

RIVO

*gelyk*  
BIBLIOTHEEK  
RIJKSINSTITUUT VOOR  
VISSERIJONDERZOEK

TO 84-08

EINDRAPPORT VAN HET ONDERZOEK NAAR  
DE MOGELIJKHEDEN TOT HET WEGHOUDEN  
VAN VIS BIJ WATERINLAATWERKEN DOOR  
MIDDEL VAN ELEKTRISCHE VISWERINGEN.

H. Jansen & R.H. Haddingh ).

TO 84-08

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK  
RIJMUIDEN

RIJKS INSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK

Haringkade 1 - Postbus 68 - IJmuiden - Tel. (02550) 31614

Afdeling :

TECHNISCH ONDERZOEK

Rapport :

TO 84-08

EINDRAPPORT VAN HET ONDERZOEK NAAR  
DE MOGELIJKHEDEN TOT HET WEGHOUDEN  
VAN VIS BIJ WATERINLAATWERKEN DOOR  
MIDDEL VAN ELEKTRISCHE VISWERINGEN.

Auteur :

H. Jansen & R.H. Hadderingh ^).

Project :

7-7035

Projectleider :

Ir. H. Jansen

Datum van verschijnen :

December 1984

Inhoud :

- SAMENVATTING.
- I INLEIDING.
  - II PROBLEEMSTELLING.
  - III DE OPTIMALE PARAMETERWAARDEN  
VAN EEN ELEKTRISCHE VISWERING  
VASTGESTELD UIT LABORATORIUM-  
EXPERIMENTEN.
  - IV HET ONTWERPEN VAN EEN ELEKTRISCHE  
VISWERING.
  - V DE EFFECTIVITEIT VAN DE EXPERI-  
MENTELE ELEKTRISCHE VISWERING.
  - VI CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.
  - VII LITERATUUR.
  - VIII APPENDIX I.
  - IX APPENDIX II.

DIT RAPPORT MAG NIET GECITEERD WORDEN ZONDER TOESTEMMING VAN  
DE DIRECTEUR VAN HET R.I.V.O.

^) Adres drs. R.H. Hadderingh:

N.V. tot Keuring van Elektrotechnische Materialen  
Postbus 9035, 6800 ET Arnhem. Telefoon (085) 569111.

2293727

EINDRAPPORT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN TOT HET WEGHOUDEN  
VAN VIS BIJ WATERINLAATWERKEN DOOR MIDDEL VAN ELEKTRISCHE VISWERINGEN.

=====

SAMENVATTING.

In 1977 ontstond bij de Rijkswaterstaat behoefte aan onderzoek naar de mogelijkheden om vis bij inlaatwerken van bijvoorbeeld koelwatersystemen weg te houden. Doel van het onderzoek was om de sterfte van vooral jonge vis als gevolg van het terechtkomen in de inlaatwerken van koelwatersystemen te verminderen.

Gezien de reeds op het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) aanwezige kennis en ervaring op het gebied van elektriciteit in relatie tot vissen, verzocht de Rijkswaterstaat het RIVO het door haar gewenste onderzoek uit te voeren. Besloten werd dit onderzoek te laten verrichten door een werkgroep van medewerkers in tijdelijke dienst, die door de Rijkswaterstaat betaald zou worden, maar vanuit het RIVO zou opereren. Bij de uitvoering van het onderzoek zijn drie fasen te onderscheiden geweest:

- een oriënterende fase in 1978 gericht op het verzamelen van basisgegevens,
- een laboratoriumfase in de periode 1978/1979 waarbij geëxperimenteerd werd in proefopstellingen in een stroomgoot in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft; de resultaten werden in 1980 uitgewerkt tot een ontwerp voor een praktijkopstelling,
- een praktijkfase in de periode 1981/1984 waarin aan de hand van veldexperimenten in een opstelling bij een waterinnamepunt van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK III) te Enkhuizen de effectiviteit van de ontwikkelde elektrische viswering werd nagegaan.

