Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 53 (1943)

Artikel: Vergleichende Untersuchungen über Membranfärbung und Membranfarbstoffe in den Gattungen Gloeocapsa Kütz. und Scytonema Ag. : ein Beitrag zur Systematik der Blaualge

Autor: Gemsch, Norbert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37674

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.12.2025

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

Vergleichende Untersuchungen über Membranfärbung und Membranfarbstoffe in den Gattungen Gloeocapsa Kütz. und Scytonema Ag.

Ein Beitrag zur Systematik der Blaualgen.

Von *Norbert Gemsch*, Schwyz.

Eingegangen am 10.Dezember 1942.

Inhalt.

Seite

A. Die Grundlagen der bisherigen Blaualgensystematik 122
1. Die Größe der Protoplasten 123
2. Die Weite der Hüllen 123
3. Die Schichtung der Hüllen 124
4. Farbänderung durch Einfluß der Lichtintensität 125
5. Die Färbung der Hüllen und ihre Abhängigkeit von der Reaktion des Standortes 126

B. Rückblick und Problemstellung 130

C. Kurze Beschreibung der untersuchten Arten 133
1. *Gloeocapsa sanguinea* (Ag.) Kütz. 133
2. *Gloeocapsa alpina* (Näg.) emend. Brand 134
3. *Gloeocapsa pleurocapsoides* Nováček 135
4. *Scytonema myochrous* (Dillw.) Ag. 136

D. Kulturversuche 137

E. Vergleichende spektrographische Untersuchungen der Hüllenfarbstoffe . 141
1. Vorbemerkungen 141
2. Die Extraktion der Farbstoffe 142
a) Von *Gloeocapsa sanguinea* 143
b) Von *Gloeocapsa alpina* 144
c) Von *Gloeocapsa pleurocapsoides* 144
d) Von *Scytonema myochrous* 145
3. Apparatur und Meßmethodik 145
a) Spektrograph 145
b) Theoretische Erläuterungen 147
4. Meßergebnisse 154
a) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* . . . 154
b) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous* 165

F. Die Abhängigkeit der Hüllenfärbung von der Wasserstoffionenkonzentration 174
1. Vorbemerkungen 174
2. Theoretische Erläuterungen 174
3. Beschreibung der Meßapparatur und des Meßprinzips 176

Seite
4. Herstellung und Messung von pH-Standardlösungen 179
5. Meßergebnisse 182
a) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion des Gloeocapsins aus *Gloeocapsa alpina* und *Gl. sanguinea* bei pH = 2,8—3,0. 182
b) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion des Gloeocapsins aus *Gloeocapsa alpina* und *Gl. sanguinea* bei pH = 9 183
c) Kolorimetrische Bestimmung des Umschlagsintervalls von Gloeocapsin 184
d) Kolorimetrische Bestimmung des Umschlagsintervalls von Scytonemin 185
G. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen 187
H. Literaturverzeichnis 191

A. Die Grundlagen der bisherigen Blaualgen-Systematik und die Abhängigkeit der systematischen Merkmale von Außenfaktoren [1].

Die Systematik der Blaualgen stützt sich z. T. auf Merkmale, die, je eingehender man sich mit ihnen befaßt, desto mehr den spezifischen Charakter vermissen lassen. Der Grund für das Unvermögen einer zuverlässigen Abgrenzung der Gattungen und Arten innerhalb der Cyanophyceen liegt in erster Linie darin, daß die bisherige Blaualgen-Systematik auf Kriterien aufgebaut ist, deren *Abhängigkeit von Außenbedingungen* und damit deren Variabilität offenbar zu wenig untersucht und in Betracht gezogen wurde.

Mit der kritischen Wertung der verschiedenen Merkmale, die nach bisher maßgebenden Anschauungen die Systematik der Blaualgen stützen, hat sich in grundlegender und vielseitiger Weise speziell O. Jaag (1936/1940) befaßt. Seine Erkenntnisse bilden das Fundament vorliegender Arbeit, und es ist deshalb notwendig, sie zum Ausgangspunkt und zu den Voraussetzungen dieser Darstellung zu machen. Wir beschränken uns dabei entsprechend der engeren Zielsetzung vorliegender Arbeit im wesentlichen auf die Untersuchungen von O. Jaag, soweit sie die Gattungen *Gloeocapsa* und *Scytonema* und die mit ihnen direkt oder indirekt im Zusammenhang stehenden Verhältnisse betreffen.

O. Jaag gründet seine Erkenntnisse zunächst auf die Untersuchung der Vegetation und der einzelnen Arten an möglichst vielen ökologisch gleichartigen und auch verschiedenen Standorten in der

---

[1] Die Ausführungen dieses Teiles vorliegender Arbeit stützen sich auf die Mitteilungen von O. Jaag anläßlich der Jahresversammlung der Schweizer. Naturforschenden Gesellschaft in Locarno 1940 über « Neuordnung innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* » und diejenigen von O. Jaag und N. Gemsch, betitelt: « Beiträge zur Kenntnis der Hüllenfarbstoffe in der Gattung *Gloeocapsa* » (vgl. Verhandlungen der Schweizer. Naturforschenden Gesellschaft Locarno 1940, S. 157—159); ferner auf ein bisher unveröffentlichtes Manuskript, welches uns vom Verfasser, Herrn Prof. O. Jaag, freundlichst zur Verfügung gestellt wurde.

Natur und gelangt, gestützt auf das hierbei gewonnene Algenmaterial zu folgenden Schlüssen :

1. Die Größe der Protoplasten.

Die Größe der Protoplasten, welche in der herkömmlichen Systematik der Blaualgen als Grundlage der Differenzierung dient, ist zwar « innerhalb des gesamten Entwicklungszyklus der Art weiten Veränderungen unterworfen, bleibt aber für jeden besonderen Entwicklungszustand weitgehend konstant ».

An diese Feststellung knüpft O. Jaag folgende Überlegungen : « ... in der Natur finden wir an verschiedenen Standorten mit einheitlichen ökologischen Verhältnissen recht enge Grenzen der Größenvariabilität. Dabei muß aber betont bleiben, daß dies bloß unter vergleichbaren ökologischen Verhältnissen der Fall ist. Auf der Felswand aber herrschen auf geringe Distanzen hin die allergrößten Unterschiede hinsichtlich Temperatur, Feuchtigkeit, Belichtung, und es wäre überraschend, wenn unsere Algen unter so verschiedenen Lebensbedingungen nicht in ihrem Aussehen wechseln würden. F. Brand (1900) hat als erster auf diesen Formenwechsel hingewiesen, indem er zeigt, daß sich die Art *Gloeocapsa alpina* nicht in den bis dahin beschriebenen, weithülligen, lockeren Kolonien erschöpft, sondern daß als weitere Entwicklungsstadien in denselben Formenkreis hinein großzellige, dickumhäutete, stark gefärbte Zellfamilien gehören, die nach seiner Auffassung das Dauerzellenstadium verwirklichen. An diesem Beispiel sehen wir die Verschiedenheit der Protoplastengröße in verschiedenen Entwicklungszuständen, und eine Schwierigkeit der Blaualgensystematik liegt darin, zu erkennen, in welchem Zustand ein Material vorliegt und welcher Art es zuzurechnen ist. Brand selber ging nun zweifellos zu weit, wenn er alles, was violette und blaue Hüllen zeigt, in einen Tiegel warf und in einer einzigen Art *Gloeocapsa alpina* vereinigte. In diesem Formenkreis, der durch die Farbe der Hüllen umgrenzt ist, lassen sich mindestens zwei, wahrscheinlich aber drei Arten auseinanderhalten, nämlich neben *Gloeocapsa alpina* noch *Gloeocapsa compacta* mit Protoplasten von 2 μ ∅ im vegetativen Stadium und *Gloeocapsa nigrescens* mit ziemlich einheitlich 4 μ ... »

2. Die Weite der Hüllen.

In ebenso starkem Maße wie die Größe der Protoplasten wird die Weite der Hüllen als Artmerkmal der heutigen Systematik der Gattung *Gloeocapsa* beigezogen. So unterscheidet man z. B. die drei rotgefärbten Arten *Gloeocapsa sanguinea, Gloeocapsa Ralfsiana* und *Gloeocapsa magma* in erster Linie auf Grund der Weite ihrer Hüllen. Hierbei ist *Gloeocapsa magma* charakterisiert durch eng anliegende, dünne Gallert-

hülle (Hollerbach, 1924); *Gloeocapsa sanguinea* weist mittelweite und *Gloeocapsa Ralfsiana* ausgesprochen weite Hüllen auf.

Aber auch hier geben die kritischen Untersuchungen O. Jaags Aufschluß über die Bedeutung dieses als artspezifisch betrachteten Merkmals der Hüllenweite :

« Was an solchen Unterscheidungen an Einzelmaterialien deutlich erscheinen mag, wird alsbald unscharf und vielfach zweifelhaft, sobald man zahlreiche Materialien von vielen ökologisch gleichen, ähnlichen und verschiedenen Standorten untereinander vergleicht. Jedenfalls hatten wir bei der Durchsicht solcher Algenproben oft größte Mühe, einzelne *Gloeocapsa*-Lager einem dieser Formenkreise einzufügen, denn sie zeigten in der Weite ihrer Hüllen *alle Übergangsstufen* von den weiten Gallerten der scheinbar typischen *Gloeocapsa Ralfsiana* zu denen von *Gloeocapsa sanguinea* und von diesen wiederum zu der enghülligen *Gloeocapsa magma*. Dabei waren diese unsicheren Fälle ebenso häufig wie die andern, wo sich über die Zugehörigkeit keinerlei Zweifel aufdrängten. Daraus geht hervor, daß auch die Weite der Hüllen und Scheiden in der Systematik nur mit größter Vorsicht verwendet werden darf. Sie unterliegt sehr großen Schwankungen, die bei verschiedenen Formenkreisen stark variieren können; vielfach und ganz besonders bei den Gattungen *Gloeocapsa, Gloeothece, Aphanocapsa* und *Aphanothece* ist die Weite der Hüllen *der deutliche Ausdruck des Feuchtigkeitsgrades* des Standortes. Da die drei Arten *Gloeocapsa Ralfsiana, Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa magma* sich durch keine wesentlichen Merkmale voneinander unterscheiden als durch die Weite der Hüllen, so ist, wie wir später noch im einzelnen ausführen werden, die logische Folgerung, daß sie als Standortsformen oder Entwicklungszustände in eine einzige Art *Gloeocapsa sanguinea* zusammengezogen werden. Bei den gelbhülligen *Gloeocapsen* ist hinsichtlich der Hüllenweite dasselbe der Fall . . . »

3. Die Schichtung der Hüllen.

Neben den beiden bereits angeführten « Merkmalen » gilt auch die Schichtung der Gallerthüllen in der bisherigen Systematik der Blaualgen als eines der wesentlichsten Unterscheidungsmerkmale. Aber auch dieses vermeintliche Charakteristikum verliert seine maßgebende Bedeutung zum mindesten in bezug auf die Gattung *Gloeocapsa*. « Meine Beobachtungen haben ergeben », sagt O. Jaag, « daß die Hüllenschichtung als kein, oder wenigstens für *Gloeocapsa* als kein gutes Unterscheidungsmerkmal zu betrachten ist. Denn *die Hüllenschichtung ist irgendwie im Zusammenhang mit der Lebenstätigkeit,* dem Wechsel von vegetativen und Ruheperioden. Eines ist jedenfalls sicher, daß sie mit der Färbungsintensität und damit mit der Sonnenbelichtung parallel geht; je stärker die Belichtung, um so größer wahrscheinlich die Assi-

milation, um so größer auch die Farbstoffbildung und um so deutlicher ebenso die Hüllenschichtung. »

4. Farbänderungen durch Einfluß der Lichtintensität.

Beobachtungen über Farbänderungen an Zellen der Gattung *Gloeocapsa alpina* sind bereits 1900 durch F. Brand vermerkt worden. Allgemein bekannt ist die mehr oder weniger ausgesprochene Entfärbung von Zellen der Chlorophyceen (namentlich von solchen, die auf künstlichen Nährböden gezogen wurden) unter dem Einfluß einer stärkeren Lichtexposition. Bei dieser Art von Entfärbung handelt es sich aber sowohl bei Grün- wie bei Blaualgen um einen Farbwechsel, bzw. um eine Zerstörung von Farbstoffen, die bedingt ist durch den Abbau des Chlorophylls und des Phykocyans im *Chromatoplasma,* also im Inneren des Protoplasten. Demgegenüber führt aber O. Jaag aus :

« ... Ganz entgegengesetzt verhält es sich mit dem Einfluß der Belichtungsintensität auf die an die Gallerthüllen und Scheiden (also aus dem Chromatoplasma heraus) abgegebenen Farbstoffe, das Gloeocapsin und Scytonemin. In allen meinen Untersuchungen zeigte es sich, daß diese den Felsenalgen par excellence eigenen Farbstoffe um so ausgiebiger ausgebildet werden, je stärkerer Besonnung sie ausgesetzt sind, während dieselben Algen an weniger lichtexponierten oder gar lichtschwachen Standorten den Farbstoff nur angedeutet aufweisen oder seiner völlig entbehren. Diese Abhängigkeit ist dermaßen ausgeprägt, daß es bei den betreffenden Arten ohne weiteres möglich ist, aus der Intensität der Hüllenfärbung auf den Belichtungsgrad des Standortes zu schließen. In diesem Falle handelt es sich nicht um die Zerstörung bestimmter Farbstoffe, sondern vielmehr um deren Neubildung unter dem Einfluß der Belichtung. Diese Abhängigkeit, auf die Geitler verschiedenenorts (1930, 1936) und andere Autoren mit Nachdruck hinweisen, fand beim vorliegenden Studium der Felsvegetation neue, sichere Stützen, und zwar in sämtlichen Gattungen und Arten, welche die genannten Hüllenfarbstoffe auszubilden vermögen. »

O. Jaag hat an anderer Stelle diese Erkenntnisse für die Systematik der Gattung *Gloeocapsa* praktisch ausgewertet. Er unterzieht die Untergattung « *Hyalocapsa* », deren besondere Stellung auf die Farblosigkeit der Hüllen gegründet ist, einer kritischen Betrachtung und kommt zum Schluß :

« Als provisorisch ist zweifellos die Untergattung *Hyalocapsa* zu betrachten. Die Intensität der Hüllenfärbung ist nämlich keineswegs ein konstantes Merkmal. Sie ändert sich mit der Belichtung, der die Kolonien ausgesetzt sind, und je stärker die Belichtung, um so intensiver ist die Färbung. Sehr häufig findet man Kolonien, die auf der dem Substrat zugewandten Seite farblos, auf der dem Licht zugewendeten Seite da-

gegen mehr oder weniger stark gefärbt sind. Diese Erscheinung trifft sowohl für die gelben wie die roten und blauen Arten zu, und es ist sicher, daß wenn nicht alle, so doch die Großzahl der beschriebenen und unter *Hyalocapsa* zusammengefaßten Arten nichts anderes sind, als die Schattenformen gefärbter Formenkreise. Eine definitive Sichtung dieser Untergattung wird aber erst an Hand von Reinkulturen möglich sein. »

5. Die Hüllenfärbung und ihre Abhängigkeit von der Reaktion des Standortes.

Bereits im vorhergehenden Abschnitt haben wir die Bedeutung der Hüllenfärbung für die Systematik der Blaualgen gestreift. Auf die Verschiedenartigkeit der Hüllenfärbung stützt sich z. B. die Aufteilung der Gattung *Gloeocapsa* nach bisheriger Systematik in folgende vier Untergattungen :

Chrysocapsa mit gelben bis braunen Hüllen,
Rhodocapsa mit roten,
Cyanocapsa mit blauen und
Hyalocapsa mit farblosen Hüllen.

Über die letztgenannte « Untergattung » haben wir das Wesentliche im Zusammenhang mit der Behandlung der Lichtintensität bereits gesagt. Was die Wertung des Hüllenfarbstoffes als Moment der Artcharakterisierung innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* anbetrifft, folgen wir den Ausführungen O. Jaags :

« Die bisher gebräuchliche Artsystematik innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* », führt er aus, « ist auf die Auffassung gegründet, daß die Farbe der Gallerthüllen für die verschiedenen Arten spezifisch, erblich festgelegt, also artkonstant und von den Umweltfaktoren, wie sie in der Natur gegeben sind, unveränderlich sei. Diese Auffassung erlaubte, Arten mit rotgefärbten Hüllen in eine Untergattung *Rhodocapsa,* in entsprechender Weise die Arten mit violetten und blauen Hüllen in der Untergattung *Cyanocapsa,* und diejenigen mit gelben Hüllen in der Untergattung *Chrysocapsa* zusammenzufassen. Auf dieser Anschauungsweise fußen alle bisherigen Arbeiten systematischer, floristischer, pflanzengeographischer und -soziologischer Art, wenn dabei auch gelegentlich zugegeben wird, daß manche Formenkreise, namentlich diejenigen mit stahlblau gefärbten Hüllen, noch der eingehenden Untersuchung dringend bedürfen (Geitler, 1930). Wir werden sehen, daß diese Auffassung in mancher Hinsicht auf Irrtümern beruht und deshalb sehr weitgehend korrigiert werden muß. »

Die Annahme, daß die Hüllenfärbung als spezifisches Merkmal für die Gliederung der Arten innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* zu werten sei, finden wir unbestritten, von Kirchner (1900) angefangen bis auf die neueste Zeit. Geitler bringt diese Auffassung 1930 mit kaum

merklichem Vorbehalt zum Ausdruck : « Es scheint zwar sicher, daß rote, violett- und braungefärbte Formen *nicht* ineinander übergehen . . .» während er 1936 (S. 31) zur entschiedenen Feststellung gelangt : « Das Auftreten der Membranfarbstoffe ist spezifisch; so können z. B. *Gloeocapsa*-Arten mit roten Hüllen keine blau- oder braungefärbten Hüllen bilden, Arten mit braunen Hüllen können keine roten oder blauen Hüllen bilden » usw. Auch andere Autoren wie Nováček (1929 und 1934), Frémy (1929—1933), Ercegowič (1932), Marchesoni (1939), Geitler und Ruttner (1935) u. a. haben diese Auffassung übernommen.

Dem Farbstoff, welcher den *Gloeocapsa*-Hüllen ihre « typische » Färbung verleiht, kommt demnach als wichtigem Merkmal in der Artdifferenzierung zweifellos große Bedeutung zu, und es berührt eigenartig, daß man es trotz dieser sich aufdrängenden Erkenntnis bisher unterlassen hat, dem Farbstoff selbst nähere Beachtung zu schenken. Was wir bis heute von diesem Farbstoff wissen, geht ausschließlich auf die Feststellungen von Carl Nägeli und S. Schwendener in « Das Mikroskop » (1877) zurück.

Unter « Farbstoffe, welche nur eingelagert in die Membrane vorkommen », heißt es daselbst :

« Von den hierher gehörenden Farbstoffen wurde bis jetzt keiner genau untersucht. Alle unsere Kenntnisse hierüber beschränken sich auf gelegentliche Beobachtungen über Löslichkeit und Veränderung des Farbtons unter dem Einfluß der Reagentien. Die mikroskopische Beobachtung läßt es übrigens unentschieden, ob diese Farbstoffe wirklich in der Membrane entstehen oder ob sie vielleicht als Chromogene oder in äußerst geringer Menge fertiggebildet im Inhalt auftreten und von da in die Membran wandern. Da jedoch kein Grund vorhanden ist, die Bildungsstätte von Pigmenten, welche in nachweisbarer Menge nur in der Membrane vorkommen, anderswohin zu verlegen, indem die Bedingungen zu chemischen Prozessen in der Membrane ebensogut wie im Inhalte gegeben sind, so entspricht die, unserer Einteilung zugrunde liegende Annahme wenigstens den bis jetzt beobachteten Tatsachen» . . .

« Als Beispiel von Farbstoffen, welche nur als Einlagerungen in Membranen bekannt sind, führen wir zunächst diejenigen an, welche bei den Nostochinen (Chroococaceen und Nostocaceen) vorkommen. Sie zeigen die verschiedensten Nuancen zwischen gelb und blau, kommen aber namentlich einerseits in braungelben, anderseits in roten und blauvioletten Tönen vor. Sie gehören zwei Verbindungen an. Das Gloeocapsin ist rot bis blau; durch Salzsäure wird es rot (schön rosenrot, rotorange oder bläulichrot), durch Kalilauge blau oder blauviolett. Es findet sich vorzüglich bei *Gloeocapsa,* doch auch bei einigen Fadenalgen. Das Scytonemin ist gelb bis dunkelbraun; es wird durch Salzsäure spangrün, durch Kali wieder gelb, oft fast goldgelb. Es kommt

bei vielen fadenförmigen Nostocaceen (*Scytonema, Schizosiphon* usw.), selten bei Chroococaceen vor. Diese beiden Farbstoffe sind in systematischer Beziehung sehr konstant, so daß sie zum mindesten eine generische Verschiedenheit andeuten; es müssen daher z. B. die Gloeocapsen mit gelben Membranen als besondere Gattung (*Xanthocapsa,* Näg.) ausgeschieden werden. »

Seit dieser ersten Mitteilung Nägelis und Schwendeners ist über Natur und Bedeutung des Gloeocapsins und Scytonemins nichts Neues hinzugekommen. Wo diese Farbstoffe in der Folge erwähnt werden, stützen sich die Autoren offensichtlich auf die hier zitierten Angaben Nägelis, so K. Boresch (1932) im Abschnitt « Algenfarbstoffe » in G. Kleins « Handbuch der Pflanzenanalyse » II : « Es handelt sich um sehr wenig bekannte Pigmente, die ihren Sitz in der Membrane gewisser Algen haben » ... « Verhältnismäßig am häufigsten scheinen sich gefärbte Hüllen und Scheiden bei den Cyanophyceen, besonders bei den an der Luft lebenden Formen vorzufinden (Nägeli und Schwendener). Sie verleihen den Membranen der Chroococaceen und Notocaceen gelbe, blaue, auch rötliche Färbungen. Gloeocapsin ist ein bei der Gattung *Gloeocapsa* und einigen Fadenalgen auftretender Membranfarbstoff von roter oder blauer Farbe, der durch Kalilauge blau oder blauviolett, durch Salzsäure rot wird. »

Aus der zitierten Mitteilung über das Gloeocapsin scheint hervorzugehen, daß Carl Nägeli diesen Farbstoff, mag er nun in blauer oder roter Variation in Erscheinung treten, als ein und dasselbe Pigment betrachtet haben muß. Anders wäre die Ausdrucksweise wohl kaum zu deuten : « Das Gloeocapsin ist rot bis blau — durch Salzsäure wird es rot ... durch Kalilauge blau oder blauviolett ». Die Abhängigkeit der roten oder blauen Erscheinungsform des Farbstoffs Gloeocapsin von Außenfaktoren (saurer oder basischer Natur) ist demnach bereits seinem Entdecker bewußt. Die Feststellung jedoch, daß sich die Hüllenfarbstoffe der Gattung *Gloeocapsa* ähnlich dem Lakmus wie ein Indikator verhalten, veranlaßte jedoch Nägeli nicht, die rote oder blaue Hüllenfärbung als spezifisches Unterscheidungsmerkmal der betreffenden Arten irgendwie in Zweifel zu ziehen.

Über die Möglichkeit der Zusammenhänge von rothülligen bzw. violetten Formen mit dem Standort, also mit Außenfaktoren, weisen die Beobachtungen von Nováček in *Mohelno* hin. Er kommt dabei zur Auffassung, daß Formen mit roten Hüllen wie *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa Ralfsiana* auf Silikatgestein, Arten wie *Gloeocapsa alpina* mit violetten Hüllen dagegen auf Kalkfelsen angewiesen seien.

Diese Anschauung brachte, allerdings mit einigen Einschränkungen, O. Jaag bereits 1936 zum Ausdruck, wenn er festhält : « Die Algenflora des Silikatgesteins ist in ihrer Zusammensetzung von der charak-

teristischen Algenflora des Kalksubstrates deutlich verschieden. Tatsächlich wird man ohne Kenntnis der Herkunft eines Materials bei der Betrachtung im Mikroskop nie im Zweifel sein, ob es sich um eine Silikat- oder eine Kalkflora handelt.

Auf einem Silikatfelsen dominiert wohl immer *Gloeocapsa Ralfsiana* neben *Scytonema myochrous* und *Stigonema minutum*. *Gloeocapsa alpina* ist oft beigemischt. Sie scheint in ihren Ansprüchen an das Substrat weniger spezifisch zu sein. Dagegen wird man *Gloeocapsa Ralfsiana* auf Kalk nie dominierend finden. Einzelne Vorkommen auf Kalk müssen noch genau abgeklärt werden. Diese werden wahrscheinlich durch das Vorhandensein einer Quarzader oder eines noch nicht bekannten Faktors (pH durch irgendeine Ursache beeinflußt) bedingt » . . .

