

Aus dem Botanischen Institut der Universität München
ÜBER MODIFIKATIONEN BEI CYANOPHYCEEN
II. ÜBER DIE WIRKUNG VON GIFTEN*

Von
O. DEMETER und O. RENNER

Mit 14 Textabbildungen
(Eingegangen am 5. Oktober 1959)

Auf der Suche nach Mutationen wurden bakterienfreie Kulturen verschiedener Blaualgen nicht nur mit ungiftigen Mineralsalzlösungen

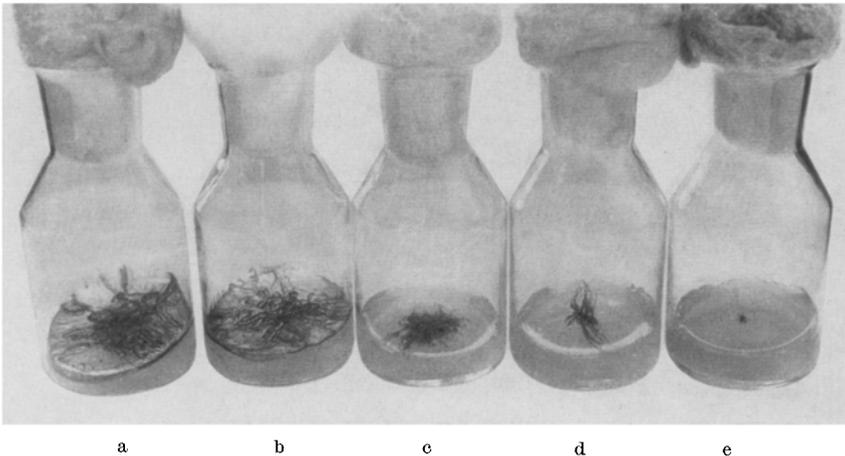


Abb. 1. *Anabaena apospora* auf Erythrosin. b 1:100000, c 1:50000, d 1:25000, e 1:12500.
a Auf Standardnährboden ohne Farbstoff. 15 Tage alt

behandelt, wie früher mitgeteilt (DEMETER 1956), sondern zur gleichen Zeit auch mit Stoffen, die schon in geringen Mengen giftig wirken und als mehr oder weniger mutagen bekannt sind: Eosin, Erythrosin, Gentianaviolett, Methylenblau, Neutralrot; Coffein, Colchicin; Formalin, β -Indolylessigsäure; Kupfersulfat. Bleibende Veränderungen oder Mutationen, wurden auch in diesen Versuchen nicht entdeckt. Über die beobachteten reversiblen Modifikationen wird im folgenden berichtet.

Der Standardnährboden enthielt wie früher 1% Agar in Benecke-Lösung mit Erdabkochung. Zur Kultur dienten 100 ml-Steilbrustflaschen unter Osram-Tageslichtröhren, die Temperatur war $27 \pm 2^\circ \text{C}$. Die zu prüfenden Lösungen wurden durch ein Bakterienfilter gesogen und nach Abkühlung des sterilisierten Nähr-

* Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

bodens auf 38° C mittels steriler Pipette zugegeben. Jeder Versuch wurde in 3 Kölbchen angesetzt. Während der Versuchsdauer — 20—30 Tage — stieg die Konzentration der zugesetzten Stoffe infolge Verdunstung aus der Nährgallerte

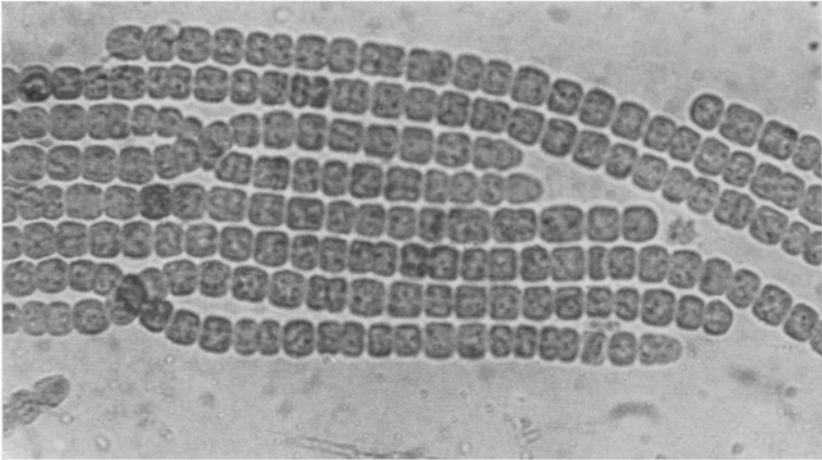


Abb. 2. *Anabaena apospora* auf Methylenblau 1:50000. 18 Tage alt

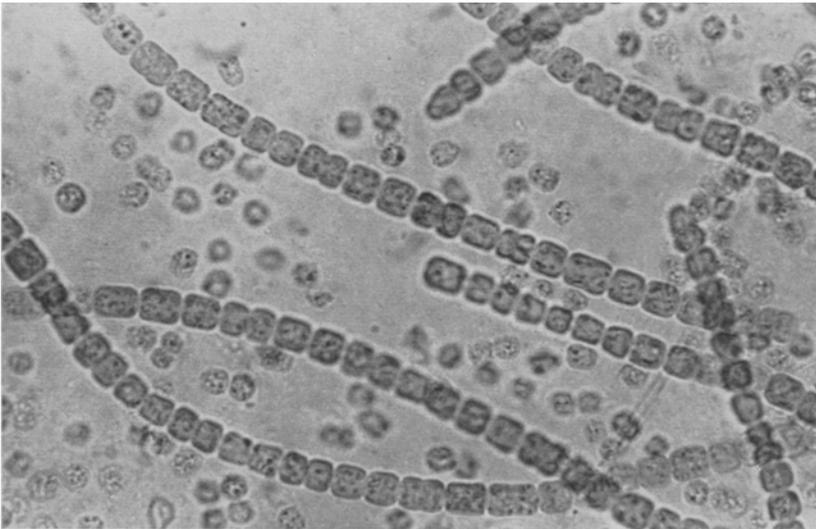


Abb. 3. *Anabaena apospora* auf Methylenblau 1:25000. 18 Tage alt

durch den Wattestopfen in unkontrollierter Weise, und die Farbstoffe zeigten schon durch Ausblassen (die Mehrzahl, am stärksten Eosin und Erythrosin) oder Änderung des Farbtons (Neutralrot) an, daß sie sich, wohl unter der Wirkung des Lichts, chemisch veränderten. Streng genommen gelten also die Angaben über die Zusammensetzung des Substrates nur für den Versuchsbeginn genau. Wenn

nach anfänglichem sehr schwachem Wachstum aus dem Impffleck die Fäden z. B. unter Anfärbung absterben, hängt das wahrscheinlich mit der Erhöhung der Konzentration des Giftes zusammen. — Farbstoffe von Merck (1 und 2) und Bayer.