Het laboratoriumonderzoek resulteerde in een theoretisch goed onderbouwd, praktisch goed te verwezenlijken ontwerp van een elektrische viswering.

De experimenten in de stroomgoot gaven daarbij dusdanig hoopvolle resultaten, dat overgang naar de uitvoering van relatief kostbare veldexperimenten te Enkhuizen ten volle gerechtvaardigd was.

Bij de uitvoering van de veldexperimenten is een enorm grote spreiding vastgesteld in het aantal vissen dat de ontworpen viswering onder de diverse omstandigheden passeerde. Als gevolg van de grote grilligheid van de vrije natuurbleden storingen door zaken als golfbewegingen onder invloed van de wind en algenbloei van een dermate grote betekenis te zijn, dat het effect van de eigenlijke elektrische viswering daarin min of meer verdween. Het was daardoor bijzonder moeilijk significante verschillen in vispassages aan te geven als gevolg van toestandsverschillen bij de viswering. Voor zover er conclusies kunnen worden getrokken wijzen de resultaten er op dat de 0-jarige vis van de meeste soorten wel wordt geweerd. De 0-jarigen van enkele kwantitatief onbelangrijke soorten en de eveneens kwantitatief onbelangrijke oudere vis werden echter juist aangetrokken

door de viswering.

Samenvattend kan daarom gesteld worden dat de resultaten van de praktijkexperimenten over de periode 1981/1984 hebben aangetoond, dat de werking van het onderzochte type elektrische viswering te onzeker is en tevens de prijs per tegengehouden vis te hoog om een dergelijke viswering te kunnen voorschrijven.



## I. INLEIDING.

De laatste decennia is het gebruik van oppervlaktewater ten behoeve van o.a. koel- en drinkwater sterk toegenomen, terwijl in 1977 de prognose was dat de komende jaren deze toename nog verder zou doorgaan. Bij het innemen van oppervlaktewater worden vaak grote hoeveelheden jonge vis ingezogen. Bij elektriciteitscentrales varieerden de aantallen van gemiddeld 1,2 miljoen exemplaren per jaar voor een riviercentrale van 1000 MW (R.H. Haddingh, G.H.F.M. van Aerssen, L. Groeneveld, H.A. Jenner & J.W. van der Stoep, 1983) tot gemiddeld 16 miljoen exemplaren voor de centrale Bergum van 640 MW aan het Bergummermeer (J.W. van der Stoep, 1982).

De enkele bestaande viskeringen in Nederland zijn niet in staat gebleken jonge vis tegen te houden. Bovendien kon in de literatuur geen in de praktijk eenduidig werkende viskering worden gevonden. Om deze redenen ontstond bij Rijkswaterstaat behoefte aan onderzoek naar de mogelijkheden om vis bij met name inlaatwerken van koelwatersystemen weg te houden door middel van elektroschermen.

Indien de vis zou kunnen worden tegengehouden, zou dat niet alleen een beter beheer van het oppervlaktewater betekenen, maar zouden ook de bedrijven bij de bedrijfsvoering minder hinder ondervinden van de ingezogen vis.

Gezien de reeds op het RIVO aanwezige kennis en ervaring op het gebied van elektriciteit in relatie tot vissen, verzocht de Rijkswaterstaat in 1977 het RIVO het door haar gewenste onderzoek uit te voeren. Besloten werd dit onderzoek te laten verrichten door een werkgroep van medewerkers in tijdelijke dienst, die door de Rijkswaterstaat betaald zou worden, maar vanuit het RIVO zou opereren (voor de samenstelling van de werkgroep zie APPENDIX I). Voor de begeleiding van de werkgroep werd de "Begeleidingsgroep RIVO-onderzoek elektroschermen" in het leven geroepen (voor de samenstelling van de Begeleidingsgroep zie APPENDIX II).

