

FISCH UND UMWELT

Wassertemperaturen und Häufigkeiten von Mißbildungen pelagischer Fischembryonen

Volkert Dethlefsen, Institut für Fischereiökologie, Außenstelle Cuxhaven
Hein von Westernhagen, Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg
Michael Vobach, Institut für Fischereiökologie, Hamburg

Die Embryonalentwicklung gilt als die empfindlichste Entwicklungsphase im Lebenszyklus von Fischen (von Westernhagen 1988). Dabei können sowohl Schadstoffe als auch ungünstige natürliche Faktoren einen Einfluß auf die Überlebensfähigkeit von Eiern und Larven und damit auf den Reproduktionserfolg von Fischen haben. Johnson und Landahl (1994) gehen davon aus, daß der chronische Einfluß von Umweltkontaminanten auf Fische am ehesten Embryonen, Larven und Juvenile und weniger Adulte beeinflußt. Schadstoffe können sowohl durch Anreicherung in Organen wie Leber, Nieren oder Gonaden von Fischen wirken als auch durch das Vorhandensein toxischer Konzentrationen in der Wassersäule oder durch die Kombination dieser beiden Faktoren (Dethlefsen 1995).

Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen der Belastung von Oberflächenwasser und dem Auftreten von zytologischen und zytogenetischen Veränderungen an Fischembryonen wurden erstmalig 1975 in der New York-Bucht durchgeführt. Longwell und Hughes (1981) fanden dabei eine reduzierte Überlebensfähigkeit von Fischeiern in denjenigen Gebieten der Bucht, die stärker mit Schadstoffen belastet waren.

Bei Untersuchungen über die regionale Verbreitung von Mißbildungshäufigkeiten pelagischer Fischembryonen der südlichen Nordsee fanden sich höhere Mißbildungsraten vor Ästuaren und in küstennahen Regionen vor der holländischen, britischen und deutschen Küste (Cameron und Berg 1993). Meist nahmen die Mißbildungsraten mit zunehmender Entfernung von der Küste ab. Diese Ergebnisse veranlaßten die Autoren zu der Feststellung, daß regionale Unterschiede von Mißbildungsraten pelagischer Fischeier dem räumlichen Muster des Auftretens von Schadstoffen in den in Frage stehenden Gebieten ähnelte (Cameron et al. 1992, Cameron und Berg 1993). Dethlefsen und von Westernhagen (1996) verglichen die zeitliche Fluktuation der Mißbildungshäufigkeiten von pelagischen Fischeiern in der Nordsee während des Zeitraums 1984 bis 1995 mit denjenigen von Rückständen von Organochlorverbindungen in Lebern der Kliesche sowie hydrographischen Faktoren, u. a. der Wassertemperaturen. Sie fanden signifikante negative Korrelationen zwischen der Temperatur des

Water temperatures and prevalences of malformations of pelagic fish embryos:

Malformation rates in fish embryos have been monitored for several years in the Southern North Sea. Their occurrence was interpreted to be related to pollution because malformation rates were highest in near coastal waters known to receive high pollution loads. For embryos of all species investigated synchronous trends for the fluctuation of malformation rates over the time were registered in the areas covered with intermediate prevalences at the beginning of the studies in 1984 and maxima in 1987. Thereafter malformation rates of all species decreased significantly followed by an increase in 1996. It was found that a significant negative correlation between surface water temperature and prevalences of malformed embryos of dab (*Limanda limanda*) and other species existed over time and space. These correlations became increasingly visible with decreasing concentrations of organochlorines in livers of dab. From these findings it is concluded that temperatures possibly predispose developing fish embryos to the impact of pollutants.

Oberflächenwassers und den Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche und anderer Fischarten. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß ungünstige Wassertemperaturen möglicherweise sich entwickelnde Fischembryonen für den Einfluß von Schadstoffen prädisponieren. Für die untersuchten

Organochlorverbindungen wurde in dieser Untersuchung für den Zeitraum 1984 - 1994 nach anfänglich hohen Konzentrationen ein deutlicher Rückgang festgestellt.

Der sich andeutende Zusammenhang zwischen Mißbildungshäufigkeiten und Wassertemperaturen wird nachfolgend überprüft, und es werden Ergebnisse der jüngsten Untersuchung („Walther Herwig III“ 169) vom Februar 1996 in die Auswertungen einbezogen.

Material und Methoden

Die 1984 begonnenen Untersuchungen fanden in enger Kooperation mit Wissenschaftlern der Biologischen Anstalt Helgoland statt. Sie wurden 1984 bis 1987, 1990 bis 1993 und 1995 bis 1996 durchgeführt. Auf den Stationen, die entweder in der Deutschen Bucht oder in einem Seegebiet vor der dänischen, deutschen und holländischen Küste lagen, wurden pelagische Fischeier mit einem Planktonnetz (Öffnung 1 m, 300-500 µm Maschenweite), das horizontal knapp unter der Oberfläche zwischen 5 und 20 Minuten geschleppt wurde, gefangen. Ein typisches Stationsnetz ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei war die Schleppgeschwindigkeit immer 1-2 Knoten, um zu vermeiden, daß Mortalitäten oder Veränderungen an den Fischeiern durch mechanischen Stress auftraten. Die Embryonen wurden unmittelbar nach dem Fang unter einem Binokular auf das Vorhandensein morphologischer Veränderungen untersucht. Eine Beschreibung der vorgefundenen Mißbildungen bei Fischeembryonen findet sich bei Cameron et al. (1992). Die Angaben über die Temperaturen für diese Auswertung stammen entweder von eigenen Untersuchungsfahrten (1993, 1995 und 1996) oder für den längerfristigen Vergleich von der Biologischen Anstalt Helgoland aus werktäglichen Messungen auf Helgoland-Reede. Hier wurden aus den vorhandenen Daten Mittelwerte für das erste Quartal des jeweiligen Untersuchungs-jahres gebildet. Die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Statistica 5.

