Poster zu Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990)
Band 20 1991

Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Auswirkung des extremen Sturms vom 28.8.1989 auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Einzugsgebiets "Belauer See" (Schleswig-Holstein)

Rudolf Beinhauer, Georg Hörmann, Jan A. Piotrowski, Gerald Schernewski und Till Spranger

Synopsis

On August 28, 1989, a heavy storm caused devastations and heavy rainfall in Schleswig-Holstein (Northern Germany). Effects on hydrophysical and hydrochemical characteristics of Lake Belau, its outflow and water balance, deposition and litterfall in adjacent terrestrial ecosystems rates are described.

water balance, groundwater flow, outflow characteristics, hydrochemistry, deposition, litterfall

1. Einleitung

Am 28. August 1989 führte ein schwerer Sturm zu erheblichen Verwüstungen und heftigen Regenfällen in Schleswig-Holstein. Ziel dieses Artikels ist die Darstellung der Auswirkungen auf den Belauer See, sein Einzugsgebiet und den Ablauf des Belauer Sees. Das Sturmereignis wurde innerhalb des Projektes "Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette" unter den Aspekten verschiedener Fachdisziplinen ausgewertet (BEINHAUER & KRAUS 1990, HÖRMANN 1990, SCHERNEWSKI & FRÄNZLE 1990 a-c, THEESEN & SCHERNEWSKI 1990).

2. Meteorologische Beschreibung des Ereignisses

Ein Tief über England bewegte sich am 27.8. mit östlicher Bahn in einen Höhentrog hinein. Dieser Trog über Norddeutschland intensivierte sich durch den ehemals tropischen Wirbelsturm Erwin, so daß hochreichende Polarluft über die Nordsee nach Süden geführt wurde. Gleichzeitig wurde dem Tief über Niedersachsen im Laufe des 27.8. Warmluft subtropischen Ursprungs zugeführt. Die zugeführten Luftmassen wiesen bis in die Troposphäre Sättigung auf. Die Kaltluft aus dem Norden (-17 bis -23°C) stieß auf die Warmluft aus dem Süden, erhöhte die thermodynamischen Gegensätze, verschärfte den Druckgradienten über der westlichen Ostsee im Laufe des Abends (27.8.), so daß durch die Hebung der Luftmassen in diesem Tief große Wassermassen durch Kondensation ausfallen mußten. Zudem mußte der Druckgradient in der Nacht zum und am Morgen des 28.8. ausgeglichen werden, der an der Station Kiel-Leuchtturm Windgeschwindigkeiten von 34 m/s (Windstärke Beaufort 12) mit einem Staudruck von 800 Pa erzeugte. Im östlichen Binnenland wurden 24 m/s (Windstärke 10 Beaufort) mit einem Staudruck von 420 Pa gemessen bei einer nordöstlichen Windrichtung. Diese Nordoststurmlage ist untypisch für diesen Raum; die letzte Wetterlage dieser Art wurde vor 100 Jahren registriert. Das Niederschlagszentrum mit 181 mm für die zwei Tage lag 40 km östlich der Bornhöveder Seen, im Untersuchungsgebiet des Projekts fielen 125 mm Niederschlag. Die Abb. 1 zeigt den Sturmverlauf. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich dabei auf die Auswirkungen auf den im Kreis Plön (Schleswig-Holstein), südlich von Kiel gelegenen Belauer See und seine direkte Umgebung.