Gestützt auf seither weitergeführte Untersuchungen in dieser Richtung vermochte O. Jaag (1940) die Zusammenhänge zwischen Standort und bestimmten abweichenden Erscheinungsformen der Gattung *Gloeocapsa* restlos zu klären, wie aus folgendem hervorgeht. Er schreibt darüber :

« Ein Material, welches der Verfasser am Hörnli bei Arosa sammelte und in welchem rot- und violetthüllige Kolonien von *Gloeocapsa* ungefähr in gleicher Zahl nebeneinander lagen, brachte den ersten Anstoß zur Lösung des Problems. Insbesondere war es ein mikroskopisches Präparat, in welchem Kolonien nebeneinander lagen, die, abgesehen von der Farbe ihrer Gallerthüllen, einander derart glichen, daß mit Sicherheit angenommen werden mußte, daß sie Schwesterkolonien darstellten. Jedenfalls wurde uns dabei klar, daß diese Zellen, die nach der geltenden Systematik wegen ihrer Hüllenfarbe im einen Falle zu *Gloeocapsa sanguinea*, im andern Falle zu *Gloeocapsa alpina* gestellt werden mußten, obschon sie sich in keinem einzigen andern Punkte unterschieden. Überdies waren die beiderlei gefärbten Typen von Kolonien verbunden durch Kolonien, die alle Übergänge in der Farbnuance von rot zu violett zeigten, so daß es unmöglich war, sie mit gutem Grund der einen oder der andern Art zuzuweisen. Nachdem wir (ohne damals noch die Mitteilungen von Nägeli und Schwendener zu kennen) alsbald die Möglichkeit einer Beeinflussung des Farbstoffes durch Säuren und Laugen festgestellt hatten, indem nach Zusatz von Salzsäure sämtliche Kolonien eine lebhaft rote Farbe annahmen, während sie nach Zusatz von Ammoniak einheitlich nach der violetten Seite hin umschlugen, drängte sich der Gedanke auf, daß die Reaktion des Standortes, also des pH des Sickerwassers, das den Fels benetzte, einen ähnlichen Einfluß auf die Hüllenfarbe ausüben könnte. So prüften wir in der Folge eine große Zahl von Standorten auf ihr pH und kamen dabei zu dem ganz eindeutigen Ergebnis, daß überall da, wo die Reaktion sauer war, d. h. bei oder unter pH ca. 6,5, rotgefärbte

Formen, dagegen überall da, wo es über dem Werte von ca. 7,0 lag, violett gefärbte Formen vorhanden waren. Nun war es gegeben, auch das pH jener oben erwähnten Standorte, wo entgegen der Erwartung auf Silikatgestein violette Arten gefunden worden waren, zu prüfen. Das Ergebnis war ebenfalls eindeutig, indem sich in allen diesen Fällen pH-Werte von über 6,5 ergaben. Dies ist ja leicht möglich im Gebiete des Serpentins, des Prasinits usw., die zu den basischen Silikatgesteinen gehören und deshalb ein verhältnismäßig hohes pH ergeben; überdies erwies sich der Serpentin als nicht kalkfrei, was aus der Tatsache hervorging, daß er bei Zusatz von HCl leicht aufschäumte. Wir haben späterhin auch auf Kalk rotgefärbte Formen beobachtet und dabei in Übereinstimmung mit den übrigen Messungen ein pH unter 6,5 beobachtet. Auch dieser Tatbestand läßt sich leicht erklären, indem das Wasser Stellen wie Moor u. dergl. mit saurer Reaktion durchfließt » . . .

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß auch die Hüllenfärbung innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* keineswegs jenes charakteristische und spezifische Moment zur Differenzierung der Arten darstellt, als welches es bisher angesehen wurde.

Die praktischen Folgerungen in bezug auf die Systematik der Blaualgen ergeben sich, wie wir noch ausführen werden, bei den blauen und violetten Formen.

Was den gelben Hüllenfarbstoff, das *Scytonemin* anbetrifft, so läßt sich zwar auch hier bei den verschiedenen *Gloeocapsa*-Arten durch Salzsäure ein typischer Umschlag des Pigmentes nach Grün erzielen, jedoch hat dieser Umstand, wie O. Jaag festhält, « auf die natürliche Färbung der Algen an ihrem Standorte kaum eine Bedeutung » . . . « Nie sieht man eine charakteristische grüne Färbung der Hüllen, was wohl damit erklärt werden kann, daß das pH am natürlichen Standort nicht so tief geht, wie es für die Umfärbung notwendig wäre. Eines aber ist sicher : Daß, wie Nägeli und Schwendener mit aller Deutlichkeit hervorheben, der gelbe Hüllenfarbstoff, das *Scytonemin*, grundverschieden ist von dem rot-violetten Farbstoff, und daß deshalb die Zusammenfassung und Abtrennung der gelbhülligen Formen von den rot-violetthülligen vollkommen zu Recht besteht. »

B. Rückblick und Problemstellung.

Wir haben uns bemüht, im ersten Teil unserer Ausführungen die hauptsächlichsten Merkmale, auf die sich bisher die Umgrenzung des Artbegriffes innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* gestützt hat, einer kritischen Betrachtung und Wertung zu unterziehen. Wir sind hierbei den Ergebnissen von O. Jaag auf Grund seiner zehnjährigen Beobachtungen gefolgt. Aus der Zusammenfassung der hierbei gewonnenen ver-

schiedenen neuen Gesichtspunkte gelangen wir mit Jaag zur allgemeinen Schlußfolgerung, daß die Grundlagen, auf welche sich die Systematik der Cyanophyceen stützt, zum mindesten bei der Gattung *Gloeocapsa* in mancher Hinsicht unzulänglich sind.

Diese Erkenntnisse fußen wohl auf der Untersuchung sehr vieler ökologisch gleicher und auch verschiedenartiger Standorte; sie stützen sich weiterhin auf ein bedeutendes Vergleichsmaterial, aber trotzdem bedürfen sie zu ihrer Erhärtung der experimentellen Prüfung. Aber gerade diese bietet in unserem Falle besondere Schwierigkeiten. Diese liegen darin begründet, daß, im Gegensatz zu andern Algen (z. B. Grünalgen) die Reinkultur der Cyanophyceen, insbesondere des Formenkreises, der hier in Frage steht, bisher nur in ungenügendem Maße geglückt ist. Soweit uns bekannt ist, haben vor allem die Kulturversuche von Nováček an vereinzelten Arten der Gattung *Gloeocapsa* zu einem einigermaßen befriedigenden Ergebnis geführt; freilich handelt es sich hierbei nicht um *Rein-*, sondern um *Roh*-Kulturen. Zur Klärung der systematischen Probleme, wie sie hier gestellt sind, kann jedoch nur die erfolgreiche Gewinnung von Reinkulturen auf breiter Grundlage zum Ziele führen. In Befolgung des biologischen Weges haben wir uns die Aufgabe gestellt, zunächst Kulturversuche mit zwei der bekanntesten Vertreter der Gattung *Gloeocapsa* vorzunehmen, und zwar einerseits mit *Gloeocapsa alpina* und anderseits mit *Gloeocapsa sanguinea*. Durch Übertragung der gewonnenen Reinkulturen auf Substrate mit verschiedenem pH, sollte die Abhängigkeit der Hüllenfärbung von der Acidität bzw. Alkalität des Standortes experimentell nach verschiedenen Richtungen hin geprüft werden; außerdem wollten wir die Kulturen den verschiedenen Außenbedingungen exponieren, wie sie im ersten Teil im einzelnen dargestellt worden sind und so auf biologischem Wege zur Klarstellung der Abhängigkeit der verschiedenen (bisher als charakteristisch angesehenen) Artmerkmale gelangen. Die Wahl dieser beiden Arten als Objekte unserer Versuche erfolgte aus folgenden Überlegungen heraus :

Wie bereits im ersten Teil dargestellt, galt bisher die *Gloeocapsa sanguinea* als der typische Repräsentant der rothülligen Arten, während die *Gloeocapsa alpina* als der entsprechende Vertreter einer blauen *Gloeocapsa* betrachtet wurde.

Das ebenfalls bereits erwähnte Auftreten der *Gloeocapsa sanguinea* auf (saurem) Silikatgestein, das der *Gloeocapsa alpina* auf Kalkfelsen, ferner die Beobachtungen von O. Jaag über das Vorkommen von beiden Arten nebeneinander auf ein und demselben Substrat mit allen Farbübergängen der Hüllen von rot bis blau, schließlich die Erkenntnis der Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration des Wassers, welches an den betreffenden Standorten die beiden Algenarten benetzt und der

Zusammenhang, welcher sich hieraus mit der Färbung ergibt; alle diese Faktoren haben sich zur Vermutung verdichtet, *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* könnten ein und dieselbe Art darstellen, deren verschiedene Hüllenfärbung lediglich « eine Reaktion des in ihnen enthaltenen Farbstoffes auf saures und alkalisches Substrat darstellen könnte, ähnlich wie dies von manchen höheren Pflanzen, zum Beispiel *Hortensia* bekannt ist » (Jaag, unveröffentlichtes Manuskript).

Diese Annahme wurde weiterhin bestärkt durch die Feststellungen, daß sich, abgesehen von der völlig verschiedenen Färbung der Hüllen, keinerlei Merkmale geltend machen lassen, welche eine Trennung in zwei verschiedene Arten rechtfertigen ließe.

Gloeocapsa sanguinea und *Gloeocapsa alpina* bilden somit einerseits ideale Voraussetzungen für das Studium der roten und blauen Variation des Gloeocapsins, wenn, was zu beweisen ist, tatsächlich ein und derselbe Farbstoff vorliegt; anderseits ergibt sich, sofern der Nachweis der Identität gelingt, gerade an Hand dieser hinsichtlich der Färbungen ausgesprochen gut differenzierten Beispiele, eine Klärung in der Problematik der Hüllenfärbung als spezifischem Unterscheidungsmerkmal der Cyanophyceen ganz allgemein.

Wir haben uns im Anschluß an das Gloeocapsin als weitere Aufgabe gestellt, auch das Scytonemin, welches der gelbhülligen Untergattung *Chrysocapsa* ihre charakteristische Farbe verleiht, unter analogen Gesichtspunkten einer Prüfung zu unterziehen. Das Scytonemin tritt möglicherweise auch in orangerot gefärbten Formenkreisen auf, « von denen man zum vornherein nicht wissen kann, ob sie der Untergattung *Rhodocapsa* oder der gelben *Chrysocapsa* zuzuzählen sind » (Jaag).

Deshalb lag es nahe, die Verschiedenartigkeit des gelben, gelbbraunen bis gelbroten Scytonemins vom roten (bzw. blauen) Gloeocapsin ebenfalls zu prüfen. Das *Scytonemin* wird aber nicht allein als der spezifische Hüllenfarbstoff der Untergattung *Chrysocapsa* angesehen, sondern soll, nach Nägeli, « auch bei vielen fadenförmigen Nostocaceen (*Scytonema, Schizosiphon* usw.) selten bei Chroococaceen» vorkommen. In der Tat weisen sehr viele Gattungen fadenförmiger Blaualgen gelb bis braungefärbte Scheiden auf. Aus diesem Grunde interessierte uns auch die Frage, ob Scytonemin tatsächlich auch *außerhalb* des Formenkreises der *Chrysocapsa* auftritt. Die Annahme Nägelis stützt sich bekanntlich lediglich auf die Beobachtung der analogen Farbumschläge von gelb nach grün. Zum Vergleiche wählten wir als Vertreterin einer *Chrysocapsa* die Art *Gloeocapsa pleurocapsoides* (Nováček) und als Beispiel einer Art außerhalb des Formenkreises der *Chrysocapsa* die Art *Scytonema myochrous* (Dillwyn).

C. Kurze Beschreibung der Arten Gloeocapsa alpina, Gl. sanguinea, Gl. pleurocapsoides und Scytonema myochrous.

Bevor wir uns dem experimentellen Teil zuwenden, erachten wir es als zweckmäßig, im nachfolgenden Kapitel eine kurze Darstellung der Formenkreise zu geben, die den Gegenstand unserer vorliegenden Untersuchungen bilden.

Die *Gattung Gloeocapsa* umfaßt nach Geitler (1930) einzellige Algen mit kugeligen Zellen in Gallerthüllen, die mehr oder weniger blasig aufgetrieben sind. Die Algen treten einzeln auf oder zumeist zu mehreren (4—32) in Kolonien. Die Größe der Zellen schwankt in weiten Grenzen von (1—10 μ).

Die Hüllen sind geschichtet oder ungeschichtet, farblos oder gefärbt. Die Zellteilung erfolgt nach 3 aufeinander senkrecht stehenden Raumrichtungen.

1. *Gloeocapsa sanguinea* (Ag.) Kütz.

läßt sich nach Jaag (Manuskript) wie folgt charakterisieren:

Das *vegetative* Stadium der Alge zeigt Zellen, die im allgemeinen zwischen 4—7 μ variieren. Die Zellen sind feinhäutig und liegen in einer mehr oder weniger kompakten Gallerthülle. Beim Übergang in den *Dauerzustand* können die Zellen beträchtlich an Größe zunehmen und im ausgewachsenen Stadium 20 und mehr μ im Durchmesser aufweisen.

Die Weite der Hüllen variiert je nach dem Feuchtigkeitsgrad des Standortes. Die Hüllen können homogen oder geschichtet, farblos oder gefärbt sein. Auf saurem Substrat zeigen sie rote, auf basischem Substrat (pH über ca. 6,5) violette Färbung.

In Berücksichtigung der mannigfachen Erscheinungsformen gelangt Jaag zu nachfolgender Gruppierung der *Gloeocapsa sanguinea.* Er übernimmt hierbei die beiden Bezeichnungen von Nováček für die Homogenität bzw. Schichtung der Hüllen, nämlich « *status familiaris simplex* » und « *status familiaris lamellosus* ».

Ausgehend von der Färbung stellt Jaag folgende 3 Hauptgruppen auf:

I. *Gloeocapsa sanguinea status coloratus* mit rotgefärbten Hüllen
II. *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus* mit violetten Hüllen
III. *Gloeocapsa sanguinea statuts pallidus* mit farblosen Hüllen.

Diese Hauptstadien werden ihrerseits nach folgenden Gesichtspunkten differenziert:

I. *Gloeocapsa sanguinea status coloratus.*

a) Gloeocapsa sanguinea status coloratus, familiaris simplex, mit roten, homogenen Hüllen,

b) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus familiaris lamellosus* mit rot gefärbten, mittelweiten, geschichteten Hüllen. Diese Form benennt er auch synonym mit « *Gloeocapsa sanguinea status typicus* ».

c) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus Ralfsianus*[1] umfaßt die roten, weithülligen Formen, die wiederum auf Grund der Homogenität oder Schichtung der Hüllen differenziert werden in

d) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus Ralfsianus, familiaris simplex* bei homogenen, weiten Hüllen, und

e) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus Ralfsianus, familiaris lamellosus* bei geschichteten weiten Hüllen.

In analoger Weise erfolgt

II. die Einteilung der Stadien bei der violetthülligen *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus* in

a) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus, familiaris simplex,*

b) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus, familiaris lamellosus,*

c) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus, Ralfsianus, familiaris simplex,*

d) *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus, Ralfsianus, familiaris lamellosus,*

und schließlich wird auch der farblose Formenkreis,

III. *Gloeocapsa sanguinea status pallidus*

sinngemäß ebenfalls eingeteilt in

a) *Gloeocapsa sanguinea status pallidus, familiaris simplex,*

b) *Gloeocapsa sanguinea status pallidus, Ralfsianus, familiaris simplex.*

Hierbei ist zu bemerken, daß nach Jaag Hüllenschichtung und Hüllenfärbung in gleichem Maße von der Intensität der Belichtung abhängig sind. Bei der farblosen *Gloeocapsa sanguinea, status pallidus,* fehlen erwartungsgemäß die geschichteten Hüllen, so daß die beiden entsprechenden Benennungen für den *status familiaris lamellosus* in Wegfall kommen.

2. *Gloeocapsa alpina* (Näg.) emend. Brand.

Geitler (1930) gibt folgende Beschreibung der Art *Gloeocapsa alpina :* Zellen ohne Hülle meist 4—6 μ, seltener bis 8 μ mit Hülle bis 40 μ groß.

---

[1] Die Bezeichnung « *Ralfsianus* » in diesem Zusammenhang entstammt der bisherigen Benennung « *Gloeocapsa Ralfsiana* », womit in unrichtiger Wertung der Hüllenweite als spezifischem Merkmal bis anhin eine eigene Art abgetrennt wurde.

Typisches Aussehen: innere Hülle geschichtet, oft rauh, dunkelviolett, äußere weit abstehend, homogen, heller gefärbt bis farblos. Oft viele Zellen mit gefärbten Hüllen in gemeinsamer, farbloser Gallerte; äußerste farblose Hüllen mit « kutikula »-artiger Außenschicht. Manchmal Hüllen eng, fest, nicht geschichtet, dunkelviolett. *Aphanocapsa*-stadium; Nannocyten 2,5—3,5 μ groß. Dauerzellen bis 20 μ groß mit dünner, schwarzvioletter, undurchsichtiger Membran, umgeben von einer festen, ca. 2 μ dicken, stark lichtbrechenden, farblosen Hülle, oft zu vielen beisammen in gemeinsamer heller bis farbloser Gallerthülle. An feuchten Felsen, feuchtem Holz, auf Schnee im Gebirge weitverbreitet, häufig auffallende Vegetationsfärbungen an Kalk- und Dolomitfelsen erzeugend, dringt auch in Höhlen ein.

Nach Jaags Feststellungen ergibt sich aber sowohl in bezug auf die Zellengröße, die Verteilung des Farbstoffes wie auch die Schichtungsverhältnisse eine völlige Übereinstimmung der violetthülligen *Gloeocapsa alpina* mit derjenigen von *Gloeocapsa sanguinea,* wenn hierbei die durch den Standort bedingten, jeweiligen äußeren Faktoren (besonders Belichtungsverhältnisse und Feuchtigkeitsgrad) in Berücksichtigung gezogen werden. Das Farbmoment verliert seinen trennenden Charakter durch die bereits an anderer Stelle dargelegten Ergebnisse, wonach violette Hüllen vorkommen an Standorten mit einer Reaktion, die über pH 6,5, rote Formen dagegen an solchen mit einer Reaktion, die unter pH 6,5 liegt. Jaag kommt deshalb zum Schluß: « Der Parallelismus zwischen der violetten und der rothülligen Form ist also vollständig. » Bezüglich der neuen Nomenklatur, die sich folgerichtig aus dieser Erkenntnis ableitet, führt Jaag aus:

« Weil *Gloeocapsa sanguinea* Kütz. der ältere Name ist, muß er für die Art beibehalten werden und hat fortan zu heißen *Gloeocapsa sanguinea* Kütz. emend. Jaag. »

3. *Gloeocapsa pleurocapsoides* Nčk.

Diese zum Formenkreis der *Chrysocapsa* gehörende Alge wird von Nováček (1934) als « *species nova ad interim* » klassiert. Er knüpft daran die Bemerkung: « *In exsiccatis Herb. mus. Pal. Vind. nullam speciem similem inveni. Nostra species, quae habitu suo Pleurocapsam, Entophysalidem, et alias Cyanophyceas in mentem revocat, valde problematica est. Describo igitur eam ad interim sicut Gloeocapsa pleurocapsoides mihi.* »

Die « *Gloeocapsa pleurocapsoides* » nach Nováček findet sich zumeist im Dauerzellen-, aber auch im vegetativen Stadium. Sie bildet als kalkfällende Alge krustenförmige, aschgraue Lager; die Größe der Zelle ohne Hülle schwankt nach Nováček zwischen 5 und 11 μ. Die Farbe der Hülle ist gelb bis gelbbraun. Bei der Einwirkung von Salz-

säure schlägt die Farbe (unter dem Mikroskop beobachtet) in der für Scytonemin von Nägeli charakterisierten typischen Weise nach grün um. Jaag bemerkt, daß diese Alge, obwohl sie nach seinen Feststellungen ausgedehnte Flächen an trockenen Felswänden besiedelt und überall auftritt, bisher wohl deshalb übersehen wurde, weil sie der aschgraue unauffällige Kalkbelag, den sie bildet, offenbar der Beobachtung entzogen habe. Jaag entdeckte schließlich in der sogenannten *Gloeocapsa pleurocapsoides* das Dauerzellenstadium der *Gloeocapsa rupestris,* womit die *Gloeocapsa pleurocapsoides* als eigene Species hinfällig wird. *Gloeocapsa rupestris* Kütz. charakterisiert Geitler folgendermaßen : Lager krustenförmig, schleimig, schwarzbraun, Zellen ohne Hülle 4—10 μ groß, blaßblaugrün. Hüllen dick, deutlich geschichtet, gelb bis gelbbraun, äußere oft farblos. An feuchten Felsen und an feuchten Mauern.

4. *Scytonema myochrous* (Dillwyn) Ag.

Die Gattung *Scytonema* zeigt nach Geitler (1925) freiliegende, verschieden gewundene Fäden; Scheinverzweigungen treten reichlich und in Paaren auf; Scheiden fest, geschichtet. Die Gestalt der Zellen wechselt oft bei ein und derselben Form.

Die Art *Scytonema myochrous* tritt in polster- bis hautartigen, braunschwarzen oder schwärzlichgrünen Lagern auf. Die Breite beträgt 18—36 μ, die Länge 2—15 mm. Scheinverzweigungen sind häufig. Die Scheiden sind gelbbraun. Unter dem Mikroskop beobachtet man auf Zusatz von Salzsäure den charakteristischen Farbumschlag ins Grüne (Scytonemin). Die Scheiden sind deutlich geschichtet. Die Zellengröße schwankt zwischen 6—12 μ in der Breite.

Die Zellenform kann quadratisch, aber auch rechteckig sein (bis 2mal so lang als breit). Die Heterocysten sind kugelig oder abgerundet quadratisch. *Scytonema myochrous* kommt auf feuchter Erde, auf Steinen, Mauern und dergleichen, selten in Seen, vor.

Bemerkungen zur Nomenklatur.

Als Folgerungen aus diesem Abschnitt in bezug auf die Nomenklatur ergibt sich also, daß mit den bisher üblichen Benennungen « *Gloeocapsa alpina* » und « *Gloeocapsa sanguinea* » statt zwei verschiedene Arten lediglich zwei verschiedene Erscheinungsformen ein und derselben *Species,* nämlich der «*Gloeocapsa sanguinea*» bezeichnet wurden, die nach O. Jaag inskünftig als « *Gloeocapsa sanguinea status coloratus* » bezw. « *Gloeocapsa sanguinea status coloratus alpinus* » zu benennen sind.

In analoger Weise ist die Bezeichnung « *Gloeocapsa pleurocapsoides* Nčk » zu revidieren, da hier keine eigene *Species,* sondern lediglich das Dauerzellenstadium der *Gloeocapsa rupestris* vorliegt.

Ungeachtet dieser Folgerungen, die sich hinsichtlich der richtigen Nomenklatur aufdrängen, haben wir es doch für zweckmäßig und auch richtiger erachtet, bis zum Erscheinen der vielfach zitierten und im Manuskript konsultierten Jaagschen Arbeit, die bisherigen Bezeichnungen « *Gloeocapsa sanguinea* », « *Gloeocapsa alpina* » und « *Gloeocapsa pleurocapsoides* » auch in der nachfolgenden Darstellung vorläufig beizubehalten.

Wir gingen dabei von der Überlegung aus, daß unsere vergleichenden Untersuchungen über die Farbstoffe der betreffenden Arten, bzw. Variationen, selbst einen Beitrag zur Fundierung der richtigen Nomenklatur bilden sollen, und daß es demzufolge gleichsam als Vorwegnahme zu betrachten wäre, die zutreffenden Bezeichnungen bereits im Verlaufe der Untersuchung in Anwendung zu bringen.

D. Kulturversuche mit Gloeocapsa sanguinea und Gl. alpina.

1. Beschaffung des Materials für die Aussaat.

Vorerst galt es, Material der beiden Arten in typischer Ausbildung und genügender Reinheit und besonders auch in der erforderlichen Menge zu beschaffen.

Gloeocapsa sanguinea sammelten wir an den Felswänden im Tal des Morteratschgletschers (Graubünden), *Gloeocapsa alpina* an den Kalkfelsen bei Berschis in der Gegend von Flums (St. Gallen), also an Standorten, die Jaag eingehend untersucht hatte. Das so gewonnene Material erfüllte die oben gestellten Voraussetzungen.

2. Nährböden.

Im Hinblick auf die bekannten außergewöhnlichen Schwierigkeiten, welche die betreffenden Cyanophyceen bisher allen Kulturversuchen auf künstlichen Substraten entgegengesetzt haben, waren wir bestrebt, unsere Versuche auf einer möglichst breiten und vielseitigen Grundlage vorzunehmen, um dadurch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit rechnen zu können, die einer Entwicklung günstigen Voraussetzungen zu treffen.

Wir benützten deshalb :

a) Nährmedien gebräuchlicher Art, wie sie sich bisher für die Kultur von Algen bewährt haben,

b) Substrate besonderer Art.

Gebräuchliche Nährböden.

Als Grundlage hierfür diente uns einerseits die Nährlösung nach Knop in verschiedenen Verdünnungen, anderseits diejenige nach Geitler (modifiziert durch Wettstein-Hartmann, 1925).

Von dem zur Aussaat bestimmten Algenmaterial wurde eine Probe zwischen zwei Objektträgern aufs feinste verrieben und in 10 cm³ sterilen Wassers aufgeschwemmt. Von dieser Aufschwemmung benützten wir 1 cm³ zur weiteren Verdünnung mit 10 cm³ sterilem Wasser und so fort, in entsprechendem Verhältnis (1 : 10), so daß eine Reihe von je 6 solcher Aufschwemmungen aus dem Material von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* entstand, mit welchen die Aussaaten vorgenommen wurden.

Die von uns verwendete Knop'sche Nährlösung hat folgende Zusammensetzung:

$Ca(NO_3)_2$	1.0 g
$MgSO_4$	0.25 g
KCl	0.25 g
KH_2PO_4	0.25 g
$FeCl_3$	Spuren
H_2O	1000 g

Die Nährlösung nach Geitler in Modifikation nach Hartmann-Wettstein wurde wie folgt bereitet:

K_2HPO_4	0.10 ‰
NH_4NO_2	0.2 ‰
$MgSO_4$	0.1 ‰
$CaCl_2$	0.1 ‰
$FeCl_3$	Spuren
H_2O	1000 g

Diese Lösungen wurden unter Zusatz von 1.3 % Agar als feste Nährböden verwendet. Wir füllten mit der Nährmasse:

a) flache Petrischalen,
b) hohe Petrischalen,
c) Erlenmeyerkolben
d) Reagensgläser

je zu ⅓ ihres Rauminhalts.