Ergebnisse

Die zeitlichen Fluktuationen der Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche in der Deutschen Bucht

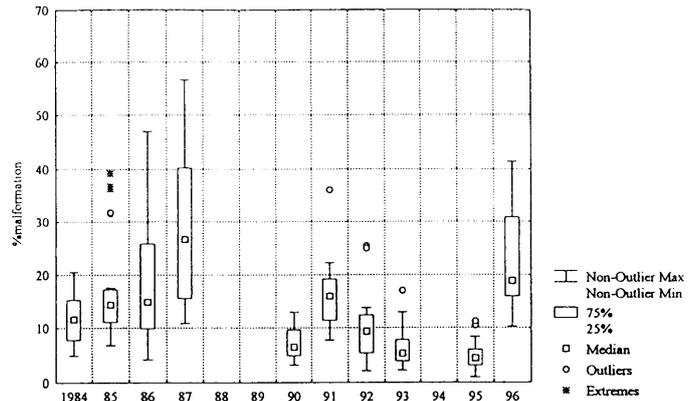


Abb. 1: Kliesche (*Limanda limanda*) Mißbildungen von Embryonen, alle Entwicklungsstadien, Deutsche Bucht. Werte von 1990, 1991, 1992 Biologische Anstalt Helgoland.

Dab (*Limanda limanda*) Malformations of embryos, all developmental stages, German Bight (Data of 1990, 1991, 1992 Biologische Anstalt Helgoland)

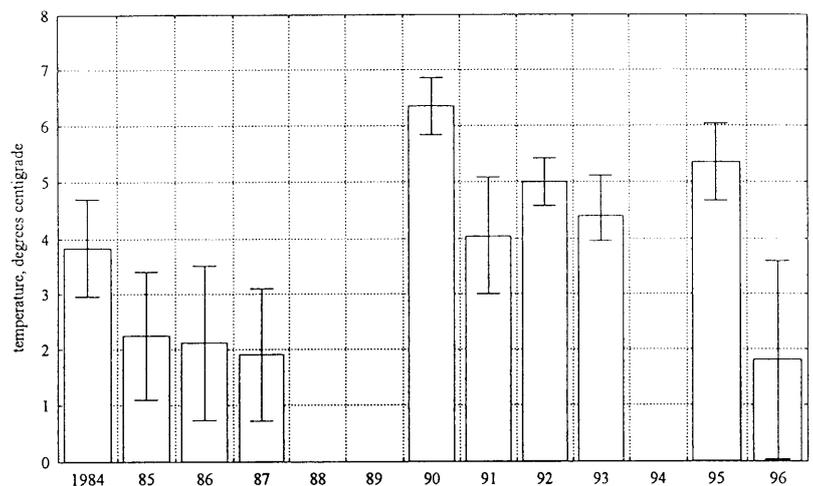


Abb. 2. Temperaturen des Oberflächenwassers bei Helgoland-Reede. Werktägliche Messungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der ersten drei Monate.

Temperatures of surface water, Helgoland Roads. Daily measurements, averages and standard deviations for the first three months of each year

sind in Abbildung 1 wiedergegeben. Die Angaben über die Variabilität beziehen sich auf Einzelergebnisse sämtlicher Stationen, die innerhalb der Grenzen südlich von 55°20' N und östlich von 05°40' E lagen. Die Ergebnisse, einschließlich für 1995, sind bei Dethlefsen und von Westernhagen (1996) dargestellt. Von 1984 bis 1987 stiegen die Mißbildungshäufigkeiten mit Mittelwerten um 12 % auf Mittelwerte von über 28 % an. Niedrigere Mißbildungshäufigkeiten fanden sich in der Periode zwischen 1990 und 1995. 1995 wurden die niedrigsten Mißbildungshäufigkeiten während des gesamten Untersuchungszeitraumes angetroffen. 1996 hingegen waren mittlere Mißbildungshäufigkeiten deutlich angestiegen. Sie waren ähnlich hoch wie die 1987 angetroffenen Werte. In Abbildung 2 finden sich Angaben über die Temperaturen während der ersten drei Monate der jeweiligen Untersuchungs-jahre bei Helgoland-Reede. Es zeigt sich, daß von 1984 bis 1987 Wassertemperaturen von

knapp unter 4 °C auf knapp unter 2 °C sanken, in der Periode von 1988 bis 1990 die durchschnittlichen Wassertemperaturen zwischen 5,5 °C und 6,4 °C lagen. In der Periode zwischen 1991 und 1995 schwankten die mittleren Wassertemperaturen bei Helgoland-Reede zwischen 5,0 °C und 5,3 °C. Für 1996 lagen Mittelwerte bei Helgoland Reede für das erste Quartal bei 1 °C.

