

Günter SCHLUNGBAUM, Kristine SCHÖNEFELDT, Mathias KRECH,
Irmgard BOMBA und Adolf LUKAS

5 Jahre Dauerbetrieb der Zentralen Kläranlage Rostock - Auswirkungen auf das Ökosystem der Unterwarnow und auf die Ostsee*

Abstract

Until the recent past surface water in Germany and worldwide had been contaminated by inadequately or even not at all cleared effluent coming from communities and industry. The use of nutrients (P- and N- chemicals) led to the process of rapid eutrophication. Contamination of rivers, lakes and coastal waters by phosphorus and nitrogen has been highly reduced by constructive water pollution control policy on the basis of scientific research and the development of modern technology. A success like this could be achieved by waste water management in Rostock (about 200 000 inhabitants). The Unterwarnow serves as receiving water for the central sewage treatment plant Rostock (ZKA Rostock) and belongs to the estuaries of the Southern Baltic Sea. The modernization of sewage treatment in Rostock until 1995 led to high reduction of pollution in the ecosystem of the Unterwarnow and the Baltic Sea. Since then national and international guidelines for the management of sewage treatment plants have been kept or even more than that. Because of that the water quality of the Unterwarnow could be stabilized.

1 Einleitung

Bis in die jüngste Vergangenheit sind die Oberflächengewässer in Deutschland und der Welt wesentlich durch nicht oder nur unzulänglich gereinigte Abwässer aus den Kommunen und der Industrie belastet worden. Die Einleitung von Pflanzennährstoffen (P- und N-Verbindungen) führte zu dem Prozeß der rasanten Eutrophierung. Algenmassenentwicklungen waren die Folge. Längst hat das Problem der Eutrophierung auch die Küstengewässer und die Meere erreicht (dazu mehr bei SCHLUNGBAUM et al. 2001). Der Schutz der Oberflächengewässer hat heute hohe Priorität. Auf der Basis wissenschaftlicher Ergebnisse und der Entwicklung moderner Technologien konnten mit einer konstruktiven Gewässerschutzpolitik die Einträge von

* Erweiterte Fassung des auf der 11. Europäischen-Arabischen Konferenz für Umweltschutz (24.-26.4.2001 in Rostock) gehaltenen Vortrages

Phosphor und Stickstoff in die Flüsse, in die Seen und in die Küstengewässer bedeutend reduziert werden.



Abb. 1 Die Unterwarnow und die Lage der ZKA in Rostock

Solche Erfolge konnten auch für die weitergehende Abwasserreinigung der Stadt Rostock (heute etwa 200000 Einwohner) erreicht werden. Für die Zentrale Kläranlage Rostock (ZKA Rostock) dient die Unterwarnow (Abb.1) als Vorfluter. Die Unterwarnow gehört zu den Ästuaren an der südlichen Ostsee. Als durch den Prozeß der Eutrophierung gefährdetes Gewässer gehört sie entsprechend EU-Abwasserrichtlinie (1991) zu den ökologisch empfindlichen Gewässern.

Die Modernisierung der ZKA Rostock bis 1995 hat zu einer wesentlichen Lastreduzierung für das Ökosystem der Unterwarnow und damit auch für die Ostsee geführt. Nationale und internationale Vorgaben für den Betrieb von Kläranlagen werden seit dem eingehalten und teilweise auch erheblich unterschritten. Der Abwasserschwerpunkt Rostock („hot spots“) der Helsinki-Kommission (HELCOM) wurde inzwischen von der 1992 insgesamt 132 „hot spots“ umfassenden Liste gestrichen. Die Wasserqualität der Unterwarnow konnte weitgehend auf ein stabiles Niveau gebracht werden.

2 Die Unterwarnow als Ästuar und als Vorfluter

Die Unterwarnow ist mit 11,2 km Länge der brackwassergeprägte Teil der über 150 km langen Warnow. Die Warnow selbst ist ein typischer norddeutscher Flachlandfluß und besitzt ein Gesamteinzugsgebiet von über 3.200 km² (vgl. dazu SCHLUNGBAUM u. SELIG 1996 oder SCHLUNGBAUM u. BÖRNER 1997). Mit nur 12,5 km² Gewässerfläche und einem Gewässervolumen von $49,5 \cdot 10^6$ m³ ist sie das kleinste Ästuar an der südlichen Ostseeküste. Das Verhältnis von Einzugsgebietsfläche zur Gewässerfläche von ca. 260 ist sehr ungünstig gegenüber allen anderen Ästuaren an der Ostseeküste, d.h. die Gewässerqualität der Unterwarnow wird ganz wesentlich durch die Stoffbelastung aus dem Einzugsgebiet geprägt. Der Wasserhaushalt wird im Mittel einer 34jährigen Meßreihe durch eine Flußwasserzufuhr von $533 \cdot 10^6$ m³/a, was einer theoretischen Wassererneuerung von ca. 11 mal/a entspricht, geprägt. Demgegenüber steht ein Ostseewassereinstrom von $923 \cdot 10^6$ m³/a (entspricht einer Wassererneuerung von ca. 19 mal/a). Insgesamt erfolgt eine Wassererneuerung in Höhe von über 30 mal/a. Der mittlere Ausstromüberschuß beträgt $389 \cdot 10^6$ m³/a. Niederschlag und Verdunstung spielen wegen der kleinen Gewässerfläche für die Hydrologie der Unterwarnow keine größere Rolle. Diese Wasser-

haushaltsbedingungen zeigen in allen Parametern große Amplituden und besitzen keine Periodizität (Tab. 1).

