

SOCIETAS PRO FAUNA ET FLORA FENNICA

ACTA
BOTANICA FENNICA

90

**Esa Kukkonen und Risto Tynni: Die Entwicklung
des Sees Pyhäjärvi in Südfinnland im Lichte von
Sediment- und Diatomeenuntersuchungen**

SOCIETAS
PRO
FAUNA ET FLORA FENNICA

HELSINKI—HELSINGFORS
1970

ACTA BOTANICA FENNICA

1—19 vide Acta Botanica Fennica 20—50.

20—49 vide Acta Botanica Fennica 50—82.

50. Hans Luther: Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. II. Spezieller Teil. 370 S. (1951).
51. M. R. Droop: On the ecology of Flagellates from some brackish and fresh water rockpools of Finland. 52 pp. (1953).
52. Hans Luther: Über *Vaucheria arrhyncha* Heider und die Heterokonten-Ordnung Vaucheriales Bohlin. 24 S. (1953).
53. Ernst Häyrén: Wasser- und Uferpflanzen aus dem Päijänne-Gebiet. 42 S. (1954).
54. Lars Fagerström: Växtgeografiska studier i Strömfors-Pyttis skärgård i östra Nyland med speciellt beaktande av lövängarna, artantalet samt en del arters fördelning och invandring. 296 s. (1954).
55. Hans Luther: Über Krustenbewuchs an Steinen fließender Gewässer, speziell in Südfinnland. 61 S. (1954).
56. Ilmari Hustich: Notes on the growth of Scotch Pine in Utsjoki in northernmost Finland. 13 pp. (1956).
57. Henrik Skult: Skogsbotaniska studier i Skärgårdshavet med speciell hänsyn till förhållandena i Korpo utskär. 244 s. (1956).
58. Rolf Grönblad, Gerald A. Prowse and Arthur M. Scott: Sudanese Desmids. 82 pp. (1958).
59. Max von Schantz: Über das ätherische Öl beim Kalmus, *Acorus calamus* L. Pharmakognostische Untersuchung. 138 S. (1958).
60. Harald Lindberg: Växter, kända från Norden, i Linnés herbarium. *Plantae e septentrione cognitae in herbario Linnaei*. 133 pp. (1958).
61. Alvar Palmgren: Studier över havsstrandens vegetation och flora på Åland. I. Vegetationen. 268 s. (1961).
62. Hans Luther: Veränderungen in der Gefässpflanzenflora der Meeresfelsen von Tvärminne. 100 S. (1961).
63. Rolf Grönblad: Sudanese Desmids II. 19 pp. (1962).
64. Veikko Lappalainen: The shore-line displacement on southern Lake Saimaa. 125 pp. (1962).
65. J. J. Donner: The zoning of the Post-Glacial pollen diagrams in Finland and the main changes in the forest composition. 40 pp. (1963).
66. Rolf Grönblad, Arthur M. Scott and Hannah Croasdale: Desmids from Uganda and Lake Victoria, collected by Dr. Edna M. Lind. 57 pp. (1964).
67. Carl Eric Sonck: Die Gefässpflanzenflora von Pielisjärvi und Lieksa, Nordkarelien. 311 S. (1964).
68. F. W. Klingstedt: Über Farbenreaktionen von Flechten der Gattung *Usnea*. 23 S. (1965).
69. Arthur M. Scott, Rolf Grönblad and Hannah Croasdale: Desmids from the Amazon Basin, Brazil, collected by Dr. H. Sioli. 94 pp. (1965).
70. Teuvo Ahti: *Parmelia olivacea* and the allied non-isidiate and non-sorediate corticolous lichens in the Northern Hemisphere. 68 pp. (1966).
71. Simo Juvonen: Über die die Terpenbiosynthese beeinflussenden Faktoren in *Pinus silvestris* L. 92 S. (1966)
72. Leena Hämet-Ahti: Some races of *Juncus articulatus* L. in Finland. 22 pp. (1966).
73. Max von Schantz und Simo Juvonen: Chemotaxonomische Untersuchungen in der Gattung *Picea*. 51 S. (1966).
74. Ilkka Kytövuori and Juha Suominen: The flora of Ikkalanniemi (commune of Virrat, Central Finland), studied independently by two persons. 59 pp. (1967).
75. Leena Hämet-Ahti: *Tripleurospermum* (Compositae) in the northern parts of Scandinavia, Finland and Russia. 19 pp. (1967).

ACTA BOTANICA FENNICA 90
EDIDIT
SOCIETAS PRO FAUNA ET FLORA FENNICA

DIE ENTWICKLUNG DES SEES PYHÄJÄRVI IN
SÜDFINNLAND IM LICHT E VON SEDIMENT- UND
DIATOMEENUNTERSUCHUNGEN

ESA KUKKONEN UND RISTO TYNNI

THE GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

HELSINKI—HELSINGFORS
1970

Acta Bot. Fennica 90. 30 S. Oct. 1970



HELSINKI—HELSINFORS
GEDRUCKT BEI TILGMANN
1970

Abstract

The sediment depositing presently to the deep basin of Lake Pyhäjärvi, in South-Finland, is varved gyttja clay where the summer parts are sulphide-bearing. These sulphide-bearing portions corresponding summer time, are particularly rich in diatom shells while the winter portions are markedly poorer in them. On the basis of the annual varving it has been estimated that about 2.4 kg material is annually deposited on m². The study deals with the lake history during the past 3700 years.

The series of sediments, 290 cm in length, taken from the Pyhäjärvi lake basin, was found to represent three different lake phases, as revealed by the pollen and chemical analyses. The topmost portion, corresponding next to the present conditions (0–70 cm) represents the most eutrophic and the medium part (70–240 cm) distinctly the poorest phase however rich in allochthonous humus. The lowermost part (240–290 cm) was deposited, according to the diatom flora, during a fairly cool slightly eutrophic lake phase.

Upwards from the 130 cm niveau the diatoms indicating eutrofism begin to turn more frequent in accordance with the coherent *Secale cereale* -curve, which means spreading of agriculture (according to the varve counts about 750 A.D.).

The following determinations were made of the sedimentary series of the lake basin: Ca, K, P, N, C and Fe and similarly also the humus determinations. It was found that Ca, N and P attained their highest contents in the sediment corresponding to the poorest lake phase rich in humus and on the other hand in the upper part of the top series. Contrarily, K contents, also at their highest in the topmost layer, did not follow the changes of the lake type verified on the basis of diatoms. The high nutrient content of the topmost sediment derives from the fertilizers used in agriculture. The high N, P and Ca contents of the humus-bearing sediment again derive from the nutrients adsorbed by the allochthonous humus formed in bogs and on the other hand from its capacity to resist decomposition. For a more complete decomposition of humus the bacteria would have required comparatively higher N and P contents in the Lake Pyhäjärvi of that time. The carbon-nitrogenratio of the contemporaneous sediment in the sediment profile is at its highest which also indicates the then existing poor lake phase.

Inhalt

I. Einleitung	3
II. Die Sedimente	5
III. Die Diatomeenflora als Indikator ökologischer Verhältnisse	13
1. Die rezente Diatomeenflora	13
2. Die Diatomeenflora der Schichtenfolgen	20
Literaturverzeichnis	26
Verzeichnis der Arten	27

I. Einleitung

Der See Pyhäjärvi liegt in Südfinnland in der Gemeinde Artjärvi, von der Stadt Porvoo rd. 40 km nach Nordosten. Die Länge des Pyhäjärvi beträgt etwa 7 km und seine Breite annähernd 3 km. Sein Flächenraum macht um

11.5 km² aus. Beim Pyhäjärvi erstreckt sich eine in südwest-nordöstlicher Richtung verlaufende tektonische Bruchzone, deren geschwächten Felsgrund das vereisungszeitliche Inlandeis durch seine abtragende Wirkung des weiteren eingetieft hat. Auf diese Weise hat sich ein für südfinnische Verhältnisse ungewöhnlich tiefes Seebecken herausgebildet. Die grösste Seetiefe beträgt hier etwa 68 m. Die durch Sedimentation heute schon in bedeutendem Masse verflachte Eintiefung reicht rd. 30 m unter den gegenwärtigen Meeresspiegel. Als mittlere Tiefe des Pyhäjärvi hat man 22 m berechnet. Demgegenüber erheben sich am Nordostufer des Sees die steilen Rapakivi-Felshänge stellenweise bis 98 m ü. d. M. (Abb. 1).

Die Umgegend ist typisches südfinnisches seenarmes Gebiet, in dem die steilhängigen, felsigen, moränebedeckten Hügel mit niedrigen Tonebenen abwechseln. Durch den Einfluss der Tonflächen ist das Wasser des Pyhäjärvi denn auch sehr stark tongetrübt, wobei die Durchsichtigkeit zeitweilig nur etwa 20 cm beträgt. Die gegenwärtige Eutrophie des Pyhäjärvi spiegelt sich u.a. im Diatomeenbestand und im Spätsommer in der durch Blaualgen verursachten Wasserblüte.

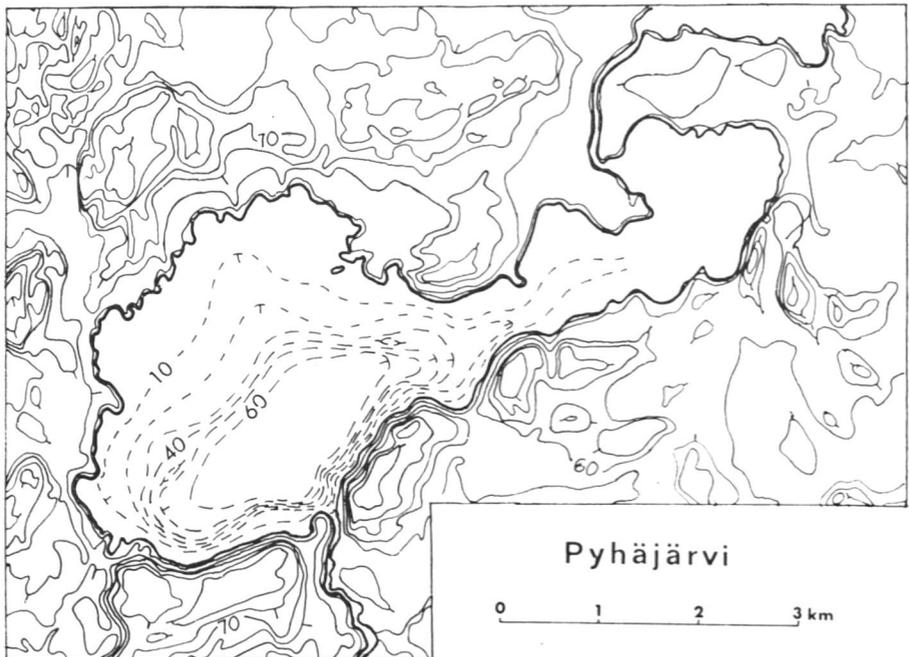


ABB. 1. Tiefenkarte und Höhenverhältnisse der Umgebung. Wasserspiegel ca. 40 m ü.d.M.

Als Grunduntersuchung ist beim Pyhäjärvi Echolotung vorgenommen worden (Abb. 3), mit deren Hilfe die Tiefenverhältnisse und die Mächtigkeiten der Sedimente festgestellt werden konnten. Bei der Probenahme gelangten folgende Geräte zur Anwendung:

- Ruttner-Glasschöpfer — Wasserprobe
 Ekman-Bodengreifer — Proben aus der Grundoberfläche
 Phleger-Bodenbohrer — Kurze Profilproben aus dem Oberflächenteil des Grundes
 Kolbenbohrer — lange Sedimentprofile aus flachem Wassergebiet (Proben III—IV)
 Kullenberg-Kolbenlot — lange Sedimentprofile aus tiefem Wassergebiet (Proben I—II)
 Thermograph — Beobachtungen über die Temperaturschichtung im Wasser.

Wir danken Herrn Professor R. Ryhänen für die wertvollen Ratschläge, die er uns bei der Auslegung der über die Sedimente erhaltenen chemischen Analyseergebnisse erteilt hat. Das von der Delegation Sohlberg bewilligte Stipendium ist bei der Ausführung der Arbeit von grosser Bedeutung gewesen. Wasseranalysen, Korngrößen-, Humus- und Fe-Bestimmungen sind in der Geologischen Forschungsanstalt ausgeführt worden, C- und N-Bestimmungen im Limnologischen Institut der Universität Helsinki sowie Ca-, K- und P-Bestimmungen im Institut für Bodenforschungen in Tikkurila.