In Abbildung 3 sind die durchschnittlichen Temperaturen der ersten Quartale gegen die mittleren Mißbildungshäufigkeiten während der bisherigen Untersuchungsjahre aufgetragen. Es wird deutlich, daß höhere Mißbildungsraten mit niedrigen Wassertemperaturen einhergehen und umgekehrt.

Die Temperaturen an der Wasseroberfläche während der 169. Reise „Walther Herwig III“ finden sich in Abbildung 4. Vor der schleswig-holsteinischen Küste waren Temperaturen von -1 °C und im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes Temperaturen von 5,9 °C gemessen worden.

In Abbildung 5 sind Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche (*Limanda limanda*) im Februar 1996 abgebildet. Es wurden nur Stationen mit einem n > 50 berücksichtigt. Die höchsten Mißbildungsraten fanden sich vor der schleswig-holsteinischen Küste mit einem Maximum von 38,2 % der untersuchten Embryonen und die niedrigsten Mißbildungshäufigkeiten am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes mit 1,7 %.

Die höchsten Mißbildungsraten (~25 %) von Embryonen der Scholle (*Pleuronectes platessa*) fanden sich am nordöstlichen Rand des Untersuchungsgebietes (Abbildung 5) und die niedrigste von 0,5 % fand sich am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes.

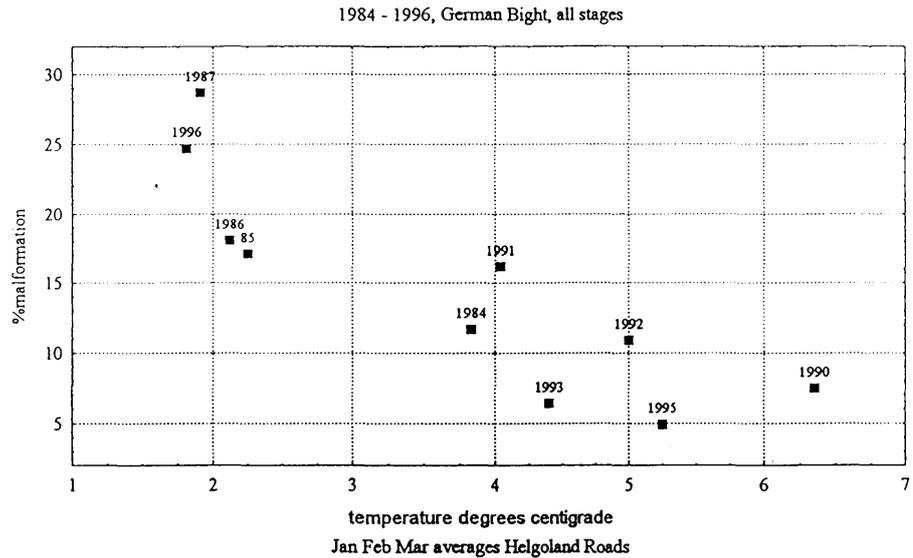


Abb. 3. Kliesche (*Limanda limanda*) Mißbildungen von Embryonen, alle Entwicklungsstadien, Deutsche Bucht gegen Temperaturen des Oberflächenwassers bei Helgoland-Reede (Durchschnitt werktäglicher Messungen während der ersten drei Monate eines jeden Jahres).

Dab (*Limanda limanda*) Malformations of embryos, all developmental stages, German Bight, versus temperature of surface water, Helgoland Roads (average of daily measurements during the first three month of each year)

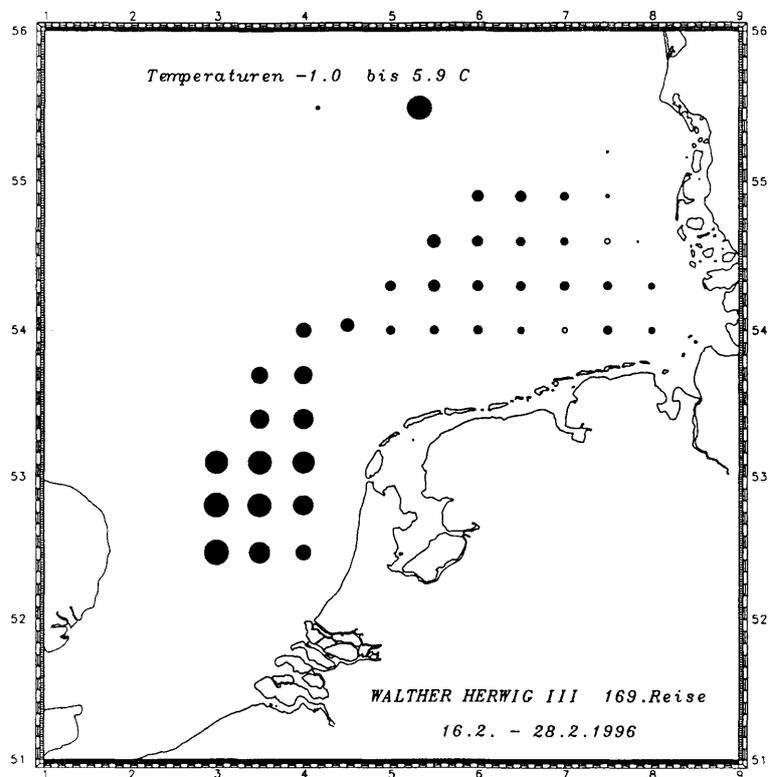


Abb. 4. Temperaturen des Oberflächenwassers, 16. bis 28. Februar 1996. Temperature of surface water, February 16-28, 1996