Tabelle 1 Wasserhaushalt und Salzverhältnisse in der Unterwarnow

	Wasserhaushaltsbilanzen 1966 – 1999 [in $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$]			Salzverhältnisse [in PSU]	
	Flußwasser	Ostseewasser-einstrom	Ausstrom zur Ostsee	ostseeferner Teil	ostseenahe Teil
Mittel	533	922	1454	5	11,3
Min.	235 (1989)	688 (1982)	1223 (1998)	0,1	5
Max.	915 (1981)	1157 (1996)	1691 (1981)	14	18

Diese Wasserhaushaltsbedingungen führen zu ständig wechselnden Salzgehaltsabstufungen, die vom oligohalinen / β -mesohalinen Verhältnissen bis zu α -mesohalinen / polyhalinen Werten reichen (SCHLUNGBAUM u. BAUDLER 2001). In unregelmäßiger Folge treten deutliche Salzgehaltsschichtungen auf, die wegen der heutigen Tiefenverhältnisse bis in den innersten Teil der Unterwarnow reichen. Früher (bis 1872) hatte die Warnow nur eine Tiefe von 5m, heute liegen aufgrund des Ausbaus der Hafenwirtschaft im Bereich des Seehafens und der Ostseeverbindung Tiefen bis zu 14,5 m vor (SCHÖNEFELDT 2001). Dadurch kann Ostseewasser mit Salzgehalten von 17 bis 18 PSU (Maximalwerte bis 19 PSU) bis in die inneren Teile der Unterwarnow vordringen. Dieses Salzwasser wird durch das aus der Oberwarnow kommende Süßwasser mit einer salzärmeren Oberflächenschicht, die in Richtung Ostsee abnimmt, überschichtet.

Diese hydromorphologischen Bedingungen und die Wirkungen des relativ großen Einzugsgebietes geben der Unterwarnow bereits eine naturgegebene Neigung zu einer höheren Gewässertrophie (vgl. SCHLUNGBAUM u. KRÜGER 2000 bzw. SCHÖNEFELDT 2001). Diese liegt bei Einstromverhältnissen im ostseenahe Teil auf der Stufe der Mesotrophie bis zur schwachen Eutrophie und bei Ausstromverhältnissen werden dort eutrophe bis polytrophe Verhältnisse wirksam. Der ostseeferne Teil besitzt polytrophe bis hypertrophe Zustände. Insgesamt ist die Unterwarnow als hoch eutrophes Gewässer einzuschätzen.

Die ZKA Rostock hat ihre Lage im Stadtteil Rostock-Bramow, also in einem bereits durch die naturgegebenen Faktoren höher belasteten Teil des Ökosystems (Abb. 1).

3 Die Zentrale Kläranlage Rostock und ihre Entwicklung zum heutigen Leistungsvermögen

Für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung der Stadt Rostock und ihrem Umland besteht ein Nebenschluß zum Warnowhauptabfluß von der Oberwarnow zur Unterwarnow. Zur Trinkwasseraufbereitung werden zur Zeit ca. $12,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ aus der Oberwarnow (oberhalb des Mühlendammwehrs/der Schleuse) als Rohwasser entnommen. Zusammen mit den Abflüssen aus der Mischkanalisation fließen jährlich ca. $15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ aufbereitetes Abwasser in die Unterwarnow zurück. Durch den Bau von zwei modernen biologischen Stufen konnte die Belastung der Unterwarnow aus dem kommunalen Bereich wesentlich reduziert werden. Dafür ist eine Verfahrenskombination von Belebungsstufe mit biologischer P-Elimination und einer aufwärts durchströmten zweistufigen Biofiltration (BIOFOR = BIOlogical Fixedfilm Oxygen Reactor) in der Anwendung. Die Stoffrückhaltung in der Kläranlage kann heute mit hoher Qualität im ganzjährigen Betrieb garantiert werden. Im gleichen Maße treten heute geringere Belastungen des Vorfluters auf (Tab. 2). Auffallend ist die große Stabilität der Ablaufwerte auf niedrigem Niveau seit der Modernisierung.

Tabelle 2 Stoffrückhaltung in der Kläranlage Rostock im Zeitraum vor der Modernisierung (1992) bis nach der Modernisierung (ab 1996) sowie die Stoffeinträge in die Unterwarnow

	Jahr	CSB		BSB ₅		P _{Ges.}		N _{anorg.}		N _{Ges.}	
		t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%
Stoffrückhaltung	1992	2.570	25,6	1.364	28,9	20	14,9	40	5,2	144	13,1
	1996	11.396	95,1	3.941	99,2	134	97,1	499	75,0	865	81,3
	1997	10.476	95,0	4.233	99,0	136	97,7	498	72,5	763	78,3
	1998	11.829	95,2	5.023	99,0	156	98,4	507	75,6	824	80,6
	1999	15.331	96,9	5.965	99,1	194	97,8	557	77,2	934	82,3
Ablauf in die Unterwarnow	1992	7.570	74,6	3.096	71,1	117	85,1	774	94,8	958	86,9
	1996	605	4,9	59	1,6	4,7	2,9	166	25,0	194	18,6
	1997	560	5,0	51	0,9	3,3	2,4	189	27,4	211	21,7
	1998	557	4,8	51	0,9	2,6	1,6	183	24,4	211	19,4
	1999	497	3,1	48	0,8	4,4	2,2	165	22,8	204	17,7
		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
	1992	410		168		6		40		ca. 50	
	1996	43		5		0,36		11		13	
	1997	37		3		0,22		13		15	
	1998	34		3		0,18		11		13	
	1999	34		3		0,30		11		13	

4 Die ZKA Rostock im Spiegel nationaler und internationaler Vorgaben

Für den Betrieb der Kläranlage Rostock gelten behördliche Überwachungswerte, wobei nach der Modernisierung ab dem 1.8.1996 neue Grenzwerte festgelegt wurden. Aus internationaler Sicht sind heute die Vorgaben aus der Helsinki-Konvention zum Schutz der Ostsee vor Verunreinigungen (HELCOM 9|2 (1988)) und aus der EU-Abwasserrichtlinie (EU-Abwasser-R., 1991) verbindlich. Während für die behördlichen Überwachungswerte eindeutige Konzentrationen für die Kläranlagenabläufe festgelegt wurden, gelten bei der HELCOM-Empfehlung teilweise auch prozentuale Reduzierungen für die Höhen der Abläufe und die EU-Abwasser-R. läßt beide Möglichkeiten zu (Tab. 3).