II. Die Sedimente

Sedimentproben aus dem Becken des Pyhäjärvi (s. Abb. 2):

Kenn- ziffer	Wasser- tiefe m	Probenah- megerät		Probeprobung
1	25	Phleger	0— 4 cm	Bräunlicher lockerer Gytjtaton
			4— 28 cm	Grauer homogener Gytjtaton
2	63	Phleger	0— 27 cm	Sulfidwarviger grauer Gytjtaton
				Grauer homogener Gytjtaton. An der Ober- fläche eine lockere bräunliche Schicht
3	20	Ekman		
4	9	Phleger	0— 4 cm	Bräunlicher lockerer Gytjtaton
			4— 29 cm	Grauer homogener Gytjtaton
I	68	Kullenberg- Kolbenlot	0— 30 cm	Sulfidwarviger Gytjtaton mit wechselweise hellen grauen Winter- und dunkleren sulfid- haltigen Sommerablagerungen
			30— 60 cm	Geschichteter Gytjtaton
			60—290 cm	Gytjtaton mit schwach erkennbarer geschich- teter Struktur
II	25	Kullenberg- Kolbenlot	0— 30 cm	Sulfidwarviger Gytjtaton
			30—370 cm	Gytjtaton mit schwach erkennbarer ge- schichteter Struktur
III	1.5	Kolbenbohrer	0— 20 cm	Bräunlicher Gytjtaton
			20— 85 cm	Grauer warviger Glazialton. Warven ca. 2 cm dick
IV	2	Kolbenbohrer	0—364 cm	Gytjtaton mit organischen Resten

Nachdem sich das Inlandeis in der Allerödzeit vor etwa 11 500 Jahren aus dem Gebiet des Pyhäjärvi zurückgezogen hatte, war dieses nach SAURAMO (1958) von einem spätglazialen Meer bedeckt, dessen Spiegel rd. 120 m ü.d.M. lag (der Wert durch Interpolieren nach SAURAMOS Isobasenkarte und Relationsdiagramm erhalten, SAURAMO 1958: 117, 365). In diesem spätglazialen

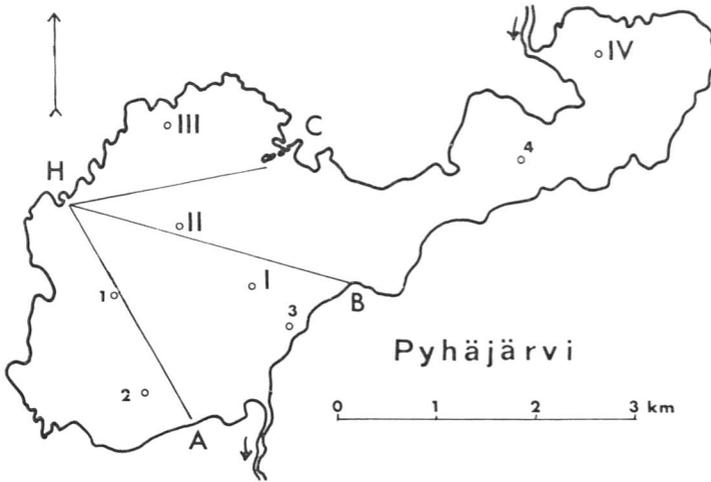


ABB. 2. Beobachtungsstellen und Echolotungslinien (Diagramme in Abb. 3).

Yoldiameer und später im Baltischen Eisseer sowie in dem durch die Landhebung flacher gewordenen Yoldiameer vollzog sich eine Sedimentation, als deren Ergebnis sich die niedrig gelegenen Gebiete in der Umgebung des Pyhäjärvi zu Tonebenen gestaltet haben. Über die Höhenverhältnisse der spätglazialen frühen Ostseestadien sind auch abweichende Ergebnisse dargestellt worden, nach denen vor dem Baltischen Eisseer ein verhältnismässig flaches Yoldiastadium bestanden hat (u.a. TYNNI 1960). Vom Ancylusseer hat sich das Becken des Pyhäjärvi um die Wende der Boreal- zur älteren atlantischen Zeit (V/VI) abgeschnürt, Ergebnisse, die sich auf die Untersuchungen über die Uferverschiebung in der auf denselben Landhebungsisobasen wie der Pyhäjärvi gelegenen Gegend von Askola gründen (TYNNI 1966). Jedenfalls ist die Sedimentation nicht dazu gekommen, die Eintiefung des Pyhäjärvi auszufüllen, und auf Grund der Echolotungsergebnisse hat es den Anschein, als seien auf dem Nordosthang der Niederung die Tonablagerungen dünn und möglicherweise erst durch die Seesedimentation abgesetzt. Wegen der südostwärts des Pyhäjärvi sich erhebenden steilen Felswände sind im spätglazialen Meere und im Eisseer an der Stelle des Pyhäjärvi die Strömungsverhältnisse wahrscheinlich derart gewesen, dass damals weder in der Eintiefung noch auf deren Südosthängen eine Sedimentation in grösserem Masse vor sich gegangen ist. Eine derartige Erscheinung ist auch gegenwärtig regelmässig an solchen Stellen im Ostseegebiet wahrzunehmen, wo ziemlich langsame Strömungen beim Aufprall auf morphologische Hindernisse örtlich grosse Strömungsge-

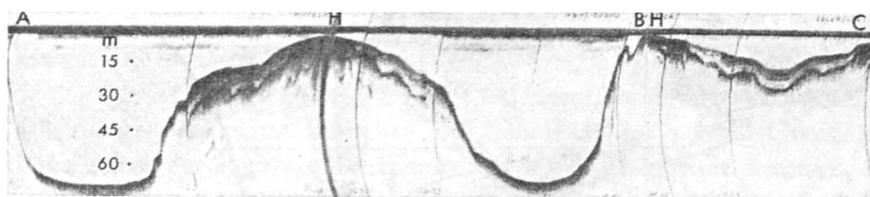


ABB. 3. Drei Echolotungsdiagramme.

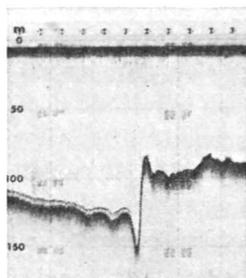


ABB. 4. Ein Echolotungsdiagramm über Bodensedimente der Ostsee. Wegen der Strömungsverhältnisse fehlen die Sedimente in der Eintiefung. (IGNATIUS 1966, Abb. 3).

schwindigkeiten erreichen (Abb. 4). Dabei kommt es auf dem der Strömung entsprechenden Hang des betreffenden Hindernisses und in seiner Nähe zu keiner Sedimentation (vgl. H. IGNATIUS 1958). Die in der Umgebung des Pyhäjärvi bestehenden topographischen Verhältnisse mit ihren im Südosten und Süden das Becken umziehenden Felserrhebungen haben in der Abschnürungsphase ein wirksames Hindernis gegen die meistens stark wirkenden marinen Uferkräfte gebildet und die Intensität der auf diesen beruhenden Erosion und Akkumulation vermindert. Demgegenüber ist das Becken des Pyhäjärvi so tief, dass auch bei ruhigen Sedimentationsverhältnissen die ältesten Ablagerungen diese Wanne nur verflacht haben, ohne zu deren vollständiger Auffüllung imstande gewesen zu sein.

Da die Eintiefung des Pyhäjärvi mächtige Postglazialsedimente umfasst, besteht bei den Bohrungen nur in der Uferzone die Möglichkeit, in glaziale Ablagerungen hinabzureichen. Wo die Uferlinie an Tonflächen grenzt, ist durch die Wirkung der Uferkräfte der Ton erodiert worden. Dadurch sind warvige spätglaziale Sedimente zum Vorschein gekommen, die in der seichten Uferzone des Sees entweder ganz an der Oberfläche des Grundes liegen oder nur mit einem dünnen postglazialen Sediment bedeckt sind (z.B. Beobachtungsstelle III). Die jüngere Erosion hat also die postglazialen und auch einen Teil der spätglazialen Sedimente abgetragen (Abb. 5). An vielen Stellen, besonders bei den Landzungen, ist die Uferzone dazu gekommen, selbst den Spätglazialton bis hinab zur Moräne auszuwaschen.

In der Uferzone wird Tonmaterial erodiert und verschlammt. Desgleichen verfrachten die aus den Tonebenen abfließenden Flüsse und Bäche Tonma-

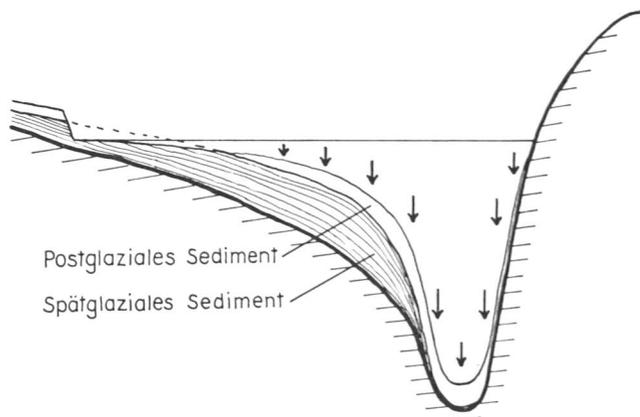


ABB. 5. Schematische Darstellung der spätglazialen und postglazialen Sedimentation im Becken des Pyhäjärvi.

terial in den See. Mit den vom Winde verursachten Strömungen breitet sich verschlammter Ton überallhin in das Seebecken aus. Da nach der Abschnürung des Pyhäjärvi die Meeresströmungen kein Behindern der Sedimentation in der Vertiefung mehr bewirkt haben, setzt sich gegenwärtig überall im Seebecken, mit Ausnahme der Uferzone, verschlammtes Material ab. Doch vermag sich dessen grösster Teil vor seiner Sedimentation nicht sehr weit aus der Nähe der Ufer zu entfernen. Dies spiegelt sich in den Korngrössen der in unterschiedlichen Entfernungen vom Ufer entnommenen Proben vom Oberflächenteil des Grundes wider. Je weiter vom Ufer entfernt die Probe entnommen worden ist, desto feiner ist das Material, aus dem sie besteht (Abb. 6).

Im nordöstlichen Teil des Pyhäjärvi ist das Anfüllen des Beckens mit Sedimenten schon recht weit fortgeschritten. Die Ufer sind flach, und die grösste Tiefe beträgt nur rd. 10 m. Die Postglazialsedimente sind in diesem Teil des Sees mächtig, abgesehen von der Erosionszone des Ufers. An der Bohrungsstelle von Probe IV wurden mit Verlängerungsrohren des Kolbenbohrers 9 m weicher Ton gemessen, ohne auf harten Grund zu stossen. Auf Grund von Echolotungsbeobachtungen sind die Sedimente stellenweise bis zu 20 m mächtig. Das Material ist an der Bohrungsstelle IV bis in 3.64 m Tiefe Gytjtaton, in dem spärlich Reste von Makrovegetation vorkommen. Unmittelbar an der Oberfläche ist das Sediment hier wie auch anderswo, abgesehen von der Eintiefung des Sees, mit einer lockeren bräunlichen Ablagerung von einigen cm Dicke bedeckt.

In dem von der Eintiefung nach Nordwesten gelegenen Gebiet sind auf Grund der Echolotungsbeobachtungen die Sedimentmächtigkeiten durchschnittlich geringer als im nordwestlichen Ende des Pyhäjärvi. Am dünnsten

sind sie nahe dem Ufer, und ihre Mächtigkeit nimmt gegen die Eintiefung hin zu.

Die Eintiefung des Pyhäjärvi bildet bei ihrem gegenwärtigen Zustand ein sehr ruhiges Sedimentationsbecken. Die Tiefe reicht aus, um die störende Wirkung selbst der stärksten Sturmwellen auf das Ablagern zu hemmen. Zwischen den verschiedenen Jahreszeiten besteht jedoch in den abgesetzten Bestandteilen ein beträchtlicher Unterschied. Im Frühjahr beginnt nach dem Auftauen der Eismassen in der Uferzone das durch die Uferkräfte erodierte Tonmaterial im Wasser zu verschlammen. Zu gleicher Zeit vermehrt sich auch die Menge des durch Flüsse und Bäche verfrachteten Tonmaterials. Der gesteigerte Tongehalt des Wassers hat eine erstarkende Sedimentation zur Folge. Bei sich erwärmendem Wasser beginnt auch organische Substanz zu entstehen, die ebenfalls durch Sedimentation in die Grundschichten eingeht. Im Herbst hingegen vermindert sich bei abkühlendem Wasser das Hervorbringen organischer Substanz, und wenn der See schliesslich zufriert, hört auch das Erodieren von Tonmaterial in der Uferzone auf. Wenn die Regen- in Schneefälle übergehen, vermindert sich die Menge des von Flüssen und Bächen in den See verfrachteten Tonmaterials. Im Winter ist die Sedimentation also von in erster Linie glimmerige Mineralien enthaltendem feinstem Tonmaterial abhängig, das während des Sommers nicht zur Ablagerung gekommen ist. Die Verknüpfung des Sedimentationsvorgangs mit dem Wechsel der Jahreszeiten hat zur Folge, dass in der Eintiefung des Pyhäjärvi (in etwa über 25 m Tiefe), wo z.B. die Wellenbewegung nicht zu wirken vermag, ein

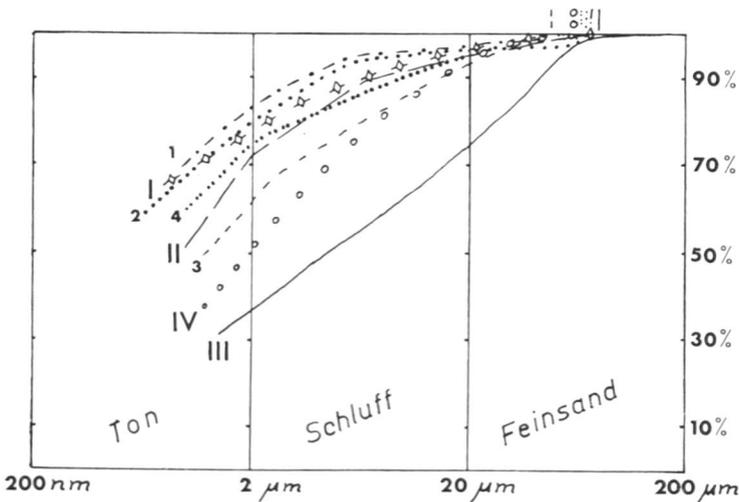


ABB. 6. Korngrößenkurven von Sedimentproben der Bodenfläche.

jahreswarvigcs Sediment entsteht. In ihm lässt sich, solange es frisch ist, eine der starken Bildung organischen Stoffes entsprechende schwarze reduzierende Sulfidschicht des Sommers erkennen, die in sehr reichlicher Menge u.a. Kiesel-schalen von Diatomeen enthält. Der im Winter abgesetzte Teil hingegen ist ärmer an organischer Substanz, auch ist er nicht sulfidhaltig, sondern hat seine tongraue Farbe beibehalten. Ferner ist die in ihm enthaltene Kieselal-genmenge im Vergleich zu dem im Sommer abgesetzten Sediment unverkenn-bar geringer. Wenn man das sulfidwarvige Sediment oxydieren und trocknen lässt, werden die Dunkeltönungsverhältnisse zwischen den Sommer- und den Winterwarven umgekehrt. Die schwarzen Sulfide oxydieren zu farblosen Sul-faten, und bei weiterem Trocknen des Sediments beginnen sich die Winter-schichten, die in grösserer Menge dunkle glimmerige Mineralien enthalten, durch dunklere Färbung von den in erster Linie aus Quarz und anderen hellen Mineralien bestehenden Sommerschichten zu unterscheiden (Abb. 8).