I. Einzelbeschreibung der Formen und der Versuche

In den Protokollauszügen werden wie früher folgende Abkürzungen verwendet: Dm Durchmesser; DZ Dauerzellen; Het Heterocysten; Sta Standardnährlösung;

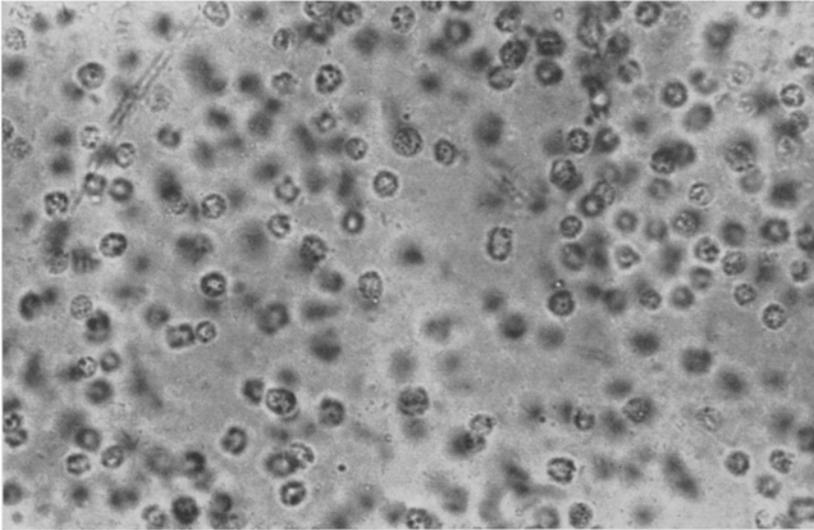


Abb. 4. *Anabaena apospora* auf Methylenblau 1:12 500. 18 Tage alt

Su produzierte Substanzmenge, geschätzt; Tr Trichome; Tr-Z Trichomzellen, gewöhnliche; Z Zellen.

1. *Anabaena „apospora“*

Auf Sta dunkel blaugrün, in ziemlich dicken gekrümmten Strängen wachsend, die später zu einem flachen, ziemlich dicken Lager zusammenfließen; Tr-Z tonnenförmig, 5,6—6,2—7,7 μ breit, meist etwa $\frac{2}{3}$ so lang wie breit; Het kugelig bis ellipsoidisch, ziemlich zahlreich; DZ fehlen.

Auf Erythrosin nach 15 Tagen (Abb. 1). 1:250 000: normal. — 1:100 000: fast normal. — 1:50 000: Lager dünner, Su 0,5; Het selten. — 1:25 000: Lager mit langen dünnen Strängen, Su 0,2; Het sehr selten. — 1:12 500: Lager dunkel olivgrün bis dunkelgrün, kleines, dickliches Klümpchen, von dem kurze Stränge auslaufen, bis zu einem Dm von 9 mm; Tr-Z etwas schmaler als normal, 5,3—5,8—6,7 μ breit.

Auf Gentianaviolett nach 17 Tagen. 1:250 000: Wachstum schon stark gehemmt, Su 0,5; Tr-Z 5,3—5,7—6,7 μ ; Het selten. — 1:100 000: Lager schwarzgrün. — 1:50 000: Stränge an den Enden fein zerteilt, Su 0,25. — 1:25 000: Lager schwarzgrün, in gekrümmte Stränge aufgelöst, Su 0,2; Tr-Z 4,9—5,3—5,7 μ breit. — 1:12 500: Lager kreisförmig, in Stränge zerteilt, Su 0,08; Tr-Z 3,5—5,5 μ breit, stark granuliert.

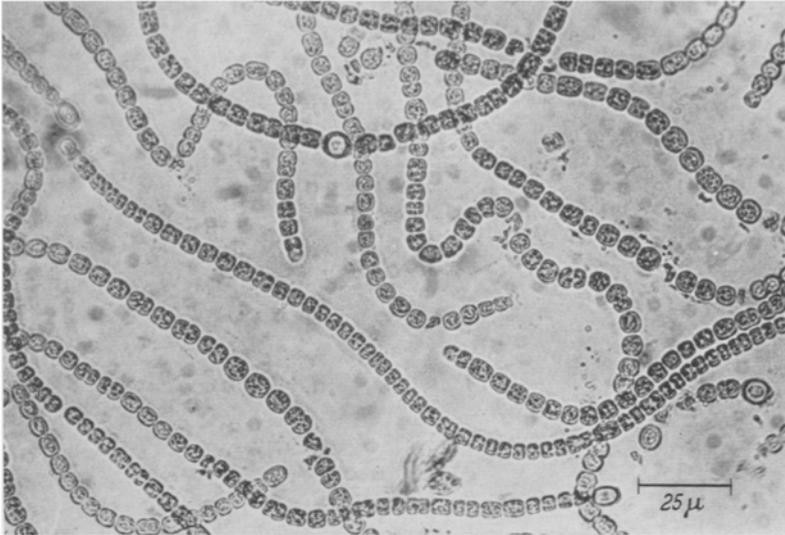


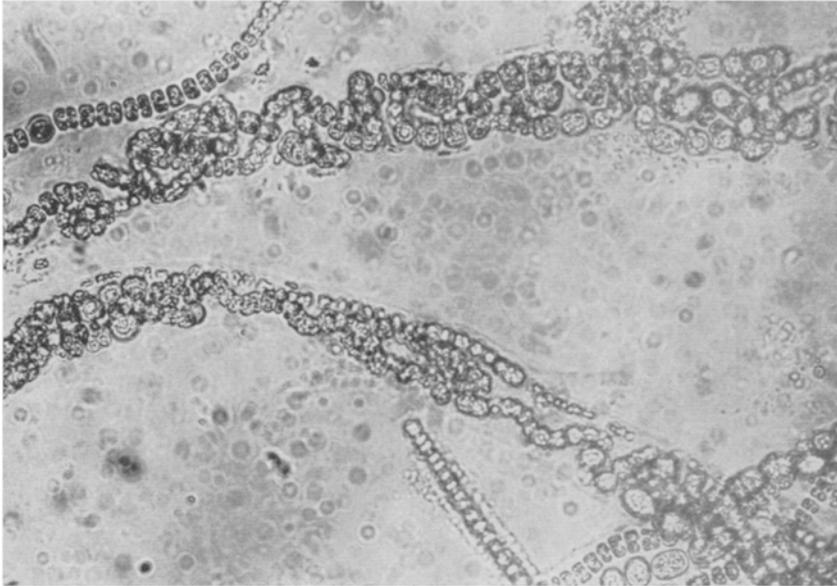
Abb. 5. *Anabaena variabilis* auf 1% NaCl, 40 Tage alt



