

Starkwinde im ersten Vierteljahr von 1891 bis 1982 und die Sauerstoffanreicherung im Zürichsee¹

Christer G. Örn, Universität Zürich

In der Umgebung von Zürich hat die Windaktivität in der für die jährliche Sauerstoffanreicherung des Zürichsee-Tiefenwassers massgebenden Periode von Januar bis und mit März im Laufe der letzten 92 Jahre abgenommen. Dies gilt sowohl allgemein, d.h. für alle Winde (Windweg aller Winde > Calmen, oder Windstärke 0), aber vor allem auch bezüglich der für die Belüftung des Zürichsees so wichtigen Starkwinde (Winde mit ≥ 20 km/h, oder Windstärke 4) (Bild 1).

Die Abnahme ist besonders deutlich bei der Windenergie, die vermutlich dem See zugute kommt. Um die Jahrhundertwende wurden häufig Energiesummen > 2 MJ/m² der Seeoberfläche geschätzt (Tabelle 1). Seit Beginn des grossen Untersuchungsprogrammes für den Zürichsee im Jahre 1936 schwankte sie zwischen 0.04 MJ/m² im Jahre 1964 – das schlechteste hypolimnische Sauerstoffjahr – und 1.15 MJ/m² im Jahre 1970 – das beste Sauerstoffjahr. Das zweitschlechteste Sauerstoffjahr bezieht sich auf das Seegfrörnigjahr 1963, als nach Abzug der Starkwinde, die während der Eisbedeckung auftraten («Eiswinde»), dem Zürichsee nur 0.03 MJ/m² zugute kamen. Ähnlich wie im 1964 begann der See also die Vegetationsperiode mit einem wegen der ungenügenden Belüftung vorbelasteten Tiefenwasser (Tabelle 2). Der absteigende Trend der Frühjahrswinde ist vom limnologischen Standpunkt aus biologisch ungünstig. Eine grössere Windwirkung hätte die turbulente Auffrischung des Sees mit Luftsauerstoff begünstigt.

Development of wind conditions in the cold season from 1891 to 1982 and its effect on annual hypolimnetic oxygenation in Lake Zurich

In the sub-alpine Lake Zurich ($A = 65$ km², $z_m = 136$ m, $\bar{z} = 51$ m) annual hypolimnetic reoxygenation begins during autumnal cooling and ends with summer stratification. A stable winter stagnation rarely occurs, so vernal circulation is normally found between January and March/beginning of April. Analysis of hourly wind velocities at the nearby meteorological station SMA Zürich since the year 1891 proved that wind activity in these months has decreased (fig. 1). Strong winds have become rarer. Previous studies have shown that winds ≥ 20 km/h (wind velocity 4) are of particular importance for the wind-related oxygen increase in the hypolimnion of Lake Zurich.

The decrease becomes even more apparent when estimating the wind energy working on the lake surface. Around the turn of the century energy sums totalling > 2 MJ/m² of lake surface were calculated for numerous years (table 1). Since the beginning of the continuous limnological monitoring of Lake Zurich in 1936 they have varied from 0.04 MJ/m² in 1964 – the worst hypolimnetic oxygen year – to 1.15 MJ/m² in 1970 – the best oxygen year for a long time. The second-worst oxygen year occurred in 1963, when the lake was completely ice-covered from 24th February to 28th March. Deducting the winds recorded during the period of ice cover ("ice winds") only 0.03 MJ/m² of wind energy remained to oxygenate the lake. As in 1964, the hypolimnion thus entered summer stratification burdened with a serious oxygen deficiency (table 2). From a limnological point of view the decreasing wind trend is a negative natural phenomenon. More wind action would favour turbulent uptake of atmospheric oxygen in the cold season.

¹ Diese Studie wurde ermöglicht durch den Kredit Nr. 3.760–1.80 des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, was hier bestens verdankt sei. Dank dem Entgegenkommen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA Zürich) wurde die Zusammenstellung der meteorologischen Daten erleichtert. Für kritische Durchsicht des Textes und wertvolle Anregungen bin ich Herrn Prof. Dr. Max Schüepp und Herrn Prof. Dr. Eugen A. Thomas dankbar.

