

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit gibt eine umfassende Darstellung der EROD-Aktivitäten in den Lebern der Plattfisch-Spezies Kliesche (*Limanda limanda* L.) und Flunder (*Platichthys flesus* L.) aus der Nordsee und verschiedenen Flussmündungen. In den Jahren 1991 und 1992 wurden Leberproben von nahezu 5.000 Individuen von 69 verschiedenen Probenahmestellen untersucht. Klieschen wurden in der Nordsee im Gebiet zwischen 51° N und 58° N und Flundern in den Ästuaren der Flüsse Eider, Elbe, Weser, Schelde (Westerschelde), Themse, Tyne und Firth of Forth untersucht. Die EROD-Aktivität wird als spezifische Aktivität (ERODM: pmol Resorufin • min⁻¹ • mg⁻¹ mikrosomales Protein) und als Gesamtaktivität (ERODL: nmol Resorufin • min⁻¹ • g⁻¹ Leber) angegeben.

Ziel der Untersuchung war es, Belastungsschwerpunkte in der Nordsee und Belastungsgradienten in Flussmündungen anhand der regionalen Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten zu erfassen. Die EROD-Messungen erfolgten an adulten Weibchen und Männchen mit einer Gesamtlänge zwischen 17 cm und 25 cm und an juvenilen Klieschen (Gesamtlänge ≤ 12 cm). Lebern wurden entweder einzeln (adulte Fische) oder als Poolproben (juvenile Klieschen) aufgearbeitet. Auf der Grundlage der Ergebnisse werden Empfehlungen für weitere notwendige wissenschaftliche Forschungen gegeben.

Ein Teil der Untersuchung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Fischkrankheiten in der Nordsee“ durchgeführt. In dem Vorhaben wurden u. a. die Konzentrationen verschiedener Organochlorverbindungen in Lebern von Klieschen und Flundern untersucht (s. Landwüst et al. 1996). Diese Ergebnisse werden bei der Interpretation der EROD-Aktivitäten berücksichtigt. Das Konzept des Vorhabens und die angewandten Verfahren entsprachen den Empfehlungen der North Sea Task Force (NSTF) und Joint Monitoring Group (JMG).

Die Ergebnisse sind:

- Im Januar (1991, 1992) hatten Temperaturunterschiede zwischen den Nordsee-Stationen von bis zu 5,0 °C keinen Einfluss auf die geographischen Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten von adulten und juvenilen Klieschen.
- Im August 1991 hatten Klieschenweibchen aus britischen Küstengewässern zwischen 2- und 20-mal höhere EROD-Aktivitäten als an Stationen vor der niederländischen Küste und in der Deutschen Bucht. Das Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten war signifikant negativ mit der Wassertemperatur korreliert.
- In der Nordsee waren die geographischen Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten im Winter und Sommer unabhängig von den Salzgehalten an den Probenahmestellen.
- Die Gonadenreife wurde anhand von makroskopisch erkennbaren histologischen Merkmalen nach Maier (zit. in Bückmann 1929) bewertet.
- Im Januar (1991, 1992) hatten in der Nordsee die meisten geschlechtsreifen Klieschen bereits entwickelte Gonaden. In der westlichen Nordsee waren die Gonaden weniger weit entwickelt als in der Deutschen Bucht. Vermutlich laichen Klieschen in der Deutschen Bucht früher als

in britischen Küstengewässern. Ferner wurden Abweichungen zwischen beiden Jahren registriert.