Tabelle 3 Verbindliche Vorgaben für den Betrieb der Zentralen Kläranlage Rostock (ausgewählte Kriterien) – Jahresmittelwerte

	Überwachungswerte für die ZKA Rostock		HELCOM 9 2 (1988) > 10.000 EW		EU-Abwasserrichtlinie (1991) 100.000 EW (empfindliche Gebiete)	
	bis 31.7.1996	ab 1.8.1996	einzuhalten ab 1998		einzuhalten ab 1999	
	mg/l	mg/l	mg/l	% Reduzierung	mg/l	% Reduzierung
CSB	310 ^{*)}	< 75	-	–	< 125	75
BSB ₅	–	< 15	< 15	> 90	< 25	70 – 90
P _{Ges.}	–	< 1	< 1,5	–	< 1	80
N _{NH4}	–	< 10	–	–	–	–
N _{anorg.}	65	< 18	–	–	–	–
N _{Ges.}	–	–	< 8	> 75	< 10	70 – 80

^{*)} Konzentration oder Lastreduzierung

Die einzelnen verbindlichen Vorgaben sind nicht einheitlich. Werden die Angaben in Tab. 2 zugeordnet, ergeben sich bei folgenden Schlußfolgerungen:

- Die N-Verbindungen pendeln um die Vorgabewerte, wenn die Ablaufkonzentrationen betrachtet werden. Die Vorgaben als prozentuale N-Lastreduzierungen nach HELCOM und der EU-Abwasserrichtlinie (empfindliche Gebiete) werden immer erreicht.
- Die in Tab. 2 angegebenen Werte für 1992 zeigen auch, daß die Vorgaben der jetzt gültigen Vorschriften nicht erreicht wurden.

- Ab 1996 werden die Vorgaben für die Kriterien CSB, BSB₅ und P_{Ges.} wesentlich unterschritten.

Mit der Tab. 4 werden diese Feststellungen nach Kriterien und Jahren geordnet für die einzelnen Verbindlichkeiten zusammengefaßt.

Tabelle 4 Erfüllung der Vorgaben durch die ZKA Rostock

(1) Überwachungswerte für die ZKA Rostock

(2) HELCOM (3) EU-Abwasserrichtlinie

+ Vorgaben werden erfüllt

++ Vorgaben werden wesentlich unterboten (= > 50 % der Vorgaben)

- Vorgaben werden nicht erfüllt

Leerfeld keine Vorgaben

		CSB			BSB ₅			P _{Ges.}			N _{anorg.}			N _{Ges.}		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1992	mg/l	+									+					
	%	+														
1996	mg/l	+		++	++	++	++	++	++	++	+...++			-	-	
	%			++		++	++			++				+	+	
1997	mg/l	+		++	++	++	++	++	++	++	+...++			-	-	
	%			++		++	++			++				+	+	
1998	mg/l	++		++	++	++	++	++	++	++	+...++			-	-	
	%			++		++	++			++				+	+	
1999	mg/l	++		++	++	++	++	++	++	++	+...++			-	-	
	%			++		++	++			++				+	+	

Es kann heute davon ausgegangen werden, daß mit der für den Betrieb der ZKA Rostock angewendeten Technologie alle zu beachtenden Vorgaben – sowohl die anlagenspezifischen Überwachungswerte als auch die aus den internationalen Festlegungen abzuleitenden zulässigen Einträge für die Unterwarnow – eingehalten und zum größten Teil wesentlich unterboten werden. Entscheidend für den Gewässerschutz bleibt aber die Frage nach dem Anteil der Kläranlagenemission für die Gesamtbelastung der Unterwarnow. Diese Analyse wird in Kap. 5 dieser Arbeit vorgenommen.

5 Die Wirkung der ZKA Rostock auf den Nährstoffhaushalt der Unterwarnow

Charakteristisch für jedes Ästuar ist, daß in Richtung zum vorgelagerten Meer der Salzgehalt ansteigt und umgekehrt die Nährstoffkonzentrationen sinken. Dafür verantwortlich ist unabhängig vom Ausgangsniveau einerseits die verstärkte Vermischung der Wasserkörper (Verdünnungseffekt) und andererseits spricht für die Nährstoffverhältnisse das Auftreten verschiedener Nährstofftransformationen im

Ökosystem. Dazu gehören u.a. der Nährstoffverbrauch durch die Photosynthese, die Sedimentation und im Falle des Stickstoffs noch unterschiedlich wirksam werdende Denitrifikationsleistungen. Überlagert wird diese Situation durch Prozesse sehr unterschiedlicher Nährstofffreisetzungen durch Mineralisationsprozesse. Die Nährstoffentwicklung bis 1999 kann in Form der Mittel- und Maximalwerte mit den Angaben in Tab. 5 beschrieben werden.