1 Problemstellung

Vorliegende Arbeit ist Teil eines Untersuchungsprogrammes betreffend die Beeinflussung der Sauerstoffverhältnisse nordostschweizerischer Seen durch meteorologische Faktoren. Bereits abgeschlossen sind Studien über den Zürich-Untersee (C. G. Örn, 1980; C. G. Örn, F. Schanz, E. A. Thomas, 1980), den Greifensee (E. A. Thomas, C. G. Örn, 1982), den Zürich-Obersee (C. G. Örn, E. A. Thomas, 1983; C. G. Örn, 1983) und den Lützelsee (C. G. Örn, 1984).

Dabei bestätigte sich die Hypothese von E. Thomas (1976), dass die jahrespezifischen Verhältnisse von Wind und Thermik eine hervorragende Rolle bei der jeweiligen Sauerstoffanreicherung des Tiefenwassers dieser Seen spielen. Mit zunehmender Seetiefe nimmt die Bedeutung des windbedingten Sauerstoffeintrages (Turbulenz) zu, verglichen mit der thermisch bedingten, durch konvektive Kräfte getragenen Anreicherung. Für den tiefen Zürichsee (136 m) sind vor allem die nach Ende der Herbstteilzirkulation (etwa im Dezember/anfangs Januar) auftretenden Winde für das Zustandekommen eines hohen Sauerstoffmaximums wichtig. Im Mittel der Jahre 1936–1982 wurde das jährliche Sauerstoffmaximum im Hypolimnion gegen Ende März gefunden (im Seegröfnijahr 1963 aber schon im Januar, weil danach die Winde dem See wegen der Eisbedeckung nicht zugute kamen).

Die im Laufe der Zürichsee-Untersuchung von C. Örn (1980) festgestellte grosse Varianz der Windaktivität im Winter und Frühjahr liess die Frage nach früheren Verhältnissen aufkommen, vor allem in der Zeit von Januar bis März. Das Interesse galt ausschliesslich Winden ab Windstärke 4 auf der neuen Beaufort-Skala (Winde mit ≥ 20 km/h), weil schwächere Winde die Seeoberfläche ungenügend vergrössern und zu wenig Energie besitzen, um den vom Wasser aufgenommenen atmosphärischen Sauerstoff in die Tiefe zu transportieren.

2 Bearbeitungsgrundlagen

Die Schweizerische Meteorologische Anstalt in Zürich verfügt über eine lückenlose, vieljährige Windregistrierung. Von 1891 bis 1950 wurden die Messungen beim Physikgebäude der ETH durchgeführt, seit 1950 an der Krähbühlstrasse (47° 23' N, 08° 34' E; $h_p = 569.3$ m ü. M.; Südhang).

Die Windverhältnisse z. Z. der drei offiziellen Beobachtungstermine (0730, 1330 und 2130 Uhr MEZ) sind nicht ausreichend für die Erfassung extremer Windverhältnisse. Ausgewertet werden deshalb – in mühseliger Kleinstarbeit – die stündlichen Aufzeichnungen des Anemographen (Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit) vom 1. Januar bis 31. März während 92 Jahren, d. h. während 199 248 Stunden.

Bei der Erfassung der «Starkwinde» wird eine Windperiode erst dann berücksichtigt, wenn drei Stunden ohne Unterbruch eine mittlere stündliche

Windgeschwindigkeit von ≥ 20 km/h auftrat; ein Windstundenwert von 18 oder 19 km/h unterbricht dabei eine schon etablierte Starkwindperiode nicht.