Na een oriëntatieperiode waarin onder andere een methode werd ontwikkeld voor het meten van de elektrische veldsterkte (H. Jansen en R.M. Aalten, 1979; R.M. Aalten, 1980), zijn in 1978/1979 experimenten uitgevoerd waarbij de invloed van diverse parameters op het terugkeergedrag van goudwindes is bepaald (H. Jansen, J. Sloof, R.M. Aalten & G.P. Boonstra, 1980).

Op basis van deze gegevens is een experimentele elektrische viskering ontworpen welke in 1980 bij de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK III) te Enkhuizen is gebouwd (H. Jansen & J.H.A. van Wakeren, 1980).

In 1981 werd deze experimentele viskering in de praktijk getoetst. Uit dit onderzoek bleken nog geen definitieve conclusies afgeleid te kunnen worden (J. Sloof en H. Jansen, 1982).

Daar de verwachtingen echter positief waren, werd eind 1981 besloten het onderzoek met drie jaren te verlengen. Wegens de veelheid van parameters en de korte periode van het jaar waarin de 0-jarige vis aanwezig is, waren deze drie jaar (1982 t/m 1984) nodig om een definitieve uitspraak te kunnen doen over de effectiviteit van de viskering in de praktijk.

Met het onderzoek in 1982 werden de meeste onderzoekactiviteiten van het Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO) beëindigd (H. Jansen en W. Dekker, 1984).

Het onderzoek in 1983 en 1984 is daarna hoofdzakelijk uitgevoerd door de N.V. tot Keuring van Elektrotechnische Materialen (KEMA) (J. Sloof en R.H. Hadderingh, 1984 en R.H. Hadderingh, G.H.F.M. Aerssen en J.W. van der Stoep, 1984).

In 1984 is er van de zijde van het RIVO nog enig aanvullend onderzoek gedaan naar de talrijkheid en de lengte van jonge vis voor het onderzochte elektroscherm in het WRK-III-bekken te Enkhuizen (J.W. van der Heul, L.A. Schaap en J. Willemsen, 1984).

Dit eindrapport geeft een beschrijving van het ontwerp van een elektrische viswering en laat de effectiviteit er van zien voor met name de 0-jarige vis.

## II. PROBLEEMSTELLING.

Het ontwikkelen van een elektrische viswering komt neer op het bepalen van die parameterwaarden waarbij de effectiviteit van de viswering maximaal is, dat wil zeggen waarbij het visdoorlaatpercentage minimaal is. De vrije parameters van een elektrische viswering zijn onder te verdelen in tijdsafhankelijke parameters zoals:

$f$  de pulsherhalingsfrequentie van één elektrode,  
 $\tau$  de pulsduur,  
 $p_v$  de pulsform;  
 Bij sequentiëel bekrachtigen van verschillende elektrodes ontstaat voorts een pulstrein met:  
 $\Delta T$  het tijdsinterval tussen de pulsen van de diverse elektrodes,  
 $n$  het aantal elektrodes dat sequentiëel wordt bekrachtigd.

en plaatsafhankelijke parameters zoals:

$g(x)$  de vorm van de veldopbouwcurve, waarbij  $x$  de coördinaat loodrecht op de viswering is,  
 $e$  de coëfficiënt van de veldsterkte zodat de veldsterkte  $E = e.g(x)$ ,  
 $\gamma$  de hoek van de veldsterktevector ten opzichte van de  $x$ -coördinaat,  
 $\beta$  de hoek van de viswering met de waterstroomrichting.

Verder is de waterstroomsnelheid  $V$  binnen zekere grenzen een vrije parameter die samenhangt met de grootte van de viswering. De veelheid van parameters en de onderlinge afhankelijkheid van hun optimale waarden vormen een groot probleem bij een onderzoek naar deze optimale waarden.

Voor een volledig onderzoek zou erg veel tijd nodig zijn. Ter illustratie een korte berekening:

Stel dat voor het bepalen van het terugkeergedrag van de vissen in een elektrisch veld in één bepaalde instelling met een redelijk betrouwbaar gemiddelde een aantal van  $a$  experimenten nodig zijn (in de praktijk blijkt  $a \approx 8$  te zijn). En stel dat de optimale waarde van één parameter wordt bepaald uit een aantal van  $b$  waarden (in de praktijk is  $b \approx 3$  à  $6$ ; indien men weet waar de optimale waarde ongeveer zal liggen kan  $b$  klein zijn, weet men dat niet dan zal een groot traject moeten worden afgezocht en kan  $b$  al gauw sterk oplopen).