Die Sterilisation erfolgte durch dreimaliges Erhitzen je eine Stunde lang im Dampftopf bei 98° C in Intervallen von 24 Stunden.

Spezielle Nährböden.

1. Knop-Agar mit Quarzsand.

Als weitere Versuchsreihen in flachen und hohen Petrischalen sowie in Erlenmeyerkolben kamen Nährböden zur Anwendung, mit Knop-Agar als Grundsubstanz, der 30 % grober Quarzsand beigemischt wurde. Die Sterilisation wurde im Autoklav bei 120° C vorgenommen.

2. Geitler-Agar mit Quarzsand.

In gleicher Weise, wie vorstehend angeführt, haben wir Nährböden in flachen und hohen Petrischalen sowie in Erlenmeyerkolben mit

Geitler-Agar angelegt, wobei ⅓ der Masse durch Quarzsand ersetzt war.

3. Gipsplatten mit Verrucano.

Im Bestreben, unsern Algen hinsichtlich Substrat Wachstumsbedingungen zu verschaffen, welche möglichst denjenigen in der Natur entsprechen, haben wir von einer Fundstelle der *Gloeocapsa sanguinea* in Mels uns Gesteinsstücke des sogenannten « Melsersteins » (Verrucano) beschafft und diesen in einem Mineralmahlwerk pulverisieren lassen. Das Pulver wurde durch vierstündiges Erhitzen im Thermostaten auf 140° C keimfrei gemacht. Mit Hilfe von Gips verarbeiteten wir dieses Pulver zu festen Nährböden, und zwar in folgenden Variationen :

Verrucano :	50 %	Gips :	50 %	+ Knop-Nährlösung
»	60 %	»	40 %	+ Geitler-Nährlösung
»	70 %	»	30 %	+ Knop-Nährlösung
»	80 %	»	20 %	+ Geitler-Nährlösung.

Die Sterilisation dieser Substrate erfolgte im Dampftopf.

4. Geitler-Agar mit Verrucano.

In gleicher Weise wie sub 2 angegeben, stellten wir Nährsubstrate mit Geitler-Agar unter Ersatz von ⅓ der Masse durch Verrucano her.

5. Knop-Agar mit Verrucano.

Wie sub 4 hergestellte Nährböden unter Verwendung von Knop- statt Geitler-Agar.

6. Gipsplatten mit Alpenkalk.

Wie *Verrucano* für *Gloeocapsa sanguinea,* so ist Alpenkalk ein in der Natur bevorzugtes Substrat für *Gloeocapsa alpina.* Von einem natürlichen Wuchsort der *Gloeocapsa alpina,* nämlich von den Kalkfelsen in Flums, haben wir deshalb ebenfalls Gesteinsstücke pulverisieren lassen und in entsprechender Weise, wie bei 3 angegeben, zu Gipsplatten mit Alpenkalk verarbeitet.

Der Alpenkalk wurde ebenfalls vorgängig im Thermostat bei 140° C keimfrei gemacht.

7. Geitler-Agar mit Alpenkalk.

Hierbei wurde (analog den Nährböden mit Geitler-Agar und Verrucano) ein Drittel der Nährgallerte durch Alpenkalk ersetzt.

8. Knop-Agar mit Alpenkalk.

Wie bei 5 angegeben, unter entsprechender Verwendung von Alpenkalk als Beimischung.

9. Hydrogele.

Gestützt auf Hinweise über die besondere Eignung von anorganischen Hydrogelen als Kulturböden für Algen durch Kühne und

Sleskin sowie die Angaben von O. Jaag über gute Ergebnisse bei Wachstumsversuchen von Cyanophyceen (jedoch nicht *Gloeocapsa* !) mit dieser Art von künstlichen Substraten, haben wir unsere Nährmedien auch auf diese Grundmasse eingestellt. Wir folgten bei der Bereitung des Kieselsäure-Hydrogels einer Vorschrift, die uns von O. Jaag zur Verfügung gestellt wurde :

Gewöhnliches technisches Wasserglas (38°/40° Bé) vom spezifischen Gewicht 1.37 wurde auf ein Araeometer-Gewicht von 1.018 mit destilliertem Wasser verdünnt. Je 100 cm³ dieser Lösung versetzten wir mit 45 cm³ $^1/_{10}$n HCl und gossen sofort in flache Petrischalen aus. Die Lösung erstarrte innert 1—2 Minuten. Die Platten wurden hierauf während 24 Stunden gewässert. Nach dem Abtropfen gaben wir je zur Hälfte den Hydrogel-Schalen Knop- resp. Geitler-Nährlösung zu, entfernten den Überschuß durch Abtropfenlassen und sterilisierten die Nährmedien durch Erhitzen an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Dampftopf bei einer Temperatur von 98° (je eine Stunde lang).

Die Aussaat der Algen erfolgte wie in allen vorstehenden Fällen in stufenweiser Verdünnung, und zwar jeweilen parallel *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*. Neben der beschriebenen Bereitungsart der Hydrogel-Platten, brachten wir noch eine Variation zur Anwendung, indem wir das Natronwasserglas, statt wie oben angeführt mit destilliertem Wasser, mit Knop- resp. Geitler-Nährlösung auf das spezifische Gewicht von 1.018 einstellten und weiter verarbeiteten.

Ergebnisse der Wachstumsversuche.

Trotz all dieser Mannigfaltigkeit im Nährsubstrat war das Ergebnis unserer Kulturen ein negatives.

Die Kontrolle nach 2, 4, 6, 8, 12 Monaten, nach anderthalb und selbst nach zwei Jahren ergab, daß keine Wachstumsvermehrung unserer zahlreichen *Gloeocapsa*-Aussaaten feststellbar war, währenddem die als Verunreinigungen in die Kulturen gelangten Chlorophyceen und manche fädige Cyanophyceen eine üppige Vegetation entwickelten.

Infolge welcher Umstände und Faktoren die Kultur der *Gloeocapsa* auch in unserem Falle, trotz der Vielseitigkeit des Nährbodens, versagte, läßt sich nicht mit Sicherheit entscheiden; es kann sowohl am Substrat wie an gewissen unerfüllten physikalischen Voraussetzungen liegen, wie z. B. Feuchtigkeitsgrad, insbesondere Wechsel zwischen Perioden der Benetzung und der Trockenheit der Nährböden, wie sie in der Natur an der Felswand gegeben sind, Belichtungs- und Wärmegrad usw. Es kann sein, daß somit die mehr oder weniger konstant erhaltenen Außenbedingungen in unsern Kulturen der Entwicklung der Algen nicht förderlich waren. Auf jeden Fall bedarf die Abklärung der besonderen Anforderungen und günstigen Voraussetzungen für die

Züchtung der Vertreter der Gattung *Gloeocapsa,* sowohl in bezug auf das geeignetste Nährsubstrat wie auf die erforderlichen physikalischen Faktoren, noch eingehender experimenteller Untersuchungen.

Wenn wir trotz dem negativen Resultat unserer ausgedehnten und vielseitigen Kulturversuche diese in vorliegender Darstellung angeführt haben, so erfolgt dies aus der Überlegung heraus, über die Schwierigkeiten der Gewinnung von Kulturen aus dem Formenkreis der *Gloeocapsa* konkrete Anhaltspunkte zu geben. Die hierbei gewonnenen praktischen Erfahrungen mögen Anstoß und Anregung bilden für die Anstellung von Kulturversuchen nach andern Richtungen und Gesichtspunkten, so daß aus der negativen Erfahrung, die im vorliegenden Falle gemacht wurde, doch in diesem Sinne ein positives Ergebnis resultieren dürfte.

E. Vergleichende spektrographische Untersuchungen der Hüllenfarbstoffe von Gloeocapsa sanguinea und Gl. alpina einerseits und Gl. pleurocapsoides und Scytonema myochrous anderseits.

1. Vorbemerkungen.

Der biologische Weg, d. h. mit Hilfe von Reinkulturen zu einer Lösung der gestellten Aufgabe hinsichtlich der Hüllenfarbstoffe zu gelangen, hat sich, wie dargestellt, als nicht gangbar erwiesen. Es stand deshalb nur die andere Möglichkeit offen, die betreffenden Farbstoffe selbst zum Gegenstand unserer vergleichenden Untersuchungen zu machen. Da es sich in unserem Falle um *Mikroorganismen* handelt, bei denen die Hüllenfarbstoffe nur in Spuren auftreten, mußte zum vornherein ein Weg gesucht werden, der es ermöglichte, selbst mit so kleinen Mengen exakt zu arbeiten. Es lag daher nahe, optische Methoden heranzuziehen, die auch bei kleinsten Mengen eine hohe Nachweisgenauigkeit ergeben. Bei Erwägung der verschiedenen optischen Meßmöglichkeiten ergab sich, daß die quantitative Aufnahme und Auswertung (Ausmessung) der Absorptionsbanden der Farbstoffe (Absorptionsspektralanalyse) die geeignetste Methode für unsere Aufgabe war.

Diese Arbeitsmethode gestaltet sich im Prinzip folgendermaßen:

Zuerst wird der Farbstoff extrahiert; die dabei erhaltenen Lösungen der Hüllenfarbstoffe werden in geeigneten Meßgefäßen (B a l y - Rohre oder Küvetten) in den Strahlengang einer weißen, konstanten Lichtquelle eingeschaltet. Das von der Lösung durchgelassene Licht wird in einem Z e i ß - Gitterspektrographen zerlegt und auf eine photographische Platte projiziert. Auf dieser haben wir im einen Falle das Spektrum des weißen Lichtes (alle Lichtarten in natürlicher Stärke vertreten), im andern Falle, wenn die Farbstofflösung in den Strahlengang eingeschaltet ist, werden bestimmte Lichtarten durch die Farbstofflösung

absorbiert, die dann im Gesamtspektrum fehlen. Auf der photographischen Platte treten demnach Lücken (nichtgeschwärzte Stellen) auf, die die Absorptionsgebiete des Farbstoffes angeben. Als Maßstab der Wellenlänge dient ein Eisenspektrum. Die Wellenlängen der Eisenlinien in Ångström-Einheiten (1 ÅE = 10^{-8} cm) sind genau bekannt.

2. Die Extraktion der Farbstoffe.

Für die Durchführung photometrischer Messungen war zunächst die Extraktion der Farbstoffe und ihre Trennung von Begleitfarbstoffen zu versuchen. Dabei handelte es sich in erster Linie darum, ein geeignetes Extraktionsmittel ausfindig zu machen. So kamen für die Vorversuche folgende Lösungsmittel zur Anwendung :

Aethylalkohol, absoluter	Trichloraethylen
» 90 %ig	Aether
» 70 %ig	Benzol
» 50 %ig	Pyridin
Methylalkohol	Xylol
Propylalkohol	Chloroform
Isobutylalkohol	Aceton, 100 %ig
Amylalkohol	Aceton, 80%ig
Benzylalkohol	Ammonsulfat-Lösung, 5 %ig
Bornylacetat	NaCl-Lösung, 2 %ig
Benzylacetat	destill. Wasser
Tetrachlorkohlenstoff	salzsaure Acetonlösung, 2 %ig

Auf Grund dieser Versuche mit den verschiedenen Lösungsmitteln wurden die folgenden als für unsere Zwecke am geeignetsten befunden und gewählt :

1. 80prozentiges wässeriges Aceton,
2. 100prozentiges Aceton, in das HCl-Gas eingeleitet wurde,
3. Chloroform,
4. Benzylalkohol.

Als Algenmaterial für die Extraktion verwendeten wir pro Versuch je 25 g Trockensubstanz folgender Algen :

a) Gloeocapsa sanguinea (Ag.) Kütz.,
b) Gloeocapsa alpina (Näg.), emend Brand,
c) Gloeocapsa pleurocapsoides Nčk,
d) Scytonema myochrous (Dillw.) Ag.

Das Material von *Gloeocapsa sanguinea* stammt, wie bereits ausgeführt, aus dem Morteratsch-Gebiet, dasjenige von *Gloeocapsa alpina* von Berschis bei Flums. Für *Gloeocapsa pleurocapsoides* fanden wir einen geeigneten Fundort in der sogenannten « Teufelsküche », einer Felsenhöhle im Massenkalk bei Beringen im Kanton Schaffhausen. Material von *Scytonema myochrous* beschafften wir uns vom Kunkelspaß ob Reichenau (Grbd.).

a) Extrakte von *Gloeocapsa sanguinea.*

1. Vorextraktion des Chlorophylls mit 80 % wässerigem Aceton.

Das bei 50° C getrocknete Algenmaterial wurde nach dem Verfahren von Willstätter-Stoll (1913) zwecks Fraktionierung des Chlorophylls und seiner Begleitpigmente mit 80prozentigem wässerigem Aceton extrahiert. Dieses Verfahren beruht auf der Feststellung, daß durch wasserhaltiges 80prozentiges Aceton das Chlorophyll bedeutend leichter und rascher extrahiert werden kann als durch wasserfreies Aceton. Auch in unserem Falle bewährte sich diese variierte Methode. Die Extraktion erfolgte in folgender Weise : je 25 g des getrockneten, mit gleichen Teilen Quarzsand verriebenen Algenmaterials wurden auf einer Nutsche von 10 cm inneren Durchmessers unter Anwendung der Wasserstrahlpumpe zu einer kompakten Schicht angesogen. Unter Ausschalten der Saugpumpe gossen wir zunächst in mehreren Portionen ½ Liter des Lösungsmittels auf und ließen langsam durchsickern. Den so gewonnenen Auszug ließen wir nochmals die Nutsche passieren, diesmal jedoch unter kräftiger Saugwirkung der Wasserstrahlpumpe, und extrahierten dann mit frischem Lösungsmittel bis zur Erschöpfung, d. h. bis zum vollkommen farblosen Abfließen des Acetons. Der so gewonnene Chlorophyllauszug wurde im Vakuum eingeengt und als «Vorextrakt » für die spektroskopische Untersuchung verwendet.

2. Extraktion des Hüllenfarbstoffes mit einer Lösung von HCl-Gas in 100prozentigem Aceton.

Die mikroskopische Untersuchung des nach 1 ausgezogenen, vollständig von Chlorophyll befreiten Algenmaterials ergab, daß der Hüllenfarbstoff Gloeocapsin unverändert in der Algengallerte zurückgeblieben war. Dem Zufall verdanken wir eine bequeme Extraktionsmethode für den zurückgebliebenen Hüllenfarbstoff. Durch Behandlung des mit 80prozentigem Aceton ausgezogenen Rückstandes mit 2prozentiger *salzsaurer* Acetonlösung ging das Gloeocapsin mit roter Farbe in Lösung. Es erwies sich jedoch in der Folge, daß bei Verwendung von Aceton, welches mit wässeriger Chlorwasserstofflösung versetzt war, der extrahierte Farbstoff in der Lösung, offenbar zufolge hydrolytischer Spaltung, sich bereits nach 24 Stunden zersetzt hatte. Wir modifizierten deshalb das Lösungsmittel, indem 100prozentiges Aceton als Extraktionsmittel verwendet wurde, in welches HCl-Gas eingeleitet worden war. Auf diese Weise gelang es, die Farblösung stabil zu erhalten.

3. Gesamtauszug mit 2prozentigem salzsaurem Aceton ohne Vorextraktion des Chlorophylls.

Um auch einen Gesamtauszug des Algenmaterials, d. h. einen Extrakt, welcher den gesamten Farbstoffgehalt (Chlorophyll und Gloeo-

capsin sowie eventuell andere Farbstoffe) enthält, zu gewinnen und spektroskopisch zu prüfen, extrahierten wir das ursprüngliche Algenmaterial (also ohne Vorextraktion des Chlorophylls) auf der Nutsche nach sub 1 beschriebener Methode, direkt mit 80prozentigem wässerigen Aceton, dem 2 % HCl beigegeben war.

4. Gesamtauszug mit Benzylalkohol.

Benzylalkohol erwies sich als geeignetes Lösungsmittel für die Gesamtheit der Farbstoffe im *Gloeocapsa sanguinea*-Material. Die Extraktion erfolgte am Rückflußkühler durch zweistündiges Erhitzen. Als Ausgangsmaterial verwendeten wir auch in diesem Falle für jeden einzelnen Extraktionsversuch je 25 g Algenmaterial, welches mit gleichviel Quarzsand auf das intensivste zerrieben worden war.

5. Trennung des Chlorophylls durch Verseifen.

Das Benzylalkohol-Gesamtextrakt wurde im Vakuum zur Trockene eingeengt, der Rückstand in Alkohol gelöst und der Lösung $^1/_3$ ihres Volumens $^1/_1$ normale alkoholische Natronlauge zugesetzt. Nachdem bei Zimmertemperatur ¼ Stunde lang geschüttelt worden war, setzten wir das doppelte Volumen Wasser hinzu, säuerten die Lösung mit HCl an und schüttelten mit Chloroform aus. Die von Chlorophyll getrennten Chloroformextrakte wurden mit wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet und nun der spektrometrischen Untersuchung unterworfen.

b) Extraktion des Hüllenfarbstoffes aus *Gloeocapsa alpina*.

Die Extraktion erfolgte in analoger Weise wie beim *Gloeocapsa-sanguinea*-Material. Es wurden folgende Auszüge hergestellt:

1. Vorextrakt mit 80prozentigem wässerigem Aceton,
2. Auszug des Rückstandes mit HCl-Gas in einer Lösung von 100prozentigem Aceton,
3. Gesamtauszug mit 80prozentigem wässerigem Aceton, dem 2 % HCl beigegeben wurde,
4. Gesamtextrakt der Farbstoffe mit Benzylalkohol,
5. Verseifen des Chlorophylls im Benzylalkoholgesamtauszug mit alkoholischer Natronlauge, Aufnahme des unverseiften Gloeocapsins in Chloroform nach vorausgegangenem Zusatz von Wasser und Ansäuern der Farbstofflösung.

c) Extrakte von *Gloeocapsa pleurocapsoides*.

Bei der Extraktion des *Gloeocapsa pleurocapsoides*-Materials und desjenigen von *Scytonema* erfuhr die Methode einige Änderungen resp. Erweiterungen, Außer den bei *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* angewandten Extraktionsverfahren wurde versucht, die Löslichkeitsdifferenz von Chlorophyll und den übrigen Algen-Farbstoffen aus-

zuwerten, um fraktionierte Extrakte in *einem* Arbeitsgang zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurden Extrakte in Chloroform hergestellt. Da Chlorophyll in Chloroform schwer löslich ist, war zu erwarten, daß durch Chloroformextraktion eine starke Anreicherung der übrigen Farbstoffe auftreten würde, die praktisch keine Chlorophyllkomponente enthalten. Um Kontrollen des eingeschlagenen Weges zu haben, wurden die bei *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* angewandten Extraktionsverfahren in *Parallele* auch beim Untersuchungsmaterial von *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema* duchgeführt. Es wurden dementsprechend folgende Extrakte vom *Gloeocapsa pleurocapsoides*-Material hergestellt :

1. Chloroform-Auszug,
2. Gesamt-Auszug mit Benzylalkohol,
3. Eindampfen des Chloroform-Extraktes (1) und Extraktion des Rückstandes mit Alkohol,
4. Auszug mit 80prozentigem wässerigem Aceton (Vorextrakt),
5. Auszug mit einer Lösung von HCl-Gas in 100prozentigem Aceton,
6. Der Gesamtextrakt (2) mit Benzylalkohol wurde mit alkoholischer Natronlauge 15 Minuten geschüttelt, mit Wasser versetzt, angesäuert und mit Chloroform ausgeschüttelt. Die Chloroformlösung wurde durch Zusatz von wasserfreiem Na_2SO_4 getrocknet. Die Absorptionsmessungen erfolgten an den trockenen Chloroformlösungen.

d) Extrakte von *Scytonema myochrous*.

Die Herstellung der Auszüge erfolgte genau wie sub *c* für *Gloeocapsa pleurocapsoides* angegeben. (Siehe 1—6.)

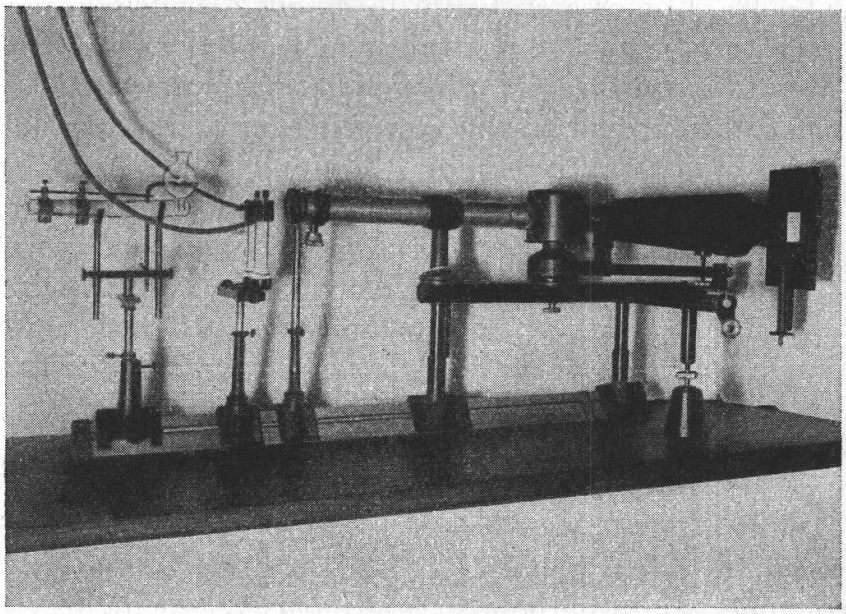
Nun hatten wir die Aufgabe, diese Farbstoffe bzw. Farbstoffgemische aus *Gloeocapsa sanguinea, Gloeocapsa alpina, Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous* spektroskopisch zu prüfen resp. zu vergleichen und die sich daraus ergebenden Schlüsse zu ziehen.

3. Apparatur und Meßmethodik.

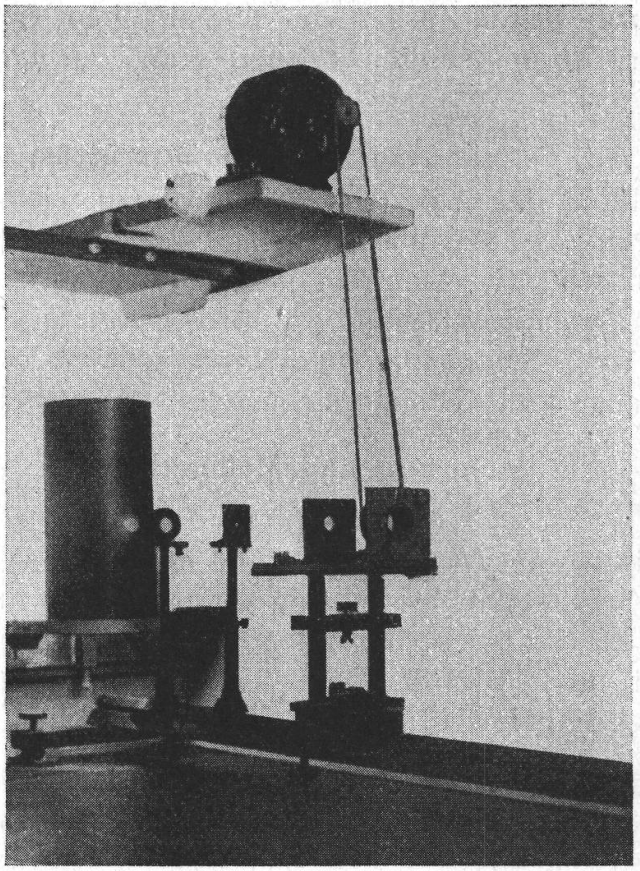
a) Spektrograph.[1]

Die Ausmessung der Absorptionsbande der Farbstoffextrakte wurde im sichtbaren Spektralbereich durchgeführt. Es wurde mit einem Zeiß'schen Universalspektrographen gearbeitet. Fig. 1 zeigt den Spektralapparat und Fig. 2 die Beleuchtungseinrichtung mit dem Sektor. Die ganze Meßeinrichtung besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen :

[1] Die spektrographischen Aufnahmen erfolgten mit der Apparatur des physikalisch-chemischen Institutes der Universität Zürich. Herrn Prof. Dr. v. Halban sei an dieser Stelle für die Erlaubnis, die optische Meßeinrichtung benützen zu dürfen, bestens gedankt. Herrn Dr. H. Suter danke ich für die praktische Unterstützung bei den Aufnahmen.



Figur 1.
Universalspektrograph Zeiß.



Figur 2.
Beleuchtungseinrichtung zum Spektrographen.

Beleuchtungseinrichtung

Lichtquelle

(Bandlampe, Lochblende, Linse, Sektor).

Meßgefäß

(B a l y - Rohre aus Quarz mit aufgeätzter Millimeterteilung und genau planparallelen Fenstern).

Spektrograph.

Der Apparat besteht aus Spaltrohr mit Spalt, Kollimatorlinse, Gitter, Objektivlinse und Kassettenführung mit Kassette für photographische Platten. Der Spalt kann vermittelst einer Stellschraube erweitert oder geschlossen werden. Das zu analysierende Licht fällt durch den Spalt auf die Kollimatorlinse, wird parallel gerichtet, trifft dann auf das Gitter und wird schließlich auf die photographische Platte projiziert, nachdem es im Baly-Rohr die zu untersuchende Farbstofflösung bzw. das Lösungsmittel durchstrahlt hat.

Als photographische Platten dienten ausschließlich Agfa-Isopan-F-Platten, die ein feines Korn aufweisen, völlig lichthoffrei sind und somit eine scharfe Reproduktion gewährleisten.