Für die Wahl des Windparameters stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung: Der Windweg, die Quadratsumme der Windgeschwindigkeit (cf. kinetische Energie) und die Windschubspannung. Da zwischen allen drei Grössen eine sehr starke Proportionalität besteht, wird aus praktischen Gründen der Windweg gewählt (Summe der Stundenmittel aller Starkwindperioden). Auf eine Trennung der Winde nach Windlagen wurde verzichtet. Die Auswertung der Winde der Jahre 1901–1960 von F. Mäder (1968) zeigte, dass rund 10% aller stärkeren Winde im Winter und Frühjahr SW- bis NW-Winde waren (Westlage).

Bei den Entwicklungsanalysen wurden folgende Methoden verwendet (aus L. Sachs, 1978): Der Trendtest von Cochran, der Iterationstest, der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart und die F- und t-Tests.

3 Auswertung

3.1 Windweg aller Starkwinde

Im Stabdiagramm vom Bild 1 wird die zeitliche Entwicklung der Starkwinde seit dem Jahr 1891 (Beginn der Aufzeichnung der SMA Zürich) veranschaulicht. Der Mittelwert aller Jahre beträgt 5873 km, der Medianwert 5200 km. Die fünf kleinsten Werte stammen aus den Jahren 1929 (926 km), 1940 (1290 km), 1942 (1206 km), 1964 (413 km) und 1973 (981 km); die grössten aus 1893 (14 289 km), 1906 (13 480 km), 1907 (13 005 km), 1908 (13 480 km) und 1915 (12 009 km). Vom Jahr 1970 abgesehen (7319 km) waren die Windwege seit dem Jahr 1959 unterdurchschnittlich. Der absteigende Trend ist auf dem 0,1%-Niveau gesichert. Verglichen mit früheren Jahren wurde die markanteste ($P < 0.001$) Abnahme des mittleren Windweges von 1923 an gefunden ($\bar{x}_{1891-1922} = 9383$ km, $\bar{x}_{1923-82} = 4001$ km).

3.2 Anzahl und Dauer der Starkwindperioden

Die Zahl der Windperioden von Januar bis und mit März betrug im Mittel aller Jahre 18 Perioden (kleinster Wert: 2 Perioden im Jahre 1964; grösster Wert: 36 Perioden im Jahre 1893; Tabelle 1). Der Trend ist absteigend ($P < 0.001$). Die Abnahme ist vor allem seit 1927 markant ($\bar{x}_{1891-1926} = 24$ Perioden, $\bar{x}_{1927-82} = 13$ Perioden).

Die Dauer der Starkwindperioden betrug im Mittel 197 Stunden (Minimalwert: 18 Stunden im Jahre 1964; Maximalwert: 448 Stunden im Jahre 1893; Tabelle 1). Der Trend ist absteigend ($P < 0.001$). Die Abnahme setzte vornehmlich seit 1917 ein ($\bar{x}_{1891-1916} = 309$ Stunden, $\bar{x}_{1917-82} = 152$ Stunden).