Voor het bepalen van de optimale waarden van één parameter zijn  $a \cdot b$  experimenten nodig, van  $c$  onderling onafhankelijke parameters zijn  $a \cdot b \cdot c$  experimenten nodig, en van  $d$  onderling afhankelijke parameters zijn  $a \cdot b^d$  experimenten nodig.

Van een elektrische viswering zijn op z'n minst de parameters  $f, \tau, p_v$  en  $e$  van elkaar afhankelijk. Met deze 4 afhankelijke en 6 onafhankelijke parameters ( $\Delta T, n, g(x), \gamma, \beta$ , en de stroomsnelheid) zou het aantal benodigde experimenten  $a \cdot (b^4 + 6 \cdot b)$  zijn. Met  $a = 8$  en  $b = 4$  is dat 2240 experimenten.

Met dit aantal experimenten weet men dan de optimale waarden voor één viscategorie (soort, leeftijd) in één omstandigheid.

Als men bedenkt dat gegevens over de werking van de viswering voor

- meerdere lengteklassen,
- meerdere vissoorten,
- dag en nacht,
- verschillende watertemperaturen en -kwaliteiten, en
- verschillende weersgesteldheden

onontbeerlijk zijn, dan zal het duidelijk zijn dat voor het ontwikkelen van een optimale elektrische viswering heel wat onderzoek nodig is.

Van sommige parameters kan de optimale waarde het eenvoudigst in het laboratorium bepaald worden. Andere parameters kunnen het beste in het veld worden onderzocht.

De in het laboratorium onderzochte parameters worden in het volgende hoofdstuk omschreven.



### III. DE OPTIMALE PARAMETERWAARDEN VAN EEN ELEKTRISCHE VISWERING VASTGESTELD UIT LABORATORIUMEXPERIMENTEN.

Van diverse parameters zijn de optimale waarden in het laboratorium bepaald (H. Jansen, e.a., 1980).

In een stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft werden elektroden aangebracht, waarmee met behulp van een voedingsapparaat en schakelmogelijkheden allerlei elektrische velden in het water konden worden opgewekt. Met ruim 6000 goudwindes (Leuciscus idus (L)) zijn "slechts" 447 experimenten uitgevoerd, waarbij bij verschillende elektrische instellingen het terugschrikeffect van de goudwindes werd nagegaan. Bij de beste instelling keerden ongeveer 95 % van de vissen terug. De parameterwaarden hierbij vormen een relatief optimum, dat wil zeggen uit een bescheiden aantal parameterwaarden is een optimum bepaald. Het is overigens denkbaar dat met andere, niet onderzochte waarden voor de parameters nog betere resultaten zouden zijn bereikt. Het was binnen de beschikbare tijd echter niet mogelijk een volledig onderzoek te doen waaruit het absolute optimum gevonden zou kunnen worden.

De gevonden optimale parameterwaarden worden hieronder omschreven. Zij hebben gediend als uitgangspunt voor de opzet van de praktijkexperimenten bij de WRK III als weergegeven in hoofdstuk IV en verder.

De pulsherhalingsfrequentie  $f$  leverde met 6 Hz de beste effectiviteit op. Deze 6 Hz kan als bovengrens beschouwd worden; een factor 2 hogere frequentie resulteerde in 2 à 3-maal zoveel visdoorlaat, een factor 2 lagere frequentie leidde tot een slechts geringe toename in visdoorlaat, maar ook tot engere grenzen ten aanzien van de veldsterktegradiënt.

Voor de pulsduur  $\tau$  leverde 0,7 ms de beste resultaten op. Een viermaal hogere pulsduur leidde tot bijna dezelfde effectiviteit. Of deze resultaten ook door kortere pulsen zouden worden geëvenaard is niet zeker.