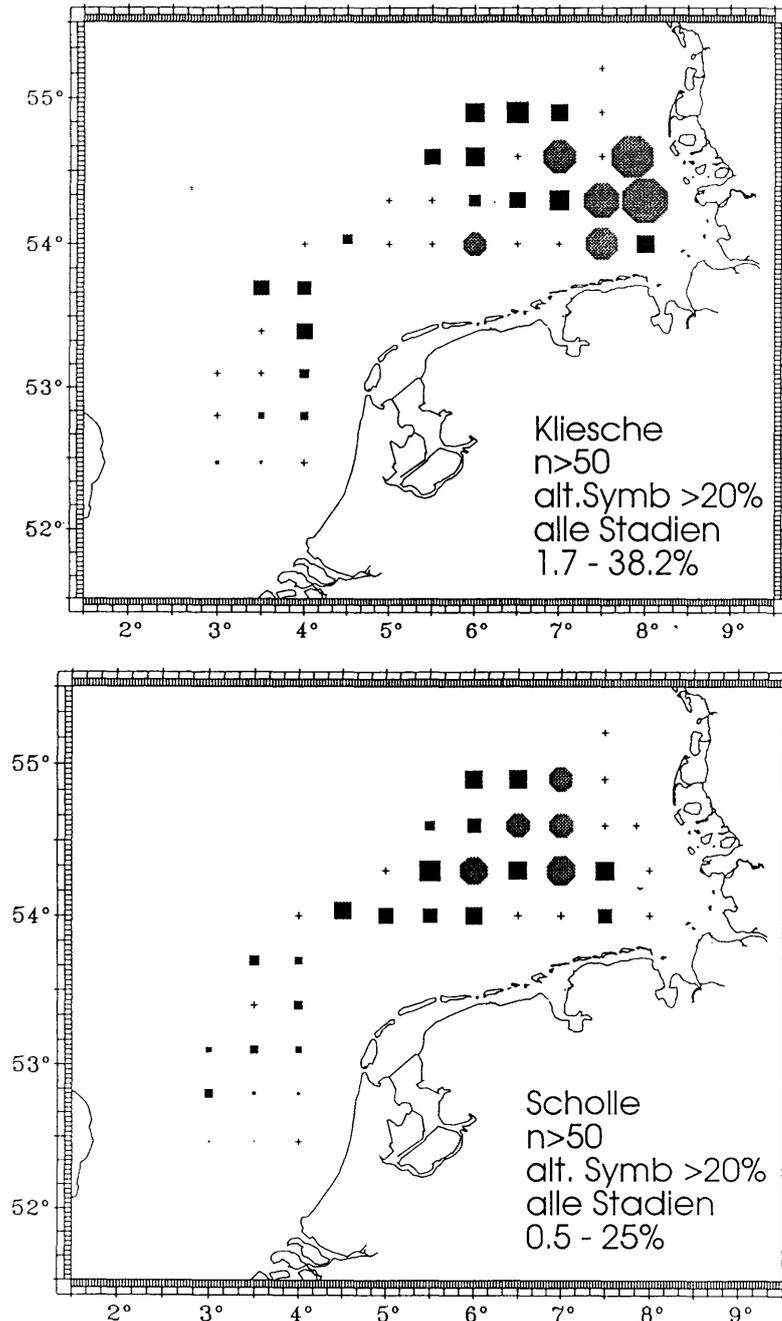


Abb. 5. Kliesche (*Limanda limanda*) Häufigkeit von Mißbildungen von Embryonen, alle Entwicklungsstadien, $n > 50$, alternatives Symbol: > 20% (oben). Scholle (*Pleuronectes platessa*) Häufigkeit von Mißbildungen von Embryonen, alle Entwicklungsstadien, $n > 50$, alternatives Symbol (Oktagon): > 20% (unten).

Dab (*Limanda limanda*) Malformation rates of embryos, all developmental stages, $n > 50$ = only stations with more than 50 embryos are included; alternative symbol (octagon) = malformation rate > 20% (above). Plaice (*Pleuronectes platessa*) Malformation rates of embryos, all developmental stages (below)

In Abbildung 6 sind für die im März 1993 durchgeführte Untersuchungsfahrt („Walther Herwig“ 132) Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche in der Deutschen Bucht gegen die Temperaturen des Oberflächenwassers aufgetragen. Die Temperaturen schwankten zwischen 2,9 °C und 6,5 °C. Die lineare Korrelation ist signifikant ($r = -0,5365$), 30 % der Variabilität der Daten lassen sich durch eine Gerade beschreiben. Im März 1995 („Walther Herwig

III“ 157, Abbildung 6) schwankten die in der Deutschen Bucht gemessenen Temperaturen des Oberflächenwassers zwischen 5,0 °C und 8,4 °C. Die Korrelation ist ebenfalls signifikant, jedoch ist die Streuung größer als im vorangegangenen Falle ($r = -0,3590$); nur 13 % der Variabilität der Mißbildungsdaten sind durch einen linearen Zusammenhang mit der Temperatur zu beschreiben.