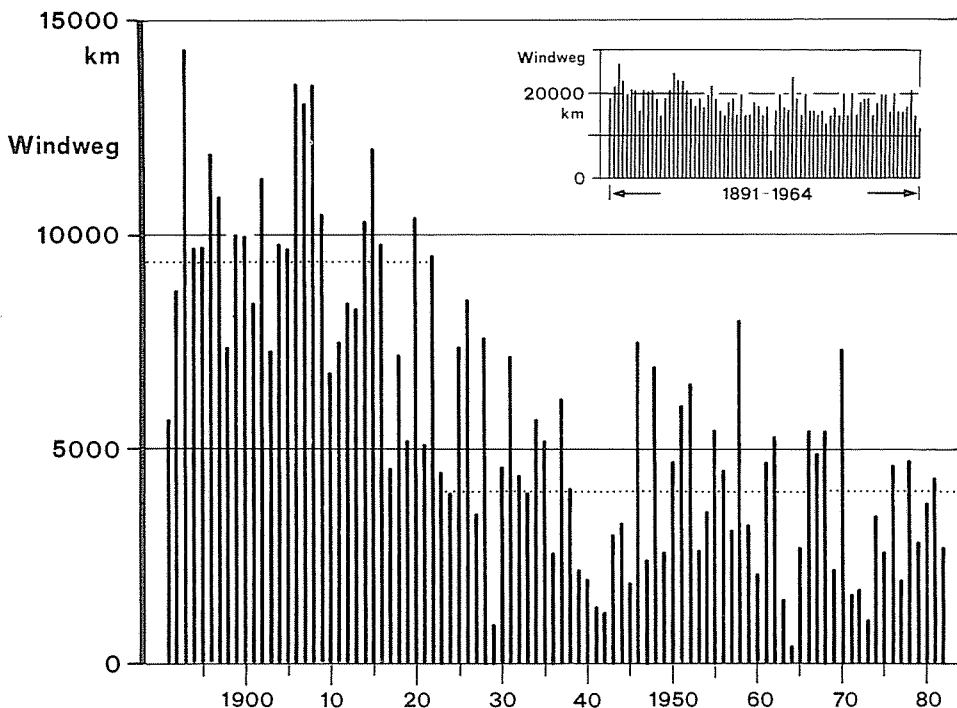


Bild 1 Windweg aller Winde mit ≥ 20 km/h (Windstärke 4) von Januar bis März. Auswertung der Stundenwerte des Anemographen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt Zürich, von 1891 bis 1982. Punktiert: Mittelwerte der Jahre 1891–1922 und 1923–82. Kleine Abb.: Windweg aller Winde $>$ Calmen von Januar bis März der Jahre 1891–1964.

Fig. 1 Wind distance during all wind periods with hourly wind velocities ≥ 20 km/h (wind velocity 4 on the Beaufort scale) from January to March, as recorded at the SMA Zurich meteorological station from 1891 to 1982. Dotted: mean values from 1891–1922 and 1923–82. Inserted: Wind distance of all winds $>$ calm from January to March in the years 1891–1964.

3.3 Windweg aller Winde

Vollständigkeitshalber wurde auch der Windweg aller Winde (d.h. ab Windstärke 0) in den Monaten Januar bis März untersucht, ausgehend von täglichen Windwegsummen der Jahre 1891 bis 1964.

Der Mittelwert der 74 Jahre beträgt 18 122 km Windweg von Januar bis und mit März, der Medianwert 18 081 km. Die fünf kleinsten Werte stammen aus den Jahren 1924 (14 546 km), 1929 (7 483 km), 1942 (12 894 km), 1949 (14 599 km) und 1964 (12 064 km); die fünf grössten aus 1893 (27 086 km), 1894 (22 823 km), 1906 (25 320 km), 1907 (23 056 km) und 1934 (23 648 km) (Bild 1, oben rechts). Der absteigende Trend ist auf dem 0,1%-Niveau gesichert, jedoch nicht so augenfällig wie bei den Starkwinden. Eine abrupte Mittelwertänderung liegt

nicht vor. Die Mittelwerte der 37 ersten und der 37 letzten Jahre unterscheiden sich nicht gross ($\bar{x}_{1891-1927} = 19\,240$ km, $\bar{x}_{1928-64} = 17\,004$ km).

Vom totalen Windweg aller Winde der Jahre 1891–1964 (1341027 km) entfallen knapp 36% (476906 km) auf Starkwinde, d.h. Winde mit ≥ 20 km/h. In den 37 windärmsten Jahren betrug der Faktor 26%, in den 37 windreichsten 43%.

3.4 Extreme Windverhältnisse

Seit 1936, d.h. seit Beginn der regelmässigen Zürichsee-Untersuchung des Kantonalen Laboratoriums Zürich, sind nur selten Starkwindperioden aufgetreten, die bezüglich Intensität und Dauer annähernd mit den grossen Stürmen der Jahrhundertwende vergleichbar sind (Tabelle 1).