- Im August 1991 wurden Weibchen mit entwickelten Gonaden auch vor der britischen Küste gefangen. Dies deutet auf eine vergleichsweise spät einsetzende bzw. zeitlich ausgedehnte Laichzeit in diesem Gebiet hin.
- Flundern aus Ästuaren waren in beiden Jahren in den Monaten März bis Juli überwiegend ausgelaiht und befanden sich in der Ruhephase.
- Im Tyne wurden im März 1992 und Ende Juli 1991, also außerhalb der Laichzeit, Flundern mit entwickelten Gonaden gefangen.
- Bei Klieschen- und Flunderweibchen mit entwickelten Ovarien war die EROD-Aktivität negativ mit der Ovarienentwicklung korreliert. Bei Klieschen- und Flundermännchen konnte kein Zusammenhang zwischen Laichreife und EROD-Aktivität nachgewiesen werden.
- Ein möglicher Zusammenhang zwischen der Gesamtlänge und der EROD-Aktivität wurde an 149 Stichproben (Klieschen und Flundern beider Geschlechter mit einer Gesamtlänge von 17 cm bis 25 cm) geprüft. Eine Längenabhängigkeit wurde bei Klieschenweibchen von einer Station im Firth of Forth (August 1991) nachgewiesen. Bei Flunderweibchen und -männchen traten im Jahr 1991 Längenabhängigkeiten an einer Station in der Schelde auf. Dies zeigt, dass im untersuchten Längenbereich die EROD-Aktivität in der Regel nicht längenabhängig ist. Eine statistische Prüfung sollte aber auf jeden Fall erfolgen.
- Adulte Klieschenmännchen hatten im Winter und Sommer höhere EROD-Aktivitäten als Weibchen. Die Medianwerte waren im Winter um bis zu 60-mal höher. Daher müssen im Winter beide Geschlechter getrennt untersucht werden.
- Juvenile Klieschen hatten im Januar (1991, 1992) unabhängig vom Geschlecht ebenfalls deutlich höhere EROD-Aktivitäten als adulte Weibchen.
- Die EROD-Aktivitäten juveniler Klieschenweibchen und -männchen und adulter Männchen waren ähnlich hoch.
- Bei Klieschen mit einer Gesamtlänge von ≤ 12 cm ist eine getrennte Untersuchung der Geschlechter vermutlich nicht erforderlich.
- In Ästuaren hatten Flundermännchen bis 5-mal höhere EROD-Aktivitäten als Weibchen. Nur in der Elbe hatten Weibchen regelmäßig höhere EROD-Aktivitäten als Männchen. Ein saisonaler Einfluss wird ausgeschlossen, weil die Probenahmen außerhalb der Laichzeit und zu ähnlichen Zeiten wie in anderen Ästuaren erfolgten.
- Im Tyne wichen in beiden Jahren die EROD-Medianwerte von Weibchen und Männchen am stärksten voneinander ab. Darin kam vermutlich zum Ausdruck, dass im Tyne immer Weibchen mit entwickelten Ovarien untersucht worden sind und ihre EROD-Aktivitäten negativ mit der Gonadenreife korreliert waren.
- Am Beispiel verschiedener Literaturangaben zur EROD-Aktivität von Klieschen in der Deutschen Bucht wird gezeigt, dass in diesem relativ kleinen Nordseegebiet die Enzymaktivitäten zwischen verschiedenen Probenahmestellen und Jahren stark variieren. Diese Variation legt

die Annahme unterschiedlicher Schadstoffeinflüsse nahe. Es wird festgestellt, dass die bislang vorliegenden Untersuchungsergebnisse kaum miteinander vergleichbar sind, u. a. weil unterschiedliche Messverfahren angewandt wurden.

- Unter Berücksichtigung des gesamten Nordseegebiets wurden im Winter und Sommer deutliche Unterschiede zwischen Stationen festgestellt. Im Winter waren die höchsten mittleren EROD-Aktivitäten juveniler Klieschen bzw. adulter Männchen um bis zu 10-mal höher als die niedrigsten Werte. Die Medianwerte adulter Weibchen variierten stärker.
- Unter Berücksichtigung aller untersuchten Ästuar-Stationen hatten Flunderweibchen und -männchen ERODM-Aktivitäten zwischen 50 und 400 pmol • min⁻¹ • mg⁻¹ und ERODL-Aktivitäten zwischen 1 und 10 nmol • min⁻¹ • g⁻¹.
- Es ist eine grobe Wertung der Ästuare möglich, die sich an dem jeweils höchsten EROD-Medianwert orientiert: Im Jahr 1991 wurden die höchsten Aktivitäten an Weibchen und Männchen aus Elbe und Tyne, niedrige Werte an Fischen aus Weser und Schelde gemessen. 1992 waren die Aktivitäten in Elbe und Schelde hoch, in Weser und Themse niedrig.
- In Ästuaren waren jeweils bei Flunderweibchen und -männchen die Verteilungsmuster der ERODM- und ERODL-Medianwerte ähnlich. In den untersuchten Flussabschnitten stimmten die Verteilungsmuster der EROD-Medianwerte von Weibchen und Männchen in der Regel gut überein. In beiden Untersuchungsjahren wurden unterschiedliche Gradienten nachgewiesen.
- Anhand von ordinalskalierten (Rangzahlen) EROD-Medianwerten und mittleren PCB-Gehalten in den Lebern von Flunderweibchen (s. Landwüst et al. 1996) war es möglich, die regionalen Verteilungsmuster beider Parameter direkt zu vergleichen. Es konnte für sechs von acht gegenübergestellten Datensätzen eine Übereinstimmung zwischen den Verteilungsmustern der EROD-Aktivitäten und der PCB-Belastungen gezeigt werden.
- Im Frühjahr 1991 wurden entlang eines Transekts von der Eider-Mündung bis in das nordfriesische Wattenmeer bei Klieschen sehr große Stationsunterschiede nachgewiesen und dies auf einen Einfluss der Elbe-Fahne auf die küstenfernen Stationen zurückgeführt.
- In beiden Untersuchungsjahren stimmten im Januar die geographischen Verteilungsmuster der mittleren EROD-Aktivitäten von adulten Klieschenmännchen und juvenilen Klieschen statistisch signifikant überein. Es wird angenommen, dass die geographischen Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten auf Schadstoffeinflüsse zurückzuführen waren, die die CYP1A-Aktivitäten juveniler Klieschen und adulter Männchen in ähnlicher Weise induzierten.
- Während der Vorlaichzeit im Januar (1991, 1992) stimmten auch die EROD-Verteilungsmuster von adulten Weibchen zum Teil gut mit den für adulte Männchen und juvenile Klieschen nachgewiesenen Mustern überein. Aus diesen Korrelationen wird geschlossen, dass das CYP1A-System laichreifer Klieschenweibchen durch bioverfügbare Schadstoffe induziert war.
- Januar 1991 und 1992 wiesen adulte und juvenile Klieschen von einer Station im Ekofisk-Ölfeld die höchsten EROD-Aktivitäten auf. Die hohen Enzymaktivitäten werden auf Ölverschmutzungen in diesem Gebiet zurückgeführt, die von Offshore-Plattformen in Zusammenhang mit der Erdölförderung ausgehen.