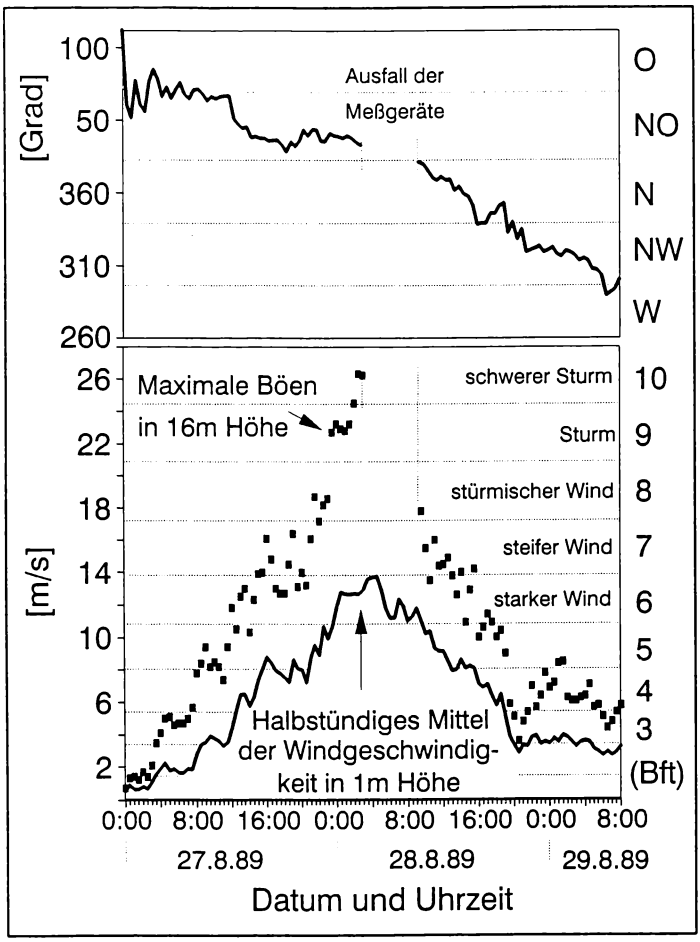

Abb. 1: Windrichtung und -geschwindigkeit des Sturm vom 28.8.1989

3. Auswirkungen der Witterungsereignisse

3.1 Wasserhaushalt

Durch verschiedene Vorregen war der Bodenspeicher noch mit ca. 100 mm gefüllt, dies entspricht der Hälfte der angenommenen Kapazität. Der Seewasserstand war auf dem normalen Niveau, die stromerzeugende Turbine in Perdöl, die den Ablauf des Belauer Sees steuert, wurde von 8-20 h intermittierend angestellt. Der durchschnittliche Zufluß aus dem Grundwasser in der Zeit vom 25.7.-23.8. betrug 0,04 m^3/s, d. h. in zwei Tagen 6,10 mm. Bei einem Niederschlag von 125 mm stieg der Seewasserstand innerhalb von zwei Tagen um 17 cm an. Nimmt man an, daß der Meßfehler mit 15 % genauso groß war wie im Juli, so bleiben 26 mm nicht erklärbarer Zufluß. Die Differenz zwischen Zu- und Abflußmengen beträgt > 20 mm, dieser Wert muß ebenfalls als Zufluß verbucht werden. Hier muß jedoch erwähnt werden, daß der Wasserstandssensor nach dem Niederschlagsereignis teilweise einen Überlauffehler wegen Überschreitung des Meßbereiches anzeigte. Die Differenz von 46 mm stellt deshalb die unterste Grenze dar, da der Abfluß aus dem See unterschätzt wurde. Abb. 2 zeigt die kumulative Wasserbilanz des Belauer Sees. Es wird deutlich, daß die Differenz zwischen Seewasserstand und Niederschlag um ca. 0 h sprunghaft negativ wird und daß der nicht gemessene Zufluß kontinuierlich zunimmt. Der sprunghafte Anstieg

ist dadurch zu erklären, daß der Wasserstand am Meßort durch den starken Wind beeinflußt wurde. Ob der Zufluß durch erhöhten Basisabfluß aus dem Grundwasser oder temporären Oberflächenabfluß und/oder Interflow verursacht wird, kann hier nicht geklärt werden. Da ein Anstieg des Zuflusses aus dem Grundwasser in dieser Größenordnung nicht wahrscheinlich ist, muß von mehr als 40 mm Oberflächenabfluß bzw. Interflow ausgegangen werden. Der normale Durchfluß in der Alten Schwentine im Ablauf Belauer See liegt zwischen 1 und 1,3 m^3/s, er stieg im Verlauf des Niederschlagsereignisses auf Maximalwerte von > 2 m^3/s. Das heißt, daß nach dem Unwetter enorme Fließgeschwindigkeiten auftraten, die u. a. zu einer Querschnittsveränderung hinter der Meßstelle führten, durch die der Wasserstand permanent um 8 cm erhöht wurde. Der genaue Ort der Stauung konnte nicht ermittelt werden, es ist jedoch zu vermuten, daß durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten eine Sandbank aufgeschwemmt wurde.