Die *praktische Ausführung* gestaltete sich folgendermaßen:

Nach sorgfältiger Justierung der Apparatur werden die optimalen Verhältnisse für Spaltbreite und Belichtungsdauer auf Probeplatten bestimmt. Dann werden Lösungsmittel und Farbstofflösung in verschiedene B a l y - Rohre eingefüllt, die bei je gleicher Schichtdicke nacheinander aufgenommen werden.

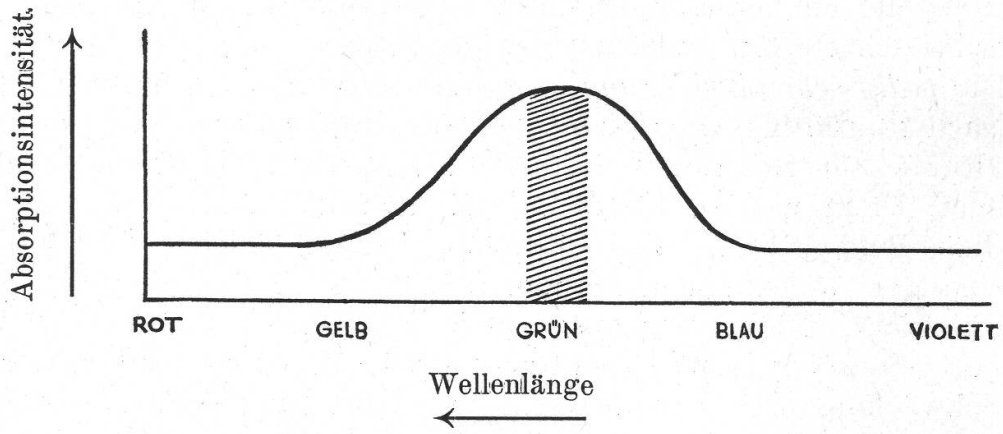
Das Licht, welches das Lösungsmittel passiert, erleidet durch Vorschieben eines bestimmten Sektors von bestimmtem Öffnungswinkel eine Schwächung, deren Größe bekannt ist. Da nun die Farbstofflösung direkt darunter aufgenommen wird, gibt uns die Stelle gleicher Schwärzung von Lösungsmittel und Lösung einen bekannten Extinktionswert an. Die Aufnahmen ergeben somit Extinktionswerte der Lösung in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die Stellen gleicher Schwärzung werden mittels einer lichtelektrischen Anordnung eingestellt und gemessen, indem die Lage gegenüber einer bekannten Eichlinie (Eisenspektrum) gemessen wird.

b) Erläuterungen.

Im Hinblick darauf, daß für die Lösung der gestellten Aufgabe physikalische Methoden herangezogen wurden, die in der Botanik wenig üblich sind, erachten wir es für angezeigt, im Interesse der besseren Verständlichkeit des oben dargestellten Arbeitsprinzips und der im nachfolgenden wiedergegebenen Meßwerte und ihrer graphischen Dar-

stellung zunächst einige grundlegende Erläuterungen über Spektralphotometrie anzuführen.

Unsere Untersuchungen bezwecken die vergleichende quantitative Bestimmung der Absorption unserer Farbstoffextrakte in einem genau begrenzten Spektralbereich. (In unserem Falle wurden die Absorptionsmessungen mit sichtbarem Licht durchgeführt. Spektralbereich = 3000 bis 6000 ÅE, d. h. violett (3000) bis rot (6000). Die Intensität der Lichtquelle ist bei allen Untersuchungen konstant. Das Verhältnis der Intensität des auf die Farbstofflösung auffallenden Lichtes (J_0) zu der des sie verlassenden (J) ist abhängig von der Natur des Farbstoffes, von dessen Konzentration und von der Schichtdicke der durchstrahlten Lösung. Die Natur des Farbstoffes äußert sich in einer spezifischen Verteilung der Absorptionsstärke im Spektralbereich. Die Intensität der Absorption ist somit verschieden in den verschiedenen Wellenbereichen, d. h. ein Stoff absorbiert am stärksten z. B. im grünen Spektralbereich, ein anderer im roten usw. Die Absorptionsintensität nimmt, wenn das Maximum der Absorption sich z. B. bei grün befindet, gegen blau (kürzere Wellen) wie auch gegen gelb (längere Wellen) ab, so daß schematisch dargestellt dieses Bild entsteht:



Figur 3.

Die verschiedenen Werte der Absorptionsintensität zeigt die Absorptionskurve in Fig. 3. Sie ist der bildliche Ausdruck für die Intensität der Absorption in Abhängigkeit von der Lichtart (Wellenlänge).

Je nach der Dicke der durchstrahlten Schicht liefert ein und dieselbe Farbstofflösung Spektra von verschiedenem Aussehen. Durch Reihenaufnahmen des gleichen Farbstoffextraktes bei gesetzmäßig abgestuften Schichtdicken erhalten wir ein anschauliches Bild des Absorptionsverlaufes über den ganzen Bereich des sichtbaren Spektrums.

Eine quantitative Auswertung der Absorption ist damit jedoch noch nicht gegeben; diese erreicht man erst durch Einbezug eines photometrischen Verfahrens.

Die quantitative Auswertung der Absorption.

Um die Absorption unserer Farbstoffe quantitativ zu bestimmen, gehen wir vom Beer-Lambertschen Gesetz aus. Aus der Formel

$$\varepsilon = \frac{\log \frac{J_o}{J}}{c \cdot d}$$

ergeben sich die Beziehungen zwischen den maßgebenden Größen.

Hierbei bedeuten :

ε = Extinktionskoeffizient
Jo = Intensität des eingestrahlten Lichtes
J = Intensität des durchgelassenen Lichtes
d = Schichtdicke
c = Konzentration.

Um einen meßbaren Vergleich der Absorptionsgrößen durchführen zu können, müssen wir einen bekannten Auslöschungsfaktor vergleichen mit der unbekannten Auslöschung des Lichtes, die durch den Farbstoff bedingt ist.

Das gewünschte Maß der Lichtschwächung wird am einfachsten erreicht, indem man einen rotierenden Sektor von bestimmtem offenem Winkel vorschaltet. Ein gewählter Öffnungswinkel von 90° ( ) wie in unserm Fall, liefert eine Schwächung von

$$\frac{90^\circ}{360^\circ} = \frac{1}{4}$$

Die eingestrahlte Lichtintensität Jo wird dadurch um ¾ geschwächt, und zwar gleichmäßig im ganzen Spektralbereich, so daß also die austretende Lichtintensität J nur noch ¼ von Jo beträgt.

Die Intensität des eingestrahlten Lichtes ist konstant. Wird Jo = 1 gesetzt, so ergibt sich bei Wahl eines Sektors von 90° als konstante Beziehung

$$\frac{J_o}{J} = \frac{1}{1/4} = 4; \ \log 4 = 0{,}6020.$$

Da der Vorgang der Absorption durch eine Exponentialgleichung mathematisch formulierbar ist, hat R. Bunsen den

$$\log \frac{J_o}{J} = E$$

als « Extinktion » definiert, und als sogenannter Extinktionskoeffizient ergibt sich gemäß dem Beer-Lambertschen Gesetz folglich

$$\varepsilon = \frac{\log \frac{J_o}{J}}{c \cdot d}$$

Bei der Durchführung unserer Absorptionsmessungen wird jeweils bei bestimmten gesetzmäßig abgestuften Schichtdicken das auf einen

bestimmten Bruchteil (¼) physikalisch geschwächte Licht einerseits durch ein Baly-Rohr geschickt, welches das Lösungsmittel enthält, anderseits durch ein gleiches Gefäß, in welchem sich die zu messende Farbstofflösung befindet (im letzteren Falle wird natürlich kein Sektor vorgeschaltet).

Bei der Projektion des Absorptionsspektrums auf die photographische Platte erhalten wir bei der Aufnahme des (nicht absorbierenden) Lösungsmittels ein durch den Sektor auf ¼ seiner Helligkeit über den ganzen Spektralbereich gleichmäßig geschwächtes Spektrum, im zweiten Falle wird das Strahlenbündel durch die Absorption der Farbstofflösung nur an einzelnen Stellen im Spektrum auf den gleichen Bruchteil (also auf ¼) geschwächt.

Wo nun auf dem Absorptionsstreifen des Lösungsmittels und auf demjenigen der Farbstofflösung Stellen gleicher Schwärzung feststellbar sind, zeigt dies an, daß hier die Intensitäten der zwei Strahlenbündel gleich sind, d. h. daß an diesen bestimmten Stellen die Absorption des Lichtes, welche durch die Farbstofflösung erzeugt wurde, gleich ist der künstlich durch den Sektor hervorgerufenen Schwächung bekannter Größe, d. h. in unserem Falle ¾ der Ausgangsintensität.

Überall an diesen Punkten bei bestimmten Wellenlängen können wir somit quantitativ die Absorption des Farbstoffes feststellen.

Verändern wir die Konzentration oder die Schichtdicke der vorgeschobenen Farbstofflösung, so wird dadurch auch mehr oder weniger Licht durchgelassen. Es läßt sich dann feststellen, an welchen Stellen die Absorption ¾ des eingestrahlten Lichtes beträgt. Betrachten wir die Gleichung

$$\varepsilon = \frac{\log \frac{J_0}{J}}{c \cdot d} = \frac{0{,}6020}{c \cdot d}$$

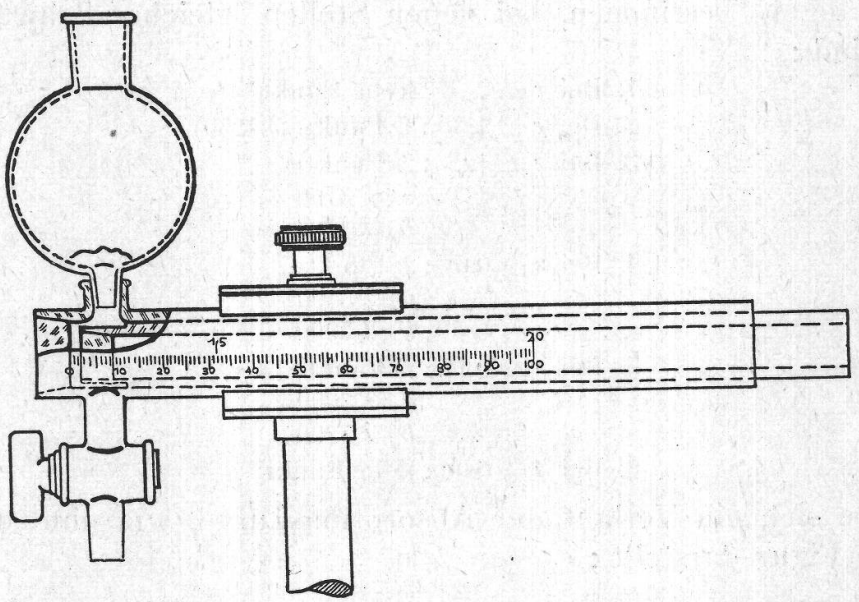
so sehen wir, daß durch die Variation von c oder von d viele ε-Werte erhalten werden, bei denen die Punkte, d. h. die Wellenlängen, bestimmt werden können, wo die Absorption ¾ beträgt. Tragen wir die so erhaltenen verschiedenen ε-Werte und die zugehörigen Wellenlängen in ein Koordinatenkreuz ein, bei dem die Abszisse die Wellenlängenwerte und die Koordinate die ε-Werte angibt, so erhalten wir die Absorptionskurve.

Der Wert c (Konzentration) ist bei unsern Untersuchungen nicht bekannt, da wir nicht von reinen isolierten Farbstoffen ausgehen können. Die Konzentration der gemessenen Farbstofflösungen ist jedoch während der ganzen Dauer unserer Absorptionsmessungen konstant und kann deshalb und weil es sich in unserem Falle nicht um quantitative, sondern um qualitative Vergleichsmessungen handelt, unberücksichtigt bleiben. Es reduziert sich deshalb in unserem Falle die Gleichung von Beer-Lambert zu folgendem Ausdruck:

$$x + \varepsilon = \frac{\log \frac{J_o}{J}}{d} = \frac{0{,}6020}{d}$$

wobei x ein unbekannter, aber konstanter Additionsfaktor für die Konzentration bedeutet.

Die Variation des Wertes ε erreichen wir unter Verzicht auf den Faktor c durch eine Schichtdickenänderung der Farbstofflösung.



Figur 4.
Baly-Rohr.

Die Verschiebung der Schichtdicke bewerkstelligen wir mit Hilfe der erwähnten graduierten B a l y - Rohre, Fig. 4, die eine Veränderung der Schichtdicke von 0—10 cm (auf $\pm$ 0,1 mm genau) gestatten.

Praktisches Beispiel einer Absorptionsmessung und ihrer graphischen Darstellung.

Ausgangswerte unserer Absorptionsmessung seien :

$$\text{Sektor} = 1/4$$
$$J_o = 1$$
$$J = 1/4$$

Wählen wir z. B. Schichtdicke 0,1 cm, so ergibt sich

$$\log \varepsilon = \frac{\log \frac{1}{1/4}}{0{,}1} = \frac{\log 4}{0{,}1} = \frac{0{,}6}{0{,}1} = 6$$

Erhöhen wir die Schichtdicke d, so erhalten wir entsprechend kleinere Werte der Extinktion, z. B. :

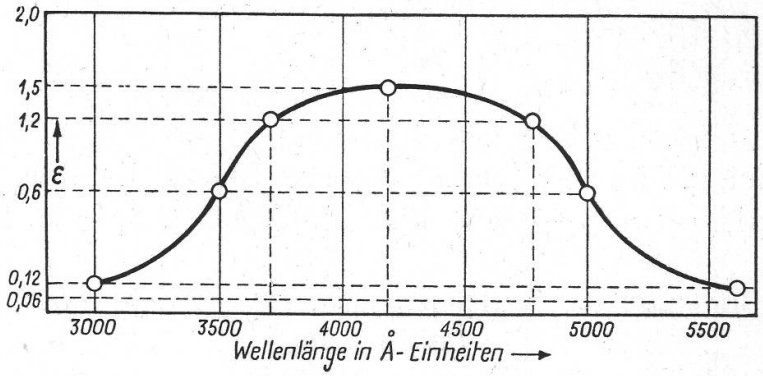
1. d = 0,3 ; $\varepsilon = 2$
2. d = 0,4 ; $\varepsilon = 1{,}5$
3. d = 0,5 ; $\varepsilon = 1{,}2$
4. d = 1 ; $\varepsilon = 0{,}6$
5. d = 5 ; $\varepsilon = 0{,}12$
6. d = 10 ; $\varepsilon = 0{,}06$

usw.

Angenommen, man würde unter Zugrundelegung der vorstehenden Werte für die Ausmessung einer Probeaufnahme folgende Punkte (Wellenlängen) bestimmen, bei denen Stellen gleicher Schwärzung zu finden sind :

1. Bei $\varepsilon = 2$: kein Punkt
2. Bei $\varepsilon = 1{,}5$: 1 Punkt (λ 4250)
3. Bei $\varepsilon = 1{,}2$: 2 Punkte
   a) λ 3700
   b) λ 4800
4. Bei $\varepsilon = 0{,}6$: 2 Punkte
   a) λ 3500
   b) λ 5000
5. Bei $\varepsilon = 0{,}12$: 2 Punkte
   a) λ 3000
   b) λ 5200
6. Bei $\varepsilon = 0{,}06$: kein Punkt

so ergäbe sich ein Verlauf der Absorptionskurve, wie ihn die nachstehende Figur darstellt :



Figur 5.

Dieser Befund sagt aus, daß sich die Intensität der Absorption des untersuchten Farbstoffes zwischen Werten bewegt, bei denen $\varepsilon <$ als 2 und $>$ als 0.06 ist. Daraus erkennen wir die Notwendigkeit, vor jeder eigentlichen Messung zunächst eine Probeaufnahme zu machen, um durch geeignete Einstellung der Schichtdicken die ganze Absorptionskurve bei der Aufnahme möglichst genau zu erfassen, d. h. möglichst viele Werte im Bereich des oberen und unteren Intervalls messen zu können. Im vorliegenden Beispiel würde durch $\varepsilon = 2$ das Maximum der Kurve nicht mehr erfaßt, ebensowenig bei $\varepsilon = 0{,}06$ der Ausgangspunkt

der Kurve. Aus darstellungstechnischen Gründen verwendet man zur graphischen Darstellung nicht die ε-Werte, sondern deren Logarithmen (d. h. $\log \varepsilon$ in Abhängigkeit von λ).

Als Beispiel für den Berechnungsmodus einer unserer Tabellen wählen wir die Ergebnisse, welche zur Aufstellung von Tabelle 15 führten. Beim Vergleich der nachstehenden Werte mit jenen auf Seite 162 ist zu berücksichtigen, daß diese letzteren in umgekehrter Reihenfolge wie hier eingetragen sind, d. h. von unten nach oben.

	$\log \varepsilon$
1. Aufnahme: Schichtdicke d = 5 cm $\varepsilon = \frac{\log \frac{1}{1/4}}{5} = \frac{\log 4}{5} = \frac{0{,}6020}{5} = 0{,}1204$ $\log \varepsilon = \log 0{,}1204 = 0{,}806 - 1$ logarithmisch berechnet $\frac{0{,}6020}{5} = \begin{array}{l} 77960 \quad -1 \\ \underline{69897} \\ 08063 \end{array}$	0806
2. Aufnahme: d = 3 $\varepsilon = \frac{\log 4}{3} = \frac{0{,}6020}{3} = \begin{array}{l} 7796 \quad -1 \\ \underline{4771} \\ 3025 \end{array}$	3025
3. Aufnahme: d = 2,0 $\varepsilon = \frac{\log 4}{2} = \frac{0{,}6020}{2} = \begin{array}{l} 7796 \quad -1 \\ \underline{3010} \\ 4786 \end{array}$	4786
4. Aufnahme: d = 1,5	6041
5. Aufnahme: d = 1,0	7797
6. Aufnahme: d = 0,8	8762
7. Aufnahme: d = 0,6 $\varepsilon = \frac{0{,}6020}{0{,}6} = \begin{array}{l} 7796 \quad -1 \\ \underline{7782 \quad -1} \\ 0014 \quad +1 \end{array}$	0014 + 1

		log ε
8. Aufnahme:	d = 0,5	0804 + 1
9. Aufnahme:	d = 0,4	1775 + 1
10. Aufnahme:	d = 0,3	3025 + 1
usw.		

Die Prüfung der photographischen Platte auf Stellen gleicher Schwärzung bei Streifen des Lösungsmittels mit Sektor und denjenigen der darunter aufgenommenen Lösung ergeben folgende Daten:

Schichtdicke (d)	Extinktions-koeffizient	Punkte	Wellen-längen
5,0	0806	0	—
3,0	3025	1	6184
2,0	4786	1	6075
1,5	6041	1	5962
1,0	7797	1	5824
0,8	8762	1	5756
0,6	1 + 0014	1	5676
0,5	1 + 0804	1	5536
0,4	1 + 1775	1	5294
0,3	1 + 3025	1	5040

Die graphische Darstellung dieser Punkte ergibt die Kurve, welche in Fig. 13, Seite 162, dargestellt ist.

4. Meßergebnisse.

a) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea.*

Die Erläuterungen und Bemerkungen zu den einzelnen graphischen Darstellungen 6—13 der Tabellen 1—16 sind auf Seite 163 ff. zusammengefaßt.

Absorption des Gesamtauszuges aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*, extrahiert mit 80 %igem Aceton unter Zusatz von 2 % Salzsäure, ohne Vorextraktion des Chlorophylls. (Vgl. S. 143, 3.)

Tabelle 1

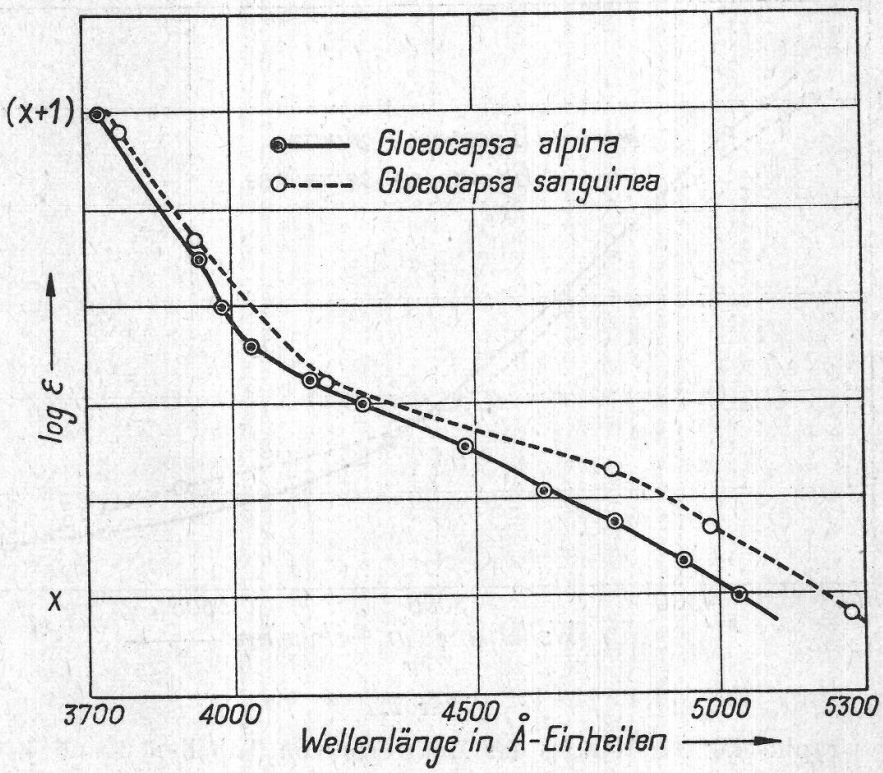
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3770	x,964
3925	x,741
4188	x,444
4784	x,264
4979	x,139
5264	(x — 1),963
(5856)	(x — 1),786
(6080)	(x — 1),662
	(x — 1),510

Tabelle 2

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3730	x + 1,000
3940	x,699
3976	x,602
4036	x,524
4159	x,456
4270	x,398
4474	x,301
4645	x,222
4780	x,154
4924	x,071
5040	x,000



Figur 6.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 1 und 2.

Absorption des Gesamtauszuges aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* in Benzylalkohol. (Vgl. S. 144, 4.)

Tabelle 3

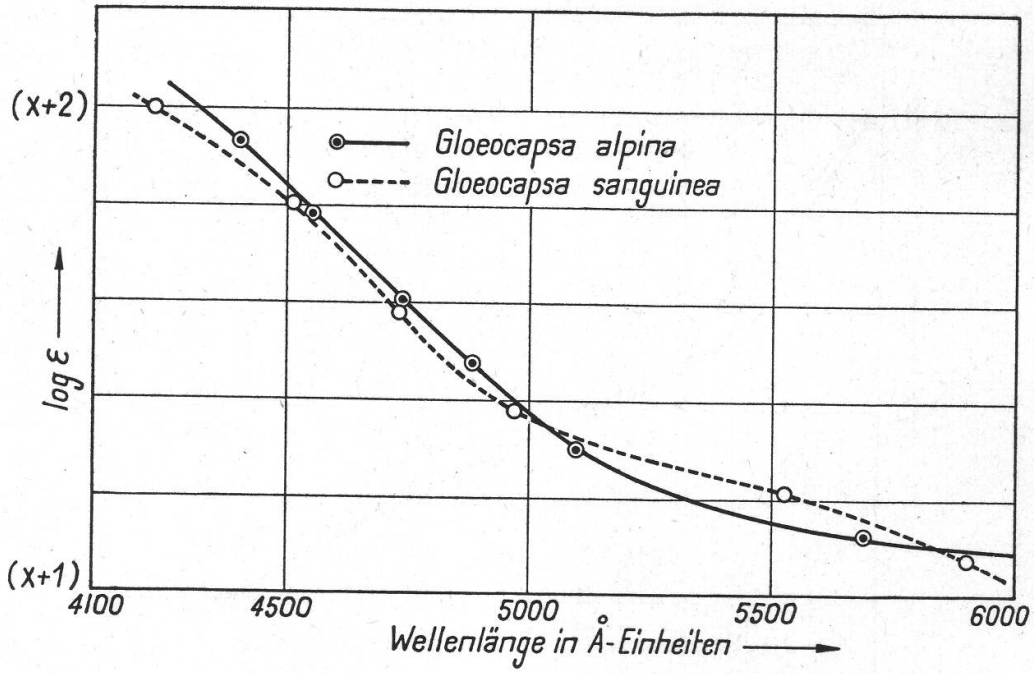
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4299	(x + 2),0014
4506	(x + 1),8254
4724	(x + 1),5755
4972	(x + 1),3718
5528	(x + 1),2232
5900	(x + 1),0960

Tabelle 4

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4403	(x + 1),9330
4550	(x + 1),7797
4734	(x + 1),6042
4889	(x + 1),4786
5096	(x + 1),3025
5698	(x + 1),1265



Figur 7.
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 3 und 4.

Absorption des Vorextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* (Auszug des Chlorophylls samt Begleitfarbstoffen, extrahiert mit 80%igem Aceton).
(Vgl. S. 143, 1.)

