

Überprüfung und Funktion der elektrischen Fischescheuchanlage vor dem Kernkraftwerk Pickering (Ontario-See, Kanada) und die möglichen Gefahren für den Menschen

1. Einleitung

Auf Bitten der Ontario Hydro wurden die Verfasser zu einer in Toronto stattfindenden Konferenz eingeladen, um die möglichen Gefahren zu erörtern, die durch den Einbau der elektrischen Fischescheuchanlage vor dem Einlaufbauwerk des Kernkraftwerkes Pickering entstehen könnten. Außerdem sollte auch die Funktion der Anlage überprüft und deren Wirkung auf die Fische diskutiert werden.

2. Konferenzbericht über die möglichen Gefahren elektrischer Fischescheuchanlagen für den Menschen

An den Besprechungen über die möglichen Gefahren nahmen Wissenschaftler folgender Forschungsbereiche teil: Elektrotechnik, Umwelt, Chemie, Biologie und Fischereiwissenschaft. Weitere Teilnehmer waren leitende Ingenieure vom Kernkraftwerk Pickering sowie von der Planungs- und Projektleitung der Ontario Hydro.

Zu Beginn der Konferenz wurde von den Verfassern, die Mitglieder des VDE-Komitees K 233 (Elektrofischereianlagen) sind, darauf hingewiesen, daß die in Pickering bestehende Anlage nach den z. Zt. gültigen VDE Bestimmungen (Bau - Errichtung - Betrieb) installiert wurde.

Was die Gefahr einer derartigen Anlage betrifft, so liegen keine direkt vergleichbaren Ergebnisse aus der einschlägigen Literatur vor, da diese Anlage, wie alle Elektrofischescheuchanlagen, die in der Bundesrepublik Deutschland gebaut und exportiert werden, mit Stromimpulsen niedriger Frequenz (3 Impulse/sec) arbeitet.

Der im folgenden beschriebene Gefahrenbereich kann sich daher nur auf Untersuchungen, die mit Wechselstrom oder phasenangeschnittenem Wechselstrom einer Frequenz von 50 Hz durchgeführt wurden, beziehen.

Die nachfolgend angegebenen Werte nach JACOBSEN u. a. (1, 2, 3) beruhen auf einer diagonalen Durchströmung (linke Hand - rechter Fuß) des menschlichen Körpers. Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einem phasenangeschnittenen Winkel von  $0^\circ$  und von z. B.  $90^\circ$ , wenn die Einwirkungsdauer  $> 100$  ms ist (Gefährdungsgrenze). JACOBSEN unterscheidet die Gefährdungsgrenze von der mittleren gefährlichen Stromstärke in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer.

Die Gefährdungsgrenze bei einer Einwirkungsdauer 100 ms liegt

wenn  $\gamma = 0^\circ$  bei ca 80 mA<sub>eff</sub>  
 $\gamma = 90^\circ$  bei ca 100 mA<sub>eff</sub>

ist die Einwirkungsdauer  $< 100$  ms, ist Herzkammerflimmern unwahrscheinlich, wenn der Strom 200 mA<sub>eff</sub> nicht überschreitet. Nach neuesten Erkenntnissen (4), gewonnen in annähernd vergleichbaren Tierversuchen, läßt sich Herzkammerflimmern bei sehr kurzen elektrischen Durchströmungen (20 ms, eine Sinuswelle des technischen Wechselstromes von 50 Hz) mit Stromstärken ab 2 A (Körperstrom) nur auslösen, wenn dieser Stromstoß in die ansteigende Flanke der T-Welle des Elektrokardiogramms fällt. Als besonders empfindlich ist der Wendepunkt der ansteigenden Flanke der T-Welle anzusehen.

Diese Untersuchungen von REINHOLD kommen den in den Elektrofischscheuchanlagen verwendeten Impulsen sehr nahe. Leider ist nicht bekannt, ob diese genannten Werte auch für eine Impulsfrequenz von 3 Hz anwendbar sind.