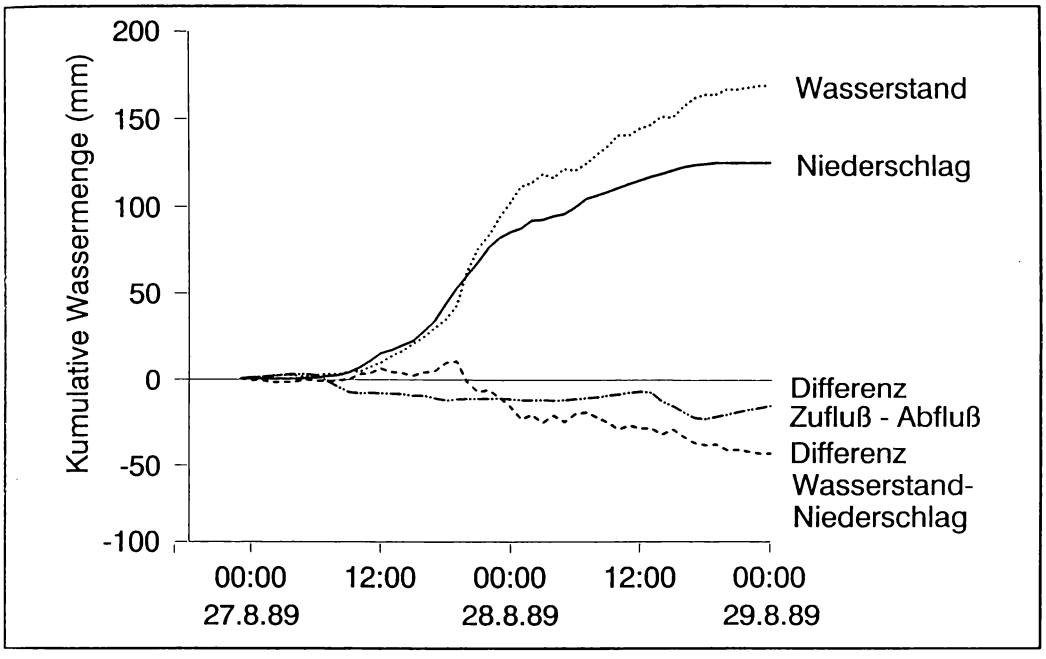

Abb. 2: Kumulative Wasserbilanz des Belauer Sees zwischen dem 27.8. und 29.8.1989

3.2 Grundwasserstände

An allen Grundwassermeßstellen zwischen dem Belauer- und Schierensee hat sich das Starkregenereignis deutlich bemerkbar gemacht. In der Abb. 3 wurden Grundwasserganglinien einiger am Westufer des Belauer Sees gelegener Meßstellen dargestellt. Die Entfernung vom See schwankt zwischen 35 m (D3) und 85 m (M2); genaue Lage der Meßstellen s. PIOTROWSKI (1991). Der Grundwasseranstieg in der Ufernähe des Belauer Sees, gemessen am 29.8.1989, betrug bis zu 35 cm (Meßstelle D4). Auch an den zwischen den beiden Seen zentral gelegenen Meßstellen mit Flurabständen von knapp 20 m und Entfernung vom Vorfluter von bis zu 450 m wurde ein Grundwasseranstieg registriert, allerdings mit einer, durch die mächtige ungesättigte Zone verursachten, Verzögerung. Die einzigen Zeitabschnitte im Jahr 1989, wo eine nennenswerte Erhöhung der Grundwasservorräte im 1. und 2. Grundwasserleiter zu beobachten war, lassen sich fast ausschließlich auf das angesprochene und ein weiteres Regenereignis Ende Juli zurückführen.