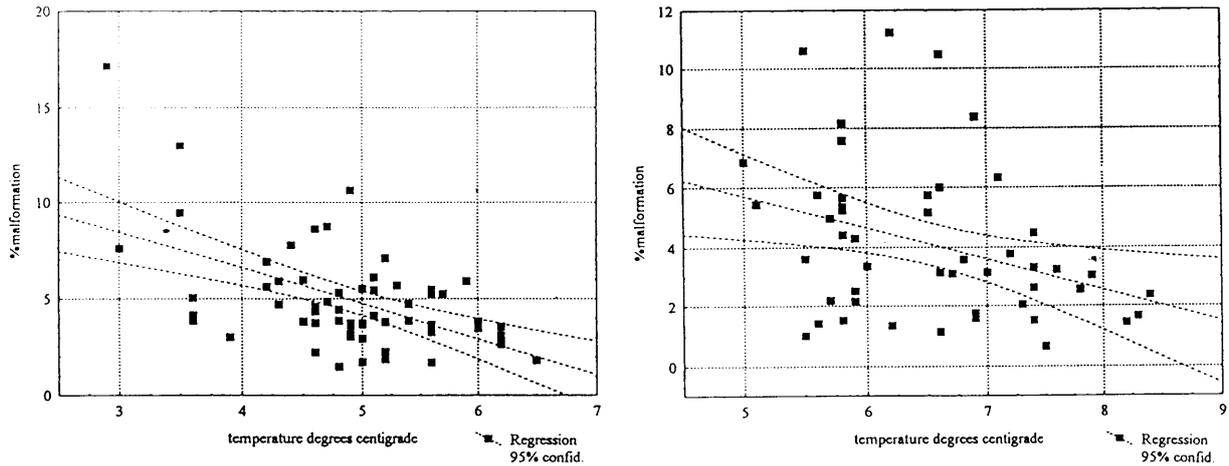


Abb. 6. Kliesche (*Limanda limanda*) Korrelationen zwischen Häufigkeit der Mißbildungen und der Temperatur des Oberflächenwassers. „Walther Herwig“ 132 - März 1993 (links), „Walther Herwig III“ 157 - März 1995 (rechts).

Dab (*Limanda limanda*) Correlation between frequency of malformation of embryos and temperature of surface water „Walther Herwig“ 132, March 1993 (left side), „Walther Herwig III“ 157, March 1995 (right side)

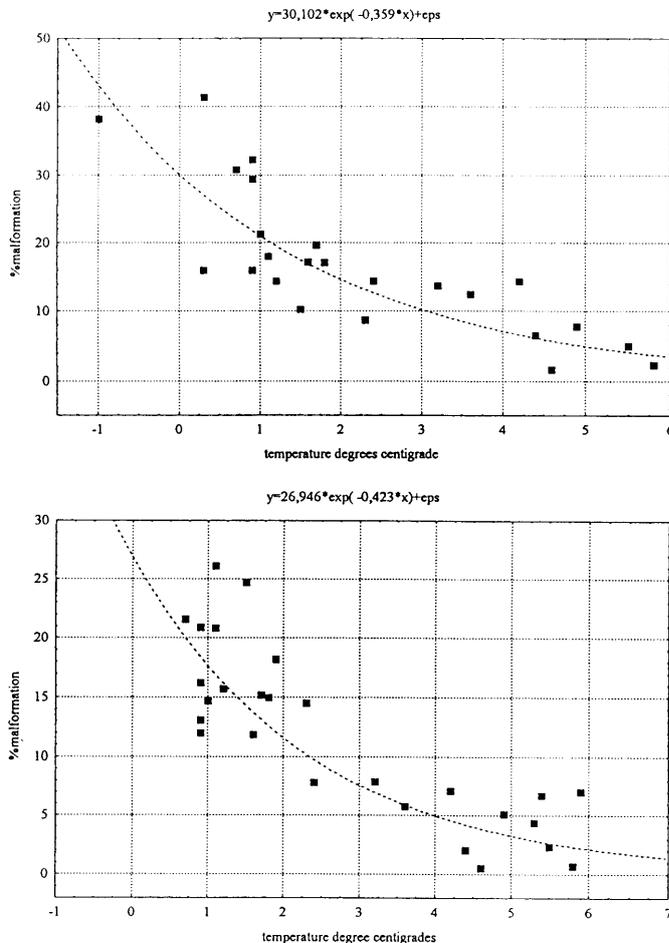


Abb. 7. Korrelationen zwischen Häufigkeit der Mißbildungen und der Temperatur des Oberflächenwassers, „Walther Herwig III“ 169 - Februar 1996. Kliesche (*Limanda limanda*) (oben) Scholle (*Pleuronectes platessa*) (unten).

Correlation between malformation rates of embryos and temperature of surface water „Walther Herwig III“ 169, February 1996, dab (*Limanda limanda*) (above), plaice (*Pleuronectes platessa*) (below)

Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche und der Scholle im Februar 1996 sind in Abbildung 7 gegen die Wassertemperaturen im Untersuchungsgebiet (Oberfläche) aufgetragen. Die sich ergebenden Korrelationen lassen sich am besten durch exponentielle Funktionen beschreiben. Trägt man die Ergebnisse für Embryonen der Kliesche der drei Reisen (1993, 1995, 1996) in einer Graphik auf, ist im Temperaturbereich zwischen 4 °C und 8 °C keine temperaturbezogene Variabilität der Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche feststellbar, diese steigt aber mit abnehmender Wassertemperatur an (Abb. 8).