Tabelle 5 Entwicklung der Nährstoffverhältnisse in der Unterwarnow bis 1999 (Oberflächenwasser)
Mittel- und Maximalwerte in $\mu\text{mol/l}$, bei der Klassifizierung wird der Maximalwert berücksichtigt
Quellen: Gewässergüteberichte Meckl.-Vorp. bis 1999
UW 2: Rostock-Kabutzenhof UW 4: Warnemünde-Werft
UW 3: Rostock-Marienehe UW 5: Warnemünde-Mole

Mittelwerte				
Jahr	UW 2	UW 3	UW 4	UW 5

a) o-Phosphat

1980-1995	4,62	6,17	3,99	1,68
1996	1,19	0,98	0,81	0,34
1997	1,32	1,02	0,73	0,29
1998	0,93	0,61	0,49	0,33
1999	1,06	0,71	0,56	0,34

b) Ges.-Phosphor

1979-1995	8,58	12,75	8,34	3,92
1996	3,88	3,07	1,92	0,86
1997	4,34	2,81	1,56	0,63
1998	3,61	3,01	1,43	0,75
1999	4,68	2,83	1,47	0,86

c) Nitratstickstoff

1977-1995	90,4	71,1	53,3	27,0
1996	50,7	41,9	19,3	5,3
1997	61,8	44,2	32,7	11,9
1998	102,2	87,2	58,5	24,8
1999	106,5	78,2	43,5	20,6

d) Ges. anorganischer Stickstoff

1977-1995	127,9	120,6	85,2	40,7
1996	63,3	52,6	26,8	8,7
1997	70,2	51,6	39,8	15,0
1998	112,8	96,0	65,6	28,5
1999	116,4	85,2	49,0	24,0

e) Ges.-Stickstoff

1980-1995	209,7	237,8	164,6	93,8
1996	99,6	85,5	49,9	24,1
1997	121,6	97,7	69,1	35,7
1998	164,5	145,5	97,9	49,4
1999	174,5	130,3	79,3	45,2

Maximalwerte				
Jahr	UW 2	UW 3	UW 4	UW 5

1980-1995	26,19	34,00	12,26	6,76
1996	1,98	2,28	1,70	0,97
1997	4,79	2,91	1,71	0,68
1998	2,22	1,47	1,27	1,02
1999	2,30	1,54	1,12	0,80

1979-1995	32,54	40,00	43,80	26,90
1996	5,29	4,76	2,65	1,51
1997	15,30	6,42	2,93	0,99
1998	7,08	9,06	2,75	1,56
1999	15,60	4,52	2,49	1,52

1977-1995	561,2	442,2	394,1	251,1
1996	142,0	130,0	49,6	16,4
1997	200,0	116,0	105,0	49,2
1998	380,0	305,0	215,0	114,0
1999	340,0	270,0	186,0	72,2

1977-1995	635,2	593,8	538,0	280,3
1996	174,3	161,9	69,0	6,4 (?)
1997	217,5	130,7	120,1	58,6
1998	390,1	314,3	219,6	122,0
1999	350,9	280,2	196,9	81,0

1980-1995	516,3	914,1	517,3	290,5
1996	204,0	191,0	90,9	43,3
1997	252,0	162,0	142,0	77,0
1998	455,0	376,0	269,0	155,0
1999	403,0	331,0	238,0	109,0

Die in Tab. 5 aufgeführten Werte lassen sich als Teilanteile der Kriterien für die Gesamtklassifizierung verwenden (Tab. 6b). Im Vergleich dazu ist in Tab. 6c die Gesamtklassifizierung der Unterwarnow für den Zeitraum 1990 bis 1999 nach der Klassifizierungsgrundlage, wie sich mit der Landesrichtlinie Mecklenburg-Vorpommern vorgegeben ist, aufgeführt. Zusätzlich enthält die Tab. 6a die Klassifizierungsgrundlage für die Merkmalsgruppe Nährstoffverhältnisse entsprechend Landesrichtlinie.

Tabelle 6 Klassifikation der Gewässerbeschaffenheit der Unterwarnow nach der Landesrichtlinie für Mecklenburg-Vorpommern

a) Teil Nährstoffkriterien der Landesrichtlinie (Klassifikationsabgrenzungen)

Merkmalsgruppe Nährstoffverhältnisse	Klasse 1 oligotroph (Ostseeverhältnisse)	Klasse 2 mesotroph	Klasse 3 eutroph	Klasse 4 stark eutroph	Klasse 5 polytroph	Klasse 6 hyper- troph
• o-PO ₄ -P μmol/l	≤ 0,5	≤ 1,5	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10
• Ges.-P μmol/l	≤ 1	≤ 3	≤ 6	≤ 10	≤ 20	> 20
• anorg. N μmol/l	≤ 10	≤ 30	≤ 60	≤ 100	≤ 200	> 200

b) Beitrag der Nährstoffverhältnisse für die Gesamtbewertung der Unterwarnow

- Werte nach Tab. 5 (der schlechteste Jahreswert zählt)

		UW 2	UW 3	UW 4	UW 5
o-PO ₄ -P	1980 – 1995	6	6	6	5
	1996	3	3	3	2
	1997	4	3	3	2
	1998	3	2 (3)	2	2
	1999	3	3 (2)	2	2
Ges.-P	1979 – 1995	6	6	6	6
	1996	3	3	2	2
	1997	5	4 (3)	2 (3)	1 (2)
	1998	4	4	2	2
	1999	5	3	2	2
anorg. N	1977 – 1995	6	6	6	6
	1996	5	5	4	-
	1997	6	5	5	2 (3)
	1998	6	6	6	5
	1999	6	6	5	4

- c) Gesamtbewertung der Unterwarnow nach der Landesrichtlinie (Nährstoffverhältnisse, Biologische Produktionsverhältnisse und Sauerstoffverhältnisse / organische Belastung)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
UW 2	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5
UW 3	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
UW 4	4	5	4	4	4	4	3	3	3	3
UW 5	3	4	3	4	3	3	3	2	3	3

Mit der Darstellung in Tab. 6c kann die Entwicklung der Unterwarnow an den Monitoringpunkten zwischen 1990 und 1999 verfolgt werden. Auch hier zeigt sich, wie folgend unter 5a noch für die Einzelkriterien aufgezeigt wird, für den Meßpunkt UW 3 ab 1995/1996 eine Verbesserung um eine Klassifikationsstufe.

