Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

Bericht Nr. 12

Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees

unter besonderer Berücksichtigung ihres Zeigerwertes für den Gütezustand

Bearbeiter: G. Lang

Landessammlungen für Naturkunde in Karlsruhe

— 1973 —

Inhaltsübersicht

1 Einleitung 5

2 Standort und Vegetation in der Uferzone 6

2.1 Morphologische und ökologische Ufergliederung 6
2.2 Pflanzengesellschaften und ihre Standorte 9
2.3 Zeigerwert für den Gütezustand 14

3 Untersuchungsmethoden 16

3.1 Luftbilder 16
3.2 Feldarbeit 20
3.3 Auswertung 22

4 Bestandsaufnahmen der Pflanzendecke 24

4.1 Makrophyten des Sublitorals 24
4.2 Makrophytengesellschaften des Sublitorals 38
4.3 Röhricht- und Strandlingsgesellschaften des Eulitorals 42

5 Vegetationsveränderungen im Zeitraum 1961—1967 46

5.1 Phänologie der Makrophyten 46
5.2 Vegetationsveränderungen und Klima 48
5.3 Vegetationsveränderungen und Nährstoffhaushalt 54

6 Vergleich mit früheren Bestandsaufnahmen 55

6.1 Obersee mit Überlinger See 55
6.2 Untersee 57
6.3 Tiefenverbreitung der Makrophyten 58

7 Heutiger Gütezustand der Uferzone 59

7.1 Allgemeines 59
7.2 Natürlicher Zustand der Uferzone (I) 62
7.3 Uferbereiche mittlerer Güte (II) 63
7.4 Uferbereiche geringer Güte (III) 63

8 Zusammenfassung 64

9 Literatur 65

Abbildungen

1	Morphologie des Bodenseebeckens und Lebensräume im See	7
2	Morphologische und ökologische Standortsgliederung im Uferbereich	7
3	Vegetationskomplexe im Litoral des Bodensees	15
4	Bildmittenübersicht der Reihenmeßbild-Befliegung 1967	18
5	Artenkartierung der Wasserpflanzen in Zahlenverschlüsselung und daraus abgeleitete Vegetationskarte	22
6	Verschlüsselung der Kartierungs- und Auswertungsergebnisse auf Randlochkarten	24
7	Fundorte der Arten 1–4	28
8	Fundorte der Arten 5–8	29
9	Fundorte der Arten 9–12	30
10	Fundorte der Arten 13–16	31
11	Fundorte der Arten 17–20	32
12	Fundorte der Arten 22–24	33
13	Fundorte der Arten 25–27	34
14	Fundorte und Frequenz der Gesellschaften 1 und 2	39
15	Fundorte und Frequenz der Gesellschaften 4 und 5	40
16	Fundorte und Frequenz der Gesellschaft 6	41
17	Fundorte und lineare Ausdehnung der Gesellschaften 9 und 10	43
18	Fundorte der Gesellschaften 11 und 12	44
19	Fundorte der Gesellschaften 13 und 14	45
20	Phänologie der wichtigeren Makrophyten und Jahresgang der monatlichen Temperaturmittel im Freiwasser	47
21	Wasserstände und Freiwassertemperaturen des Bodensees sowie Klimatogramme 1962–1964	50
22	Wasserstände und Freiwassertemperaturen des Bodensees sowie Klimatogramme 1965–1967	51
23	Vegetationsveränderungen auf der Uferbank vor der Höri zwischen 1954 und 1967	52
24	Durchschnittliche Konzentrationen der Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Bodensee-Obersee von 1935–1970	55
25	Übersicht über den aus der Ufervegetation erschlossenen Gütezustand der Uferzone 1967	61

Tabellen

1	Morphologische und ökologische Zonierung des Bodenseeufers	8
2	Wasserpflanzengesellschaften im Sublitoral des Bodensees	10
3	Röhricht- und amphibische Strandgesellschaften im Eulitoral des Bodensees	13
4	Daten der Reihenmeßbild-Befliegung 1967 der Eidgenössischen Landestopographie	19
5	Kartierungsschlüssel der Feldaufnahmen im Sommer 1967	21
6	Ableitung des Gütezustandes aus dem Flächenanteil der Wasserpflanzengesellschaften in der Uferzone	23
7	Flächenanteile der Makrophytengesellschaften im Sublitoral	38
8	Ehemalige Tiefenverbreitung einiger Armleuchteralgen (Charophyten) im Bodensee	59
9	Übersicht über den aus der Makrophytenvegetation erschlossenen Gütezustand der Uferzone 1967 auf der Grundlage des Luftbild-Gitternetzes	60

1 Einleitung

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee hat auf ihrer 3. Tagung im Oktober 1960 im Rahmen des Programms zur Überwachung der Belastung und des Gütezustandes fortlaufende Bestandsaufnahmen der Makrophyten in der Uferzone des Bodensees veranlaßt. Aus diesen botanischen Untersuchungen, aus der Artenzusammensetzung der Pflanzendecke und aus ihrer Flächenausdehnung, also aus qualitativen und quantitativen Merkmalen, sollten nach Möglichkeit Rückschlüsse auf den Gütezustand der Uferzone gezogen werden, vor allem im Hinblick auf deren Abwasserbelastung. Die Bestandsaufnahmen wurden in Form von Kartierungen der gesamten Seeuferzone von 1961 bis 1963 noch mit verschiedener Methodik durchgeführt: Am bayerischen, österreichischen und schweizerischen Ufer wurden gemäß den Vorschlägen von O. JAAG-Zürich Einzelarten kartiert, auf der Grundlage der topographischen Karte 1:25 000 bzw. 1:10 000. Am baden-württembergischen Ufer wurden dagegen von G. LANG-Karlsruhe Pflanzengesellschaften aufgenommen und zwar auf der Grundlage von Schwarzweiß-Reihenmeßluftbildern 1:10 000 in Verbindung mit farbigen Handkammer-Luftbildern. Die ausgezeichneten Erfahrungen mit farbigen Luftbildern als Hilfsmittel für genaue Bestandserhebungen veranlaßte die Internationale Gewässerschutzkommission, im Sommer 1964 eine Kartierungsaktion auf der Grundlage von farbigen Handkammer-Luftbildern durchzuführen, mit Ausnahme der Uferzone Baden-Württembergs, die durch G. LANG bereits bearbeitet war. Da die Auswertung dieser Kartierung zeigte, daß die Pflanzenbestände des niederen Wasserstandes wegen nicht repräsentativ waren, beschloß die Kommission, für 1965 eine Kartierungsaktion am gesamten Bodenseeufer mit einheitlicher Methodik in die Wege zu leiten auf der Grundlage von farbigen Reihenmeß-Luftbildern, die dafür eigens hergestellt werden sollten. Die abnormen Sommerhochwasser der Jahre 1965 und 1966, die wenig repräsentative Untersuchungsergebnisse gebracht hätten, machten es notwendig, die photogrammetrische Aktion auf den Sommer 1967 zu verschieben.

Der vorliegende Bericht wertet in erster Linie die Ergebnisse von 1967 aus. Er fußt auf dem nicht veröffentlichten dokumentarischen Kartierungsmaterial, das in Form von Einzelartenkarten (als Luftbild-Deckblätter) und in Form von Vegetationskarten 1:5000, zu einem Atlas zusammengestellt, an verschiedenen Stellen archiviert ist (vgl. S. 67). Folgende Dienststellen waren an den Erhebungen 1967 beteiligt:

Baden-Württemberg: Landessammlungen für Naturkunde in Karlsruhe (PD Dr. G. LANG), Landesstelle für Gewässerkunde in Karlsruhe (Dr. W. SCHMITZ und Dr. R. SCHRÖDER).

Bayern: Gewässergüteaufsicht (Dr. F. WACHEK).

St. Gallen: Kantonales Chemisches Laboratorium (Dipl.-Chem. H. P. LEDERGERBER).

Thurgau: Thurg. Bodensee-Untersuchungsstelle Romanshorn (Dipl.-Chem. W. DÜTSCHLER).

Vorarlberg: Landeswasserbauamt Bregenz (Prof. E. AMANN).

Die Vorbereitung und Durchführung der von der Eidg. Landestopographie übernommenen photogrammetrischen Luftbildaktion 1967 oblag auf seiten der botanischen Sachbearbeiter dem Leiter der Thurg. Bodensee-Untersuchungsstelle, der vom Eidg. Amt für Gewässerschutz unterstützt wurde.

Über das Material von 1967 hinaus wurden auch die extensiveren Bestandsaufnahmen der Jahre 1961—1966 in die Auswertung miteinbezogen. Hierfür standen neben Feldnotizen die folgenden, nicht veröffentlichten hektografierten Berichte über die Uferzonenkartierung zur Verfügung:

Baden-Württemberg: Bericht über die Untersuchung der baden-württembergischen Uferzone des Bodensees in den Jahren 1961—1964; dazu Vegetationskarten 1:10 000 (beim Innenministerium Baden-Württemberg). Bearbeiter: Dr. G. LANG.

St. Gallen: Unterwasser-Vegetation in der Bodensee-Uferzone zwischen Altenrhein und Arbon, 1. Aufnahme 1961; dasselbe, 2. Aufnahme 1962. Jeweils mit Einzelartenkartierung 1:25 000. Die Kartierungsarbeiten 1963 sind im zusammenfassenden Bericht 1961—1964 (vgl. unten) enthalten. Bearbeiter: Dipl.-Chem. H. P. LEDERGERBER.

Thurgau: Unterwasser-Vegetation in der Bodensee-Uferzone von Arbon bis Eschenz, 1. Aufnahme 1961, mit Einzelartenkartierung 1:25 000; dasselbe, 2. Aufnahme 1962, mit Einzelartenkartierung 1:25 000; Bearbeiter: Dr. R. STAUB und A. KRADOLFER. Die Kartierungsarbeiten 1963 sind im zusammenfassenden Bericht 1961—1964 (vgl. unten) enthalten. Aufnahmen 1965 und 1966, mit Einzelartenkartierung 1:10 000; Bearbeiter: Dipl.-Chem. W. DÜTSCHLER.

Vorarlberg: Berichte über die Makrophytenaufnahmen in den Jahren 1961 bis 1965, mit Einzelartenkartierung 1:25 000 für 1961 und 1962, mit Einzelartenkartierung 1:10 000 für 1963 und 1964. Bearbeiter: Prof. E. AMANN.

Bayern, Österreich, Schweiz: Bericht über die Untersuchung der bayerischen, österreichischen und schweizerischen Uferzone des Bodensees in den Jahren 1961—1964, mit Einzelartenkartierung 1:10 000 von 1964. Bearbeiter: W. DÜTSCHLER mit Dr. F. WACHEK, Prof. E. AMANN und H. P. LEDERGERBER.

Farbige Handkammer-Luftbilder wurden im Zeitraum 1962—1966 von Dr. G. LANG und W. KUNZ hergestellt.

Der vorliegende Bericht gibt ein auf einen Beobachtungszyklus von sieben Jahren gegründetes, dokumentarisches, für die sechziger Jahre charakteristisches Bild der Ufervegetation. Über die botanische Betrachtung hinaus wird versucht, aus den Befunden Aussagen über den Gütezustand der Uferzone abzuleiten, soweit dies heute schon möglich scheint. Dabei muß von vornherein bemerkt werden, daß eine genauere, ins einzelne gehende Auswertung erst zu erwarten ist, wenn die seit langem geplanten und vorgeschlagenen feldökologischen Untersuchungen in Verbindung mit experimentellen Arbeiten vorliegen. Die hier aufgezeigten Resultate lassen jedoch bereits Schlüsse auf den Trophiezustand der Uferzone zu. Die Beobachtung der Makrophytenvegetation stellt damit ein gutes, verhältnismäßig leicht zu handhabendes Instrument der Gewässerüberwachung dar. Es bietet die Möglichkeit, nicht nur einen Überblick über den gegenwärtigen Gütezustand der Uferzone zu gewinnen, sondern sowohl im rückblickenden Vergleich frühere Verhältnisse zu rekonstruieren als auch — was besonders wichtig sein dürfte — von der gegenwärtigen Situation ausgehend die zukünftige Entwicklung zu kontrollieren.

2 Standort und Vegetation in der Uferzone

2.1 Morphologische und ökologische Ufergliederung

Für die Pflanzendecke des Bodenseeufers sind zwei Erscheinungen bedeutsam, einmal die Ausbildung einer flachen Uferbank, zum anderen die starken jahresperiodischen Wasserstandsschwankungen. Bei der Uferbank oder Wysse und der seewärts daran anschließenden Halde (Abb. 1) handelt es sich der Entstehung nach überwiegend um den Typ des Abtragungs- oder Abrasionsufers, bei dem im landseitigen Teil ausgespült, im seeseitigen Teil abgelagert wird (Abb. 2 A). Nur an den Mündungen der Flüsse und größeren Bäche findet sich in Gestalt der

in den See vorgeschobenen Deltas der Typ des Ablagerungs- oder Akkumulationsufers, bei dem nirgends ausgewaschen, sondern im gesamten Bereich das vom Fluß herangeführte Material abgesetzt wird (Abb. 2B). Die Uferbank und der obere Teil der Halde werden im Bodensee bis zu einer maximalen Tiefe von etwa sieben Metern von wurzelnden höheren Wasserpflanzen besiedelt. Dieser Lebensraum, mit dem wir es im folgenden zu tun haben, wird als Litoral bezeichnet (RUTTNER 1962) oder auch, unter Einschluß des höher gelegenen, bei Wind gelegentlich noch von Wellen überspülten Supralitorals, als Uferzone (SCHRÖTER und KIRCHNER 1896). Seewärts schließt daran der Tiefenbereich ohne autotrophe Pflanzen, das Profundal, an (vgl. Abb. 1 und Tab. 1).

Die jahresperiodischen Wasserstandsschwankungen mit Hochwasser im Sommer und Niederwasser im Winter bedingen zwei ganz verschiedene Standortsbereiche im Litoral (Tab. 1). Zwischen der Hochwasser- und der Niederwasserlinie findet sich eine zeitweilig überschwemmte, zeitweilig trockenliegende Zone, das Eulitoral (RUTTNER) bzw. die Grenzzone (SCHRÖTER und KIRCHNER). Eulitoral und Supralitoral werden gerne auch als Strand zusammengefaßt. Wegen der erheblichen Differenz von 1,6 m zwischen mittlerem Hoch- und mittlerem Niederwasser — in den einzelnen Jahren kann dieser Wert natürlich sowohl unter- wie überschritten werden (vgl. Abb. 21 und 22) — besitzt das Eulitoral bei flacher Neigung des Uferhanges, besonders am Untersee, stellenweise eine beträchtliche Breite. Unterhalb der Niederwasserlinie, also im ständig überschwemmten Bereich, haben wir das Sublitoral, das sich definitionsgemäß über den meist bei etwa drei Meter unter Mittelwasser gelegenen Rand der Uferbank hinaus auf die obere Halde erstreckt.

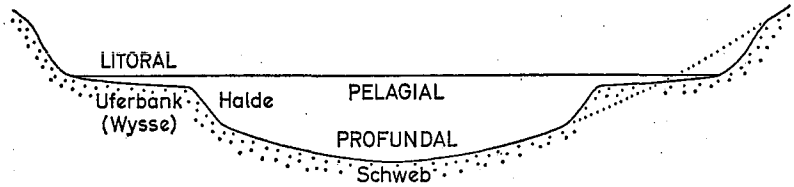


Abb. 1. Morphologie des Bodenseebeckens und Lebensräume im See. Aus LANG 1967.

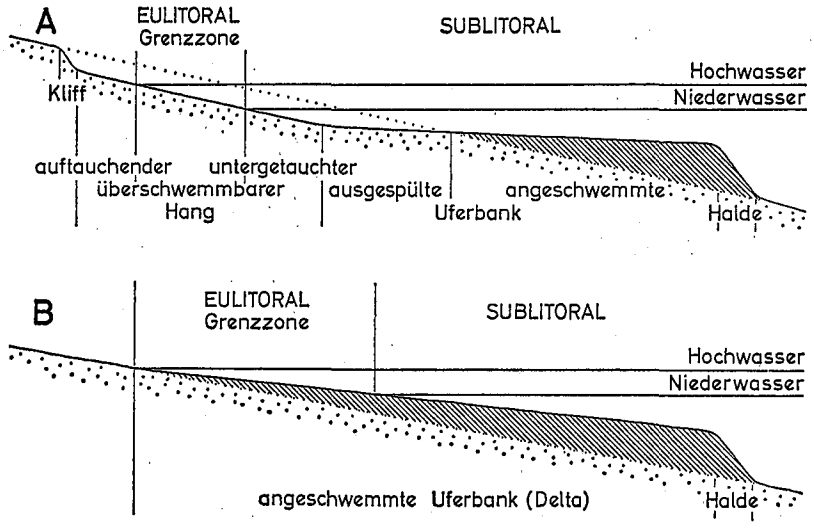


Abb. 2. Morphologische und ökologische Standortsgliederung im Uferbereich (schematisch). A: Abtragungs- oder Abrasionsufer. B: Anschwemmungs- oder Akkumulationsufer (Flußdelta). Punktierte Linie: Ursprünglicher Uferverlauf. Aus LANG 1967.

Tabelle 1

Morphologische und ökologische Zonierung des Bodenseeufers

	UFERMORPHOLOGIE	ZONIERUNG				
				Land-gebiet		
Obergrenze der Welleneinwirkung ←	Auftauchender Hang	Supralitoral			Ufer-zone	Strand
Mittleres Hochwasser ←	Überschwemmbarer Hang	Eulitoral	Litoral	Grenz-zone		
Mittleres Niederwasser ←	Untergetauchter Hang u. Uferbank (Wysse)	Sublitoral		See-gebiet		
Oberrand der Halde ←	Halde					
Tiefengrenze der Makrophyten ←	Halde, Seeböschung und Seegrund	Profundal				
		RUTTNER 1962 u. a.		SCHRÖTER u. KIRCHNER 1896		

2.2 Pflanzengesellschaften und ihre Standorte

Überblicken wir die aus Makrophyten, d. h. aus höheren Pflanzen, Moosen und Armleuchteralgen bestehende Vegetation des Bodenseeufers, so ist leicht zu erkennen, daß sie aus einer Anzahl verschiedener Pflanzengesellschaften besteht, die, wenn nicht in gleicher, so doch in ähnlicher Artenverbindung an verschiedenen Stellen immer wiederkehren. Im folgenden werden diese Gesellschaften in ihrer Physiognomie, ihrer floristischen Zusammensetzung und ihren Standortsansprüchen kurz umrissen, wobei die Gesellschaften des Sublitorals, also die eigentlichen Wasserpflanzengesellschaften, die im Mittelpunkt unserer Darstellung stehen, den Anfang bilden. Daran schließen sich die Gesellschaften des Eulitorals an. Eine eingehendere Darstellung mit pflanzensoziologischen Tabellen, die auch die hier vernachlässigte Untergliederung der Gesellschaften berücksichtigt, kann an anderer Stelle nachgesehen werden (LANG 1967, LANG 1973).
Im Sublitoral können, im großen gesehen, drei in ihrer Physiognomie deutlich voneinander geschiedene Vegetationstypen ausgegliedert werden (Tab. 2): Die dauernd submersen Characeen-Wiesen, dann die submersen, aber bis zur Wasseroberfläche hochwachsenden Laichkrautgesellschaften und schließlich die durch Schwimmblätter ausgezeichneten Seerosen-Bestände. Während die letztgenannten kaum eine Rolle im Bodensee spielen, bestimmen die beiden anderen Typen die Ufervegetation.

1 Characeen-Rasen (Charetum asperae). Es handelt sich um submerse „Wiesen", die kaum mehr als 50 cm über die Bodenoberfläche hochwachsen. Weitaus vorherrschend sind Chara contraria und Ch. aspera. Dazu gesellen sich, aber in der Regel nur vereinzelt, einige höhere Wasserpflanzen: Oft Zannichellia palustris ssp. repens, ferner Potamogeton pectinatus var. scoparius und P. pusillus var. minor. Diese Arten treten hier bemerkenswerterweise in Unterarten bzw. Varietäten auf, die, wie die Characeen, ständig submers bleiben. Die Characeenrasen siedeln gewöhnlich im Bereich gering bis mäßig nährstoffhaltiger Uferstrecken, wie sie an menschlich wenig beeinflußten, gering oder gar nicht abwasserbelasteten Naturufern zu finden sind. Gewöhnlich werden Sandstandorte gegenüber Kies bevorzugt, ebenso mäßige Wassertiefen zwischen 1 und 2 m.

2 Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae). Auch diese Gesellschaft gehört zu den submersen Characeen-Wiesen und unterscheidet sich physiognomisch kaum von den reinen Characeen-Rasen (Charetum asperae). In der Artenzusammensetzung besteht aber ein wesentlicher Unterschied insofern, als Najas intermedia zumeist in beträchtlicher Häufigkeit vorkommt, dazu auch Potamogeton pectinatus in der var. scoparius. Neben Chara contraria findet sich öfter auch die großwüchsige Ch. tomentosa. An selteneren Arten treten Potamogeton pusillus, P. angustifolius, Zannichellia palustris ssp. repens und die Armleuchteralge Nitellopsis obtusa auf, die letztere meist in größerer Individuenzahl. Wie die reinen Characeen-Rasen (Charetum asperae) besiedelt die Gesellschaft gering bis mäßig nährstoffhaltige, menschlich wenig beeinflußte Naturufer mit Sand-Silt-Böden. Wassertiefen bis zu 2 m werden bevorzugt und die Gesellschaft ist während der Vegetationsperiode an höhere Wassertemperaturen gebunden als das Charetum asperae.

3 Graslaichkraut-Gesellschaft (Potametum graminei). Die Gesellschaft vermittelt physiognomisch zwischen den Characeenwiesen einerseits und den nachfolgend beschriebenen übrigen Laichkraut-Gesellschaften andererseits, indem hier submers bleibende und submers auftauchende Arten vereinigt sind. Die kennzeichnende Art, Potamogeton gramineus, reicht im Hochsommer bis zur Wasseroberfläche empor; dazu kommen andere, meist in submersen Varietäten auftretende Laichkräuter wie P. pectinatus und P. pusillus. Ferner ist häufig Chara contraria vorhanden, im sommerwarmen Untersee auch Najas intermedia und Alisma gramineum. Die Gesellschaft nimmt nur kleine Flächen ein, innerhalb derer eine geringe Vegetationsbedeckung

Tabelle 2

Wasserpflanzengesellschaften im Sublitoral des Bodensees
Die eingeklammerten Zahlen hinter den Artnamen entsprechen den Zahlen des Kartierungsschlüssels

PFLANZENGESELLSCHAFTEN		VORHERRSCHENDE ARTEN	SELTENERE ARTEN
Characeen-Wiesen (dauernd submers)	1 Characeen-Rasen (Charetum asperae)	Chara aspera (1) Chara contraria (1)	Zannichellia repens (24) Potamogeton pectinatus var. scoparius (5) Potamogeton pusillus var. minor (20)
	2 Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae)	Najas intermedia (2) Chara contraria (1) Chara tomentosa (9) Potamogeton pectinatus (5)	Potamogeton pusillus (20) Potamogeton angustifolius (25) Zannichellia repens (24) Nitellopsis obtusa (12)
Laichkraut-Gesellschaften (submers auftauchend)	3 Graslaichkraut-Gesellschaft (Potametum graminei)	Potamogeton gramineus (3) Potamogeton pectinatus (5) Chara contraria (1)	Najas intermedia (2) Potamogeton angustifolius (25) Alisma gramineum
	4 Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis)	Potamogeton perfoliatus (6) Potamogeton lucens (4) Potamogeton pectinatus (5)	Potamogeton pusillus (20) Potamogeton crispus (15) Potamogeton friesii (17) Myriophyllum spicatum (11) Ceratophyllum demersum (8) Elodea canadensis (10)
	5 Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris)	Zannichellia palustris (7) Potamogeton pectinatus (5)	Potamogeton pusillus (20) Potamogeton densus (16) Ranunculus trichophyllus (22)
	6 Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus)	Potamogeton pectinatus (5)	
	7 Schweizer Laichkraut-Bestände (Potamogeton helveticus)	Potamogeton helveticus (18)	
Seerosen-Gesellschaften (mit Schwimmblättern)	8 Seerosen-Bestände (Nymphaea alba)	Nymphaea alba (14) Nuphar lutea (13)	

erreicht wird. Die in der Regel windexponierten, von der Brandung ausgewaschenen, kiesig-sandigen Standorte sind ausgesprochen nährstoffarm; bei Abwasserbeeinflussung verschwindet die Gesellschaft. Meist siedelt sie auf der oberen Uferbank, in unmittelbarem Kontakt mit der Grenzzone. Sie bevorzugt Flachwasser und geht kaum tiefer als 1 m.

4 Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis). Diese häufigste Laichkraut-Gesellschaft der Uferzone wird in ihrer Physiognomie durch breitblättrige Arten bestimmt, hauptsächlich Potamogeton perfoliatus und P. lucens. Diese Pflanzen reichen im Hochsommer vom Grund bis zur Wasseroberfläche und strecken ihre Blütenstände in den Luftraum darüber. Meist tritt der fadenblättrige P. pectinatus hinzu, oft in großer Häufigkeit oder gar dominierend. Auch solche Vorkommen rechnen wir der Glanzlaichkraut-Gesellschaft zu, weil gewöhnlich einzelne Individuen von P. perfoliatus und P. lucens beigemischt sind. Lediglich die völlig reinen Kammlaichkraut-Bestände im Ermatinger Becken trennen wir als eigene Gesellschaft ab (vgl. 6). Als seltenere Arten komme in der Glanzlaichkraut-Gesellschaft Potamogeton pusillus, P. crispus und P. friesii vor, ferner Myriophyllum spicatum, Ceratophyllum demersum und Elodea canadensis. Die Gesellschaft besiedelt nährstoffreiche Ufer mit sandig-schlammigem Grund; in der Regel handelt es sich um Flächen, die durch Abwasser verunreinigt sind. Bevorzugte Standorte liegen im Uferbereich vor Ortschaften, in Häfen, um Anlegestellen herum. Die Wassertiefe liegt zwischen 0,5 und 5 m, das heißt, die Gesellschaft erstreckt sich oft über die Uferbank hinaus auf den oberen Teil der Halde. Gelegentlich säumt sie als charakteristisches Vegetationsband den Oberrand der Halde.

5 Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris). Im Gegensatz zur vorigen Gesellschaft herrschen hier fadenblättrige Arten vor, und zwar Zannichellia palustris ssp. palustris und Potamogeton pectinatus, beides Pflanzen, die im Hochsommer bis zur Wasseroberfläche hochwachsen und ein vom Grund an dicht verfilztes Geflecht aus Blättern und Stengel bilden. Häufig werden darin üppig entwickelte Grünalgenwatten festgehalten. An selteneren Arten finden wir Potamogeton pusillus, P. densus und Ranunculus trichophyllus. Die Gesellschaft besiedelt extrem nährstoffreiche, zum Teil schwach oligohaline Standorte, hauptsächlich im Mündungsbereich der größeren, stark abwasserbelasteten Flüsse. Die Wassertiefe liegt gewöhnlich zwischen wenigen Dezimetern und 2 m, oft ist schwache Strömung vorhanden, die Böden bestehen aus Faulschlamm.

6 Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus). Bestände, in denen Potamogeton pectinatus vorherrscht, sind in der ganzen Uferzone häufig. Wir rechnen sie jedoch dann, wenn vereinzelte breitblättrige Laichkräuter darin auftreten, noch der Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis) zu. Lediglich die ausgedehnten einartigen Kammlaichkraut-Bestände im Ermatinger Becken, die im Gegensatz zu den übrigen an verhältnismäßig flaches und zugleich strömendes Wasser gebunden sind, trennen wir ab. Die Standorte weisen sandig-schlammige, nährstoffreiche Böden auf.

7 Schweizerlaichkraut-Bestände (Potamogeton helveticus). Noch ausgeprägter als bei den Kammlaichkraut-Beständen (Potamogeton pectinatus) haben wir es hier mit einer Fließwassergesellschaft zu tun. Die einzige, dafür aber in Massen auftretende Art ist Potamogeton helveticus, der in der Seerheinrinne bis 7 m Tiefe hinunterreicht und in grünem Zustand überwintert. Die Standorte sind durch jahresperiodisch ausgeglichenere Wassertemperaturen gekennzeichnet: Im Sommer ist das Wasser verhältnismäßig kühl, im Winter ist es gegenüber dem des übrigen Untersees etwas wärmer. Außerdem herrscht starke Strömung.

8 Seerosen-Bestände (Nymphaea alba). Die im Bodensee seltene Gesellschaft ist durch Schwimmblattpflanzen ausgezeichnet, insbesondere durch Nymphaea alba. Öfter kommt auch Nuphar lutea vor, im Untersee in der var. submersa mit untergetauchten Blättern. Die Gesell-

schaft besiedelt schlammige, nährstoffreiche Böden, kann sich aber nur an einigermaßen windgeschützten Stellen halten, etwa im Schutze des Röhrichts.

Im Eulitoral haben wir es, im großen gesehen, mit zwei physiognomisch völlig verschiedenen Vegetationstypen zu tun (Tab. 3): Einerseits mit den dauernd emersen, auch bei Hochwasser weit über die Wasseroberfläche hinausragenden, hochwüchsigen Röhrichtgesellschaften, andererseits mit den niederwüchsigen, bei Hochwasser submersen Strandlings-Rasen mit amphibischer Lebensweise.

9 Schilf-Röhricht (Phragmitetum). Die artenarme Gesellschaft wird von Phragmites communis beherrscht. Sonst ist nur noch Rorippa amphibia häufiger vorhanden und als Zeiger für stark schwankende Wasserstandsverhältnisse charakteristisch für den Bodensee. Bei den Standorten handelt es sich um Sand-Silt-Böden mit mäßigem Nährstoffgehalt.

10 Binsen-Röhricht (Scirpetum lacustris). Die ebenfalls artenarme Gesellschaft wird von Schoenoplectus lacustris beherrscht. Am Bodenseeufer nimmt sie nur kleine Flächen ein. Bodenunterschiede gegenüber dem Schilf-Röhricht (Phragmitetum) sind kaum erkennbar.

11 Rohrkolben-Röhricht (Typhetum). Am Bodenseeufer kommen sowohl Typha angustifolia wie Typha latifolia bestandbildend vor, doch schließen sich die beiden Arten hier gegenseitig aus. Beide Rohrkolben besiedeln schlammige, nährstoffreiche Böden, wobei T. angustifolia etwas weniger, T. latifolia stärker eutrophe Standorte einnimmt.

12 Schwaden-Röhricht (Glycerietum maximae). Die Gesellschaft wird von Glyceria maxima beherrscht, der sich meist Phragmites und Rorippa amphibia zugesellen. Für die Standorte sind nährstoffreiche, kalkhaltige Schlammböden charakteristisch sowie langsam fließendes Wasser.

13 Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae). Im Gegensatz zu den Röhricht-Gesellschaften sind hier nur niederwüchsige und zudem lückig wachsende Pflanzen vertreten. Als herrschende Art kommt die endemische Deschampsia rhenana vor; häufig treten außerdem Myosotis rehsteineri und Ranunculus reptans auf, ferner Littorella uniflora und einige seltene endemische Sippen. Die Gesellschaft besiedelt ausgewaschene, nährstoffarme Grobkies-Sandböden; die mittlere sommerliche Überschwemmungsdauer liegt zwischen 1 und 4 Monaten.