Tabelle 1 Extreme Windverhältnisse (Starkwinde) von Januar bis und mit März bei der SMA Zürich von 1891 bis 1982. n_W = Anzahl der erfassten Starkwindperioden, t_W = Dauer der Windperioden, W = Windweg aller Winde mit ≥ 20 km/h, \bar{v} = mittlere Windgeschwindigkeit in den erfassten Windperioden ($= W/t$), \bar{v}_{MAX} = maximaler Windstundenwert, E_W = Windenergie (auf der Zürichsee-Oberfläche).

Table 1 Extreme wind conditions (stronger winds) from January to March at the SMA Zürich from 1891 to 1982. n_W = number of wind periods found, t_W = wind time, W = wind distance during all winds periods with hourly wind velocities ≥ 20 km/h, \bar{v} = mean wind velocity in all wind periods covered ($= W/t$), \bar{v}_{MAX} = maximum hourly wind velocity, E_W = wind energy (at the Lake Zurich surface).

Parameter	Datum	Zeitl. Auftreten Jahr	n_W -	Dauer t_W (h)	Windweg W (km)	\bar{v} (km/h)	\bar{v}_{MAX} (km/h)	E_W (MJ/m ²)	
Maximaler Windweg seit									
1891 im Monat	Januar	1915	9	238	7 527	31.6	65	1.454	
	Februar	1893	10	228	7 786	34.1	69	1.735	
	März	1896	15	255	8 541	33.5	71	1.911	
Maximaler Windweg seit									
1936 im Monat	Januar	1976	4	153	4 563	29.8	45	0.754	
	Februar	1970	12	199	5 912	29.7	48	0.986	
	März	1978	11	105	2 694	25.7	43	0.348	
Windweg von Jan.–März									
	– Minimum aller Jahre (*)	1964	2	18	413	22.9	26	0.042	
	– Maximum aller Jahre	1893	36	448	14 289	31.9	69	2.860	
	– Maximum seit 1936	1958	18	290	7 969	27.5	54	1.153	
Max. Dauer und Windweg									
	– einer Windperiode	06.–10. März	1896	1	99	4 153	41.9	71	1.252
	– do. seit 1936	20.–23. Jan.	1976	1	82	2 470	30.1	44	0.410
	– innert Wochenfrist	08.–14. Jan.	1920	3	150	6 260	41.7	75	1.949
	– do. seit 1936	07.–12. Feb.	1950	4	87	2 771	38.0	43	0.521
Stärkste Windperiode									
		18.–19. Jan.	1910	1	32	1 702	53.2	81	0.787
Max. Windstundenwert									
		06.–07. Jan.	1912	1	30	1 490	49.7	84	0.609
(*) cf. 1963, nach Abzug der Eiswinde:									
			2	13	297	22.8	26	0.030	

Die längste ununterbrochene Starkwindperiode (bezüglich Dauer, 99 Stunden, wie auch Windweg, 4153 km) wurde im März 1896 verzeichnet. Die stärkste Windperiode, mit einer mittleren Geschwindigkeit von 53 km/h und Stundenwerten bis zu 81 km/h (d.h. die Böenspitzen dürften im Orkanbereich – ≥ 118 km/h – gewesen sein), stammt vom 18.–19. Januar 1910. Im Januar 1912 wurde sogar ein Stundenwert von 84 km/h registriert. Der höchste Stundenwert seit 1936 bezieht sich auf den 13. März 1967, mit 59 km/h.

3.5 Windenergie

Eine empirische Beziehung zwischen Windweg und hypolimnischem Sauerstoff birgt den physikalischen Mechanismus zwischen Wind, Windschubspannung, Turbulenz, Strömung und Durchmischungstiefe – und damit Sauerstofftransport – in sich. Die vertikale Strömungskomponente kommt in der Mischtiefe (Ausgleich thermischer und – in zweiter Hand – chemischer Parameter von der Seeoberfläche aus) zum Ausdruck. Die Turbulenz wird von der an der Wasseroberfläche angreifenden Windschubspannung verursacht. Letztere wurde von B. Hellström (1941) aus Wasserstandsbeobachtungen in Seen und im Meer bei Windgeschwindigkeiten von 5 bis 39 m/s (schwacher Wind bis Orkanstärke) berechnet. Die Grössenordnung der dem Zürichsee während einer Windperiode zugeführten Windenergie lässt sich aus der Windschubspannung ableiten (Abkürzungen und Extremwerte cf. Tabelle 1; 1 MJ = 1 Mio. Joule):