In den gegenseitigen Sulfidgehalten der Sommerablagerungen treten je-doch bedeutende Unterschiede hervor. Nach SCHOSTAKOWITZ (1931) und PER-FIELDIEW (1931) bezeugen die jährlichen Schwankungen der Sulfidgehalte Ver-änderungen, die in der Strahlungsenergie der Sonne vor sich gegangen sind. Des weiteren können nach SCHOSTAKOWITZ die starken Sulfidschichten die während eines ungewöhnlich niederschlagsarmen und warmen Sommers ab-gesetzte Sedimentation bedeuten.

Im Falle des Pyhäjärvi hört die Sulfidwarvigkeit tiefer im Sediment auf. Deutlich zu erkennen ist sie bis in etwa 30 cm Tiefe. Offenbar ist das Erstar-ken der Sulfidwarvigkeit auf die im Gewässersystem wachstumfördernde Wirkung der in der Landwirtschaft verwendeten Düngemittel zurückzuführen. Die Wandlung im Trophiegrad des Pyhäjärvi während der letztvergan-genen Jahrhunderte wird im folgenden Abschnitt durch eine diatomeenökolo-gische Untersuchung der Sedimente und der gegenwärtigen Wasserphase ein-gehend untersucht.

In dem Sedimentprofil der Eintiefung (Abb. 2; I) haben Jahreswarven in kontinuierlicher Folge bis in etwa 60 cm Tiefe gezählt werden können. Weiter abwärts sind die Warven so undeutlich, dass man sich damit zufrieden ge-geben hat, nur durchschnittliche Warvendicken für die verschiedenen Tiefen zu berechnen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind im Zusammenhang mit der Abbildung 11 dargestellt in einem Diagramm, aus dem das Alter und die für verschiedene Tiefen berechnete durchschnittliche Warvendicke des Sedi-ments hervorgehen. In dem ganz zuoberst abgesetzten Sediment hat die War-vendicke im Mittel etwa 1.6 mm betragen. Unter Berücksichtigung der Ton-dichte ist errechnet worden, dass sich in der Eintiefung gegenwärtig jährlich etwa 2.4 kg/m² Material absetzen. Tiefer im Sediment nehmen die Warven-dicken allmählich ab, sie machen in 2.9 m Tiefe noch etwa 0.6 mm aus.

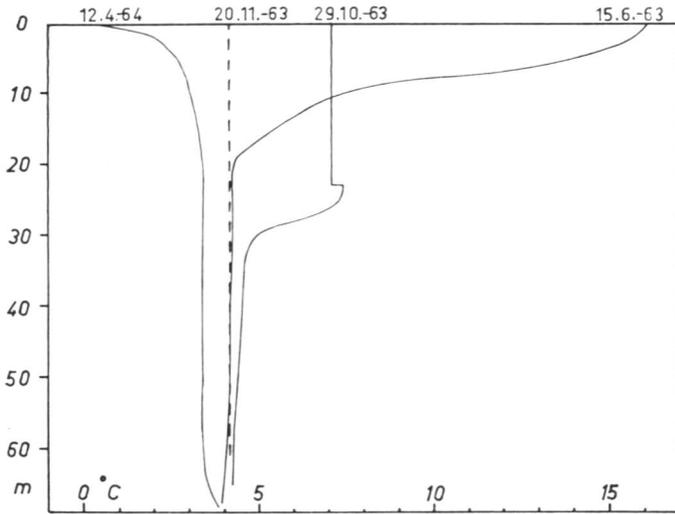


ABB. 7. Beispiele von Temperaturschichtungen im Pyhäjärvi-See während verschiedener Jahreszeiten.

Das im Sommer mit der Sedimentation vor sich gehende Ansammeln von Nährstoffen im Hypolimnion bewirkt in der Wassermasse der Eintiefung einen Anstieg der Dichte. Darauf beruht es, dass die Wassermasse im Hypolimnion des Pyhäjärvi imstande ist, der herbstlichen Vollzirkulationstendenz zu widerstehen. Beispielsweise am 29.X.69, also ziemlich spät im Herbst, wurde beobachtet, dass sich 7.1 Grad warmes Wasser erst bis in 23 m Tiefe vermischt hatte. Bei 24 und 25 m wurde als Temperatur 7.4 Grad festgestellt, von welchem Wert sie allmählich auf 4.4 Grad in 67 m Tiefe sank (Abb. 7). Soweit der Pyhäjärvi in Zukunft mit stets grösseren Nährstoffmengen belastet wird, kann es geschehen, dass der See nicht mehr in eine Vollzirkulation gerät und radikale Veränderungen im See eintreten.

Über das Sediment des Beckens sind für verschiedene Tiefen Fe, Ca, K, P, N und C sowie Humus (dieser mit dem EEL-Kolorimeter) (Abb. 11) bestimmt worden. Ca, P, N, C und Humusgehalt waren am grössten bei dem Sediment in 1.2—2 m Tiefe. Von hier aus auf- und abwärts vollzog sich eine deutliche Verringerung besonders bei P. Die ungewöhnlich grossen Humusmengen dürften aus den Oberflächenwassern herrühren, die von den bei beginnender Abkühlung des allgemeinen Klimas (um 500 v. Chr., LUNDQVIST 1957)] verfloorenden Tonebenen abgeflossen sind. Die Wirkung dieses allochthonen Humus tritt auch in den C/N-Verhältnissen des Sediments hervor. Obgleich sie im Anteil des gesamten Profils unter 10 liegen (Gyttja), steigen sie gerade an dieser Stelle (1.3—2 m) auf ihren höchsten Wert (9.2), der sich

den C/N-Verhältnissen von Dy nähert ($Dy: C/N \geq 10$) (vgl. HANSEN 1959). Als der Landbauerwerb in der Gegend allgemein zu werden begann, wurden die niedrigen vermoorenden Tonebenen dem Anbau unterzogen, und die Humuskolloide erzeugenden Moorgebiete verminderten sich. Soweit das See- wasser nicht genügend P- und N-Nährstoffe enthalten hat, ist das allochthone Humusmaterial grösserenteils unzersetzt geblieben (s. RYHÄNEN 1969), und die damit verbundenen Nährstoffe haben sich mit dem Humus am Grunde des Sees abgesetzt (Vgl. OHLE 1955). In dieser Phase haben die im Wasser aufgelösten Humusstoffe die Menge der Primärproduktion eingeschränkt, denn die durch die dunkle Farbe des Wassers helle Produktionsschicht ist verhältnismässig dünn gewesen. Diese Verhältnisse zeichnen sich in der Diatomeen- flora des Sediments ab, die der Flora eines dystrophen Humussess entspricht (des näheren S. 24). Während der Ackerbau allgemeiner geworden ist, hat sich das Auswaschen der Mineralböden intensiviert, und die Nährstoffgehalte ha-

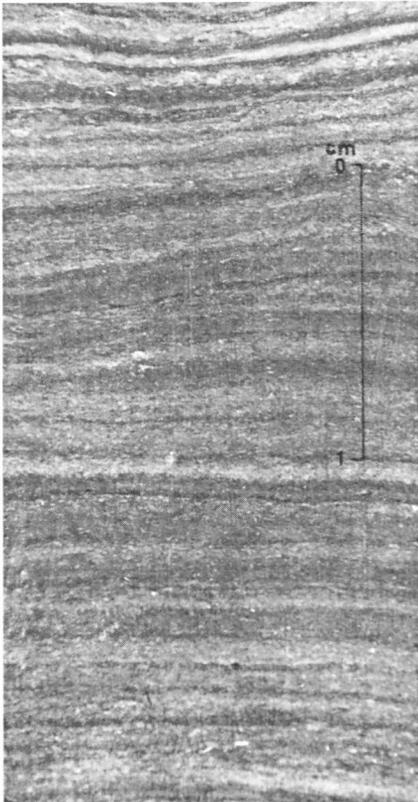


ABB. 8. Getrocknetes jahreswarvigcs Sedi- ment mit »graded bedding» aus dem Becken des Pyhäjärvi-Sees. Photo E. Halme.



ABB. 9. Etwa 150-fache Vergrößerung eines Dünnschliffes, von sulfidabgelager- tem Ton.

ben zuzunehmen begonnen. Bei ausreichenden P- und N-Gehalten haben die Bakterien angefangen, die Humusstoffe als Energiequelle auszuwerten. Die entstandenen Zersetzungsprodukte und die Bakterienmasse sind offenbar für sonstige Mikrobentätigkeit brauchbar gewesen (RYHÄNEN 1968). Die in Gang gekommene Zersetzung der Humusstoffe und das Erstarren der Primärproduktion sind unter anderem in der Verminderung des Humusgehalts im Sediment zu erkennen. Zugleich verringern sich die Nährstoffgehalte des Sediments, denn die entstehende organische Substanz bindet bei intensiver Mobilisation nicht ständig Nährstoffe wie der sich absetzende unzersetzbare allochthone Humus.

In den Kaliumwerten ist keine systematisch deutliche Schwankung beobachtet worden. Das Kalium erreicht seinen grössten Gehalt unmittelbar im Oberflächensediment, das die Wirkung der Kunstdüngemittel des Ackerbaus widerspiegeln mag.

Die Eisengehalte sind in den geringsten Mengen im humushaltigsten Sediment festgestellt worden. Dies liegt daran, dass in dem humushaltigen See die Eisenverbindungen offenbar besser in der Wasserphase als Humate geblieben sind. Bei vermindertem Humusgehalt des Wassers sind Eisenverbindungen ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) offenbar beständiger in das Sediment geraten. Diese Lage spiegeln die für Tiefen von 50 und 70 cm festgestellten grössten Eisengehalte des Sediments. Dagegen ist bei den aus 30 cm und geringerer Tiefe entnommenen Proben, die das sulfidhaltige Sediment und also auch den früheren, reduzierteren Zustand des Unterwassers spiegeln, der Eisengehalt auf 2 % gesunken. Dies mag auf der Neigung des Eisens, unter reduzierenden Verhältnissen in die Wasserphase zurückzukehren, beruhen (MORTIMER 1944, EINSELE 1944). Während des jahreszeitlichen Zyklus wechselt das Red-Ox-Potential des Unterwassers und erreicht zur Zeit der Stagnation je nach den Verhältnissen schneller oder langsamer seinen Grenzwert $\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+}$ (MORTIMER 1944).

Inwieweit sich Veränderungen wie die oben beschriebenen in den Gehalten an Nährstoffen und in deren Verbindungsweise in der Diatomeenflora abgezeichnet haben, wird im folgenden dargelegt.

III. Die Diatomeenflora als Indikator ökologischer Verhältnisse

1. Die rezente Diatomeenflora

Beobachtungsstelle I

Der grösste Teil des untersuchten rezenten im Oberflächenwasser lebenden und tiefer versunkenen Diatomeenmaterials ist an der 60—70 m eingetieften Stelle des westlichen Seeteils (Abb. 2 Punkt 1) rd. 700 m vom nächsten Ufer

entfernt gesammelt worden. Die zur Zeit offenen Wassers festgestellten häufigsten Diatomeenarten sind Planktonformen, darunter nur spärlich aus der Litorinazone angetriebene Epiphyten- und Benthosformen. In den Probenahmezeiten ist die Anzahl der häufigsten Diatomeenarten verhältnismässig gering, aber die Prozentschwankungen dieser wenigen Arten sind gross gewesen (Tabelle 1). Der Artenbestand der Eintiefungsstelle umfasst insgesamt 115 Arten oder knapp die Hälfte vom Gesamtartenbestand des Sees (taxonomisches Verzeichnis). Die jahreszeitliche Entwicklung der Flora ist in ihren Hauptzügen in Tabelle 1 wiedergegeben. Die reichlichste Diatomeendichte hat im Frühjahr und Vorsommer gelegen. Die durchschnittlich reichlichste Diatomeengruppe umfasst *Melosira ambigua* und die in ihren Dimensionen ihr ähnelnde *M. italica*, die sich in erster Linie durch verschiedene Sulci und zellenverbindende Zähne von jener unterscheidet. In der Gruppe erscheint nur selten die stattlichere *M. italica*-Form. Deren Vorkommen erweist auch die Verwandtschaft von *M. ambigua* und *M. italica*. Erstere wird denn auch im System A. CLEVE-EULERS (1938, 1951) als Unterart von letzterer angesehen. Beide wachsen ebenfalls im Plankton, aber in ihren ökologischen Ansprüchen weichen sie in gewissem Masse voneinander ab. Nach CLEVE-EULER (1951) gehören die Arten zu den Oligo- und Mesosaprobien und sind halophob. Das Massenvorkommen von *M. i. ssp. ambigua* liegt entweder im Sommer oder im Spätsommer. Nach HUSTEDT (1957) ist *Melosira ambigua* eine stark alkaliphile Art eutropher Seen und *Melosira italica* in bezug auf pH indifferent oder alkaliphil. Die letztere Art ist nach JÄRNEFELT (1936) in dem eutrophen See Petäjäjärvi als Wasserblüten bildende vorherrschende Art aufgetreten. Nach JÄRNEFELT (1952) erscheint *Melosira italica* als Bildnerin von Diatomeenassoziationen in dem dys-eutrophen See, was darauf hinweist, dass die Art auch in sauren Gewässern gedeiht. Man kann der Ansicht sein, dass das Vorkommen von *M. italica* im eutrophen Pyhäjärvi mit dem Obigen im Einklang steht. Besonders nach den Beobachtungen Mölders liegt das Optimalvorkommen von *M. ambigua* in eutrophen Seen mit pH 5—7, und *M. italica* wiederum gedeiht am besten in oligotrophdystrophen Seen (MÖLDER & TYNNI 1967).