Tabelle 5

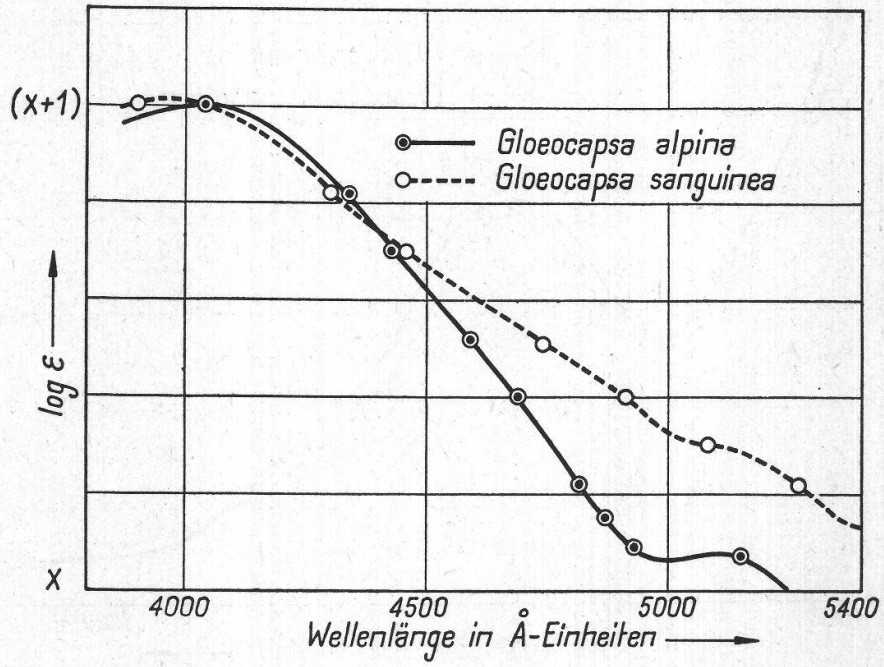
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3911	(x + 1),000
4318	x,824
4450	x,699
4733	x,524
4911	x,398
5086	x,301
5274	x,222
5508	x,154
5796	x,096

Tabelle 6

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4040	(x + 1),000
4317	x,824
4427	x,699
4586	x,524
4694	x,398
4815	x,222
4872	x,154
4927	x,096
5150	x,0804



Figur 8.
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 5 und 6.

Absorption des Farbstoffextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina.* (Auszug mit 2 %igem HCl-Aceton *nach* Vorextraktion des Chlorophylls und seiner Begleitfarbstoffe. Spektrographische Aufnahme sofort nach Herstellung des Extraktes.) (Vgl. S. 143, 2.)

Tabelle 7

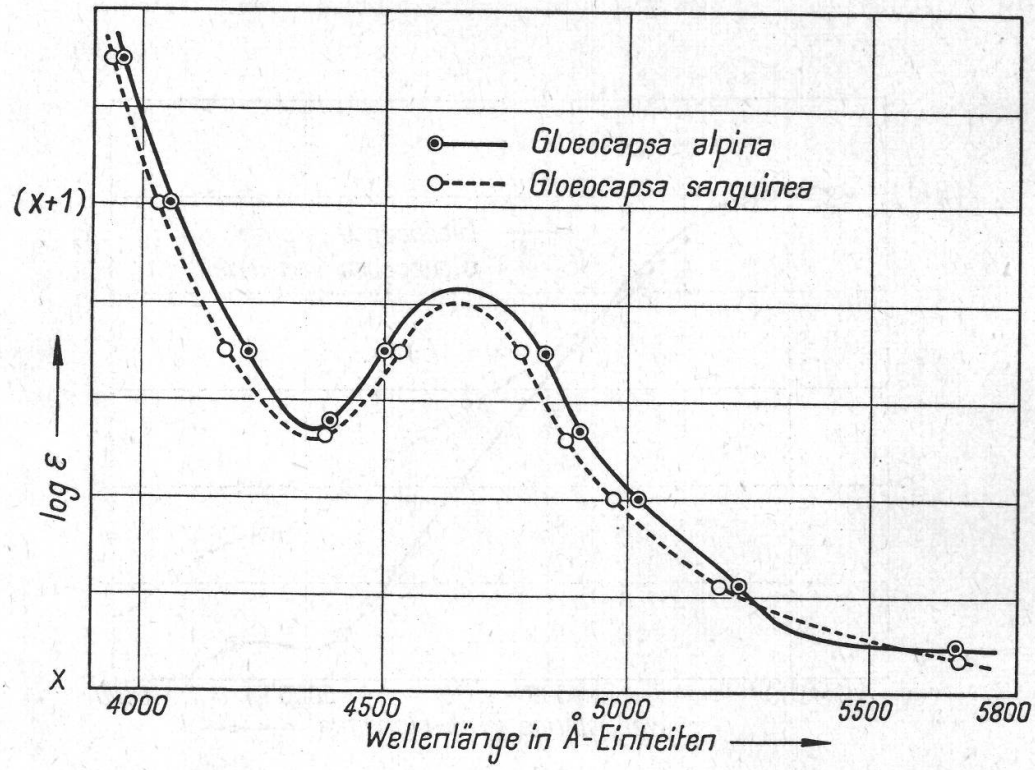
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3058	(x + 1),3010
4046	(x + 1),000
4180, 4510, 4785	x,699
4395, 4890	x,524
4967	x,398
5195	x,222
5681	x,096
—	x,000

Tabelle 8

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3958	(x+1),3010
4054	(x + 1),000
4223, 4500, 4830	x,699
4390, 4900	x,524
4967	x,398
5235	x,222
5681	x,096



Figur 9.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 7 und 8.

Absorption des Farbstoffextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*. (Auszug mit 2 %igem HCl-Aceton *nach* Vorextraktion des Chlorophylls und seiner Begleitfarbstoffe. Spektrographische Aufnahme 24 Stunden nach Herstellung des Extraktes.)

Tabelle 9

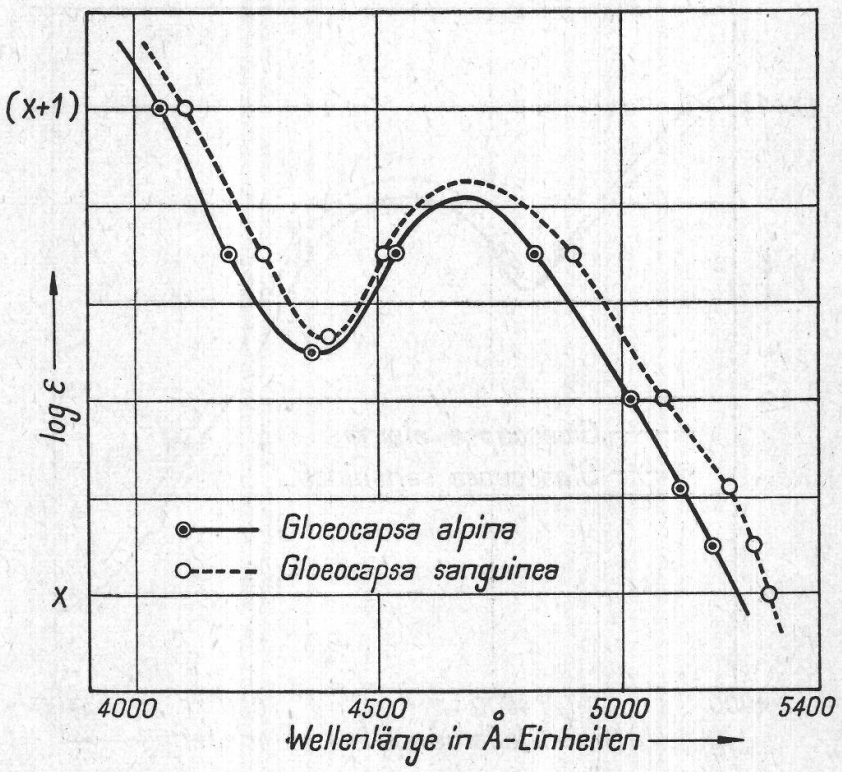
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4098	(x + 1),000
4963, 4500, 4903	x,699
4400	x,524
5085	x,398
5222	x,222
5301	x,000

Tabelle 10

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4048	(x + 1),000
4194, 4523, 4820	x,699
4390	x,524
5020	x,398
5117	x,222
5189	x,096
—	x,000



Figur 10.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 9 und 10.

Absorption des Farbstoffextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*. (Auszug mit 2 %igem HCl-Aceton *nach* Vorextraktion des Chlorophylls samt Begleitfarbstoffen. Spektrographische Aufnahme 48 Stunden nach Herstellung des Extraktes.)

Tabelle 11

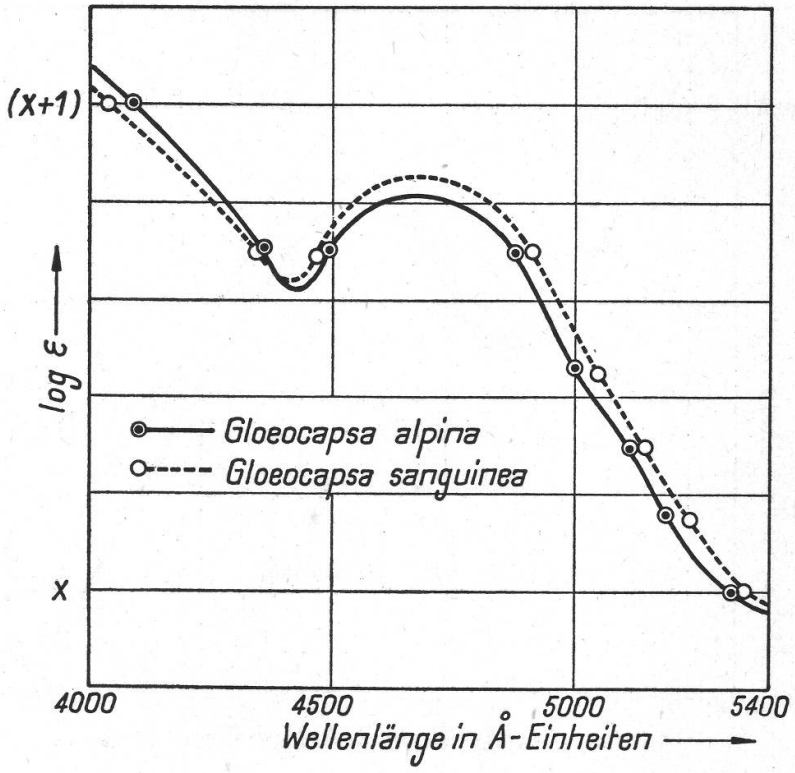
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4036	(x + 1),000
4352, 4470, 4915	x,699
5063	x,456
5144	x,301
5240	x,154
5355	x,000

Tabelle 12

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4082	(x + 1),000
4356, 4500, 4884	x,699
4996	x,456
5127	x,301
5193	x,154
5328	x,000



Figur 11.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 11 und 12.

Absorption des Farbstoffextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*. (Auszug mit 2 %igem HCl-Aceton *nach* Vorextraktion des Chlorophylls samt Begleitfarbstoffen. Spektrographische Aufnahme 111 Stunden nach Herstellung des Extraktes.)

Tabelle 13

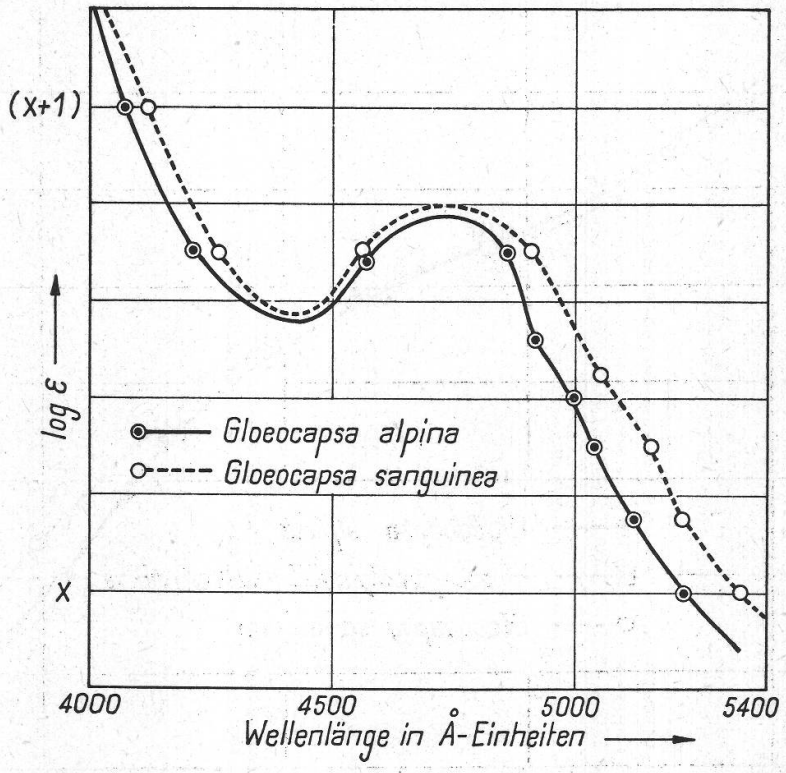
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4123	(x + 1),000
4250, 4550, 4912	x,699
5058	x,456
5160	x,301
5224	x,154
5341	x,000

Tabelle 14

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4070	(x + 1),000
4211, 4572, 4870	x,699
4921	x,524
5000	x,398
5036	x,301
5124	x,154
5226	x,000



Figur 12.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 13 und 14.

Absorption des Farbstoffextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* nach Entfernung des Chlorophylls durch Verseifung und Aufnahme des Farbstoffs in Chloroform. Wiederholung der Absorptionsmessung an einem in gleicher Weise hergestellten Extrakt von *Gloeocapsa alpina* zur Prüfung der Genauigkeit unserer Methode.

Tabelle 15

Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4711	(x + 1),4786
5040	(x + 1),3025
5294	(x + 1),1775
5536	(x + 1),0804
5676	(x + 1),0014
5756	x,8762
5824	x,7797
5962	x,6041
6075	x,4786
6184	x,3025

Tabelle 15 a

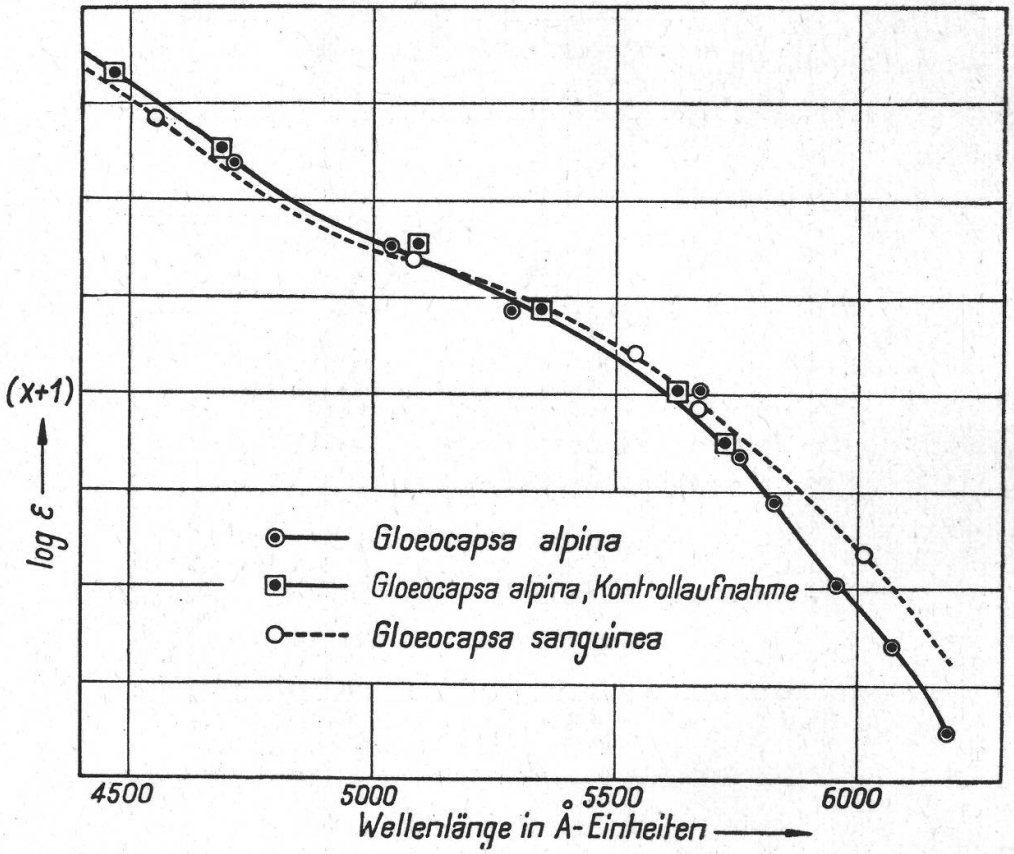
Kontrollaufnahme zu Tabelle 15

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4485	(x + 1),6658
4692	(x + 1),4786
5093	(x + 1),3025
5342	(x + 1),1775
5072	(x + 1),0804
5721	x,0014

Tabelle 16

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4547	(x + 1),575
5080	(x + 1),278
5671	x,974
6013	x,675



Figur 13.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 15, 15 a und 16.

Erläuterungen und Bemerkungen zu den Meßergebnissen der Farbstoff-Extrakte aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina*. (Tabellen 1—16; Fig. 6—13.)

Zu Fig. 6 (Tabellen 1 und 2)

Die Meßergebnisse in Tabellen 1 und 2 beziehen sich auf die Absorption des Gesamtauszuges von *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea*. Ihre graphische Darstellung in Fig. 6 zeigt einen übereinstimmenden Verlauf der beiden Absorptionskurven. Als Gesamtauszug verstehen wir hier einen Farbstoffextrakt, der (im Gegensatz zu den Absorptionsmessungen, wie sie in Tabellen 7—14 zum Ausdruck kommen) *ohne* Vorextraktion des Chlorophylls und seiner Begleitfarbstoffe hergestellt wurde. Als Lösungsmittel diente in diesem Falle salzsaures Aceton, welches sowohl das Chlorophyll und seine Begleitfarbstoffe wie auch den Hüllenfarbstoff gemeinsam in Lösung brachte.

Zu Fig. 7 (Tabellen 3 und 4)

Den gleichen übereinstimmenden Verlauf zeigen die beiden Absorptionskurven des Gesamtextraktes aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* in Benzylalkohol.

Zu Fig. 8 (Tabellen 5 und 6)

Diese vergleichende Darstellung bezieht sich auf die Absorption des sogenannten Vorextraktes, d. h. eines Auszuges des Chlorophylls und seiner Begleitfarbstoffe mit Hilfe von 80prozentigem Aceton. Während der Verlauf der beiden Kurven zwischen λ 4000 Å—λ 4500 Å sich deckt, ist eine deutliche Abweichung zwischen λ 4500 Å und λ 5700 Å feststellbar. Da es sich jedoch hier um eine bloße Parallelverschiebung handelt, darf angenommen werden, daß diese Abweichung auf dem verschiedenen Gehalt an Chlorophyll und Begleitfarbstoffen der beiden untersuchten Proben beruht, also einen quantitativen und nicht einen qualitativen Unterschied zum Ausdruck bringt.

Zu Fig. 9—12 (Tabellen 7—14)

Die Meßdaten in Tabellen 7—14 und ihre graphische Darstellung in Fig. 9—12 haben Farbstofflösungen zur Grundlage, welche wir aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* in der Weise herstellten, daß wir zunächst das Chlorophyll und seine Begleitfarbstoffe als « Vorextrakt » mit 80prozentigem wässerigem Aceton entfernten. Hierauf wurde der zurückgebliebene Hüllenfarbstoff mit wasserfreiem Aceton, in welches HCl-Gas eingeleitet worden war, extrahiert. Nachdem Versuche ergeben hatten, daß wasserhaltiges Aceton nach einiger Zeit zur teilweisen Zersetzung des Farbstoffes führte, zeigten die vorliegenden

Ergebnisse mit reinem Aceton, daß die Farbstofflösungen des Gloeocapsins während mindestens 3 Tagen (111 Stunden) keine Änderung erfahren haben. Diese Ergebnisse sind deshalb von besonderer Bedeutung, weil die Konstanz der Farbstoffe während der Dauer unserer Messungen die Voraussetzung bildet für die Genauigkeit, ja die Durchführbarkeit der hier angewandten, spektrographischen Methode überhaupt.

Der Verlauf der Absportionskurven von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* in allen vier in bestimmten Intervallen durchgeführten Messungen, beweist eindeutig die Übereinstimmung der verglichenen Farbstoffextrakte.

Zu Fig. 13 (Tabellen 15 und 16)

Dieser Gegenüberstellung der Absorptionsmessungen liegen Extrakte aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* zugrunde, bei denen das Chlorophyll nicht durch Vorextraktion, wie bei Fig. 9—12, sondern durch Verseifung vor der Messung ausgeschaltet wurde. Auch hier zeigt sich Übereinstimmung der Absorptionswerte der zu vergleichenden Farbstoffextrakte aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina.*

Zur Prüfung der Meßgenauigkeit

wurde im Anschluß an die Absorptionsmessung des Gloeocapsin-Auszuges aus *Gloeocapsa alpina* mittels *salzsaurem Aceton* nach vorausgegangener Extraktion des Chlorophylls und seiner Begleitfarbstoffe, eine in gleicher Weise aus dem Ausgangsmaterial hergestellte frische Lösung ausgemessen. Die Ausmessung dieser Extraktlösung erfolgte nach gleichen Zeitintervallen (von der Herstellung bis zur Aufnahme) wie der erste Farbstoffauszug. In Tabelle 15 a, sowie in der graphischen Darstellung auf Fig. 13, wird das Ergebnis dieser Kontrollaufnahme des Hüllenfarbstoffauszuges von *Gloeocapsa alpina* in Gegenüberstellung zu einer unter genau gleichen Versuchsbedingungen hergestellten Extraktlösung desselben Materials (Tabelle 15) dargestellt. Es geht daraus hervor, daß die Meßwerte der Absorption unserer zu vergleichenden Farbstofflösungen keine größere Streuung zeigen, als die Fehlergrenze bei der Absorptionsspektrographie im allgemeinen beträgt.

Schlußfolgerungen zu den bisherigen Messungen.

Die angestellten Absorptionsmessungen der Hüllenfarbstoffe aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* und die daraus hervorgehenden Absorptionskurven zeigen eindeutig, daß hier in beiden Fällen derselbe Farbstoff vorliegt. Der Farbunterschied, welcher in beiden Formenkreisen in der Natur zutage tritt, muß deshalb durch die be-

sonderen Verhältnisse des Wohnraumes bedingt sein, wie dies Jaag auf Grund seiner Untersuchungen am Standort der Algen annimmt. Es stellt sich nun die Frage, ob es sich, wie Jaag vermutet, tatsächlich um verschiedene Formen handelt, die durch die Azidität des den Standort benetzenden Wassers bedingt sind. Bevor wir uns dieser Aufgabe zuwenden, soll auch noch das « Scytonemin », der zweite Hüllenfarbstoff innerhalb der Gattung *Gloeocapsa,* nach analogen Gesichtspunkten und Methoden einer Prüfung unterzogen werden, und zwar wählen wir hierzu, wie bereits im Abschnitt über die Problemstellung angeführt wurde, als Vergleichsobjekte resp. verschiedene Träger dieses Farbstoffes *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides* Nčk.

b) Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous.*

Die Erläuterungen und Bemerkungen zu den einzelnen graphischen Darstellungen (14—20) der nachstehenden Tabellen (17—28) sind auf Seite 172 ff. zusammengefaßt.

Absorption des Gesamtfarbstoffextraktes aus *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides*, extrahiert mit Chloroform. (Vgl. S. 144/145.)

Tabelle 17

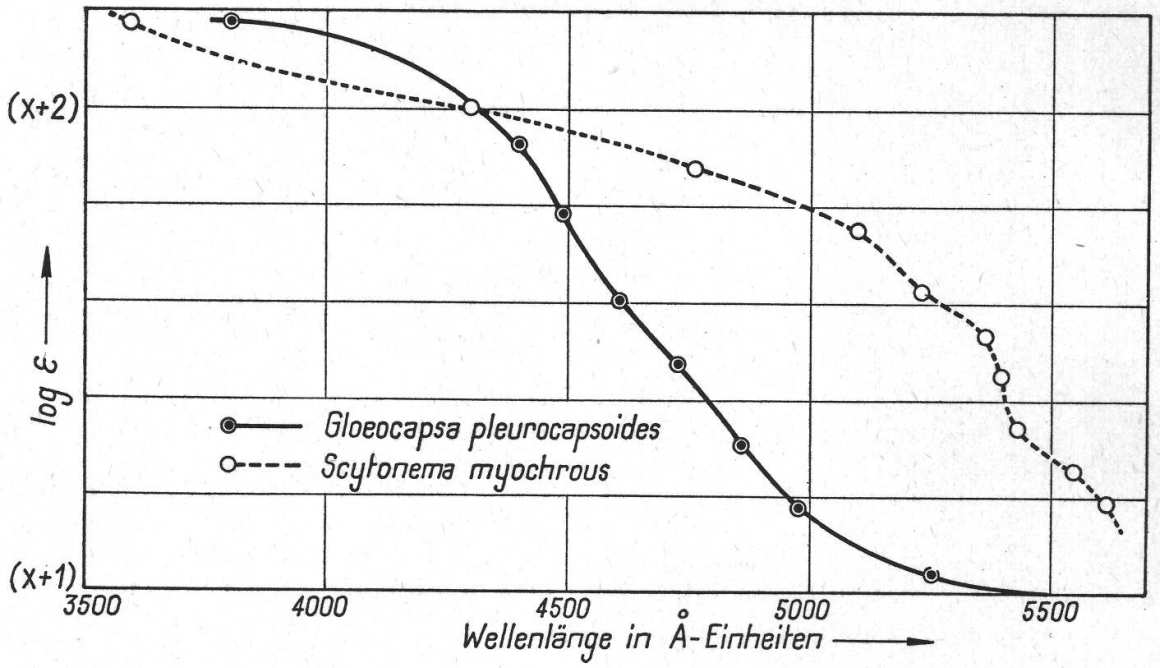
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3800	(x + 2),1775
4405	(x + 1),9330
4487	(x + 1),7797
4604	(x + 1),6042
4727	(x + 1),4786
4860	(x + 1),3025
4977	(x + 1),1775
5257	(x + 1),0399

Tabelle 18

Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
3590	(x + 2),1775
4306	(x + 2),0014
4760	(x + 1),8762
5103	(x + 1),7797
5235	(x + 1),6042
5380	(x + 1),5755
5403	(x + 1),4786
5433	(x + 1),3483
5550	(x + 1),2355
5632	(x + 1),1775



Figur 14.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 17 und 18.