(1) $E_W = 0.36 \cdot W \cdot (W/t)^{1.8}$ (W in km, t in Stunden \rightarrow E_W in J/m² der Seeoberfläche)

Die Abnahme der Starkwinde von Januar bis März kommt bei der Windenergie noch deutlicher zum Ausdruck als bei den anderen Windgrössen. Früher wurden häufig Monatssummen > 1 MJ/m² (Maximum: 2.079 MJ/m² im Januar 1920) und Januar-bis-März-Werte > 2 MJ/m² verzeichnet (Maximum: 2.860 MJ/m² im Jahre 1893). Innert kurzen Zeiten kam dem Zürichsee mehr Windenergie zugute als heutzutage im Laufe vieler Jahre.

Im Mittel der Jahre 1936–1982, d.h. seit dem Anfang der Zürichsee-Untersuchung, betrug die Summe der Windenergie im Januar 0.193 MJ/m² (Maximum: 0.759 MJ/m² im Jahre 1976), im Februar 0.192 MJ/m² (Maximum: 0.986 MJ/m² 1970) und im März 0.128 MJ/m² (Maximum: 0.480 MJ/m² 1956). Die Energiesumme von Januar bis März schwankte zwischen 0.042 MJ/m² im Jahre 1964 – das schlechteste hypolimnische Sauerstoffjahr – und 1.154 MJ/m² im Jahre 1970 – das beste Sauerstoffjahr seit Beginn der Seeuntersuchung.

3.6 Verluste an Windenergie wegen Eisbedeckung

Die Verluste an Windenergie wegen totaler Eisbedeckung waren z.T. beträchtlich (Angaben zum Thema Seegfröni findet der Leser u.a. in den

Schriften von F. Vogel, 1845; A. Güller, 1963; A. Lemans, 1964). Seit 1891 wies der Zürichsee in 4 Jahren eine Eisbedeckung von mehr als 2 Wochen Dauer auf: 1891 (21. Januar – ca. 10. März), 1895 (21. Februar – ca. 25. März), 1929 (16. Februar – ca. 30. März) und 1963 (24. Januar – 28. März). In den windreichen Jahren 1891 und 1895 blieb dem See zwischen Januar und März dennoch ≥ 1 MJ/m² Windenergie. Im Jahr 1929 wurden während der Eisbedeckung keine Starkwinde registriert. 1963 versperrte die Eisdecke einem grossen Teil der Starkwinde den Zugang zum Wasser, so dass für die Sauerstoffanreicherung nur eine geschätzte totale Windenergie von 0.030 MJ/m² übrigblieb, der kleinste Januar-bis-März-Wert aller Jahre, mit dem Resultat, dass das Jahr 1963 zum zweitschlechtesten Sauerstoffjahr wurde (nach 1964). Tabelle 2 weist auf die Bedeutung der Starkwinde für die Sauerstoffanreicherung im kalten Halbjahr hin. Der Windfaktor lässt sich bis in den Hundertmetersee verfolgen, besonders in extremen Jahren.

Tabelle 2 Zürichsee 1936–82. Geschätzte Zufuhr von Starkwindenergie von Januar bis März in 10 Jahren mit extremen jährlichen Sauerstoffmaxima unterhalb von 100 m Tiefe («Hundertmetersee»).

Table 2 Lake Zurich 1936–82. Estimated accumulated wind energy from January to March in 10 years with extreme annual oxygen maximums below 100 m depth.