14 Nadelbinsen-Gesellschaft (Littorello-Eleocharitetum). Es handelt sich um lockere, niederwüchsige Rasen, die in der Hauptsache aus zwei völlig unscheinbaren Pflanzen bestehen: Eleocharis acicularis und Littorella uniflora. Die Gesellschaft bevorzugt Sandböden; es sind nährstoffarme Standorte, die nicht von Abwässern beeinflußt sind. Die mittlere sommerliche Überschwemmungsdauer liegt zwischen 5 und 7 Monaten.

Die geschilderten Pflanzengesellschaften sind nicht wahllos miteinander kombiniert, vielmehr schließen sie sich in mehr oder weniger strenger Bindung zu bestimmten Vegetationskomplexen zusammen, die deutlich verschiedenen Stufen im Nährstoffangebot der Standorte entsprechen (Abb. 3):

A Vegetationskomplex an nährstoffarmen (oligotrophen) Kiesufern. Der Hauptteil des Sublitorals ist mehr oder weniger vegetationsfrei. Im oberen Teil siedelt oft die Graslaichkraut-Gesellschaft (Potametum graminei). Im Eulitoral finden wir im unteren Teil da und dort die Nadelbinsen-Gesellschaft (Littorello-Eleocharitetum), im oberen Teil, meist in größerer Flächenausdehnung, die Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae). Kennzeich-

Tabelle 3

Röhricht- und amphibische Strandgesellschaften im Eulitoral des Bodensees

PFLANZENGESELLSCHAFTEN		VORHERRSCHENDE ARTEN	SELTENERE ARTEN
Röhricht-Gesellschaften (dauernd emers)	9 **Schilf-Röhricht** (Phragmitetum communis)	Phragmites communis	Rorippa amphibia
	10 **Binsen-Röhricht** (Scirpetum lacustris)	Schoenoplectus lacustris	Phragmites communis
	11 **Rohrkolben-Röhricht** (Typhetum)	Typha angustifolia Typha latifolia	Phragmites communis Phalaris arundinacea Hippuris vulgaris
	12 Schwaden-Röhricht (Glycerietum maximae)	Glyceria maxima	Phragmites communis Rorippa amphibia
Strandlings-Rasen (zeitweilig submers)	13 Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae)	Deschampsia rhenana Myosotis rehsteineri Ranunculus reptans	Littorella uniflora Armeria purpurea Saxifraga oppositifolia ssp. amphibia
	14 Nadelbinsen-Gesellschaft (Littorello-Eleocharitetum)	Eleocharis acicularis Littorella uniflora	Ranunculus reptans Myosotis rehsteineri Alisma gramineum

nend ist ferner die auf dem Spülsaum an der Hochwasserlinie auftretende Straußgras-Gesellschaft (Rorippo-Agrostietum).

B Vegetationskomplex an mäßig nährstoffhaltigen (mesotrophen) Sand-Silt-Ufern. Auf der Uferbank sind im Sublitoral gewöhnlich ausgedehnte Teppiche von Characeen-Wiesen vorhanden, im Obersee in Gestalt der Characeen-Rasen (Charetum asperae), im Untersee als Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae). Im Eulitoral ist der Unterschied gegenüber den oligotrophen Standorten besonders auffällig, indem hier das emerse Schilf-Röhricht (Phragmitetum), stellenweise auch das Binsen-Röhricht (Scirpetum lacustris) auftritt. Dahinter schließt meist das Steifseggenried (Caricetum elatae) an.

C Vegetationskomplex an nährstoffreichen (eutrophen) Ufern vor Siedlungen. Im Sublitoral ist, meist in beträchtlicher Flächenausdehnung, die Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis) entfaltet, teils beherrscht durch Potamogeton perfoliatus und P. lucens, teils durch P. pectinatus. Die Begünstigung dieser Vegetation durch einmündende Abwasserleitungen ist an vielen Stellen unmittelbar erkennbar. Das Eulitoral ist in der Regel durch Uferverbauungen in seinem natürlichen Zustand zerstört.

D Vegetationskomplex an extrem nährstoffreichen (stark eutrophen) Ufern im Mündungsgebiet von abwasserbelasteten Zuflüssen. Im Sublitoral fällt die Massenentwicklung der Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris) oder reiner Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus) auf, meist in Verbindung mit dichten Grünalgen-Verfilzungen. Im Eulitoral ist gewöhnlich das Schwaden-Röhricht (Glycerietum maximae) entwickelt, gelegentlich in Verbindung mit dem Rohrkolben-Röhricht (Typhetum).

2.3 Zeigerwert für den Gütezustand

Daß zwischen der Pflanzendecke einerseits und den jeweiligen Standortsbedingungen andererseits enge Beziehungen bestehen, ist allgemein unumstritten. Schon einfache Beobachtungen lassen dies auch in der Uferzone erkennen. Die Schwierigkeiten ökologischer Analyse beginnen jedoch dann, wenn ein bestimmter Faktor für sich allein herausgegriffen und verfolgt werden soll. Im Falle unserer Untersuchung handelt es sich in erster Linie darum, die Abhängigkeit der Pflanzendecke vom unterschiedlichen Nährsalzangebot aufzudecken, denn nach allem, was wir wissen, wirkt sich die Beeinflussung des Gütezustandes der Uferzone durch Einleitung von Abwässern auf Pflanzen hauptsächlich durch die dadurch verursachte Zufuhr von Stickstoff und Phosphor aus, soweit diese Stoffe in pflanzenaufnehmbarer Form, d. h. als Nitrat und Phosphat, vorliegen.

Bei den Pflanzen des Eulitorals, bei denen es sich fast ausschließlich um Gefäßpflanzen handelt, erfolgt die Mineralstoffversorgung zweifellos aus dem Boden. Viel weniger überschaubar sind dagegen die Verhältnisse bei den Makrophyten im Sublitoral, also bei den eigentlichen Wasserpflanzen. Bei Armleuchteralgen und Wassermoosen, die keine Wurzeln, sondern nur Rhizoiden besitzen, liegt die Annahme nahe, daß die Ionenaufnahme nur durch die oberirdischen Teile, direkt aus dem Wasser, erfolgt. Indessen gibt es eine ganze Reihe von Autoren (z. B. VOUK 1929, BULJAN 1949, FORSBERG 1965), die bei den Charophyten zusätzliche Nährstoffaufnahme auch durch die Rhizoiden feststellten. Auch die im Wasser lebenden Gefäßpflanzen

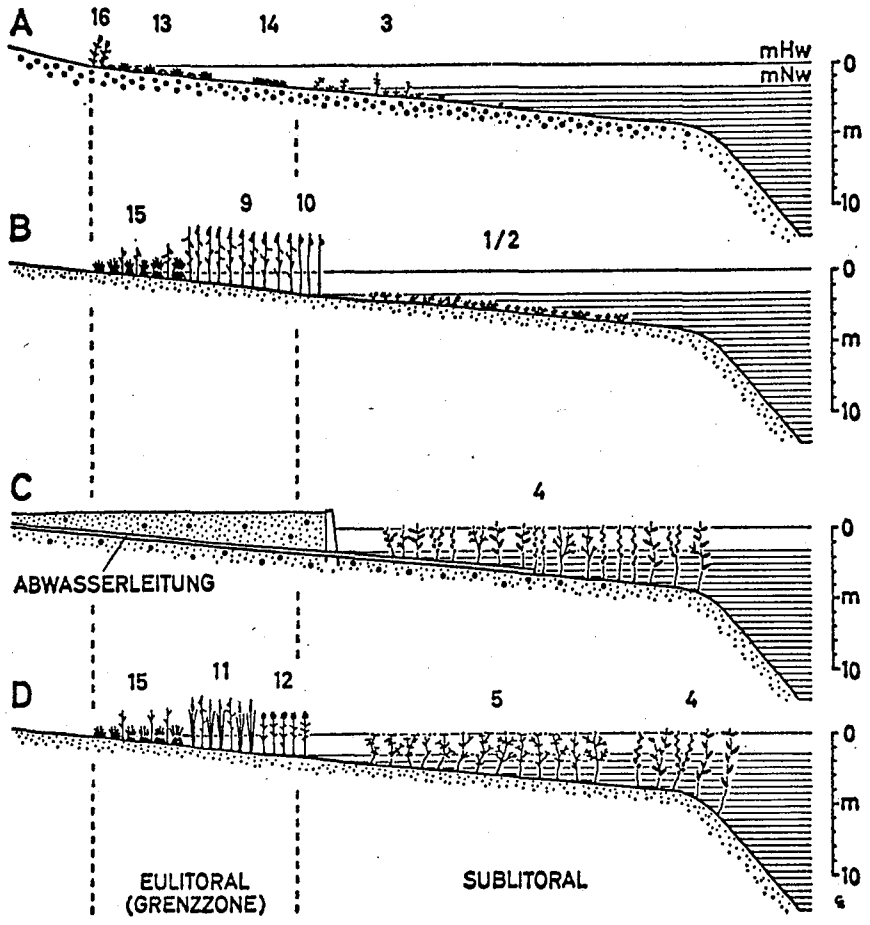


Abb. 3. Vegetationskomplexe im Litoral des Bodensees (schematisch). A und B: Naturufer. C und D: Abwasserbeeinflußte Ufer. A: Nährstoffarmes (oligotrophes) Kiesufer. B: Mäßig nährstoffhaltiges (mesotrophes) Sand-Silt-Ufer. C: Nährstoffreiches (eutrophes) Ufer vor Ufersiedlungen. D: Extrem nährstoffreiches (stark eutrophes) Ufer im Mündungsgebiet von Zuflüssen. 1: Characeenrasen (Charetum asperae). 2: Nixenkrautgesellschaft (Najadetum intermediae). 3: Graslaichkrautgesellschaft (Potametum graminei). 4: Glanzlaichkrautgesellschaft (Potametum lucentis). 5: Teichfadengesellschaft (Zannichellietum palustris). 9: Schilfröhricht (Phragmitetum). 10: Binsenröhricht (Scirpetum lacustris). 11: Rohrkolbenröhricht (Typhetum). 12: Schwadenröhricht (Glycerietum maximae). 13: Strandschmielengesellschaft (Deschampsietum rhenanae). 14: Nadelbinsengesellschaft (Littorello-Eleocharitetum). 15: Steifseggenried (Caricetum elatae). 16: Straußgrasgesellschaft (Rorippo-Agrostietum).

können ihre mineralische Ernährung offenbar sowohl durch die Wurzel aus dem Boden als über den Sproß unmittelbar aus dem Wasser bestreiten (vgl. z. B. GESSNER 1959), natürlich abgesehen von freischwimmenden höheren Wasserpflanzen, wie Utricularia, die nicht, oder jedenfalls nicht direkt, vom Boden abhängig sind.

Wenn diese allgemeinen Grundzüge des Mineralstoffwechsels bei Hydrophyten auch seit langem bekannt sind, so ist im einzelnen bei fast allen im Bodensee vorkommenden Sippen noch weitgehend ungeklärt, welches quantitative Verhältnis zwischen der Ionenaufnahme durch die Wurzeln auf der einen, durch den Sproß auf der anderen Seite besteht (vgl. dazu u. a. die Hinweise bei LOHAMMAR 1938). Eine sichere Beantwortung, die von Art zu Art verschieden ausfallen dürfte, kann nicht durch Feldbeobachtungen, sondern nur durch experimentelle Arbeiten

erbracht werden. Dem Problem wird freilich in dem hier gegebenen Zusammenhang, bei dem es hauptsächlich darum geht, Pflanzen und Pflanzengesellschaften als Indikatoren für den Gütezustand der Uferzone zu benutzen, keine grundsätzliche Bedeutung zukommen: Wasserkörper und darunter liegendes Sediment sind, zumindest in der Uferzone, keine voneinander unabhängigen Größen. Das Wasser fungiert als Träger gelöster und ungelöster, suspendierter Stoffe, die gefällt und abgelagert werden können, und umgekehrt gehen vom Sediment aus wieder Stoffe in das Wasser. Gleichgültig, ob die von uns als Indikatoren benutzten Pflanzen mehr den Gütezustand des Bodens oder mehr den des Wassers widerspiegeln, werden sie doch, auf Grund rein empirischer Feststellungen, als Zeiger für Abwassereinflüsse gewertet werden dürfen, mögen sich diese über den Boden oder unmittelbar über das Wasser auswirken. In gewissen Fällen kann die Sedimentationsrate in Stillwasserzonen, die Intensität der Sedimentumlagerung an Brandungsufern und die Geschwindigkeit der Litoralströmungen als Größe für den Nährstoffnachschub von Bedeutung sein.

Was den Zeigerwert der Sublitoralgesellschaften für den Trophiezustand in der Uferzone des Bodensees angeht, so können auf Grund der bisherigen Beobachtungen folgende grobe Angaben gemacht werden (vgl. LANG 1967): Characeen-Wiesen sind Indikatoren für oligotrophmesotrophe, die meisten Laichkraut-Gesellschaften solche für eutrophe bis stark eutrophe Verhältnisse. Die Schlußfolgerung liegt nahe, daß das Nährstoffangebot, somit die Eutrophierung, um so größer ist, je ausgedehnter die von diesen Laichkraut-Gesellschaften bedeckten Flächen sind, je größer also die pflanzliche Stoffproduktion ist. Andererseits können nach Überschreiten einer bestimmten — im einzelnen noch nicht genau bekannten — Nährstoffkonzentration rückläufige Entwicklungen eintreten, die im Extrem zur „Verödung" von stark belasteten Uferstrecken führen. Feinere, mit Zahlenwerten etwa für Nitrat und Phosphat versehene Eichungen sind am Bodensee mangels eingehender ökologischer Untersuchungen noch immer nicht möglich. FORSBERG (1964, 1965) konnte durch Felduntersuchungen in zahlreichen schwedischen Seen zeigen, daß dort üppiges Chara-Wachstum (Chara aspera, Ch. contraria, Ch. hispida, Ch. tomentosa, Nitellopsis obtusa u. a.) nur bei einem Gesamtphosphorgehalt von weniger als 20 μg/l vorhanden ist; Laborversuche bestätigten die Rolle des Phosphors als begrenzender Faktor. Eine Übertragung dieser Befunde auf den Bodensee liegt zwar nahe, doch sollten sie an Ort und Stelle überprüft werden.

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Luftbilder

Für die photogrammetrische Aufnahme des Bodenseeufers durch senkrechte Reihenmeßbilder in Farbe wurde als ungefährer Bildmaßstab 1:5 000 gewählt und die 265 km lange Uferstrecke in 43 Flugstreifen aufgeteilt. Diese lagen so, daß alle Bilder, von einigen extrem breiten Uferflächen (Alpenrheinmündung, Ermatinger Becken) abgesehen, jeweils die gesamte Uferbank mit einem Streifen Freiwasserzone erfaßten, ferner genügend terrestrisches Gebiet, um die einwandfreie Orientierung zu ermöglichen (Abb. 4). Der Bildhersteller, die Eidg. Landestopographie in Bern, setzte als Aufnahmeflugzeug eine in Dübendorf stationierte Twin Pioneer ein, bestückt mit der Wild-Fliegermeßkammer RC 5 a mit Universalobjektiv Aviogon f = 152 mm. Die Aktion 1967 hätte in vier Bildflügen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt

werden sollen. Infolge ungünstiger Witterung und anderer Schwierigkeiten mußten die Aufnahmen jedoch leider auf sieben Bildflüge verteilt werden, von denen der erste am 19. Juli, der letzte aber erst am 16. August stattfand (Tab. 4). Das hatte zur Folge, daß sich in einigen Fällen Bilder benachbarter Flugstreifen, die zu verschiedenen Zeiten geflogen waren, wegen unterschiedlichem Entwicklungszustand der Vegetation nicht zu einem Mosaik zusammensetzen ließen. Als Aufnahmematerial wurde Kodak Ektachrome Aero-Film Process E 3 benutzt der in Filmrollen zu je 23 m Länge verfügbar war, was beim Bildformat 23×23 cm abzüglich Vor- und Nachspann rund 80 Aufnahmen pro Film bedeutete. Insgesamt wurden 614 Bilder aufgenommen, die sich in Flugrichtung 60% überdecken, so daß auch stereoskopische Betrachtung und photogrammetrische Auswertung möglich sind. Die Flughöhe betrug 800 m über Grund (1200 m ü. M.), die Belichtungszeit lag zwischen $^1/_{340}$ und $^1/_{420}$ sec bei Blendenwerten von f:5,6 bis f:6,8. Bei der Wahl des Aufnahmematerials mußte berücksichtigt werden, daß möglichst rasch nach der Befliegung Kopien von den Farbaufnahmen für die Kartierungsarbeit im Boot verfügbar sein sollten. Zunächst war deshalb die Verwendung von Farbnegativfilm (Ektacolor) vorgesehen, weil hiervon, im Gegensatz zum Farbumkehrfilm, leicht Kopien, sowohl farbig wie schwarzweiß, hätten gewonnen werden können, allerdings unter erheblichen Einbußen an Schärfe und Farbwiedergabe. Inzwischen hatte aber die CIBA Photochemie das Cibachrome-Verfahren entwickelt, mit dem Farbkopien von Farbdias ohne Zwischennegativ in bisher nicht erreichter Schärfe und Farbbrillanz hergestellt werden können. Die Verwendung von Farbumkehrfilm (Ektachrome) brachte zwar gegenüber dem Farbnegativfilm den Nachteil des geringeren Belichtungsspielraums und komplizierterer Entwicklung, hatte aber andererseits den Vorteil unmittelbarer Auswertungsmöglichkeit der farbpositiven Originalaufnahmen und — was sehr wesentlich erschien — eine vom Hersteller der Cibachrome-Prints zugesicherte Lichtechtheit und Beständigkeit der Farbkopien über Jahrzehnte hinweg, die auf der beim Silberfarbbleichverfahren üblichen Benutzung von Azofarbstoffen beruht. Unmittelbar nach der Entwicklung der Farbfilme durch die Eidg. Landestopographie wurden, der starken Überlappung wegen nur von jeder zweiten Aufnahme, Farbkopien durch die CIBA hergestellt und den Sachbearbeitern für die botanische Uferkartierung ausgehändigt. Zwischen Bildflug und Aushändigung der Kopien lag dabei eine Zeitspanne von 3 bis 10 Tagen.

Neben farbigen Reihenmeßluftbildern, die als Grundlage für die Kartierung 1967 dienten, wurden schon von 1962 an fortlaufend farbige Handkammerbilder in Spezialbefliegungen hergestellt, zunächst nur vom baden-württembergischen Ufer und mit dem Ziel, vorhandene ältere Schwarzweiß-Reihenmeßluftbilder zu ergänzen. Als Aufnahmeflugzeug stand eine auf dem Flugplatz Konstanz stationierte einmotorige Chartermaschine vom Typ Piper PA 18 zur Verfügung, die als leichter und wendiger Sport-Hochdecker für Bildflüge besonders geeignet scheint, wegen der Möglichkeit, die Geschwindigkeit stark herabzusetzen. Zwar sind bei Freihandfotos genaue Senkrechtaufnahmen nicht möglich, durch Hinausbeugen aus dem offenen Fenster vom Beifliegersitz aus, der bei dieser Maschine hinter dem Piloten angeordnet ist, gelingen bei gedrosselter Geschwindigkeit (etwa 50 km/h) Schrägaufnahmen, die Senkrechtaufnahmen fast gleichkommen. Als Kamera wurde eine handelsübliche einäugige Spiegelreflex-Kleinbildkamera 24×36 mm vom Typ Zeiß Ikon Contaflex mit Tessar 1:3,5, f=50 mm, benutzt. Dieser Apparat besitzt zwar keinen automatischen Filmtransport, der wünschenswert gewesen wäre, doch reichte die Zeit bei überlappenden Aufnahmen für Handaufzug gerade noch aus. Als günstigste Flughöhe erwies sich 400—500 m über Grund (800—900 m ü. M.), weil damit, einem Bildwinkel des Objektivs von 45 Grad entsprechend, bei Hochaufnahmen eine Uferbreite von 275—360 m erfaßt und so in der überwiegenden Zahl der Fälle sowohl die gesamte Uferbank als auch ausreichendes terrestrisches und Freiwassergebiet aufgenommen werden konnte. Bei geringerer Breite der Uferbank wurden natürlich Queraufnahmen gemacht. Aus diesen Daten ergibt sich ein Bildmaßstab zwischen 1:7700 und 1:10000 im Originaldia. In vielen Fällen, den jeweiligen Anforderungen entsprechend, wurde auch aus gerin-

BILDMITTENÜBERSICHT DER REIHENMESSBILD-BEFLIEGUNG 1967

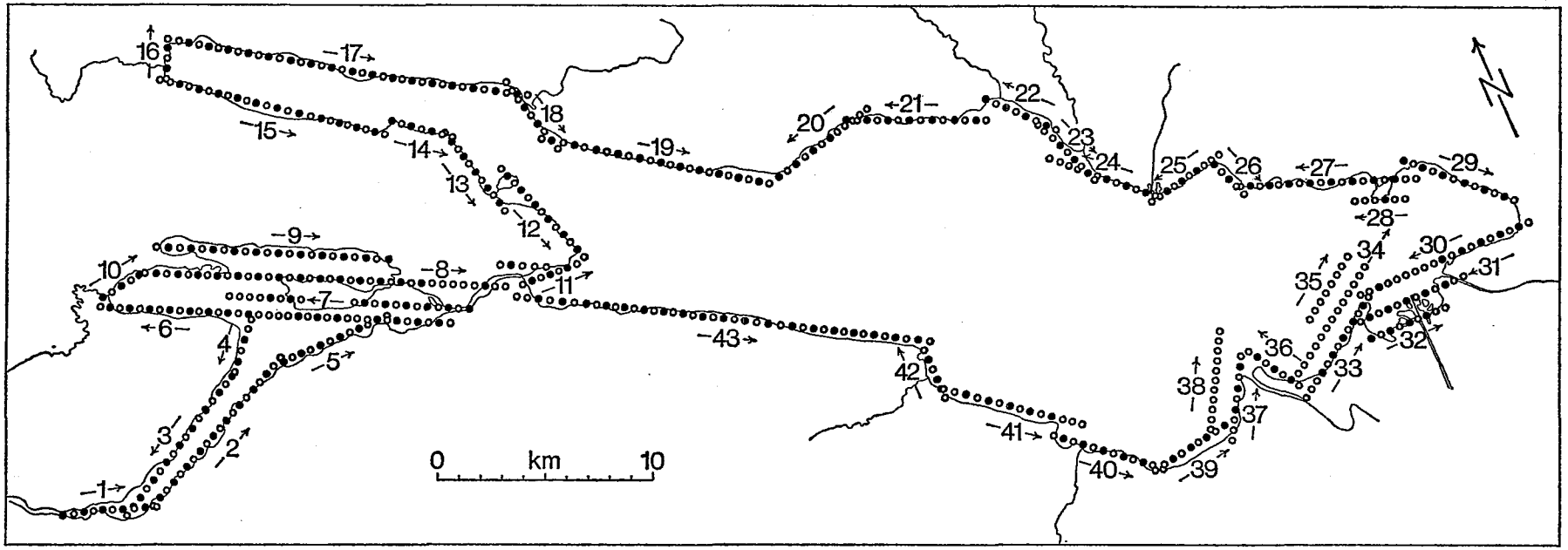


Abb. 4. Bildmittenübersicht der Reihenmeßbild-Befliegung 1967 der Eidgenössischen Landestopographie. Die Zahlen geben die Nummern der Flugstreifen (siehe Tab. 4), die Pfeile die Flugrichtung an. Jeder Punkt entspricht einem Luftbild. Die schwarzen Punkte bezeichnen diejenigen Luftbilder, die für die Auswertung als Bezugsbasis ausgewählt wurden (wegen der Überlappung nur jedes zweite Bild).

Tabelle 4

Daten der Reihenmeßbild-Befliegung der Eidgenössischen Landestopographie 1967

Nummer des Flugstreifens	Bild-nummern	Zahl der Bilder	Aufnahme-Datum	Uhrzeit (Anfang)	Eigentümer
1	2428—2437	10	19. 7.	14.16	CH-TG
2	2680—2699	20	31. 7.	10.19	CH-TG
3	3234—3250	17	16. 8.	16.06	BRD-BW
4	3100—3105	6	8. 8.	15.10	BRD-BW
5	2438—2449	12	19. 7.	14.28	CH-TG
6	2635—2643	9	27. 7.	16.00	CH-TG
	2644—2670	27			BRD-BW
7	2835—2854	20	31. 7.	15.51	BRD-BW
8	3198—3233	36	16. 8.	15.51	BRD-BW
9	3171—3197	27	16. 8.	15.35	BRD-BW
10	3166—3170	5	16. 8.	15.22	BRD-BW
11	2628—2634	7	27. 7.	15.48	BRD-BW
12	2615—2627	13	27. 7.	15.42	BRD-BW
13	2604—2614	11	27. 7.	15.36	BRD-BW
14	2597—2603	7	27. 7.	15.27	BRD-BW
15	2553—2576	24	27. 7.	14.44	BRD-BW
16	2577—2580	4	27. 7.	15.06	BRD-BW
17	3020—3055	36	8. 8.	14.29	BRD-BW
18	3056—3064	9	8. 8.	14.41	BRD-BW
19	3065—3087	23	8. 8.	14.48	BRD-BW
20	3088—3099	12	8. 8.	14.58	BRD-BW
21	2952—2965	14	2. 8.	16.01	BRD-BW
22	2944—2951	8	2. 8.	15.55	BRD-BW
23	2935—2943	9	2. 8.	15.50	BRD-BW
24	2923—2934	12	2. 8.	15.43	BRD-BW
25	2913—2922	10	2. 8.	15.38	BRD-BW
26	2808—2812	5	31. 7.	15.17	BRD-BW
27	2790—2807	18	31. 7.	15.09	BRD-BY
28	2784—2789	6	31. 7.	15.03	BRD-BY
29	2767—2772	6	31. 7.	14.52	BRD-BY
	2773—2778	6			A-VA
30	2813—2831	19	31. 7.	15.28	A-VA
31	2863—2874	12	2. 8.	15.01	A-VA
32	2734—2742	9	31. 7.	11.02	A-VA
33	2721—2733	13	31. 7.	10.52	A-VA
34	2881—2893	13	2. 8.	15.11	A-VA
35	2894—2901	8	2. 8.	15.20	A-VA
36	2760—2766	7	31. 7.	14.38	A-VA
37	2712—2720	9	31. 7.	10.44	CH-SG
38	2902—2912	11	2. 8.	15.30	CH-SG
39	2702—2711	10	31. 7.	10.37	CH-SG
40	2509—2517	9	19. 7.	15.08	CH-TG
	2518—2520	3			CH-SG
41	2490—2504	15	19. 7.	14.54	CH-TG
42	2521—2527	7	19. 7.	15.17	CH-TG
43	2450—2489	40	19. 7.	14.42	CH-TG

gerer oder größerer Höhe fotografiert. Als Aufnahmematerial wurde Agfacolor CT 18 verwendet unter Benutzung eines UV-Filters. Die Belichtungszeit betrug durchweg 1/500 sec, die Blendenwerte schwankten zwischen f:3,5 und f:6,3. Insgesamt wurden zwischen 1962 und 1966 etwa 2000 Einzelaufnahmen angefertigt, die meisten als Reihenbilder mit 30—50%iger Überlappung. Viele Aufnahmen wurden zu verschiedenen Jahreszeiten wiederholt. Als Tageszeit wurde meist der späte Vormittag zwischen 10 und 12 Uhr gewählt, wobei in der Regel nur an windstillen, wolkenfreien Tagen geflogen wurde. Unmittelbar nach den Bildflügen zur Agfa-Entwicklungsanstalt eingesandte Filme waren gewöhnlich nach 3—4 Tagen wieder zurück und für die Feldarbeit verfügbar. Für die botanische Kartierung wurden die Farbbilder meist so verwertet, daß die sichtbaren Vegetationsgrenzen auf transparente Deckblätter über den Schwarzweiß-Reihenmeßbildern übertragen wurden, teils nach Augenmaß im Betrachtungsgerät, teils unter Verwendung eines Projektors. Diese Skizzen dienten dann als Grundlage für die Feldarbeit.
Eine ausführliche Darstellung der bei den Vegetationsuntersuchungen am Bodensee entwickelten Luftbildmethodik findet sich bei LANG 1969.

3.2 Feldarbeit

Die Bestandsaufnahme der Makrophyten erfolgte in Form von Kartierungen, für die 1961 bis 1966 teils topographische Karten 1:25 000 und 1:10 000, teils Schwarzweiß-Reihenmeßluftbilder 1:10 000, ergänzt durch Handkammer-Luftbilder als Grundlage dienten (vgl. 3.1). Für die Kartierung 1967 standen die farbigen Reihenmeß-Luftbilder 1:5000 zur Verfügung. Farbkopien von diesen, aus wasserfestem Material, wurden in transparente, auf der Oberseite mattierte Kunststofftaschen aus Pakalon (ähnlich Astralon) gesteckt und auf diesen im Boot die Kartierungsnotizen mit Blei- bzw. Farbstift eingetragen. Im Eulitoral, in dem die Artenzahl relativ groß ist, wurden Pflanzengesellschaften kartiert, und zwar Röhrichtgesellschaften mit grüner Farbe, Strandlingsgesellschaften mit roter Farbe; im einzelnen wurden die Gesellschaften durch Großbuchstaben als Aufsignatur weiter aufgeschlüsselt (Tab. 5). Im Sublitoral dagegen, in dem im Bodensee nur wenig mehr als zwei Dutzend Vertreter höherer Pflanzen vorkommen, wurden Einzelarten aufgenommen. Dieses relativ genaue Verfahren erschien sinnvoll in Anbetracht des großen Maßstabes der Luftbilder: Bei der Eintragung sind Signaturen bis herunter zu einer Größe von 2 mm gut möglich. Diese entsprechen beim Maßstab 1:5000 10 m in der Natur, was eine für die Einzelkartierung hinreichend kleine Flächeneinheit ergibt. Als Signaturen für die Sublitoralkartierung, auf der der Schwerpunkt der Untersuchungen lag, wurden Zahlen gewählt, und zwar einstellige Zahlen für die häufig vorkommenden, zweistellige für die selteneren Arten (Tab. 5). Um Verwechslungen mit einstelligen Zahlen zu vermeiden, wurden die verhältnismäßig selten gebrauchten zweistelligen unterstrichen. Die Häufigkeit der Arten am Fundort wurde grob so festgehalten, daß dominierende Arten schwarze, vereinzelt auftretende dagegen rote Zahlen bekamen, bzw. Zahlen ohne und mit daruntergesetztem Punkt.
Die Kartierung erfolgte von Booten aus, mit Arbeitsgruppen meist zu je zwei Mann, von denen dem einen das Einholen und Identifizieren der Pflanzenproben oblag, dem anderen die Aufzeichnung der Beobachtungen und die Navigation. Die Wasserpflanzen wurden entweder mit einem Krautrechen am langen Stiel oder durch Auswerfen eines Krauthakens am Seil heraufgeholt, gelegentlich auch von Hand durch Schwimmen und Tauchen. Wichtige Funde wurden in einer flachen, mit Wasser gefüllten Wanne auf Papier ausgebreitet und anschließend gepreßt. Belege befinden sich in den Landessammlungen für Naturkunde in Karlsruhe und in der Thurgauischen Bodensee-Untersuchungsstelle in Romanshorn. Die Kartierungsaktion 1967 begann Ende Juli und konzentrierte sich in der Hauptsache auf den August. Die letzte Arbeitsgruppe

Tabelle 5

Kartierungsschlüssel der Feldaufnahmen im Sommer 1967

I. Sublitoral

Artenkartierung mit Zahlenverschlüsselung. Vorherrschende Arten mit schwarzen Zahlen bzw. ohne Punkt, vereinzelte Arten mit roten Zahlen bzw. mit daruntergesetztem Punkt.