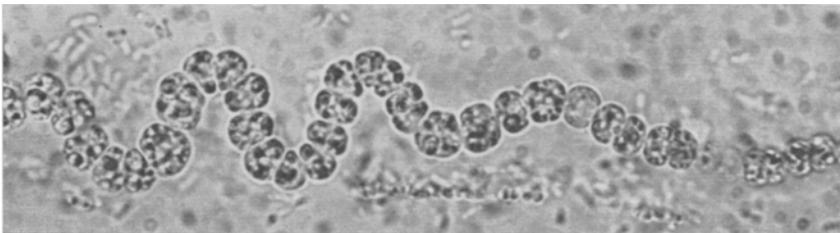
Abb. 6. *Anabaena variabilis* auf Sta, 32 Tage alt, mit sehr vielen Dauerzellen; statt 25 μ ist 35 μ zu lesen

Auf Methylenblau nach 18 Tagen. 1:250000: fast normal, Het noch ziemlich häufig. — 1:100000: Lager dünner, Su 0,5; Het fehlen. — 1:50000: Lager noch dünner, Su 0,3; Tr-Z eher zylindrisch als tonnenförmig (Abb. 2); Het fehlen. — 1:25000: noch dünner, Su 0,25; Tr-Z 5,8—6,1—6,6 μ breit,

zahlreiche Zellen isoliert, scheinen geschädigt (Abb. 3); Het fehlen. — 1:12500: Lager ein dünnes feinmaschiges Netz von oliv- bis gelbgrünen Strängen, am Rande fein fransig; Tr bei der Einlegung in Wasser ganz in stark granulierte, anscheinend geschädigte Einzelzellen zerfallend, diese sehr unregelmäßig in der Form,



a



b

Abb. 7 a u. b. *Anabaena variabilis* auf Eosin 1:25 000. a Mit dicken Gallertscheiden, b mit unregelmäßig gestalteten Zellen. 18 Tage alt

Dm 3,0—5,5 μ (Abb. 4). Auch aus solchen Zellen gehen auf Sta wieder normale Fäden hervor.

2. *Anabaena variabilis* KÜTZ.

Auf Sta Wachstum in dicken Strängen (Bild nach 10 Tagen bei DEMETER, S. 111, Abb. 2), später flaches, annähernd kreisförmiges, schwarzgrünes Lager (Abb. 8a); Tr-Z kurz tonnenförmig, 5,9—6,6—7,1 μ breit, 4,8—6,7 μ lang, Het kugelig oder seltener länglich (Abb. 5); DZ in Reihen, tonnenförmig, 7,5—8,6—9,6 μ breit, 11,0—12,0—14,5 μ lang; in 30—40 Tage alten Kulturen sind fast sämtliche Tr-Z

in DZ umgewandelt (Abb. 6); auf 1,0% NaCl fehlen nach 40 Tagen fertige DZ (Abb. 5).

Auf Eosin nach 18 Tagen. 1:250000 und 1:100000: wenig verändert. — 1:50000: Lager kreisförmig und strahlig, dunkel blaugrün bis bräunlichgrün, Su 0,7; Tr, Het und DZ normal. — 1:25000: Wachstum sehr gehemmt, Lager dick, mit strahlig auslaufenden Strängen, Su 0,08; Tr im Habitus teilweise sehr verändert, mit unregelmäßig geformten Z, oft in dicke Gallertscheiden eingebettet (Abb. 7); Het sehr selten, DZ normal. — 1:12500: fast kein Wachstum mehr, nur kleines Klümpchen, von dem kurze, dünne, hellgrüne Stränge ausstrahlen; Tr kurz, wirt durcheinander liegend; Z schmaler als normal (4,4—5,1—5,7 μ breit); Het sehr selten; DZ normal. — Aus 1:25000 und 1:12500 auf Sta geimpftes Material gibt wieder normale Fäden und Lager.

Auf Erythrosin nach 18 Tagen (Abb. 8). 1:250000: dickes Lager, dunkel blaugrün bis schwarzgrün, Su 0,65 (Abb. 8 b); Tr kurz; Het und DZ normal. — 1:100000:

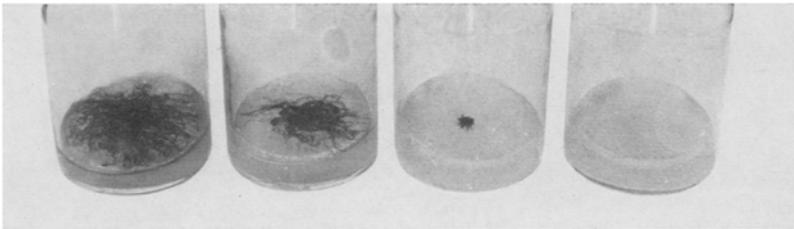


Abb. 8. *Anabaena variabilis* auf Erythrosin. b 1:250 000, c 1:100 000, d 1:50 000. a Auf Sta ohne Zusatz. 18 Tage alt

Wachstum sehr gehemmt, Lager im Dm 6 mm (Abb. 8 c); Het normal; DZ länglich tonnenförmig, bis 18 μ lang (Abb. 9). — 1:50000: kein Wachstum mehr (Abb. 8 d).

Auf Methylenblau nach 19 Tagen. 1:250000: Lager schwarz- bis dunkel blaugrün, am Rand mit dünnen stark gekrümmten Strängen, Su 0,5; Tr normal, DZ selten, länglich. — 1:100000: sehr gehemmt, 1 mm großes gallertiges Klümpchen, von dem einzelne dünne schwarzgrüne Stränge bis zu 4 mm Dm auslaufen; Tr kurz; viele längliche DZ, in Reihen oder einzeln. — 1:50000: ähnlich wie vorher. — 1:25000: kleines schwarzgrünes Klümpchen; alle Tr-Z in DZ umgewandelt. — 1:12500: Z blau angefärbt, abgestorben, auf Sta nicht mehr keimend.