Herr Dipl.-Ing. J. KORTSCHINSKI - Forschungsbereich Elektronik - (Montreal) hat ebenfalls einen ausführlichen Bericht über die ihm vorliegenden Untersuchungsergebnisse vorgelegt. Ferner wies er auf die für Schwimmbäder vorliegenden Bestimmungen hin. Diese beinhalten, daß innerhalb eines Schwimmbeckens eine 60 Hz Wechselspannung nicht  $> 2$  V sein darf. Herr KORTSCHINSKI referierte auch Ergebnisse von KOUWENHOVEN, der ausführliche Untersuchungen an Hunden durchführte. Man kam zu der Überzeugung, daß die Untersuchungsergebnisse von KOUWENHOVEN, extrapoliert man diese Werte auf den Menschen, mit den von uns vorgetragenen Ergebnissen übereinstimmen.

Es soll hier noch einmal erwähnt werden, daß sich alle diese Werte auf eine Längsdurchströmung des menschlichen Körpers bei Wechselstrom oder phasenangeschnittenem Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz bzw. 60 Hz beziehen. Die Fischeanlage in Pickering, wie alle Scheuchanlagen, die von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei konzipiert werden, arbeitet mit einem phasenangeschnittenem Wechselstrom ( $\gamma = 90^\circ$ ) und einer Taktfrequenz von 3 Impulsen/sec. Eine exakte Beantwortung dieser Frage konnte auf der Konferenz in Toronto nicht gegeben werden, da alle Untersuchungen von einer direkten Berührung mit den stromführenden Teilen ausgehen. Das Verhalten eines Schwimmers im elektrischen Feld einer Fischeanlage ist nicht bekannt. Da die Elektroden einer solchen Anlage aufgrund ihres Abstandes nicht gleichzeitig berührt werden können, sind die genannten Werte nur bedingt vergleichbar.

### 3. Untersuchung über die Wirksamkeit der elektrischen Fischeanlage

Im Ontario-See sind mehr als fünfzehn Fischarten vertreten. Neben den Alewifes (*Alosa pseudoharengus*), die in der größten Anzahl vertreten sind (über 90 % aller Fische) kommen weitere Maifischarten Stinte, Stichlinge, Zwergwelse, Kaulkopf, Fluß-, Zacken- und Sonnenbarsch, Neunaugen, Lachse, Zander u. a. vor. Die Aufgabe der Elektrofischeanlage ist, die Alewifes weitgehend zurückzuhalten. Daher war es wichtig, Einzelheiten über das physiologische Verhalten dieser Fische zu erfahren. In Gesprächen mit Professor Frey, Professor McCauley, der Universität und den Biologen H. Balesic und S. Griffiths der Aquatic Biology Section Chemical Research Department wurde es deutlich, daß es sich hier um eine sehr empfindliche Fischart handelt. Frey und McCauley, beide haben den *Alosa pseudoharengus* seit Jahren untersucht, vertreten sogar die Meinung, daß

Maifische, wenn diese in ein elektrisches Feld geraten, vor Angst einen Herzstillstand bekommen würden und absterben. Nach einer langen Diskussion, in der auch die Osmoregulation dieser Fische eine wesentliche Rolle spielte, kam man zu dem Ergebnis, daß diese Fische nicht wie andere Fischarten in ihrem physiologischen Verhalten anzusehen sind. Die Alosa-Arten sind pelagisch lebende Schwarmfische. Ein wesentlicher Grund der außerordentlich großen Empfindlichkeit dieser Alosa-Arten mag darin zu sehen sein, daß sie seit 1890 als endemische Art im Ontario-See vorkommen. Es ist weiterhin bekannt, daß diese Fische sehr empfindlich gegen Temperaturschwankungen sind. Jährlich treten große Massensterben dieser Fische auf. Der Grund dieser Massensterben ist bis heute noch nicht geklärt.

Um eine Veränderung im physiologischen Verhalten feststellen zu können, werden neben Aktivitätsmessungen auch Messungen nach HALSBAND (5) empfohlen, die das Verhalten der Maifische in der ersten bis dritten Reaktion (Galvanotaxis, Galvanonarkose) vor allem während der Zeiten von Anfang April bis Mitte Juni klären sollen. Diese Untersuchungen werden von Herrn Balesic vorgenommen. Eine moderne Apparatur, in der alle erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten hergestellt werden können und die das Verhalten der Fische über Schreiber registriert, ist vorhanden.