- Hohe Enzymaktivitäten wurden in der östlichen Nordsee gemessen. Vergleichsweise hohe EROD-Aktivitäten kamen auch auf der Doggerbank vor.
- In der östlichen Nordsee stiegen die EROD-Aktivitäten von Süden nach Norden und in der zentralen Nordsee (Doggerbank) von Westen nach Osten an. Als Erklärung für diese geographischen Verteilungsmuster werden Schadstoffbelastungen dieser Gebiete durch mit der Elbefahne herangeführte Stoffe (östliche Nordsee) sowie Einträge aus der südlichen und westlichen Nordsee und den atmosphärischen Transport und die küstenferne Deposition (Doggerbank, östliche Nordsee) angenommen.
- Das geographische Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten von Klieschenmännchen stimmt gut mit dem Verteilungsmuster der Konzentrationen von PCB-Kongeneren in den Lebern überein (Januar 1991, 1992, insgesamt acht Stationen).
- Das geographische Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten von Klieschenweibchen mit entwickelten Ovarien ließ dagegen keine Übereinstimmung mit der PCB-Belastung ihrer Lebern erkennen (Januar 1991, 1992, insgesamt 14 Stationen).

In der Untersuchung wurden regionale Verteilungsmuster der EROD-Aktivitäten in der Nordsee und in Ästuaren auf unterschiedliche Schadstoffeinflüsse zurückgeführt. Unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Kenntnisstandes sollte der Biomarker in einem biologischen Effektmonitoring in der Nordsee nur untersucht werden, wenn parallel ergänzende Forschungen erfolgen. Sie sollten dazu beitragen, die EROD-Aktivität von Fischen besser beurteilen zu können, als es zur Zeit möglich ist. In erster Linie sollten Einflussgrößen eingegrenzt und zusätzliche Parameter berücksichtigt werden. Aus den Ergebnissen ergeben sich u. a. die folgenden Empfehlungen:

- Zum Zweck des Biomonitoring sollte die EROD-Aktivität adulter Klieschenmännchen und/oder juveniler Klieschen untersucht werden.
- Vergleichende Untersuchungen in einem großen Nordseegebiet sind im Zeitraum September bis Januar möglich. Dabei ist jedoch der mögliche Einfluss von Laichwanderungen adulter Männchen zu berücksichtigen. Für Teilgebiete sind die Untersuchungszeiträume individuell zu bestimmen.
- Die weitere Forschung sollte sich auf kleine überschaubare Gebiete beschränken (z. B. mehrere Transekte in der Deutschen Bucht).
- In weiteren Untersuchungen sollte geprüft werden, ob sich auch die EROD-Aktivität juveniler Klieschen im Jahresverlauf ändert.
- Die Grundaktivität von Klieschen und Flundern sollte unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden, um die an Wildfängen gemessenen Enzymaktivitäten besser einschätzen zu können. Langzeitstudien an Wildfängen sind erforderlich, um Hinweise zur Variabilität der EROD-Aktivität zu erhalten.
- Die EROD-Aktivität sollte nur gemeinsam mit anderen Parametern untersucht werden, die z. B. molekulare, biochemischen und morphologische Veränderungen der Leber erfassen. Begleitend sollten Konzentrationen möglicher CYP1A-Induktoren in der Leber, im Sediment und im Wasser untersucht werden.