Die 5 schlechtesten Sauerstoffmaxima			Die 5 besten Sauerstoffmaxima		
Jahr	Windenergie E _W (MJ/m ²)	O ₂ -Maximum (mg/l)	Jahr	Windenergie E _W (MJ/m ²)	O ₂ -Maximum (mg/l)
1945	0.304	1.31	1937	0.826	9.00
1960	0.271	2.68	1955	0.819	8.70
1963	0.030	1.75	1968	0.756	8.96
1964	0.042	2.38	1970	1.154	10.55
1965	0.393	2.06	1978	0.579	8.99

4 Schlussbetrachtung

In den letzten 16 bis 17 Jahren haben sich die Sauerstoffverhältnisse des Zürichsees in allen Tiefen markant verbessert: 1968, 1970, 1978, 1981 und 1982 waren die 5 besten Sauerstoffjahre seit langem (seit 1937). Die Erholung ist vor allem auf die Abnahme zivilisatorischer Einflüsse (Sauerstoffzehrung während der Sommerstagnation) zurückzuführen. Da die Windwirkung im Frühjahr der neuesten Zeit verglichen mit frühen Jahren nicht besonders stark gewesen ist (Ausnahme: 1970), interessiert die Frage, zu welchen Höhen wohl die Starkwinde der Jahrhundertwende das hypolimnische Sauerstoffmaximum hätten bringen können.

Mit zunehmendem Sauerstoffgehalt vermindert sich die Bereitschaft des Wassers, bei Belüftung weiteren Sauerstoff aufzunehmen. Der Sauerstoffge-

halt nähert sich asymptotisch – gedämpft – der Sättigungsgrenze (die im Zürichsee-Tiefenwasser bei etwa 12.5 mg/l liegt). Bei kleinem anfänglichen Sauerstoffgehalt ist die Windproportionalität der Zunahme somit grösser als bei grossem Anfangsgehalt. Bei hohen hypolimnischen Sauerstoffwerten, um 10 mg/l, gilt anhand vieler Zürichsee-Jahre angenähert: $O_2 \sim W^{0.1}$. Die Windwegproportionalität der Windenergie wurde aus den windreichen Jahren 1891–1900 geschätzt: $E_w \sim W^{1.1}$. Im Bereich von hohen Sauerstoffgehalten würde somit eine Sauerstoffzunahme von 10%, z. B. von 10 auf 11 mg/l im Mittel für das ganze Hypolimnion, schätzungsweise eine 3fache Zunahme der Windenergiezufuhr erfordern.

Im guten Sauerstoffjahr 1970 (mit einem Jahresmaximum von 10.22 mg/l bei einer Windenergie von 1.154 MJ/m²) hätte der grösste Windenergiewert aller Jahre (2.860 MJ/m² von Januar bis März 1893; Tabelle 1) demnach den mittleren hypolimnischen Sauerstoffgehalt nur auf knapp über 11 mg/l gebracht. Eine Erhöhung des Sauerstoffmaximums bis nahe an die Sättigungsgrenze hätte vermutlich einen von Januar bis und mit März ununterbrochenen Wind der Stärke 5 (frischer Wind) erfordert – oder einen stürmischen Wind von 30tägiger Dauer, d. h. Windintensitäten, die in Mitteleuropa wohl selten verzeichnet worden sind.

Hat die frühjährliche Windaktivität in Zürich wirklich abgenommen? Wenn ja, wäre dies für die Sauerstoffauffrischung des Zürichsee-Tiefenwassers ungünstig. Kräftige Winde, wie sie z. B. im ersten Drittel der Untersuchung in Erscheinung traten, zusammen mit den in den sechziger Jahren durchgeführten Sanierungsmassnahmen durch Abwasserreinigung, hätten wohl rascher den Abbau des Zehrungspotentials im Tiefstwasser und die Wiederherstellung des oligotrophen Seezustandes bewirkt.