1	Chara aspera u. Ch. contraria
2	Najas intermedia
3	Potamogeton gramineus
4	Potamogeton lucens
5	Potamogeton pectinatus
6	Potamogeton perfoliatus
7	Zannichellia palustris
8	Ceratophyllum demersum
9	Chara tomentosa
10	Elodea canadensis
11	Myriophyllum spicatum
12	Nitellopsis obtusa
13	Nuphar lutea
14	Nymphaea alba
15	Potamogeton crispus
16	Potamogeton densus
17	Potamogeton friesii
18	Potamogeton helveticus
19	Potamogeton natans
20	Potamogeton pusillus
21	Ranunculus fluitans (nicht nachgewiesen)
22	Ranunculus trichophyllus
23	Utricularia neglecta (N) u. U. vulgaris (V)
24	Zannichellia repens
25	Potamogeton angustifolius
26	Polygonum amphibium
27	Ranunculus circinatus
28	Fontinalis antipyretica
A	Fadenalgen

II. Eulitoral

Kartierung der Pflanzengesellschaften mit Flächenfarben und Buchstaben-Aufsignaturen. Grün: Röhrichtgesellschaften. Rot: Strandlingsrasen. Gezähnte Linie: Uferverbauung.

P	Schilfröhricht (Phragmitetum)
S	Binsenröhricht (Scirpetum lacustris)
T	Rohrkolbenröhricht (Typhetum)
G	Schwadenröhricht (Glycerietum maximae)
DM	Strandschmielengesellschaft (Deschampsietum rhenanae, D = Deschampsia, M = Myosotis)
E	Nadelbinsengesellschaft (Littorello-Eleocharitetum)

beendete ihre Tätigkeit am 8. September. Als durchschnittliche Arbeitsleistung je Arbeitsgruppe und Tag ergab sich auf der baden-württembergischen Seite eine Uferstrecke von etwa 2 km.

3.3 Auswertung

Die Auswertung des gesamten Kartierungsmaterials, die in Karlsruhe erfolgte, umfaßte einmal die Zusammenstellung der rein botanischen Ergebnisse, zum anderen die Beurteilung des Gütezustandes der Uferzone auf Grund dieser botanischen Befunde.
Als geographische Bezugsbasis war zunächst ein Koordinatennetz notwendig, in das alle Ergebnisse eingeordnet werden konnten. Hierfür bot sich das großmaßstäbliche Gitternetz an, das in Form der auf Fluglinien aufgereihten Meßbilder bereits vorlag. Wegen der starken Überlappung der Aufnahmen genügte es, jeweils jedes zweite Bild als Gitternetzquadrat heranzuziehen (ausgefüllte schwarze Kreise in Abb. 4). Auf diese Weise wurde ein Gitternetz aus insgesamt 246 Quadraten gewonnen, von denen jedes ungefähr 1 km Uferstrecke deckt.
Die botanische Auswertung ging in zweierlei Richtung: Erstens wurde die Verbreitung der einzelnen Arten über das gesamte Bodenseeufer hinweg verfolgt und zweitens wurde versucht, aus der Einzelartenkartierung im Sublitoral eine Vegetationskarte der Uferzone abzuleiten. Beides war ohne Schwierigkeiten möglich. Für die Ausarbeitung der Art-Verbreitungskarten wurde jeweils festgestellt, für welche Quadrate des Gitternetzes Fundnachweise der betreffenden Sippe vorlagen (Abb. 7—13). Diese Karten stellen also keine Punktkarten dar, auf denen jeder Punkt genau den Ort des Vorkommens bezeichnet, sondern Gitternetzkarten. Die „Übersetzung" der Einzelartenkartierung in Vegetationskarten geschah auf der Grundlage der in Abschnitt 2.2 und Tab. 2 wiedergegebenen floristischen Merkmale (Abb. 5). Für jedes Quadrat des Gitternetzes wurde im Originalmaßstab der Luftbilder eine Schwarzweiß-Vegetationskarte entworfen, die in einem gesonderten, 246 Blätter umfassenden Atlas zusammengestellt sind. Für jedes Kartenblatt, also für jedes Gitternetzquadrat, wurde für den Bereich des Sublitorals eine grobe Flächenschätzung der vorhandenen Pflanzengesellschaften durchgeführt mit folgender Stufung:

I: unter 10 % der Uferbank (des Kartenausschnittes) deckend,
II: 10—50 %,
III: über 50 %.

Abb. 5. Artenkartierung der Wasserpflanzen (Deckblatt, oben) und daraus abgeleitete Vegetationskarte (Deckblatt, unten) auf Luftbildgrundlage. Die Zahlen und Buchstaben im oberen Teil des Deckblattes bedeuten (vgl. Tab. 5): 1 = Chara aspera u. Ch. contraria, 2 = Najas intermedia, 4 = Potamogeton lucens, 5 = Potamogeton pectinatus, 6 = Potamogeton perfoliatus, P = Schilfröhricht. Ein Punkt unter einer Zahl bedeutet vereinzeltes Vorkommen. Die Signaturen im unteren Teil des Deckblattes bedeuten: Blaue senkrechte Schraffen = Nixenkrautgesellschaft, rote waagrechte Schraffen = Glanzlaichkrautgesellschaft, grüne senkrechte Schraffen = Schilfröhricht, schwarz punktiert = Oberrand der Halde. Die Abbildung zeigt, als Beispiel für ein Netzquadrat der Gütestufe II (mittel), das Farbluftbild Mannenbach am thurgauischen Unterseeufer (5/2443) im Originalmaßstab. Der besseren Anschaulichkeit wegen sind – abweichend von der Feldkartierung – auf dem Deckblatt Arten bzw. Pflanzengesellschaften oligo- bis mesotropher Standorte blau, solche eutropher Standorte rot eingezeichnet (aus LANG u. DÜTSCHLER 1971).

Für den Bereich des Eulitorals schien die Flächenschätzung wegen der vielfach unsicheren Abgrenzung der Gesellschaften auf der Landseite unzweckmäßig; hier wurde deshalb entsprechend eine Schätzung der linearen Ausdehnung vorgenommen:

I: unter 10 % der Uferlinie (des Kartenausschnittes) einnehmend,
II: 10—50 %
III: über 50 %

Erst unmittelbar vor der Fertigstellung dieses Berichtes konnte die zeitraubende planimetrische Ausmessung der Vegetationskarten abgeschlossen werden, die die Genauigkeit der Schätzwerte wesentlich verbessert. Diese interessanten Ergebnisse konnten jedoch nur noch in summarischer Form als Übersichtstabelle eingefügt werden (Tab. 7). Für die einzelnen Pflanzengesellschaften sowohl des Sublitorals wie des Eulitorals wurden Gitternetzkarten entworfen, die nicht nur das Vorkommen, sondern darüber hinaus auch die Flächenausdehnung bzw. lineare Ausdehnung wiedergeben, soweit es sich nicht überhaupt um Gesellschaften geringer Frequenz handelt: Es sind Frequenz-Gitternetzkarten (Abb. 14—19).
Die Beurteilung des Gütezustandes der Uferzone stützt sich auf die Interpretation der Vegetationskarten in der in Abschnitt 2.3 bereits angedeuteten Form: Die Flächenausdehnung der Laichkraut-Gesellschaften 4—6, die in der Regel in umgekehrtem Verhältnis zu der der Characeen-Wiesen 1 und 2 steht, wird als unmittelbares Maß für das in erster Linie aus Abwässern stammende Nährstoffangebot gewertet (Tab. 6).
Sämtliche Kartierungs- und Auswertungsergebnisse 1961—1967 wurden auf Randlochkarten DIN A 5 verschlüsselt, und zwar so, daß für jedes Gitternetzquadrat eine Karte angelegt wurde (Abb. 6, Einzelheiten sind der Bildunterschrift zu entnehmen). Diese Arbeitskartei erleichterte sowohl die Herstellung der Karten als auch die Zusammenstellung des Textes.

Tabelle 6

Ableitung des Gütezustandes aus dem Flächenanteil der Wasserpflanzengesellschaften in der Uferzone (I = < 10 %, II = 10—50 %, III = > 50 %)

Gütezustand	*Flächentanteil der Laichkrautgesellschaften*			*Characeen-Wiesen*
	Zannichellietum	Potametum lucentis	Potamogeton pectinatus-Bestände	Charetum Najadetum
III schlecht	III—II	II—I	0	0—I
	I—0	III	0	
	I—0	II	II	
	I—0	0	III	
II mittel	I	II—I	0	0—II (III)
	0	II	0	
	0	I	II	
I gut	0	I	0	I—III

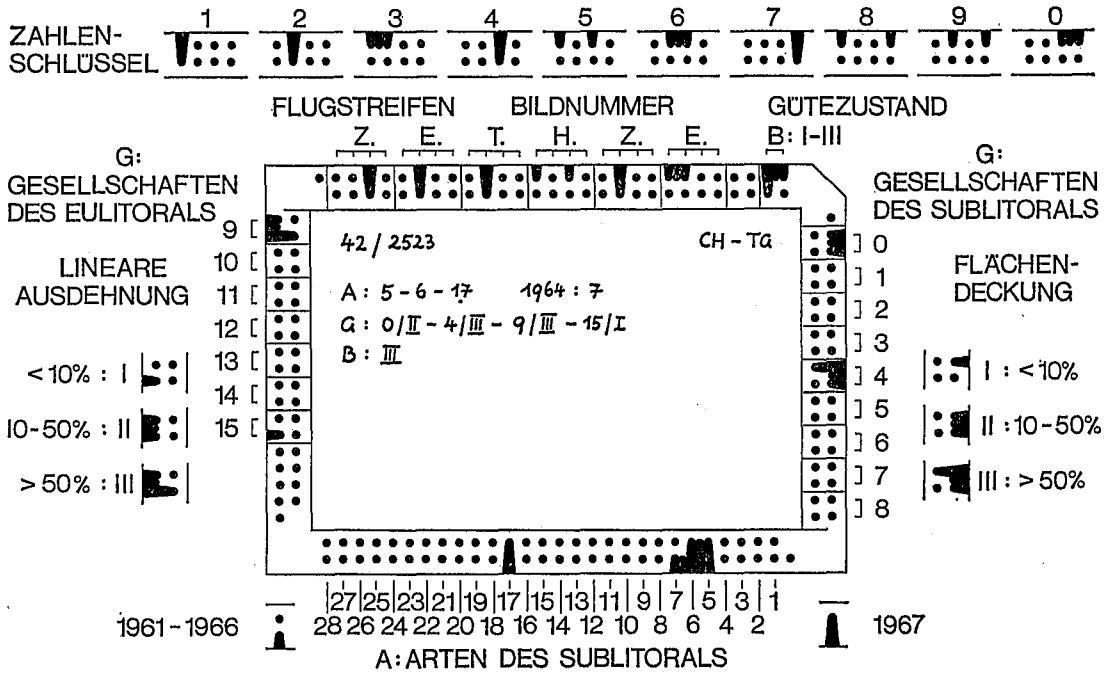


Abb. 6. Verschlüsselung der Kartierungs- und Auswertungsergebnisse auf Randlochkarten DIN A 5. Für jedes als Bezugsbasis dienende Luftbild (vgl. Abb. 4) wurde eine Karte angelegt. In der Mitte der Karte die Daten, die am Rande abgelocht sind. Oben links: Flugstreifen/Bildnummer. Oben rechts: Staat – Land. A: Einzelarten 1967 in Zahlenverschlüsselung (siehe Tab. 5); evtl. Artennachweise aus früheren Beobachtungsjahren. G: Gesellschaften 1967 in Zahlenverschlüsselung (siehe Tab. 2 und 3; O: Vegetationsfreie Flächen, 15 = Steifseggenried, Caricetum elatae) mit quantitativen Angaben. B: Aus der Wasservegetation erschlossener Gütezustand 1967 (siehe Tab. 6).

4 Bestandsaufnahmen der Pflanzendecke

4.1 Makrophyten des Sublitorals

In der nachfolgenden Artenliste sind die bis jetzt im Bodensee beobachteten Makrophyten aufgeführt, also die bei unserer Untersuchung im Vordergrund stehenden echten Wasserpflanzen, nicht dagegen die wesentlich zahlreicheren Arten des Eulitorals (vgl. dazu den Florenkatalog bei LANG 1967, sowie die Zusammenstellung bei LANG 1968). Die Liste wurde, der besseren Übersicht wegen, in die vier großen Makrophyten-Gruppen unterteilt: Charophyten (Armleuchteralgen), Bryophyten (Moose), Monokotyle Angiospermen (Laichkräuter und Verwandte), Dikotyle Angiospermen (sonstige Blütenpflanzen). Innerhalb jeder dieser Gruppen sind die Gattungen und Arten alphabetisch angeordnet. Die Nomenklatur richtet sich nach GAMS (1957, 1969) und OBERDORFER (1970).

+ = Kreuz vor dem Namen bedeutet, daß aus dem Zeitraum 1960–1970 keine Fundnachweise vorliegen.

(3) = Zahl in Klammern hinter dem Namen bedeutet, daß die Art unter dieser Ziffer bei der Kartierungsaktion 1967 aufgenommen wurde.

+ *Chara aculeolata Kütz.* (= Ch. intermedia A. Br.). Nach BAUMANN in unmittelbarer Nachbarschaft des Untersee-Ufers, so im Espi Gottlieben in Wassertümpeln, im Wollmatinger Ried in Gräben, aber nicht im See selbst. Keine neueren Fundnachweise.

Chara aspera Willd. (1). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER eine der verbreitetsten Characeen-Arten im Obersee. Nach MUCKLE an der Mainau in Tiefen bis 5 m vorherrschend, nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht auf der Uferbank wie auf der Halde verbreitet, dort bis 7 m Tiefe. Nach BAUMANN im Untersee die häufigste Characee. Auch heute sowohl im Obersee wie im Untersee häufig, quantitativ aber sicher zurückgegangen. Bei der Kartierung 1967 wurde die Art ohne Trennung mit Ch. contraria zusammen aufgenommen (Abb. 7); eine Trennung der Fundorte wäre erwünscht.

Chara contraria Kütz. (1). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee etwas weniger häufig als Ch. tomentosa, aber von vielen Fundorten damals bekannt. Nach BAUMANN auch im Untersee an vielen Stellen vorhanden. Heute von allen Characeen im Bodensee offenbar die noch häufigste Art (Abb. 7); eine Trennung der Fundorte von denen von Ch. aspera wäre erwünscht.

+ *Chara delicatula Ag.* Nach BAUMANN imUntersee bei Ermatingen-Buchern. Keine neueren Fundnachweise.

+ *Chara dissoluta A. Br.* Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Langenargen, nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht häufig. Nach BAUMANN im Untersee selten: Bei Moos, Hornstaad, Ermatingen. Keine neueren Fundnachweise.

Chara fragilis Desv. Vom Obersee wird die Art nur von GEISSBÜHLER aus der Luxburger Bucht erwähnt, vereinzelt im Phragmitetum vorkommend. Nach BAUMANN im Untersee nur im Wollmatinger Ried, Reichenau-Schopflen, Gottlieben und Ermatingen-Buchern. Einziger neuerer Fundnachweis am Reichenau-Südufer am Fährenhorn (LANG 1967).

+ *Chara hispida L.* (einschließlich Ch. rudis A.Br.). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Überlinger See bei Nußdorf. Nach BAUMANN im Seerhein beim Paradies, im Untersee im Wollmatinger Ried, Im Feld, vor der Reichenau bei Schopflen und vor dem Bruckgraben, sowie im Markelfinger Ried. Keine neueren Fundnachweise.

+ *Chara imperfecta A. Br.* SCHRÖTER und KIRCHNER sowie BAUMANN führen die Art nicht an. Nach GEISSBÜHLER im Obersee in der Luxburger Bucht auf der oberen Halde in 4—6 m Tiefe häufig, mit Tolypella zusammen. Keine neueren Fundnachweise.

Chara tomentosa L. (= Ch. ceratophylla Wallr.) (9). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee und nach BAUMANN im Untersee einst mit Ch. aspera zusammen die weitaus häufigste Art. MUCKLE gibt die Pflanze von der Unteren und Oberen Güll zwischen 5 und 12 m Tiefe als häufig an, dagegen fand sie GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht nur in wenigen Exemplaren. Neuere Funde liegen nur vom Untersee vor, wo die Art an den meisten Fundstellen noch in größerer Individuenzahl vorkommt. Insgesamt ist aber der Rückgang der Art unverkennbar.

+*Chara vulgaris L.* (= Ch. foetida A. Br.). SCHRÖTER und KIRCHNER zählen die Art vom Obersee nicht auf; nach GEISSBÜHLER ist sie in der Luxburger Bucht die häufigste Chara-Art neben Ch. aspera, in Tiefen bis 3 m. MUCKLE erwähnt einen Fundort am Brauereiweiher Staad. Nach BAUMANN am Untersee verbreitet und häufig, aber nicht im engeren Uferbereich, sondern in Seegräben, überrieselten Riedstellen und Tümpeln. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Nitella capillaris* (Krock.) J. Grov. et Bull.-Webst. (= Nitella capitata [Nees ab Esenb.] Ag.). Nach BAUMANN im Untersee bei Reichenau-Schopflen. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Nitella flexilis* (L.) Ag. Nach BAUMANN im Untersee unterhalb Berlingen. Neuere Fundnachweise fehlen.

Nitella hyalina (DC.) Ag. Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Überlinger See bei der Mainau, nach GEISSBÜHLER vereinzelt in der Luxburger Bucht. Nach BAUMANN im Untersee ziemlich verbreitet und stellenweise in Menge, z. B. bei Allensbach und im Ostteil des Gnadensees. Ein neuerer Fundnachweis liegt nur vom östlichen Gnadensee vor (LANG 1967). Die Zahl der Fundorte ist zurückgegangen.

+ *Nitella opaca Ag.* Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Überlinger See vor Wallhausen in 13,5 m Tiefe in ausgedehnten Wiesen, nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht selten auf der Halde in 7—10 m Tiefe, nach GAMS (briefl.) 1923 bei der Mehrerau. Nach BAUMANN im Untersee nur vier Fundorte. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Nitella syncarpa (Thuill.) Chevall.* Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Kreuzlingen, nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht auf der Halde in 7—10 m Tiefe, nach BAUMANN im Obersee in der Oberen Güll, vor Landschlacht und am Käntle bei Konstanz steril in 30 m Tiefe. Nach BAUMANN im Untersee verbreitet. Neuere Fundnachweise fehlen.

Nitellopsis obtusa (Desv.) Grov. (= Tolypellopsis stelligera Migula) (12). Vom Obersee in der Literatur nicht erwähnt, aber nach GAMS (briefl.) 1927 im Lindauer Kleinen See in etwa 2 m Tiefe reichlich. Nach BAUMANN im Untersee am Reichenau-Nordufer, bei Moos, Hornstaad, Ermatingen und Steckborn. Neuere Fundnachweise im Obersee nur von der Argenmündung, im Untersee an mehreren Stellen (Abb. 9).

+ *Tolypella glomerata (Desv.) v. Leonh.* Nach GEISSBÜHLER im Obersee in der Luxburger Bucht am Oberrand der Halde häufig, zwischen 4—7 m Tiefe. Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Seerhein beim Paradies, BAUMANN gibt die Art vom Untersee nicht an. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Tolypella cf. nidifica (Müller) v. Leonh.* Nach BAUMANN im Untersee bei Ermatingen-Buchern. Neuere Fundnachweise fehlen.

Bryophyten (Moose)

Cinclidotus fontinaloides (Hedw.) Pal. Beauv. Nach PHILIPPI (1968 a) im Obersee bei Wasserburg.

Cinclidotus nigricans (Brid.) Loesk. Nach PHILIPPI (1968 a) an Ufermauern des Obersees bei Bregenz, Nonnenhorn und Langenargen.

Fissidens crassipes Wils. Nach BAUMANN im Obersee vor dem Inselhotel in 5 m Tiefe, auf Rivularia-Bänken im Seerhein in 3—14 m Tiefe, von dort schon von LAUTERBORN 1910 genannt, unterhalb Gottlieben in der Rheinrinne beim Entlibühl in 6 m Tiefe, im Untersee bei der Insel Werd und unterhalb Stein a. Rh. an stark fließenden Stellen in 2—3 m Tiefe. Nach PHILIPPI (1968 a) am Oberseeufer an vielen Stellen: Bregenz, Lindau, Wasserburg, Nonnenhorn, Langenargen, Meersburg, Rorschach, Bottighofen; am Unterseeufer bei Steckborn und Stein.

Fontinalis antipyretica L. (28). Nach BAUMANN bei Konstanz, Ermatingen bei der Badanstalt in 1,5 m Tiefe, unterhalb Mammern, bei Untereschenz, bei der Schiffsanlegestelle Oberstaad noch in 17 m Tiefe sowie nahe der Mühlebachmündung in Menge, zwischen Moos und Radolfzell in der Aachmündung in 2 m Tiefe, Allensbach. Neuere Fundnachweise sind verhältnismäßig spärlich, doch ist die Art sicherlich da und dort übersehen worden.

+ *Gymnostomum recurvirostrum Hedw.* Nach BAUMANN nahe der Rheinbrücke Konstanz steril mit Pachyfissidens grandifrons zusammen, ferner auf Kalktuffbänken im Rhein bei Stein in 2,5—4 m Tiefe. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Hygroamblystegium tenax (Hedw.) Jennings* (= Amblystegium irriguum Wils.). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER am Hafendamm Romanshorn 1 dm unter Wasser, am Schlössli Bottighofen, beim Hörnli Kreuzlingen 2—3 dm unter Wasser. Neuere Fundnachweise fehlen.

Octodiceras julianum (Savi) Brid. Nach PHILIPPI (1968 a) an einer Ufermauer in Nonnenhorn.

Pachyfissidens grandifrons (Brid.) Limpr. Nach einer Zusammenstellung der Literaturangaben durch PHILIPPI (1968 b) früher an folgenden Orten nachgewiesen: Wasserburg, Felswände des Überlinger Sees bis 20 m Tiefe, Konstanz nahe der Rheinbrücke mit Gymnostomum recurvirostrum, bei Konstanz ferner vereinzelt am Paradieser Fachen, beim Entlibühl unterhalb Gottlieben in 6—8 m Tiefe. Neuere Fundnachweise liegen nach PHILIPPI nur von Wasserburg vor.

+ *Pohlia ludwigii (Sprengel) Broth.* Nach SCHRÖTER und KIRCHNER als sterile Wasserform bei Horn in 1—1,5 m Tiefe. Neuere Fundnachweise fehlen.

+ *Trichostomum baurianum Warnst.* Nach BAUMANN im Altrhein beim Entlibühl unterhalb Gottlieben in 6—8 m Tiefe. Nach LOESKE handelt es sich bei dem Moos um eine Wasserform von Tortula unguiculata (zit. nach SCHMIDT 1927, wo die Art als Trichostomum baurii Warnst. bezeichnet wird). Nach HILPERT (1933) handelt es sich möglicherweise um Didymodon oder Barbula.

Monokotyle Angiospermen (Laichkräuter und Verwandte)

Alisma gramineum Lej. (= A. loeselii Gorski). Fehlt im Obersee. Im Untersee früher und heute verbreitet.

Najas flexilis (Willd.) Rostk. et Schm. Nach BAUMANN im Untersee bei Hegne und Ermatingen. Neuere Fundnachweise liegen aus dem östlichen Gnadensee vor, dagegen ist das Vorkommen bei Ermatingen erloschen (LANG 1967).

+ *Najas minor All.* Nach BAUMANN im Untersee im Gehrenmoos bei Hegne (1906), von K. BERTSCH 1933 noch bestätigt. Neuere Fundnachweise fehlen (LANG 1967).

Najas intermedia Wolfg. (= N. marina L. var. intermedia [Wolfg.] A. Br.) (2). SCHRÖTER und KIRCHNER führen die Art für den Obersee nicht auf; nach BAUMANN ist sie im Untersee verbreitet. Alle von BAUMANN genannten Fundorte sind auch heute noch vorhanden, mit einer Ausnahme: Die Vorkommen am Bruckgraben-Südausgang und auf der Südseite des Reichenau-Dammes konnten seit Beginn unserer Beobachtungen (1959) nicht mehr bestätigt werden. Dagegen ist ein Fundort an der Mainau, als einzigem Nachweis im Obersee, neu (vgl. LANG 1967); die Möglichkeit ist jedoch nicht auszuschließen, daß dieses kleine, isolierte Vorkommen von den älteren Bearbeitern seinerzeit übersehen wurde (Abb. 7).

Potamogeton angustifolius J. Presl. (25). SCHRÖTER und KIRCHNER nennen vom Obersee nur einen Fundort vor der Bleiche Überlingen; nach BAUMANN ist die Art im Untersee ziemlich verbreitet. Die neueren Fundnachweise, die wegen der etwas schwierigeren Erkennbarkeit wahrscheinlich nicht vollständig sind, belegen zahlreiche Vorkommen im Obersee, dagegen wenige im Untersee (Abb. 13).

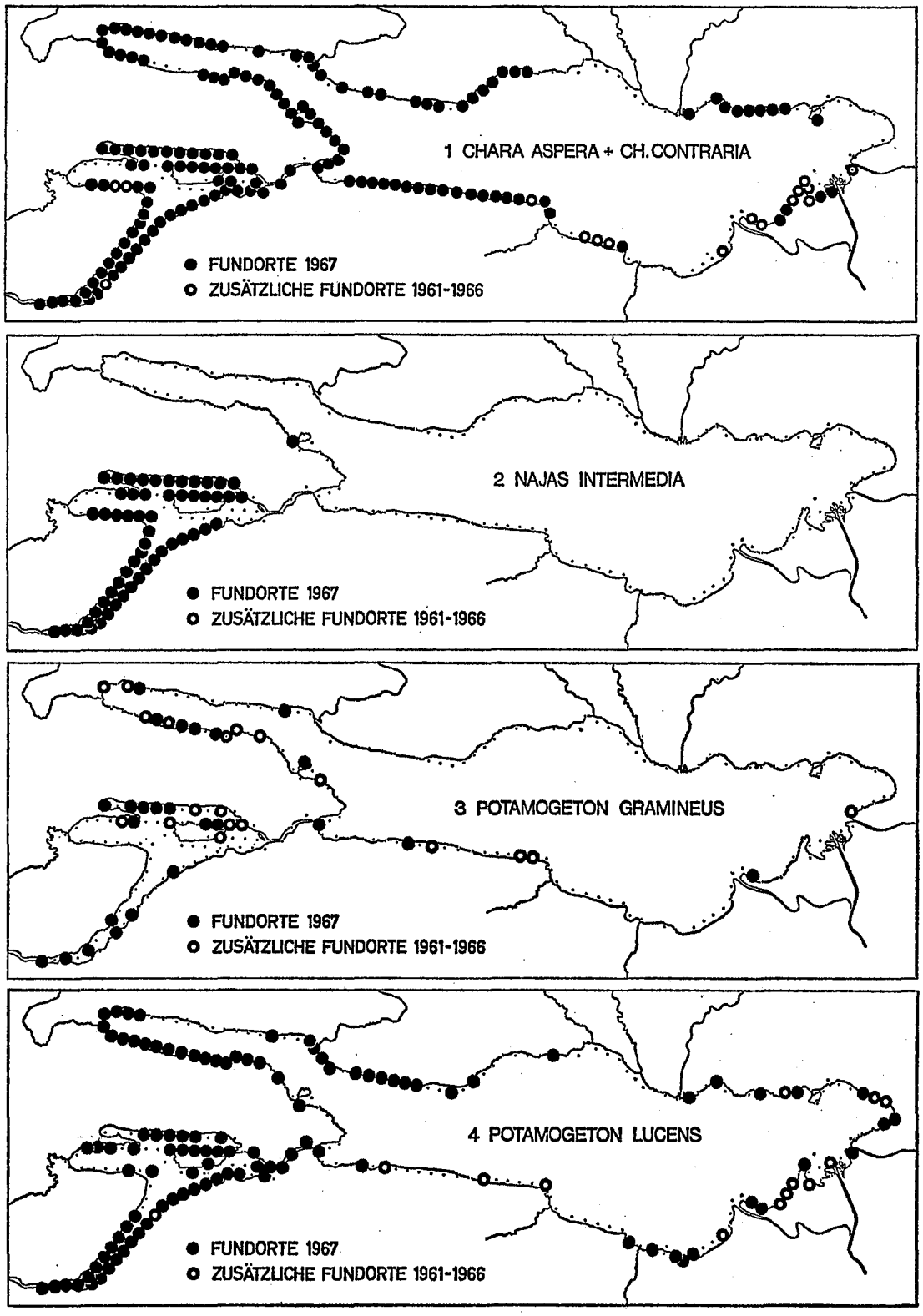
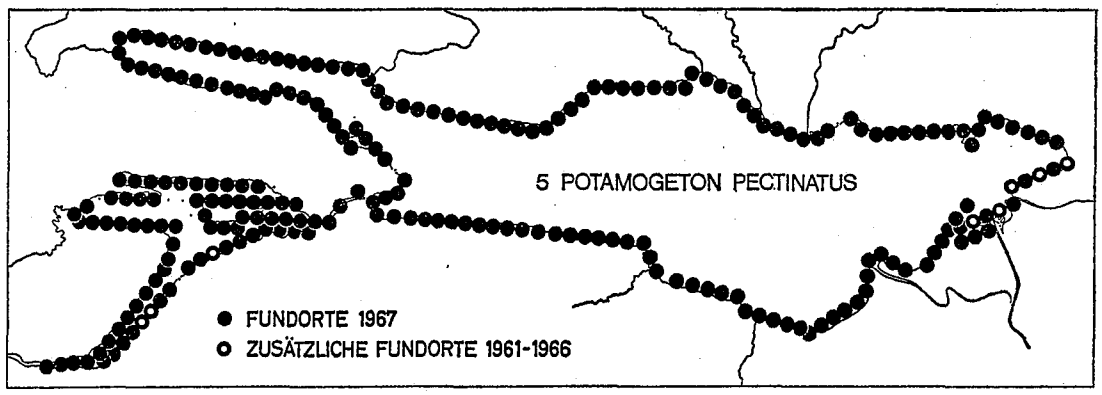
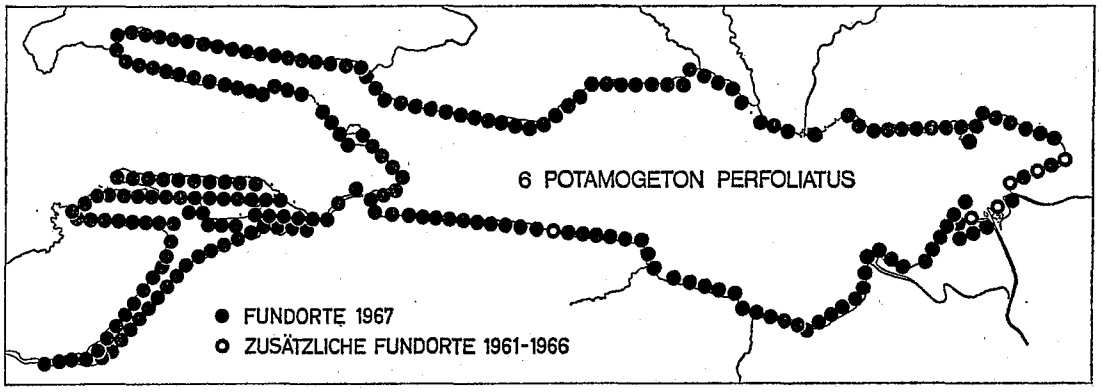
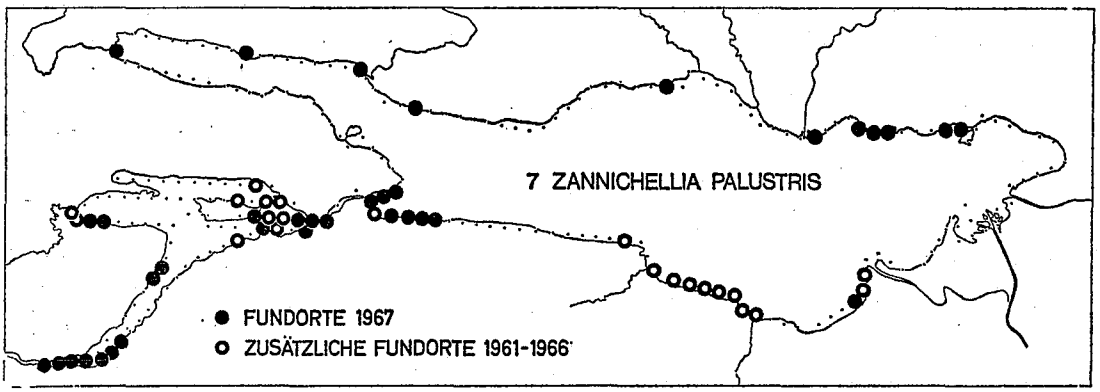


Abb. 7. Fundorte der Arten 1–4.







