen Worten beschrieben werde.

Mayer wie Helmholtz erblicken demnach in dem Licht, der zustrahlenden Sonnenenergie — die Notwendigkeit der Belichtung war, wie ich schon erwähnt habe, bereits 1779 durch Ingenhoucz entdeckt worden — die Energiequelle für die mit Zunahme der chemischen Energie verbundenen Stoffwandlungen im Pflanzenkörper. Strahlende Energie wird in chemische verwandelt und dient in dieser Form, aufgenommen durch die Nahrung, Mensch und Tier als Kraftquelle für ihre Leistungen. Im Gegensatz zur Lichtenergie kann chemische Energie gespeichert und transportiert werden, sie ist zugleich, wenn ich so sagen darf, weit stärker konzentriert als jene. Während Mayer diese Erwägungen in den Vordergrund stellt, schneidet Helmholtz in dem letzten seiner wenigen Sätze eine dem Physiker besonders naheliegende Frage an, die nach der quantitativen Seite der Umformung, nach dem Nutzeffekt, womit der Gegenstand meines Vortrages gegeben ist. Was leistet die grüne Pflanze als Motor zur Umwandlung von Sonnenenergie, strahlender Energie in chemische Energie? Was leistet die grüne Pflanze als Energietransformator?

Bezüglich der Gesamtleistung, d. h. der absoluten Höhe, der alljährlich von der Pflanzenwelt gespeicherten Energiemengen fasse ich mich kurz, notgedrungen kurz. Wohl ist der Versuch gewagt worden, diesen Betrag, natürlich nur in grober Annäherung, zahlenmäßig zu erfassen. Die Rechnung führt indes zu Größen, welche in das Gebiet des Unvorstellbaren fallen. Es bedeutet uns nichts, wenn wir hören, daß die von den Landpflanzen der Erde im Laufe eines Jahres in chemische Energie verwandelte und als solche gestapelte Sonnenenergie gleichwertig ist wenigstens 170000 Billionen großer Kalorien oder großer Wärmeeinheiten;

es sagt uns nichts, wenn wir hören, daß diese Wärmemenge genügt, um rund 2000 Billionen Kilo Eis zu schmelzen, es hinterbleibt lediglich das dumpfe Gefühl einer unverständlichen Größe. Vielleicht vermag ein Vergleich zu helfen. Das Energiequantum, welches die binnen eines Jahres auf der ganzen Erde geförderte Kohle birgt, beträgt beiläufig den dreißigsten Teil des von den Landpflanzen gleichfalls während eines Jahres gespeicherten, gespeichert zum großen Teil für längere Zeit. In schlagbaren Beständen einheimischer Wälder beträgt das Lebensalter der Individuen 80, 100 und mehr Jahre. Und wenn man wiederum nur in roher Näherung die in Pflanzen, Pflanzenprodukten und Pflanzenleichen angehäuften Energieschätze veranschlagt, so erhält man etwa den zwanzigfachen Betrag der Jahresleistung. Leider ist eine weitere rasche Vorratszunahme der gestapelten Energie in der Gegenwart, vorsichtig gesprochen, unwahrscheinlich. In vergangenen Perioden der Erdgeschichte war dem anders. Da muß zeitweise die Speicherung den Verbrauch beträchtlich übertroffen haben. Ein großer Teil dieses Überschusses ist als chemische Energie der Kohle bis zur Gegenwart erhalten geblieben. Der Energiegehalt der Kohlenlager der Erde, gleichgültig ob abbauwürdig oder nicht, kommt beiläufig der fünfhundertfachen Jahresleistung der jetzigen Pflanzenwelt gleich. Diese Jahresleistung bildet das Einkommen der Erde an verwertbarer Energie, soweit die Tätigkeit der Pflanzen in Betracht kommt; die in Pflanzenprodukten einschließlich der Kohle aufgesammelten Mengen bilden das leider unvermehrbares Energiekapital.