Verfasser werden über die Ergebnisse unterrichtet und haben sich bereit erklärt, auch weiterhin eng mit den kanadischen Kollegen zusammenzuarbeiten und die Ergebnisse auszutauschen.

### 3.1 Analysendaten des Ontario-Sees

Um die Wirksamkeit einer elektrischen Fischeuchanlage beurteilen zu können, ist es auch notwendig, die chemische Zusammensetzung des Wasserkörpers betreffs Schwermetallzusammensetzung zu kennen. Im folgenden sind die Durchschnittswerte der einzelnen Schwermetallsalze in ppb angegeben:

	<u>ppb</u>		<u>ppb</u>
Cadmium	0,090	Mangan	0.500
Chrom	0.074	Nickel	2.320
Kobald	0.100	Strontium	185.000
Kupfer	6.400	Vanadium	0.030
Eisen	5.100	Zink	8.000
Blei	0.830	Quecksilber	0.270
Molybdän	1.080	(anorg.)	

Durch die hier angeführten Konzentrationen der Schwermetallsalze kann eine Beeinflussung des physiologischen Zustandes der Fische ausgeschlossen werden.

### 3.2 Meßdaten der elektrischen Fischeuchanlagen

Die Elektrofischeuchanlage vor dem Kernkraftwerk Pickering ist von HALSBAND (6, 7) beschrieben. An dieser Stelle sei nur kurz erwähnt, daß die Anlage aus einem 300 kVA Transformator mit galvanisch getrennten Wicklungen, 2 dreiphasig antiparallel arbeitenden Impulsgeräten sowie 42 Hauptelektroden und 24 Gegen-Elektroden besteht. Der von den Hauptelektroden abgesperrte Gewässerbereich beträgt über 200 m.

Vor Beginn des Ausmessens der elektrischen Felder wurden die beiden Impulsgeräte überprüft und folgende Werte ermittelt:

Impulsgerät I (Einspeisung der westlich gelegenen Elektroden)

	<u>Phase R</u>	<u>Phase S</u>	<u>Phase T</u>
	200 A <sub>S</sub>	210 A <sub>S</sub>	210 A <sub>S</sub>
	570 V <sub>S</sub>	570 V <sub>S</sub>	570 V <sub>S</sub>
Impulse/sec	3,2	3,3	3,7
Stromflußzeit	> 5 ms	> 5 ms	> 5 ms

Impulsgerät II (Einspeisung der östlich gelegenen Elektroden)

	<u>Phase R</u>	<u>Phase S</u>	<u>Phase T</u>
	220 V <sub>S</sub>	220 A <sub>S</sub>	220 A <sub>S</sub>
	570 V <sub>S</sub>	570 V <sub>S</sub>	570 V <sub>S</sub>
Impulse/sec	3	3,2	3,7
Stromflußzeit	> 5 ms	> 5 ms	> 5,5 ms

Ausmessen der elektrischen Felder vor den Hauptelektroden

Am Tage der Messungen betrug der Widerstand des Wassers im Ontario-See = 3250 Ω x cm. Die elektrischen Felder wurden mit einem simulierten 25 cm langen Fisch ausgemessen. Der Widerstand zwischen diesen Meßelektroden betrug 990 Ω. Hieraus resultiert, daß zur Erreichung der für den Scheucheffekt notwendigen Stromdichte von 2,56 S eine Spannung an den Meßelektroden von ca. 1,0 V notwendig ist.

An jeder Phase eines Steuergerätes sind jeweils 7 Hauptelektroden angeschlossen. Somit ergaben sich bei zwei dreiphasigen Impulssteuergeräten sechs Elektrodengruppen und somit sechs Meßpositionen. Alle Messungen wurden, da es sich um pelagische Fische handelt, in einer Wassertiefe von 3 m durchgeführt. Es wurden Meßdaten sowohl für einen parallel zu den Hauptelektroden als auch direkt auf die Hauptelektroden zuschwimmenden Fisch ermittelt. Bei allen Meßpositionen konnte festgestellt werden, daß das elektrische Feld bereits 20 m vor den Hauptelektroden groß genug war, da an den Meßelektroden bereits eine Spannung > 1 V gemessen wurde. Mit abnehmender Entfernung zu den Hauptelektroden stiegen die Meßwerte bis > 15 V an.