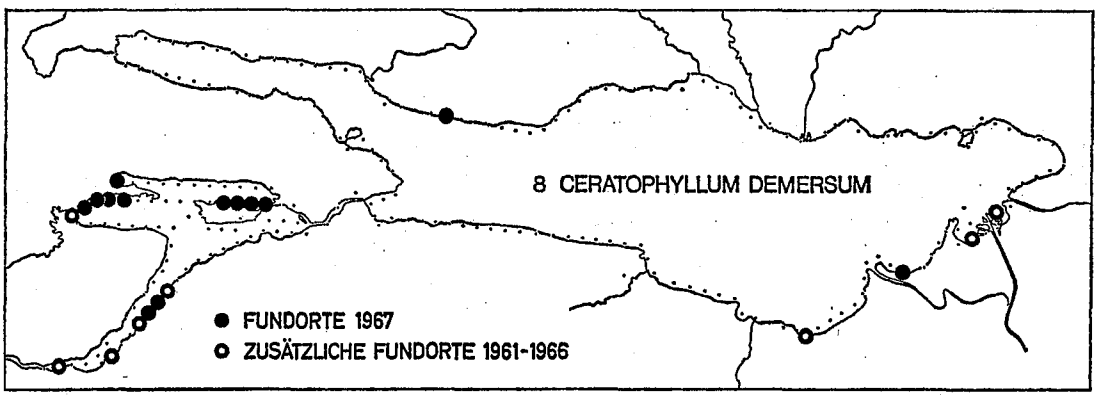


Abb. 8. Fundorte der Arten 5–8.

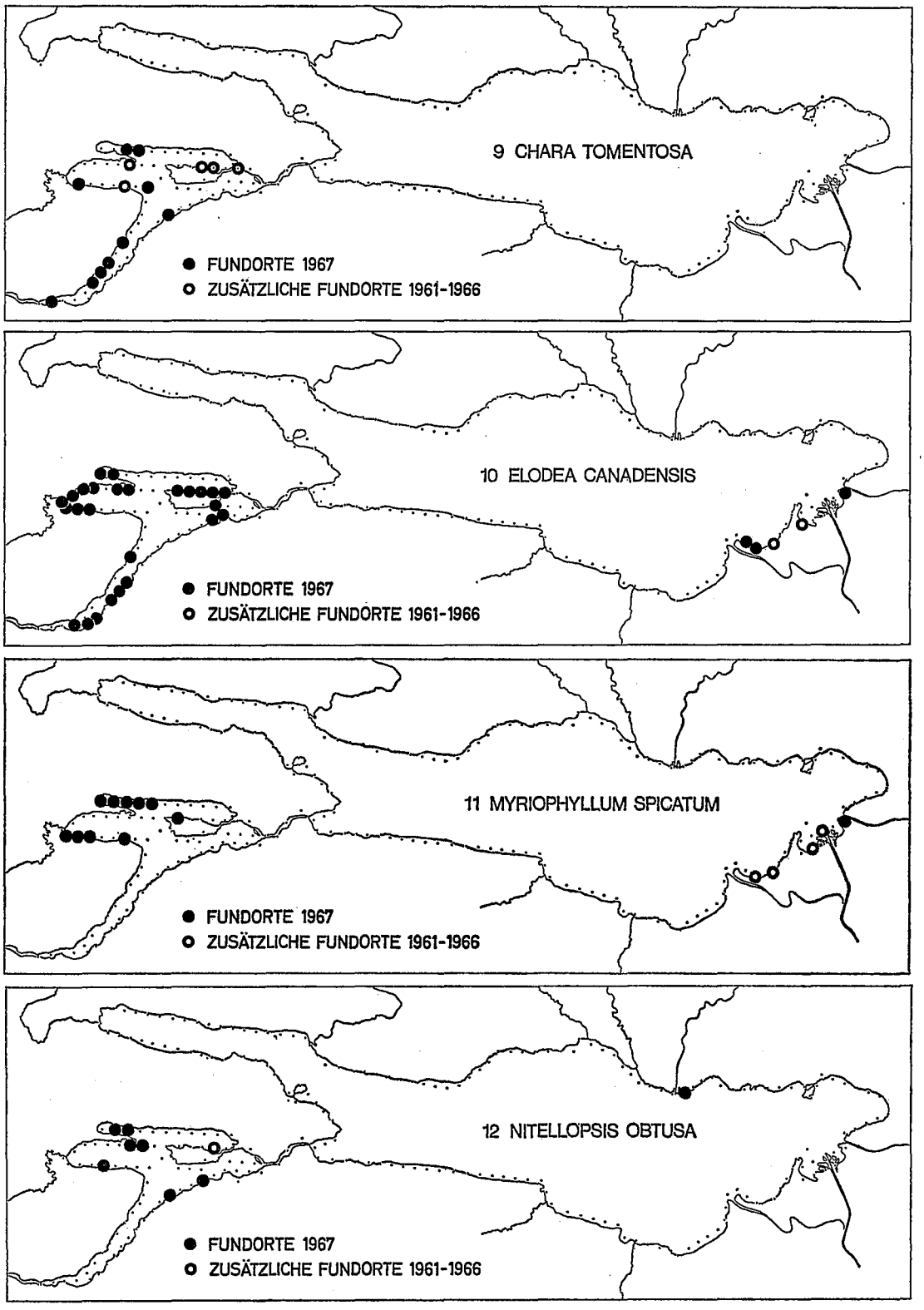


Abb. 9. Fundorte der Arten 9–12.

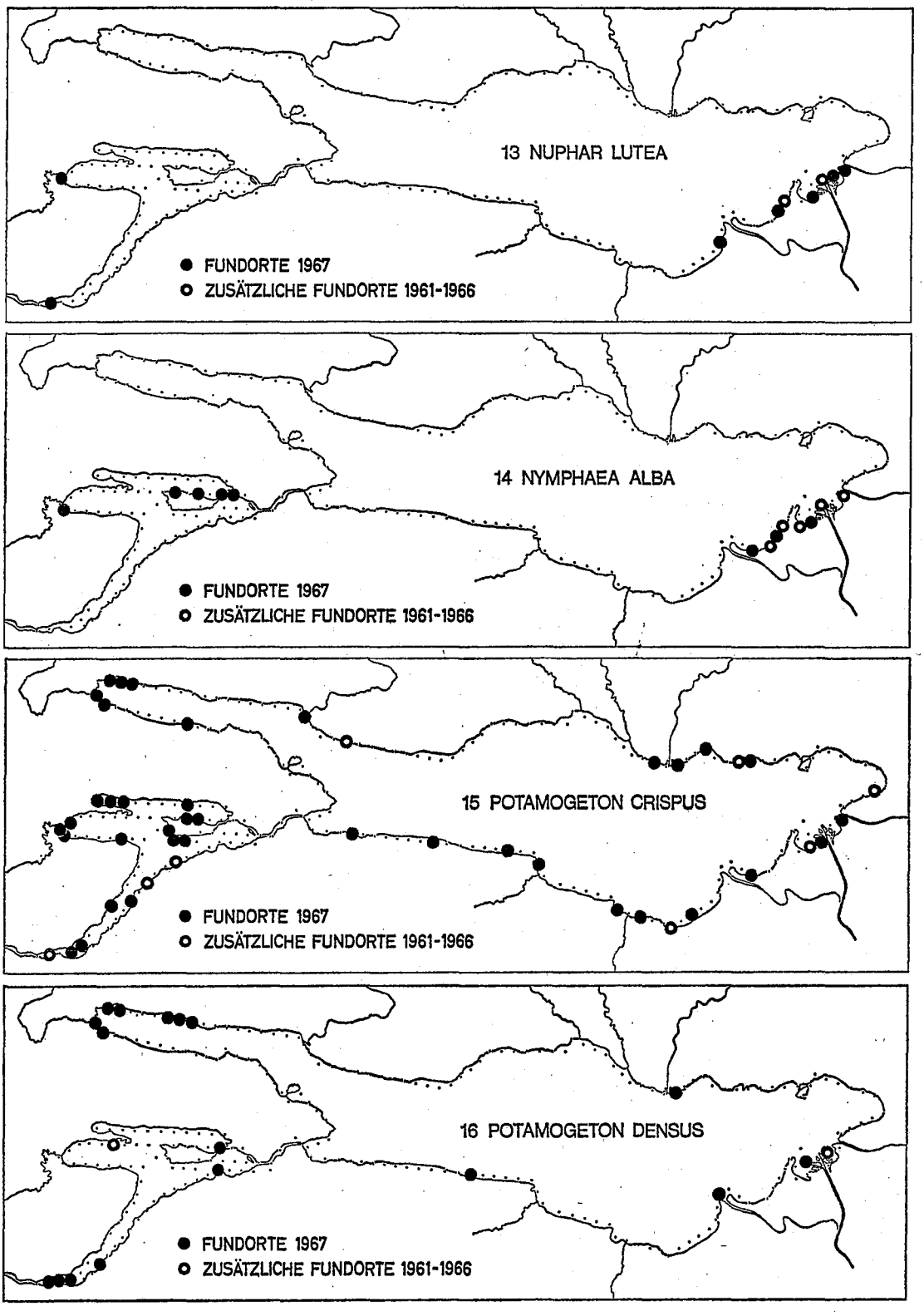


Abb. 10. Fundorte der Arten 13–16.

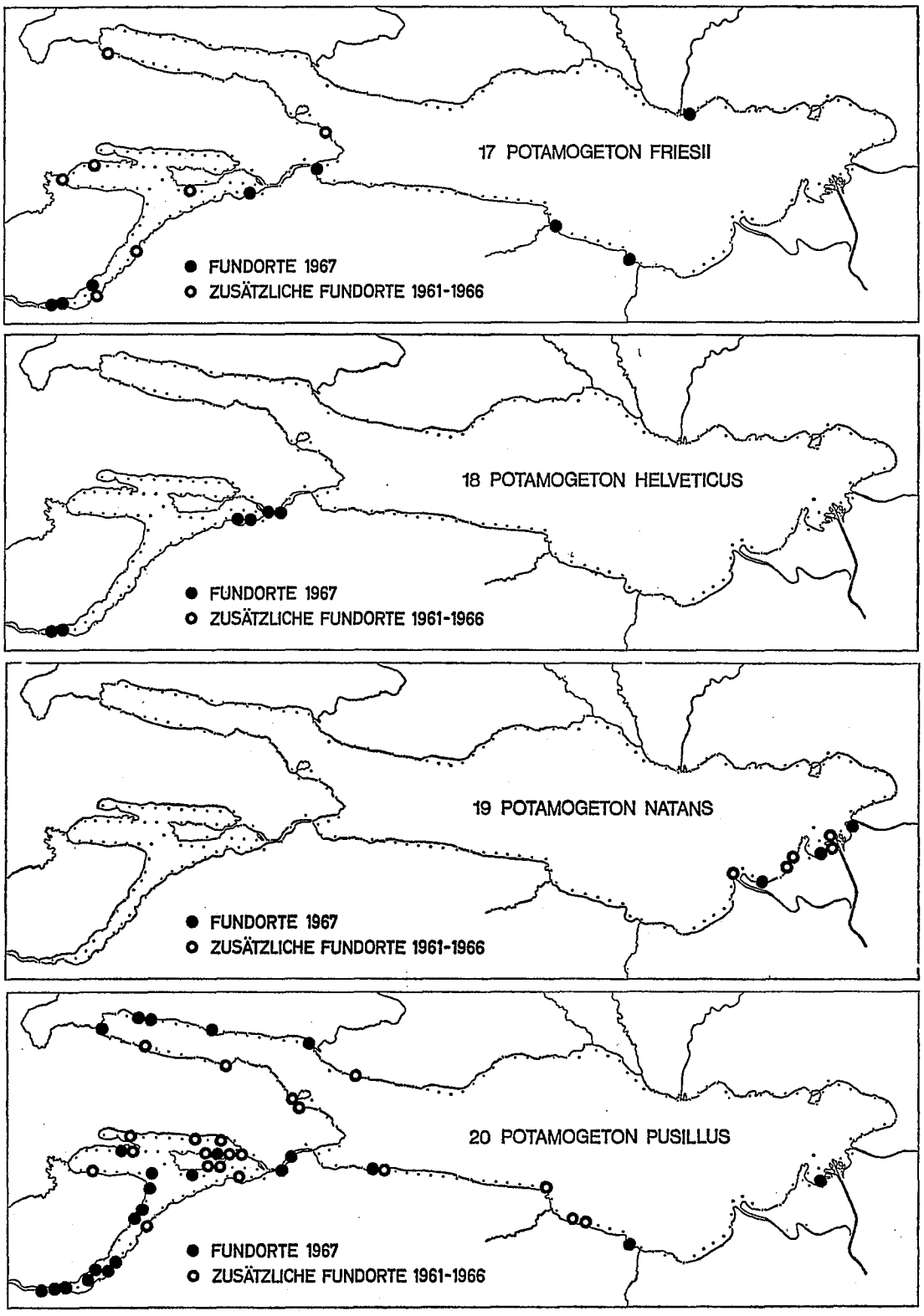


Abb. 11. Fundorte der Arten 17–20.

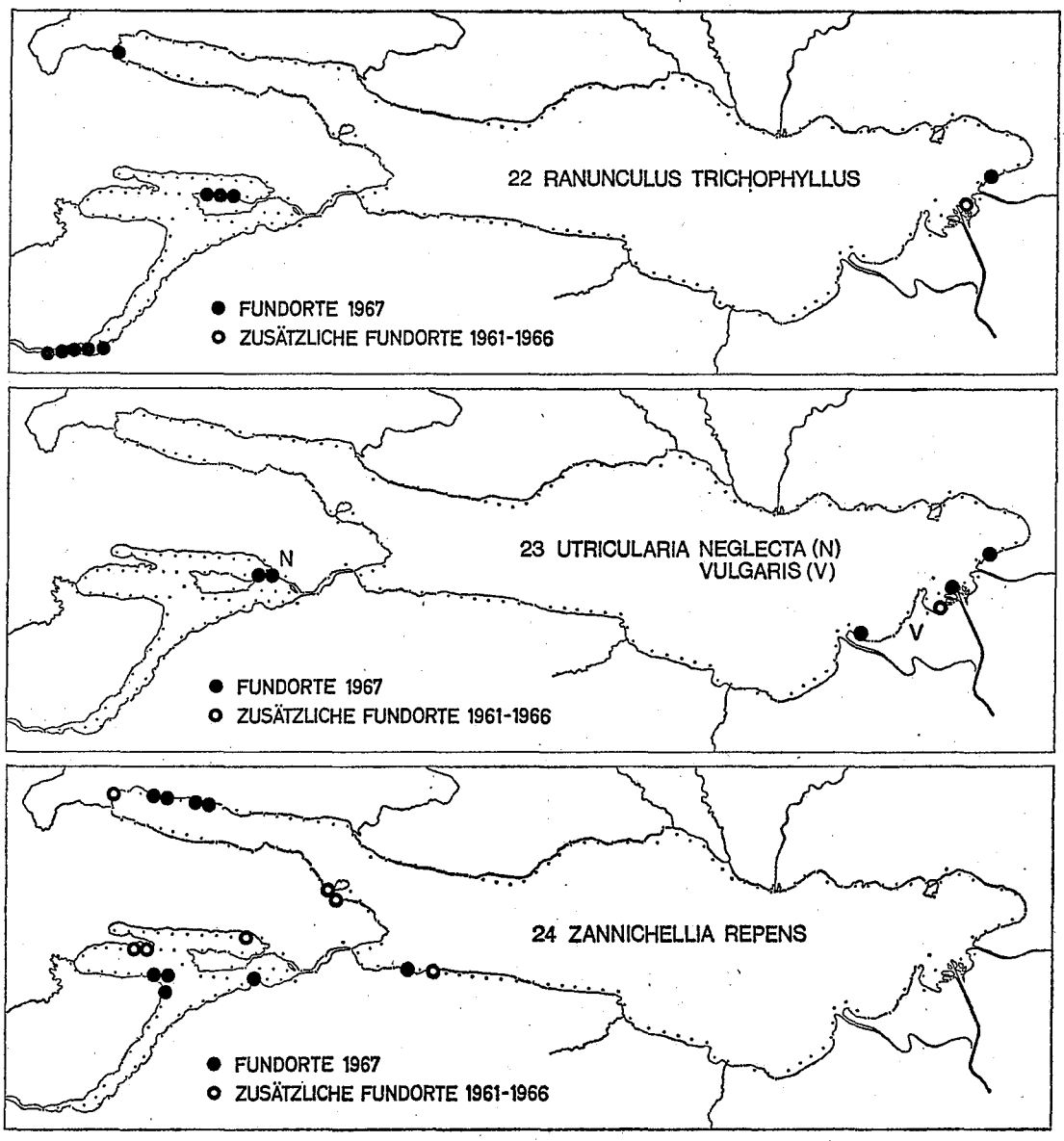


Abb. 12. Fundorte der Arten 22–24.

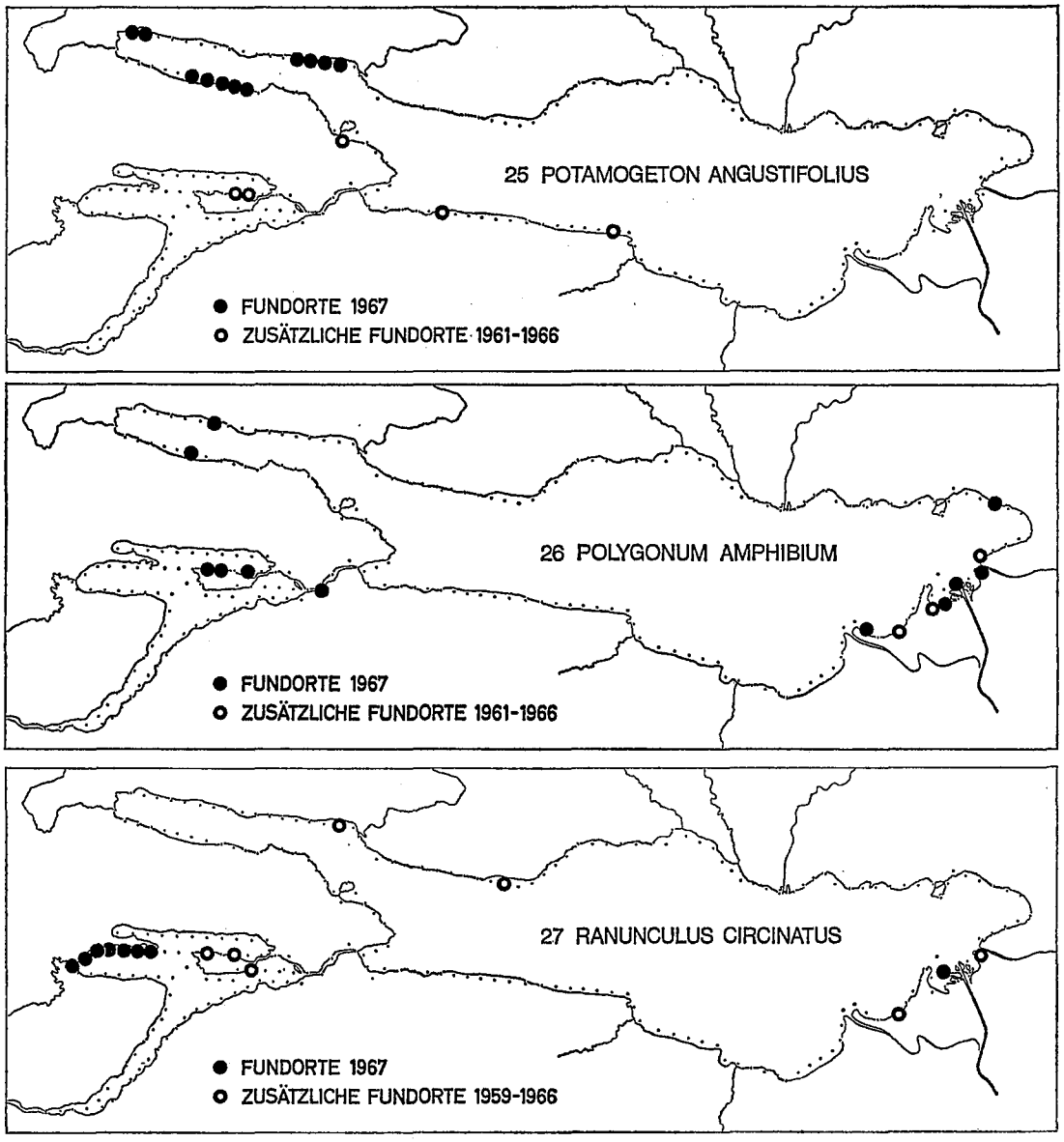


Abb. 13. Fundorte der Arten 25–27.

+ *Potamogeton coloratus Vahl.* Nach BAUMANN in Riedgräben im Wollmatinger Ried. Neuere Fundnachweise fehlen.

Potamogeton crispus L. (15). SCHRÖTER und KIRCHNER geben die Art nur von drei Stellen im Obersee an, MUCKLE führt sie von Staad auf, GEISSBÜHLER von der Luxburger Bucht. BAUMANN rechnet sie im Untersee zu den verbreiteten Pflanzen. Heute sind neben vielen Fundorten im Untersee auch zahlreiche im Obersee nachgewiesen (Abb. 10); die Pflanze hat sich offenbar vor allem dort weiter ausgebreitet.

Potamogeton densus L. (=Groenlandia densa [L.] Fourr.) (16). SCHRÖTER und KIRCHNER kannten im Obersee nur zwei Fundorte: Harder Bucht und Bleiche Überlingen. Heute sind im Obersee dagegen wesentlich mehr bekannt, allein im Überlinger See sieben Fundorte. Die Fundnachweise von BAUMANN im Untersee stimmen großenteils mit den heutigen überein (Abb. 10).

+ *Potamogeton filiformis Pers.* Nach BAUMANN im Untersee sehr selten und meist steril: Binsenböschen unterhalb Gottlieben, unterhalb Steckborn, Eschenzer Horn, Insel Langenrain. Neuere Fundnachweise fehlen.

Potamogeton friesii Rupr. (= P. mucronatus Schrad.) (17). Von SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee nicht nachgewiesen; GEISSBÜHLER gibt die Art dagegen aus dem Mündungsgebiet der Luxburger Aach an. Von BAUMANN werden im Untersee vier Fundorte aufgeführt. Heute sind in beiden Seeteilen mehr Fundorte bekannt (Abb. 11), die Pflanze hat sich in den vergangenen Jahrzehnten ausgebreitet.

Potamogeton gramineus L. (3). SCHRÖTER und KIRCHNER geben vom Obersee nur wenige Fundorte an: Mündung des Nußbaches, Ludwigshafen, von Bodman bis Wallhausen, Mainau, Rohrspitz, Bottighofen, Kreuzlingen. GEISSBÜHLER nennt auch die Luxburger Bucht und meint, die Art sei, ebenso wie P. angustifolius, im Obersee wohl häufiger, als es nach SCHRÖTER den Anschein habe. Nach BAUMANN im Untersee verbreitet und stellenweise häufig. Heute im Obersee und Untersee an einer größeren Zahl von Fundorten, aber nirgends mehr häufig (Abb. 7).

Potamogeton helveticus (G. Fisch.) W. Koch (18). Nach BAUMANN im Obersee nur im Konstanzer Trichter vom Konstanzer Hafen bis zum Seerhein, im Seerhein mehrfach, in der Rheinrinne unterhalb Gottlieben, „Im Feld" außerhalb der Strömung, unterhalb Stein am Rhein bis Schaffhausen häufig. Heute im Seerhein und in der anschließenden Rheinrinne nachgewiesen, sowie am Ausfluß des Untersees (Abb. 11). Die Vorkommen im Konstanzer Trichter sind möglicherweise erloschen.

Potamogeton lucens L. (4). SCHRÖTER und KIRCHNER bezeichnen die Art als häufigstes Laichkraut im Obersee, BAUMANN gibt sie vom Untersee ebenfalls als verbreitet an. Heute ist die Pflanze in beiden Seeteilen verbreitet, aber nicht so häufig wie Potamogeton perfoliatus oder gar P. pectinatus (Abb. 7). Zuverlässige Augenzeugenberichte (ELSTER, GAMS u. a. mdl.) bestätigen, daß die Art an manchen Stellen, an denen sie noch in den dreißiger Jahren zusammen mit P. perfoliatus häufig war, heute durch P. pectinatus ersetzt ist.

Potamogeton natans L. (19). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Bodensee fehlend, BAUMANN erwähnt die Art von einigen Fundorten am Untersee, die jedoch nicht zum eigentlichen Seegebiet gehören. Heute ist die Pflanze an einer Anzahl von Fundstellen zwischen den Mündungen des Alten Rheins und der Bregenzer Aach nachgewiesen (Abb. 11).

Potamogeton pectinatus L. (5). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER sowie BAUMANN im gesamten Uferbereich des Bodensees verbreitet, damals jedoch weniger häufig als P. lucens und P. perfoliatus. Heute ist die formenreiche Art das weitaus häufigste Laichkraut im See (Abb. 8).

Potamogeton perfoliatus L. (6). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER sowie BAUMANN im Obersee wie im Untersee verbreitet. Heute in beiden Seeteilen nach P. pectinatus das häufigste Laichkraut (Abb. 8).

Potamogeton pusillus L. (= P. panormitanus Bivona) (20). SCHRÖTER und KIRCHNER geben die Art vom eigentlichen Seegebiet des Obersees nur zwischen Kreuzlingen und Konstanz an; nach GEISSBÜHLER fehlt sie in der Luxburger Bucht. Dagegen zählt BAUMANN im Untersee eine größere Anzahl von Fundorten auf, einige wenige auch von P. berchtoldii Fieb., der demselben Formenkreis angehört. Heute ist die Pflanze von vielen Fundorten im Obersee und Untersee bekannt (Abb. 11).

\+ *Potamogeton trichoides Cham. et Schlecht.* Nach SCHRÖTER und KIRCHNER auf Grund eines alten Herbarbeleges (Herbarium WARTMANN, leg. LEINER) ohne nähere Fundortsangabe vom Bodensee aufgeführt. Der Nachweis ist zweifelhaft. Neuere Fundnachweise fehlen.

Zannichellia palustris L. ssp. palustris (= Z. major Boenn.) (7). Zannichellia wird heute in drei Sippen aufgespalten, deren taxonomische Bewertung stark umstritten ist: 1. Z. palustris ssp. palustris (= Z. major Boenn.), 2. Z. palustris ssp. repens (Boenn.) Koch (= Z. repens Boenn.), 3. Z. palustris ssp. pedicellata (Wahlb. et Ros.) Hegi (= Z. pedunculata Rchb.). Im Bodensee kommen nur die Unterarten palustris und repens vor; beide Sippen werden von BAUMANN ausführlich beschrieben. Sie sind durch ihre Wuchsform habituell stark unterschieden: ssp. palustris wird bis 1 m hoch oder auch noch höher, ssp. repens dagegen bleibt stets klein und niederliegend und wurzelt an den Stengelknoten. Zwischen den beiden Sippen sind allerdings Übergänge vorhanden, so daß die Zuordnung öfter schwierig ist. Auf der Diskussion BAUMANNs (1925) fußend, bezweifeln HESS, LANDOLT und HIRZEL (1967), daß die niederliegende Sippe vom Bodensee mit der ssp. repens im skandinavischen Raum identisch ist. Zannichellia palustris wird von SCHRÖTER und KIRCHNER ausdrücklich als fehlend im Obersee vermerkt, während BAUMANN im Seerhein und Untersee eine größere Anzahl von Fundorten nachweist. Bereits BAUMANN entdeckte die Art dann auch im Obersee bei Ruderbaum und Münsterlingen, wobei es sich wohl um die ssp. palustris handelte. In der Luxburger Bucht ist Zannichellia palustris nach GEISSBÜHLER schon zwischen 1935 und 1938 sehr häufig. Die Pflanze ist heute von einer Vielzahl von Fundstellen nachgewiesen, nicht nur vom Untersee, sondern auch vom Obersee (Abb. 8), wo sie sich zweifellos in den letzten Jahrzehnten stark ausgebreitet hat.

Zannichellia palustris L. ssp. repens (Boenn.) Koch (= Z. repens Boenn.) (24). Die Pflanze, die von SCHRÖTER und KIRCHNER ebensowenig wie die ssp. palustris vom Obersee genannt wird, ist von BAUMANN von einer ganzen Anzahl von Fundstellen im Untersee nachgewiesen. Da Funde fossiler Zannichellia-Früchtchen im spätneolithischen Pfahlbau Sipplingen (K. BERTSCH 1932), bei denen man am ehesten an Z. repens denken möchte, auf sehr alte Vorkommen auch im Obersee hinweisen, muß vermutet werden, daß SCHRÖTER und seine Gewährsleute die Pflanze damals übersehen haben. Heute liegen Fundnachweise aus dem westlichen Obersee und aus dem Untersee vor (Abb. 12); sie sind sehr wahrscheinlich lückenhaft. Nach GAMS (mdl.) kommt die unscheinbare Pflanze heute z. B. auch vor Wasserburg vor.

Dikotyle Angiospermen (sonstige Blütenpflanzen)

Ceratophyllum demersum L. (8). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Lindau, an der Argenmündung, im Hafen von Langenargen, bei Überlingen, Wallhausen, Kreuzlingen. Nach GEISSBÜHLER im Hafen von Egnach. Nach BAUMANN im Untersee ziemlich verbreitet. Heute liegen fünf Fundnachweise aus dem Obersee vor und eine größere Anzahl aus dem Untersee (Abb. 8).