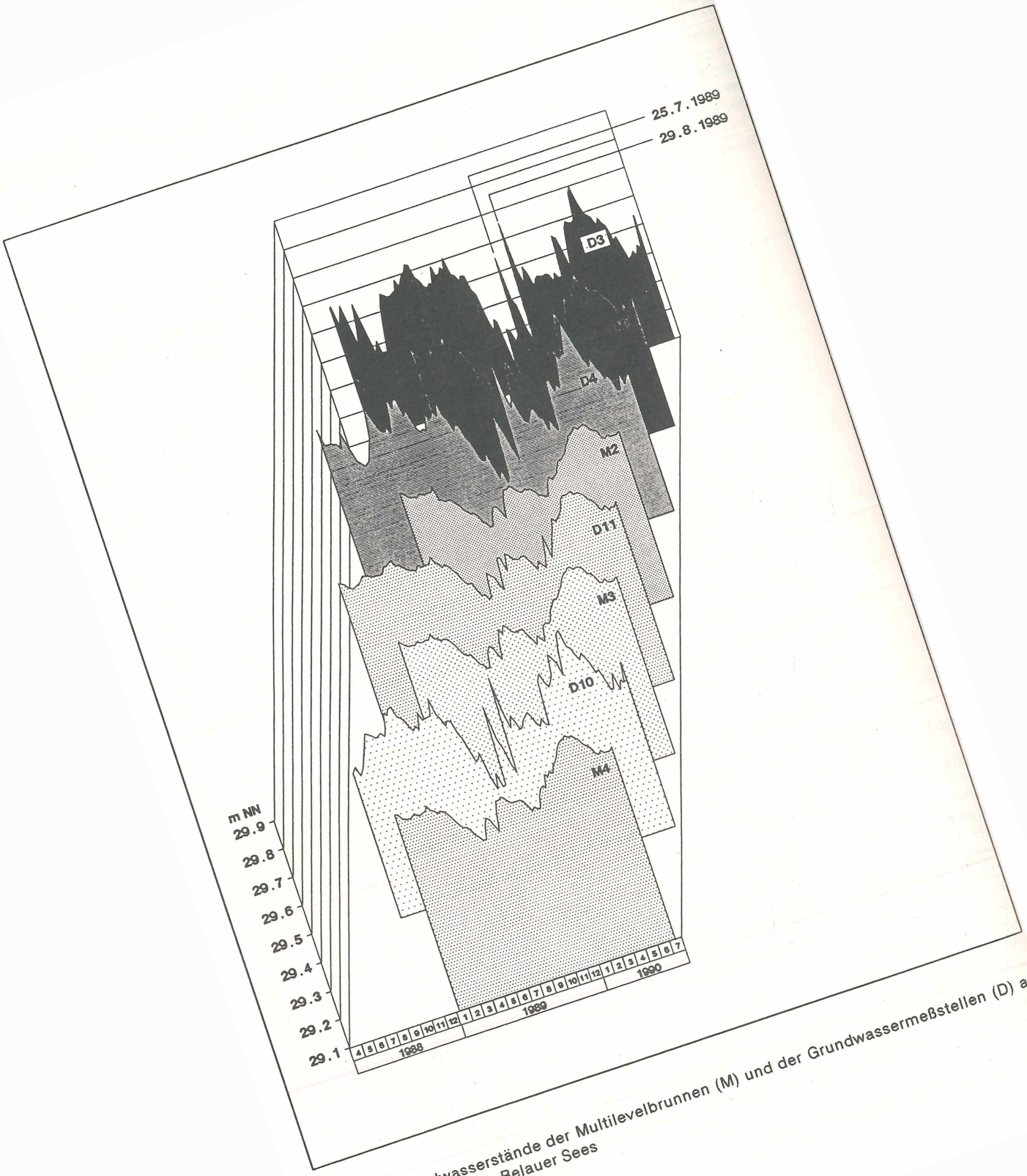

Abb. 3: Grundwasserstände der Multilevelbrunnen (M) und der Grundwassermeßstellen (D) am Westufer des Belauer Sees

3.3 Thermische Situation des Belauer Sees

Im Gegensatz zu den in diesem Bereich häufig auftretenden Herbst- und Winterstürmen besteht im Belauer See während des Sturmereignisses Ende August eine ausgeprägte thermische Schichtung innerhalb der Wassermassen. Die Temperatursprungschicht wird durch den Sturm um etwa 4 m nach unten verschoben und zeigt die Bildung interner Wellen (Seiches) mit einer maximalen Höhe von über 4 m in 12 m Wassertiefe (SCHERNEWSKI & FRÄNZLE 1990 b). Die Seiches sind in Abb. 5 an den Tiefenprofilen des Sauerstoffgehaltes und der elektrischen Leitfähigkeit vom 29.8.89 in 7-9 m Tiefe erkennbar. Abb. 4 zeigt die Temperaturveränderung in unterschiedlichen Wassertiefen zwischen dem 27.8 und dem 29.8, also vor und nach dem Sturm. Während die Wassermassen bis in eine Tiefe von 6 m an Temperatur verloren haben, zeigen sich ab 8 m Tiefe deutliche Erwärmungen. Die höchste Erwärmung findet aufgrund der Einbeziehung dieser Schicht in die turbulente Oberflächenzone in einer Tiefe von 10 m statt. Die darunterliegenden Wassermassen zeigen stark mit der Tiefe abnehmende Temperaturerhöhungen. Selbst in 24 m Tiefe ist noch eine minimale Erwärmung zu verzeichnen. Die Gesamtbilanz der Differenzen beider Temperaturprofile zeigt keine Veränderung. Der Sturm hat somit im gesamten Tiefenprofil weder zu einer merklichen Abkühlung noch zu einer Erwärmung geführt, sondern ausschließlich einen tiefgreifenden vertikalen Wärmeaustausch bewirkt.