Am reichlichsten trat *M. ambigua* in den untersuchten Proben aus dem Oberflächenwasser des Pyhäjärvi im Frühjahr 67 auf (54.5 %) sowie im Herbst 66 (59.5 %). Dagegen fehlte in den Planktonproben vom Spätwinter und Frühjahr 65 die Art wahrscheinlich darum, weil ihre eigentliche im Frühjahr liegende Wachstumsperiode noch nicht angefangen hatte. *M. italica* hat schon früher als jene zu wachsen begonnen, denn bereits am 26. III. 65 hat sie unter dem Eis einen Wert von 26 % angenommen. Die höchsten Mengen (41 %) sind im April 67 festgestellt worden.

Die Frequenzverhältnisse von *Melosira ambigua* und *M. italica* weichen in den im gleichen Jahre gesammelten Proben aus dem Oberflächenteil und

TABELLE 1. Pyhäjärvi, Punkt I. Die vorherrschenden rezenten Diatomeen in %, Temperatur des Wassers (C°) und einige Ionengehalte (mg/l) an der Oberfläche (der erstere Zahlenwert) und in >30 m Tiefe (der letztere Zahlenwert).

	Beobachtungszeit						
	29.I.65	26.III.65	11.V.65	3.IV.66	23.X.66	10.V.67	24.VII.67
<i>Anomoeoneis serians</i>							
var. <i>brachysira</i>	12 1/2 — 0	1/2 — 0	0 — 0	0 — 0	0	0	0 — 0
<i>Eunotia lunaris</i>	22 1/2 — 0	0 — 14	0 — 0	0 — 0	1/2	1	0 — 0
<i>Gomphonema angustatum</i>	26 — 1	0 — 0	0 — 0	0 — 0	0	0	0 — 0
<i>Melosira ambigua</i>	10 1/2 — 44 1/2	0 — 5 1/2	0 — 0	0 — 0	50 1/2	54 1/2	36 — 3
<i>M. granulata</i>	0 — 1 1/2	0 — 0	1 — 1/2	9 — 0	20 1/2	5	0 — 2
<i>M. italica</i>	0 — 0	26 — 33	12 — 15	41 — 43 1/2	2	12	7 — 12
<i>Meridion circulare</i>							
var. <i>constricta</i>	0 — 0	0 — 0	4 1/2 — 0	0 — 0	0	0	0 — 0
<i>Navicula cryptocephala</i>	0 — 1 1/2	1 1/2 — 1 1/2	1 — 24 1/2	1 — 1	0	1	0 — 0
<i>Nitzschia palea</i>	0 — 1 1/2	1 1/2 — 7	25 1/2 — 11 1/2	0 — 0	0	1/2	0 — 1
<i>Stephanodiscus astraea</i>							
var. <i>minutula</i>	1/2 — 3 1/2	1 1/2 — 1 1/2	1 1/2 — 1/2	6 — 2	0	1	0 — 6
<i>S. dubius</i>	0 — 7	1 — 7 1/2	1 1/2 — 1 1/2	1 — 0	1	1	0 — 1
<i>S. hantzschii</i>	0 — 0	53 1/2 — 21	2 1/2 — 3	12 — 30	0	1/2	0 — 70
<i>Synedra ulna</i> var. <i>danica</i>	0 — 0	0 — 0	21 — 0	1 — 0	6	2 1/2	0 — 4
<i>Tabellaria flocculosa</i>	16 — 1 1/2	0 — 1/2	0 — 0	6 — 0	1/2	2	0 — 0
Temperatur (+ °C)	0.2 — 2.3	0.3 — 2.3	3.5 — 3.8	0.5 — 3.4	7.5	3.5	18.1 — 6.8
NH ₄	0.024	0.023		0.006			0.025
	0.026	0.027		0.006			0.312
NO ₂	0.013	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003		<0.003
	0.028	<0.003	<0.003	<0.003			<0.003
NO ₃	0.71	10.00	0.26	14.28	4.08		4.00
	7.41	3.38	2.63	10.00	3.77		0.10
PO ₄	<0.001	<0.001	<0.001		<0.001		
	1.515	0.058	<0.001		<0.001		
Cl	4.97	4.97	3.19		2.84		5.82
	4.61	4.97	3.19		3.19		5.82
SO ₄	9.57	10.29	15.43	14.20	11.52		
	11.25	9.60	13.58	10.39	10.39		

der tieferen Stelle (>30 m) voneinander ab. Die in den tieferen Proben angetroffenen Diatomeen vertreten das versunkene Oberflächenplankton. Die mit Zwischenzeiten von etwa 2 Monaten gesammelten Proben von 65 lassen eine teilweise Übereinstimmung in der Flora der früheren Oberflächenprobe und der späteren Tiefwasserprobe erkennen.

Eine recht häufige Diatomee ist die Planktonform *Stephanodiscus hantzschii* gewesen. Nach HUSTEDT (1930) ist die Art typisch besonders für eutrophe, ja sogar verunreinigte Gewässer. Im Oberflächenplankton der Stelle wurde die Art vorwiegend im März 65 reichlich angetroffen (58 %), am zweitmeisten im April 66. Nach HALME & MÖLDER (1958) sind bei dieser Art in der Pojo-Bucht zwei Wachstumsperioden beobachtet worden, eine im Frühjahr, die andere im Herbst. Beim Pyhäjärvi sieht man an Stelle I nur ein bedeutendes

Frühjahrsmaximum. In den tieferen Proben erschien *S. hantzschii* gleichmäßiger als in denen aus der Oberfläche. Dank seiner geringen Grösse sedimentiert er sich langsamer als durchschnittlich, und auch wegen seiner Zartheit nutzt er sich in höherem Masse ab als die grösseren Diatomeen. Die Abnutzung ist in vielen Fällen an den Diatomeen der tieferen Wasserprobe zu erkennen. Der grösste Teil des *S. hantzschii*-Individuums ist dazu gekommen, sich aufzulösen, bevor es in das Sediment gelangt, denn in der obersten Ablagerung des Sediments ist der Anteil der Art gering.

Das festgestellte Maximum von *Stephanodiscus hantzschii* im zeitigen Frühjahr fällt in dieselbe Zeit, in der das Oberflächenwasser unter dem Eis einen beträchtlichen NO_3 -Gehalt aufwies (10 mg/l).

Eunotia lunaris erreichte 1965 im Winterplankton eine Menge von 25 %, was die Fähigkeit der Art erweist, im Plankton im eisgeschützten Oberflächenwasser fortzubestehen. Die *Eunotia*-Arten sind Litoralformen, die allgemein in kalkarmem humushaltigem Wasser gedeihen (HUSTEDT 1930). Nach CLEVE-EULER (1951) wächst *E. lunaris* in oligo-dystrophen Seen, Weihern und Mooren, auch kommt sie zuweilen, von ihrem Standort losgelöst, im Plankton vor. Unter anderem nach HUSTEDT (1957), FOGED (1961) und MERILÄINEN (1967) ist diese Art jedoch in bezug auf das pH des Wassers indifferent. Durch das Eis isoliert, ist die pH-herabsetzende Wirkung des Humusgehaltes des Wassers stärker als zur Zeit offenen Wassers. Den pH-Wert vermindern auch die im Winter NO_3 -haltigen oberflächlich abdrainierenden Wasser aus der Umgebung. Im Oberflächenwasser betrug pH am 29. I. 65 7.0, am 20. VII. 65 7.4.

Das winterzeitliche Maximum von *E. lunaris* im Oberflächenwasser zeichnet sich in der tieferen Wasserschicht vom Vorsommer 65 schwächer ab, während die Art zu gleicher Zeit schon aus dem Oberflächenwasser von Punkt I verschwunden war, aber noch in 9prozentiger Menge näher dem Ufer im Oberflächenwasser von Punkt III vorkam. Im Winterplankton fand sich auch sehr reichlich oder zu 30.5 % die in der Litoralzone gedeihende Epiphytenart *Gomphonema angustatum* var. *producta*. Die Art ist von verfallener Ufervegetation ausgegangen und hat sich im Zusammenhang mit der Durchströmung des Sees unter dem Eis in ruhigen Verhältnissen in die offene Seefläche ausgebreitet. Offenbar ist der Optimalzuwachs der Art auch im Winter oder im Spätherbst vor sich gegangen, denn unter anderem im März 65 ist die Art nicht mehr im nördlicheren (Punkt III) Uferplankton vorgekommen, ebensowenig im Mai 65 im Uferplankton des östlichen seichten Seeteils (Punkt IV).

Der Kaltwasser-Artenbestand aus den in dem See mündenden Bächlein, der winters ziemlich allgemein unter dem Eis im Wasser vorkommt, ist unter anderem durch *Meridion circulare* vertreten.

In mittelmässig grossen Mengen erschienen im Plankton zeitweilig folgende Arten: *Anomoeoneis seriens* var. *brachysira*, *Melosira granulata*, *Nitzschia palea*, *Synedra ulna* var. *danica* sowie *Tabellaria flocculosa*. Von diesen sind eigentliche Planktonarten *Melosira granulata* und *Synedra ulna* var. *danica*, die übrigen Litoral-(Benthos-)Formen. Das 20.5prozentige Vorkommen von *Melosira granulata* fiel in den Oktober 66. Nach Mölder gedeiht die Art sowohl in eutrophem als auch in oligotrophem Wasser, besonders in Grosseen und Flüssen mit einem pH-Wert von 4.5—6.5. *Synedra ulna* var. *danica* ist eine für eutrophe Seen kennzeichnende Art. Ihr Maximalvorkommen, 21 %, lag im Mai 65 um dieselbe Zeit wie auch bei *Nitzschia palea*. Diese Art ist nach HUSTEDT (1930) sehr häufig in ziemlich stark verunreinigtem Wasser. Der 11.5prozentige Anteil von *Anomoeoneis seriens* fiel in den Januar. Nach HUSTEDT (1957) ist *Anomoeoneis seriens* acetobiont. Im Winter erschien ausserdem im Verhältnis am reichlichsten *Tabellaria flocculosa*, ebenfalls wahrscheinlich eine azetophile Art. Diese Vorkommen liegen in Zeiten, in denen das pH des Pyhäjärvi am niedrigsten und seine Temperatur nahe bei 0° gewesen ist.

Navicula cryptocephala kam im Mai in über 30 m Tiefe reichlich (24.5 %) vor. Als Epiphytenform dürfte sie aus der nordwestlichen seichten Uferzone herrühren, weil die Art gleichzeitig weiter nordwestlich im Oberflächenwasser mit 24 % sowie in 25 m Tiefe nur mit 4 % vertreten war. Als kleine Form hat *N. cryptocephala* offenbar in ruhiger Umwelt verhältnismässig lange in der Oberflächenschicht des Sees verbleiben können. Nach HUSTEDT (1957) ist die Art saprophytisch und alkaliphil und ist in einer faulenden *Potamogeton*-Siedlung als dominierende Art vorgekommen.

Beobachtungsstelle II

liegt rd. 900 m von der vorhergehenden nach NW und etwa 1 km entfernt vom nächsten Ufer nördlich der Eintiefungsstelle des Sees (Abb. 2 Punkt II). Die Tiefe beträgt um 25 m. Die Diatomeenflora ist hauptsächlich die gleiche wie oben dargestellt, aber in den %-Verhältnissen oft abweichend. Die häufigsten Arten waren *Melosira ambigua*, *M. italica* und *Stephanodiscus hantzschii* (Tabelle 2). In der Probe vom Januar machte den grössten Anteil *Stephanodiscus hantzschii* (24.5 %) aus, der bei Punkt I fehlte, aber das reichlichste Vorkommen der Art fand sich auch hier im März (52 %), als der NO₂-Gehalt des Wassers unter dem Eise sehr hoch war oder 1.6 mg/l betrug. Im Mai war die Art nur mit 1 % vertreten, aber schon im Juni wieder mit 39 %. Im Vorkommen von *Stephanodiscus hantzschii* spiegelt sich somit die im Vorfrühling und im Sommer ablaufende Wachstumszeit unter verschiedenen Temperatur- und Nährstoffgehalts-Verhältnissen. Den Nährstoffreichtum des Oberflächenwassers im Mai erweist das reichliche Auftreten der mesosapro-

TABELLE 2. Pyhäjärvi, Punkt II. Die vorherrschenden rezenten Diatomeen in %, Temperatur des Wassers (C°) und einige Ionengehalte (mg/l) an der Oberfläche (der erstere Zahlenwert und in 15 m Tiefe.