Die Bewertung der Wirkung der ZKA Rostock auf den Nährstoffhaushalt der Unterwarnow kann durch zwei Möglichkeiten bestimmt werden:

- Aufzeigen der Beschaffenheitsveränderungen in der Unterwarnow, die in Nähe Rostock-Bramow am Kläranlagenablauf registriert werden,
- Bilanzierung der Nährstoffeinträge in die Unterwarnow durch eine Berücksichtigung der Haupteintragspfade.

Zu a) Die Tab. 5 zeigt eindeutig starke Unterschiedlichkeiten in den Nährstoffkonzentrationen in der Unterwarnow im Vorfeld der ZKA Rostock.. Der Kläranlagenauflauf befindet sich zwischen den Monitoringstationen des LUNG UW 2 und UW 3, also unterhalb der Meßstelle Rostock-Kabutzenhof und oberhalb der Meßstelle Rostock-Marienehe.

Für den Zeitraum bis 1995 wurden für alle Kriterien in Tab. 5 – bis auf Nitratstickstoff – zwischen UW 2 und UW 3 deutliche Anstiege der Konzentrationen ermittelt. Erst danach verringerten sich die Konzentrationen in Richtung Ostsee, wie sie gewässertypisch zu erwarten sind. Die Ausnahmestellung des Nitratstickstoffs liegt darin begründet, daß im Zeitraum bis 1995 der anorganische Stickstoffzulauf zum größten Teil aus Ammoniumstickstoff bestand und die Sauerstoffverhältnisse im Vergleich Unterwarnow keine ausreichende Nitrifikation zuließen.

Nach 1995 war diese Situation am Meßpunkt UW 3 nicht mehr registrierbar. Bereits auf der Fließstrecke von UW 2 nach UW 3 traten unterschiedlich groß-Reduzierungen der Mittelwerte auf. Die wesentlich verringerten Nährstoffeinträge aus der ZKA Rostock (Tab. 2) und die verbesserten Sauerstoffverhältnisse im Vorfluter zeichnen hierfür verantwortlich. Dieser Abbau der Nährstoffkonzentrationen setzt sich dann auf der weiteren Fließstrecke bis Warnemünde (UW 5) kontinuierlich fort. Die dennoch stärkeren Schwankungen im Vergleich der einzelnen Jahre sind eindeutig den stark variierenden jährlichen Süßwasserzuflüssen aus dem Einzugsgebiet zuzuschreiben.

Zu b) Die Gesamtnährstoffbelastung der Unterwarnow ergibt sich als Summe aus den Einträgen. Dazu gehören

- die Frachten aus der Oberwarnow, d.h. in dieser Immissionsgröße sind alle punktuellen und diffusen Einträge aus dem 3.043 km² großen Einzugsgebiet enthalten. Das Gesamtwarnoweinzugsgebiet beträgt 3.270 km². Es werden also mit der Oberwarnow ca. 93 % aller Immissionen aus der Warnow-Landschaft berücksichtigt.
- Die Abläufe aus der ZKA Rostock, vgl. Tab. 2.
- Die Einträge aus den Niederschlägen, also der trockenen und nassen Depositionen. Wegen der äußerst geringen Gewässerfläche von 12,5 km² für die Unterwarnow betragen diese Einträge nur 0,5 t P/a bzw. 17 t N/a und liegen damit in der Größenordnung von weit unter 1 % bzw. Bei ca. 1 % der Gesamtnährstoffbelastung. Für die weitere Diskussion bleiben diese Werte unberücksichtigt.

Mit der Tab. 7 wird die Nährstoffbilanz der Unterwarnow unter Berücksichtigung der Haupteintragspfade für die Zeiträume vor und nach der Modernisierung der Zentralen Kläranlage Rostock wiedergegeben.

Tabelle 7 Vergleich der Entwicklung der Nährstoffbelastung vor und nach der Modernisierung der Kläranlage mit dem Einzugsgebiet der Oberwarnow
- aus: SCHLUNGBAUM u. KRÜGER (2000) bzw. SCHÖNEFELDT (2001)

	ges. P [t/a]		ges. N [t/a]	
	1991/1992	nach 1996 bzw. 1999	1991/1992	nach 1996 bzw. 1999
Ablauf von der Kläranlage in die Unterwarnow	135	4,5	958	211
Frachten aus der Oberwarnow	77	58	1200	1900
Gesamtbelastung	212	62,5	2160	2111
% Anteil der Kläranlage an der Gesamtbelastung	64	7,2	44	10
% Anteil der Oberwarnow an der Gesamtbelastung	36	92,8	56	90

Die wesentlich verbesserte Rückhaltung von Nährstoffen durch die modernisierte Technologie und auch die veränderten Nährstofffrachten aus dem Einzugsgebiet haben zu einer wesentlichen Verschiebung der Nährstoffquellen im Verhältnis zueinander geführt. Die Abb. 2 zeigt diese Situation im Vergleich der untersuchten Zeiträume und der verschiedenen Haupteintragspfade. Mit der Abb. 2 werden die Einträge für die Nährstoffe Phosphor und

Stickstoff bezüglich der Hauptquellen und der zu vergleichenden Zeiträumen graphisch dargestellt:

- **Phosphorbelastung:** Gegenüber dem Zeitraum vor der Modernisierung der Kläranlage ist die Gesamtbelastung der Unterwarnow auf ca. 30 % (von 212 t/a auf 62,5 t/a) gesunken. Vor der Modernisierung entfielen 64 % auf die Belastung aus der Kläranlage, danach waren/sind es mit 4,5 t/a noch 7,2 % der Gesamtbelastung. Die Quellen der P-Belastung haben sich eindeutig auf das Einzugsgebiet verschoben. Von hier kommen heute mindestens 12 x mehr P-Belastungen als aus der ZKA Rostock.