Auf Neutralrot nach 35 (sic) Tagen. 1:250000: Su 0,9; Tr fast ganz aus DZ bestehend. — 1:100000: sehr gehemmt, sonst Tr, Het, DZ normal. — 1:50000: Lager schwarzgrün, 4—5 mm im Dm, Stränge kurz, Su 0,1; Tr teilweise kurz, DZ zahlreich, zum Teil degenerierend. — 1:25000: schwärzliches Klümpchen, Su 0,02; Tr-Z von sehr verschiedener Form, kuglig oder ellipsoidisch oder zylindrisch; Het normal; DZ wenige; die deformierten Z keimen auf Sta zu normalen Fäden aus. — 1:12500: alle Z angefärbt, tot.

Auf Formalin nach 22 Tagen. 1 mg/l: ziemlich normal. — 2,5 mg/l: Lager am Rand in dünne Stränge auslaufend, Su 0,5; Het normal; fast alle Tr-Z in DZ verwandelt. — 5,0 mg/l: noch mehr gehemmt, Su 0,1, mit dünnen Strängen; Tr lang, mit Het und Dz. — 7,5 mg/l: kein Wachstum mehr.

Auf CuSO₄ nach 25 Tagen. 1 mg/l: Lager in dünnen Strängen, Su 0,25; etwa die Hälfte der Tr-Z in DZ umgewandelt; Het normal. — 2,5 mg/l: kein Wachstum mehr.

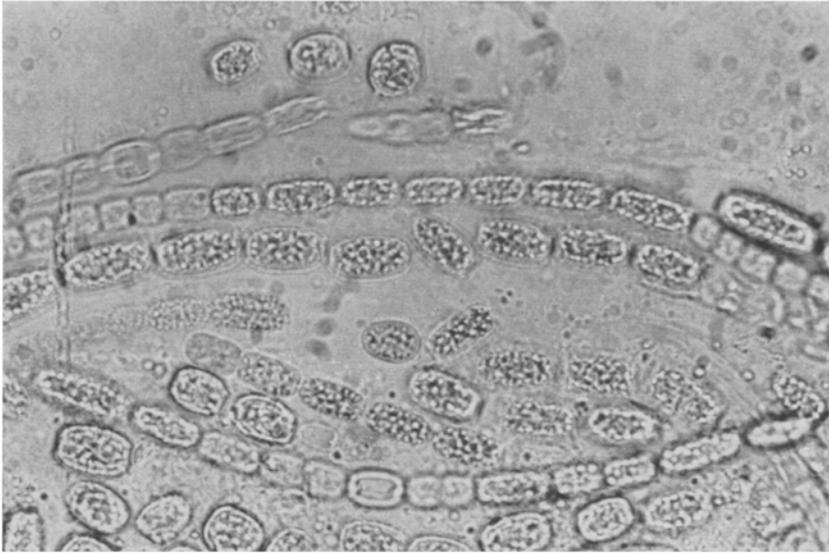


Abb. 9. *Anabaena variabilis* auf Erythrosin 1:100 000. Dauerzellen verlängert, vgl. Abb. 6, 18 Tage alt

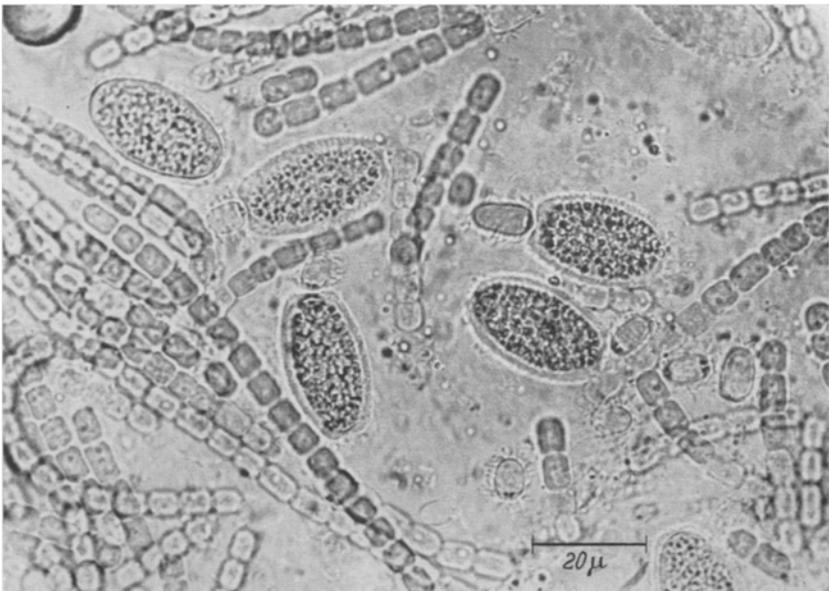


Abb. 10. *Cyindrospermum alatosporum* auf Sta, 25 Tage alt

3. *Anabaena oscillarioides* BORY

Auf Sta schwarzgrünes Lager mit ziemlich dicken, ineinanderfließenden Strängen. Bild mit Het und DZ bei DEMETER (S. 109, Abb. 1a).

Auf β -Indolylessigsäure nach 12 Tagen. 1 mg/l und 5 mg/l: normal. — 10 mg/l: und 20 mg/l: Lager von normaler Form und Farbe, leichte Wachstumsförderung, Su 1,3. — 50 mg/l: Lager etwas dünner, blaugrün, Su 0,9. — 100 mg/l: starke Wachstumshemmung, dünnes, blaugrünes, wenig ausgefranztes Lager, Su 0,2. — 20 mg/l: kein Wachstum mehr. — Tr, Het, DZ überall normal.

4. *Cylindrospermum alatosporum* FRITSCH

Auf Sta: Lager eine zähe, kreisförmig wachsende Haut mit gefranstem Rand, lebhaft blaugrün, später schwarzgrün; Tr lang, dicht verschlungen; Z zylindrisch,

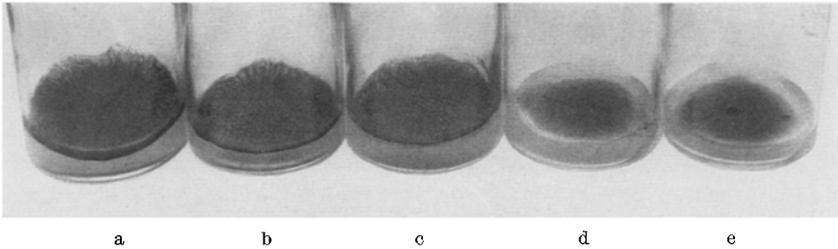


Abb. 11. *Cylindrospermum alatosporum* auf Erythrosin. b 1:250 000, c 1:100 000, d 1:50 000, e 1:25 000. a Auf Sta ohne Zusatz. 21 Tage alt

an den Enden etwas eingeschnürt, 4,6—4,75—5,8 μ breit, ebensolang wie breit bis doppelt so lang wie breit, Het einzeln am Ende der Tr, ellipsoidisch, 5,1—6,4 μ breit, 5,8—9,7 μ lang; DZ immer einzeln hinter einer Het, zylindrisch, mit dicker farbloser Innenschicht und farbloser, radial gestreifter, im optischen Schnitt als „Flügel“ erscheinender Außenschicht, 20,0—23,1—26,5 μ lang (Abb. 10).