	Beobachtungszeit			
	29.I.65	26.III.65	11.V.65	20.VII.65
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>cryptocephala</i>	½— 2	0— 1	0—47	1
<i>Anomoeoneis serians</i> var. <i>brachysira</i>	4 — 0	0— 0	0— 0	0
<i>Cyclotella stelligera</i>	0 — 9	0— 1	0— 0	0
<i>Eunotia lunaris</i>	6 — 0	0— 0	0— 0	0
<i>Gomphonema angustatum</i>	18 — 0	0— 0	0— 0	½
<i>Melosira ambigua</i>	4 — 8	0— 0	6— 2	37 ½
<i>M. italica</i>	15 —31	40—51	0— 2	3
<i>Navicula cryptocephala</i>	0 — 3	0— 0	24— 4	0
<i>Nitzschia amphibia</i>	0 — 0	0— 0	11—13	0
<i>N. palea</i>	0 — 2	0— 2	34— 4	1
<i>Stephanodiscus astraea</i> var. <i>minutula</i>	2 — 4	1— 3	0— 0	2 ½
<i>S. dubius</i>	1 — 2	1— 4	1— 2	2 ½
<i>S. hantzschii</i>	24 ½—18	52—35	1— 0	39
Temperatur (+ C°)	0.2— 2.1	0.3— 2.1	3.5—3.9	18.0
NH ₄	0.027 0.026	0.028 0.028		
NO ₂	<0.003 <0.003	1.60 <0.003	<0.003	<0.003
NO ₃	9.09 4.65	8.11 6.06	30.00	4.44
PO ₄	0.040 0.047	0.001 0.051	<0.001	<0.001
Cl	4.97 4.26	5.32 5.32	3.55	3.55
SO ₄	11.03 10.80	10.39 10.70	11.66	14.40

bischen *Nitzschia palea* in beiden Punkten. Den Artenbestand von *Nitzschia* ergänzten verhältnismässig reichlich *N. amphibia* und einige andere in geringerer Menge angetroffene Arten. Ihr gemeinsamer Anteil belief sich auf 61 % oder bedeutend mehr als bei der Eintiefungsstelle. Zu gleicher Zeit wurde im Oberflächenwasser ein besonders hoher NO₃-Gehalt (30 mg/l) festgestellt, der offenbar auf das Einmischen der durch die Frühjahrs-Schmelzwasser auf den Äckern ausgelaugten Nitrate in das dünne Epilimnion des beginnenden Frühjahrs zurückzuführen war. Im tiefen Wasser machte der NO₃-Gehalt 0.2 mg/l aus.

Die Süßwasser-Epiphytenart *Achnantes minutissima* var. *cryptocephala* bildete im Mai in tiefem Wasser ein Maximum von 51 %, fehlte aber im Oberflächenwasser. Auch weiter südlich kam sie sehr spärlich vor. Als Epiphyt rührte diese Art ebenfalls aus der Uferzone her.

Beobachtungsstelle III

liegt in etwa 3 m tiefem Wasser im nördlichen Teil des Sees rd. 200 m vom Ufer entfernt (Abb. 2 Punkt III). Die Proben sind im März 65 und im Oktober 67 gesammelt worden. Die Diatomeenflora unterschied sich im Spätwinter wesentlich von der Flora der mehr gegen die Mitte des Sees gelegenen Standorte. Um dieselben Zeiten wie bei den Punkten I und II waren die Planktonformen vorherrschend, machten in der Litoralzone die Benthos- oder Epiphytformen die Mehrzahl aus. Von ihnen umfassten 43 % verschiedene *Eunotia*-Arten, besonders *E. arcus* war häufig (22 %). Die überwiegende Art war jedoch *Pinnularia microstaron* fo. *diminuta* (41 %). Ihre Reichlichkeit weist auf optimale Wuchsverhältnisse in kaltem oder nährstoffreichem Wasser hin.

Zur Zeit offenen Wassers erreichten die Planktonformen im See das Maximum. Besonders die im Herbst herrschenden Winde und der Wellengang verringerten im Oberflächenwasser den Anteil der übrigen Formen. So war im Herbst 67 der Anteil der Planktonformen (74,5 %) deutlich grösser als der der Benthos- und Epiphytenformen. Die häufigsten Arten waren *Melosira ambigua*, *M. italica*, *Fragilaria crotonensis* und *Stephanodiscus hantzschii*, alles Planktonformen und ausserdem, mit Ausnahme von *Melosira italica*, Arten echten eutrophen Wassers.

Beobachtungsstelle IV und die Uferzone

Die Probe, dem flachen Ostteil des Sees in rd. 200 m Entfernung vom Ufer (Abb. 2, Punkt IV) am 3. IV. 65 unter dem Eis hervor entnommen, deckte eine Diatomeenflora auf, die fast 100 %ige Benthos- und Epiphytenformen des Litoralgebiets umfasste. Die häufigsten Arten waren die für nährstoffreiche Gewässer typische *Nitzschia palea* (36 %), *Achnanthes linearis* + var. *pusilla* (14 %), *Navicula cryptocephala* (14 %) und *Nitzschia subtilissima* (13 %). Die Summe der verschiedenen *Nitzschia*-Arten betrug 57 % aller Diatomeen. *Nitzschia palea*, *Achnanthes linearis* + var. und *Navicula cryptocephala* sind in süssem und leicht brackigem Wasser gedeihende Formen. Die gleichzeitigen Wasseranalysen erwiesen einen besonders hohen NO_2 -Gehalt (1.75 mg/l), aber auch der Cl^- und der SO_4 -Gehalt waren verhältnismässig hoch (1.15 und 15.09 mg/l).

Die Diatomeenflora der nahe der Uferlinie gelegenen Uferzone besteht aus den örtlichen Epiphyten-, den in flachem Wasser lebenden Benthos und Uferplanktonformen wie auch den mit Wellengang und Wind angetriebenen Planktonformen und in gewissen Fällen auch den mit anderen Strömungen gewanderten Diatomeen. Zur Zeit offenen Wassers treiben Planktonformen in reichlicher Menge an die dem Winde ausgesetzten Küsten, wobei

ihr Anteil höher als bei den örtlichen Formen steigen kann. Die gemachten Beobachtungen von der Uferzone des Pyhäjärvi sind nur richtungweisend. Die eine von zwei Diatomeenproben ist am 24. VII. 63 im Südteil des Sees am Ansatz eines Felshangs auf einem vor den vorherrschenden Winden geschützten Sandstrand dem auf einem Stein gelegenen Schlamm entnommen worden (Beobachtungsstelle V), die andere am 5. VI. 63 auf einem Tonufer des östlichen Seeteils aus einer Uferblumensiedlung (Beobachtungsstelle VI).

Die Sandstrandflora erwies sich als artenreich und umfasste hauptsächlich örtliche Arten der Litoralzone (90 %). Die Epiphytenformen waren am häufigsten, insgesamt 53 %. Ihre Anordnung nach der Reichlichkeit war folgende: *Cymbella tumida* (12), *C. turgida* (9), *Cocconeis placentula* (6), *Didymosphenia geminata* (4), *Epithemia zebra* (4), *Rhoicosphenia curvata* (3), *Cymbella cymbiformis* (3). Unter den Benthosformen der Litoralzone waren am häufigsten *Melosira varians*, *M. arenaria* und *Synedra ulna* sowie einige *Navicula*-Arten. Das Uferplankton war durch *Fragilaria brevistriata* vertreten, das eigentliche Plankton durch *Melosira ambigua* und *M. italica*.

Die häufigsten Arten *Cymbella tumida* und *C. turgida* dürften keine bedeutsameren Indikatorarten sein. *Melosira varians* ist nach HUSTEDT (1957) oft Saprophyt. Das spärliche, aber allgemeine Vorkommen der in süßem und schwach brackigem Wasser angetroffenen Form *Rhoicosphenia curvata* im Pyhäjärvi-Becken (auch in Sedimenten) ist wahrscheinlich auf den Nährstoffreichtum des Sees zurückzuführen. Die als Litoralform von Grossseen, u.a. des Ancylussees, bekannte *Melosira arenaria* ist im Pyhäjärvi nur auf Sandstrand, nicht etwa in Sedimenten der offenen Seefläche angetroffen worden.

Die Flora des Tonufers unterschied sich von der vorhergehenden im Artenbestand und in den Reichlichkeitsverhältnissen der Arten, was zum Teil auf die verschiedenen Probenahmezeiten zurückzuführen ist. Auch hier bildete die örtliche Flora die Individuenmehrheit (85 %). Die häufigsten Arten waren: *Synedra ulna* + var. *oxyrhynchus* (23), *Fragilaria brevistriata* (19.5), *Melosira varians* (19), *Cymbella ventricosa* (10) und *Achnanthes minutissima* (3.5).

2. Die Diatomeenflora der Schichtenfolgen

Das jahreswarvige Sediment der Eintiefungsstelle um 1760—1960 n.Chr. Die mit dem Phleger-Bodenbohrer erhaltene ungestörte Tonablagerung von rd. 30 cm Mächtigkeit konnte nach dem Abtrocknen als gebändertes jahreswarviges Sediment festgestellt werden. Die Dicke der Warven entfiel auf eine Größenordnung von etwa 1.5 mm. Im feuchten Material liess sich eine Sulfidschichtung erkennen. In dem aus dem Sediment hergestellten

Dünnschliff ist zu ersehen (Abb. 9), das der gröbere Sommerteil des Tones reichlich Diatomeen, hauptsächlich *Melosira*-Kolonien, der Winterteil hingegen wenig enthält. Die Erscheinung erweist, dass das Absetzen der Diatomeen in ungefähr gleichem Rhythmus, wie ihr jährlicher Wachstumsrhythmus ist, hat vor sich gehen können. Dagegen erscheinen infolge der grossen Wassertiefe, des geringen Absetzens minerogenen Materials und der langen Ablagerungszeit der Diatomeen im Sediment die im Frühjahr und die im Herbst bestehenden Produktionsmaxima nicht voneinander getrennt. Nach MARGALEF (1961) beträgt die Sinkgeschwindigkeit der »passiven« Diatomeen $1.7-6 \times 10^{-3}$ cm/s, und weiter beläuft sich nach LOHMAN (1942) die Sinkgeschwindigkeit von Schalen mit einem Durchmesser von $10-20 \mu\text{m}$ in 20° warmem destilliertem Wasser auf 2.8×10^{-3} cm/s. Diese Werte dürften darauf hinweisen, dass sich in der Eintiefungsstelle des Pyhäjärvi die kleinsten Diatomeen etwa 2 Monate nach dem Sinken sedimentieren.

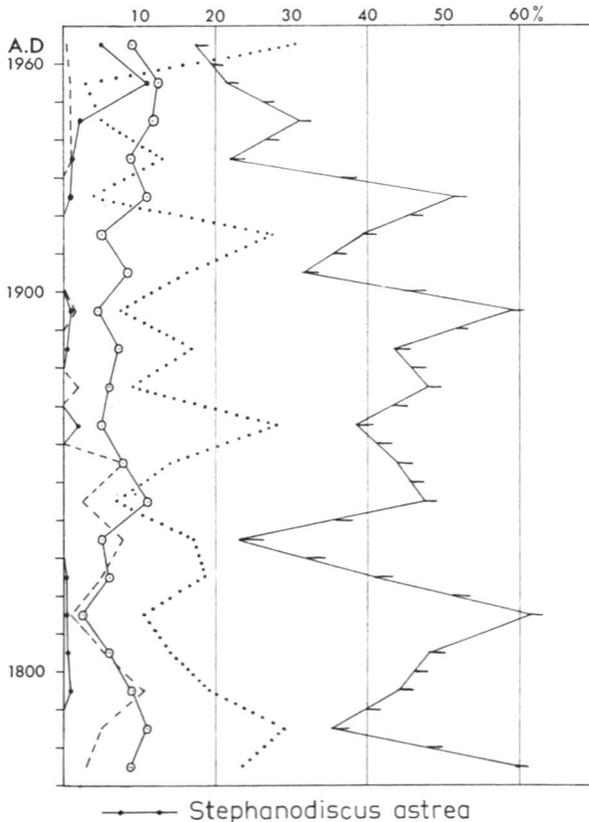


ABB. 10. Die vorherrschenden Diatomeen der Oberflächenschichten von jahreswarzigem Sediment. Erklärung der Zeichen in der, Abb. 11.