Versucht man es, die Jahresleistung der Pflanze in bezug auf Energiespeicherung zu der von der Sonne her einstrahlenden Energiemenge in Beziehung zu setzen, so ändert sich das Bild und geringfügig wird, was eben noch unfaßbar groß erschienen. Von der am äußersten Rand der Erdatmosphäre auftreffenden Sonnenenergie wird etwas mehr als  $\frac{1}{10\,000}$  also etwas über  $\frac{1}{100}$  Prozent von den grünen Landpflanzen in chemische Energie umgesetzt, gespeichert. Die Nutzleistung erscheint nahezu verschwindend. Dieser Eindruck bleibt, auch wenn ich den gebrachten Wert, um die Leistung der Pflanzenwelt gerecht zu würdigen, einer Korrektur unterwerfe. Von der am Rande der Atmosphäre auftreffenden Strahlung gelangen beiläufig nur 40% bis zur

festen Erdoberfläche, also bis in die Reichweite der Pflanzen, das übrige wird reflektiert oder von der Luft zurückgehalten. Außerdem ist nur die Flora des Landes berücksichtigt, nicht die des Meeres, das doch den größeren Teil der Erdoberfläche bedeckt. Selbst für die Landflächen sind weitere Abstriche zu machen, im Hinblick auf vegetationslose Gebiete wie Polarländer, Wüsten und Hochgebirgsregionen. Wenn dies berücksichtigt wird, wird der mitgeteilte Wert vervielfältigt werden müssen und es ergibt sich eine Ausnutzung von vielleicht 0,1—0,2% für den verbleibenden Teil der die Erdoberfläche wirklich erreichenden Sonnenenergie. Man fragt sich angesichts dieser geringen Größe, ist mangelhafte Leistung der Pflanzen die Ursache für diesen schlechten Nutzeffekt?

Damit kehre ich zu dem Gedanken von Helmholtz nach der quantitativen Quote der Ausnutzung zurück. Ich will nunmehr die Frage mehr ins einzelne stellen etwa mit den Worten, welcher Anteil der ein grünes Blatt treffenden Lichtenergie wird in chemische Energie umgewandelt? Zu ihrer Beantwortung beginne ich unter Übergehen älterer Untersuchungen mit einer grundlegenden Arbeit der englischen Forscher Brown und Escombe aus dem Jahre 1905. Diese fanden in peinlich sorgfältigen Versuchen für das bestrahlte Einzelblatt eine Nutzleistung von 0,44—4,48% der auffallenden, empirisch gemessenen Lichtenergie. Nicht mehr als dieser Anteil wurde in chemische Energie umgewandelt, alles übrige, soweit es nicht, wie etwa 30%, durchgelassen wurde, diente der Wasserverdunstung und der Erwärmung. Demnach zeigten die Ausnutzungsquoten beträchtliche Unterschiede. Der höchste Wert betrug das zehnfache des geringsten, und zwar folgend der Regel, je schwächer innerhalb gewisser Grenzen die Belichtungsstärke, umso besser die Ausbeute. Die zu verarbeitende Kohlensäure wurde bei allen Versuchen in der gleichen Konzentration, der natürlichen der Atmosphäre, 0,03% geboten.

Die zerlegte Kohlensäuremenge blieb, gleichgültig ob stärker oder schwächer belichtet wurde — ich fühle mich verpflichtet, zu wiederholen, innerhalb gewisser Grenzen stärker oder schwächer belichtet wurde — unverändert. Daraus muß gefolgert werden, daß schon das gedämpfte Licht genügt, um alle während des Versuchsintervalles in die Reichweite des Blattes gelangende

Kohlensäure zu zerlegen. Zufuhr von stärkeren Lichtmengen war wirkungslos, denn sie brachte dem Blatt lediglich unverwertbaren, mangels Rohstoffes unverwertbaren Überschuß. Ich könnte von Luxusbelichtung sprechen. Je größer dieser Lichtüberschuß oder Überfluß, umso schlechter die Ausnutzung. Danach wird die Nutzungsquote vornehmlich, wenn nicht ausschließlich, in folgenden beiden Fällen Interesse beanspruchen können:

1. Im kurz dauernden Versuch unter für die Lichtausnutzung möglichst vorteilhaften Außenbedingungen, vor allem unter Vermeiden unausnutzbaren Lichtüberflusses.
2. Unter natürlichen Daseinsbedingungen.

Der erste Wert wird die Höchstleistung des Motors ergeben, die, wenn ich nicht irre, Bremsleistung genannt wird; der zweite die mittlere Gebrauchsleistung. Letztere belehrt darüber, ob der Motor, dessen Höchstleistung bekannt ist, den Anforderungen der Praxis entspricht, ob unsere Pflanzenwelt den heutigen Existenzbedingungen vollkommen angepaßt erscheint.