Diskussion

Ein möglicher Zusammenhang zwischen Mißbildungshäufigkeiten pelagischer Fischembryonen und der Wassertemperatur wurde 1992 von Cameron und anderen diskutiert. Die damaligen Überlegungen beruhten auf Datensätzen von 1986 und 1987. Für die Probennahme im März 1987 stellten die Autoren fest, daß die höchsten Mißbildungsraten an küstennahen Stationen bei Temperaturen von unter 0 °C festgestellt wurden, und sie wiesen auf eine generelle Korrelation zwischen der Wassertemperatur und den Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen der Kliesche und der Flunder (*Platichthys flesus*) hin. Für 1986 wurde eine solche Beziehung allerdings nicht

gefunden, obgleich auch hier niedrige Wassertemperaturen in Küstennähe angetroffen wurden, die zum Teil niedriger als während der Probennahme 1987 waren.

Wegen dieser unklaren Datenlage konzentrierten sich die Autoren auf die mögliche Rolle von Schadstoffen bei der Hervorrufung von Mißbildungen von Fischembryonen.

In Experimenten konnte gezeigt werden, daß natürliche Faktoren, wie Wassertemperatur, Salzgehalt oder Sauerstoffkonzentrationen, die empfindlichen frühen Stadien von Fischembryonen negativ beeinflussen (Alderdice und Forrester 1971; Braum 1973; von Westernhagen 1970). Kliesche, Flunder, Scholle, Kabeljau (*Gadus morhua*) und Wittling (*Merlangius merlangus*) sind stenotherm, d.h. sie ertragen nur geringe Temperaturschwankungen. Von Westernhagen (1970) ermittelte die folgenden optimalen Temperaturen für die Embryonalentwicklung des Kabeljau mit 4 °C bei 20 bis 33 psu, Flunder mit 4 °C bei 33 psu und Scholle 6 °C bei 20 psu. Die von von Westernhagen (1970) bei nicht optimalen Erbrütungstemperaturen beschriebenen Mißbildungen ähneln denjenigen, die auch in situ gefunden werden. Ein Vergleich der Temperaturen im Februar 1996 mit denjenigen, die von Westernhagen (1970) experimentell als schädigend ermittelte, zeigt, daß die niedrigen Temperaturen, insbesondere die in Küstennähe an der Wasseroberfläche gemessenen, nicht optimal für die Embryonalentwicklung der untersuchten Fischarten sind.

Schlußfolgerungen

Klarer als 1987 ließen sich auf der Basis des inzwischen vorhandenen Datenmaterials Zusammenhänge zwischen niedriger Wassertemperatur und erhöhten Mißbildungsraten bei Fischembryonen nachweisen. Dabei bestanden Beziehungen zwischen Gebieten niedriger Wassertemperatur und den Zonen erhöhter Mißbildungsraten und Korrelationen zwischen der durchschnittlichen Wassertemperatur während der ersten drei Monate der jeweiligen Jahre und den mittleren Mißbildungsraten von Embryonen der Kliesche in der Deutschen Bucht.

Beim Vergleich langfristiger Fluktuationen der Mißbildungshäufigkeiten von Embryonen auch anderer Fischarten, wie Scholle, Flunder, Kabeljau und Wittling, und bei Unterteilung des Untersuchungsgebietes in verschiedene Regionen ergaben sich ähnliche zeitliche Veränderungen (Dethlefsen und von Westernhagen 1996).

Dethlefsen und von Westernhagen (1996) konnten bei der Zusammenstellung der zeitlichen Schwankungen von Organochlorkonzentrationen in Lebern der Kliesche der Deutschen Bucht zeigen, daß zum Zeitpunkt hoher Mißbildungsraten, also 1986 und 1987, auch erhöhte Konzentrationen von beispielsweise α -HCH, γ -HCH, DDT, DDD, DDE, HCB und polychlorierten Biphenylen in den Lebern der Klieschen vorlagen. Die Konzentrationen dieser Substanzen haben bis 1994 deutlich abgenommen (Abb. 9), und der Einfluß dieser Substanzen, sollte er in der Vergangenheit vorgelegen haben, muß heute geringer sein als noch vor 10 Jahren. Von Westernhagen et al. (1981; 1987)

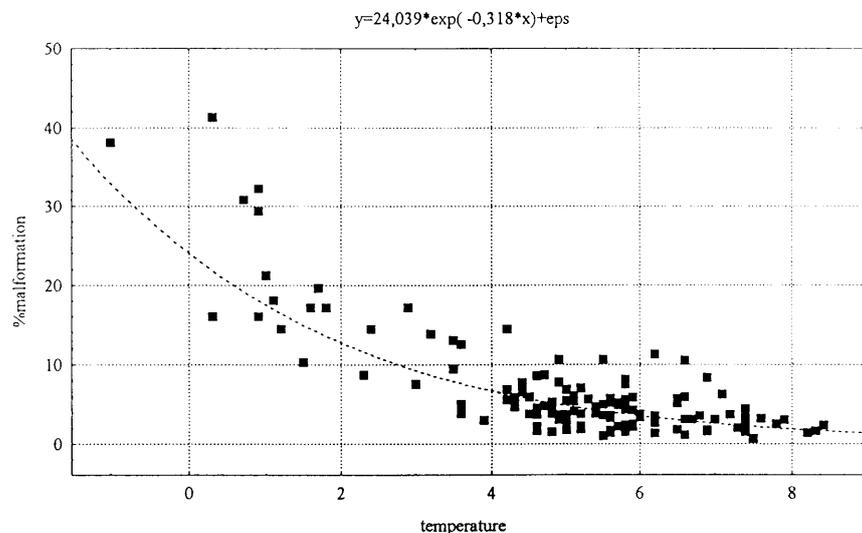


Abb. 8. Kliesche (*Limanda limanda*) Korrelationen zwischen Häufigkeit der Mißbildungen und der Temperatur des Oberflächenwassers. „Walther Herwig“ 132 - März 1993, „Walther Herwig III“ 157 - März 1995, „Walther Herwig III“ 169 - Februar 1996.