Auf Eosin nach 27 Tagen. 1:250000: Lager etwas dünner, Su 0,9; Tr normal. — 1:100000: Su 0,85; Het in großer Zahl frei liegend; DZ spärlich, normal. — 1:50000: Lager schmutziggelblich, Su 0,8; Het massenhaft frei; DZ selten, ohne „Flügel“. — 1:25000: Lager innen dick, schwarzgrün, außen dünnere dunkelgrüne Haut, Su 0,8; Het in Massen frei, kuglig oder ellipsoidisch oder zylindrisch, anscheinend mehr oder weniger geschädigt; DZ selten, ohne Flügel. — 1:12500: Lager noch dünner als vorher, am Rand fein gefranst, Su 0,5; Het zahlreich; DZ häufiger als vorher (Zufall?), ohne Flügel, verlängert, bis 31 μ lang.

Auf Erythrosin nach 21 Tagen (Abb. 11). 1:250000: Lager etwas heller, sonst normal; DZ häufig, aber ohne „Flügel“. — 1:100000: ähnlich wie vorher. — 1:50000: Lager dünner, Su 0,8; Tr lang, normal; Het normal, selten frei liegend; DZ mäßig häufig, ohne Flügel. — 1:25000: Su 0,75; DZ meist länglich, nicht so lang werdend wie vorher. — 1:12500: kein Wachstum mehr (ob zufällig? Der rasche Abfall ist auffallend).

Auf Gentianaviolett nach 21 Tagen. 1:250000: Lager und Tr normal, DZ mäßig häufig, länglich, bis 31,8 μ lang, einzelne mit schwachem Flügel. — 1:100000: Lager in der Mitte dick, am Rande nur noch dünner Schleier, Su 0,8; Tr wie vorher. 1:50000: Lager ein dünnes Häutchen, in feinste Fäden auslaufend; Het normal, an jedem Tr-Ende; DZ fehlen. — 1:25000: Lager ein schwarzgrünes Klümpchen von 1,5 mm Dm; Tr-Z von wechselnder Breite, bis 7,3 μ breit (Abb. 12); Het zahlreich, DZ fehlen. — 1:12500: kein Wachstum mehr.

Auf Methylenblau nach 21 Tagen. 1:250000: Lager innen dick, schwarzgrün, außen dünner, dunkelgrün, am Rand zart und gefranst, Su 0,6; Tr normal; DZ teilweise mit schwachem Flügel. — 1:100000: Lager ein kreisförmiger, hellgrüner, hauchdünner Schleier, Su 0,1; Tr lang, also seltener fragmentiert als gewöhnlich,



Abb. 12. *Cylindrospermum alatosporum* auf Gentianaviolett 1:25 000, Zellen unregelmäßig verbreitert. 21 Tage alt

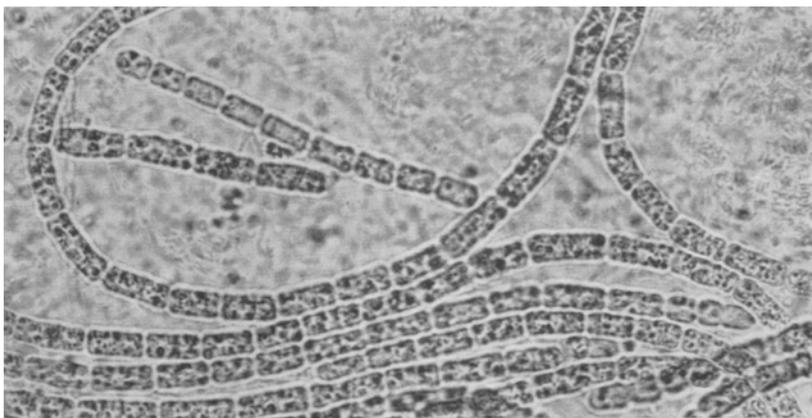


Abb. 13. *Cylindrospermum alatosporum* auf Methylenblau 1:100 000, Zellen verlängert. 21 Tage alt

mit verlängerten, etwas verschmälerten (durchschn. $4,6 \mu$ breiten) Zellen (Abb. 13); Het im Verband selten, auch frei liegend; auf Sta geimpft wieder normal wachsend. 1:50000: nur feine Ausläufer aus dem Impfklümpchen, Z wie vorher, zur Zeit der Untersuchung blau angefärbt, in Wasser meist isoliert, tot. — 1:12500: kein Wachstum.

Auf Neutralrot nach 22 Tagen. 1:250000: normal. — 1:100000: Lager dünner, Su 0,9; DZ weniger häufig. — 1:50000: sehr dünnes kreisförmiges hellgrünes Lager, Su 0,4; Tr ziemlich lang, mit vereinzelt endständigen Het, ohne DZ. — 1:25000: kein Wachstum.

Auf Coffein nach 30 Tagen. 0,005%: Su 0,9, sonst normal. — 0,01%: dickes dunkelgrünes Lager mit schwach ausgefranstem Rand, Su 0,5; Tr normal. — 0,025%: ähnlich wie vorher, Su 0,2; Tr und DZ normal, Het sehr zahlreich. — 0,05%: dickes, schwarzgrünes, klumpiges Lager, Su 0,09; Tr ziemlich kurz; Het massenhaft, ohne Inhalt; DZ seltener.

Auf Colchicin nach 20 Tagen. 0,005%: Lager häutig, schwarz- bis dunkelgrün, Su 0,85; Tr normal. — 0,01%: Su 0,7, sonst wie vorher. — 0,025%: Lager ziemlich dünn, in der Mitte blaugrün, nach außen hellgrün, der fransige Rand gelbgrün, Su 0,4; Tr in der Mitte normal, mit Het und DZ, am Rand viele Het, sehr wenige DZ. — 0,05%: Lager dünn, gelbbraun, ohne Franssen, Su 0,2; Tr gelb; Het massenhaft, meist isoliert und leer erscheinend; auf Sta wieder normale Trichome.