Da die Alosa-Arten überwiegend in einem Schwarm leben, kann man diesen Schwarm als "Einheit" betrachten. Das bedeutet, daß bei einem Wasserwiderstand von 3250 Ω x cm der gesamte Widerstand des Fischschwarmes wesentlich geringer ist. In weiteren Untersuchungen des Kernkraftwerkes Pickering sollte geklärt werden, wie sich diese Fischschwärme den elektrischen Kraftlinien gegenüber verhalten. Es wird vermutet, daß nicht ausschließlich der einzelne Fisch, sondern der gesamte Schwarm auf die Scheuchimpulse rea-

giert. Hier könnte auch der Grund der Beobachtungen zu sehen sein, daß bei vielen Alewifes eine Paralyse im elektrischen Feld eintritt. Es wurde empfohlen, da die Reaktion dieser Fische auf den elektrischen Strom nicht bekannt ist, sowohl die Spannung als auch die Impulsfrequenz herabzusetzen. Von den Biologen von Pickering werden über zwei Unterwasser-Fernsehkameras das Verhalten dieser Alewifes beobachtet.

#### 4. Zusammenfassung

Aufgrund der von kanadisch-deutscher Seite vorgetragenen Untersuchungsergebnisse in Toronto kam man zu der Überzeugung, daß es sehr schwierig ist, die Fragen der Gefährlichkeit eindeutig zu klären. Es gibt keine einschlägigen Untersuchungen, die Informationen über das Verhalten eines im Wasser befindlichen Menschen gegenüber den im Bereich einer Elektrofischscheuchanlage vorliegenden Impulsformen und deren Anzahl beinhalten.

Das physiologische Verhalten der Alosa-Arten im Ontario-See entspricht nicht dem anderer Alosa-Arten.

Der Bericht enthält ferner die an den Impulssteuergeräten vor dem Einlaufbauwerk des Kernkraftwerkes Pickering ermittelten Daten und die vor den Hauptelektroden gemessenen Spannungen.

#### Literatur

- JACOBSEN, J.; BUNTENKÖTTER, S. und SCHREYER, L.: Gefährdungsbereiche elektrischer Ströme und Sicherheitsbereiche eines FI-Schutzschalters mit  $I_{\Delta N} = 30 \text{ m A}$ . Elektrotech. Z. 26 (12): 321 - 325, 1974
- JACOBSEN, J.: Die Gefährdung durch phasenangeschnittenen und gleichgerichteten elektrischen Strom. Diss. TU Hannover 1973
- JACOBSEN, J.; BUNTENKÖTTER, S. und REINHARD, H.J.: Experimentelle Untersuchungen an Schweinen zur Frage der Mortalität durch sinusförmige, phasenangeschnittene sowie gleichgerichtete elektrische Ströme. Biomedizinische Technik (im Druck)
- REINHOLD, K.: Ermittlung der Gefährlichkeit elektrischer Durchströmung: Verhütung von Elektro-Unfällen bei impulsförmigen Schwankungen (Schwingungspaketsteuerungen) Bericht: TU Hannover (6.75), 1975 (unveröffentlichtes Manuskript)
- HALSBAND, E.: Einfluß der Stoffwechselintensität auf die Reizempfindlichkeit der Fische auf elektrischen Strom. Arch. FischWiss. 8 (1/2): 140 - 150, 1957
- HALSBAND, E.: Elektrofischscheuchanlage für Kanada. Infn Fischw. 22 (1) : 21 - 22, 1975
- HALSBAND, E.: Funktionsprüfung der elektrischen Fischeuchanlage vor dem Kernkraftwerk Pickering/Ontario. Infn Fischw. 23 (3): 79, 1976

Halsband, E. u. Rask, H.J.  
Institut für Küsten- und Binnenfischerei  
Hamburg