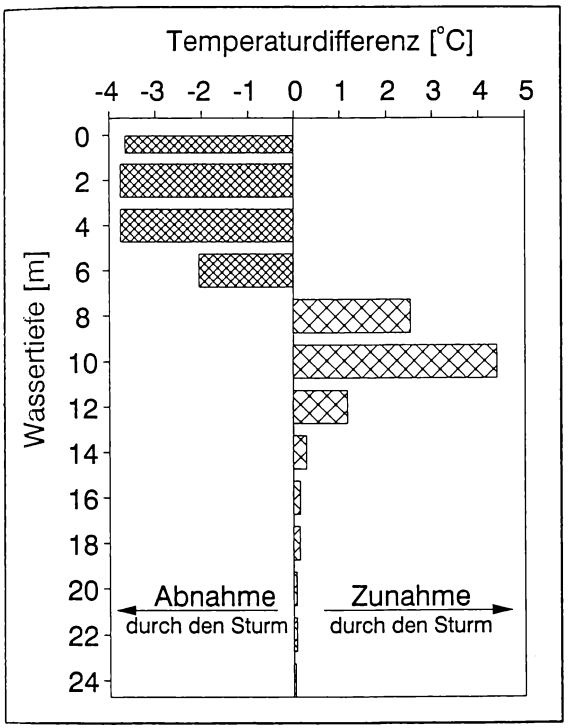

Abb. 4:
Sturmbedingte Änderung der Wassertemperatur: Differenzen der Temperaturtiefenprofile vom 27.8. und 29.8.1989

3.4 Chemisch-physikalische Parameter im Belauer Sees

Die Sauerstoffgehalte (Abb. 5 a) zeigen am 22.8., also eine Woche vor dem Sturmereignis einen für den Sommer typischen Verlauf mit hohen Gehalten im Epilimnion, einem drastischen Abfall der Werte unterhalb von 4 m und einem sauerstofffreien Hypolimnion. Die sturmbedingte Ausweitung des Epilimnions gegenüber dem Hypolinmion und die Mischung der Wassermassen unterschiedlicher Herkunft führen am 29.8. zu einem nahezu gleichmäßigen vertikalen Sauerstoffgehalt oberhalb von 10 m. Die absoluten Gehalte in diesem Bereich sind infolge der Mischung von 11,3 mg/l am 22.8. auf etwa 7 mg/l nach dem Sturm gefallen. An keinem der beiden Termine

ist Sauerstoff unterhalb von 12 m Tiefe nachweisbar. In den beiden Wochen nach dem Sturm bewegen sich die Sauerstoffgehalte deutlich in Richtung des Ausgangszustandes vom 22.8. zurück. Der Sturm hat bei der Sauerstoffsättigung letztendlich nur eine kräftige einmalige Veränderung ohne anhaltenden Bestand bewirkt.
Die Tiefenprofile der elektrischen Leitfähigkeit, die einen Indikator für die Ionenkonzentration im See darstellt, zeigen verglichen mit dem Sauerstoffgehalt eine andere Tendenz (Abb. 5 b). Am 22.8. zeigt das Tiefenprofil mit 280 μS/cm eine relativ geringe Leitfähigkeit, die unterhalb von 4 m, in der Sprungschicht ansteigt und im Hypolimnion Werte von über 400 μS/cm aufweist. Die für sommerliche Bedingungen typische Abnahme der Ionenkonzentration im Epilimnion ist auf Entzugsprozesse durch biotische Aktivität sowie Sedimentations- und Fällungsprozesse im Epilimnion mit teilweiser Rücklösung im Hypolimnion zurückzuführen. Der am 22.8. bestehende ausgeprägte Gradient zwischen Oberflächen- und dem Tiefenwasser wird durch den Sturm nachhaltig verändert. Die Ionenkonzentrationen steigen aufgrund der Einmischung von Tiefenwasser um 40 μS/cm im ausgeweiteten Epilimnion an und verbleiben während der Folgewochen bei etwa 320 μS/cm.