Elodea canadensis Michx. (10). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Lindau, Güttingen, Kreuzlingen, Konstanz; nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht. Nach BAUMANN im Untersee vielerorts und meist gesellig. Die Kanadische Wasserpest, die bekanntlich in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts in Europa eingeschleppt wurde, breitete sich in den achtziger Jahren im Bodensee stellenweise massenhaft aus, ging aber nach wenigen Jahren wieder stark zurück. Heute kommt die Pflanze nur submers und steril vor, im Ostteil des Obersees und im Untersee (Abb. 9).

Myriophyllum spicatum L. (11). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Lindau, Langenargen, Überlingen, Kargeck und Wallhausen, Rorschach; nach MUCKLE bei Staad. Nach BAUMANN im Seerhein und Untersee verbreitet. Heute liegen Fundnachweise vom Untersee vor; ferner solche vom östlichen Obersee, wo jedoch an verschiedenen Stellen nicht sicher zwischen M. spicatum und M. verticillatum unterschieden wurde (Abb. 9).

Myriophyllum verticillatum L. Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee im „Seegraben" bei Egnach, von wo sie auch GEISSBÜHLER meldet; nach K. BERTSCH (1941) auch im Eriskircher Ried. Nach BAUMANN im Untersee hie und da. Die Art ist keine eigentliche Seepflanze, vielmehr besiedelt sie nur geschützte Buchten sowie Gräben in Ufernähe. Neue Fundnachweise liegen aus dem Gebiet der alten und neuen Rheinmündung vor.

Nuphar lutea (L.) Sm. (13). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER in der Steinacher Bucht, vor der Aachmündung südlich von Romanshorn und vor der Mündung des Wielergrabens bei Luxburg. Nach BAUMANN im Untersee zwischen der Mündung der Radolfzeller Aach und Moos sowie nordwestlich des Radolfzeller Hafens. Heute liegen Fundnachweise aus dem östlichen Bodensee im Umkreis der Rheinmündungen sowie aus dem Untersee vor (Abb. 10).

Nymphaea alba L. (14). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee bei Wasserburg und im Röhricht bei Altenrhein. Nach BAUMANN im Untersee im Wollmatinger Ried, im Seeried beim Fährenhorn auf der Reichenau, bei Radolfzell und Moos. Heutige Fundnachweise liegen vom östlichen Obersee vor sowie vom Untersee (Abb. 10).

Polygonum amphibium L. (26). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee an einer Reihe von Fundorten: Langenargen, Nußdorf, Überlingen, Konstanz, Romanshorn, Keßwil, Altnau, Landschlacht; nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht. Nach BAUMANN im Untersee verbreitet. Heute liegen Fundnachweise vom Obersee und Untersee vor (Abb. 13).

Ranunculus circinatus Sibth. (= R. divaricatus auct.) (27). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee im Kleinen See bei Lindau, bei Wasserburg, Überlingen und Luxburg, von dort auch von GEISSBÜHLER beobachtet. Nach BAUMANN im Untersee verbreitet. Heute liegen Fundnachweise vom Obersee und Untersee vor (Abb. 13).

\+ *Ranunculus fluitans Lam.* Nach BAUMANN im Untersee früher in der Rheinrinne zwischen Gottlieben und Ermatingen, dort aber verschwunden. Neuere Fundnachweise fehlen.

Ranunculus trichophyllus Chaix (= R. flaccidus Pers.) (22). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee vor Lindau, am Steinachdelta, vor Rorschach; nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht. Nach BAUMANN im Untersee verbreitet. Im Obersee heute nur von drei Fundorten bekannt, dagegen von einer größeren Anzahl im Untersee (Abb. 12).

Utricularia neglecta Lehm. (23). Nach BAUMANN im Untersee an mehreren Fundorten. Heute vom Gehrenmoos und Im Feld bekannt (Abb. 12).

Utricularia vulgaris L. (23). Nach SCHRÖTER und KIRCHNER im Obersee im Röhricht bei Lindau, östlich von Wasserburg, ferner bei Kreuzlingen. Heute sind nur Fundorte zwischen der Altrheinmündung und Bregenz bekannt (Abb. 12).

4.2 Makrophytengesellschaften des Sublitorals

Nachstehend verfolgen wir die Verbreitung der in Abschnitt 2.2 charakterisierten Wasserpflanzengesellschaften auf der Grundlage der aus der Artenkartierung 1967 abgeleiteten Vegetationskarten. Nach Flächenschätzungen der Gesellschaften auf diesen Karten wurden Frequenz-Gitternetzkarten entworfen (Abb. 14—16), die in rasch überschaubarer Form Vorkommen und Ausdehnung erkennen lassen (vgl. zur Methodik Abschnitt 3.3). Die Schätzwerte werden ergänzt durch die planimetrisch gewonnenen Flächenangaben in Tab. 7.

1 Characeen-Rasen (Charetum asperae). Die Gesellschaft ist auf den Obersee beschränkt. Verbreitungsschwerpunkte liegen im Obersee i. e. S. zwischen Uttwil und Bottighofen, im Überlinger See zwischen Überlingen und Ludwigshafen, um Bodman, bei Dingelsdorf, an der Mainau (Untere und Obere Güll) (Abb. 14 oben). Insgesamt nimmt die Gesellschaft eine Fläche von 105 ha ein; das sind lediglich knapp 2 % der ganzen Uferbankfläche bzw. 7,5 % der von Makrophytenvegetation eingenommenen Fläche. 41 ha entfallen davon auf den Obersee, 64 ha auf den Überlinger See.

Tabelle 7

Flächenanteile der Makrophytengesellschaften im Sublitoral (in ha).
Die Werte wurden planimetrisch von den auf Luftbildbasis ausgearbeiteten Vegetationskarten 1:5000 abgenommen. Abgrenzung der Seeteile im Luftbild-Gitternetz: Obersee i. e. S. = Fluglinie 11, 19/3074—43. Überlinger See = Fluglinie 12—19/3072. Untersee = Fluglinie 1—10.

	Obersee	*Überlinger See*	*Untersee*	*Bodensee Gesamt*
a Gesamtfläche Uferbank	3319,2	534,1	1972,4	5825,8
b Vegetationsfreie Fläche der Uferbank	2739,2	343,0	1313,0	4395,3
c Vegetationsbesetzte Fläche der Uferbank	580,0	191,1	659,4	1430,5
1 Characeen-Rasen (Charetum asparae)	41,3	64,0	—	105,3
2 Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae)	—	0,2	226,8	227,0
3 Graslaichkraut-Gesellschaft (Potametum graminei)	—	0,8	0,8	1,6
4 Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis)	533,0	124,8	180,2	838,0
5 Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris)	5,7	1,3	17,8	24,8
6 Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus)	—	—	232,4	232,4
7 Schweizerlaichkraut-Bestände (Potamogeton helveticus)	—	—	0,8	0,8
8 Seerosen-Bestände (Nymphaea alba)	—	—	0,6	0,6

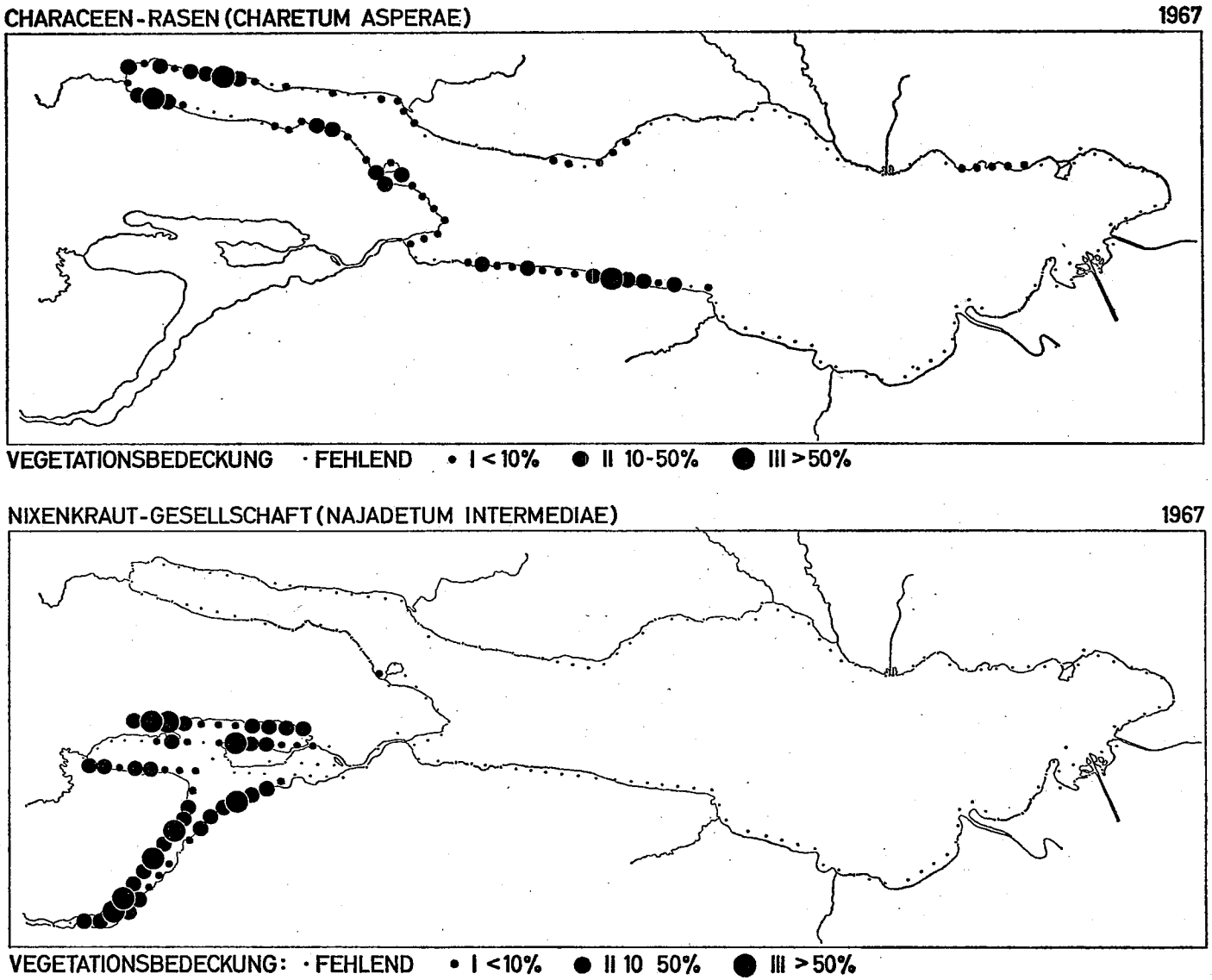
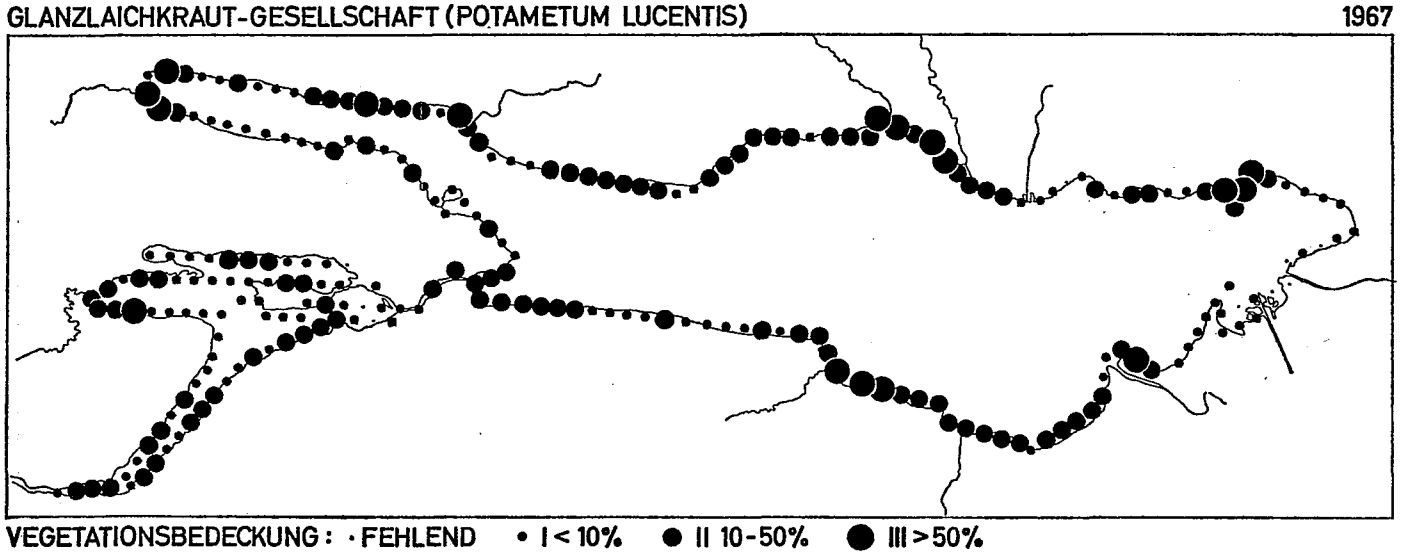


Abb. 14. Fundorte und Frequenz der Gesellschaften 1 (oben) und 2 (unten).



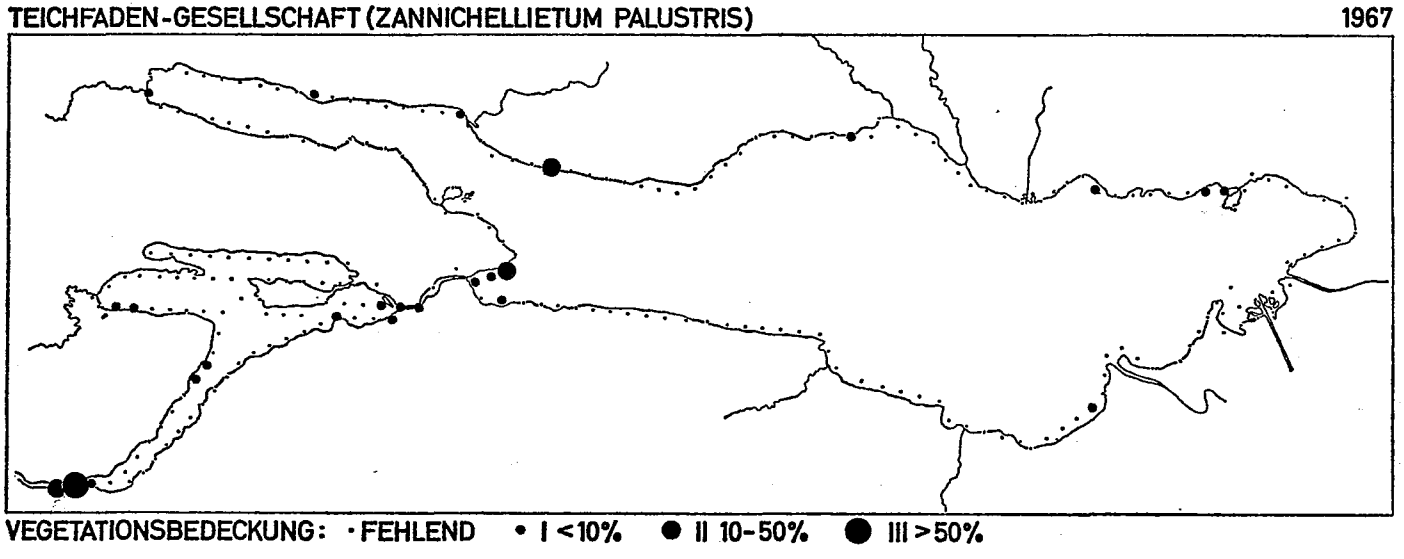


Abb. 15. Fundorte und Frequenz der Gesellschaften 4 (oben) und 5 (unten).

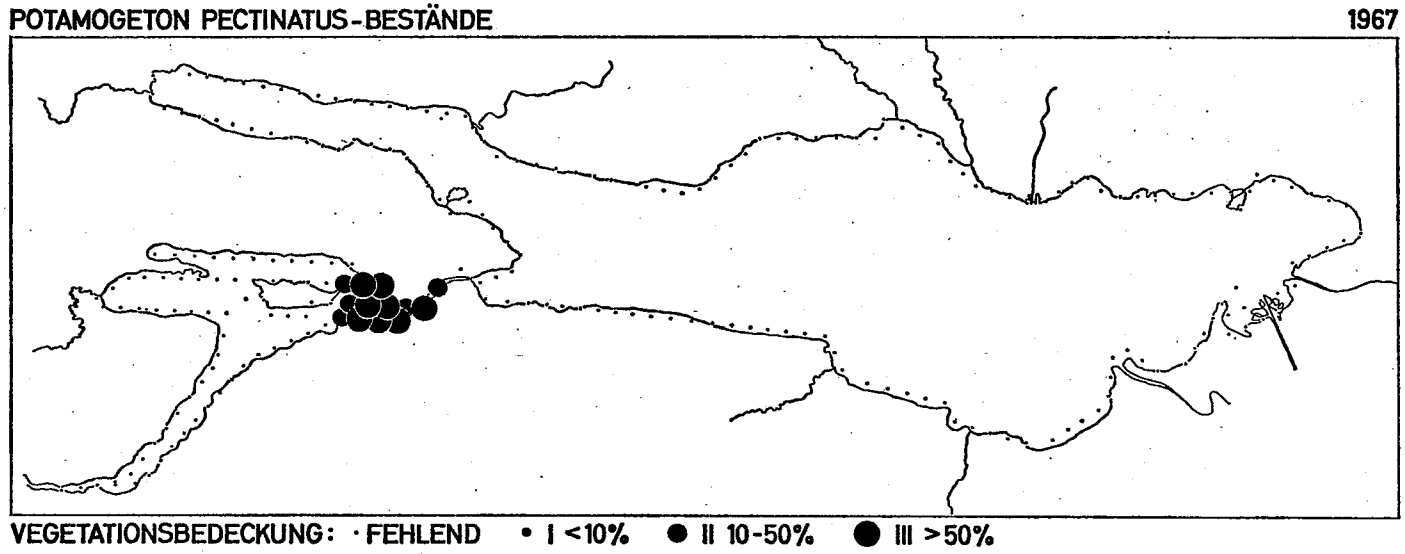


Abb. 16. Fundorte und Frequenz der Gesellschaft 6.

2 *Nixenkraut-Gesellschaft* (Najadetum intermediae). Die Gesellschaft ist, abgesehen von dem kleinen Vorkommen an der Unteren Güll im Überlinger See, auf den Untersee beschränkt. Verbreitungsschwerpunkte liegen im östlichen Gnadensee und in dessen Westteil (Markelfinger Winkel), an der Nordostseite der Höri im Zellersee und schließlich zu beiden Seiten des Rheinsees (Abb. 14 unten). Die Gesellschaft bedeckt insgesamt eine Fläche von 227 ha, knapp 4 % der ganzen Uferbankfläche bzw. 16 % der Gesamtfläche der Makrophytenvegetation.

3 *Graslaichkraut-Gesellschaft* (Potametum graminei). Die Gesellschaft nimmt nur sehr kleine Flächen im Überlinger See und im Untersee ein. Die Gesamtfläche beträgt 1,6 ha, die sich je zur Hälfte auf den Überlinger See und den Untersee verteilen.

4 *Glanzlaichkraut-Gesellschaft* (Potametum lucentis). Die Gesellschaft, in die auch stark durch Potamogeton pectinatus beherrschte Bestände miteinbezogen wurden, ist die wichtigste Wasserpflanzengesellschaft des Bodensees, sowohl im Obersee wie im Untersee. Schwerpunkte der Verbreitung liegen im Obersee im Lindauer Raum, zwischen Langenargen und Friedrichshafen, an der Mündung der Seefelder Aach, im Raum Überlingen, zwischen Ludwigshafen und Bodman, zwischen der Alten Rheinmündung und Romanshorn, im Untersee vor allem im westlichen Zellersee (Abb. 15 oben). Insgesamt bedeckt die Gesellschaft 838 ha, mithin mehr als 14 % der Fläche der Uferbank bzw. fast 60 % der Vegetationsfläche. 533 ha entfallen davon auf den Obersee i. e. S., 125 ha auf den Überlinger See und 180 ha auf den Untersee.

5 *Teichfaden-Gesellschaft* (Zannichellietum palustris). Die Gesellschaft kommt zwar an einer ganzen Reihe von Fundstellen vor, spielt aber nur im westlichen Teil des Untersee-Rheinsees, zwischen Eschenz und Stein a. Rh., eine flächenmäßig bedeutendere Rolle (Abb. 15 unten). Mit 25 ha ist die Flächenbedeckung der Gesellschaft entsprechend gering, sie macht nur 0,4 % der Uferbankfläche bzw. 1,7 % der Vegetationsfläche aus. Hiervon entfallen fast 18 ha auf den Untersee, aber nur 1,3 ha auf den Überlinger See und 5,7 ha auf den Obersee i. e. S.

6 *Kammlaichkraut-Bestände* (Potamogeton pectinatus). Die an Fließwasser gebundenen, einartigen Bestände sind auf das Ermatinger Becken beschränkt (Abb. 16), wo sie immerhin über 232 ha bedecken, also eine ähnliche Fläche wie die der Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae) im ganzen Untersee. Prozentual erreichen die Bestände damit ebenfalls 4 % der Fläche der Uferbank bzw. 16 % der Vegetationsfläche des gesamten Bodensees oder, auf den Untersee allein umgerechnet, 12 % bzw. 35 %.

7 *Schweizerlaichkraut-Bestände* (Potamogeton helveticus). Die einartigen Bestände kommen nur im Seerhein und im Untersee vor (vgl. Abb. 11), wo sie lediglich 0,8 ha einnehmen.

8 *Seerosen-Bestände* (Nymphaea alba). Auch diese Bestände nehmen verschwindend geringe Flächen ein. Ausmeßbar sind diese, mit 0,6 ha, nur im Untersee.

4.3 Röhricht- und Strandlingsgesellschaften des Eulitorals

Im Gegensatz zu den Sublitoralgesellschaften sind bei den ebenfalls in Abschnitt 2.2 charakterisierten Eulitoralgesellschaften keine Flächenangaben möglich, weil bei der auf das Sublitoral konzentrierten Kartierung 1967 die landseitige Abgrenzung meist nicht erfaßt wurde, außerdem auch, weil die Gesellschaften, vom Schilfröhricht (Phragmitetum) abgesehen, so kleine Flächen einnehmen, daß sie bei dem gegebenen Maßstab nicht hinreichend genau vermessen werden können. Wir begnügen uns daher damit, lediglich beim Schilfröhricht grobe Schätzwerte der linearen Ausdehnung zu geben, wobei diese wieder auf das als Bezugsbasis dienende Luftbild-Gitternetz bezogen sind (vgl. zur Methodik Abschnitt 3.3).

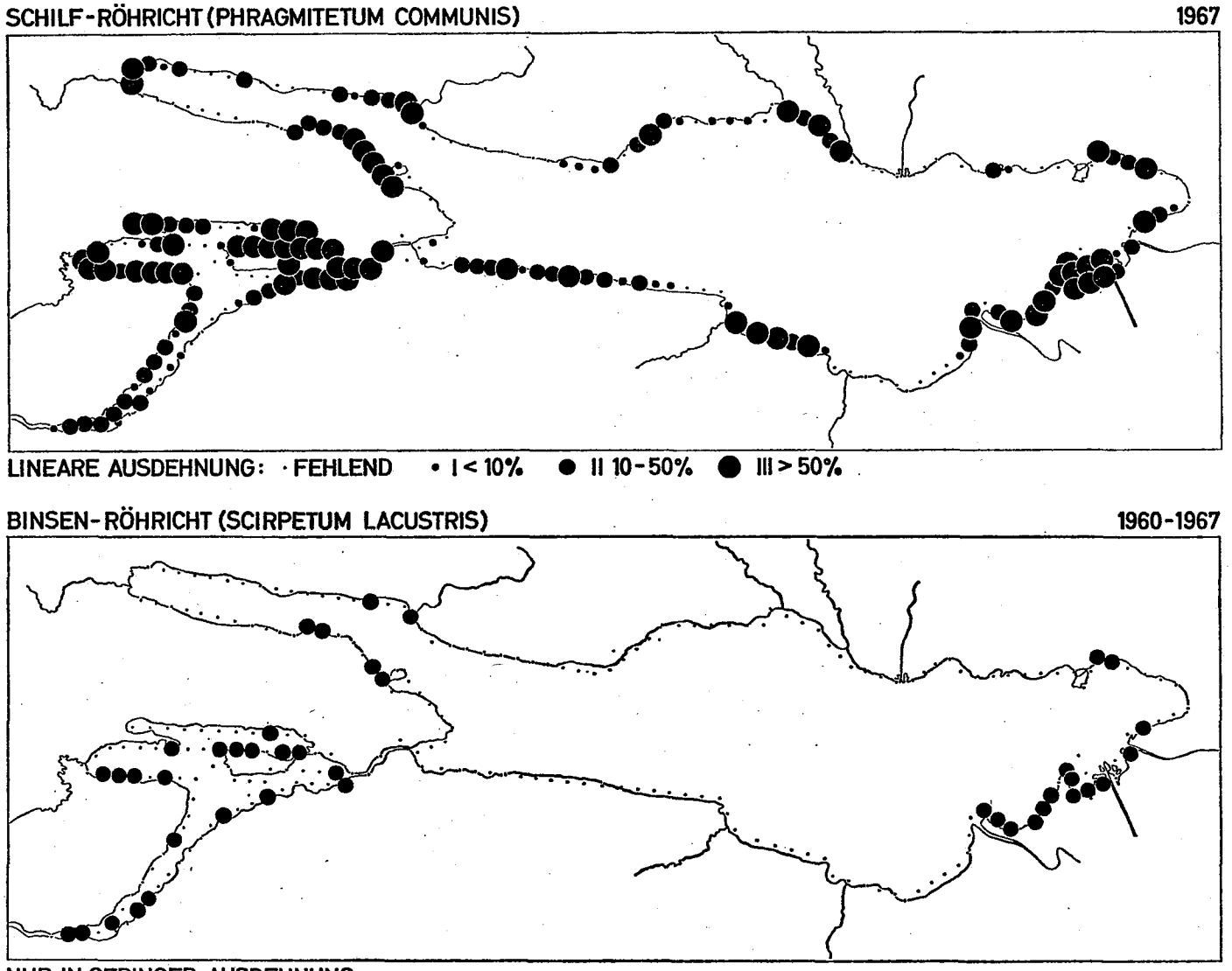


Abb. 17. Fundorte und lineare Ausdehnung der Gesellschaften 9 (oben) und 10 (unten).

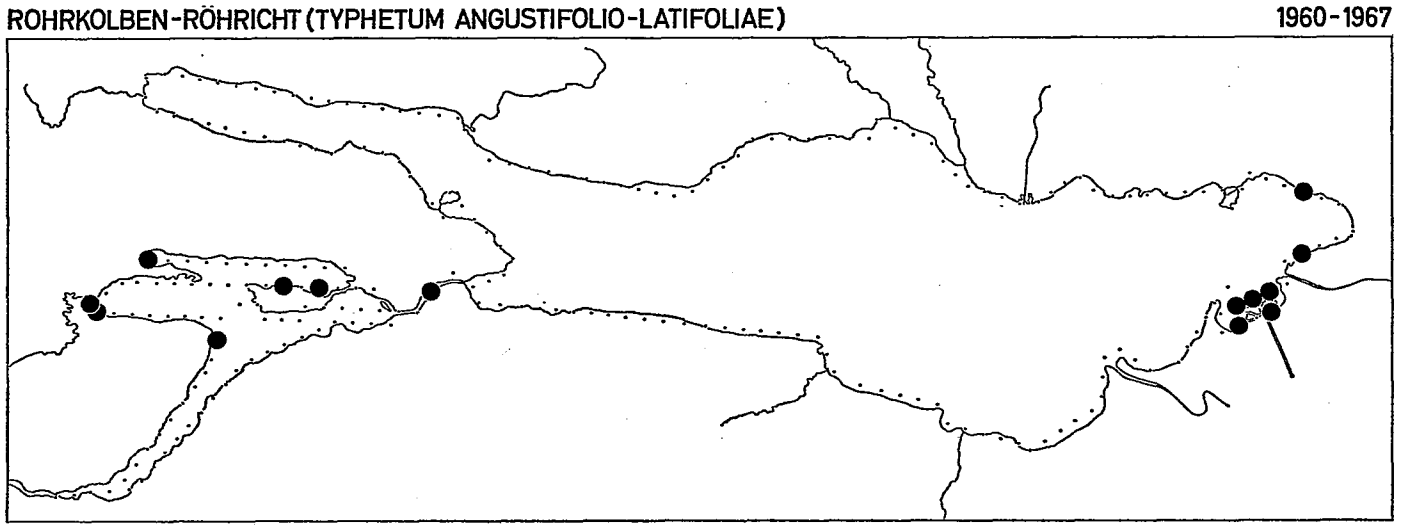


Abb. 18. Fundorte der Gesellschaften 11 (oben) und 12 (unten).

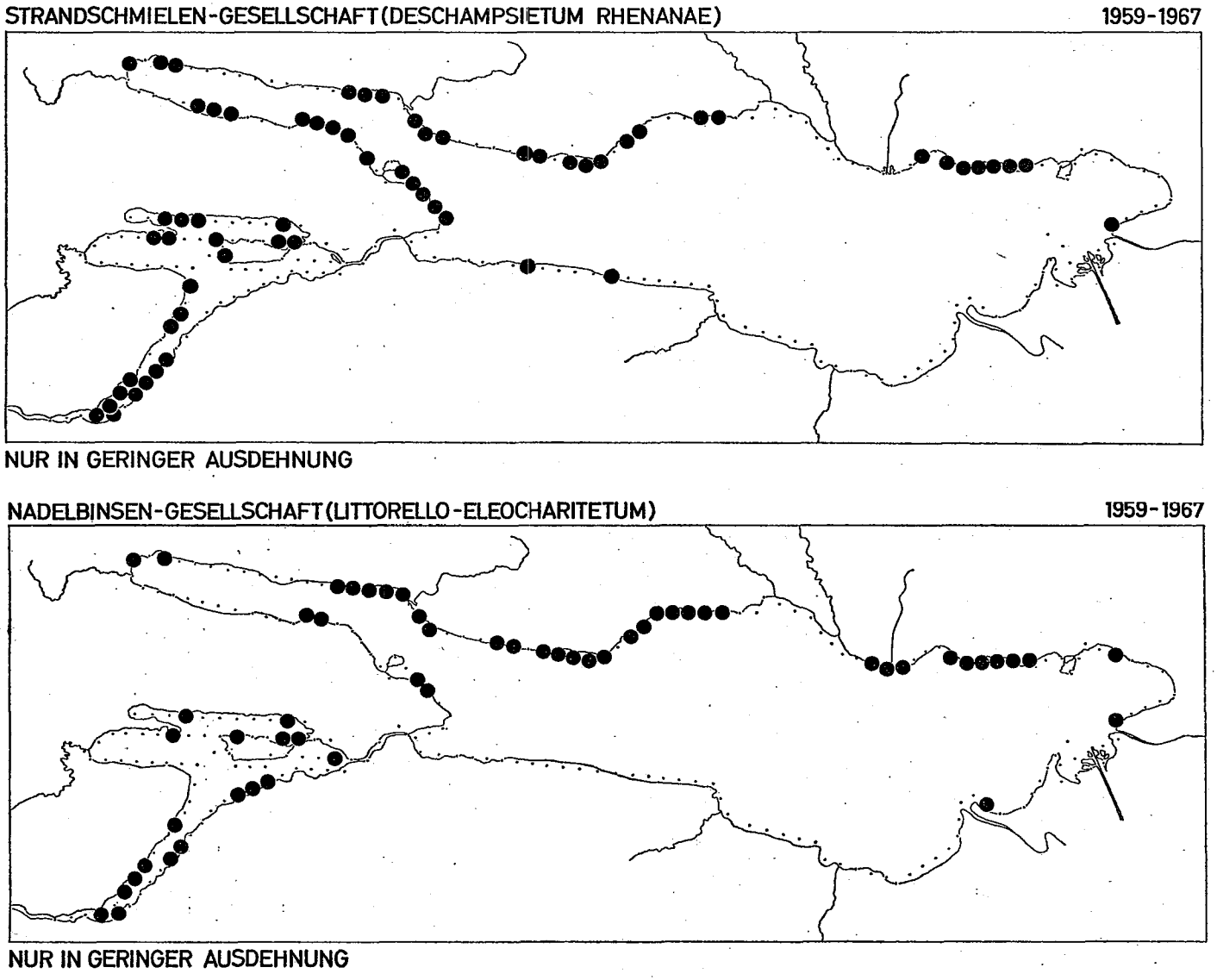


Abb. 19. Fundorte der Gesellschaften 13 (oben) und 14 (unten).