Um die Zusammensetzung der Diatomeenflora im Verlaufe der Sedimentation zu verfolgen, wurde die Tonprobe in Stücke geteilt, die je 10 Jahreswarven umfassten und über die Diatomeenanalysen ausgeführt wurden. Die wichtigsten Ergebnisse stehen im Diagramm Abb. 10, der Artenbestand im taxonomischen Verzeichnis. In der Diatomeenflora vollzieht sich von unten her gegen die Oberfläche hin eine Wandlung zur Widerspiegelung gesteigerter Eutrophie. Die Diatomeenflora des Sediments entspricht nicht völlig der zur Zeit der Sedimentation vorhandenen. Der bedeutendste Unterschied zwischen der Diatomeenflora der Wasserphase der Eintiefungsstelle und der des Oberflächenteils der Sedimentablagerung besteht im Vorkommen von *Stephanodiscus hantzschii*. Rezent bildet die Art zeitweilig ein Maximum, aber im Oberflächenteil des Sediments ist sie höchstens mit 3.5 % vertreten. Da *Stephanodiscus hantzschii* zart gebaut ist, untersteht er mehr als die übrigen dem Vergehen durch Auflösung. *Eunotia lunaris* ist wahrscheinlich auch der Auflösung ausgesetzt, ausserdem einige andere verhältnismässig dünnchalige Diatomeen, die rezent zeitweilig relativ reichlich, im Sediment aber sehr spärlich vorkommen. Nach CALVERT (1966) betrifft das Auflösen der Diatomeen im Wasser nach Aufhören der Lebensfunktionen selektiv die dünnchaligen Arten, während sich die robusten länger erhalten. JUSE (1966) hat seinerseits festgestellt, dass das Verhältnis zwischen den lebenden und den in Sedimenten erhalten gebliebenen Diatomeen im allgemeinen etwa 10: 1 ist. Wahrscheinlich ist dieses Verhältnis im Becken des Pyhäjärvi bedeutend geringer, denn einige Maximumarten des Oberflächenwassers, z.B. *Melosira* und *Stephanodiscus dubius*, sehen in den Sedimenten nicht abgenutzt aus.

In der rd. 30 cm mächtigen Ablagerung der Eintiefungsstelle ist *Melosira italica* die häufigste Art, mit Ausnahme des äussersten Oberflächenteils, wo die Indikatorart eutrophen Wassers, *Melosira ambigua*, das Maximum bildet. Die zunehmende Eutrophie des zur Zeit des Ablagerns des Oberflächenteils bestehenden Wassers zeichnet sich ausserdem in dem etwa mit den Jahreswarven von 1940—1950 beginnenden bedeutenderen Vorkommen von *Stephanodiscus astraea* ab. Diese Veränderungen spiegeln die vermehrte Anwendung von Kunstdüngemitteln. Die Diatomeenflora der tieferen Ablagerung unterscheidet sich von der übrigen in erster Linie durch die grössere *Melosira islandica* + ssp. *helvetica*. Diese als Grosseeseform angesehene Diatomee kommt unter anderem im Plankton des Flusses Porvoonjoki im Frühjahr und Winterbeginn verhältnismässig allgemein vor, und auf der anderen Seite ist ihre Hauptform in Finnland in erster Linie in den Seen Lapplands rezent angetroffen worden. Somit können die genannte Art und ssp. als Kaltwasser bevorzugend und ihr reichliches Auftreten in der Schichtenfolge als Anzeichen einer rel. kühlen Seephase angesehen werden.

In der Eintiefung (Beobachtungsstelle I) wurde mit dem Kolbenlot ein

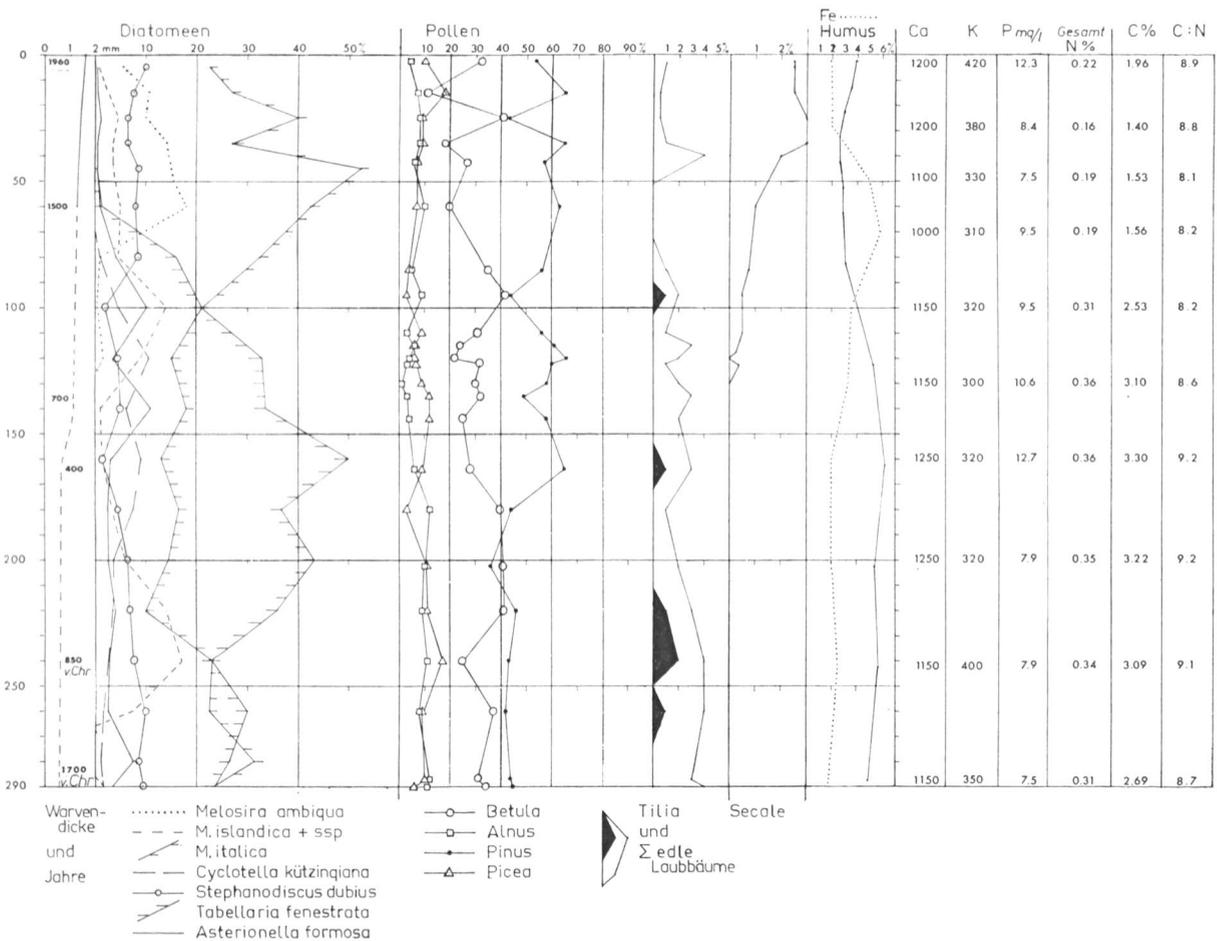


Abb. 11. Diatomeen- und Pollendiagramm sowie einige chemische Analysenergebnisse für das Sedimentprofil der Eintfehung.

ungestörtes Sedimentprofil aufgenommen. Die vorherrschenden Diatomeenverhältnisse sind in Abb. 11 zu sehen. Im Diatomeendiagramm sind drei verschiedene aufeinanderfolgende Diatomeenfloratypen zu erkennen, von denen der oberste eine ähnliche Flora wie das obenbeschriebene 30 cm-Profil umfasst. An der betreffenden Stelle sind *Melosira italica*, *M. ambigua*, *Stephanodiscus dubius* und *Melosira islandica* ssp. *helvetica* vorherrschend. Diese Flora bezeugt eine rel. eutrophe Seephase, und möglicherweise hat auf ihre Entwicklung die Wandlung der umgebenden Tonflächen in Anbaugelände eingewirkt. Das Auftreten von *Secale* hat einige Zeit vor der letzten Veränderung des Diatomeenfloratyps begonnen. Nach den Warvenzählungen liegt die Anfangszeit der *Secale*-Kurve und zugleich des Getreidebaus in Artjärvi um 750 n. Chr. Sie ist um 250 Jahre jünger als nach FRIES (1963) auf Åland.

Den mittleren (70—140 cm) Teil der Sedimentablagerung kennzeichnet in den Diatomeendiagrammen das bedeutende *Tabellaria fenestrata*-Maximum. Die Art ist rezent häufig in stehenden und schwach fließenden Gewässern (HUSTEDT 1930), sie ist eine acidophile Form (HUSTEDT 1957). In den Gewässern Finnlands ist sie eine häufige Planktonform, auch in nährstoffarmen, klaren Gewässern. Somit ist die Art in bezug auf den Eutrophiegrad als indifferent anzusehen, wahrscheinlich gedeiht sie jedoch in humushaltigem Wasser sogar besser als in tontrübem (vgl. JÄRNEFELT 1952). Das Vorkommen dieser Art wiederholen in rel. häufiger Anwesenheit *Asterionella formosa* und *Cyclotella kützingiana* + var. *radiosa*. Erstere erscheint zusammen mit *A. gracillima*, und zwischen ihnen besteht keine deutliche Grenze. Ökologisch wird *A. formosa* im allgemeinen zu den Formen eutropher Seen gezählt, aber *A. gracillima* zu den Kaltwasserformen (CLEVE-EULER 1953). *Cyclotella kützingiana* + var. *radiosa* ist am ehesten mit oligotrophen Gewässern verbunden (MÖLDER & TYNNI 1968). *Melosira italica* bildet an der mittleren Profilstelle das Minimum ihres Vorkommens, obschon die Menge noch 10 % übersteigt. Das Minimum ist wahrscheinlich eher auf die Verringerung der Individuenmenge zurückzuführen als auf ein Verdecken durch die besonders grosse Diatomeenabundanz der Maximumart. Darauf weist unter anderem das rel. häufige Auftreten vieler häufiger Arten hin.

Gegenüber der dem Oberflächenteil des Sediments näher gelegenen Schicht unterscheidet sich die Flora des mittleren Teils auch durch einige in saurem Wasser gedeihende Diatomeenarten. Solche sind *Stenopterobia intermedia*, *Frustulia rhomboides* var. *amphipleuroides* und *Tetracyclus lacustris*. Sie kommen in der mittleren Stelle (ca. 1 %) am häufigsten vor. Nach HUSTEDT (1957) ist auch *Tabellaria flocculosa* eine acidophile Form, so dass der sich vom gegenwärtigen unterscheidende Floratyp der mittleren Schicht teilweise durch die Humusmenge verursacht worden ist, die während des Ablagerens in grösserer Masse als gegenwärtig den See erreicht hat. Die über die Schichten-

folge mit dem *EEL*-Kalorimeter ausgeführten Humusbestimmungen erweisen an der Stelle des *Tabellaria fenestrata*-Maximums den höchsten Humusgehalt. Das Wasser ist wahrscheinlich damals klarer als gegenwärtig gewesen, worauf auch die Dünnhheit der Jahreswarven hinweist, die z.B. in 164 cm Tiefe durchschnittlich 0.5 mm ausmacht. Weiter aufwärts beträgt z.B. in 136 cm Tiefe die Dicke durchschn. 0.9 mm, von wo aus sie nach oben zu stärker wird und ganz zuoberst in einem Anteil von einigen 10 cm durchschn. 1.5 mm Dicke erreicht. Die stärkere Dicke der Warven im oberen Teil des Sedimentprofils dürfte, ausser auf einer geringeren Kompression, auch auf einer grösseren Sedimentation des aus den Kulturen angeschwemmten Tonmaterials beruhen.

Für den untersten Teil der untersuchten Schichtenfolge kennzeichnend ist das verhältnismässig reichliche Vorkommen von *Melosira islandica* und besonders ssp. *helvetica*. Die optimalen Verhältnisse von ssp. *helvetica* bestehen nach Mölder (HALME & MÖLDER 1958) in schwach brackigem kühlem Wasser. Sie ist bekannt als Form des Ancylossees. Im Pyhäjärvi bezeichnet sie wahrscheinlich eine während der Zeit des Absetzens vorhandene verhältnismässig kühle Seephase. Nach vorläufigen Schätzungen der Warvenmenge liegt das Maximum von *Melosira islandica* + ssp. um 800 v.Chr. oder nahe der in Skandinavien durch C^{14} -Bestimmungen festgestellten letzten bedeutsamen Klimaverschlechterung um 500 v.Chr., was der Rekurrenzfläche III entspricht (J. LUNDQVIST 1957). In dem Pollendiagramm von Abb. 11 hat die *Picea*-Kurve in über 290 cm Tiefe eingesetzt, wo sie sich in steigender Lage befindet, und ihr Anfang liegt offenbar sehr nahe. Nach den Warvenbewertungen hätte sich *Picea* schon 1700 v.Chr. in das Gebiet ausgebreitet.

An der von der Eintiefung nach Nordwesten gelegenen Beobachtungsstelle II wurde auch aus 25 m Tiefe ein Sedimentprofil entnommen. Diatomeenanalytisch konnten im Sedimentprofil die entsprechenden drei diatomeenökologisch verschiedenen Phasen wie an Beobachtungsstelle I wahrgenommen werden.

Die im flachen Ostteil des Pyhäjärvi etwa 0.2 km vom Ufer entfernt an Beobachtungsstelle IV erbohrte Probenreihe umfasst eine Tonablagerung von 3.5 m. Der vorherrschende Artenbestand tritt schwächer auf, ist aber der gleiche wie in den zwei obenbeschriebenen Profilen, abgesehen von *Cyclotella kützingiana*, die fehlt. In der Diatomeenflora treten Sukzessionsphasen verschiedenen Typs nicht deutlich hervor, sondern die Veränderungen sind gering. Doch ist der Oberteil von 1 m auf Grund der *Melosira italica*- und *M. ambigua*-Vorkommen dem der Eintiefungsstelle nächstgelegenen Teil zuzuordnen. Dem mittleren Teil im Profil der Eintiefungsstelle entspricht wohl das in Profil IV zu sehende bescheidene *Tabellaria fenestrata*-Maximum, aber die unteren Abschnitte weichen am meisten auch aus dem Grunde voneinander

ab, dass der untere Teil von Profil IV ältere Sedimente als das Profil der Eintiefungsstelle umfasst.