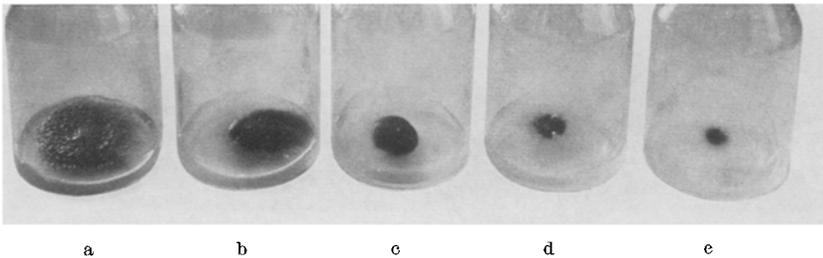


Abb. 14. *Cylindrospermum licheniforme* auf Colchicin. b 0,005%, c 0,01%, d 0,025%, e 0,05%. a Auf Sta ohne Zusatz. 30 Tage alt

Auf Formalin nach 22 Tagen. 1 mg/l: Su 0,95, sonst normal. — 2,5 mg/l: Su 0,85, sonst normal. — 5 mg/l: Su 0,5, sonst normal. — 10 mg/l: kein Wachstum mehr. — Reine Wachstumshemmung.

Auf CuSO_4 nach 17 Tagen. 1 mg/l: Lager dicht, Su 0,6; Tr normal, doch DZ selten. — 2,5 mg/l: Lager häutig, blaugrün, Su 0,08; Tr lang, Het und DZ selten. — 5 mg/l: kein Wachstum.

5. *Cylindrospermum licheniforme* KÜTZ.

Auf Sta Lager eine blaugrüne, dann schwarzgrüne, zuletzt schwarzbraune Haut mit fast glattem Rand; Tr-Z 5,7—6,5—7,0 μ lang; Het endständig, einzeln; DZ hinter den Het einzeln, mit rötlichbrauner Außenschicht, 27,0—35,1 μ lang. — Vgl. DEMETER S. 113, 114 (Abb. 3).

Auf Neutralrot nach 35 Tagen. 1:250000: Lager in der Mitte schwarzbraun, am Rand zerrissen, dunkelgrün, Su 0,5. — 1:100000: Lager in der Mitte schwarzgrün, am Rand stark ausgefranzt, hier gelblichgrün bis gelbbraun, Su 0,3; Het und DZ spärlich, sonst normal. — 1:50000: Su 0,25, sonst wie vorher. — 1:25000: Lager ein kleines schwarzbraunes Klümpchen, Het und DZ sehr spärlich; auf Sta geimpft wieder normal wachsend. — 1:12500: noch schwächer, Dm des Lagers 1,5 mm, zur Zeit der Untersuchung alle Z leicht angefärbt; auf Sta kein Wachstum, also tot.

Auf Colchicin nach 30 Tagen (Abb. 14). 0,005%: Lager dick, schwarzbraun, am Rand etwas ausgefranzt, Su 0,75; Tr normal. — 0,01%: Lager dick, Su 0,45; Tr normal, DZ sehr groß, bis 40 μ lang. — 0,025%: Lager in der Mitte dick, am Rand in feine hellgrüne Franssen aufgelöst, Su 0,2. — 0,05%: Lager wie vorher, Su 0,09; Tr-Z bis 9 μ lang; Het und DZ äußerst selten; auf Sta geimpft wieder normales Wachstum.

Auf Formalin nach 40 Tagen. 1 mg/l: dicke schwarzbraune Haut, Su 0,9. — 2,5 mg/l: dickes schwärzliches Lager mit gelapptem Rand, Su 0,4. — 5,0 mg/l: Lager dick, schwärzlich mit dunkelgrünem Saum, Su 0,09. — 10 mg/l: kein Wachstum mehr. — Tr, Het, DZ normal.

Auf β -Indolylessigsäure nach 15 Tagen. 1 mg/l, 5 mg/l und 10 mg/l: unverändert. — 20 mg/l: Lager dick, schwarzgrün, Su 0,4. — 50 mg/l: Lager dick, bräunlich, Su 0,15. — 100 mg/l: ähnlich wie vorher. — 200 mg/l: Lager dick, hellgrün; Dm 4 mm. — 300 mg/l: kein Wachstum. — Tr, Het, DZ normal, nur von 20 mg/l an die Tr-Z stärker granuliert.

6. *Oscillatoria limosa* Ag.

Wachstum der Gattung auf Sta in dünnen Strängen, die Schleifen oder Wirbel bilden (vgl. DEMETER, S. 116, Abb. 6, 19 Tage alt). Lager schwarzgrün, zuletzt gelblichbraun. (Het und DZ fehlen der Gattung.)

Auf Colchicin nach 22 Tagen. 0,005%: Lager gelblichbraun, sonst normal. — 0,001%: Su 0,9, sonst wie vorher. — 0,025%: Stränge dünner, noch spiralig wachsend, Su 0,75. — 0,05%: nicht spiralig, sondern diffus wachsend, schwarzgrün, stellenweise bräunlich, Su 0,4. — Die Tr scheinen durch das Alkaloid ähnlich geschädigt wie durch höhere Konzentrationen von NaCl usw.

Auf β -Indolylessigsäure nach 25 Tagen. 1 mg/l: Su 0,8, sonst Lager normal, schwarzgrün. — 10 mg/l: Lager dünn, braungrün, Su 0,4; Tr nicht verändert, nur die Z stärker granuliert. — 20 mg/l: kein Wachstum.

Auf CuSO_4 nach 16 (sic) Tagen. 1 mg/l: Lager dünn, olivgrün, strahlenförmig, Su 0,2; Tr unbeweglich, Z stark granuliert. — 2,5 mg/l: kein Wachstum.

II. Besprechung

Daß die dargebotenen Gifte in die Zellen aufgenommen werden, steht außer Zweifel, nach der Wirkung, die von ihnen ausgeht. Echte Zell-saftvacuolen sind nicht vorhanden (vgl. z. B. DRAWERT 1949, S. 205), die Farbstoffe z. B. werden also in das Quellungswasser des Protoplasma (gegebenenfalls auch der Granula) eingelagert, aber in so geringen Mengen, daß eine deutliche Veränderung des satten, meist blaugrünen Farbtons des Chromoplasma durch das Fremdpigment nicht zu beobachten war, bei den basischen wie bei den sauren Farbstoffen, weder am ganzen Lager noch an einzelnen in Wasser gebrachten Trichomen. Auf höheren Farbstoffkonzentrationen mit dem Fremdtön angefärbte Fäden erwiesen sich immer als entwicklungsunfähig, waren also tot.