Dab (*Limanda limanda*) Correlation between malformation rates of embryos and temperatures of surface water „Walther Herwig“ 132, March 1993, „Walther Herwig III“ 157, March 1995, „Walther Herwig III“ 169, February 1996

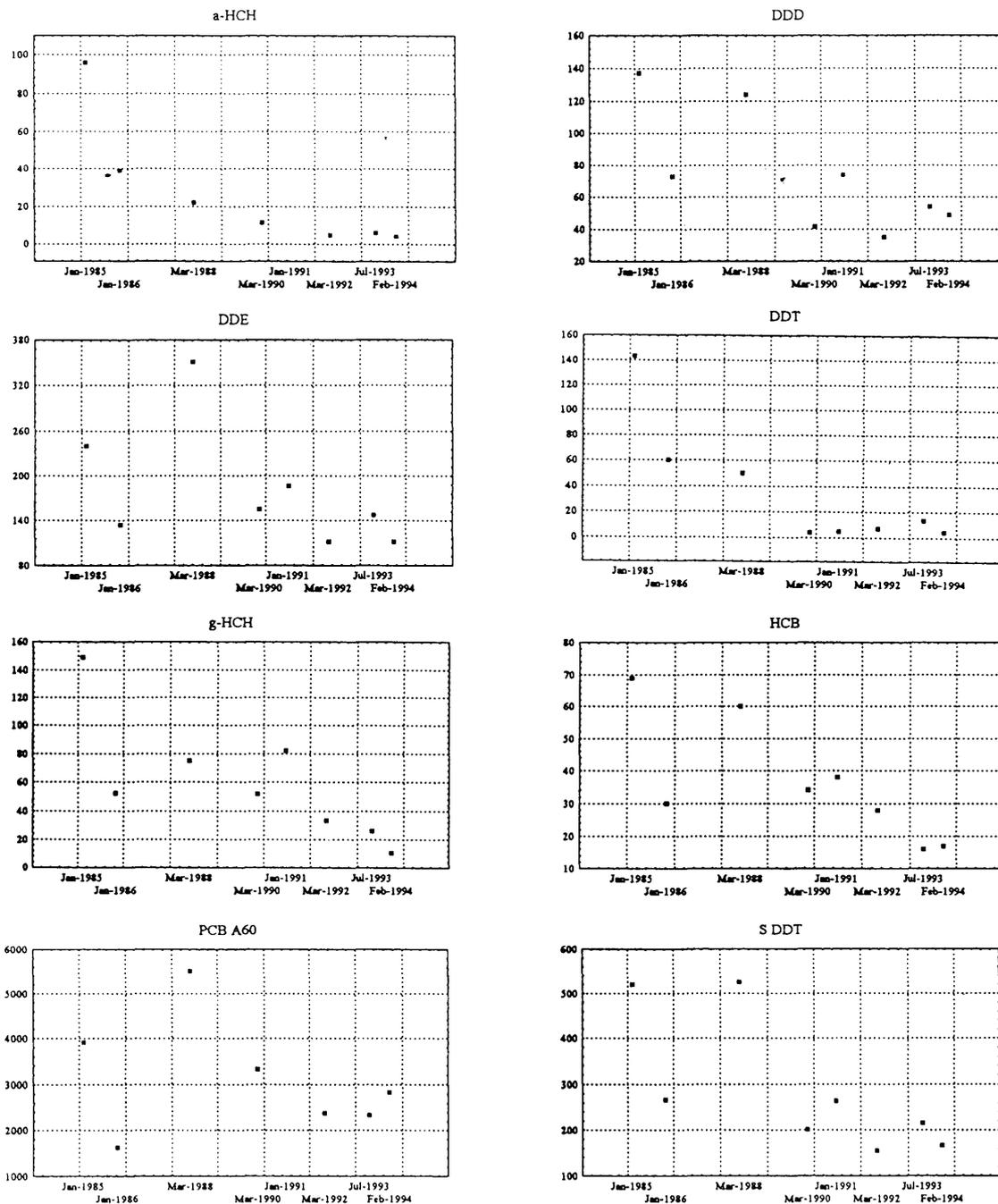


Abb. 9. Kliesche (*Limanda limanda*) Konzentrationen von Organochlorverbindungen in der Leber der Kliesche (µg/kg Fett), Deutsche Bucht, (Ursprung der Daten: siehe Dethlefsen und von Westernhagen, 1996).
 Dab (*Limanda limanda*) Concentrations of organochlorines in liver of dab (µg/kg fat), German Bight, (origin of data see: Dethlefsen and von Westernhagen, 1996)

und Hansen et al. (1985) wiesen verringerte Schlupferfolge bei Embryonen von mit Organochlorverbindungen belasteten Fischen aus der Ostsee und der Nordsee nach. Der Anteil überlebensfähig geschlüpfter Larven der Ostseeflunder war signifikant reduziert bei PCB-Konzentrationen in den Gonaden höher als 120 ng/g Naßgewicht (≅ 4800 ng/g Fett), aber nicht durch andere Organochlorverbindungen oder Schwermetalle in den Gonaden. Bei Wittlingen der