9 Schilf-Röhricht (Phragmitetum). So wie im Sublitoral die Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis), so stellt im Eulitoral das Schilf-Röhricht die weitaus wichtigste und auch physiognomisch beherrschende Gesellschaft dar. Schwerpunkte der Verbreitung sind im Obersee die Uferstrecke zwischen der Alten Rheinmündung und Bregenz, das Eriskircher Ried zwischen Schussen und Rotach, das Mündungsgebiet der Seefelder Aach, das Mündungsgebiet der Stockacher Aach, die Uferstrecke zwischen Wallhausen und Mainau, schließlich die Strecke zwischen Arbon und Romanshorn sowie zwischen Güttingen und Münsterlingen. Im Untersee sind es Teile des Seerheins, das Ermatinger Becken, der östliche und westliche Gnadensee und schließlich das Nordostufer der Höri (Abb. 17 oben).

10 Binsen-Röhricht (Scirpetum lacustris). Die Gesellschaft kommt nur in jeweils geringer Ausdehnung vor: Im östlichen Obersee vielfach zwischen dem Alten Rhein und Lindau, im Überlinger See und an zahlreichen Stellen im Untersee (Abb. 17 unten).

11 Rohrkolben-Röhricht (Typhetum). Die Gesellschaft kommt nur in jeweils geringer Ausdehnung vor, einerseits im östlichen Obersee in der Fußacher und Bregenzer Bucht, andererseits im Untersee an einer Reihe von Fundstellen (Abb. 18 oben).

12 Schwaden-Röhricht (Glycerietum maximae). Auch diese Gesellschaft kommt nur in jeweils geringer Ausdehnung vor: Im östlichen Obersee im Wetterwinkel und in der Fußacher Bucht, im westlichen Überlinger See an der Mündung der Stockacher Aach, im Untersee im Wollmatinger Ried, im östlichen Gnadensee und an der Mündung der Radolfzeller Aach (Abb. 18 unten).

13 Strandschmielen-Gesellschaft (Deschampsietum rhenanae). Die Gesellschaft kommt sowohl im Obersee wie im Untersee an zahlreichen Stellen vor, vielfach jedoch nur in geringer Ausdehnung. Größere Bestände, die in der Karte (Abb. 19 oben) jedoch nicht hervorgehoben sind, finden sich am Obersee am Kippenhorn westlich Immenstaad, am Klausenhorn bei Wallhausen (durch den Campingplatz und das Strandbad stark bedroht), am Eichhorn bei Konstanz, zwischen Güttingen und Münsterlingen, im Untersee auf der Reichenau, am Mettnau-Südufer, bei Glarisegg unterhalb Steckborn.

14 Nadelbinsen-Gesellschaft (Littorello-Eleocharitetum). Die Gesellschaft kommt an vielen Stellen des Ober- und Untersees vor, in der Regel nur in sehr kleinen Flächen (Abb. 19 unten).

5 Vegetationsveränderungen im Zeitraum 1961-1967

5.1 Phänologie der Makrophyten

Wie alle Pflanzen der gemäßigten Breiten unterliegen auch die Wasserpflanzen des Bodensees einem im wesentlichen temperaturabhängigen Entwicklungsrhythmus im Jahresverlauf. Im Vergleich mit der terrestrischen Vegetation ist diese saisonale Periodik im Wasser viel auffälliger, denn die kalte Jahreszeit wird von den wenigsten Sublitoral-Arten in oberirdisch ausdauerndem Zustand, als Chamaephyten, überstanden, so daß die Uferbank über einen Großteil des Jahres hinweg einen pflanzenleeren Eindruck macht. Ein Teil der Makrophytenarten ist zwar ausdauernd, jedoch sind im Winter keine oberirdischen Teile vorhanden, sondern lediglich

Wurzeln oder Rhizome bzw. Rhizom-Winterknospen im Boden (Hemikryptophyten und Geophyten). Bei einem anderen Teil haben wir es mit einjährigen Pflanzen (Therophyten) zu tun, die den Winter mit Diasporen in Form von Früchten, Samen oder oberirdisch ausgebildeten Winterknospen (Turionen) überbrücken. Zu der ersten Gruppe, zu den Chamaephyten, gehört im Bodensee lediglich Potamogeton helveticus, in stark fließendem Wasser fakultativ auch Zannichellia palustris; nur ganz gelegentlich überdauern nach BAUMANN (1911) auch Charophyten in grünem Zustand, aber offenbar nur in ganz milden Wintern an besonders günstigen Stellen. Zur zweiten Gruppe, die die Hemikryptophyten und Geophyten umfaßt, gehören fast alle Potamogeton-Arten, ferner Zannichellia palustris (soweit nicht wintergrün),

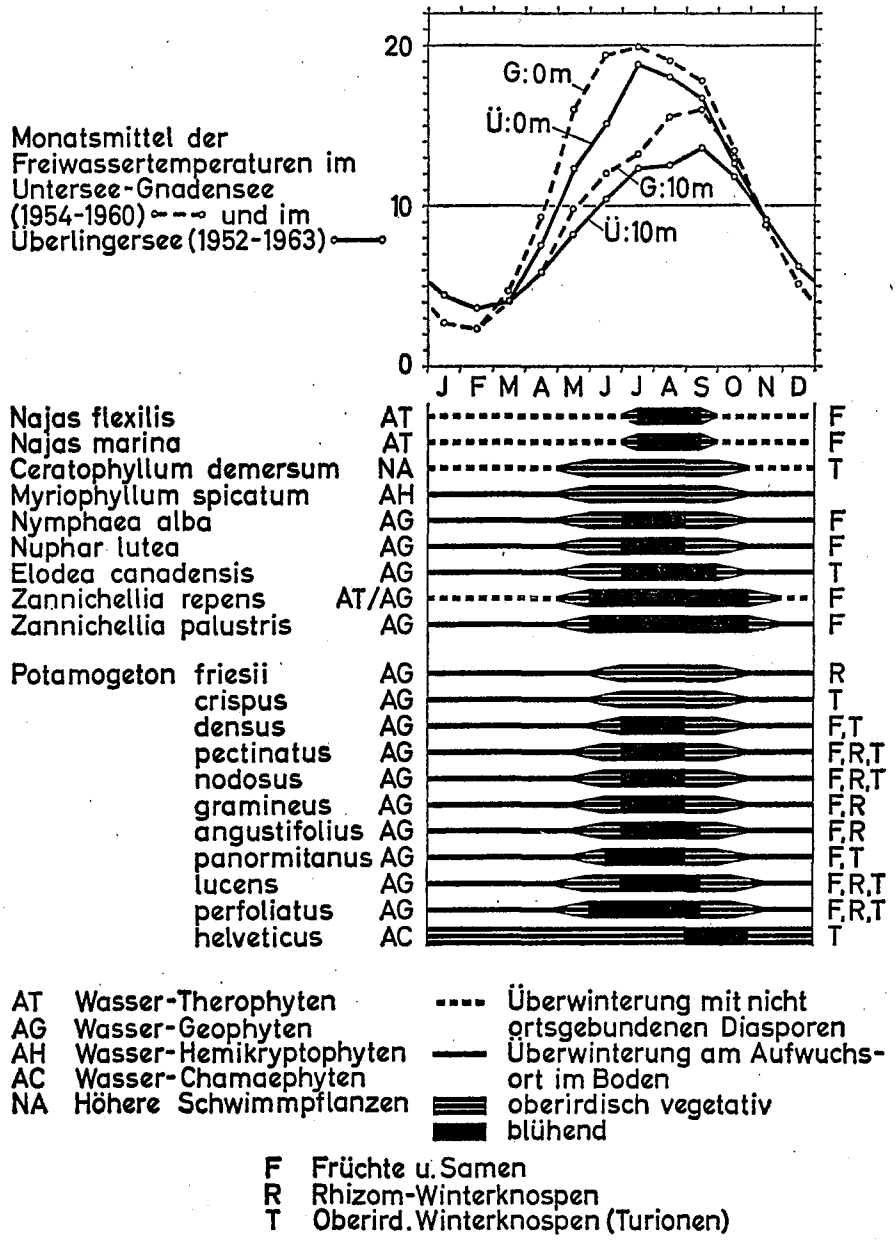


Abb. 20. Phänologie der wichtigeren Makrophyten und Jahresgang der monatlichen Temperaturmittel im Freiwasser. Aus LANG 1967.

Myriophyllum spicatum, Elodea canadensis, Nymphaea alba, Nuphar lutea. In der dritten Gruppe, bei den Therophyten finden wir schließlich die Najas-Arten, Ceratophyllum demersum, Zannichellia repens, sowie in der Regel die Charophyten (vgl. Abb. 20). Aus dieser Übersicht geht hervor, daß sich die beiden großen, von uns im Bodensee unterschiedenen Vegetationstypen hinsichtlich ihrer Ortsgebundenheit verschieden verhalten: In den Characeen-Wiesen haben wir es mehrheitlich mit Therophyten zu tun, die sich jedes Jahr neu aus freiverbreiteten Diasporen entwickeln. Hier müssen wir demnach mit einer geringeren Ortskonstanz der besiedelten Flächen rechnen. Dagegen überwintern die meisten Vertreter der Laichkraut-Gesellschaften als Hemikryptophyten oder Geophyten am Wuchsort, so daß hier eine stärkere Ortsbindung an die einmal eingenommenen Siedlungsräume zu erwarten ist. Tatsächlich entsprechen die Beobachtungen ganz diesen Vorstellungen, indem wir bei den Characeen-Wiesen von Jahr zu Jahr beträchtliche Schwankungen in Ausdehnung und Dichte finden, wohingegen sich solche bei den Laichkraut-Gesellschaften viel weniger ausprägen (vgl. 5.2).
Vergleichen wir den Temperaturgang des oberflächennahen Wasserkörpers im Jahresverlauf mit dem Entwicklungsgang der Makrophyten, soweit dieser nach Angaben in der Literatur und eigenen Beobachtungen bekannt ist, so ist die Temperatursteuerung unverkennbar (Abb. 20). Dabei sind die Temperaturansprüche der einzelnen Arten offensichtlich verschieden. Einige Laichkräuter, so Potamogeton perfoliatus, P. lucens und Zannichellia palustris, beginnen ihre Entwicklung gewöhnlich schon im Mai, ungefähr dann, wenn eine Wassertemperatur von 10° C überschritten wird. Wesentlich später, nämlich meist erst im Juli, entwickeln sich dagegen die Najas-Arten, anscheinend erst, wenn, mindestens 15° C erreicht sind; diese Pflanzen sind danach besonders wärmeliebend. Zwischen den beiden geschilderten Extremen liegen die meisten übrigen Arten. Der Höhepunkt mit Blüten- und Fruchtbildung fällt für die meisten Arten in die Monate Juli und August, beschränkt sich also auf wenige Wochen. Eine Ausnahme bilden Potamogeton perfoliatus und Zannichellia palustris, die schon im Juni zur Blüte gelangen können, wobei sich diese bei der letztgenannten Art bis in den Oktober hineinziehen kann. Die meisten Makrophyten beginnen aber spätestens Ende September/Anfang Oktober schon zu zerfallen.
Unsere Darstellung soll freilich nicht darüber hinwegtäuschen, daß sie nicht mehr als erste Hinweise zu geben vermag und daß genauere Angaben nicht daraus abgeleitet werden können: Einmal handelt es sich bei den Temperaturkurven um Monatsmittelwerte, zudem noch aus dem Freiwasserbereich, so daß eine phänologische Korrelation erheblich erschwert ist, zum andern wurde bei den phänologischen Angaben nicht zwischen solchen vom Obersee und vom Untersee getrennt, obwohl wir im Hinblick auf die mindestens zeitweilig verschiedenen Temperaturverhältnisse in den beiden Seeteilen auch mit zeitlichen Entwicklungsdifferenzen rechnen müssen. Genauere Aufschlüsse über die Temperaturabhängigkeit des Entwicklungsganges werden daher erst sorgfältige, kombiniert standortsökologisch-phänologische Messungen an ausgewählten Probeflächen erbringen können, was seit langem geplant ist*.

5.2 Vegetationsveränderungen und Klima

In der Makrophytenvegetation des Bodensees können im Laufe aufeinanderfolgender Jahre teilweise erhebliche Unterschiede auftreten, eine Erscheinung, die den meisten Beobachtern auffiel. So schrieb BAUMANN (1911) im Vorwort seiner Vegetationsmonographie: „...Durch die besonders am Untersee vielfach wechselnden Lebensbedingungen infolge der

*) Derartige Untersuchungen wurden inzwischen zu Beginn der Vegetationsperiode 1971 von Herrn cand. rer. nat. G. FINGERLIN am Limnologischen Institut in Konstanz-Egg aufgenommen.

stets sich verändernden Wasserstände verschiebt sich das Vegetationsbild und die Zusammensetzung seiner Flora fast unaufhörlich. Es konnten während der relativ langen Beobachtungszeit von 1905—1909 niemals auch nur annähernd die gleichen Vegetationsverhältnisse konstatiert werden . . ." Ähnlich äußerten sich auch GEISSBÜHLER (1938) und JAAG (1946) und die Sachbearbeiter für die Uferzonenkartierung fanden dies auch in den Sechzigerjahren bestätigt. Soll ein repräsentatives Bild der Ufervegetation gewonnen werden, in der Absicht, es als Zeiger für den Gütezustand heranzuziehen, so kann es nicht genügen, nur die Pflanzendecke eines einzelnen Jahres zu erfassen, vielmehr muß möglichst die ganze Schwankungsbreite der Vegetation während mehrerer Jahre verfolgt werden. Erst dadurch läßt sich eine sichere Grundlage gewinnen für den Vergleich mit früheren wie zukünftigen Erhebungen.

Bei der Betrachtung unterschiedlicher Vegetationsentwicklung in den einzelnen Beobachtungsjahren muß auch die Verknüpfung mit Umweltsfaktoren versucht werden. Die steuernden Faktoren besprechen wir im folgenden in zwei Gruppen, indem wir in diesem Abschnitt hier die überwiegend natürlichen, in der Hauptsache physikalischen Bedingungen behandeln, im folgenden Abschnitt (5.3) dagegen die Einflüsse unterschiedlichen Nährstoffangebots, also die zum Teil stark anthropogen veränderten chemischen Bedingungen.

Zunächst gilt es, die Witterungsbedingungen in den Beobachtungsjahren 1962—1967 und die damaligen Wasserstände und Wassertemperaturen des Bodensees kurz zu skizzieren (vgl. Abb. 21 u. 22). Wie die graphischen Darstellungen leicht erkennen lassen, sind die drei ersten Jahre — 1962, 1963, 1964 — insgesamt durch relativ geringe Niederschläge und unter dem Mittel liegende Wasserstände des Sees ausgezeichnet, die folgenden drei Jahre dagegen — 1965, 1966, 1967 — durch reichliche Niederschläge und über dem Mittel liegende Wasserstände. In Bezug auf die Temperatur waren die Jahre 1962, 1965 und 1966 während der Vegetationsperiode kühl, die Jahre 1963 und 1967 normal und das Jahr 1964 besonders warm. Daraus geht hervor, daß unser Beobachtungszeitraum äußerst vielfältige Bedingungen umfaßte. Zu den einzelnen Jahren ist folgendes zu bemerken (Angaben nach Daten der Wetterwarte Konstanz und der Anstalt für Bodenseeforschung in Konstanz-Staad):

1962 lagen die Monatsmitteltemperaturen von April bis Juli unter dem Durchschnitt. Erst der August war warm, im September trat aber bereits eine merkliche Abkühlung ein. Die Niederschläge waren durchweg gering. Die Witterung während der Vegetationsperiode war danach kühl und niederschlagsarm. Der See erreichte den höchsten Stand mit 4,20 m am Pegel Konstanz*) bereits Ende Juni und sank schon im November und Dezember besonders tief ab. Im Freiwasser des Obersees wurde eine maximale Oberflächentemperatur von 22 ° C im August gemessen.

1963 führte der strenge Winter in Verbindung mit dem niederen Wasserstand des Sees zu einer langdauernden Eisbedeckung, die während mehrerer Wochen sogar den gesamten Obersee erfaßte („Seegfrörne"). Im April, Mai und Juni deckten sich die Monatsmitteltemperaturen der Luft mit den Durchschnittswerten, ebenso die Niederschläge. Der Juni war warm und niederschlagsarm. Im August trat bereits Abkühlung ein, die sich im September fortsetzte, bei mittleren Niederschlägen. Die Witterung während der Vegetationsperiode 1963 war danach mäßig warm mit mäßigen Niederschlägen. Der See erreichte seinen höchsten Stand mit 4,33 m Ende Juni, sank im August bis auf 3,49 m ab, kam dann aber im September zu einem zweiten Hochstand mit 4,31 m. Als höchste Freiwasser-Oberflächentemperatur wurde 22° C gemessen, im Juli.

---

*) Bei der Umrechnung der hier angebenen Pegeldaten von Konstanz und Radolfzell (vgl. auch Abb. 21 u. 22) in Meereshöhen ist zu berücksichtigen, daß die Bezugshorizonte in den drei Anliegerstaaten voneinander abweichen: Der 0-Punkt am Pegel Konstanz bzw. 0,30 m am Pegel Radolfzell entspricht daher in den Höhenmessungen der Bundesrepublik Deutschland (Bezugshorizont: Amsterdamer Pegel) 391,77 m ü. M., in denen der Schweiz (Bezugshorizont: Marseiller Pegel) 392,23 m ü. M. und in denen Österreichs (Bezugshorizont: Triester Pegel) 392,28 m ü. M. (vgl. MALLAUN 1968).

1964 lagen die Monatsmitteltemperaturen von April bis Juli über den Durchschnittswerten. Die Niederschläge waren im März, Mai und August höher als normal, dagegen waren Juni und Juli ausgesprochen niederschlagsarm. Bereits im August setzte Abkühlung ein. Die Witterung während der Vegetationsperiode 1964 war danach wärmer als normal mit unterschiedlichen, aber insgesamt nur mäßigen Niederschlägen. Der See erreichte seinen höchsten Stand mit nur 3,99 m ungewöhnlich früh, schon im Mai, und sank bis Ende Juli auf 3,17 m ab; auch im weiteren Jahresverlauf stieg er, bis Mitte November, nicht mehr wesentlich darüber. Die maximale Freiwasser-Oberflächentemperatur betrug 24,5° C, im Juli. Im Litoral waren die Temperaturen des außerordentlich niederen Wasserstandes im Juli und August wegen zweifellos besonders hoch.

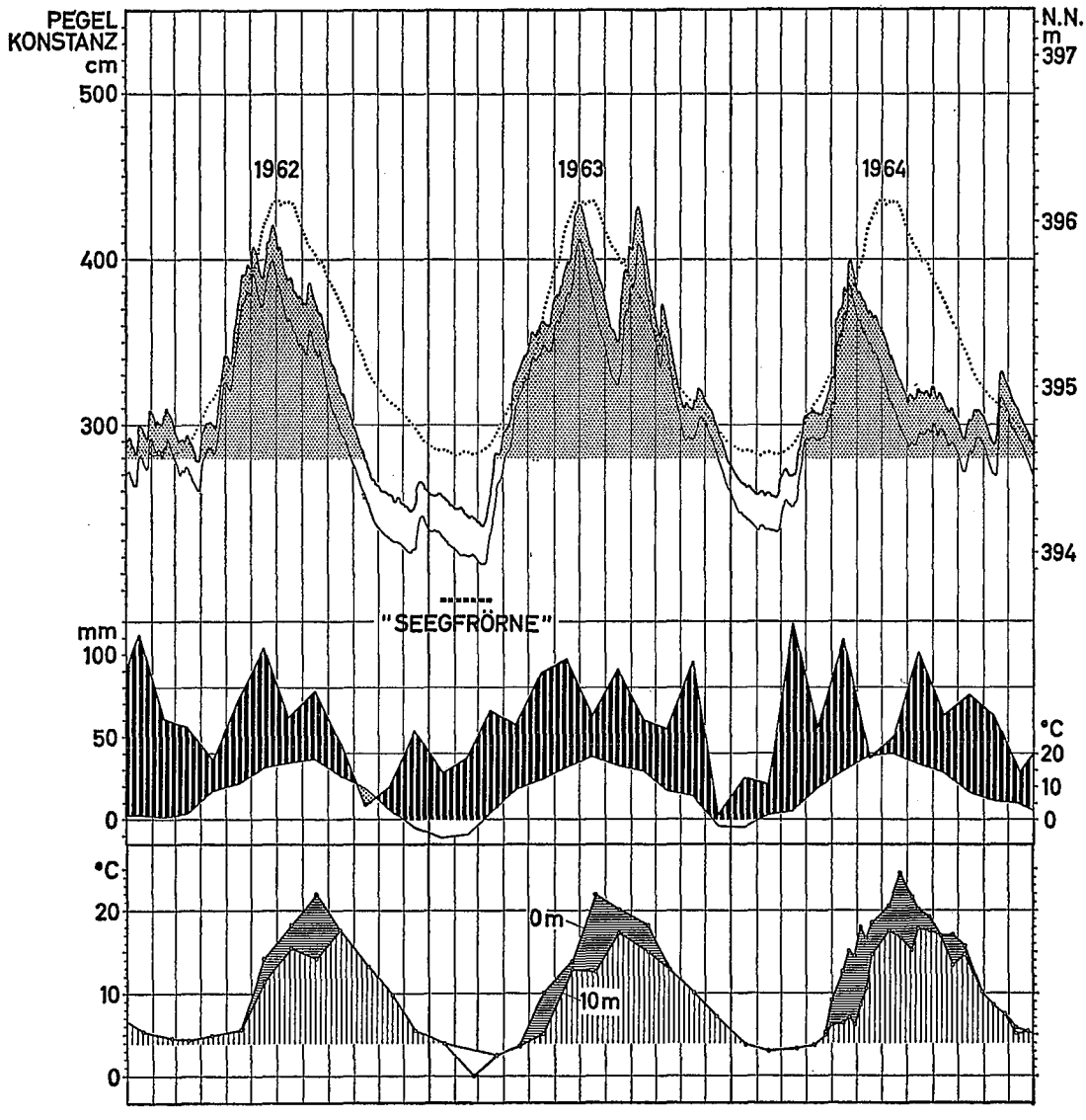


Abb. 21. Jahresgang der täglichen mittleren Wasserstände des Bodensees (oben), Klimatogramme von Konstanz (Mitte) und Freiwassertemperaturen des Bodensee-Obersees in 0 und 10 m Tiefe (unten). Bei den Wasserstandskurven entspricht die punktierte Linie dem Jahresgang im Mittel 1931–1960, nach LANG 1967; die obere ausgezogene Linie gibt die Pegelwerte von Konstanz (Obersee), die untere die von Radolfzell (Untersee) wieder. In den Klimatogrammen (10° C = 20 mm) zeigt die obere Linie die monatlichen Niederschlagssummen, die untere Linie die Monatsmittel der Lufttemperatur, beides nach Daten der Wetterwarte Konstanz. Die Wassertemperaturen stammen von der Mitte des Obersees zwischen Fischbach und Uttwil, nach Daten der Anstalt für Bodenseeforschung Konstanz-Staad.

1965 lagen die Monatsmitteltemperaturen durchweg um oder unter den Durchschnittswerten. Besonders Mai, Juni und Juli waren durch außerordentlich hohe Niederschläge ausgezeichnet, ebenso der September. Nur der August und Oktober blieb niederschlagsarm. Die Witterung während der Vegetationsperiode 1965 war danach kühl und niederschlagsreich. Der See gelangte schon Ende Juni zu einem extremen Hochwasser-Hochstand mit 5,40 m, sank bis zur zweiten Hälfte August auf 3,90 m ab, um im September nocheinmal auf 4,44 m anzusteigen. Die Freiwasser-Oberflächentemperatur lag in der ersten Hälfte Juli mit etwas über 20° C am höchsten; Ende Juli war sie auf 17° C abgesunken, kletterte aber Ende August nocheinmal bis 19° C.

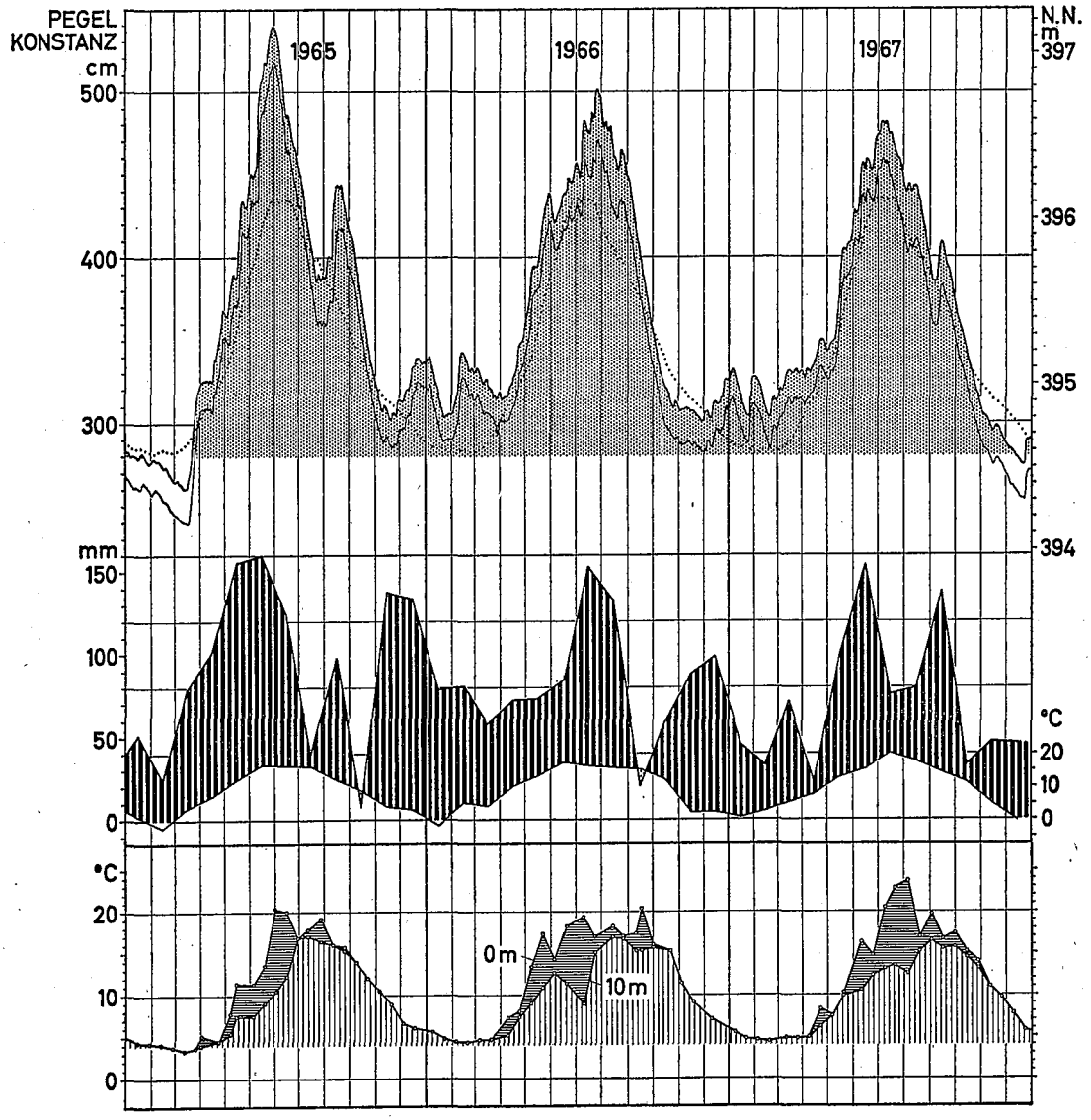


Abb. 22. Jahresgang der täglichen mittleren Wasserstände des Bodensees (oben), Klimatogramme von Konstanz (Mitte) und Freiwassertemperaturen des Bodensee-Obersees in 0 und 10 m Tiefe (unten). Bei den Wasserstandskurven entspricht die punktierte Linie dem Jahresgang im Mittel 1931–1960, nach LANG 1967; die obere ausgezogene Linie gibt die Pegelwerte von Konstanz (Obersee), die untere die von Radolfzell (Untersee) wieder. In den Klimatogrammen (10° C = 20 mm) zeigt die obere Linie die monatlichen Niederschlagssummen, die untere Linie die Monatsmittel der Lufttemperatur, beides nach Daten der Wetterwarte Konstanz. Die Wassertemperaturen stammen von der Mitte des Obersees zwischen Fischbach und Uttwil, nach Daten der Anstalt für Bodenseeforschung Konstanz-Staad.