Leider liegen die Verhältnisse nicht so einfach, daß ich ohne weiteres Zahlen für jede dieser beiden Leistungsquoten angeben kann. Ich muß etwas ausführen.

Die Bestimmung der erreichbaren Höchstleistung wurde in den letzten Jahren einigemal angestrebt, in allen Fällen unter Verwendung von untergetaucht lebenden Wasserpflanzen als Versuchsobjekt. Warburg, einer der hier zu nennenden Forscher, brachte eine Algenaufschlemmung solcher Tiefe und Dichte in den Weg der Lichtstrahlen, daß das einfallende Licht restlos absorbiert wurde. Er erzielte auf diese Weise Ausbeuten von 34% bis 59% der aufgenommenen für seine Versuchsanordnung gleich der eintretenden Strahlung. Der Rest wurde als Wärme zerstreut. Den höheren Wert, 59%, brachte rotes, den kleineren, 34%, blaues Licht. Ähnliche, wohl noch etwas höhere Quoten, fand Wurmser mit etwa 60–80% des nach seiner freilich bestrittenen Auffassung vom grünen Farbstoff, Chlorophyll, absorbierten Anteiles der Einstrahlung. Warburgs Werte haben in jüngster Zeit eine Bestätigung von anderer Seite gefunden. Im übrigen darf ich bestehende Meinungsverschiedenheiten übergehen, denn es wird genügen zu wissen, daß Nutzleistungen von 30 bis 60% als sicher

nachgewiesen gelten dürfen. Diese Quote muß, verglichen mit von Menschenhand erstellten Maschinen, als sehr gut bezeichnet werden. Denn um nur einige Vergleichswerte anzuführen, nutzen die besten Kolbendampfmaschinen den Energiegehalt des Brennmateriales, der Kohle, zu 17% aus, Dampfturbinen kommen ihnen gleich und erst Explosionsmotoren mit 30% und Dieselmotoren mit 35% Nutzung der Wärmeenergie der Brennstoffe nähern sich den oben für Pflanzen gefundenen Nutzeffekten oder erreichen sie.

An Landpflanzen liegen gleich zu bewertende Beobachtungen nicht vor. Ebenso hohe Quoten der Nutzung einfallenden Lichtes, wie sie eben für Submerse angegeben wurde, sind bei jenen als Höchstleistung keinesfalls zu erwarten. Denn bei in der Luft entfaltenden Vegetationsorganen wird allemal ein sehr beträchtlicher Anteil der Einstrahlung, bei Brown und Escombe volle 50%, für Wasserverdunstung aufgewendet. Wenn auch nicht zu bezweifeln ist, daß dieser Betrag durch geschickte Wahl der Versuchsbedingungen wird herabgesetzt werden können, völlig beseitigen wird er sich nicht lassen. Für den kurz dauernden Versuch ist die Transpiration, Wasserverdunstung durch die Blattflächen, zum wenigsten als ein bei der gegebenen Organisation der Landpflanzen unvermeidliches Übel zu betrachten. Bei länger währenden Beobachtungen im Freien dürfte sie als für das Gedeihen der Pflanze unentbehrlich überhaupt nicht unterdrückt werden. Rechnerisch kann sie natürlich eliminiert werden und wenn bei den Ergebnissen von Brown und Escombe 80% der Einstrahlung für zur Verdunstung verwendete und für durchgelassene Energie abgezogen werden, bleibt eine Ausnutzung von etwa 22% des verbleibenden Restanteiles. Das ist ungefähr die Hälfte der Werte von Warburg, wonach vorauszusehen ist, daß es gelingen wird, die Quote von 4,5% des einfallenden Lichtes zu steigern, zumal ein russischer Forscher, Purjewitsch, unter natürlichen Bedingungen in Einzelfällen bis zu 7,7% beobachtet hat. Will man, was ich durchaus für möglich halte, noch bessere Nutzleistungen erzielen, so werden die Bedingungen sich von den natürlichen erheblich unterscheiden müssen.

Das wäre also die Höchstleistung des Motors; verglichen mit den Nutzeffekten von Kraftmaschinen, wird man sie als gut bezeichnen dürfen.