Absorption des Gesamtfarbstoffextraktes aus *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides*, extrahiert mit Benzylalkohol. (Vgl. S. 145.)

Tabelle 19

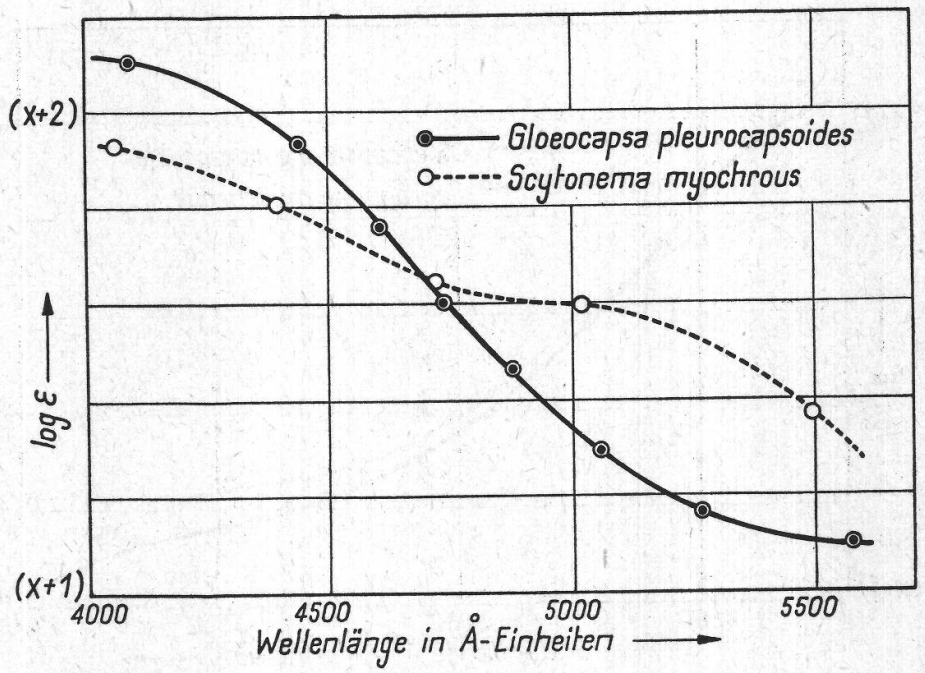
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4080	(x + 2),0804
4436	(x + 1),9330
4608	(x + 1),7797
4730	(x + 1),6042
4880	(x + 1),4786
5050	(x + 1),3483
5273	(x + 1),2235
5580	(x + 1),1265

Tabelle 20

Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4063	(x + 1),9330
4398	(x + 1),8254
4703	(x + 1),6658
5063	(x + 1),6042
5500	(x + 1),3718



Figur 15.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 19 und 20.

Absorption des Gesamtfarbstoffextraktes aus *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides*, extrahiert mit Chloroform, zur Trockene eingedampft und mit Alkohol aufgenommen. (Vgl. S. 144/145.)

Tabelle 21

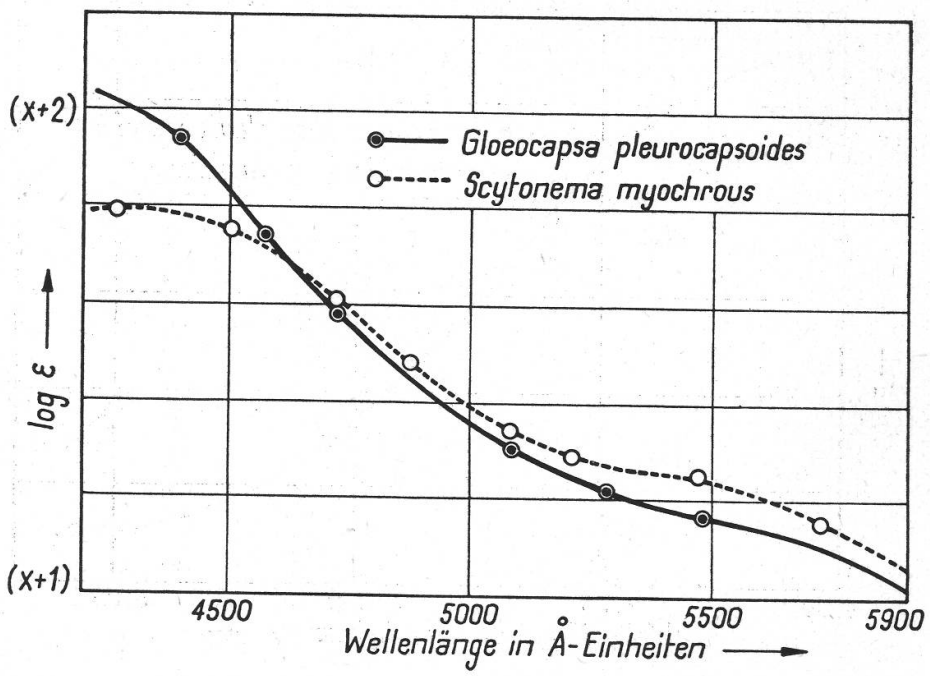
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4398	(x + 1),9330
4579	(x + 1),7797
4722	(x + 1),6042
4882	(x + 1),4786
5081	(x + 1),3025
5282	(x + 1),2235
5473	(x + 1),1775
5643	(x + 1),1265

Tabelle 22

Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4264	(x + 1),8054
4512	(x + 1),7797
4722	(x + 1),6042
5073	(x + 1),3483
5206	(x + 1),3025
5476	(x + 1),2355
5730	(x + 1),1265



Figur 16.
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 21 und 22.

Absorption des Vorextraktes von *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides*, extrahiert mit 80 %igem wäßrigen Aceton (Auszug des Chlorophylls samt Begleitfarbstoffen).

Tabelle 23

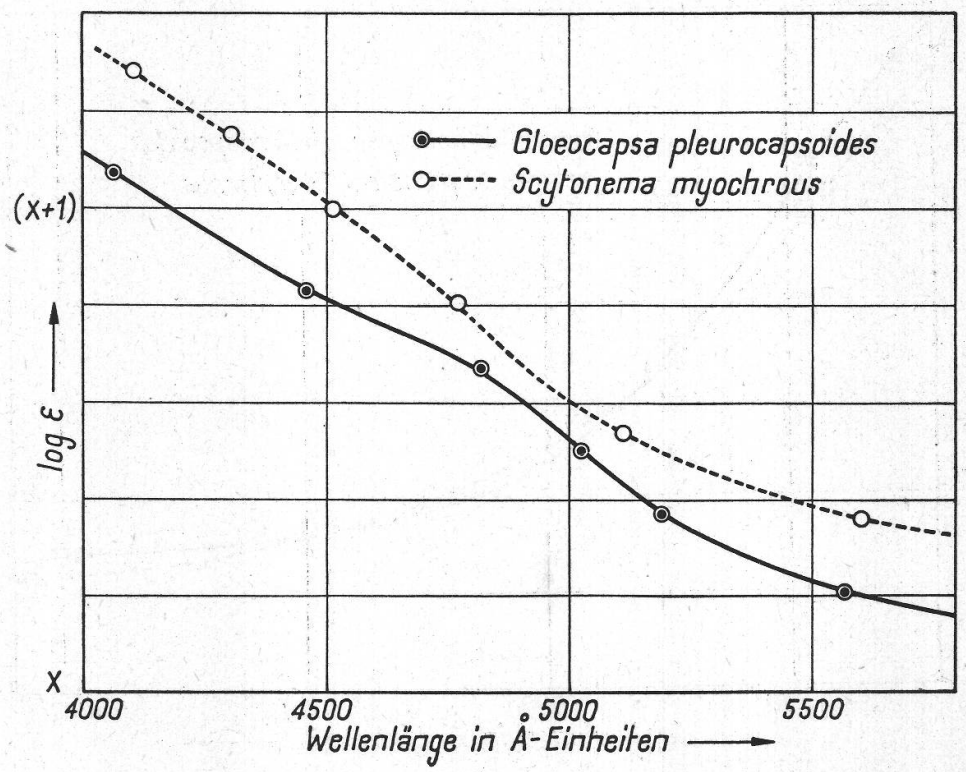
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4067	(x + 1),0804
4460	(x + 1),8254
4820	(x + 1),6658
5030	(x + 1),4786
5194	(x + 1),3718
5564	(x + 1),2235

Tabelle 24

Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4098	(x + 1),3025
4317	(x + 1),1775
4524	(x + 1),0014
4784	(x + 1),8245
5160	(x + 1),5755
5584	(x + 1),3718
—	(x + 1),1265



Figur 17.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 23 und 24.

Absorption des Farbstoffextraktes von *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides*, extrahiert mit HCl-Aceton nach Vorextraktion des Chlorophylls samt Begleitfarbstoffen. (Vgl. S. 145.)

Tabelle 25

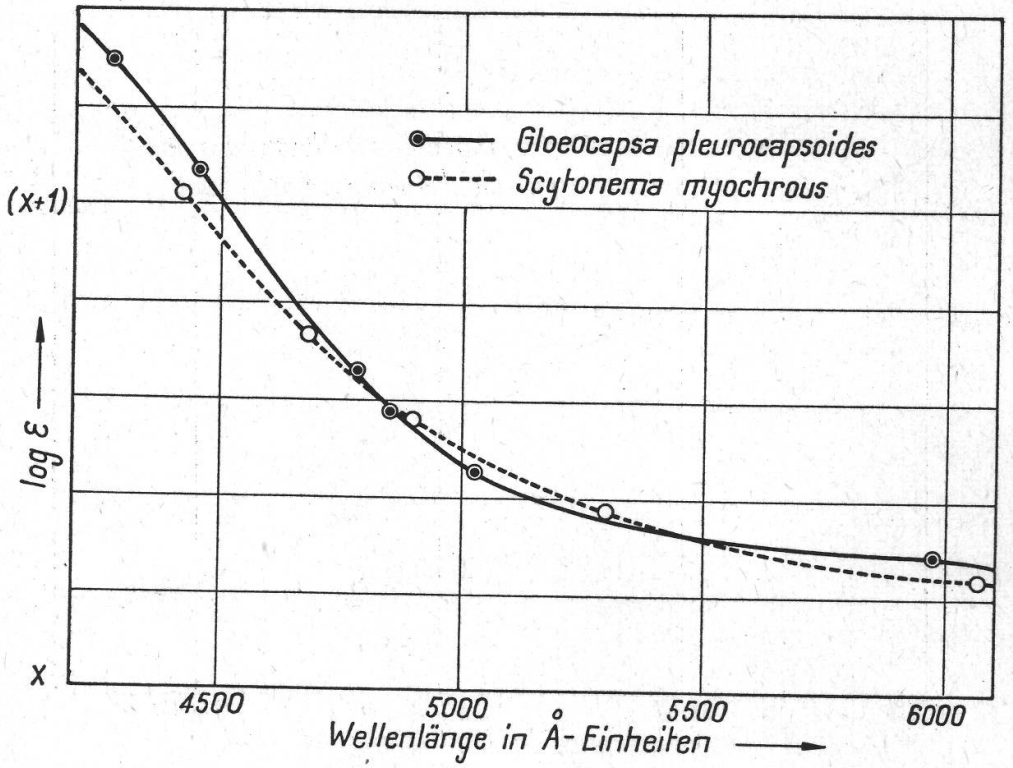
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4300	(x + 1),3025
4427	(x + 1),0804
4765	(x + 1),6658
4860	(x + 1),6042
5100	(x + 1),4786
5973	(x + 1),3025

Tabelle 26

Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
4410	(x + 1),0014
4718	x,7797
4891	x,5745
5313	x,3718
6058	x,2355



Figur 18.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 25 und 26.

Absorption des Farbstoffextraktes von *Scytonema myochrous* und von *Gloeocapsa pleurocapsoides*, Extraktion mit Benzylalkohol unter Verseifung des Chlorophylls und Aufnahme der unverseiften Farbstoffe in Chloroform. (Vgl. S. 145.)

Tabelle 27

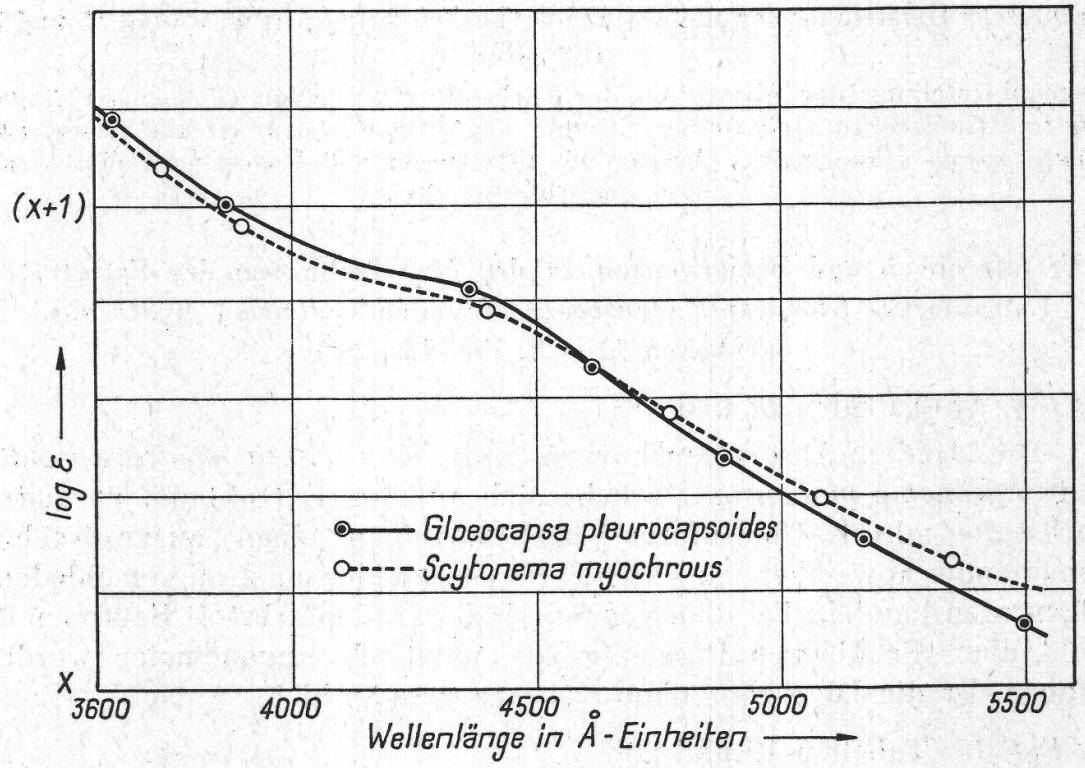
Gloeocapsa pleurocapsoides

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 1),3025
3639	(x + 1),1775
3868	(x + 1),0014
4369	x,8254
4618	x,6658
4886	x,4786
5171	x,3025
5500	x,1265

Tabelle 28

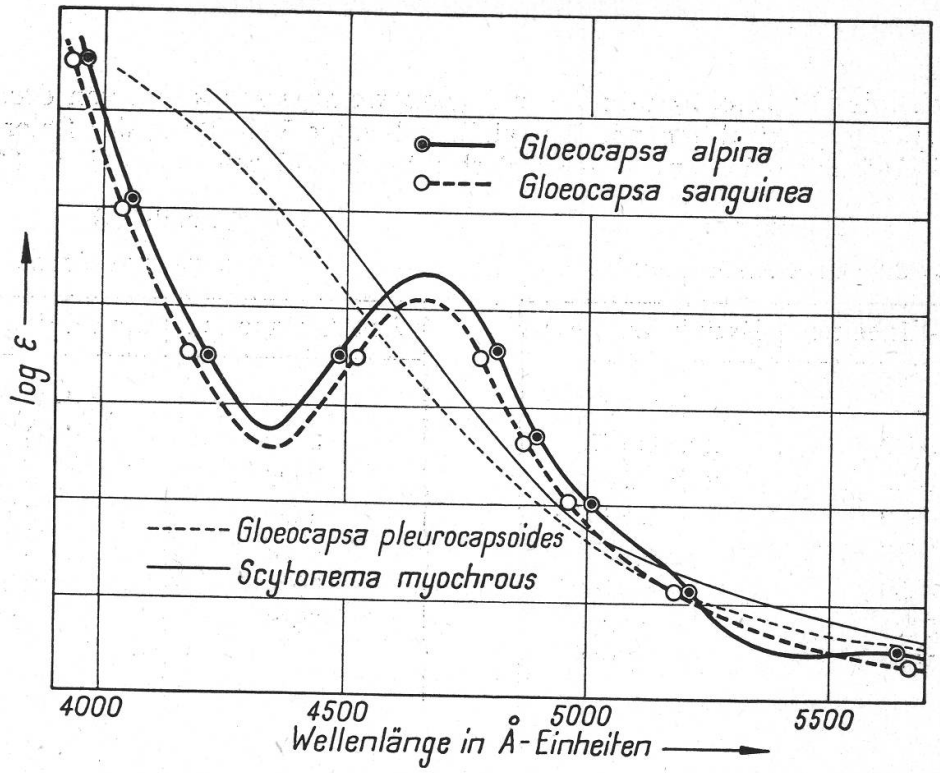
Scytonema myochrous

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 1),4786
3742	(x + 1),0804
3998	x,9330
4405	x,7779
4772	x,5755
5094	x,3718
5342	x,2355



Figur 19.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 27 und 28.



Figur 20.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 7 und 8 (Fig. 9) und 25 und 26 (Fig. 18).

Gegenüberstellung der Absorption der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* einerseits und *Scytonema myochrous* und *Gloeocapsa pleurocapsoides* anderseits. (Auszug mit salzsaurem HCl-Aceton nach Vorextraktion des Chlorophylls.)

Erläuterungen und Bemerkungen zu den Meßergebnissen der Farbstoff-Extrakte aus *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous*. (Tabellen 17—28; Fig. 14—20.)

Zu Fig. 14 (Tabellen 17 und 18)

Die beiden Absorptionskurven von *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous*, welche sich auf den Extrakt der gesamten Farbstoffe mittels Chloroform beziehen, zeigen einen ausgesprochen voneinander abweichenden Verlauf. Da es sich hier um zwei verschiedene Algenarten handelt, bei denen lediglich der Hüllenfarbstoff Scytonemin, nicht aber die übrigen Pigmente als identisch angenommen werden können, ist die Divergenz ohne weiteres verständlich.

Zu Fig. 15 (Tabellen 19 und 20)

Eine ähnliche Abweichung der Absorption, wie sie in Fig. 14 zum Ausdruck kommt, zeigt auch Fig. 15, welcher die Gesamtfarbstoffextrakte in Benzylalkohol zugrunde liegen. Auch hier gilt das zur vorhergehenden Figur Gesagte.

Zu Fig. 16 (Tabellen 21 und 22)

Der Vergleich der Absorption der Farbstoffauszüge aus *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous* — extrahiert als Gesamtfarbstoffextrakt mittels Chloroform, zur Trockene eingedampft und mit Alkohol aufgenommen — weist bereits ziemliche Annäherung auf, was darauf schließen läßt, daß die Anteile der übereinstimmenden Farbstoffe bei der Aufnahme mittels Alkohol in Lösung gehen, währenddem die abweichenden Farbstoffkomponenten im Rückstand bleiben.

Zu Fig. 17 (Tabellen 23 und 24)

Der Verlauf der hier dargestellten Absorptionskurven der beiden « Vorextrakte » mit 80prozentigem wässerigem Aceton (Chlorophyll-Auszug) läßt den zu erwartenden ähnlichen Charakter erkennen. Die Parallelverschiebung der beiden Kurven bei praktisch gleichartigem Aspekt deutet auf quantitative Abweichungen im Farbstoffgehalt hin.

Zu Fig. 18 (Tabellen 25 und 26)

Die Übereinstimmung der Absorptionskurven der beiden Farbstoffextrakte ist hier augenfällig. Es besteht kein Zweifel, daß hier die gleichen Farbstoffe vorliegen. Die bereits bei *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* angewandte Methode der Trennung der Hüllenpigmente vom Chlorophyll und seinen Begleit-Farbstoffen durch Vorextraktion der letzteren mit Hilfe von 80prozentigem wasserhaltigem Aceton und nachfoldengem Auszug des Hüllenfarbstoffes mit salzsaurem Aceton — bewährt sich auch in diesem Falle.

Zu Fig. 19 (Tabellen 27 und 28)

Ebenso unverkennbar wie in Fig. 18 kommt auch hier die vollkommene Übereinstimmung der Absorption der beiden Farbstoffextrakte zum Ausdruck. Die Gegenüberstellung bezieht sich im vorliegenden Falle auf Auszüge, bei denen die verseifbaren Farbstoffkomponenten ausgeschaltet sind, wobei der intakt gebliebene Hüllenfarbstoff (Scytonemin) in Erscheinung und in Vergleich treten kann.

Zu Fig. 20

Zwecks Gegenüberstellung der Absorption des Hüllenfarbstoffes Gloeocapsin aus *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* mit dem Hüllenfarbstoff Scytonemin aus *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous* haben wir die graphische Auswertung der Tabellenwerte 7 und 8 sowie 25 und 26 nochmals in dieser Figur zur Darstellung gebracht. Es ergibt sich hieraus mit aller Deutlichkeit sowohl die Übereinstimmung des « Gloeocapsins » in *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* wie auch die Identität des « Scytonemins » in *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous;* anderseits geht

aus dieser Gegenüberstellung ebenso unverkennbar die Verschiedenartigkeit der beiden Hüllenfarbstoffe « Gloeocapsin » und « Scytonemin » hervor.

F. Die Abhängigkeit der Färbung von der Wasserstoffionenkonzentration.

1. Vorbemerkungen.

Nachdem uns die Bestimmung der ganzen Extinktionskurven im sichtbaren Spektralbereich zur Erkenntnis der Identität des Hüllenfarbstoffes in *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* geführt hatte, wollten wir auch den Nachweis erbringen, daß die roten bzw. blauen Färbungen in einem Fall lediglich die saure, im andern die basische Form desselben Farbstoffes darstellen. Zu diesem Zwecke bestimmten wir zunächst die Absorption der Hüllenfarbstoffe von *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* sowohl in saurem wie in alkalischem Milieu, d. h. bei pH 2,8—3,0 und bei pH 8,0.

Weiterhin ermittelten wir die relative Farbintensität unserer Farbstoffe in Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration, wodurch die Bestimmung der Umschlagintervalle ermöglicht wurde. Dies ist von besonderem Interesse im Zusammenhang mit den im ersten Teil erwähnten Beobachtungen O. Jaags, daß die beiden Formenkreise *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* unter bestimmten, vom Milieu abhängigen Voraussetzungen in Farbabstufungen auftreten können, welche von rot bis blau alle Übergänge zeigen. Dies veranlaßte uns auch, die Umschlagsintervalle unserer Membranfarbstoffe in die vorliegenden Untersuchungen einzubeziehen. Die Absorptionsmessungen bei pH 3,0 und pH 8,0 erfolgten in der bereits beschriebenen Weise mit dem Zeißschen Universalspektrographen. Die Messungen der Farbintensität in Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration wurden mit einem Leitz-Photometer « Leifo » durchgeführt (s. S. 176).

Die Messungen geben uns ein genaues Bild der Farbübergänge, die stattfinden, wenn wir das Farbstoffmilieu kontinuierlich von sauer nach alkalisch (oder umgekehrt) ändern.

2. Erläuterungen.

Viele Farbstoffe zeigen in alkalischem Milieu eine andere Farbe als im sauren. Beim Farbumschlag findet ein kontinuierlicher reversibler Übergang statt, wobei der Farbstoff eine chemische Veränderung (Aciditätsreaktion) erfährt, die in einer Anlagerung oder Abspaltung eines Wasserstoffions besteht, je nachdem wir die basische Erscheinungsform in die saure oder umgekehrt die saure in die basische überführen.

Schematisch kann dieser Vorgang folgendermaßen formuliert werden :

$$\underbrace{HA}_{\text{Farbstoff, saure Form}} \underset{\text{Anlagerung von}}{\overset{\text{Abspaltung von}}{\rightleftharpoons}} H^+ + \underbrace{A^-}_{\text{Farbstoff, basische Form}}$$

Wenn wir auf diesen Vorgang das chemische Massenwirkungsgesetz anwenden, so erhalten wir folgende Beziehung :

$$\frac{(\text{Konzentration } H^+) \cdot (\text{Konzentration } A^-)}{(\text{Konzentration } HA)} = \text{kontant}$$

oder in der vereinfachten Ausdrucksform

$$\frac{[H^+] \cdot [A^-]}{[HA]} = \text{Konstante} = Ks$$

([ ] bedeutet Konzentration)

Ks wird die Aciditätskonstante genannt.

Aus dieser Beziehung ergibt sich, daß man durch Messung der Werte von $[A^+]$, $[H^-]$ und $[HA]$ die Größe der Konstante Ks berechnen kann.

Angenommen, unser Farbstoff « Gloeocapsin » zeige einen Farbumschlag von rot nach blau, wobei rot die saure HA, blau die alkalische Form A darstellt. Das Umschlagsintervall sei zwischen pH 6 und pH 8 festgestellt worden. Im Mittelpunkt des Umschlagsintervalls haben wir 50 % Rot [HA] und 50 % Blau (A^-). Es gilt daher hier :

$$[HA] = [A^-] \text{ oder } \left[\frac{A^-}{HA}\right] = 1;$$

setzen wir diese Werte in die Beziehung des Massenwirkungsgesetzes

$$\frac{[H^+] \cdot [A^-]}{[HA]} = Ks \text{ ein, so ergibt sich da}$$

$$\left[\frac{A^-}{HA}\right] = 1, \; [H^+] = Ks.$$

Wenn wir also im Punkte $[A^-]$ blau = 50 %, [HA] rot = 50 %, die Wasserstoffionenkonzentration $[H^+]$ elektrometrisch messen, so haben wir damit Ks bestimmt, da $[H^+] = Ks$.