In Neutralrot 1:10000, also bei höherer Konzentration als wir sie verwendeten, und in kurzdauernden Versuchen, treten z. B. nach DRAWERT u. METZNER (1956, S. 294) bei *Cylindrospermum*, doch nicht bei *Anabaena* rot gefärbte Vacuolen und Entmischungskörper auf. Eine Verstärkung der Granulation wurde in unseren Protokollen bei höheren Konzentrationen der angebotenen Stoffe oft registriert, aber auf eine Mitteilung wurde im vorstehenden meist verzichtet, weil die granulären Einschlüsse (vgl. z. B. DREWS u. NIKLOWITZ 1957, TISCHER 1957) nicht genauer untersucht wurden.

Die Eigenfarbe der Lager verschob sich bei geschwächtem Wachstum von Blaugrün manchmal zu einem helleren Grün, bei *Anabaena variabilis* auf Methylenblau bis zu Gelbgrün, bei *Cylindrospermum alatosporum* auf Colchicin zu Gelbbraun (einzelne Trichome erschienen gelb). Die Phycocyanbildung wird also besonders leicht gestört, wie auch bei Stickstoffmangel beobachtet (vgl. z. B. DEMETER, S. 128).

Allgemeine Wirkung der giftigen Stoffe ist eine unspezifische Wachstumsminderung. Zuerst nimmt die Dicke der Lager ab, bei stärkerer Hemmung wird der Rand in Fransen aufgelöst. Auch der Durchmesser der annähernd kreisförmigen Lager verringert sich mit steigender Kon-

Tabelle

Die unbenannten Zahlen unter den Artnamen bedeuten die Substanzproduktion Su, wobei 1 der normalen entspricht. Wo Su nicht geschätzt wurde, ist der Durchmesser des Lagers in mm angegeben, der normale Dm beträgt 4—5 cm.

	<i>Anabaena apospora</i>	<i>Anabaena variabilis</i>	<i>Cylindro- spermum alato- spermum</i>	<i>Cylindro- spermum licheni- forme</i>	<i>Oscil- latoria limosa</i>
	Su	Su	Su	Su	Su
Eosin 1:250000		1	0,9		
100000		~1	0,85		
50000		0,7	—		
25000		0,08	0,8		
12500		> 0	0,5		
Erythrosin 1:250000	1	0,65	1		
100000	< 1	6 mm	1		
50000	0,5	0	0,8		
25000	0,2	—	0,75		
12500	9 mm	—	0		
Gentianaviolett . . . 1:250000	0,5	4 mm	1		
100000	< 0,5	< 4 mm	0,8		
50000	0,25	1 mm	dünn		
25000	0,20	0	1,5 mm		
12500	0,08	—	0		
Methylenblau 1:250000	~1	0,5	0,6		
100000	0,5	1	0,1		
50000	0,3	< 1	sehr schwach		
25000	0,25	< 1	0		
12500	15 mm	—	—		
Neutralrot 1:250000		0,9	1	0,5	
10000		schwach	0,9	0,3	
50000		0,1	0,4	0,25	
25000		0,02	—	schwach	
12500		> 0	—	1,5 mm	
Coffein 0,005% = 1:20000			0,9		
0,01 % 10000			0,5		
0,025 % 4000			0,2		
0,05 % 2000			0,09		

Tabelle (Fortsetzung)

	<i>Anabaena apospora</i>	<i>Anabaena variabilis</i>	<i>Cylindro- spermum alato- sporum</i>	<i>Cylindro- spermum licheni- forme</i>	<i>Oscil- latoria limosa</i>
	Su	Su	Su	Su	Su
Colchicin 0,005% = 1:20000			0,85	0,75	1
0,01 % 10000			0,7	0,45	0,9
0,025 % 4000			0,4	0,2	0,75
0,05 % 2000			0,2	0,09	0,4
Formalin 1 mg/l=1:1000000		1	0,95	0,9	
2,5 „ 400000		0,5	0,85	0,4	
5,0 „ 200000		0,1	0,5	0,09	
7,5 „ 13000		0	—	—	
10 „ 10000		—	0	0	
Indolyl- essigsäure 1 mg/l=1:1000000	<i>Anabaena oscil- larioides</i>				
5 „ 200000	1			1	0,8
10 „ 100000	1			—	—
20 „ 50000	1,3			1	0,4
50 „ 20000	1,3			0,4	0
100 „ 10000	0,9			0,15	
200 „ 5000	0,2			0,15	
300 „ 3300	0			4 mm	
	—			0	
CuSO ₄ 1 mg/l=1:1000000		0,25	0,6		0,2
2,5 „ 400000		0	0,08		0
5 „ 200000		—	0		

zentration des schädigenden Stoffes immer mehr; während auf reinem Nährboden fast die ganze Fläche im Kölbchen, mit 5 cm Durchmesser, in der Beobachtungszeit bewachsen wird, vergrößert sich der Impffleck unter Umständen nur zu einem Scheibchen von wenigen mm Durchmesser. Gewöhnlich wurde versucht, die Substanzproduktion (Su) im Vergleich mit der normalen = 1 aus Durchmesser und Dicke des Lagers zu schätzen. Eine Übersicht der gefundenen Werte, teils als Su, teils als Durchmesser des Lagers angegeben, zeigt die Tabelle.

Nach Gewichtsmengen verglichen sind die Alkaloide Coffein und Colchicin weniger giftig als die Farbstoffe. Am wenigsten schädigt β -Indolylessigsäure, die bei *Anabaena oscillarioides* in den Verdünnungen 1:100000 und 1:50000 sogar leichte Förderung hervorrief. Am giftigsten ist Kupfersulfat, dann folgt Formaldehyd; die auf „Formalin“ bezogenen Verdünnungszahlen sind sogar noch ungefähr zu verdoppeln, weil das käufliche Formalin 40% Formaldehyd enthält.

In kurz dauernden Versuchen fand HERBST (1952) Colchicin bei Blaualgen in Konzentrationen von 0,1—0,4% wirkungslos, dagegen Trypaflavin schon in der Verdünnung 1:1 Mill. hochgiftig. Bakterien sind nach MEIER (1955) gegen Colchicin recht wenig empfindlich; bei einer Kulturdauer von 24 und mehr Stunden wirkte deutlich hemmend erst eine Konzentration von 10 mg/cm³, also von 1%.