Nunmehr wende ich mich der Gebrauchsleistung zu, also der Nutzleistung in der freien Natur. Ich könnte hier die Zahlen von Brown und Escombe und von Purjewitsch wiederholen, sind sie doch unter Verhältnissen gewonnen, die als natürliche bezeichnet werden dürfen. Die von ihnen gefundenen Höchstwerte werden demgemäß im Freien zeitweise, etwa zu bestimmten Tagesstunden, ich kann noch näher präzisieren, bei nicht zu intensiver Belichtung erreicht werden können. Aber die Übertragung kurz währendender, eine eng begrenzte Zeitspanne herauschneidender Versuche erscheint für die Kenntnis der natürlichen Nutzleistung unzulässig. Es handelt sich um die Gebrauchsleistung unter den wechselnden und schwankenden Bedingungen der Umwelt, die bei stärkeren Ausschlägen mannigfaltiger sein werden als die relativ gleichförmigen Ansprüche, die an künstliche Maschinen gestellt zu werden pflegen. Am sonnigen Tag bis zum Mittag steigende, nach Überschreiten desselben fallende Lichtintensität. Im gleichen Rhythmus ändert sich die Zusammensetzung des Lichtes, morgens und abends höherer Anteil von rot, um die Mitte des Tages in allmählichem Übergang blau verhältnismäßig stärker vertreten. Dazu kommt der Einfluß der Bewölkung, fehlend, schwächer oder stärker auftretend, schließlich zum grauen Regenhimmel sich verdichtend. Ich will andere in ihrer Intensität gleichfalls veränderliche Außenfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit der Luft, Wassergehalt des Bodens, Niederschläge außer Acht lassen und mich auf die treibende Kraft, das Licht, beschränken mit der Frage: Wie werden die Unterschiede in Stärke und Zusammensetzung des Lichtes auf die Nutzungsquote wirken? Zum ersten läßt sich kurz antworten: Wie in den besprochenen Versuchen wird die Ausbeute umso besser sein, je schwächer die Belichtung, also früh und spät am Tage höher als in den Mittagsstunden, an Regentagen höher als bei heiterer Witterung. Ich will Mißverständnissen vorbeugen, die Nutzungsquote. Es wird also an Regentagen nicht etwa ein höherer Betrag an organischer Substanz gewonnen wie an hellen Tagen, das ist, abgesehen von vielleicht ausgesprochenen Dürreperioden, nicht der Fall, im Gegenteil. Aber von der verhältnismäßig geringen Lichtmenge, die bei bedecktem Himmel die Pflanze trifft, wird ein höherer Prozentsatz als chemische Energie gebunden wie von der Lichtfülle eines echten Sommertages.

Wie hoch ist die mittlere Leistung binnen eines Jahres unter diesen, wie angedeutet, so vielfältig periodisch oder unregelmäßig schwankenden Außenbedingungen? Es ist unmöglich, diesen Wert durch fortlaufende messende Beobachtung zu ermitteln und wenn es ausführbar wäre, müßte es vielleicht als Arbeitsvergeudung bezeichnet werden. Denn man ist in der Lage, aus der Menge der einstrahlenden Lichtenergie und aus der erzeugten organischen Substanz einen Durchschnittswert für den Nutzeffekt zu berechnen. An die Stelle der von den Blättern aufgenommenen Energiemengen müssen dabei freilich diejenigen gesetzt werden, welche ein bestimmtes Areal vegetationsbedeckten Bodens treffen. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Pflanze ist der so erhaltene Wert weniger geeignet als die bisher gebrachten. Dagegen ist er ganz besonders tauglich zur Beurteilung der Leistung, wenn ich so sagen darf, der Vegetation als ganzes.