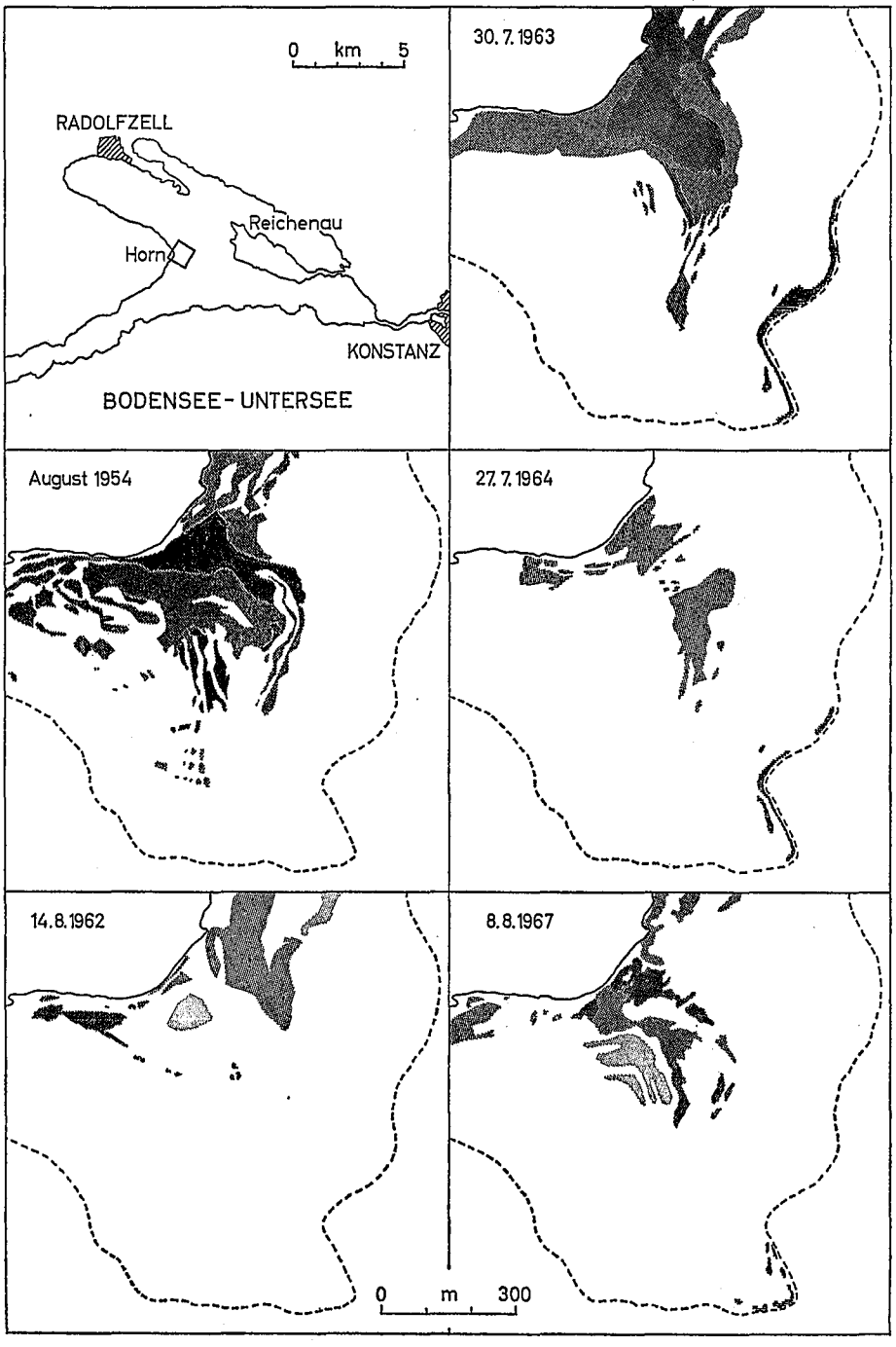


Abb. 23. Vegetationsveränderungen auf der Uferbank vor der Höri zwischen 1954 und 1967. Punktraster: Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae) in drei Stufen der Vegetationsbedeckung (dicht, mittel, lückig). Waagrechte Schraffen (am Haldenrand): Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis), 1954 und 1962 mangels Beobachtungsunterlagen nicht eingetragen. Gestrichelte Linie: Oberrand der Halde. Zusammengestellt nach schwarzweißen und farbigen Reihenmeß-Luftbildern sowie farbigen Handkammer-Luftbildern. Aus LANG 1968.

1966 waren die Monatsmitteltemperaturen ebenfalls unterdurchschnittlich, wobei der Juni noch am wärmsten war. Niederschläge fielen besonders im Juli und August sehr reichlich. Die Witterung während der Vegetationsperiode 1966 war danach wiederum kühl und niederschlagsreich. Der See erreichte den höchsten Stand mit 5,02 m, der Niederschlagsverteilung entsprechend gegen Ende Juli und sank dann gleichmäßig ab. Die Freiwasser-Oberflächentemperaturen überstiegen Anfang Juli knapp 19° C, sanken danach wieder ab und erreichten den höchsten Jahreswert mit 20,5° C erst im September.

1967 entsprachen die Monatsmittelwerte weitgehend dem mehrjährigen Durchschnitt. Der wärmste Monat war der Juli. Hohe Niederschläge wurden im Juni sowie im September verzeichnet. Die Witterung während der Vegetationsperiode 1967 war danach mäßig warm und mäßig niederschlagsreich. Der See gelangte Anfang Juli zu seinem höchsten Stand mit 4,82 m — rund 45 cm höher als im langjährigen Mittel — und sank bis Anfang September, das heißt bis zum Ende der letzten Feldarbeiten, auf 3,85 m ab. Die maximalen Freiwasser-Oberflächentemperaturen schwankten zwischen 23 und 24° C, von Mitte Juli bis Mitte August.

Wie wirken sich die geschilderten, zum Teil recht unterschiedlichen Witterungsbedingungen auf die Makrophytenvegetation aus? Für unsere Wasserpflanzen manifestieren sich die vielfältigen klimatischen Erscheinungen im wesentlichen in wohl nur zwei bedeutsamen Parametern: Einmal in dem am Wuchsort herrschenden Licht, seiner spektralen Zusammensetzung und seiner Intensität, zum andern in der dort vorhandenen Wassertemperatur. Beide Faktoren lassen sich rückblickend aus den vorliegenden Klimadaten nur mit großer Unsicherheit oder gar nicht ableiten. Parallel dazu ausgeführte Messungen dieser Faktoren an den Standorten selbst stehen leider nicht zur Verfügung. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß eine ins einzelne gehende Korrelation zwischen den allgemeinen meteorologischen und hydrologischen Daten einerseits und den vegetationskundlich-phänologischen Erscheinungen andererseits nicht überzeugend gelingt. Dies wird erst möglich sein, wenn an Hand gezielter Meßserien der Schlüssel für eine „Übersetzung" gefunden ist. Trotz dieser Schwierigkeiten lassen sich einige grundsätzliche, wenn auch grobe Angaben machen. Es ist dabei zweckmäßig, die Characeen-Wiesen und die Laichkraut-Gesellschaften gesondert zu betrachten.

Bei den Characeen-Wiesen sind die Unterschiede in Ausdehnung und Dichte von Jahr zu Jahr besonders auffällig. Im vorhergehenden Abschnitt (5.1) wurde dargelegt, daß diese überwiegend aus Therophyten bestehende Vegetation weniger ortsgebunden ist als die Laichkraut-Gesellschaften. Sie vermag deshalb sensibler auf Unterschiede in den Umweltsbedingungen zu reagieren. An Hand von Luftbildern, die grob gesehen jeweils denselben Entwicklungszeitpunkt über mehrere Jahre hinweg erfassen, konnte die Ausbildung der Nixenkraut-Gesellschaft (Najadetum intermediae) am Hörnt vor der Höri im Untersee verfolgt werden (Abb. 23). Nach Flächenausdehnung und Dichte war der Bewuchs im Hochsommer 1954 und 1963 überdurchschnittlich: 1954 war der Untersee nach einem Hochstand von 5,11 m (Pegel Radolfzell) im Juli auf 4,45 m zur Zeit der Aufnahme Anfang August gefallen; 1963, einem mäßig warmen Jahr, war der Untersee nach einem Hochstand von 4,42 m Anfang Juli auf 3,75 m zur Zeit der Aufnahme gefallen. Nach Flächenausdehnung und Dichte war der Bewuchs im Hochsommer 1962 und 1964 unterdurchschnittlich entwickelt: 1962, einem kühlen Jahr, war der See nach einem Hochstand von 4,29 m Ende Juni auf 3,80 m zur Zeit der Aufnahme abgesunken; 1964, einem ausgesprochen warmen Jahr, war der See nach einem Hochstand von 4,13 m Ende Mai auf 3,21 m zur Zeit der Aufnahme gefallen. Aus diesem Vergleich geht hervor, daß sich weder eine klare Korrelation hinsichtlich der Wasserstände noch der meteorologischen Temperaturen ablesen läßt. Allgemein läßt sich allenfalls sagen, daß die Characeen-Wiesen sich bei einem durchschnittlichen oder etwas über dem Durchschnitt liegenden Wasserstandsregime und bei durchschnittlichen Temperaturen am besten entwickeln. Extreme Wasserstände wie extreme Temperaturen wirken sich dagegen ungünstig aus. Höhere Wassertemperaturen als normal, die sich zwangsläufig auch bei niedrigen sommerlichen

Wasserständen einstellen, fördern jedoch die Entfaltung von Najas, allerdings auf Kosten der Characeen. Dies war eindrucksvoll im besonders warmen Sommer 1964 zu sehen (vgl. LANG, 1967, S. 533).
Klarer als bei der Characeenvegetation scheint die Abhängigkeit von den physikalischen Faktoren bei den Laichkraut-Gesellschaften. Die vorliegenden Beobachtungen zeigen stärkere Laichkrautentfaltung vor allem 1962 und 1963, also in Jahren mit unterdurchschnittlichen bis durchschnittlichen sommerlichen Wasserständen, so zum Beispiel im österreichischen Uferbereich vor Bregenz und Mehrerau, wo 1965—1967, bei höheren Wasserständen, kaum Vegetation festgestellt werden konnte. Damit ist zu erkennen, daß über dem Durchschnitt liegende Sommerwasserstände die Entwicklung hemmen, besonders wenn sie mit verhältnismäßig niederen Temperaturen verbunden sind. Die Laichkräuter und die verwandten Sippen sind dann unter Umständen nicht mehr in der Lage, bis zur Wasseroberfläche hochzuwachsen. Die durch den mächtigeren Wasserkörper im Litoral verminderte Transparenz sowie die ebenfalls durch diesen verursachte geringe Erwärmung der bodennahen Schichten lassen dies verständlich erscheinen. Andererseits können aber auch extrem niedere Wasserstände, wie die des Sommers 1964, die Laichkrautentwicklung stellenweise behindern, vor allem wenn höhere Temperaturen damit verbunden sind, was meist der Fall ist. Es kommt dann vielfach an den von der Laichkrautvegetation bevorzugten eutrophen Standorten zur Massenentwicklung von Grün- und Blaualgen, die die Makrophyten zurückdrängen.

5.3 Vegetationsveränderungen und Nährstoffhaushalt

Neben Vegetationsveränderungen, die ungerichtet hin und her pendeln und deshalb am besten als Schwankungen oder Fluktuationen bezeichnet werden, gibt es, wie die Beobachtungen 1961—1967 zeigen, auch gerichtete Änderungen, das heißt Änderungen, bei denen in den Folgejahren keine gegenläufige Entwicklung mehr festzustellen ist. Während die ungerichteten Vegetationsschwankungen sicherlich auf die von Jahr zu Jahr wechselnden klimatischen Faktoren zurückzuführen sind (vgl. 5.2), müssen wir es bei den gerichteten Änderungen mit einer anderen Gruppe von Faktoren als Ursache zu tun haben. Es ist naheliegend, dabei an das im Zusammenhang mit der steigenden Abwasserbelastung des Bodensees ständig zunehmende Angebot von Pflanzennährstoffen zu denken, insbesondere von Stickstoff und Phosphor.
Ein besonders krasses Beispiel derartiger gerichteter Vegetationsveränderungen im Verlauf aufeinanderfolgender Jahre lieferte das Flachwassergebiet des Ermatinger Beckens (vgl. dazu LANG 1967, S. 533 und Abb. 30; sowie LANG 1969, Bild 17 und 18). Während dort jeden Sommer gegen die sublakustre Rheinrinne zu ausgedehnte, jedes Jahr ähnlich entwickelte, mehr oder weniger einartige Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus) herrschen, war im Hauptteil des Gebietes, gegen das Wollmatinger Ried zu, noch 1962 ein riesiger, nahezu 1 km² großer Characeen-Rasen (Charetum asperae) mit vorherrschender Chara contraria vorhanden, der nur an seinem südöstlichen und nordwestlichen Ende an kleine Flächen der Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris) angrenzte. Dieses gewaltige Characeenfeld wurde bereits aus den vierziger Jahren von JAAG (1946) geschildert und auch viel früher schon, zu Beginn des Jahrhunderts, von BAUMANN (1911). Seit dem Sommer 1963 traten zwar Im Feld noch Characeen auf, jedoch in keinem Verhältnis mehr zu ihrer früheren Massenentwicklung. Stattdessen war der gesamte Bereich von Zannichellia palustris, Potamogeton pusillus und P. pectinatus überwuchert. Offenbar wurde im Zeitraum zwischen 1962 und 1963 ein entscheidender ökologischer Schwellenwert überschritten, so daß die Characeenvegetation sich nicht mehr entfalten konnte. Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei um den Phosphorgehalt als begrenzenden Faktor: Aus den von WAGNER (1970)

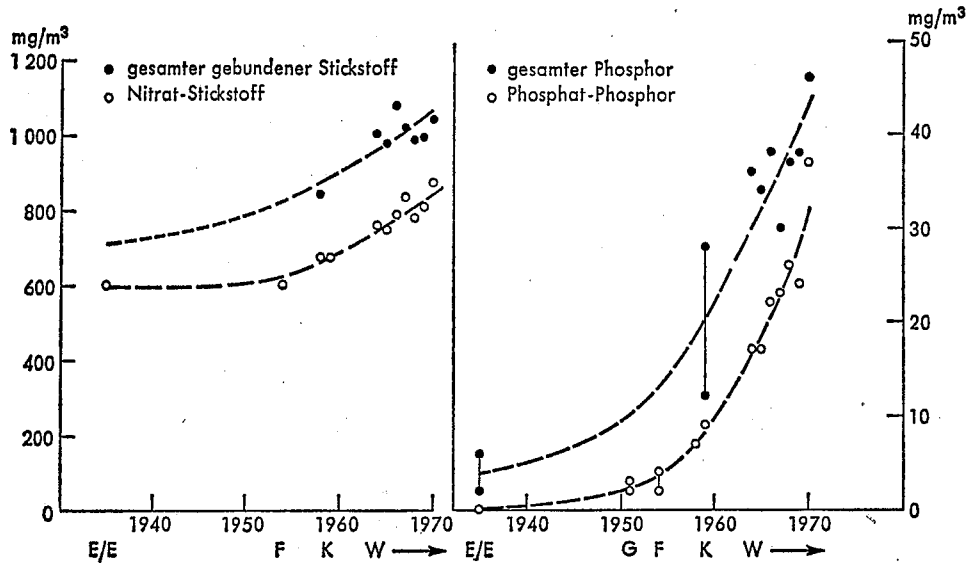


Abb. 24. Die durchschnittlichen Konzentrationen der Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Bodensee-Obersee jeweils zu Beginn der Stagnationsperiode von 1935 bis 1970. E/E: ELSTER u. EINSELE 1937. F: FAST 1955. G: GRIM 1955, 1967. K: KLIFFMÜLLER 1962/69. W: WAGNER 1967. Aus WAGNER 1970.

zusammengestellten Meßwerten verschiedener Autoren über den Zeitraum 1935—1970 (vgl. Abb. 24) geht der ständig fortschreitende Anstieg der Phosphorkonzentration im Bodensee-Freiwasser hervor, von 1950 an zunächst allmählich, seit 1960 stark zunehmend. Für stark abwasserbeeinflußte Gebiete, wie das Ermatinger Becken, dürfte ein Anstieg mindestens gleichen, wenn nicht größeren Umfangs anzunehmen sein.

6 Vergleich mit früheren Bestandsaufnahmen

6.1 Obersee mit Überlinger See

Über die Ufervegetation des Obersees einschließlich des Überlinger Sees liegen nur wenige ältere Arbeiten vor. Den gesamten Bereich behandelt die Gemeinschaftsarbeit von SCHRÖTER und KIRCHNER, die im Auftrag einer seinerzeit gebildeten „Kommission zur wissenschaftlichen Erforschung des Bodensees" ausgeführt worden war und deren erster, die allgemeinen Grundlagen (SCHRÖTER) sowie die Algen und Pilze (KIRCHNER) umfassender Teil 1896 erschien, der zweite Teil über die Characeen, Moose und Gefäßpflanzen (SCHRÖTER) 1902. Die Bestandsaufnahmen der beiden Verfasser gründeten sich auf neun, zwischen Oktober 1890 und Juni 1895 durchgeführte, meist nur wenige Tage umfassende Exkursionen; darüber hinaus konnten Mitteilungen und Sammlungen einer Reihe weiterer, zum Teil seeansässiger Forscher verwendet werden. Trotz des verhältnismäßig geringen Zeitaufwandes für die Feldarbeit und die zweifellos daraus abzuleitende Lückenhaftigkeit der Ergebnisse müssen die Untersuchungen von SCHRÖTER und KIRCHNER als grundlegend gelten, stellen sie doch den ersten Versuch einer umfassenden botanischen Dokumentation dar. Sie bilden damit die einzige, den ganzen Obersee und Überlinger See einschließende Vergleichsgrundlage für unsere Betrachtung. Quantitative Angaben über die räumliche Verbreitung

einzelner Pflanzen oder Pflanzengesellschaften am See enthält die Arbeit freilich nicht, auch keine Vegetationskarten, so daß wir uns mit einer qualitativen Auswertung begnügen müssen.

Neben zahlreichen Notizen über floristische Funde im Ufergebiet sind ferner zwei Untersuchungen für uns wichtig, die zwar nur kleine Bereiche behandeln und stark zoologisch ausgerichtet sind, aber auch botanische Schilderungen enthalten: Die eine stammt von GEISSBÜHLER (1938) und stellt die Gesellschaften der höheren Pflanzen- und Tierwelt in der Bucht von Luxburg-Romanshorn dar, nach Beobachtungen in den Jahren 1935 bis 1938; darin sind unter anderem elf Vegetationsprofile 1:7000 sowie eine Vegetationskarte 1:14300 enthalten. Die zweite Arbeit verdanken wir MUCKLE (1942). Sie betrifft die Uferfauna in der Unteren und Oberen Güll an der Mainau nach Untersuchungen in den Jahren 1936 und 1937, wobei ein interessanter Abriß der Vegetationsverhältnisse vorangestellt ist, illustriert durch eine Vegetationskarte 1:40000 und sechs Profile 1:20000.

Was ergibt sich aus dem Vergleich dieser älteren Befunde mit den heutigen? Nach den Schilderungen von SCHRÖTER erstreckten sich Charabestände vor der Jahrhundertwende über die Uferbank hinaus weit über die Halde hinab (vgl. 6.3): So wurde damals Chara contraria im Überlinger See noch in 24—27 m Tiefe gefunden, Chara tomentosa und Nitella syncarpa im Obersee bei Konstanz noch in 30 m Tiefe. Im Zeitraum 1961—1967 wurden zwar an verschiedenen Stellen noch ausgedehnte Characeen-Rasen beobachtet, so am Thurgauer Ufer des Obersees und am Überlinger See, jedoch ausschließlich auf der Uferbank. Auch qualitativ scheinen die Bestände heute dezimiert gegenüber früher, obwohl man hier vorsichtig sein sollte wegen eventuell vorhandener Fundlücken in der Gegenwart. Folgende, früher im Obersee und Überlinger See beobachtete Characeen wurden in jüngerer Zeit nicht mehr gefunden (vgl. 4.1): Chara dissoluta, Ch. fragilis, Ch. hispida, Ch. imperfecta, Ch. tomentosa, Ch. vulgaris, Nitella opaca, N. syncarpa, Tolypella glomerata. Ein Teil dieser Arten, so Chara dissoluta, Ch. imperfecta, Ch. vulgaris und Tolypella glomerata, war nach GEISSBÜHLER in der Luxburger Bucht vor fünfunddreißig Jahren noch sehr häufig, fehlt heute aber offenbar völlig. Ähnliches gilt für Chara tomentosa, die nach MUCKLE vor dreieinhalb Jahrzehnten in der Unteren Güll massenhaft vorkam, heute jedoch verschwunden ist.

Verfolgen wir nach den Veränderungen der Characeenvegetation die der Laichkrautgesellschaften, so stellen wir hier umgekehrt keinen Rückgang, sondern eine weitere Ausbreitung fest. Schon am Ende des vorigen Jahrhunderts waren nach SCHRÖTER im Obersee Laichkrautbestände an vielen Stellen vorhanden. In diesen herrschten hauptsächlich großblättrige Arten vor, nämlich Potamogeton lucens und P. perfoliatus. Es handelte sich danach überall um die typische Ausbildung unserer Glanzlaichkrautgesellschaft (Potametum lucentis), bei der übrigens auch damals schon, wie heute, die häufige streifenförmige Anordnung am Oberrand der Halde beobachtet wurde. Gegenüber dem heute stark im Vordergrund stehenden Potamogeton pectinatus muß P. lucens und P. perfoliatus früher viel häufiger gewesen sein. SCHRÖTER bezeichnet P. lucens als häufigstes Laichkraut im Bodensee und andere Bodenseeforscher (ELSTER, GAMS, NÜMANN mdl.) bestätigen, daß ehemalige Massenvorkommen von P. lucens und P. perfoliatus heute stark durch solche von P. pectinatus ersetzt sind, so z. B. vor Langenargen. Bestände mit vorherrschenden fadenblättrigen Arten, wie Zannichellia palustris, Potamogeton pusillus und P. pectinatus, kamen nach SCHRÖTER um die Jahrhundertwende nicht oder jedenfalls nicht in nennenswerter Ausdehnung vor. Zannichellia wurde sogar ausdrücklich als fehlend vermerkt. Die Teichfadengesellschaft (Zannichellietum palustris) hat sich danach vom Untersee her, wo sie auch um die Jahrhundertwende schon vorkam, erst in den letzten sieben bis acht Jahrzehnten auf den Obersee und Überlinger See ausgedehnt. Auch die Flächenausdehnung der Glanzlaichkrautgesellschaft hat sicherlich an vielen Stellen beträchtlich zugenommen, wie die wachsenden Klagen über Behinderungen des Schiffs-, Boots- und Badebetriebes zeigen; genauere Vergleichsunterlagen fehlen jedoch. Neben Zannichellia palustris und Potamogeton pectinatus, die schon erwähnt wur-

den, breiteten sich im Obersee—Überlinger See seit der Jahrhundertwende vor allem folgende Potamogeton-Arten in den Laichkrautgesellschaften weiter aus: P. crispus, P. friesii und P. pusillus.
Die geschilderten Veränderungen, nämlich der Rückgang der Characeenvegetation, also von Pflanzen oligotroph-mesotropher Standorte, und die Ausbreitung der Laichkrautvegetation, also von Pflanzen eutropher Standorte, scheinen in ihrem ursächlichen Zusammenhang leicht verständlich: Sie müssen zweifellos als Folge der in den letzten Jahrzehnten zunehmenden Eutrophierung weiter Teile der Uferzone gedeutet werden, insbesondere als Folge der stark anwachsenden Zufuhr von Stickstoff und Phosphor in pflanzenaufnehmbarer Form (vgl. Abb. 24). Im Vergleich mit dem nachfolgend behandelten Untersee sind diese Einflüsse am Obersee und Überlinger See viel auffälliger.

6.2 Untersee

Über die Ufervegetation des Untersees unterrichtet die außerordentlich gründliche Arbeit von BAUMANN (1911), die sich auf über 200 über alle Jahreszeiten verteilte Exkursionen zwischen 1905 und 1909 stützt. Den Hauptteil des Werkes bildet ein Florenkatalog mit einer Aufzählung aller beobachteten Fundorte der einzelnen Sippen, ergänzt durch biologische und ökologische Bemerkungen. Obwohl das Buch keine Vegetationskarten enthält, sondern nur eine Punkt-Verbreitungskarte von Littorella uniflora 1:50 000 und sieben schematisierte Vegetationsprofile ohne Maßstab, davon sechs aus dem Ermatinger Becken, stellt es doch eine Fundgrube für den Vergleich mit der Gegenwart dar und übertrifft an Reichhaltigkeit das entsprechende Werk für den Obersee von SCHRÖTER und KIRCHNER bei weitem. Eine zweite, leider nicht veröffentlichte, sondern nur für den amtsinternen Gebrauch bestimmte Studie über den Untersee verdanken wir JAAG (1946). Ausgehend von Untersuchungen in den Jahren 1943 bis 1946 wird darin eine Übersicht über die Makrophytenvegetation der Uferzone von Kreuzlingen abwärts bis über Stein a. Rh. hinaus gegeben, neben einer Darstellung chemisch-physikalischer Erhebungen in diesem Raum und der mutmaßlichen Auswirkungen der Bodenseeregulierung. Der Originalarbeit, dem Eidgen. Amt für Wasserwirtschaft in Bern abgeliefert, liegt eine farbige Vegetationskarte 1:5 000 bei*), deren Anfertigung nach JAAG (S. 76) allerdings erhebliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Lokalisation der Bestände bereitete, ferner enthält sie eine tabellarische Übersicht über Lage, Art, Ausdehnung (in ha), Vegetationszeit und Dichte (Schätzwerte in 15teiliger Skala) der höheren Wasservegetation. Der Bericht von JAAG führt folgende Potamogeton-Arten auf: P. crispus, P. gramineus, P. helveticus, P. lucens, P. pectinatus, P. perfoliatus; ferner Elodea canadensis, Hippuris vulgaris, Myriophyllum spicatum, sowie die Characeen Chara aspera, Ch. contraria und Ch. tomentosa. Nicht erwähnt, weil offenbar nicht beobachtet, werden die vegetationskundlich wichtigen Arten Najas intermedia und Zannichellia palustris, sowie eine Reihe seltenerer, vegetationskundlich weniger bedeutsamer Arten wie Potamogeton friesii, P. pusillus u. a. Ein ebenfalls nicht publizierter Ergänzungsbericht von JAAG (1968) sei hier der Vollständigkeit halber erwähnt; er stützt sich für den Untersee auf unser hier vorgelegtes Kartierungsmaterial von 1967.
Betrachten wir die Veränderungen im Makrophytenbewuchs der Uferzone an Hand eines Vergleichs der vorstehend genannten Arbeiten mit unseren Ergebnissen aus den sechziger Jahren, so ergibt sich für die Characeenvegetation folgendes Bild: Die meisten ehemaligen Fundstellen der Nixenkrautgesellschaft (Najadetum intermediae) — die bei BAUMANN

*) Die Karte war mir leider nicht zugänglich!

unter dem Namen „Characetum" aufgeführt, also nicht von reinen Characeen-Rasen in unserem Sinne (Charetum asperae) abgetrennt wird — sind auch heute noch vorhanden, wenngleich sie in der Flächenausdehnung und Dichte wahrscheinlich Einbußen erlitten haben. Für diese Annahme bietet allerdings die Arbeit von BAUMANN keine genauen Anhaltspunkte, jedoch deuten die Aussagen verschiedener, von JAAG seinerzeit unabhängig voneinander befragter Fischer am Untersee dies bereits für die vierziger Jahre an. Hinsichtlich einzelner Arten ergibt ein Vergleich, daß offenbar besonders Chara tomentosa stark an Häufigkeit einbüßte. Für den Zeitraum 1943—1946 führte JAAG für den von ihm untersuchten Teil des Untersees noch folgende größere Chara-Bestände auf: 1. Unterhalb Gottlieben bis Ermatingen-Staad, längs der Stromrinne, 20 ha. 2. „Im Feld", Ermatinger Becken, Bestände mit Chara aspera, Ch. contraria, Ch. tomentosa, 500 ha. Zwischen 1961 und 1967 waren von 1. nur minimale Reste, und auch diese nur in einzelnen Jahren vorhanden; von 2. konnten 1962 noch ausgedehnte Bestände beobachtet werden (vgl. LANG 1967 u. 1969), in den Folgejahren dagegen nur noch kleine Reste oder zeitweilig gar nichts mehr (vgl. auch 5.3). Die Characeen-Rasen des Ermatinger Beckens dürften übrigens schon zu BAUMANNs Zeiten frei von Najas intermedia gewesen sein, sicherlich bedingt durch die hier stets niedrigen Wassertemperaturen während der Vegetationsperiode unter dem unmittelbaren Einfluß des kalten Seerheins. Ebenso wie im Obersee und Überlinger See sind heute auch im Untersee die noch von BAUMANN aus Tiefen unterhalb 6 m erwähnten dichten Characeenteppiche offenbar völlig verschwunden (vgl. 6.3). Ein Rückgang der Characeenvegetation ist danach unverkennbar, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt wie im Obersee.

Wie sieht es bei der Laichkrautvegetation des Untersees aus? Was den Artenbestand angeht, so ist heute kaum ein Unterschied gegenüber dem Beginn unseres Jahrhunderts zu erkennen. Sowohl alle wichtigeren, wie auch die selteneren Arten waren damals schon vorhanden. Als häufigste Arten werden von BAUMANN Potamogeton perfoliatus und P. lucens genannt, während heute P. pectinatus überwiegt. Hier ist demnach eine Verschiebung im Mengenverhältnis eingetreten. Für die Beurteilung der Flächenausdehnung fehlen wiederum genauere Vergleichsangaben, die Schilderungen BAUMANNs zeigen aber, daß die heutigen Flächen den damaligen nicht nachstehen, sondern sie eher übertreffen.

Insgesamt sehen wir heute im Untersee einen Rückgang der Characeenvegetation gegenüber dem Beginn der Jahrhundertwende und eine, vielleicht nur schwache Ausbreitung der Laichkrautvegetation. Bereits JAAG (1946) sah den Hauptgrund für diese Veränderungen in der zunehmenden Belastung mit Abwasserstoffen, wies allerdings hinsichtlich des Rückgangs der Charabestände — besonders im Ermatinger Becken — auch auf die Mitwirkung der Freß- und Scharrtätigkeit der stark vermehrten Wasservögel hin. Dieser Deutung möchten wir uns voll anschließen.

6.3 Tiefenverbreitung der Makrophyten

Die einstige und heutige Tiefenverbreitung der Makrophyten im Bodensee scheint einer gesonderten Betrachtung wert, obwohl schon in den vorhergehenden Abschnitten (6.1 und 6.2) einige Angaben dazu gemacht wurden. Für die absolute Tiefengrenze der im Wasser lebenden Gefäßpflanzen ist nach neueren Untersuchungen von GESSNER u. a. neben dem Licht auch der hydrostatische Druck verantwortlich, da dieser bei einem bestimmten Grenzwert offenbar die Assimilatleitung in den Gefäßen unterbindet (vgl. dazu die Diskussion bei LANG 1967). Wie in allen anderen Gewässern reicht diese Pflanzengruppe deshalb auch im Bodensee nicht tiefer als maximal 7 m und innerhalb dieses Bereiches sind heute gegenüber den von SCHRÖTER und BAUMANN beobachteten Tiefengrenzen kaum Veränderungen festzustellen. Dies gilt besonders für die Laichkräuter als wichtigste Vertreter dieser Gruppe.

Anders verhält es sich aber bei Wassermoosen und Armleuchteralgen, also gefäßlosen Pflanzen. Hier scheidet der hydrostatische Druck als begrenzender Faktor aus; maßgeblich für die Tiefenausdehnung dürfte in erster Linie das Licht sein. Inwieweit auch die Temperatur eine Rolle zu spielen vermag, ist noch nicht geprüft. Jedenfalls sind bei einer ganzen Anzahl von Charophyten im Bodensee beträchtliche Maximaltiefen beobachtet (Tab. 8), ebenso bei einigen Moosen. So gibt BAUMANN (1911) Fontinalis antipyretica vor Oberstad im Untersee noch aus 17 m Tiefe an. Alle diese Werte beziehen sich auf den Zeitraum um die Jahrhundertwende, während heute kein einziger Fund lebender Pflanzen aus Tiefen unter 7 m

Tabelle 8

Ehemalige Tiefenverbreitung einiger Armleuchteralgen (Charophyten) im Bodensee. Nach Angaben von SCHRÖTER und KIRCHNER (1902) und BAUMANN (1911). Die Beobachtungen beziehen sich alle auf den Zeitraum 1880—1910.