Die Abweichung von der Sukzession der Diatomeenflora in dem geschützten tiefen mittleren Teil ist in erster Linie auf zwei Ursachen zurückzuführen. Erstens finden sich, wie die rezenten Florabeobachtungen erweisen, im flachen Ostteil des Sees unter vom Eise geschützten Verhältnissen hauptsächlich Epiphyten- und Benthosformen der Litoralzone, was den durchschnittlichen Anteil der Planktonformen vermindert. Zweitens verläuft durch den flachen Ostteil in das Seebecken eine Strömung, die wahrscheinlich eine Umlagerung lockerer Grundsedimente verursacht hat.

Mit Hilfe der oben dargestellten Diatomeen- und Sedimentuntersuchungen hat sich herausgestellt, dass es im Pyhäjärvi während der letzten rd. 3700 Jahre drei verschiedene Seestadien gegeben hat. Der zuoberst gelegene, am ehesten der gegenwärtigen Situation entsprechende Anteil (0—70 cm) stellt die eutrophste Phase dar und der mittlere (70—240 cm) wiederum eine dystrophe. Der unterste Anteil (240—290 cm) hat sich nach der Diatomeenflora während einer ziemlich kühlen und zugleich schwach eutrophen Seephase abgesetzt. So hat der Pyhäjärvi eine Wandlung im Trophiegrad durchgemacht, und zwar von einer schwach eutrophen Seephase zu einer dystrophen und schliesslich von der dystrophen zu einer deutlich eutrophen. In diesem Fall hat die Entwicklung in der letzten Phase also eine andere Richtung eingeschlagen als bei dem in Südwestfinnland gelegenen See Kyrösjärvi, der aus einem eutrophen zu einem dystrophen geworden ist (ALHONEN 1967).

Literaturverzeichnis

- ALHONEN, P. 1967: Palaeolimnological investigations of three inland lakes in South-Western Finland. — *Acta Bot. Fennica* 76: 1—59.
- CALVERT, S. E. 1966: Accumulation of diatomaceous silica in the sediments of the Gulf of California. — *Geol. Soc. Amer. Bull.* 77: 569—596.
- CLEVE-EULER, A. 1938: Våra sjöars Melosira-plankton. (Melosiraplankton in unseren Seen) — *Bot. Not. Lund* 1938: 143—163.
- 1951, 1953: Die Diatomeen von Schweden und Finnland, I, II. — *Kungl. Svenska Vetenskapsakad. Handl.*, 4. Ser., 2 (1): 1—161; 4 (1): 1—158.
- EINSELE, W. 1944: Der Zeller See, ein lehrlicher Fall extremer limnologischer Verhältnisse. — *Zeitschr. Fischerei Hilfswiss.* 42 (2/3): 151—168.
- FOGED, N. 1964: Freshwater diatoms from Spitsbergen. — *Tromsø Museums Skrifter* 11: 1—205.
- FRIES, M. 1963: Pollenanalyser från Åland. — *Ålands Odling*. pp. 102—125 Mariehamn.
- HALME, E. & MÖLDER, K. 1958: Planktologische Untersuchungen in der Pojo Bucht und angrenzenden Gewässer II. Phytoplankton. — *Ann. Bot. Soc. Vanamo*, 30 (3): 1—71.
- HANSEN, K. 1959: Sediments from Danish lakes. — *J. Sedimentary Petrology* 29: 38—46.
- HUSTEDT, FR. 1930: Bacillariophyta. — In: A. PASCHER, *Die Süßwasserflora Mitteleuropas*. X. 1—466. Jena.
- 1957: Die Diatomeenflora des Fluss-Systems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. — *Abh. Naturwiss. Ver. Bremen* 34: 181—440.
- IGNATIUS, H. 1958: On the Rate of Sedimentation in the Baltic Sea. — *C. R. Soc. Geol. Finlande* 30: 135—144. *Bull. Comm. Geol. Finlande* 180.

- 1966: Uusia piirteitä Itämeren merigeologisissa tutkimuksissa. (Summary: New developments in the Current Finnish Marine Geological Research in the Baltic) — *Geologi* 18: 17—20.
- JUSE, A. 1966: Diatomeen in Seesedimenten. — *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 4: 1—32.
- JÄRNEFELT, H. 1936: Zur Limnologie einer Gewässer Finnlands XIV. — *Ann. Zool. Soc. Zool. — Bot. Fennicae Vanamo* 4 (3): 1—19.
- 1952: Plankton als Indikator der Trophiegruppen der Seen. — *Ann. Acad. Scient. Fennicae (A IV)* 18: 1—29.
- LOHMAN, K. E. 1942: Geology and biology of North Atlantic deep-sea cores between Newfoundland and Ireland. Part 3: Diatomaceae. — *U. S. Survey Prof. Paper* 196: 55—86.
- LUNDOVIST, J. 1957: C¹⁴-dateringar av rekurrensytor i Värmland. — *Sveriges Geol. Unders. (C)* 554: 1—22.
- MARGALEFF, R. 1961: Velocidad de sedimentation de organismos pasivos de fitoplankton. — *Inv. Pasqueras* 18: 3—8. Barcelona.
- MERILÄINEN, J. 1967: The Diatomen flora and the hydrogen ion concentration of the water. — *Ann. Bot. Fennici* 4: 51—58.
- MORTIMER, C. H. 1941: The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. — *J. Ecol.* 29: 280—329.
- MÖLDER, K. & TYNNI, R. 1966: Diatomeen im Plankton bei der Stadt Helsinki und in der Stromschnelle Putaankoski in Kirchs. Askola Südfinnland, im Jahre 1964. — *Ann. Bot. Fennici* 3: 265—285.
- 1967, 1968: Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen I, II. — *C. R. Soc. Geol. Finlande* 39: 199—217; 40: 151—170.
- OHLE, W. 1955: Ionenaustausch der Gewässersedimente. — *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 8 (suppl.): 221—245.
- PERFIELD, B. W. 1931: Das Genetz der Periodizität der Schlammablagung und die Tiefwasserbohrung. — *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 5: 298—306.
- RYHÄNEN, R. 1968: Die Bedeutung der Humussubstanzen im Stoffhalt der Gewässer Finnlands. — *Verh. Int. Limnol.* 14: 168—178.
- SAURAMO, M. 1958: Die Geschichte der Ostsee. — *Ann. Acad. Sci. Fennicae (A III)* 51: 1—522.
- SCHOSTAKOWITSCH, W. B. 1931: Die Bedeutung der Untersuchungen der Bodenablagerungen der Seen für einige Fragen der Geophysik. — *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 5: 307—318.
- TYNNI, R. 1960: Ostseestadium während der Allerödzeit in Askola, Ost-Uusimaa, (Südfinnland). — *C. R. Soc. Geol. Finlande* 32: 149—157.
- 1966: Über spät- und postglaziale Uferverschiebung in der Gegend von Askola, Südfinnland. — *Bull. Comm. Geol. Finlande* 223: 1—97.

Verzeichnis der Arten

- I—VI = Beobachtungstellen R. = rezente. S. = subfossile Vorkommen. * = recht allgemeine rezente oder subfossile Diatomeen.
- Achnanthes affinis* Grun. — I S.
- A. biasoletiana* (Kütz.) Grun. — I R. S.
- A. clevei* Grun. — I R. S.
- A. exigua* Grun. — I, II S.
- var. *heterovalvata* Krasske — R. S.
- A. exilis* Kütz. — I S.
- A. lanceolata* (Breb.) Grun. — I, II, III R., I, II S.
- var. *elliptica* Cleve — II S.
- A. linearis* (W. Sm.) Grun. — I, II S., III, IV R.
- var. *pusilla* Grun. — I, II R., S., IV R.
- A. minutissima* Kütz. — I R., S., II, VI R.
- * -var. *cryptocephala* Grun. — I, II R., S.
- A. obliqua* (Greg.) Hust. — I, II S.
- A. oestrupii* (A. Cleve) Hust. — I, II S.
- A. peragallii* Brun. u. Héribaldi — I, II S.
- A. plönensis* Hust. — I R.
- A. subsalsoides* Hust. — I R.
- A. suchlandti* Hust. — III R. I S.
- Amphiplaura pellucida* Kütz. — I S.
- Amphi-prora ornata* Bailey — I R., S., II, IV S.
- Amphora ovalis* Kütz. — I, II S.
- var. *libyca* (Ehr.) Cleve — I, II S.

- var. *pediculus* Kütz. — I R., S., II S.
A. perpusilla Grun. — I, III R.
 * *Anomooneis serians* var. *brachysira* Breb. — I, II R.
 * *Asterionella formosa* Hassall — I R., I, II, IV S.
A. gracillima (Hantz.) Heiberg — I R., S., II, III R.
A. ralfsii W. Sm. — I, II S.
Attheya zachariasi J. Brun I, II R.
Caloneis bacillum (Grun.) Meresk. — III R., I S.
C. schumanniana (Grun.) Cleve — I S.
C. silicula (Ehr.) Cleve — I, II, IV S.
Campylodiscus noricus var. *hibernica* (Ehr.) Grun. — I S.
Cocconeis diminuta Pant. — I R. S. II R.
C. placentula Ehr. — I, III, V R. I, II, IV S.
 -var. *euglypta* (Ehr.) Cleve — I R., S., II S.
C. thumensis A. Meyer — I S.
Cyclotella bodanica Eulenk. — II, IV S.
C. comta (Ehr.) Kütz. — I R., S., II, IV S.
 -var. *oligactis* (Ehr.) Grun. — I S.
 * *C. kützingiana* Tw. — I, II, IV S.
 -var. *planetophora* Fricke — IV S.
 -var. *radiosa* Fricke — I, II S.
C. meneghiniana Kütz. — II S.
C. quadriuncta Schröter — I, II S.
C. stelligera Cleve et Grun. — I, II R., III R. IV S.
Cymatopleura elliptica var. *hibernica* (W. Sm.) Hust. — II S.
C. solea (Breb.) W. Smith — I, II S.
Cymbella affinis Kütz. — I R., I, II S.
C. aspera (Ehr.) Cleve — I, II S.
C. austriaca Grun. — I S.
C. cistula (Hemprich) Grun. — I, II, IV S.
 -var. *maculata* (Kütz.) Van Heurck — I, IV S.
C. cuspidata Kütz. — II, IV S.
C. cymbiformis van Heurck — I, II, IV S.
C. gracilis (Rabenh.) Cleve — I R., S.
C. hauckii van Heurck — IV S.
C. helvetica Kütz. — I S.
C. lanceolata (Ehr.) van Heurck — I, II S.
C. naviculiformis Auerswald — I S.
C. prostrata (Perkeley) Cleve — I R. S.
C. sinuata Gregory — I R. S.
C. tumida (Breb.) van Heurck — V R., I, II, IV S.
C. turgida (Greg.) Cleve — I, II, III, V R., I, II, IV S.
C. ventricosa Kütz. — I, VI, R. I, IV S.
Diatoma elongatum Agardh — I, II R.
Didymosphenia geminata (Lyngb.) M. Schmidt — V R. I, II S.
Diploneis elliptica (Kutz.) Cleve — I R., I, II, IV S.
D. finnica (Ehr.) Cleve — I, II, IV S.
- D. oculata* (Breb.) Cleve — I R.
D. ovalis (Hilse) Cleve — I, IV S.
 var. *oblongella* (Naegeli) Cleve — I, IV S.
D. parma Cleve — I, II S.
Epithemia sorex Kütz. — IV S.
E. turgida (Ehr.) Kütz. — IV S.
 -var. *westermanni* (Kütz.) Grun. — III R.
E. zebra (Ehr.) Kütz. — V R. I, II, IV S.
 -var. *porcellus* (Kütz.) Grun. — I, II, IV S.
 -var. *saxonica* (Kutz.) Grun. — III S.
Eunotia arcus Ehr. — II, III R.
E. clevei Grunow — II S.
E. faba (Ehr.) Grun. — I, II, III R.
E. flexuosa Kütz. — IV S.
E. formica Ehr. — II, IV S.
E. lapponica Grun. — IV S.
 * *E. lunaris* (Ehr.) Grun. — I, II, III R.
 -var. *capitata* Grun. — II R.
E. monodon Ehr. — IV S.
E. pectinalis (Kutz.) Rabenh. — I, II, IV S.
 -var. *minor* (Kütz.) Rabenh. — I, II, III R. I, II, IV S.
 -var. *undulata* (Ralfs) Rabenh. — I, II S.
 -var. *ventralis* (Ehr.) Hust. — I, II, IV S.
E. praeurupta Ehr. — I, II R. IV S.
 -var. *bidens* Grun. II S.
E. robusta var. *tetraodon* Ralfs — II, IV S.
E. sudetica (O. Müll) Hust. — III R. I, IV S.
E. tenella (Grun.) Hust. — II, III R.
E. tridentula var. *perminuta* Grun. — I R.
E. valida Hust. — II, IV S.
E. veneris (Kütz.) Müller — I S.
Fragilaria bicapitata A. Mayer — I R., II S.
F. brevistriata Grun. — I, II, III, V, VI, R. I, II, IV S.
F. capucina Desm. — I R., I, II S.
 -var. *lanceolata* Grun. — I, II R., I, II S.
 -var. *mesolepta* Rabenh. — I S.
F. costricta f. *stricta* A. Cleve — I S.
F. construens (Ehr.) Grun. — I, II S.
 -var. *binodis* (Ehr.) Grun. — I S.
 -var. *subsalina* Hust. — II S.
 -var. *venter* (Ehr.) Grun. — I S.
 * *F. crotonensis* Kitton — I, II, III R., I S.
F. intermedia Grun. — I, II R., I, II S.
F. lapponica Grun. — I, II S.
F. pinnata Ehr. — I, II R. I, II S.
 -var. *lancetula* (Schumann) Hust. — I, II S.
F. virescens Ralfs — I R. I, II, IV S.
 -var. *elliptica* Hust. — I R.
Frustulia rhomboides (Ehr.) De Toni — II, IV S.
 -var. *amphipleuroides* Grun. — I R. I, II, IV S.
 -var. *saxonica* (Rabenh.) De Toni — I S.
Gomphonema abbreviatum Kütz. — I S.