Die einstrahlende Sonnenenergie läßt sich aus vorliegenden Angaben, Helligkeitsmessungen, mit einiger Zuverlässigkeit berechnen. Sie beträgt auf den Quadratmeter Boden für Kiel 353400, für Kiew 610000, für Montpellier 718000 große Wärmeinheiten im Jahresdurchschnitt. Den als chemische Energie festgelegten Anteil liefert der Verbrennungswert der pflanzlichen Produkte, — nutzbare Ernte, Körner und Stroh, Wurzel oder Knollen und Kraut, zuzüglich der Feldrückstände. Auf diese Weise sind Pfaundler und nach ihm Pütter vorgegangen. Ersterer ein etwas anderes Ziel verfolgend und darum mittlere oder eher geringe Ernte einsetzend und ausschließlich den Körnerertrag berücksichtigend, kommt für hohe Insolation (Mittel zwischen Kiew und Montpellier) zu einer Nutzung der Jahreseinstrahlung von nicht mehr als 0,08%. Pütter findet für die gesamte produzierte organische Substanz, also unter Einschluß von Stroh und Feldrückständen bei Beziehung auf das sonnenarme Kieler Klima eine Ausnutzung von rund 3% der während der Vegetationsdauer, also beim Sommerweizen während 21 Wochen, einstrahlenden Energie. Zur Wertung der im Freien möglichen Leistung einer begrenzten Fläche bewachsenen Bodens ist Pütters Vorgehen vorzuziehen. Denn, wenn er auch außergewöhnlich hohe Erträge seiner Rechnung zugrunde legt, so besteht kein Zweifel, daß diese überall auch in Schleswig-Holstein

erzielt werden können. Sein Wert stellt daher einen im Freien auftretenden Nutzeffekt dar. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Pflanze im Atmungsprozeß etwa 15% des Assimilationsgewinnes selbst verbraucht, steigt die Quote auf 3½% im Durchschnitt für eine größere Anzahl von Kulturgewächsen, während sie beim Rotklee fast 6% erreicht, allerdings alles unter der Voraussetzung, daß die grüne Pflanze nicht doch, entgegen der herrschenden Ansicht, organische Stoffe des Bodens oder Düngers verwerte. Diese Leistung erscheint, verglichen mit den Ergebnissen der früher besprochenen Versuche von Brown und Escombe und von Purjewitsch, hoch. Denn bei diesen wurde die auf die Blattfläche auftreffende Energiemenge gemessen, bei Pütter die der Flächeneinheit Boden zuströmende. Letztere wird aber nicht gänzlich von assimilierenden Pflanzenorganen aufgefangen werden. Vollkommen beschattet wird der Ackerboden nie sein und namentlich in den ersten Entwicklungsstadien, wenn die Saat aufläuft, wird weitaus der größte Teil der Einstrahlung den Ackerboden treffen und nur ein kleiner Teil die Keimlinge. Noch sind es keine Höchstwerte für die Nutzleistung der Kulturpflanzen im Freien. Denn es ist möglich, ob wirtschaftlich kommt hier nicht in Betracht, selbst die außergewöhnlich hohen Ernten durch Kulturmaßnahmen, etwa auf Versuchspartellen zu steigern.

Ist zwecks Kenntnis der Gebrauchsleistung des Motors der Nutzleistung der Kulturpflanzen also Pütters Berechnungsweise richtig, so wäre es trotzdem denkbar, daß das auf dieser Grundlage gezeichnete Bild fehlerhaft wäre. Die vor und nach der Ernte, Frühjahr, Herbst, Winter einstrahlende Energie ist nicht berücksichtigt. Man könnte dies bedenkend fragen, wird nicht auf die Bestrahlung des ganzen Jahres bezogen durch die periodische Vegetationsleere der Ackerfläche die Leistungsquote für Kulturpflanzen gegenüber den von Menschen unbeeinflussten Pflanzenbeständen herabgedrückt? Sommerweizen, welcher die während der 21 Wochen seiner Vegetationsdauer auffallende Strahlung bei außergewöhnlich hoher Ernte zu 3,26%, bei gewöhnlichem Ertrage zu 1,4% speichert, legt damit 1,8% bzw. 0,9% der im Laufe des ganzen Jahres die Ackerparzelle treffende Lichtenergie fest. Indes ergibt Buchenwald fast genau die gleichen Werte wie Weizen

bei gewöhnlichem Ertrage, nämlich 1,4 % für die während der 167 Tage voller Belaubung und 0,9% für die während des ganzen Jahres einstrahlende Energie. Die wintergrünen Waldbäume, wie Fichte und Kiefer leisten nicht mehr.

Es bleibt also eine Ausnutzung von etwa 1% für die auf die Flächeneinheit guten oder gut behandelten Bodens im Laufe eines Jahres auftreffende Lichtenergie. Die Ernteerträge sind steigerungsfähig und sie brauchen in Kiel nicht kleiner zu sein als in Kiew. Daraus folgt ohne weiteres, daß die Pflanze in der freien Natur die auffallende Lichtenergie nicht in dem Maße ausnutzt, wie sie das nach ihrem Bau und nach ihrer Leistungsfähigkeit zur Umwandlung strahlender Energie vermöchte. Es müssen also andere Einflüsse vorhanden sein, welche die Leistung herabdrücken.