- **Stickstoffbelastung:** Die Gesamt-N-Belastung für die Unterwarnow hat sich seit dem Zeitraum vor der Modernisierung nur unwesentlich verändert, sie liegt bei ca. 2.100 t N/a. Die wesentlich vergrößerte N-Rückhaltung in der Kläranlage hat zu einer Senkung der N-Einläufe in die Unterwarnow von 958 t/a auf 211 t/a geführt. Das ist eine Reduzierung um ca. 80 %. Diese Erhöhung des Leistungsvermögens der Kläranlage wird nahezu durch einen erhöhten Abfluß aus dem Einzugsgebiet ausgeglichen. Zur Zeit übersteigt die N-Belastung aus dem Einzugsgebiet die Belastung aus der Kläranlage etwa um das 9-fache.

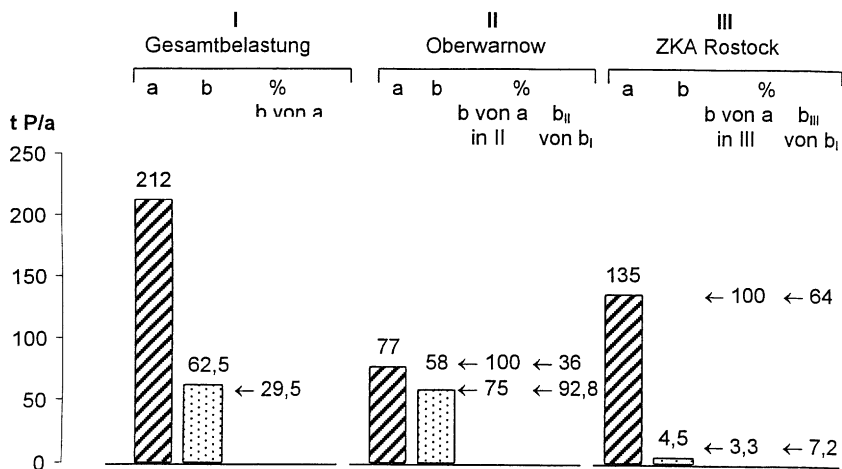
Unter dem Aspekt, daß Phosphor die Steuergröße in der Ökosystemfunktion ist und bleibt, stellt sich die Frage, kann die Gewässerbeschaffenheit überhaupt noch und wenn durch die Regulierung welcher Quellen verbessert werden. Aus der Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete in Deutschland durch BEHRENDT et al. (1999) kann die folgende Verteilung der P-Eintragspfade berechnet werden (Tab. 8):

Tabelle 8 Verteilung der Gesamt-P-Belastung der Unterwarnow auf die Eintragspfade im Einzugsgebiet der Oberwarnow und der ZKA Rostock

- Werte Oberwarnow nach BEHRENDT et al. (1999)

Eintragspfad	t P/a	%
Einzugsgebiet		
• Grundwasser	14,5	23,2
• Dränagen	4,1	6,6
• Erosion	20,9	33,4
• Abschwemmungen	3,5	5,6
• urbane Flächen	4,6	7,4
• Niederschläge im EZG	2,3	3,7
diffuse Quellen	49,9	79,9
punktuellen Quellen	8,1	12,9
Summe Einzugsgebiet	58,0	92,8
ZKA Rostock	4,5	7,2
Summe Unterwarnow	62,5	100

a) Phosphor



b) Stickstoff

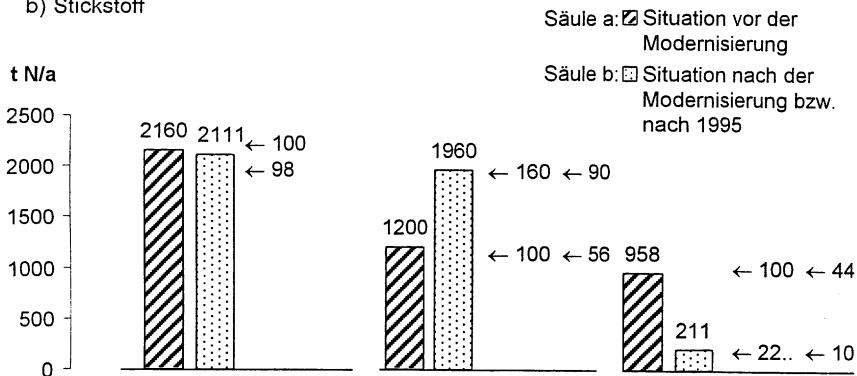


Abb. 2 Veränderungen in der Nährstoffbelastung für die Unterwarnow insgesamt und für die Hauptquellen Oberwarnow sowie ZKA Rostock.