Nordsee und Heringen (*Clupea harengus*) der Ostsee korrelierten zusätzlich noch die Konzentration von DDE mit dem Anteil überlebensfähig geschlüpfter Larven (Wittling PCB 3800 ng/g ; DDE 510 ng/g ; Hering DDE 720 ng/g, immer bezogen auf Fett). Dagegen ergaben sich keine Korrelationen zwischen Organochlorverbindungen und dem Schlupferfolg bei Wittlingen, Schollen und Flundern, die im Februar 1991 in der Nordsee gefangen worden waren (von

Westernhagen und Cameron, unveröffentlicht). Es wird also deutlich, daß Korrelationen an dem älteren Material nachgewiesen werden konnten, jedoch später, also nach gesunkenen Konzentrationen von Organochlorverbindungen in den jeweiligen Fischarten, nicht mehr vorhanden waren.

Abschließend muß davor gewarnt werden, die Diskussion über die Ursachen der Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit von Fischen jetzt von den Schadstoffen einseitig auf ungünstige Temperaturverhältnisse lenken zu wollen. Derartige Veränderungen in einem multifaktoriell beeinflussten System monokausal erklären zu wollen ist immer falsch.

Literatur

Alderice, D.F.; Forrester, C.R.: Effects of salinity, temperature and dissolved oxygen on early development of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *J. Fish. Res. Bd Can.* 28: 883-902, 1971.

Braun, E.: Einflüsse chronischen exogenen Sauerstoffmangels auf die Embryogenese des Herings (*Clupea harengus*). *Neth. J. Sea Res.* 7: 363-375, 1973.

Cameron, P.; Berg, J.; Dethlefsen, V.; Westernhagen, H. von: Developmental defects in pelagic embryos of several flatfish species in the southern North Sea. *Neth. J. Sea Res.* 29: 1, 239-256, 1992.

Cameron, P.; Berg, J.: Fortpflanzungsfähigkeit der Fische. In: Geht es der Nordsee besser? Schriftenreihe SDN 1: 120-129, 1993.

Dethlefsen, V.: Biological Changes in the German Bight of the North Sea as Indicators of Ecosystem Health. In: D.J. Rapport,

C.L. Gaudet, P. Calow (eds.) Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystem. NATO ASI Series I, 28: 153-177. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995.

Dethlefsen, V.; Westernhagen, H. von: Malformations in North Sea pelagic fish embryos between 1984 and 1995. *ICES J. mar. Science* (in press), 1996.

Hansen, P.-D.; Westernhagen, H. von; Rosenthal, H.: Chlorinated hydrocarbons and hatching success in Baltic herring spring spawners. *Mar. environ. Res.* 15:59-76, 1985.

Johnson, L.L.; Landahl, J.T.: Chemical contaminants, liver disease, and mortality rates in English sole (*Pleuronectes vetulus*). *Ecol. Appl.* 4 (1): 59-68, 1994.

Longwell, A.C., Hughes, J.B.: Cytologic, cytogenetic and developmental state of Atlantic mackerel eggs from sea surface water of the New York Bight, and prospects for biological effects monitoring with ichthyoplankton. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer* 179: 275-291, 1981.

Westernhagen, H. von: Erbrütung der Eier von Dorsch (*Gadus morhua*), Flunder (*Platichthys flesus*) und Scholle (*Pleuronectes platessa*) unter kombinierten Temperatur- und Salzgehaltsbedingungen. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 21: 21-102, 1970.

Westernhagen, H. von: Sublethal effects of pollutants on fish eggs and larvae. *Fish Physiology*, XIA 4: 253-335, 1988.

Westernhagen, H. von; Rosenthal, H.; Dethlefsen, V.; Ernst, W.; Harms, U.; Hansen, P.-D.: Bioaccumulating substances and reproductive success in Baltic flounder *Platichthys flesus*. *Aquatic Toxicol.* 1: 85-99, 1981.

Westernhagen, H. von; Sperling, K.R.; Janssen, D.; Dethlefsen, V.; Cameron, P.; Kocan, R.; Landolt, M.; Fürstenberg, G.; Kremling, K.: Anthropogenic contaminants and reproduction in marine fish. *Ber. Biol. Anst. Helgoland* 3: 1-70, 1987.

Die Bibliothek der Bundesforschungsanstalt für Fischerei Hamburg gibt gegen Übernahme der Portokosten folgende Veröffentlichungen, die als Mehrfachexemplare vorliegen, ab:

ICES Cooperative Research Report 1962 - 1989

(Liste der abzugebenden Nummern bitte anfordern)

und

Annales biologiques 21. 1964 - 24. 1967

Interessenten wenden sich bitte an die

Bibliothek der Bundesforschungsanstalt für Fischerei
 Palmaille 9
 D-22767 Hamburg
 Tel.: 040 - 38905142
 Fax: 040 - 38905261