Ich begnüge mich, einige aufzuzählen. Bei günstiger Witterung, an hellen Tagen bremst der Kohlensäuregehalt der Luft, der Mangel an zu verarbeitendem Rohstoff. Zeitweise mag zu niedere Temperatur, ein andermal Wassermangel die Leistungsquote erniedrigen. Hinzu kommen mittelbar wirkende Einflüsse. Alle Umstände, die rascheres oder üppigeres Wachstum hervorrufen, werden sich dahin äußern, daß eine größere Blattfläche zum Auffangen des Lichtes bereit steht. Sie werden daher die Nutzung, bezogen auf die Flächeneinheit, des Bodens steigern. An diese Stelle dürften Kulturmaßnahmen, darunter die Ertragssteigerung durch künstlichen oder Mineraldünger gehören, wobei ich allerdings in Gedanken einen bescheidenen hier weder wiederzugebenden, noch weniger zu begründenden, Vorbehalt mache.

In der erreichbaren Höchstquote der Leistung ergab sich ein Unterschied zwischen untergetauchten Wasserpflanzen und Landpflanzen. Unterschiede in der Leistungsquote, wenn auch geringere, werden für Landpflanzen verschiedener Standorte bestimmt zu erwarten sein. Die mitgeteilten Berechnungen beziehen sich ausschließlich auf Sonnenpflanzen. Es ist denkbar, vielleicht nicht einmal unwahrscheinlich, daß ausgesprochene Schattengewächse mit besserem Ausnutzungsvermögen ausgerüstet sind. Gelegentlich wurde die ungleiche Leistungsfähigkeit der Kulturpflanzen erörtert und empfohlen, im Hinblick auf die Bedürfnisse der Menschen diejenigen zu bevorzugen, die die besten Leistungen

zeigen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Menschheit im Laufe der Zeiten dazu kommen wird, diesem Problem ernste Aufmerksamkeit zu schenken. Heute darüber etwas zu sagen, wäre verfrüht, da zuerst eine Reihe von Vorfragen zu beantworten ist.

Trotzdem also die Durchschnittsleistung der Pflanzenwelt hinter der erreichbaren Höchstleistung erheblich zurücksteht, wäre es verfehlt, hier von mangelhafter Anpassung, von einer über die Notwendigkeit hinaus ausgebildeten Befähigung zu sprechen. Denn zeitweise, wenn das Licht, sei es unter dem Einfluß der Tageszeit oder der Witterung, sei es infolge Beschattung durch andere Gewächse, stark gedämpft ist, wird die Pflanze mit hohem Nutzeffekt arbeiten. Wäre ihr dies versagt, die Erzeugung organischer Substanz und eng damit verknüpft Wachstum und Vermehrung würden zurückgehalten. Befremdlich könnte es anmuten, daß auf der Höhe strahlender Tage gerade bei günstigsten Vegetationsbedingungen der Kohlensäuregehalt der Luft die Entfaltung der vollen Leistungsfähigkeit verhindert. Denn daraus folgt, daß die irdische Pflanzenwelt bei einer höheren Kohlensäurekonzentration zu besseren Leistungen befähigt ist. Tatsächlich spielt die Kohlensäuredüngung in der botanischen Literatur seit einiger Zeit eine Rolle. Ich bin nicht in der Lage, die Möglichkeit einer praktischen Durchführung derselben zu beurteilen, halte aber, wenn diese besteht, von theoretischem Standpunkt einen Erfolg für gewiß. Unzulängliche Kenntnis oder unzureichende Berücksichtigung sonstiger äußerer Einwirkungen können manches Mißlingen beim Versuch im kleinen erklären. Wollte man nun daraus und aus der Tatsache, daß die Erdatmosphäre in früheren Perioden einen reicheren Gehalt an Kohlensäure besessen habe, auf ungenügende Anpassung an die heutige niederere Konzentration schließen, so wäre das voreilig, weil einseitig. Unsere Pflanzenwelt hat sich seit der Karbonzeit erheblich gewandelt. Es ist nicht zu verstehen, warum sie gerade in der Richtung der Anpassung an Kohlensäurekonzentration zurückgeblieben sein sollte. Weiterhin ist aber zu bedenken, daß für die Existenzfähigkeit der heutigen Pflanzenwelt nicht nur vielleicht nicht einmal in erster Linie die Anpassung an Lichtintensität und Kohlensäuregehalt der Luft maßgebend sind. Es ist eine große Zahl anderer wirkender Außenfaktoren vorhanden. Je größer zum Beispiel die relative Ober-