- Werte in t/a bzw. % mit Bezug zur Gesamtbelastung bzw. der Hauptpfade

a) Phosphor

b) Stickstoff

Mit nahezu 57 % der Gesamt-P-Einträge in die Unterwarnow stellen die Erosion und das Grundwasser die Hauptpfade der Gesamtbelastung dar. Die punktuellen Einträge aus dem Einzugsgebiet betragen mit 8,1 t P/a ca. 13 % der Gesamteinträge. Mit fast gleichen Anteilen mit Werten zwischen 3,5 und 4,6 t P/a folgen dann die Abflüsse von urbanen Flächen, aus Dränagen und Abschwemmungen. In die Größenordnung dieser Gruppe ordnen sich auch die Restabläufe der ZKA Rostock ein (7,2 % der Gesamtbelastung). Geringer sind dann die Quellen, die sich aus den Konzentrationen in den Niederschlägen im Einzugsgebiet ergeben.

Der modifizierte Ansatz des Vollenweiler-Modells gestattet es auch, eine Trophieprognose für die Unterwarnow für die Gesamteinträge bzw. der Einträge über die Einzelpfade zu geben (SCHLUNGBAUM u. KRECH 2001 bzw. SCHLUNGBAUM, KWIATKOWSKI u. KRECH 2001, dieses Heft). Über die Größe der P-Flächenbelastung, ausgedrückt in $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$, können die folgenden Prognoseeinschätzungen erfolgen:

- Setzt man für die Flußwasserzuläufe aus dem Einzugsgebiet die dem Background entsprechende $P_{\text{Ges.}}$ -Konzentration von $< 0,05 \text{ mg P/l}$ ein, würde die P-Belastung im langjährigen Mittel der Flußwasserzufuhr in Höhe von $600 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{a}^{-1}$ ca. 30 t P/a betragen. Das entspricht einer P-Flächenbelastung von $2,4 \text{ g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$. Mit dem Modellansatz läßt sich daraus eine Gewässerbeschaffenheit in der eutrophen Stufe ableiten. Setzt man die allgemein als gütewirtschaftlich formulierte Zielstellung der Güteklasse II an, ergibt sich aus der Abflußkonzentration in Höhe von $< 0,15 \text{ mg P/l}$ (= dreifacher Backgroundwert) die folgende Situation: Eintrag maximal 90 t P/a, oder die Flächenbelastung von $7,2 \text{ g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$ entspricht dann einer Gewässerhypertrophie (vgl. Abb. 11 in SCHLUNGBAUM, KWIATKOWSKI u. KRECH, 2001 – dieses Heft).
- Die ermittelte aktuelle P-Gesamtbelastung aus dem Einzugsgebiet in Höhe von 58 t P/a (Tab. 7) bedeutet heute einen zweifachen Background und liegt im Ergebnis der Gewässerschutzpolitik bereits unterhalb der Zielvorgabe für die P-Belastung der Fließgewässer (ZV = Güteklasse II).
- Selbst die in Tab. 8 genannten Einzelpfade mit größeren P-Einträgen erreichen nicht den Gesamtbackground. Die ZKA Rostock liegt mit dem verbleibendem Resteintrag von 4,5 t P/a bei ca. 30 % des Backgrounds.
- Insgesamt ergeben sich die folgenden Trophieprognosen :

Eintrag von 30 t P/a (= Background, Klasse I)	: eutroph / polytroph
Eintrag von 90 t P/a (= Zielvorgabe, Klasse II)	: hypertroph
Gesamteintrag aus dem Einzugsgebiet (58 t P/a)	: hypertroph
Eintrag über das Grundwasser (14,5 t P/a)	: eutroph
Eintrag über die Erosion (20,9 t P/a)	: polytroph
Eintrag über punktuelle Quellen im Einzugsgebiet (8,1 t P/a)	: eutroph
Einträge unterhalb 5 t P/a	: (mesotroph) eutroph
Eintrag aus der ZKA Rostock (4,5 t P/a)	: (mesotroph) eutroph

Damit ergibt sich eindeutig, daß weitere und nur mit steigendem Kostenaufwand verbundene Reduzierungen der P-Konzentrationen in den Restabläufen der ZKA Rostock allein zu keinen weiteren Verbesserungen der Gewässerbeschaffenheit der Unterwarnow führen. Eine weitergehende Stabilisierung des P-Haushaltes in der Unterwarnow im Sinn eines verbesserten Gewässerschutzes ist, wenn diese ökonomisch vertretbar sein soll, bei den Eintragspfaden Erosion, urbane Flächenabläufe und noch notwendige Verbesserungen bei den punktuellen Quellen im Einzugsgebiet anzusetzen. Die stabile eutrophe Gewässerbeschaffenheit in der Unterwarnow kann mit einer P-Flächenbelastung von 1 bis $1,2 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, was maximal 15 t P/a entsprechen würde, erreicht werden. Das bedeutet aber, daß die allgemeine wasserwirtschaftliche Zielstellung der Güteklasse II (= Zielvorgabe) deutlich unterboten werden müßte. Diese Betrachtung bezieht sich auf die P-Situation. Für die möglichen und realistischen Zielstellungen müßten weitere Kriterien, die den Eutrophierungsprozeß beeinflussen, mit einbezogen werden. Es darf auch nicht unberücksichtigt bleiben, daß die natürlichen Faktoren (Morphologie, Hydrologie, Einzugsgebiet) nur für stabile eutrophe Bedingungen sprechen (SCHLUNGBAUM, KWIATKOWSKI u. KRECH, 2001 – dieses Heft). Aus dieser Sicht sind weitere Maßnahmen zur Senkung des P-Ablaufes der ZKA Rostock aus ökologischer Sicht wenig Erfolg versprechend und ökonomisch nicht vertretbar.