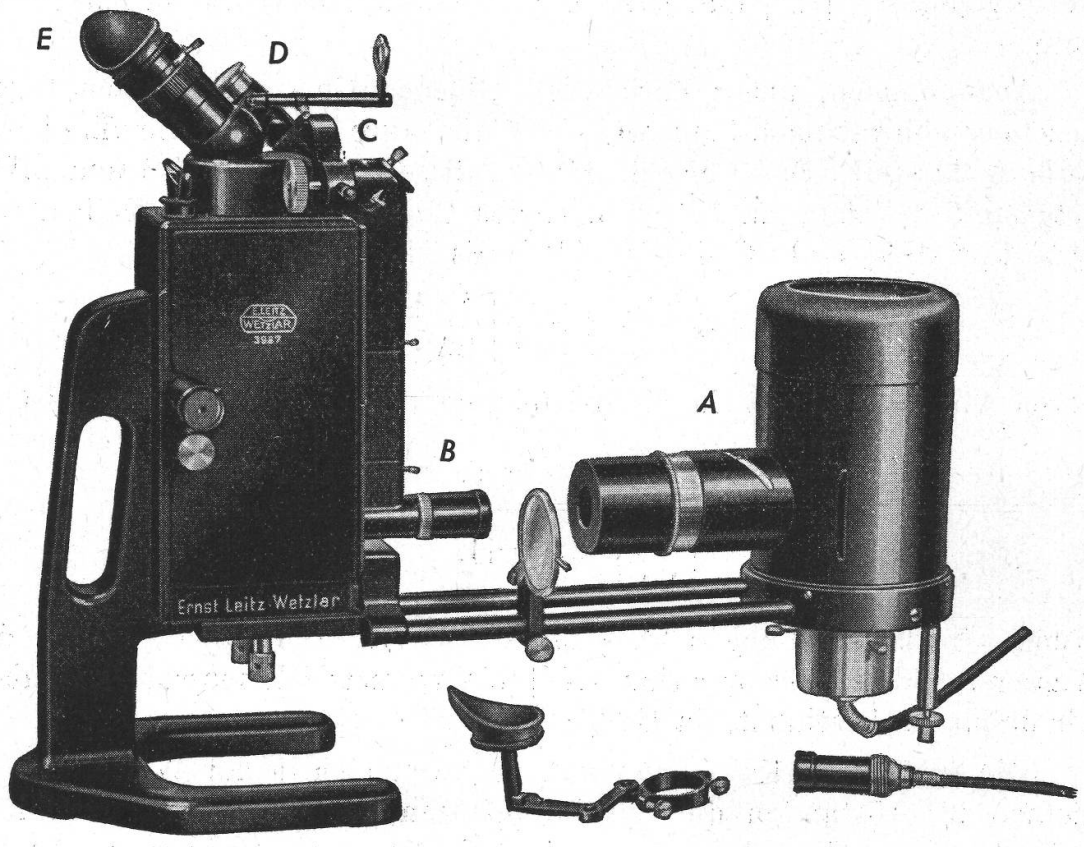
Die praktische Ks-Bestimmung gestaltet sich in der Weise, daß in kleinen pH-Abständen die Farbintensitäten gemessen und graphisch aufgetragen werden; daraus resultiert ein Kurvenast, wie er in Fig. 25, 26 und 27 zum Ausdruck kommt.

Der zugeordnete $[H^+]$-Wert im Mittelpunkt der Kurve entspricht dem Wert Ks.

Die Kurve läßt sich praktisch festlegen, wenn wir mehrere Proben (ca. 10—20) gleicher Konzentration der Farbstofflösung auf gleichmäßig ansteigende pH-Werte einstellen und bei jeder Probe die Stärke der Farbintensität der einen Farbform bestimmen.

3. Beschreibung der Meßapparatur und des Meßprinzips.

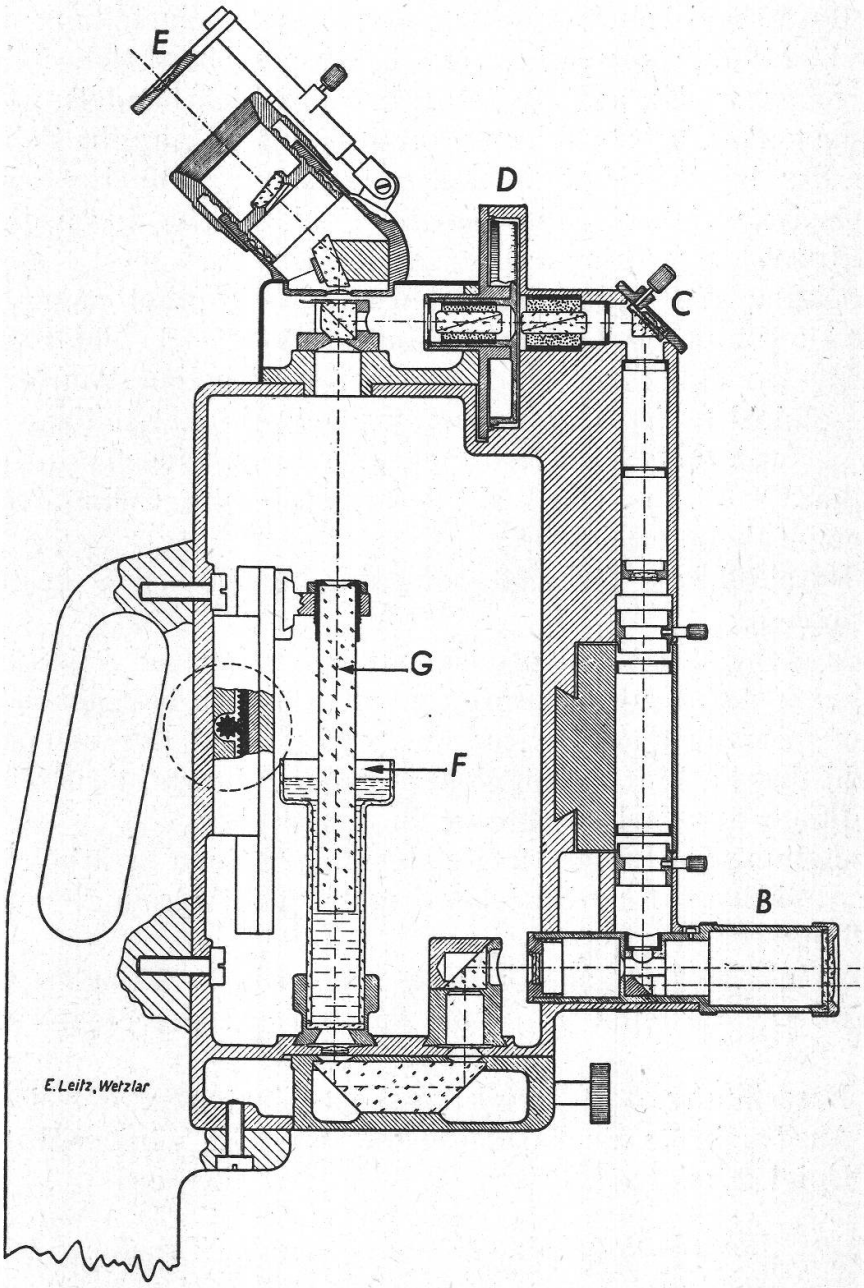
In dem für unsere kolorimetrischen Messungen benützten Leifo-Photometer (Fig. 21 a und 21 b) wird das Licht der Beleuchtungseinrichtung (A) (100-Watt-Glühlampe in geschlossenem Gehäuse, Reflexionsspiegel, Kollimator und Blendrohr) im Eintrittsstutzen (B) in zwei Bündel zerlegt. Das eine Bündel geht durch die zu untersuchende Lösung zum Okular, wobei es durch die Lösung entsprechend geschwächt wird. Das zweite Bündel passiert zwei Polarisationsprismen (C), von denen das eine drehbar ist, wodurch die Lichtintensität des Strahlenbündels meßbar variiert (geschwächt) werden kann. Die Drehung wird durch einen Meßkreis zahlenmäßig festgelegt und kann am Meßokular (D) als Winkelwert direkt abgelesen werden. Im Okular (E) treten das Lichtbündel, welches durch die zu untersuchende Lösung und dasjenige,



Figur 21 a.

Gesamtansicht des Photometers « Leifo-K »[1].

[1] Der Druckstock zu dieser Abbildung wurde uns von der Firma Ernst Leitz, Wetzlar, in entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt.



Figur 21 b.
Schematische Darstellung des Photometers « Leifo » [1].

welches durch die meßbare Schwächungsvorrichtung hindurchgegangen, nebeneinander als zwei Gesichtsfelder in Erscheinung.

Die zu untersuchende Farbstofflösung befindet sich in einem Becher (F. Fig. 21 b) im Innern des Gehäuses. Zur Einstellung der Schichtdicke ist ein verschiebbarer Eintauchstab (G) angebracht, der es ermöglicht, die Schichtdicke der Farbstofflösung, welche das Licht zu durchstrahlen

[1] Der Druckstock zu vorstehender Abbildung wurde uns von der Firma Ernst Leitz, Wetzlar, in entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt.

hat, von 0—50 mm beliebig zu variieren. Durch Einstellung der Intensität des Lichtbündels, welches durch die meßbare Schwächungsvorrichtung gegangen ist, auf die Helligkeit des Lichtbündels, welches die zu untersuchende Farbstofflösung durchstrahlt hat, ergibt sich (aus der Ablesung des betreffenden Winkelwertes), wie groß die Schwächung des Lichtes ist, welches bei bestimmter Schichtdicke durch die zu messende Farbstofflösung hindurch gegangen ist.

Das Okular des Vergleichssystems im *Leifo*-Photometer läßt sich durch Drehung auf die Trennungslinie der Vergleichsfelder scharf einstellen. Zur Ermöglichung einer genaueren visuellen Beurteilung der Intensitätsgleichheit ist aber außerdem noch die Herstellung der Farbgleichheit erforderlich. Diese wird erreicht durch Einschieben eines entsprechenden Farbfilters. Die Wahl desselben ist durch eine dem «*Leifo*» beigegebene Tabelle erleichtert.

Die Durchführung einer Messung der Farbintensität gestaltet sich folgendermaßen:

1. Herstellung der Farbstofflösung mit bestimmter Acidität.
2. Messung der Hauptabsorptionsbanden der zu bestimmenden Farbform mit einem einfachen Spektroskop und der entsprechenden Wahl des Farbfilters mit dem gleichen Absorptionsbereich.
3. Einfüllen der Farbstofflösung in den Becher.
4. Herstellung der Intensitätsgleichheit der beiden Lichtbündel mittels des drehbaren Polarisationsprismas und Ablesung der Winkelstellung.

Den Winkelwerten sind Zahlen zugeordnet (Tabellen von *Leitz* zum « *Leifo* »), die eine bequeme Auswertung der Meßresultate gestatten.

Die Berechnung des Extinktionskoeffizienten *e*, der den zahlenmäßigen Ausdruck für die Farbintensität darstellt, wird nachstehend an einem Beispiel gezeigt.

Berechnungsbeispiel nachstehender Tabelle.

Schichthöhe d	Ablesungswinkel am Meßkreis	Zahl aus Tabelle III zum « Leifo »
5 cm	17,6°	0,104
0 cm	30,3°	0,059

Hieraus ergibt sich

$$e = \frac{Zd - Zo}{d} = \frac{0{,}104 - 0{,}059}{5} = 0{,}009$$

e = dekadischer Extinktionskoeffizient $(e = \frac{Zd - Zo}{d})$

Z = Zahl aus den Umrechnungstabellen zum *Leifo*-Photometer.
Zd = Zahl zum gemessenen Winkel bei der Schichtdicke d.
Zo = Zahl aus dem gemessenen Winkel bei der Schichtdicke o.
Der e-Wert für das Farbstoffextrakt « Gloeocapsin » pH = 4,8 ist bei d = 5 demnach 0,009.

Analog diesem Beispiel wurden die Messungen an jedem der beiden Farbstoffe bei je 15 pH-Einheiten durchgeführt. Zur Erhöhung der Genauigkeit wurden bei drei bis fünf Schichtdicken je 4 Messungen ausgeführt, so daß ein e-Wert den Mittelwert von 20—30 Ablesungen darstellt.

Meßbeispiel (aus Tabelle 33)

(Farbstofflösung Gloeocapsin pH = 4,8)

Schichthöhe (d)	Winkel-Meßwerte				Mittel	Z	d
0	30,1	30,2	30,5	30,1	30,3	0'059	
d = 1	26,4	26,2	26,1	27,0	26,4	0'070	0.011
d = 2	22,5	22,6	23,0	22,7	22,7	0'083	0.012
d = 3	19,0	19,1	19,3	19,5	19,3	0'092	0.011
d = 4	17,0	17,1	17,0	16,6	16,9	0'107	0.012
d = 5	17,4	17,6	17,8	17,7	17,6	0'104	0.009
						Mittel:	0.011

4. Herstellung von pH-Standardlösungen.

Die Darstellung von Lösungen bestimmter Acidität stieß auf gewisse Schwierigkeiten. Zuerst wurde versucht, alkoholische Lösungen von Gemischen von

Chloressigsäure/chloressigsaurem Natrium
Malonsäure /malonsaurem Natrium
Phenol /Phenol-Natrium

zu verwenden. Es war aber dabei die Eigenabsorption der Puffersubstanzen zu berücksichtigen, die sich in unserem Falle störend auswirkte, wie wiederholte Versuche ergaben, so daß auf die Pufferlösungen verzichtet werden mußte. Es kann nicht mit Bestimmtheit ausgesagt werden, ob die Verschiebungen der Absorptionskurven unserer Algenfarbstoffe auf den Einfluß der Eigenabsorption der verwendeten Puffersubstanzen oder aber auf Salzeffekte zurückzuführen sind. Es schien uns daher zweckmäßig, im vorliegenden Falle möglichst einfache Systeme zu verwenden, deren Anwendung im ganzen Aciditätsbereich möglich ist. Die Herstellung von pH-Standardlösungen geschah auf folgende Weise:

a) Herstellung der Lösungen von pH 1—7 mittels trockenem HCl-Gas in absolutem Alkohol.

Die Mengen HCl-Gas wurden variiert, indem unter gleichen Bedingungen HCl-Gas verschieden lange eingeleitet wurde. Wir gelangten so zu 7 Lösungen, deren pH mit der Glaselektrode gegenüber einer alkoholischen Standardlösung gemessen wurde.

Die Lösungen zeigten folgende pH-Werte:

1.	1,50	5.	6,25
2.	3,01	6.	6,50
3.	4,25	7.	7,01
4.	5,31		

b) Herstellung der Lösungen aus reinem NaOH von pH 7—pH 10 in absolutem Alkohol.

Die alkalische Reihe wurde genau wie die saure ausgemessen. Bei den 8 hergestellten Standardlösungen wurden folgende pH-Werte festgestellt :

8.	7,2	12.	8,3
9.	7,8	13.	8,6
10.	7,8	14.	8,9
11.	8,1	15.	10,0

Die Meßgenauigkeit bezogen auf die Standardlösung beträgt ± 0,02 pH-Einheiten.

Um zu einer Kontrolle der Pufferkapazität zu gelangen, wurden die Lösungen mit pH 3,0; 6,25; 7,8 und 8,9 mit der erforderlichen Menge Farbstoffextrakt versetzt und darauf die pH-Messung wiederholt.

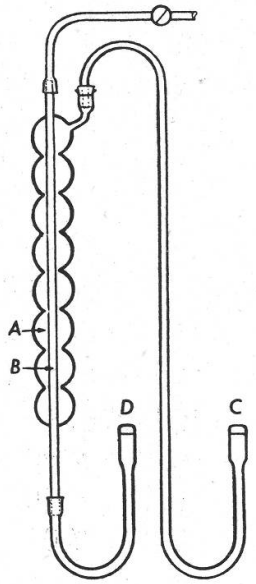
Die folgende Tabelle ergibt die Meßwerte :

pH-Standardlösung	pH-Standardlösung + Farbstoff
3,0 ± 0,02	3,06
6,25 ± 0,02	6,30
7,80 ± 0,02	7,78
8,92 ± 0,02	8,88

Wir ersehen daraus, daß die Pufferkapazität unserer Lösungen ausreicht, um eine pH-Konstanz auf ± 0,05 pH-Einheiten zu garantieren.

Die Messung des pH-Wertes der Standardlösungen.

Die Messung der Abhängigkeit der Farbe unserer Pigmentextrakte von der Wasserstoffionenkonzentration geschah durch Zugabe von 0,1



Figur 22.
Corning-Glaselektrode.

bis 0,5 cm³ Farbstoffextrakt zu den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen pH-Standardlösungen mit genügend großer Pufferkapazität. Die Farbe wurde mit dem Leifo-Photometer gemessen; das pH bestimmten wir mit einer Corning-Glaselektrode Nr. 015 nach Angaben von MacInnes (Wandstärke 0,01 mm).

Fig. 22 zeigt uns die Glaselektrode. Im äußeren Raum A befindet sich eine Bezugslösung (in unserem Falle wurde eine alkoholische Pikrinsäurelösung verwendet), im inneren Raum B befindet sich die zu messende Lösung, deren Potential über die Glasmembrane gegen die Standard-Pikrinsäurelösung gemessen wird. Mit der Meßapparatur wird die Verbindung hergestellt durch Einsetzen von Agar-Agar-Heber in die beiden Flüssigkeitsheber C und D.

Das Potential wird mittels eines Röhrenpotentiometers gegenüber einer gesättigten Calomelelektrode gemessen. Zur Messung gelangte folgende Kette:

Calomel I	KCl in Agar	Standardlösung Pikrinsäure	Glas	Versuchslösung	Agar-KCl	Calomel II

Wir messen dabei das Potential E, das sich zwischen zwei Lösungen mit verschiedenen Wasserstoffionenkonzentrationen ausbildet, d. h. in unserem Falle zwischen der Standardlösung mit bekanntem pH-Wert und der zu untersuchenden Flüssigkeit. Das Potential wird in Millivolt (M.V.) bestimmt und daraus der pH-Wert der Versuchslösung pH nach der modifizierten Nernstschen Formel

$$\left(pH_x = pH\ \text{Standard} \cdot \frac{\pm E}{0{,}058}\right)$$ errechnet.

5. Meßergebnisse.

a) Aufnahme, Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion des Gloeocapsins aus *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* bei pH = 2,8—3,0 unter Anwendung des Universalspektrographen von Zeiß.

Absorption des Farbstoffextraktes (Gloeocapsin) aus *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* in salzsaurer Alkohollösung, pH 2,8—3,0.

Tabelle 29

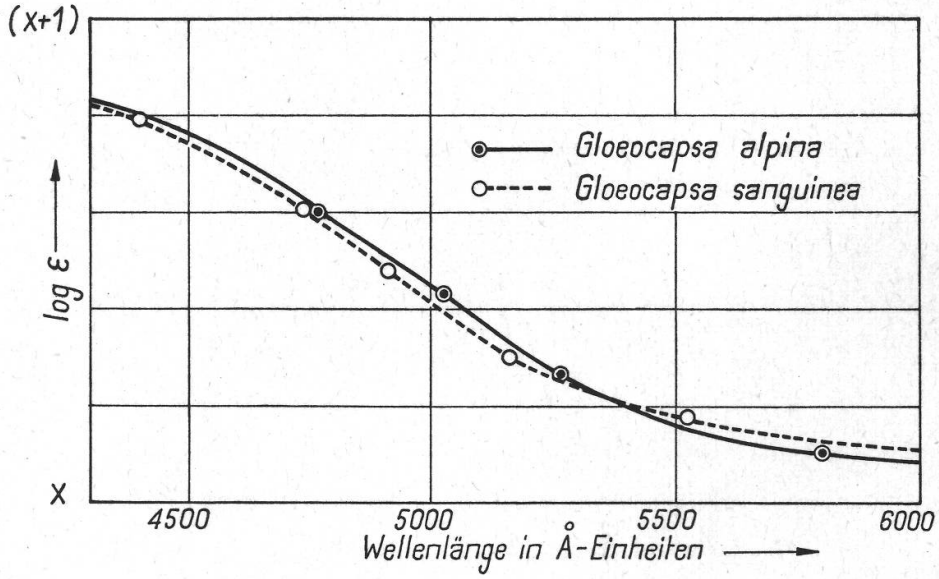
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 1),3025
—	(x + 1),1775
—	(x + 1),0804
—	(x + 1),0014
—	x,8762
4400	x,7008
4743	x,6041
4913	x,4786
5153	x,3025
5525	x,1775
5806	x,1006
—	x,0804

Tabelle 30

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 1),7797
—	(x + 1),4786
—	(x + 1),3025
(3900)	(x + 1),1775
4754	x,6042
5023	x,4320
5265	x,2603
6074	x,4786
—	x,382
—	x,3025
—	x,1775
—	x,0014



Figur 23.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 29 und 30.

b) Aufnahme, Auswertung und Gegenüberstellung der Extinktion des Gloeocapsins aus *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* bei pH = 9 unter Anwendung des Universalspektrographen von Zeiß.

Absorption der Farbstofflösung (Gloeocapsin) aus *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea*, Lösung in Alkohol + NaOH, pH = 9.0.

Tabelle 31

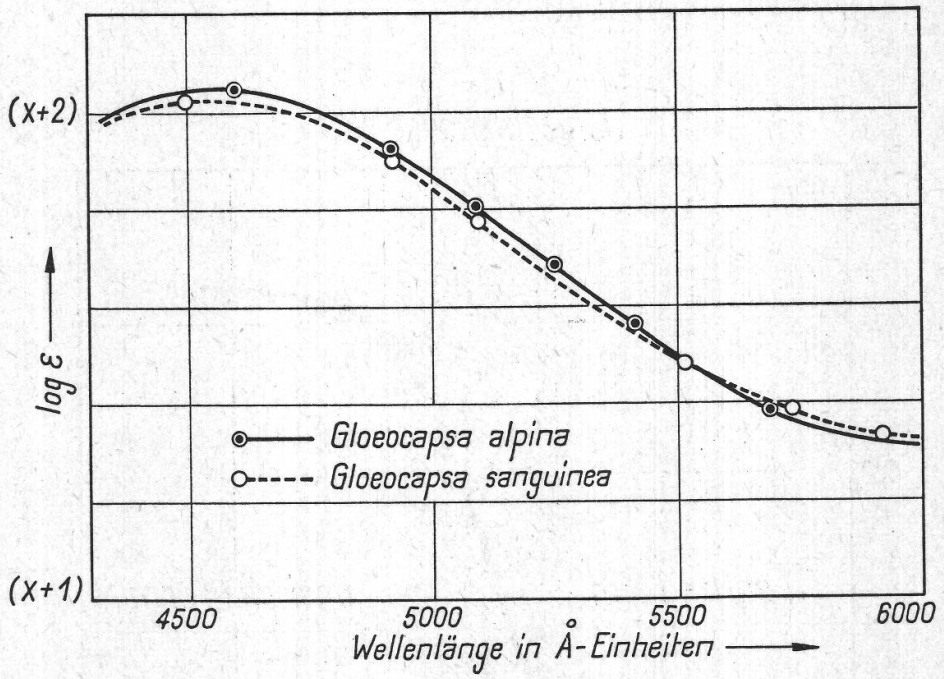
Gloeocapsa sanguinea

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 2),3025
4500	(x + 2),0804
4924	(x + 1),9330
5108	(x + 1),8025
5255	(x + 1),6924
5527	(x + 1),4960
5740	(x + 1),3895
5921	(x + 1),3260

Tabelle 32

Gloeocapsa alpina

λ in Å-Einheiten	Extinktion log ε
—	(x + 2),3025
—	(x + 2),0804
4600	(x + 2),0546
4918	(x + 1),9330
5099	(x + 1),8056
5420	(x + 1),5702
5699	(x + 1),4025
—	(x + 1),1775
—	(x + 1),0804



Figur 24.
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabellen 31 und 32.

Folgerungen aus den Ergebnissen von Tabellen 29, 30, 31 und 32 und Fig. 23 und 24

Wie die Extinktionskurven in Fig. 23 und 24 darlegen, erweisen sich das Gloeocapsin aus *Gloeocapsa alpina* wie dasjenige aus *Gloeocapsa*

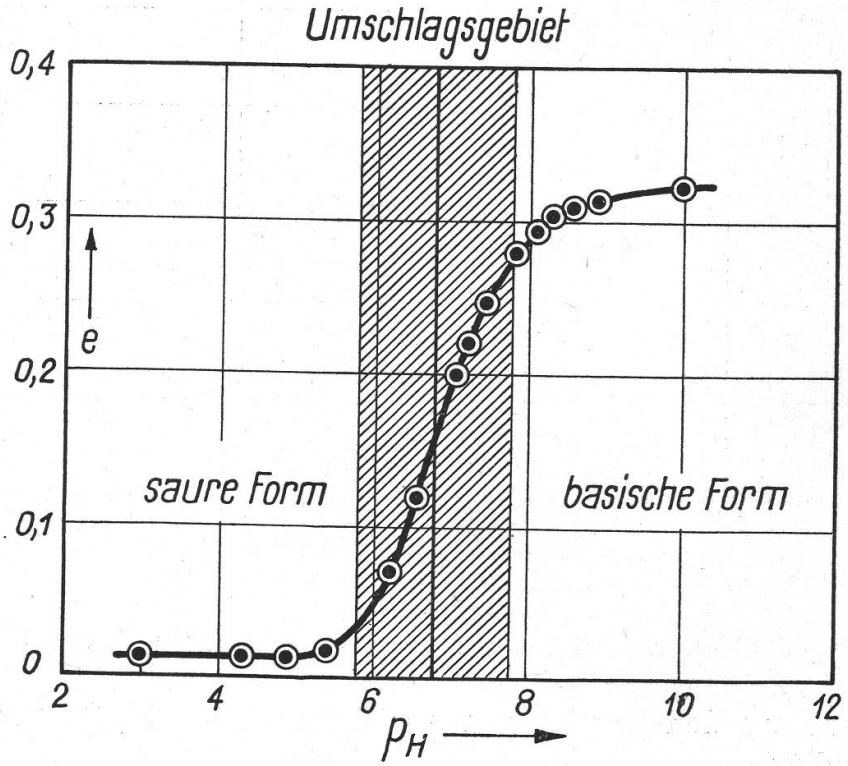
sanguina sowohl im stark sauren Milieu bei pH = 2.8—3.0, als auch im alkalischen Milieu bei pH 8 als identisch. Der Nachweis, daß der Hüllenfarbstoff Gloeocapsin in seiner roten und blauen Erscheinungsform lediglich vom pH abhängt, ist damit erbracht.

c) Ergebnisse der kolorimetrischen Messungen zur Bestimmung des Umschlagsintervalls von Gloeocapsin mit dem Photometer « L e i f o ».