fläche der Pflanzen, umso günstiger wohl die Kohlensäureversorgung, umso stärker aber auch die Transpiration, der Wasserverlust. Möglich, daß die damit drohende Gefahr des Vertrocknens noch stärkerer Oberflächenentfaltung eine Grenze setzt und daß die Gestaltung und damit die Leistung der Pflanzen in gewissem Sinne einen Kompromiß zwischen widerstreitenden Anforderungen darstellt.

Damit habe ich die Einseitigkeit meiner Betrachtung gekennzeichnet. Ich wünsche, daß Ihnen diese bewußt werde. Die Pflanze ist nicht nur, wie ich dies heute angenommen habe, ein Motor zum Transformieren von Energie, sie ist vielmehr ein Lebewesen, das ungemein vielen Anforderungen genügen muß, damit es sich als Individuum und damit es sich, was das höhere Ziel bedeutet, als Art erhalte. Denkende Betrachtung der Pflanze darf diese alltägliche Wahrheit keinen Augenblick übersehen.

Ich will zusammenfassen.

Ein Energiestrom unverstehbarer Größe entquillt ununterbrochen der Sonne. Ein geringer, ein fast verschwindender Bruchteil desselben berührt die Erde, auch dieser noch unfaßbar groß. Er enthält die der Erde zufallende Energie. Zum beliebigen Gebrauch verbleibt indes ausschließlich jener Teilbetrag, der zurückgehalten und konzentriert wird, als nutzbare, physikalisch gesprochen, freie Energie. In diesem Sinne wirkende Konzentrations- und Speichervorgänge sind erstens die Verdunstung und damit das Emporheben von Wasser, das danach im Fall oder in raschem Flusse mechanische Arbeit zu leisten vermag, und zweitens der Prozeß der Kohlenstoffernährung der grünen Pflanze. Nach dem schon einmal gebrauchten Bilde bedeuten diese beiden Vorgänge das laufende Einkommen der Erde an verwertbarer Energie, die irdischen Kohlenschätze das unvermehrbares Energiekapital. Das höchste Ziel der Zukunft muß es sein, dieses Einkommen zu vermehren und dieses Kapital zu schonen.

In der ersten Richtung arbeitet zielbewußte Landwirtschaft. Je höher die Ernteerträge, um so ausgiebiger die Speicherung. In Ansehung der früher gebrachten Zahlen mag dieses Mittel auf den ersten Blick bescheiden anmuten. Die Kulturflächen der ganzen Erde betrachtet, vermag es Gewaltiges zu leisten. Ob