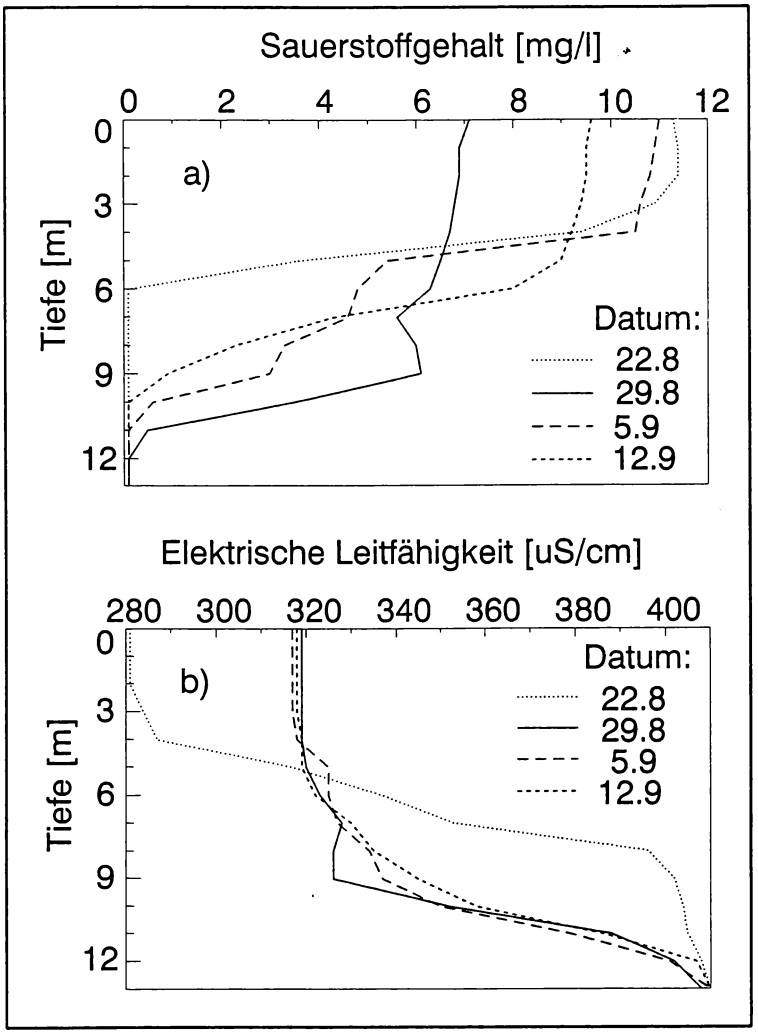

Abb. 5: Tiefenprofile physiko-chemischer Parameter im Belauer See zwischen dem 22.8. und dem 12.9.1989

3.5 Deposition und Streufall

Drei wichtige Folgen für den Stoffhaushalt terrestrischer Ökosysteme waren:
1) Hohe Raten der Deposition insbesondere von meeresbürtigen Elementen in das Untersuchungsgebiet innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums
2) Hohe Raten von Leaching aus oberirdischen Pflanzenteilen
3) Untypisch hohe Streufallraten durch abgerissene Blätter, Äste etc.