- G. acuminatum* Ehr. — I, II, IV S.
 -var. *brebissonii* (Kütz.) Cleve — II R.
 -var. *coronata* (Ehr.) W. Smith — I, II S.
 -var. *turris* (Ehr.) Cleve — I, II R.
 * *G. angustatum* (Kütz.) Rabenh. — I, II R., I, IV S.
 -var. *producta* Grun. — I, II, III R.
G. apicatum Ehr. — I S.
G. augur Ehr. — I, II R., I, II S.
G. bohemicum Reichelt et Fricke — II R. I, II S.
G. constrictum Ehr. — I R., I, II, IV S.
 -var. *capitata* (Ehr.) Cleve — I S.
G. gracile Ehr. — I S.
G. intricatum var. *pumila* Grun. — I S.
G. lanceolatum Ehr. — I R.
G. longiceps fo. *suecica* Grun. — I R.
G. olivaceum (Lyngo) Kütz. — I, II, IV R. I, II S.
 -var. *minutissima* Hust. — I S.
G. parvulum (Kütz.) Grun. — I, II, III R. I, II S.
G. tergestinum (Grun.) Fricke — I S.
Gyrosigma acuminatum (Kütz.) Rabenh. — I R., I, II, IV S.
G. attenuatum (Kütz.) Rabenh. — IV S.
G. hützingii (Grun.) Cleve — I, IV S.
G. spencerii var. *nodifera* Grun. — I R. I, IV S.
Hantzschia amphioxys (Ehr.) Grun. — I R., S.
H. elongata (Hantzsch) Grun. — I S.
 * *Melosira ambigua* (Grun.) O. Miller — I, II, III, V R. I, II, IV S.
M. arenaria Moore — V R., II S.
M. distans (Ehr.) Kütz. — I, II, III R. I, II, IV S.
 -var. *livata* (Ehr.) Bethge — I, II R., S.
M. granulata (Ehr.) Ralfs — I, II, III, R., I, II, IV S.
 -var. *angustissima* Müller — I R., I, II S.
 -var. *muzzanensis* Meister — I, II S.
M. islandica O. Müller — I R., I, II, IV S.
 * -ssp. *helvetica* Müller — I R. I, II, IV S.
 * *M. italica* (Ehr.) Kütz. — I, II, III, V R. I, II, IV S.
 -ssp. *subarctica* Müller — I R., I, II S.
 -var. *valida* Grun. — I R., S.
M. undulata (Ehr.) Kütz. II S.
 -var. *mormanni* Arnott — I, II, IV S.
M. varians Agardh — I, II, III, V, VI R., I, II, IV S.
Meridion circulare var. *constricta* (Ralfs) van Heurck — I R.
Navicula aboensis (Cl.) Hust. — I, II S.
N. angelica Ralfs — I R., S.
N. bacillum Cleve — I S.
N. cocconeiformis Gregory — III R. I. II S.
N. costulata Grun. — I R.
 * *N. cryptocephala* Kütz. — I, II, III, IV R. I, II S.
N. cuspidata Kütz. — IV S.
N. dicephala (Ehr.) W. Smith — III R., I, IV S.
N. gastrum Ehr. — I S.
N. hungarica Grun. — I, II S.
N. inflata Donkin — I R.
N. jentschii Grun. — I R., S.
N. järnefeltii Hust. — I S.
N. lacustris Gregory — I, II S.
N. lanceolata (Ag.) Kütz. — I, II, IV S.
N. menisculus Schum. — I R., I, II, IV S.
N. minima Grun. — I R.
N. minuscula Grun. — III R.
N. pseudoscutiformis Hust. — I, II S.
N. pupula Kütz. — I S.
 -var. *elliptica* Hust. — III R., I S.
 -var. *rectangularis* (Greg.) Grun. — I S.
N. radiosa Kütz. — I R., I, II, IV S.
 -var. *tenella* (Breb.) Grun. — I, II R., I S.
N. rhyngocephala Kütz. — I, IV S.
N. schönfeldii Hust. — I S.
N. similis Krasske — I R.
N. tuscula fo. *obtusa* Hust. — I S.
N. viridula Kütz. — I S.
Neidium affine (Ehr.) Cleve — I, II S.
N. bisulcatum (Lagerstedt) Cleve — II S.
N. dilatatum (Ehr.) Cleve — I S.
N. hitchcockii — I, II S.
N. iridis (Ehr.) Cleve — I, IV S.
 -var. *ampliata* (Ehr.) Cleve — IV S.
 -var. *amphicomphus* (Ehr.) V. Heurck — I S.
N. sauramoii Mölder — I S.
Nitzschia acicularis W. Sm. — I, II R.
N. acuta Hantzsch — I, III R., I, II S.
N. amphibia Grun. — II, III R., I S.
N. angustata (W. Sm.) Grun. — I, II, IV S.
N. dissipata (Kütz.) Grun. — I, II, III R. I S.
N. filiformis (W. Sm.) Hust. — I S.
N. fonticola Grun. — I, II R. S.
N. gandersheimiensis Krasske — IV S.
N. gracilis Hantzsch — I, II, III, IV R., I S.
N. heufleriana Grun. — I R., S.
N. hungarica Grun. — I S.
N. ignorata Krasske — IV S.
N. hützingiana Hilse — I, II, III, IV R., I, II S.
N. linearis W. Smith — I, II S.
N. lorenziana var. *subtilis* Grun.
 * *N. palea* (Kütz.) W. Sm. — I, II, III R., I, II, IV S.
N. recta Hantzsch — I R., I, II S.
N. sigma (Kütz.) W. Sm. — II R., I S.
N. sigmoidea (Ehr.) W. Sm. — I, II R., I IV S.
N. spectabilis (Ehr.) Ralfs — I, II, IV S.
N. sublinearis Hust. — I S.
N. subtilis (Kütz.) Grun. — I, II, IV R.
N. tryblionella Hantzsch — I S.

- var. *victoriae* Grun. — I, II, IV S.
N. vermicularis (Kütz.) Grun. — I R., II S.
Opephora martyi Hérib. — I R., S.
Pinnularia acrosphaeria Bréb. — I S.
P. appendiculata (Ag.) Cleve — IV S.
P. braunii (Grun) Cleve — II S.
P. divergens var. *elliptica* Grun. — II S.
P. gibba Ehr. — II R., I, II S.
 -var. *linearis* Hust. — I, II S.
 -var. *mesogongyla* (Ehr.) Hust. — IV S.
P. globiceps Greg. — I S.
P. hemiptera (Kütz.) Cleve — I, II S.
P. interrupta W. Sm. — I R., I, II S.
P. macilenta (Ehr.) Cleve — I S.
P. mesolepta (Ehr.) W. Sm. — I, IV S.
P. microsturon (Ehr.) Cleve — I S.
 -fo. *diminuta* Grun. — I, III R.
P. molaris Grun. — I, IV S.
P. nodosa Ehr. — I, II, IV S.
P. viridis (Nitzsch) Ehr. — I, IV S.
Rhoicosphenia curvata (Kütz.) Grun. — I, III, V R., I S.
Rhopalodia gibba (Ehr.) Müller — II, IV S.
 -var. *ventricosa* (Ehr.) Grun. — I, II, IV S.
Stauroneis acuta W. Sm. — II S.
S. anceps fo. *gracilis* (Ehr.) Cleve — I S.
S. phoenicenteron Ehr. — II, IV S.
S. smithii Grun. — I S.
Stenopterobia intermedia Lewis — I, II S.
 -fo. *capitata* — II S.
Stephanodiscus astraea (Ehr.) Grun. — I, II, III R., I, II, IV S.
 -var. *minutula* (Kütz.) Grun. — I, II, III R., I, II, IV S.
 * *S. dubius* (Fricke) Hust. — I, II, III R., I, II, IV S.
 * *S. hantzschii* Grun. — I, II, III R., I, II S.
Surirella angustata Kütz. — I, II R., S.
 -var. *constricta* Hust. — I, II S.
S. biseriata Bréb. — I S.
 -var. *bifrons* (Ehr.) Hust. — IV S.
 -fo. *punctata* Meister — II S.
S. capronii Bréb. — II, IV S.
S. didyma Kütz. — II S.
S. elegans Ehr. — II S.
S. linearis W. Sm. — I S.
 -var. *constricta* (Ehr.) Grun. — I S.
 -var. *helvetica* (Brun.) Meister — I R., IV S.
S. ovata Kütz. — I S.
 -var. *pinnata* (W. Sm.) Hust. — I, III R., I, II S.
S. robusta Ehr. — I, II S.
 -fo. *punctata* Hust. — II S.
 -var. *splendida* (Ehr.) van Heurck — IV S.
S. tenera Greg. — IV S.
S. turgida W. Sm. — I, II S.
Synedra acus Kütz. — I R., I, II, IV S.
 -var. *angustissima* Grun. — I S.
 -var. *radians* (Kütz.) Hust. — II S.
S. amphicephala Kütz. — II R.
S. capitata Ehr. — II, IV S.
S. parasitica (W. Sm.) Hust. — I, II S.
 -var. *constricta* Mayer — I R., II S.
S. rumpens Kütz. — I, II S.
S. tenera W. Sm. — I, II R., I S.
S. ulna (Nitzsch) Ehr. — I, II, V, VI R., I, II, IV S.
 -var. *aequalis* (Kütz.) Hust. — II S.
 -var. *danica* (Kütz.) Grun. — I, II R., I, II S.
 -var. *oxyrhynchus* (Kütz.) van Heurck — VI R., I S.
 -var. *spathulifera* Grün. — II S.
S. vaucheriae Kütz. — I, II, III R., I, II, IV S.
 * *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kütz. — I, II R., I, II, IV S.
 * *T. flocculosa* (Roth) Kütz. — I, II, III R., I, II, IV S.
Tetracyclus emarginatus (Ehr.) W. Sm. — I, II S.
T. lacustris Ralfs — I, II, IV S.
 -var. *strumosa* (Ehr.) Hust. — IV S.

Esa Kukkonen, Ph. Lic. und

Risto Tynni, Ph. D.

Geologische Forschungsanstalt, Otaniemi, Finland

76. Pentti Alhonen: Palaeolimnological investigations of three inland lakes in South-western Finland. 59 pp. (1967).
77. Carl-Johan Widén, Jaakko Sarvela and Teuvo Ahti: The *Dryopteris spinulosa* complex in Finland. 24 pp. (1967).
78. Rolf Grönblad, Arthur M. Scott and Hannah Croasdale: Desmids from Sierra Leone, tropical West Africa. 41 pp. (1968).
79. Orvokki Ravanko: Macroscopic green, brown, and red algae in the southwestern archipelago of Finland. 50 pp. (1968).
80. Yrjö Vasari and Annikki Vasari: Late- and Post-glacial macrophytic vegetation in the lochs of Northern Scotland. 120 pp. (1968).
81. Liisa Kaarina Simola: Comparative studies on the amino acid pools of three *Lathyrus* species. 62 pp. (1968).
82. Gábor Uherkovich: Zur Chlorococcalen-Flora Finnlands. I. Ekenäs-Tvärminne-Gegend. 1. 26 S. (1968).
83. Åke Niemi: On the railway vegetation and flora between Esbo and Ingå, S. Finland. 28 pp. (1969).
84. Åke Niemi: Influence of the Soviet tenancy on the flora of the Porkkala area. 52 pp. (1969).
85. Liisa Kaarina Simola: Comparative studies on the sugar pools of three *Lathyrus* species. 16 pp. (1969).
86. Liisa Kaarina Simola: Effect of different sucrose concentrations and gibberellic acid on anatomy of *Bidens radiata* Thuill. and *B. pilosa* L. 26 pp. (1969).
87. Irmeli Vuorela: The indication of farming in pollen diagrams from southern Finland. 40 pp. (1970).
88. Marjatta Aalto: Potamogetonaceae fruits. I. Recent and subfossil endocarps of the Fennoscandian species. 85 pp. (1970).
89. Pekka Isoviita: Dillenius's 'Historia muscorum' as the basis of hepatic nomenclature, and S. O. Lindberg's collection of Dillenian bryophytes. 28 pp. (1970).
90. Esa Kukkonen und Risto Tynni: Die Entwicklung des Sees Pyhäjärvi in Süd-finnland im Lichte von Sediment- und Diatomeenuntersuchungen. 30 S. (1970).

Exchange — Austausch — Echange

SOCIETAS PRO FAUNA ET FLORA FENNICA
Snellmaninkatu 9—11 — Snellmansgatan 9—11
Helsinki 17 — Helsingfors 17

For sale — Verkauf — En vent

Akateeminen Kirjakauppa — Akademiska Bokhandeln
Helsinki 10 — Helsingfors 10

B I

HYK LUONNONTIETEIDEN KIRJASTO



104 002 4034