Oder waren die Windmessapparate von damals so ungenau, und hat die Überbauung Zürichs in dem Masse zu einer Vergrösserung der Reibung in Bodennähe geführt, dass von einer vorgetäuschten Windabnahme die Rede sein kann? Dass die augenfällige Differenz im Bild 1 bloss auf Messfehler zurückzuführen ist, scheint ungläubwürdig. Der zweiten Vermutung kann entgegengesetzt werden, dass beide Messstationen in Zürich, die alte und die neue, eine erhöhte Standlage aufweisen, auf dem Hang des Adlisberges, mit Aussicht über die Stadt. Die Winde kommen heute vielleicht ungestörter auf den Windmesser zu als beim alten, etwa 80 m tiefer gelegenen Standort.

Die Auffassung, die Abnahme der Windaktivität im ersten Vierteljahr sei echt, wird durch einen Vergleich der Starkwinde bei der Messstation Bern (Universität) – wo der Windstöreffekt seit langem konstant klein gewesen ist – untermauert. In den Jahren 1906–1915 (aus diesen frühen Jahren lagen Auswertungen der Windstreifen vor) wurde in Bern von Januar bis März beträchtlich mehr Wind registriert als in den letzten 10 Jahren des Bestehens dieser Windmessstation (Mittelwerte: $\bar{x}_{1906-15} = 3756$ km Windweg, $\bar{x}_{1969-78} = 770$ km). Ob die windreichen Jahre der Jahrhundertwende die Kulmination von einem Windzyklus von etwa 100jähriger Dauer darstellen?

5 Literatur

- Güller, A. (1963), Meteorologische Betrachtungen zur Zürichseegeförne 1963. Viertelj.schr. natf. Ges. Zürich, 108 (4): 417–430.
- Hellström, B. (1941), Wind effect on lakes and rivers. Ingeniörsvetenskapsakademien, Handlingar (Proceedings) Nr. 158, Stockholm, 191 Seiten.
- Lemans, A. (1964), Die Seegfrörni 1963. Ann. Schweiz. Meteorol. Anst., Jg. 100: 1/13–22.
- Mäder, F. (1968), Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Wetterlagen. Schweiz. Meteorol. Anst., 42 Seiten.
- Örn, C. G. (1980), Die Sauerstoffverhältnisse im Zürichsee (Untersee) von 1937 bis 1975 und ihre Beeinflussung durch meteorologische Faktoren. Viertelj.schr. natf. Ges. Zürich, 125 (4): 259–364.
- Örn, C. G. (1983), Zürich-Obersee 1946–1981: Vergleich der Wärme- und Sauerstoffverhältnisse in den Becken von Bollingen und Altendorf. Gas-Wasser-Abwasser, 63 (11): 693–701.
- Örn, C. G. (1984), Lützelsee 1980: Energie-, Sauerstoff- und Schichtungsverhältnisse im Jahresverlauf. Wasser-Energie-Luft, im Druck.
- Örn, C. G., Schanz, F., Thomas, E. A. (1981), An empirical model relating wind action and hypolimnetic oxygenation during vernal circulation in Lake Zurich from 1950–1979. Verh. Internat. Verein. Limnol., 21: 109–114.
- Örn, C. G., Thomas, E. A. (1983), Bedeutung von Zufluss und Wind auf die Wärme- und Sauerstoffverhältnisse im Zürich-Obersee von 1950 bis 1975. Gas-Wasser-Abwasser, 63 (1): 33–44.
- Sachs, L. (1978), Angewandte Statistik. 5. erw. Aufl., Springer, 552 Seiten.
- Thomas, E. A. (1976), Extreme Sauerstoffminima im Greifensee; Mitwirkung meteorologischer Faktoren. Viertelj.schr. natf. Ges. Zürich, 121: 179–186.
- Thomas, E. A., Örn, C. G. (1982), Eisbedeckung und hypolimnische Sauerstoffanreicherung im Greifensee von 1950 bis 1980. Schweiz. Z. Hydrol., 44 (1): 117–148.
- Vogel, F. (1845), Die alten Chroniken oder Denkwürdigkeiten der Stadt- und Landschaft Zürich, von den ältesten Zeiten bis 1820. Ergänzungsbände Memorabilia Tigurina, Schulthess, Zürich, 873 Seiten.