1) Der marine Einfluß auf die Zusammensetzung der Starkniederschläge läßt sich durch den hohen relativen Eintrag meeresbürtiger Elemente im Vergleich mit dem von landbürtigen (z. B. Stickstoffkomponenten) belegen (Tab. 1).
2) Der trotz der großen Wassermengen immer noch zu beobachtende Unterschied zwischen dem Chemismus von Freiland- und Bestandesniederschlägen (Buche, Erle) deutet auf hohe Leaching-Raten hin. Der pH wurde von 4,7 (Freiland) auf 5,3 (Buche-Kronentraufe), 5,0 (Erle-Kronentraufe) bzw. 5,6 (Buche-Stammabfluß) erhöht, die Leitfähigkeit von 21 μS/cm auf 35, 36 bzw. 72 μS/cm. Für Kalium wurden 1,61 (Buche) bzw. 0,82 (Erle) kg/ha Leaching berechnet. Dies entspricht 14 % bzw. 7 % des für einen Jahreszeitraum berechneten Kalium-Leachings und 8 % bzw. 5 % des jährlichen Stoffflusses im Bestandesniederschlag. Ähnliches gilt für Mg und Ca sowie für die H^+-Pufferung. Allerdings scheint keine lineare Abhängigkeit zwischen Niederschlagshöhe und Leachingmenge vorzuliegen. Erste Berechnungen deuten an, daß bei Starkniederschlägen relativ weniger Kalium und Magnesium ausgewaschen wird als bei Niederschlägen geringerer Intensität, die zu andauernder Benetzung der Pflanzenoberflächen führen.
3) Durch den Sturm wurden zahlreiche Bäume umgestürzt sowie Blätter, Äste etc. abgerissen. Dies fand statt, bevor die frühherbstliche Rückverlagerung von Nährstoffen und das Seneszenz-Leaching begonnen hatte. Dies belegen Nährstoffkonzentrationen, die relativ zur Herbststreu hoch sind. Die gemessenen Raten sind Minimalwerte, da Stammholz nicht und Grobholz nur unvollständig erfaßt wurde. Tab. 2 zeigt Streufallmengen und damit verbundene N-Flüsse des 4-Wochen-Zeitraumes, der den Sturm einschließt (15.8.-12.9.) und des Jahres 5/89 bis 4/90.

Tab. 1: Deposition verschiedener Stoffe in der Woche vom 22.-29.8. (in kg/ha) und relativ zu den Einträgen dieser Stoffe im Sommer (Mai-Oktober) 1989 (in %)

	Na^+	Mg^{++}	K^+	H^+	Ngesamt
Freilanddep.	1.56 (26.2)	0.14 (19.9)	0.38 (19.6)	0.03 (10.6)	0.99 (9.3)
Buche-BD	3.05 (23.8)	0.40 (15.4)	2.36 (17.3)	0.01 (12.9)	1.90 (11.1)
Erle-BD	1.61 (19.3)	0.28 (9.4)	1.22 (11.6)	0.01 (11.3)	1.88 (10.5)

Tab. 2: Trockenmasse und Stickstoffmenge im Streufall 15.8.-12.9.1989 und im Zeitraum 5/89 bis 4/90 in kg/ha

Standort	TM Sturm	TM Jahr	N Sturm	N Jahr
Buche4	383	5175	5.00	54.40
Erle	1471	7529	22.94	115.60

Literatur

BEINHAUER, R. & C. KRAUS, 1990: Agrarmeteorologische Betrachtungen zu den Niederschlagsereignissen am 23./24. Juli und 27./28. August im Bereich der Bornhöveder Seen. Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

HÖRMANN, G., 1990: Hydrologische Auswirkungen der Niederschlagsereignisse vom 23.-24.7 und 27.-28.8.1989. Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

PIOTROWSKI, J. A., 1991: Quartär- und Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Bornhöveder Seenkette, Schleswig-Holstein. Diss. Univ. Kiel: 194 S.

SCHERNEWSKI, G. & O. FRÄNZLE, 1990 a: Wirkung des Sturms vom 28.8.89 auf den Belauer See, Teil I: Sturmverlauf und Temperaturhaushalt. Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

SCHERNEWSKI, G. & O. FRÄNZLE, 1990 b: Wirkung des Sturms vom 28.8.89 auf den Belauer See, Teil II: Interne Wellen (Seiches). Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

SCHERNEWSKI, G. & O. FRÄNZLE, 1990 c: Wirkung des Sturms vom 28.8.89 auf den Belauer See, Teil III: Vertikale Durchmischungsprozesse und Stoffverlagerung. Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

THEESEN, L. & G. SCHERNEWSKI, 1990: Anwendung mathematischer Verfahren zur Analyse von Seiches im Belauer See. Interne Mitteilungen des Projektzentrums für Ökosystemforschung, Kiel, H. 6: im Druck.

Adressen

Dr. Rudolf Beinhauer
Agrarmeteorologische Beratungs- und Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes
Heinrich-Hertz-Str. 20

W - 2085 Quickborn

Dr. Georg Hörmann
Dr. Jan A. Piotrowski
Dr. Gerald Schernewski
Till Spranger
Projektzentrum für Ökosystemforschung
Universität Kiel
Schauenburger Str. 112

W - 2300 Kiel 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 20_1_1991

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Auswirkung des extremen Sturms vom 28.8.1989 auf den Wasser- und Stoffhaushalt des Einzugsgebiets 'Belauer See* (Schleswig-Holstein) 173-180