	OBERSEE	UNTERSEE
Chara contraria	24—27 m (Süßenmühle)	—
Chara dissoluta	—	6—8 m (Hornstaad)
Chara tomentosa	30 m (Konstanz, Käntle)	16 m (Berlingen)
Nitella hyalina	—	4 m
Nitella flexilis	—	15 m (Berlingen)
Nitella opaca	13,5 m (Wallhausen)	12 m (Ermatingen)
Nitella syncarpa	30 m (Konstanz, Käntle)	6 m
Nitellopsis obtusa	—	14 m (Berlingen)

mehr gelungen ist, trotz vielfacher gezielter Bemühungen. An einem Rückgang der Tiefenausdehnung vor allem der Charophyten kann danach nicht gezweifelt werden. Als Ursache für diese Erscheinung möchte man zunächst an den unmittelbaren Einfluß der unbestreitbar verstärkten Eutrophierung denken, vor allem im Zusammenhang mit dem bereits diskutierten Phosphat-Schwellenwert der Charophyten (vgl. 2.3), naheliegender ist aber wohl die Annahme einer indirekten Auswirkung der Eutrophierung über die in den letzten Jahrzehnten stark verminderte Transparenz des Wassers infolge erhöhter Planktonproduktion (vgl. LEHN 1962), also die Annahme verminderten Lichtgenusses. Eine weitere Klärung dieser Zusammenhänge scheint erwünscht.

7 Heutiger Gütezustand der Uferzone

7.1 Allgemeines

Der vorliegenden Untersuchung liegt das Ziel zugrunde, aus der Kenntnis der räumlichen Verbreitung der Pflanzen und Pflanzengesellschaften und ihrer Standortansprüche ein möglichst genaues Bild des Gütezustandes der Uferzone zu gewinnen, wobei im Vordergrund des Interesses dessen Beeinflussung durch Abwasserstoffe steht. In der einleitenden Schilderung der Ufervegetation in Abschnitt 2.2 und 2.3 wurde bereits auf die deutlich erkennbare Bin-

dung der Pflanzengesellschaften an bestimmte Trophie-Zustände hingewiesen: Danach können Characeen-Wiesen als Indikatoren für oligotroph-mesotrophe, die meisten Laichkraut-Gesellschaften dagegen als Zeiger für eutrophe Verhältnisse gelten. Bezieht man in diese qualitative Auswertung zusätzlich quantitative Gesichtspunkte mit ein, indem vor allem die Flächenausdehnung und Massenentfaltung der Eutrophiezeiger in der in Abschnitt 3.3 näher erläuterten Weise als Zeiger für Trophie-Stufen herangezogen wird, so ergibt sich eine Übersicht über den Gütezustand der Uferzone (Abb. 25).

In den folgenden Abschnitten stellen wir die Uferbereiche nach den ausgeschiedenen Gütestufen zusammen. Eine Korrelation mit chemischen Daten über die Abwasserbelastung wurde nur für die Uferstrecken der Gütestufe III versucht: Hier liegen, wenigstens für die Mehrzahl der Vorkommen, auf Messungen zurückgehende Werte vor, während für die Uferstrecken der Gütestufe II nur statistisch ermittelte Extrapolationswerte hätten herangezogen werden können, die sich zudem auf 1961 beziehen (Kommissionsbericht Nr. 6, 1967). Wenn, im großen gesehen, unsere Ergebnisse im überwiegenden Teil des Bodenseeufers mit anderen Untersuchungen über Gütezustand und Abwasserbelastung übereinstimmen (vgl. WACHEK 1958; WAGNER und ZAHNER im Kommissionsbericht Nr. 2, 1964), so muß andererseits doch auf die Grenzen unserer Methode hingewiesen werden, die sich vor allem im östlichen Teil des Bodensees zeigen (vgl. auch Abschnitt 2.3). Im Umkreis der Fußacher und Bregenzer Bucht,

Tabelle 9

Übersicht über den aus der Makrophytenvegetation erschlossenen Gütezustand der Uferzone 1967 auf der Grundlage des Luftbild-Gitternetzes. Die Größe der Gitternetzquadrate beträgt rund 1 km². Für die hier vorgenommene Zuweisung der einzelnen Gitternetzquadrate zu den drei Gütestufen gelten die in Abschnitt 7.1 erörterten Vorbehalte (insbesondere bei Vorarlberg und St. Gallen).

	Zahl der Gitternetz-Quadrate			
	Mit Gütestufe I gut	Mit Gütestufe II mittel	Mit Gütestufe III schlecht	Insgesamt
Obersee				
Baden-Württemberg	37 (43,5 %)	37 (43,5 %)	11 (13,0 %)	85
Bayern	4 (31,0 %)	6 (46,0 %)	3 (23,0 %)	13
St. Gallen	3 (33,0 %)	6 (67,0 %)	—	9
Thurgau	9 (30,0 %)	18 (60,0 %)	3 (10,0 %)	30
Vorarlberg	23 (88,5 %)	2 (7,5 %)	1 (4,0 %)	26
Insgesamt	76 (46,5 %)	69 (42,5 %)	18 (11,0 %)	163
Untersee (einschl. Seerhein)				
Baden-Württemberg	32 (54,5 %)	21 (35,5 %)	6 (10,0 %)	59
Thurgau	5 (21,0 %)	12 (50,0 %)	7 (29,0 %)	24
Insgesamt	37 (44,5 %)	33 (40,0 %)	13 (15,5 %)	83
Bodensee insgesamt				
Baden-Württemberg	69 (48,0 %)	58 (40,0 %)	17 (12,0 %)	144
Bayern	4 (31,0 %)	6 (46,0 %)	3 (23,0 %)	13
St. Gallen	3 (33,0 %)	6 (67,0 %)	—	9
Thurgau	14 (26,0 %)	30 (55,5 %)	10 (18,5 %)	54
Vorarlberg	23 (88,5 %)	2 (7,5 %)	1 (4,0 %)	26
Insgesamt	113 (46,0 %)	102 (41,5 %)	31 (12,5 %)	246

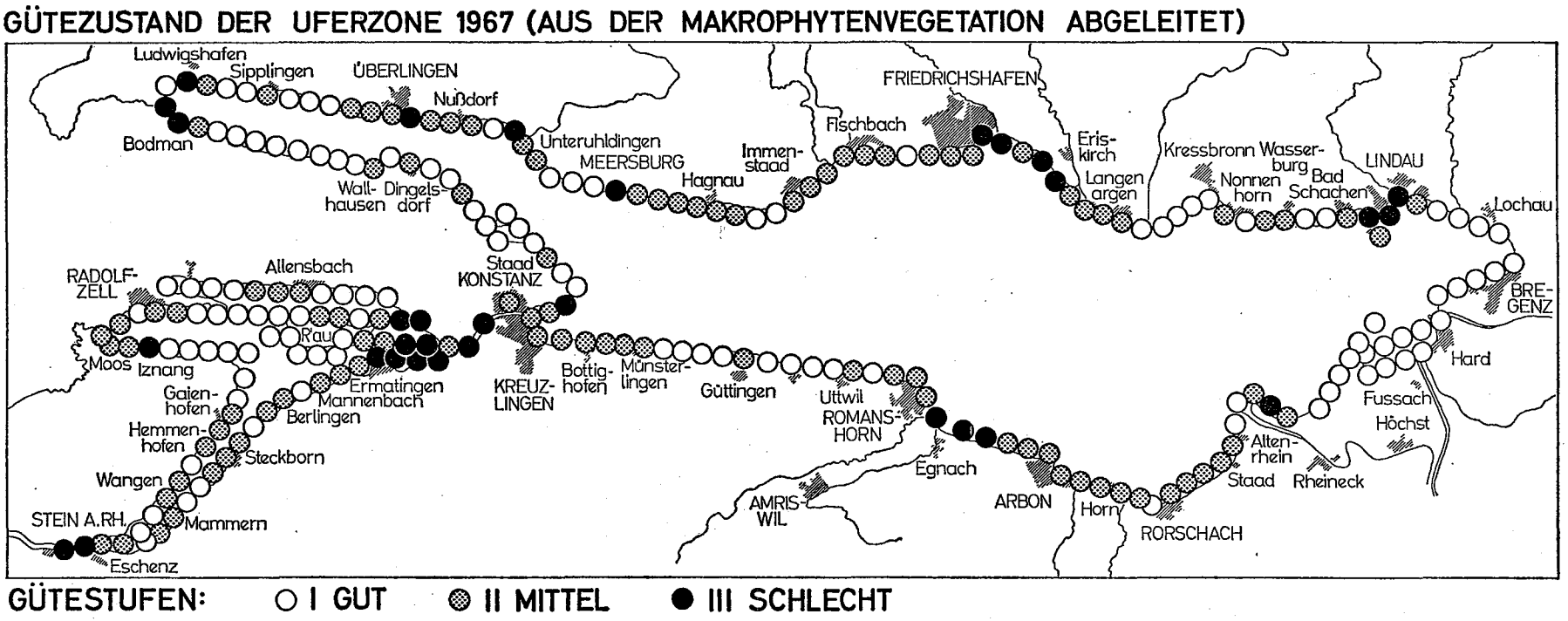


Abb. 25. Übersicht über den aus der Makrophytenvegetation erschlossenen Gütezustand der Uferzone im Jahre 1967. Für die hier vorgenommene Zuweisung der einzelnen Gitternetzquadrate zu den drei Gütestufen gelten die in Abschnitt 7.1 erörterten Vorbehalte (insbesondere bei Vorarlberg und St. Gallen). Vgl. auch Tab. 9.

also im unmittelbaren Einflußbereich des einmündenden Alpenrheins und der Bregenzer Ach, sowie im Umkreis der Rorschacher und Arboner Bucht, waren 1967 Laichkraut-Gesellschaften nur spärlich entwickelt. Daraus den Schluß auf Gütestufe I, also auf eine geringe Belastung durch Abwasserstoffe, zu ziehen, stünde im Widerspruch zu den chemischen Meßdaten, die unter Einschluß der suspendierten Stoffe hohe N- und P-Werte belegen.
Hier versagen offensichtlich die Makrophyten als Indikatoren und zwar sehr wahrscheinlich auf Grund der völlig abweichenden Standortsverhältnisse gegenüber dem übrigen Bodenseeufer: Während der Vegetationsperiode herrschen hier niedrigere Wassertemperaturen und das Wasser ist infolge der Schneeschmelze im Hochgebirge bis in den Sommer hinein durch einen hohen Schwebstoffgehalt ausgezeichnet, der stark verringerten Lichtgenuß und geringe Substratstabilität zur Folge hat. Die vergleichende Analyse eines einzigen ökologischen Parameters, in unserem Falle die Analyse der Trophie, ist aber an Hand der Vegetation nur dann einigermaßen zuverlässig, wenn die anderen Parameter nicht ebenfalls Änderungen unterworfen sind, so wie das hier der Fall ist.
Eine weitere Grenze unserer Methode ist erreicht, wenn die Belastung durch zugeführte Abwasserstoffe so groß ist, daß diese das Wachstum der Makrophyten, insbesondere das der Laichkräuter, nicht mehr fördern, oder wenn gar unmittelbare Giftstoffe in den Uferbereich gelangen. Derartige Verhältnisse deuten sich in der Mündung der Dornbirner Ach, im Umkreis der Schussenmündung und in der Bucht vor Rorschach und Arbon an, möglicherweise auch im westlichen Gnadensee.

7.2 Natürlicher Zustand der Uferzone (I)

Als natürlichen Zustand der Uferzone, in dem, der Gütestufe I entsprechend, keine oder höchstens eine geringe Belastung durch Abwasserstoffe vorhanden ist, betrachten wir Bereiche, in denen die Laichkraut-Gesellschaften 4—6 fehlen oder nur in geringer Flächenausdehnung, das heißt weniger als 10 % der Uferbankfläche deckend, vorkommen. Insgesamt gehören 46 % des Bodenseeufers hierzu (Tab. 9). Wenn wir vom östlichen Obersee mit Hardter, Bregenzer und Rorschacher Bucht, sowie vom westlichen Gnadensee absehen, wo trotz spärlicher Laichkrautvegetation mittlerer bis schlechter Gütezustand gegeben scheint (vgl. die Abschnitte 7.1 und 7.3), so sind ausgedehntere natürliche Uferstrecken in folgenden Bereichen im Obersee vorhanden: 1. Zwischen Bad Schachen und der Argenmündung. 2. Zwischen Immenstaad und Hagnau (Kippenhorn). 3. Zwischen Meersburg und Unteruhldingen. 4. Zwischen Überlingen und Ludwigshafen. 5. Fast das gesamte Südufer des Überlinger Sees zwischen Bodman und dem Eichhorn bei Konstanz. 6. Beiderseits des Rohrspitz. 7. Zwischen Romanshorn und Münsterlingen. Im Untersee sind folgende Stellen zu nennen: 8. Nordufer des östlichen Gnadensees. 9. Süd- und Westufer der Reichenau. 10. Südufer der Mettnau. 11. Ostteil der Höri zwischen Iznang und Gaienhofen.
Wie diese Aufzählung und die Karte (Abb. 25) zeigt, haben wir es bei all diesen Uferstrecken mit Bereichen zu tun, die weder in der Nähe größerer Flußmündungen (Ausnahme: Argenmündung), noch vor Ortschaften liegen, vielmehr dazwischen: Abwassereinleitungen fehlen, oder wenn sie vorhanden sind, führen sie nur geringe Mengen zu.
Die vom Menschen nicht oder wenig beeinflußte Uferzone ist kein einheitlicher Standort, sondern kann in zwei Typen unterteilt werden, die im wesentlichen von der Bodenart abhängen (vgl. Abb. 3 A und B). Für die Auswertung in Abb. 25 wurden diese jedoch nicht getrennt, weil sie im Zusammenhang dieser Untersuchung nicht so bedeutsam scheinen; doch sei hier darauf hingewiesen. Es handelt sich um:

A. Die nährstoffarmen (oligotrophen) Kiesufer, die im Sublitoral kaum Vegetation aufweisen, im Eulitoral durch Strandlings-Gesellschaften (13, 14) gekennzeichnet sind. Diese

Ufer bieten sich ihres lückigen Bewuchses und ihrer guten Wasserqualität wegen besonders für den Badebetrieb an; andererseits sind sie wegen ihres Geröllreichtums nicht sehr bequem. Zu diesem Typ gehören die meisten der aufgezählten Uferstrecken des Obersees, mit Ausnahme etwa der Strecke Dingelsdorf — Mainau. Im Untersee gehören dagegen nur kleinere Uferstrecken im westlichen Gnadensee, am Westufer der Reichenau und am Südufer der Mettnau dazu.

B. Die mäßig nährstoffhaltigen (mesotrophen) Sand-Silt-Ufer, die im Sublitoral meist ausgedehnte Characeen-Wiesen (1-Obersee, 2-Untersee) besitzen und im Eulitoral die schon von weitem kenntlichen Röhricht-Gesellschaften (9, 10) aufweisen. Hierzu gehören nur kleinere Strecken im Obersee; im Untersee sind es dagegen ausgedehntere Bereiche, etwa im östlichen und westlichen Gnadensee und im Ostteil der Höri zwischen Iznang und Gaienhofen.

7.3 Uferbereiche mittlerer Güte (II)

Als Indikator der Gütestufe II, also eines mittleren Gütezustandes, werten wir Vegetationsverhältnisse im Sublitoral, bei denen die Laichkraut-Gesellschaften 4—6 einen Flächenanteil von 10—50 % an der Uferbank aufweisen (vgl. Abb. 3 C). Characeen-Wiesen können daneben vorhanden sein oder auch fehlen, wahrscheinlich wenigstens zum Teil in Abhängigkeit davon, ob es sich ursprünglich um ein Naturufer vom Typ A oder vom Typ B handelt. Das Eulitoral ist in der überwiegenden Zahl der Vorkommen durch die Anlage von Ufermauern in seinem natürlichen Zustand zerstört: Es handelt sich zumeist um Uferbereiche vor Ortschaften, die Abwässer in den See einleiten, daneben um Strecken, die an Bereiche der Gütestufe III im Umkreis der großen Flußmündungen angrenzen (Abb. 25). Insgesamt gehören 41,5 % des Bodenseeufers dazu (Tab. 9).
Im einzelnen seien folgende größere Uferstrecken im Obersee genannt: 1. Von Bad Schachen über Wasserburg und Nonnenhorn bis Kreßbronn (mit Unterbrechungen). 2. Von Langenargen über Friedrichshafen bis Immenstaad. 3. Von Hagnau bis Meersburg. 4. Von Unteruhldingen bis Überlingen. 5. Einzelne Ortschaften am übrigen Überlinger See: Sipplingen, Ludwigshafen, Bodman, Wallhausen, Dingelsdorf, Litzelstetten, Staad. 6. Von Altenrhein bis Romanshorn. 7. Von Münsterlingen bis Konstanz. Im Untersee sind es folgende Uferstrecken: 8. Nordufer der Reichenau vor Mittelzell. 9. Allensbach. 10. Von Radolfzell bis Iznang. 11. Einzelne Ortschaften am Südufer der Höri: Gaienhofen, Hemmenhofen, Wangen. 12. Einzelne Ortschaften am Nordrand des Thurgauer Seerückens: Ermatingen, Mannenbach, Berlingen, Steckborn, Mammern, Eschenz.

7.4 Uferbereiche geringer Güte (III)

Als Ausdruck der Gütestufe III, also des schlechtesten Gütezustandes, interpretieren wir Vegetationsverhältnisse, bei denen im Sublitoral die Laichkraut-Gesellschaften 4—6 mehr als 50 % der Fläche decken. Es kann sich dabei sowohl um die Glanzlaichkraut-Gesellschaft (Potametum lucentis) handeln, als auch um die Teichfaden-Gesellschaft (Zannichellietum palustris) oder um Kammlaichkraut-Bestände (Potamogeton pectinatus). Die Teichfaden-Gesellschaft ist in der Regel, wenn nicht vorherrschend, so doch vorhanden. Soweit das Eulitoral nicht verbaut ist, finden wir neben dem Schilf-Röhricht (Phragmitetum) das Schwaden-Röhricht (Glycerietum maximae) oder das Rohrkolben-Röhricht (Typhetum). Die meisten Vorkommen, die immerhin 12,5 % des Bodenseeufers ausmachen (Tab. 9), liegen unmittelbar vor oder zumindest in der Nachbarschaft größerer Flußmündungen.

Im Obersee gehören dazu folgende Uferstrecken (in Klammern die an diesen Stellen in den See gelangenden Abwasserstoffe in t/Jahr nach Erhebungen 1961 laut Kommissionsbericht Nr. 6, 1967*): 1. Lindau (N: 131, P: 25, gemessene und statistisch ermittelte Werte zusammengefaßt). 2. Schussenmündung (N: 745, P: 68, gemessen). 3. Rotachmündung (N: 116, P: 10, gemessen; dazu Friedrichshafen N: 183, P: 37, statistisch ermittelt). 4. Meersburg (N: 18, P: 4, statistisch ermittelt). 5. Mündung der Seefelder Aach (N: 197, P: 8, gemessen). 6. Überlingen (N: 52, P: 13, statistisch ermittelt). 7. Ludwigshafen (N: 6, P: 2, statistisch ermittelt). 8. Mündung der Stockacher Aach (N: 196, P: 10, gemessen). 9. Konstanz-Petershausen (keine getrennten Angaben für den Ortsteil). 10. Östlich der Mündung des Alten Rheins (N: 406, P: 31, gemessen). 11. Luxburger Bucht (Salmsacher Aach N: 36, P: 7, gemessen; dazu Egnach N: 10, P: 3, statistisch ermittelt). Im Untersee sind zu nennen: 12. Ermatinger Becken (Konstanz N: 275, P: 59, statistisch ermittelt). 13. Iznang (N: 1, P: 0, statistisch ermittelt). 14. Eschenzer Bucht und Stein a. Rh. (N: 4, P: 1, statistisch ermittelt). Mit unserer Methode nicht erfaßt (vgl. Abschnitt 7.1.) wurde 15. Mündungsgebiete des Rheins, der Dornbirner und Bregenzer Ach (N: 11 291, P: 956, gemessene Werte zusammengefaßt).
Die angeführten Werte zeigen, daß an den meisten Fundstellen dieses Typs eine beträchtliche Zufuhr von Abwasserstoffen in Form von Stickstoff- und Phosphorverbindungen erfolgt. Daneben fallen aber auch einige Vorkommen der Gütestufe III mit nur geringen (statistisch ermittelten) chemischen Belastungswerten auf: Meersburg, Ludwigshafen, Iznang, Eschenz.

8 Zusammenfassung

1. Den Hauptteil des Berichtes bilden die Ergebnisse der botanischen Bestandsaufnahme in der Uferzone im Zeitraum 1961—1967. Dieser dokumentarische Abschnitt enthält einen Artenkatalog sämtlicher jemals im Bodensee beobachteter Makrophyten (Gefäßpflanzen, Moose, Armleuchteralgen) mit 26 Gitternetzkarten, sowie eine Zusammenstellung der vorkommenden Pflanzengesellschaften mit 11 Gitternetzkarten, zum Teil mit Frequenzangaben. Für die Wasserpflanzengesellschaften werden planimetrisch ermittelte Flächenangaben für den ganzen Bodensee und die einzelnen Seeteile vorgelegt. Die bei der Kartierung im Sommer 1967 verwendete kombinierte Luftbild-Feld-Methode sowie die Arbeitsweise bei der Auswertung werden dargestellt.
2. Der Zeigerwert der Pflanzen und Pflanzengesellschaften für den Gütezustand wird kritisch überprüft. Auf dieser Grundlage werden aus den botanischen Erhebungen Aussagen über den Gütezustand der Uferzone abgeleitet und mit chemischen Daten, soweit solche vorliegen, verglichen. Eine Auswertungskarte für 1967, in der drei Gütestufen unterschieden werden, zeigt die Ergebnisse in anschaulicher Form (Abb. 25). Neben den chemischen Faktoren, die die Ufervegetation beeinflussen, wird auch die Einwirkung physikalischer Faktoren (Klima) erörtert.
3. Aus dem Vergleich der vorliegenden Bestandsaufnahme mit früheren, zum Teil aus dem vorigen Jahrhundert stammenden Untersuchungen ergeben sich Schlüsse auf die Entwicklung der Uferzone in den letzten hundert Jahren im Hinblick auf die fortschreitende Eutrophierung. Für künftige Beobachtungen der Ufervegetation im Rahmen der Seeüberwachung bildet die vorliegende Arbeit die notwendige Vergleichsgrundlage.

---

*) Nach neueren Untersuchungen von WAGNER (Kommissionsbericht Nr. 10) dürften die Jahresfrachten an Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor gegenüber den Verhältnissen im Jahre 1967 zu niedrig angesetzt sein.

9 Literatur

ANONYMUS, 1967: Untersuchungen zur Feststellung der Ursachen für die Verschmutzung des Bodensees. Ergebnisse der Reihenuntersuchungen und Erhebungen im Jahre 1961. – Bericht Nr. 6 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee.

BAUMANN, E., 1911: Die Vegetation des Untersees (Bodensee). – Arch. Hydrobiol. Suppl. I, 1–554.
– 1925: Über einige kritische Potameen der Schweizer Flora. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich 3, 582–603.

BERTSCH, K., 1932: Die Pflanzenreste. – In *H. REINERTH*, Das Pfahldorf Sipplingen. Schrift. Ver. Gesch. d. Bodensees 59, 7–154.
– 1941: Das Eriskircher Ried. – Veröff. Württ. Landesstelle Natursch. 17, 57–146.

BULJAN, M., 1949: Quelques investigations physiologiques sur la nutrition de Chara. Developpement et fonctions des rhizoids de Chara. – Acta Bot. Zagrebensis 12/13, 239–264.

FORSBERG, C., 1964: Phosphorus, a Maximum Factor in the Growth of Characeae. – Nature 201, 517–518.
– 1965: Environmental conditions of Swedish Charophytes. – Symb. Bot. Upsal. 18, 1–67.

GAMS, H., 1957: Die Moos- und Farnpflanzen (Archegoniaten). – Kleine Kryptogamenflora Band IV. Stuttgart, 1–240.
– 1969: Makroskopische Süßwasser- und Luftalgen. – Kleine Kryptogamenflora Band I a. Stuttgart, 1–63.

GEISSBÜHLER, J., 1938: Beiträge zur Kenntnis der Uferbiozönosen des Bodensees. – Mitt. Thurg. Naturf. Ges. 31, 3–38.

GESSNER, F., 1959: Hydrobotanik. II. Stoffhaushalt. – Berlin, 1–701.

GRIM, J., 1955: Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 22, 310–322.
– 1967: Der Phosphor und die pflanzliche Produktion im Bodensee. – gwf-wasser/abwasser 108, 1261–1271.

HESS, H. E., E. LANDOLT und *R. HIRZEL*, 1967: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Bd. I. – Basel und Stuttgart, 1–858.

HILPERT, F., 1933: Studien zur Systematik der Trichostomaceen. – B. B. C. 50, 585–706.

JAAG, O., 1946: Untersuchungen zur Abklärung hydrobiologischer Fragen der Bodenseeregulierung. – Gutachten für das Eidgen. Amt f. Wasserwirtschaft, 1–256 (vervielfältigtes Mskr.).
– 1968: Bodenseeregulierung. Abklärung hydrobiologischer Fragen. – Ergänzungsbericht zum Gutachten 1946 für das Eidgen. Amt f. Wasserwirtschaft, 1–49 sowie Tabellen und Beilagen (vervielfältigtes Mskr.).

LANG, G., 1967: Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 32, 437–574.
– 1968: Vegetationsänderungen am Bodenseeufer in den letzten hundert Jahren. – Schrift. Ver. Gesch. d. Bodensees 86, 295–319.
– 1969: Die Ufervegetation des Bodensees im farbigen Luftbild. – Landeskundl. Luftbildauswertung im mitteleurop. Raum 8, 1–74.
– 1973: Die Vegetation des westlichen Bodenseegebietes. – Pflanzensoziologie, Band 17. Jena.

LANG, G., und *W. DÜTSCHLER*, 1971: Farbluftbilder und Gewässerschutz. – Ciba-Geigy-Zeitschrift 1/2, 41–50.

LAUTERBORN, R., 1910: Die Vegetation des Oberrheins. – Verh. Naturhist.-Med. Ver. Heidelberg N. F. 10, 450–502.

LEHN, H., 1962: Zur Sichttiefenminderung im Bodensee seit 1920. – Int. Rev. Hydrobiol. 47, 523–532.

LOHAMMAR, G., 1938: Wasserchemie und höhere Vegetation Schwedischer Seen. – Symb. Bot. Upsal. 3, 1–252.

MALLAUN, O., 1968: Bodensee-Handbuch. 7. Aufl. – Konstanz, 1–212.

MUCKLE, R., 1942: Beiträge zur Kenntnis der Uferfauna des Bodensees. – Beitr. naturk. Forsch. Oberrheingeb. 7, 5–109.

MUCKLE, R., W. SCHMITZ und *H. AMBÜHL*, 1967: Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensees in den Jahren 1961–1963. – Bericht Nr. 5 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee.

OBERDORFER, E., 1970: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland und die angrenzenden Gebiete. – Stuttgart. 1–987.

PHILIPPI, G., 1968a: Neue Moosfunde aus dem südlichen Rheingebiet zwischen Bodensee und Mannheim (sowie den angrenzenden Gebieten). – Mitt. Bad. Landesver. Naturk. u. Naturschutz N. F. 9, 687–724.
– 1968b: Zur Verbreitung einiger hygrophytischer und hydrophiler Moose im Rheingebiet zwischen Bodensee und Mainz. – Beitr. naturk. Forsch. Südw. Dtl. 27, 61–81.

RUTTNER, F., 1962: Grundriß der Limnologie. 3. Aufl. – Berlin.

SCHMIDT, H., 1927: Beiträge zur Moosflora Badens. – Mitt. Bad. Landesver. Naturk. u. Naturschutz N. F. 2, 108–124.

SCHRÖTER, C., und *O. KIRCHNER*, 1896: Die Vegetation des Bodensees. Teil I. – Schrift. Ver. Gesch. d. Bodensees 25, 1–122 (Beilage).
– 1902: Die Vegetation des Bodensees. Teil II (enthaltend die Characeen, Moose und Gefäßpflanzen). – Schrift. Ver. Gesch. d. Bodensees 31, 1–86 (Beilage).

VOUK, V., 1929: Zur Biologie der Charophyten. – Verh. Int. Ver. Limnol. 4, 634–639.

WACHEK, F., 1958: Biologisch-chemische Untersuchungen des Bodensees unter besonderer Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Fragen. – Münchener Beitr. z. Abwasser-, Fischerei- u. Flußbiologie 4.

WAGNER, G., 1970: Die Zunahme der Belastung des Bodensees. – gwf–wasser/abwasser 111, 485–487.

WAGNER, G., und *R. ZAHNER*, 1964: Die Abwasserbelastung der Uferzone des Bodensees. – Bericht Nr. 2 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 1–30.

Benutzte Karten:

Topographische Karte 1:25 000 Baden-Württemberg. Folgende Blätter:

8120 Stockach
8219 Singen
8220 Überlingen
8221 Mainau
8319 Öhningen
8320 Reichenau
8321 Konstanz
8322 Friedrichshafen
8323 Tettnang
8423 Langenargen
8424 Lindau

Landeskarte der Schweiz 1:25 000. Folgende Blätter:

1033 Steckborn
1034 Kreuzlingen
1054 Weinfelden
1055 Romanshorn
1056 Lindau
1075 Rorschach
1076 St. Margrethen

Originalkarte der Tiefenmessungen vom Bodensee. 1:25 000:

(1) Obersee, ausgeführt im Auftrage der Internationalen Commission der fünf Bodensee-Uferstaaten durch das Eidg. Topographische Bureau. Sondirung v. I. HÖRNLIMANN Ing., 1883, 1885 u. 1889–90.
(2) Ueberlingersee. Sondirung v. Prof. Dr. M. HAID, 1889.
(3) Untersee. Schweizerische und Badische Sondirung. Sondirung, südl. Teil d. Untersees v. P. MANUEL Ing., 1880. Sondirung, nördl. Teil d. Untersees v. Prof. Dr. M. HAID, 1888.

Topographische Karte 1:50 000 Baden-Württemberg. Folgende Blätter:

L 8120 Stockach
L 8318 Singen
L 8320 Konstanz
L 8322 Ravensburg
L 8522 Kreßbronn

Landeskarte der Schweiz 1:50 000. Folgende Blätter:

206 Stein a. Rhein
207 Konstanz
217 Arbon
218 Bregenz

Landeskarte der Schweiz 1:100 000. Blatt:

28 Bodensee

Die Originalunterlagen dieses Berichtes lagern an folgenden Stellen:

Baden-Württemberg:
Landesstelle für Gewässerkunde Karlsruhe und Außenstelle Insel Reichenau
Landessammlungen für Naturkunde Karlsruhe, Botanische Abteilung

Bayern:
Regierung Oberpfalz Regensburg

St. Gallen:
Kantonales Amt für Gewässerschutz St. Gallen

Thurgau:
Thurg. Bodensee-Untersuchungsstelle Romanshorn

Vorarlberg:
Wasserbauamt Bregenz