Zusammenfassung

Vor der Modernisierung der ZKA Rostock und vor vielfältigen Maßnahmen zum Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Warnow war die Unterwarnow als hypertroph einzuschätzen. 64 % der P-Belastung und 44 % der N-Belastung wurden durch die unzureichend ausgestattete Kläranlage Rostock verursacht. Die Modernisierung der Anlage hat 1995 zu einer wesentlichen Entlastung des Unterwarnow-Ökosystems geführt. Heute ist die ZKA nur noch mit unter 8 % der P-Belastung und 10 % der N-Belastung beteiligt. Die ZKA Rostock trägt als Einzelpfad bereits zu mesotrophen Bedingungen bei, was besser ist als die Trophieprognose der natürlich wirkenden Faktoren. Die ZKA Rostock erfüllt außerdem alle nationalen und internationalen Bedingungen, wie sie für Kläranlagen dieser Größenordnung zu erfüllen sind. Die ZKA Rostock wurde aus der Liste der „hot spots“ der Helsinki-Kommission gestrichen.

Literatur

- BEHRENDT, H.; HUBER, P.; OPITZ, D.; SCHOLZ, G. und UEBE, R. (1999). Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands, UBA-Texte 75|99.
- EU-ABWASSER-RICHTLINIE (1991). Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21.5.1991 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens über die Behandlung von Kommunalem Abwasser, Amtsbl. der Europäischen Gemeinschaften L 135 vom 30.5.1991: 40 Seiten.
- EU-WRRL (2000). Richtlinie 2000|60|EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsbl. der Europäischen Gemeinschaften L 327|1-72 vom 22.12.2000.

- GEWÄSSERGÜTEBERICHT (1999). Gewässergütebericht 1996/1997 – Zustand und Entwicklung der Gewässergüte von Fließ-, Stand- und Küstengewässern und der Grundwasserbeschaffenheit in Mecklenburg-Vorpommern, Herausgeber: Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin.
- GEWÄSSERGÜTEBERICHT (2001). Vorabmitteilung durch A. Bachor und M. v. Weber/ LUNG Mecklenburg-Vorpommern.
- HELCOM (1988). Empfehlung 8/3 bzw. 9/2 der Staaten der Helsinki-Konvention zum Schutz der Ostsee vor Verunreinigungen – Empfehlung zur Reduktion der Einträge aus urbanen Gebieten durch effektive Methoden in der Abwasserreinigung.
- KRÜGER, O.W.; SCHÖNEFELDT, K.; SCHLUNGBAUM, G. und BOMBA, I. (2001). Das Unterwarnow-Ästuar: 5 Jahre nach der Modernisierung der Zentralen Kläranlage Rostock – ein Beitrag zum nachhaltigen Schutz der Ostsee, Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) – Tagungsbericht 2000 (Magdeburg), Tutzing, im Druck.
- SCHLUNGBAUM, G. (2001). Five Year Full Production of the Central Sewage-Treatment-Plant Rostock – Effects on the Ecosystem of the Unterwarnow and the Baltic Sea. Materialien 11. Europäische-Arabische Konferenz für Umweltschutz, Stadthalle Rostock, 24-26.4.2001.
- SCHLUNGBAUM, G. und BÖRNER, R. (1997). Die Warnow – ein typischer Flachlandfluß – Zustandsentwicklung und Aspekte der Sanierung, TRADITIO et INNOVATIO (Univ. Rostock), 2, 1: 16-18.
- SCHLUNGBAUM, G. und KRÜGER, O.W. (2000). Untersuchungen zur Wirkung der aufbereiteten Kläranlagenabläufe auf das Ökosystem Unterwarnow, Forschungsbericht, Univ. Rostock/FB Biowissenschaften (Auftraggeber: EURAWASSER GmbH Rostock).
- SCHLUNGBAUM, G. und SELIG, U. (1996). Die Warnow – ein typischer norddeutscher Flachlandfluß und seine Bedeutung für den Nährstoffeintrag in die Ostsee, Rostock. Meeresbiol. Beitr. 4: 67-84.
- SCHLUNGBAUM, G.; BAUDLER, H. (2001). Die Vielfalt innerer Küstengewässer an der südlichen Ostsee – eine Übersicht von der Flensburger Förde bis zum Kurischen Haff – Teil 1: Entwicklungsgeschichte, Morphologie, Hydrologie und Hydrographie, Rostock. Meeresbiolog. Beitr. 8: 5-61.
- SCHLUNGBAUM, G.; KWIATKOWSKI, B. und KRECH, M. (2001). Die Vielfalt innerer Küstengewässer an der südlichen Ostsee – eine Übersicht von der Flensburger Förde bis zum Kurischen Haff – Teil 2: Verschiedenheit der naturbedingten und anthropogen geprägten Eutrophierungsprozesse – eine Diskussion zur möglichen ökologischen Qualität entsprechend der EU-Wasserahmenrichtlinie, Rostock. Meeresbiolog. Beitr. 8: -63-112.
- SCHÖNEFELDT, K. (2001). Das Unterwarnow-Ästuar, Hydromorphologie-ökologische Gewässerstruktur-Stoffbilanzen, Diplomarbeit, Univ. Rostock/FB Biowissenschaften.

Verfasser

Prof. Dr. habil. G. Schlungbaum
 Dipl.-Biol. K. Schönefeldt
 Dipl.-Biol. M. Krech
 Universität Rostock
 FB Biowissenschaften / Angewandte Ökologie
 Wismarsche Str 8
 18051 Rostock

Dipl.-Ing. Irmgard Bomba
 Dipl.-Ing. Adolf Lukas
 EURAWASSER-GmbH
 Carl-Hopp-Str. 1
 18069 Rostock