Tabelle 33

Extrakt aus *Gloeocapsa alpina*

pH	e	pH	e
1,5	0,010	7,20	0,215
3,01	0,009	7,4	0,244
4,25	0,010	7,8	0,275
4,9	0,011	8,1	0,290
5,31	0,015	8,3	0,299
6,25	0,065	8,6	0,302
6,50	0,115	8,9	0,305
7,01	0,195	10,0	0,316



Figur 25.

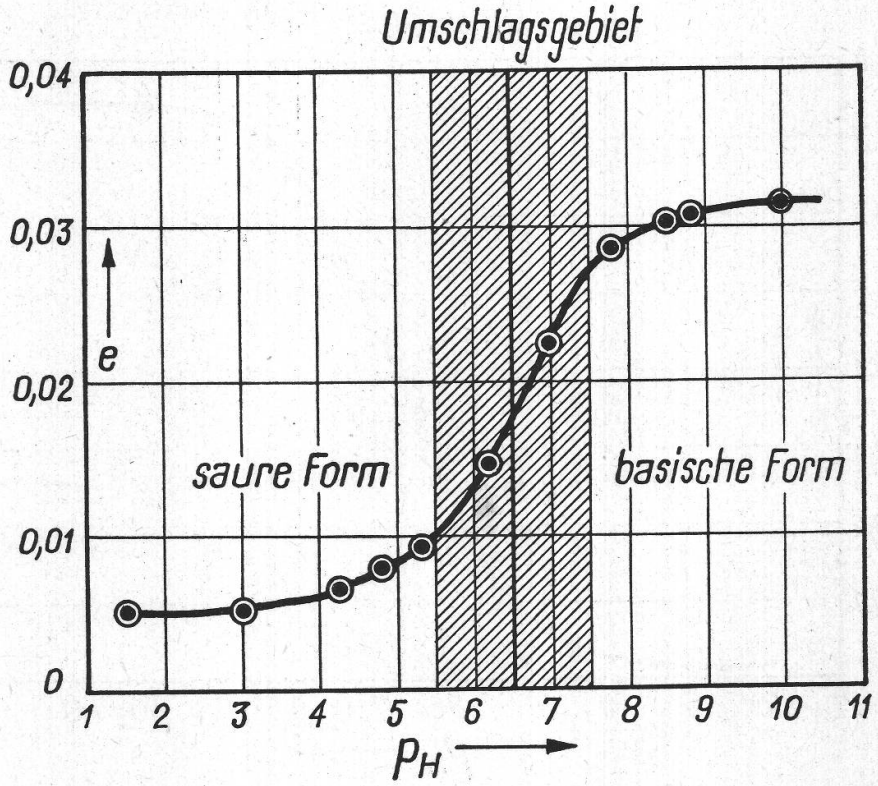
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabelle 33.

d) **Ergebnisse der kolorimetrischen Messungen zur Bestimmung des Umschlagsintervalls von Scytonemin aus *Scytonema myochrous* mit Hilfe des Photometers « L e i f o ».**

Tabelle 34

Extrakt aus *Scytonema myochrous*

pH	e
1,5	0,0050
3,01	0,0054
4,25	0,0065
4,8	0,0080
5,31	0,009
6,25	0,0145
7,01	0,0244
7,8	0,0286
8,6	0,0316
8,9	0,0320
10,0	0,0331



Figur 26.

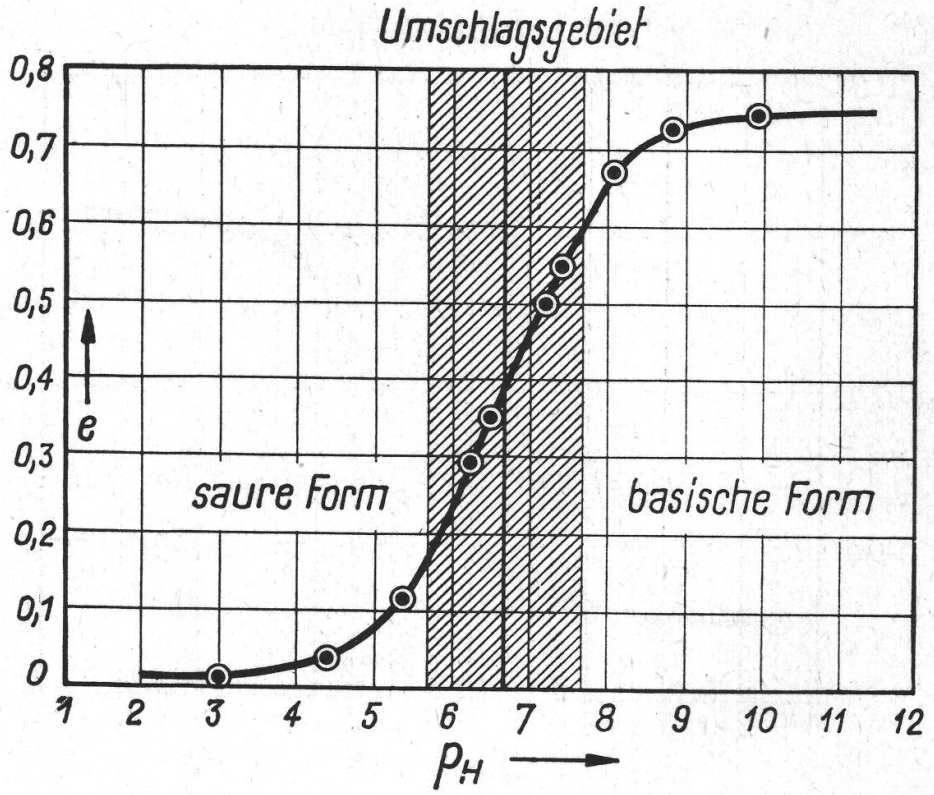
Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabelle 34.

e) **Ergebnisse der kolorimetrischen Messungen zur Bestimmung des Umschlagsintervalls von Scytonemin aus *Gloeocapsa pleurocapsoides* mit Hilfe des « L e i f o »-Photometers.**

Tabelle 35

Extrakt aus *Gloeocapsa pleurocapsoides*

pH	e
3,01	0,01
4,25	0,03
5,31	0,11
6,25	0,29
6,50	0,35
7,20	0,50
7,4	0,55
8,1	0,67
8,9	0,72
10,0	0,74



Figur 27.

Graphische Darstellung der Meßwerte von Tabelle 35.

Bemerkungen zu den kolorimetrischen Messungen.

Wie aus der graphischen Darstellung (Fig. 25) der Meßwerte von Tabelle 33 hervorgeht, liegt das Umschlagsintervall des Hüllenfarbstoffes Gloeocapsin zwischen pH 5,8—7,8, so daß der Farbstoff eine Aciditätskonstante von $1{,}5 \cdot 10^{-7}$ (pH = 6,8) aufweist.

Die Farbmessungen in Abhängigkeit von der Acidität der Lösungen zeigen beim Scytonemin aus *Scytonema myochrous* und beim Scytonemin aus *Gloeocapsa pleurocapsoides* praktisch gleiche Werte (*Scytonema:* Umschlagsintervall bei pH 5,6—7,6; *Gloeocapsa pleurocapsoides:* Umschlagsintervall bei pH 5,7—7,7), so daß sich dementsprechend ein übereinstimmender Verlauf der beiden Kurven in der graphischen Darstellung dieser Werte in Fig. 26 und Fig. 27 ergibt und somit die Identität des Farbstoffes Scytonemin in *Gloeocapsa pleurocapsoides* und in *Scytonema myochrous,* auch von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, als erwiesen gelten kann.

G. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.

Wir sind bei der Aufstellung unserer Arbeitshypothese ausgegangen von den Beobachtungen O. Jaags über den Einfluß der Außenbedingungen auf die verschiedenen Merkmale, die bisher für die Systematik der Blaualgen, insbesondere der Gattung *Gloeocapsa,* als mehr oder weniger artspezifisch gegolten haben.

Verschiedene solcher Merkmale wie Weite und Schichtung der Hüllen usw. haben sich, wie im ersten Teil vorliegender Arbeit dargestellt wurde, keineswegs als zuverlässige und ausreichende Anhaltspunkte für die Systematik der Cyanophyceen erwiesen.

Selbst die Färbung der Hüllen, die bis anhin in der Gattung *Gloeocapsa* als wichtigstes Unterscheidungsmerkmal Geltung hatte und zur Differenzierung der Untergattungen *Cyanocapsa, Rhodocapsa, Chrysocapsa* und *Hyalocapsa* diente, hat ihren bestimmenden Charakter für die Systematik zum Teil eingebüßt.

Durch die im ersten Abschnitt unserer Arbeit wiedergegebenen Beobachtungen über Zusammenhänge zwischen der Färbung der Hüllen und der Beschaffenheit des Standortes hat O. Jaag die Überzeugung ausgesprochen, daß die verschiedenen Hüllenfärbungen bei gewissen Formen der Blaualgen lediglich « eine Reaktion des in den Hüllen enthaltenen Farbstoffes auf saures und alkalisches Substrat darstellen könnte ... ».

Diese Vermutung wurde erhärtet durch die weiteren Untersuchungen O. Jaags über die pH-Verhältnisse der verschiedenen Standorte von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* und des Sickerwassers, welches den Fels benetzt, auf dem die betreffenden Algen

wachsen. Hierbei stellte es sich heraus, daß rotgefärbte Formen in der Regel bei einem pH unter 6,5 und violett gefärbte bei einem pH über 6,5 festgestellt wurden.

Auf diesen grundlegenden Beobachtungen aufbauend, haben wir als Hypothese die Gleichartigkeit des Hüllenfarbstoffs von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* als Ausgangspunkt genommen, nachdem bereits durch O. Jaag die morphologische Übereinstimmung der beiden Arten in den wesentlichen Punkten festgestellt, resp. die bisher als artspezifisch betrachteten Unterscheidungsmerkmale in bezug auf Hüllenweite, Hüllenschichtung usw. als von Außenfaktoren abhängig erkannt worden waren.

Es galt nun in unserem Falle den Nachweis der Identität des Farbstoffes in beiden Arten experimentell zu erbringen. Wir hatten hierbei zwei Wege zur Verfügung: den biologischen und den physikalisch-chemischen. In Form von Reinkulturen sollten die beiden Formenkreise von *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* auf Kulturböden gezüchtet werden. Die Verpflanzung auf Nährböden von bestimmter Zusammensetzung hätte Wandlung und Angleichung der beiden Formen verfolgen lassen. Durch die Übertragung der reingezüchteten Formen blauer Variation in saures Medium würde deren Übergang in die rote und vice versa sich ergeben haben, sofern unsere Annahme sich als richtig erwiesen hätte.

Durch entsprechende Einstellung der Nährsubstrate auf verschiedene pH-Stufen wollten wir die vermuteten Zusammenhänge zwischen Hüllenfärbung und Milieu kontinuierlich und graduell verfolgen.

Trotz Wahl der verschiedenartigsten Nährböden gelangen jedoch die Kulturversuche nicht.

Es blieb uns infolgedessen nur der andere Weg offen: die Hüllenfarbstoffe der beiden Algenarten selbst zum Gegenstand unserer vergleichenden Untersuchungen zu machen. Es gelang uns, den von Nägeli mit Gloeocapsin bezeichneten Hüllenfarbstoff aus dem Algenmaterial von seinen Begleitfarbstoffen (Chlorophyll usw.) einerseits durch Fraktionierung, anderseits durch Verseifung der Chlorophyllkomponenten zu trennen und den Nachweis zu erbringen, daß 1. in den beiden Algenarten *Gloeocapsa sanguinea* und *Gloeocapsa alpina* ein und derselbe Membranfarbstoff enthalten ist, und daß 2. die verschiedenen Färbungen vom Milieu abhängig sind.

Die Methodik der Beweisführung stützte sich dabei auf die Erkenntnis, daß die Lichtabsorption von Farblösungen eine spezifische Eigenschaft darstellt und damit eine Differenzierung resp. einen Identitätsnachweis einwandfrei ermöglicht.

Diese Methode hat den Vorteil, daß sie zum Identitätsnachweis kleine Mengen von Farbstoffen benötigt, und daß mit ihr der Identitätsnachweis ohne Kenntnis der chemischen Beschaffenheit (die im vor-

liegenden Falle natürlich noch völlig ungeklärt ist) beweiskräftig durchgeführt werden kann.

Es wurde deshalb versucht, durch quantitative Absorptionsmessungen die Farbstoffidentität nachzuweisen.

Durch Bestimmung der Extinktion der Farbstoffextrakte von *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea* und durch Vergleich der Absorptionsspektra im gleichen Lösungsmittel ergab sich die Identität des Membranfarbstoffes in *Gloeocapsa alpina* und *Gloeocapsa sanguinea*.

Unsere Untersuchungen zeigten weiterhin, daß es sich bei der roten und der blauen Erscheinungsform des Hüllenfarbstoffes in *Gloeocapsa sanguinea* bzw. *alpina* lediglich um verschiedene Aciditätsformen des gleichen Farbstoffkörpers handelt, und daß das Umschlagsintervall des Gloeocapsins zwischen pH 5,8 und pH 7,8 liegt, so daß sich für den Farbstoff eine Aciditätskonstante von Ks = 6,8 ergibt.

Genau die gleiche Methode gelangte auch bei der Untersuchung des gelben Hüllenpigmentes zur Anwendung, das ebenfalls in der Gattung *Gloeocapsa* auftritt und hier das charakteristische Merkmal der in der Untergattung « *Chrysocapsa* » zusammengefaßten Formen bildet.

Dieser von Nägeli als Scytonemin benannte weitere Hüllenfarbstoff wird außerhalb der *Gloeocapsa* auch in den Membranen anderer Cyanophyceen, z. B. in *Scytonema* angenommen, und es galt deshalb zu untersuchen, ob dieses Scytonemin, welches nach Nägeli auch in orangegefärbten Variationen von *Chrysocapsa* auftritt, tatsächlich verschieden sei vom (roten) Gloeocapsin, und demnach der Besitz des Scytonemins als trennendes Merkmal der gelben *Chrysocapsa*-Formen von den übrigen (roten und blauen) seine Gültigkeit beibehalten könne.

Wir wollten gleichzeitig feststellen, ob dieser in der Gattung *Gloeocapsa* für die Untergattung *Chrysocapsa* als charakteristisch angesehene Farbstoff tatsächlich auch außerhalb des Formenkreises der *Gloeocapsa* vorkomme. Wir wählten als Objekte für unsere diesbezüglichen Untersuchungen als Vertreterin der gelbhülligen *Gloeocapsa* die Art *Gloeocapsa pleurocapsoides* und als Beispiel einer Alge außerhalb dieses Formenkreises *Scytonema myochrous*.

Die Absorptionsmessungen der beiden Hüllenfarbstoffe von *Gloeocapsa pleurocapsoides* und *Scytonema myochrous* bewiesen uns auch in diesem Falle deren Identität. Die ebenfalls angestellten Messungen in Abhängigkeit von der Acidität der Lösung ergab ein Umschlagsintervall von pH 5,6—pH 7,7 und eine Aciditätskonstante von Ks = 6,7.

Die Färbung der Hüllen von *Scytonema myochrous* und von *Gloeocapsa pleurocapsoides* ist gelb bis gelbbraun. Der Umschlag der Färbung von gelb nach grün beobachten wir auf Zusatz von Salzsäure unter dem Mikroskop; dagegen finden wir in der Natur bei diesen Cyanophyceen keine Formen mit grüngefärbten Scheiden. Diese Erscheinung ist wohl

darauf zurückführbar, daß die für die Grünfärbung, d. h. den Farbumschlag nach grün erforderlichen Werte im sauren pH-Gebiet an den betreffenden natürlichen Standorten der Algen nicht erreicht werden. Dabei bleibt die Frage offen, ob das pH der Hülle durchwegs dem pH der Umgebung entspricht. Es ist wohl möglich, daß durch gewisse Salzkonzentrationen in der Hülle ein Pufferwert erreicht werden könnte, der in der Nähe des Neutralpunktes liegt und damit auf die Erhaltung der vorwaltenden gelben Färbung von entsprechendem Einfluß wäre.

Die von uns durchgeführten vergleichenden Untersuchungen über die Farbänderungen bei Änderung der Acidität der Lösung bezogen sich bei *Scytonema myochrous* wie bei der sogenannten *Gloeocapsa pleurocapsoides* auf den mit Chloroform extrahierten Farbstoff, der nach dem Eindampfen des Extraktionsmittels in Alkohol aufgenommen wurde. Hierbei sind die erwähnten Faktoren, wie sie am Standort oder in den Membranen der Algen durch Salzeffekte usw. in Betracht zu ziehen sind, selbstverständlich ausgeschaltet, so daß Vergleiche des Farbstoffes in seiner « physiologischen » und « biologischen » Umgebung mit dem extahierten Zustande « in vitro » unter entsprechender Berücksichtigung dieser Momente vorzunehmen sind.

Was die Methodik der Untersuchung selbst anbetrifft, waren wir uns von vornherein darüber klar, daß unsere Arbeit nur vergleichenden Charakter haben könne. Die durchgeführten Untersuchungen waren als Beitrag zur Klärung einer botanischen Frage in bezug auf die Systematik der Blaualgen, insbesondere der Gattung *Gloeocapsa,* gedacht, und aus dieser Zielstellung heraus ergab sich auch die Beschränkung der Methodik auf den speziellen Zweck.

Die Farblösungen, die zur Extraktion und zur Messung gelangten, basierten demzufolge nicht auf der Isolierung des *reinen* Farbstoffes, so daß die aufgenommenen Spektren und Messungen auch keine absoluten, sondern nur Vergleichswerte darstellen. Das Einhalten der genau entsprechenden Bedingungen führte aber trotzdem zu einer Vergleichsmethodik, die unsern Anforderungen vollständig genügte und die gestellte Aufgabe in einwandfreier Weise lösen ließ.

Auch die Genauigkeit der Meßmethodik erwies sich in der Übertragung auf vorliegende Untersuchungen als genügend, wie durch Kontrollmessungen festgelegt wurde.

Auf die Natur der in unsere vergleichenden Untersuchungen einbezogenen Membranfarbstoffe irgendwelche Schlüsse zu ziehen, haben wir bewußt vermieden, weil dies über das gesteckte Ziel unserer Arbeit hinausginge. Es liegen bis heute auch von keiner Seite irgendwelche positive Ergebnisse in dieser Richtung vor, und das ganze Problem der Chemie der Membranfarbstoffe ist noch weitgehend ungeklärt. Hier bietet sich deshalb ein dankbares Feld für weitere Untersuchungen.

Als praktisches Ergebnis und allgemeine Schlußfolgerung unserer speziellen vergleichenden Untersuchungen über Hüllenfärbung und Hüllenfarbstoffe in der Gattung *Gloeocapsa* — vom Gesichtspunkt der systematischen Botanik aus betrachtet — können wir festhalten, daß im Gegensatz zu der bisher in der Systematik der Blaualgen allgemein gültigen Anschauung die Membranfärbung bestimmter Formenkreise der Cyanophyceen nicht immer ein spezifisches Merkmal für ihre Differenzierung darstellt, sondern daß die verschiedene Hüllenfärbung vielmehr von Aciditätsfaktoren abhängig ist.

Es zeigt sich demnach in dieser Beziehung bei den niedersten Kryptogamen eine Parallele zu manchen Vertretern der Phanerogamen, deren Blütenfarben durch Anthocyane bedingt sind, wobei die blaue Farbe z. B. der Kornblume durch das Alkalisalz desselben Anthocyans bewirkt wird, das als rotes Oxoniumsalz die Farbe z. B. der Rose oder Geranie bildet.

Wenn aber dieser Erscheinung in bezug auf rein systematische Belange bei den höheren Pflanzen praktisch keine große Bedeutung zukommt, weil hier durchwegs genügend andere morphologische Unterscheidungsmerkmale vorliegen, ist dies bei den wenig differenzierten Cyanophyceen, wie z. B. bei der Gattung *Gloeocapsa,* wesentlich anders. Gerade hier hat das Unterscheidungsmerkmal der Hüllenfärbung bisher eine maßgebende Rolle gespielt.

Literaturnachweis.

Boresch, K.: Algenfarbstoffe. Handb. der Pflanzenanalyse, **3,** Wien, 1932.

Brand, F.: Der Formenkreis von *Gloeocapsa alpina.* Bot. Cbl. **83,** 1900.

Ercegovič, A.: Etudes écologiques et sociologiques des cyanophycées lithophytes de la côte yougoslave de l'adriatique. Bull. intern. Ac. Yougosl. Sci. Arts, Cl. math. nat. **26,** 1932.

Freund, H.: Leitfaden der kolorimetrischen Methoden, Wetzlar, 1928.

Formánek, J.: Spektralanalytischer Nachweis organ. Farbstoffe, Berlin, 1900.

— und Grandmongin: Untersuchungen und Nachweis organ. Farbstoffe auf spektroskopischem Wege, Berlin, 1908.

Frémy, P.: Les myxophycées de l'Afrique équatoriale française. Arch. Bot. **3,** 1930.

Fuhrmann, F.: Elektrometrische pH-Messung mit kleinen Lösungsmengen, Wien, 1941.

Kordatzki, W.: Taschenbuch der pH-Messung, München, 1938.

Geitler, L: Cyanophyceae, in Rabenhorsts Kryptogamenflora, Leipzig, 1930/1932.

— Kleine Mitteilungen über Blaualgen. Oester. Bot. Zeitschr., **70,** 1921.

— Schizophyzeen in « Handbuch der Pflanzen-Anatomie », Berlin, 1936.

Hollerbach: De statibus Gloeocapsae magmatis Kütz. notula Not. syst. Inst. Crypt. Horti Bot. Petrop. U. S. S. R. **3,** 1924.

Jaag, O.: Neuordnung innerhalb der Gattung *Gloeocapsa* (Verhandlungen der Schweizer. Naturforschenden Gesellschaft, Locarno, 1940, S. 157—158).

Jaag, O.: Die Algenvegetation verwitternder Gesteine. Manuskript. Erscheint demnächst in « Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz ». Verlag Büchler & Co., Bern.

— Untersuchungen über die Algenvegetation verwitternder Gesteine. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Solothurn, 1936, S. 56—59.

— und Gemsch, N.: Beiträge zur Kenntnis der Hüllenfarbstoffe in der Gattung *Gloeocapsa*. (Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Locarno, 1940, S. 158—159.)

Innes, Mac.: Ind. and Eng. Chem. Anal. **52,** Ed. 1, 57, 1929.

— Am. Soc. 52, 29, 1930; 53, 3315, 1931; 5, 199, 1933.

Kordatzki, W.: Taschenbuch der praktischen pH-Messung, München, 1938.

Krichner, O.: Schizophyceae in Engler-Prantl, Nat. Pflanzenfam., Leipzig, 1900.

Küster, E.: Anleitung zur Kultur der Mikroorganismen, Leipzig und Berlin, 1913.

Kylin, H.: Über die Farbe der Florideen und Cyanophyceen. Svensk. bot. tidskr., **6,** Stockholm, 1912.

— Über die roten und blauen Farbstoffe der Algen. Zeitschr. physiol. Chemie **69,** 169, 1910.

— Über die Farbstoffe und die Farbe der Cyanophyceen. Fysiogr. Sällsk. Förhandl., **7,** Lund, 1937.

Leitz: Leifo-Photometer, Druckschrift A, B und C, 1940.

Löwe, F.: Spektralanalyse, Geiger-Scheels Handbuch der Physik, Berlin, 1929.

— Optische Messungen des Chemikers und des Mediziners, Dresden, 1939.

Michaelis, L.: Die Wasserstoffionenkonzentration, Berlin, 1922.

Nägeli, C. und Schwendener, S.: Das Mikroskop, 2. Aufl., Leipzig, 1877.

— Gattungen einzelliger Algen, Zürich, 1849.

Nováček, F.: Epilithické sinice serpentinu mohelnských. Arch. d. Verbandes Nat. Heimatschutz, Mohelno (Brünn), 1934.

Ostwald: Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen, 1929.

Pascher-Geitler: Die Süßwasserflora Deutschlands und der Schweiz, H. 12, 1925.

Voegtlin, C., Kohler, H. und R. H. Fitsch: Abderhaldens Handbuch der biochem. Arbeitsmethoden, 1938.

Wettstein, F.: Zur Bedeutung und Technik der Reinkulturen für Systematik und Floristik der Algen. Oester. Bot. Zeitschr. LX 7, 1923.

Willstätter, R. und Stoll, A.: Untersuchungen über Chlorophyll, Berlin, 1913.