dabei allerdings auf die Dauer bei der begrenzten Bodenfläche rückständige Wirtschaftsweise geduldet werden kann, ist der Erwägung wert. Bei dem hier gleichfalls zu nennenden Erschließen neuer Kulturlächen etwa in fernen Ländern, spielen nicht nur vom geldlichen, sondern auch vom energetischen Standpunkt die Transportmöglichkeiten eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Die glänzenden Erfolge der organischen Chemie, die im Laboratorium zur Synthese des roten Blutfarbstoffes, in der Technik zur fabrikatorischen Herstellung des Indigos geführt haben, verleiteten zuweilen zu Prophezeihungen über künftige künstliche Erzeugung der Nahrungsmittel unter Ausschaltung der Pflanzenwelt. Ohne auf physiologische Bedenken einzugehen und im Geiste etwa das mit Skorbut behaftete Geschlecht heraufzubeschwören, das alsdann zu erwarten wäre, will ich lediglich die energetische Seite beleuchten. Der Kalorienbedarf des Erwachsenen in einem Jahre wird, allerdings für München, zu 900 000 Kalorien im Mittel angegeben. Danach benötigte die auf 1 600 Millionen geschätzte Erdbevölkerung 1 500 Billionen Kalorien, das ist fast ein Viertel des Energiegehaltes der gesamten gegenwärtigen Weltkohlenförderung. Unter der, ich darf unbedenklich sagen unmöglichen, Voraussetzung, daß es gelinge, die Energie der Kohle ohne jeglichen Energieverlust in solche von Nahrungstoffen zu verwandeln, wäre also ein Viertel, bei einer nutzbaren Energieausbeute von 50 % wäre die Hälfte, bei einer solchen von 25 % die ganze heutige Kohlenförderung zur Nahrungserzeugung aufzuwenden. Die zur Zeit ausgenutzten irdischen Wasserkräfte könnten nicht mehr als den Kalorienbedarf vielleicht des zwanzigsten Teiles der Menschheit decken, während die überhaupt ausnutzbaren etwa zur Hälfte herangezogen werden müßten. In beiden Fällen ist verlustlose Überführung ihrer Energie in die der Nahrungsmittel angenommen, was wiederum ausgeschlossen erscheint. Dabei würde das große Ziel, Festhalten eines möglichst hohen Anteiles der einströmenden Sonnenenergie nicht nur nicht gefördert, sondern im Gegenteil durch Vernachlässigen des Ackerbaues selbst vernachlässigt. Bei Verwendung von Kohle zur vorgestellten Nahrungsbereitung an Stelle der Pflanze würde, statt wie bisher vom Einkommen, vom unersetzlichen Kapital gezehrt. Das ist die Kehrseite dieser Utopie.

Damit will ich schließen. Ich habe Ihnen als Botaniker ein Blatt aus der Naturwissenschaft mit Ausblicken auf die naturwissenschaftliche Seite der Landwirtschaft vorgelegt. Ich habe bei meinen Betrachtungen die Grenzen meines Faches nach verschiedenen Seiten, mitunter weit, überschritten. Das müssen Sie verzeihen, den wahren Naturforscher wird es immer selbst auf die Gefahr des Irrs, hinausdrängen aus der Enge des Laboratoriums in die unermeßliche Weite der Natur mit ihren großen Zusammenhängen, die zu begreifen ein einzelnes Fach niemals ausreicht. Dieser Drang ist nicht nur verständlich, er ist notwendig. Die Betrachtung der Natur in ihrer unendlichen Größe erneuert ihm, dem Naturforscher, immer wieder den Mut und verleiht ihm die Kraft zur täglichen ermüdenden Kleinarbeit im Laboratorium und am Schreibtisch. Sie bewahrt ihn zugleich davor, unfruchtbaren Problemen nachzuhängen.

Und wenn Ihnen meine Ausführungen stellenweise etwas phantastisch erschienen, der Denker und der Träumer wohnen nahe beieinander, sie reichen sich zuweilen still die Hände.

### Nachtrag.

Da ich eine ausführliche Quellenangabe bei einer Rede, auch wenn sie im Druck erscheint, nicht für angebracht halte, begnüge ich mich mit der Mitteilung einiger weniger Schriften:

1. Die Seite 5 und 6 wiedergegebenen Ausführungen von Mayer und von Helmholtz sind erneut abgedruckt:

Robert Mayer: Die Mechanik der Wärme (III. Auflage besorgt von Weyrauch. Stuttgart 1893), Seite 74.

Hermann Helmholtz: Wissenschaftliche Abhandlungen.  
Bd. 1. Leipzig 1882, Seite 65—66.

2. Die Seite 7 und 8 gebrachten Werte entstammen:

Schroeder: Die Naturwissenschaften. VII. Jahrg. 1919.  
Seite 8 und 976.

3. Die Seite 9—12 angeführten Arbeiten über die Ausnutzung der Lichtenergie finden sich an folgenden Stellen:

a) Brown und Escombe: Proc. Royal. Society. 76. Bd. 1905. S. 69.

b) Purjewitsch: Jahrbücher f. wiss. Botanik. 53. 1914. S. 209.

c) Warburg und Negelein: Zeitschr. phys. Chemie. 102. 1922. S. 235. 106. 1923. S. 191.

d) Wurmser: Archives de Physique Biolog. I. Nr. 3. 1921. S. 34.

4. Für die Zahlenangabe Seite 15 und 16 sind nachzusehen:

Pfaundler: Deutsche Revue. 27 II. 1902. S. 29.

Pütter: Die Naturwissenschaften. II. Jahrgang 1914. S. 169.