Für *Anabaena variabilis* ordnen sich die geprüften Farbstoffe nach der Giftigkeit in dieser Reihenfolge: Gentianaviolett > Methylenblau > Erythrosin > Neutralrot > Eosin. Für *Anabaena „apospora“* ist die Reihe: Gentianaviolett > Methylenblau > Erythrosin. Für *Cylindrospermum alatosporum*: Methylenblau > Erythrosin \simeq Eosin > Gentianaviolett \simeq Neutralrot. Dabei ist Erythrosin für *Anabaena apospora* und vollends für *A. variabilis* viel giftiger als für *Cylindrospermum alatosporum* (vgl. Abb. I, 8, 11). Colchicin ist für *Cylindrospermum* etwas giftiger als für *Oscillatoria limosa*, und β -Indolylessigsäure ist in der Konzentration 1:100 000 für *Oscillatoria* schon stark hemmend, bei *Anabaena oscillarioides* schien sie im Gegenteil zu fördern; Wiederholung der Versuche wäre erwünscht.

Die Zahl der Heterocysten kann sich vermindern, so bei *Anabaena variabilis* auf Eosin, bei *Anabaena apospora* auf Erythrosin, bei *Cylindrospermum licheniforme* auf Neutralrot. Die Heterocysten können ganz unterdrückt werden, so bei *Anabaena apospora* auf Methylenblau. Sie können bei *Cylindrospermum* vermehrt werden und dann, anscheinend geschädigt, im Präparat in Menge frei herumliegen, auf Eosin, Coffein, Colchicin. Wie die vermehrten Het zunächst angeordnet sind, ist nicht klar geworden; über die Bildung der Het im Trichom vgl. z. B. GETTLER (1932, S. 38), der berichtet, daß „abnormerweise Ketten von 10 und mehr Het“ vorkommen. Bei Kultur in kleinen feuchten Kammern auf Deckglas, mit wenig Agar, wurde versucht, das Wachstum einzelner Fäden, zunächst auf optimalem Nährboden, zu beobachten, aber die Trichome lebten nie lange genug; besser wäre wohl, die beimpften Deckgläser in größeren feuchten Kammern zu halten und nur zur Untersuchung herauszunehmen.

Von den Dauerzellen wurde früher beobachtet, daß sie bei schwachem Wachstum der Lager auf starken Salzlösungen gewöhnlich nicht mehr ausgebildet werden. Bei *Anabaena variabilis*, die in älteren Kulturen auf Normalnährböden sämtliche Trichomzellen in Dauerzellen umwandelt, wird dieser Prozeß auch durch die Farbstoffe, Formalin, Kupfersulfat wenig gestört. Bei *Cylindrospermum alatosporum* war die Zahl der Dauerzellen vermindert auf Eosin, Coffein und Colchicin; ihre Bildung unterblieb auf Gentianaviolett und Neutralrot. — Die artspezifische Differenzierung der dicken Membranen der Dauerzellen von *Cyl. alatosporum* in Innenschicht und „Flügel“ wurde schon bei geringer Wachstums-minderung unterdrückt.

Die Gestalt und die Größe der Dauerzellen wurde durch mäßige Farbstoffkonzentrationen mitunter etwas verändert. Sie waren bei *Anabaena variabilis* auf Erythrosin beträchtlich verlängert, weniger bei *Cyl. alatosporum* auf Eosin und Gentianaviolett.

Die Trichomzellen werden bei gemindertem Wachstum nicht selten etwas verschmälert. Auffallend verlängert wurden sie bei *Cylindro-*

spermum alatosporum auf Methylenblau. Unregelmäßig war ihre Gestalt, im Zusammenhang mit welliger Krümmung der Fäden, bei *Anabaena variabilis* auf Eosin; zugleich wurden hier die Trichome teilweise in dicke Gallertscheiden eingeschlossen (ähnlich wie bei *Oscillatoria limosa* auf Na₂SO₄, vgl. DEMETER, S. 117). In Einzelzellen zerfielen die Trichome von *Anabaena apospora*, jedenfalls bei der Überführung in Wasser, auf Methylenblau 1:12500.

Auch in hohem Maß geschädigt erscheinende blasse Trichome, wie die eben erwähnten zerfallenden, liefern auf gesunden Nährboden zurückgebracht wieder normale Lager, wie früher an Material beobachtet, das durch Mineralsalze stark modifiziert war.

Zusammenfassung

Die Wirkung der geprüften Substanzen: 5 Farbstoffe, 2 Alkaloide, Formaldehyd, β -Indolyllessigsäure, Kupfersulfat, beschränkt sich fast ganz auf unspezifische Wachstumshemmung, die mit steigender Konzentration der Gifte zunimmt. Mitunter wird die Bildung der Heterocysten oder der Dauerzellen beeinträchtigt oder ganz unterdrückt, andererseits kann die Zahl der Het (bei *Cylindrospermum*) auffallend vergrößert werden; die Gestalt der Dauerzellen kann etwas abgeändert werden. Morphogene Wirkungen an den Trichomen sind noch weniger ausgesprochen als sie auf starken Lösungen ungiftiger Mineralsalze beobachtet wurden. Die auffälligsten Reaktionen waren Verschmälerung und Verlängerung der Zellen bei *Cylindrospermum*, Bildung von Gallertscheiden bei *Anabaena variabilis*, Zerfall der Trichome in Einzelzellen bei *Anabaena „apospora“*. Auch aus den am stärksten modifizierten und scheinbar geschädigten Trichomen gehen auf giftfreiem Nährboden wieder normale Lager hervor.

Literatur

DEMETER, O.: Über Modifikationen bei Cyanophyceen. Arch. Mikrobiol. **24**, 105—133 (1956). — DRAWERT, H.: Zellmorphologische und zellphysiologische Studien an Cyanophyceen. I. Mitt. Planta (Berl.) **37**, 161—209 (1949). — DRAWERT, H., u. INGEBORG METZNER: Fluoreszenz- und elektronenmikroskopische Beobachtungen an *Cylindrospermum* und einigen anderen Cyanophyceen. Ber. dtsh. bot. Ges. **69**, 291—300 (1956). — DREWS, G., u. W. NIKLOWITZ: Beiträge zur Cytologie der Blaualgen. III. Untersuchungen über die granulären Einschlüsse der Hormogonales. Arch. Mikrobiol. **25**, 333—351 (1956/57). — GETTLER, L.: Cyanophyceae (Blaualgen). RABENHORST'S Kryptogamenflora, Bd. 14, Leipzig 1932. — HERBST, F.: Strahlenbiologische und cytologische Untersuchungen an Blaualgen. Diss. Köln (Manusk.) 1952. — MEIER, K. E.: Einfluß von Colchicin auf Bakterien. Naturwiss. **42**, 183 (1955). — TISCHER, ILSE: Untersuchungen über die granulären Einschlüsse und das Reduktionsvermögen der Cyanophyceen. Arch. Mikrobiol. **27**, 400—428 (1957).

Prof. Dr. O. RENNERT,

Botanisches Institut der Universität, München 19, Menzingerstraße 67