Ten aanzien van de pulsform  $p_v$  was een steile voorflank ( $2 \mu s$ ) duidelijk effectiever dan een flauwe ( $400 \mu s$ ).

Voor de richting  $\gamma$  van de elektrische veldvector lieten  $0^\circ$  (= in de zwemrichting van de vis als deze komt aanzwemmen) en  $90^\circ$  de minste vis door. Bij  $180^\circ$  verdubbelde de visdoorlaat.

Voor de veldsterktegradiënt  $dE/dx$  was  $75 \text{ V/m}^2$  (bij  $\tau = 2,6 \text{ ms}$  was deze  $25 \text{ à } 38 \text{ V/m}^2$ ) het meest effectief. Een afwijking met een factor 1,4 naar boven of naar beneden leidde tot een verdubbeling van de visdoorlaat. De veldsterkte waarbij meer dan de helft van de vissen was teruggekeerd, was  $E = 100 \text{ V/m}$  (bij  $\tau = 2,6 \text{ ms}$  was  $E = 50 \text{ V/m}$ ). De eis die aan de veldopbouwcurve moet worden gesteld is hiermee deze,  $dE/dx = 75 \text{ V/m}^2$  bij  $E = 100 \text{ V/m}$ .

De hierboven genoemde waarden zijn gevonden met een lineaire

veldopbouwcurve die een overal gelijke veldsterktegradiënt bezit.

Bij deze optimale waarden keerde 95 % van de vissen die het elektrisch veld inzwommen terug.

In het laboratorium is niet de invloed van het tijdsinterval  $\Delta T$  en het aantal pulsen  $n$  van de pulstrein onderzocht, omdat er tijdens de uitvoering van de laboratoriumexperimenten nog geen zicht was op de waarden waarmee men in de praktijk te maken zou krijgen.

Ook is met betrekking tot de hoek  $\beta$  tussen de viswering en de waterstroom geen onderzoek in het laboratorium verricht, daar hiervoor een zo brede stroomgoot nodig zou zijn, dat het alleen al op grond van de kosten voor de hand ligt dit onderzoek in een praktijksituatie uit te voeren.

Tijdens de experimenten in het laboratorium is ten aanzien van de stroomsnelheden nog gebleken, dat de goudwindes van 7 à 10 cm bij een  $V > 20$  cm/s, en de goudwindes van 4 à 7 cm bij een  $V > 5$  cm/s een afwijkend zwemgedrag begonnen te vertonen inhoudende dat de vissen zich onder deze proefomstandigheden aan de waterstroom trachtten te onttrekken door zich bij de wanden van de stroomgoot te concentreren.

#### IV. HET ONTWERPEN VAN EEN ELEKTRISCHE VISWERING.

Bij het ontwerpen van een elektrische viswering dienen de in het vorige hoofdstuk gegeven optimale parameterwaarden gerealiseerd te worden. Daarnaast zijn er een aantal andere zaken die aan de orde komen zoals:

- a. de grootte van de viswering
- b. de situering van de viswering,
- c. het type viswering,
- d. de hoek  $\beta$  van de viswering met de waterstroom,
- e. de grootte, vorm, afstand en het materiaal van de elektrodes.

##### IV-a. De grootte van de viswering.

Deze wordt bepaald door het quotiënt van het maximum waterdebiet en de maximum toelaatbare stroomsnelheid. De laatste is afhankelijk van de viscategorieën (soort, lengte) die men met de viswering wil tegenhouden. Hoe kleiner de te weren vis hoe lager de maximum toelaatbare stroomsnelheid. De in de literatuur veel gebezigde grens van 30 cm/s is dan ook waarschijnlijk niet gesteld met het oog op het weren van de nog kleine  $0^+$  vis.

Een ruwe regel is dat de maximum zwemsnelheid die een vis langdurig kan handhaven ongeveer gelijk is aan 3-maal zijn lengte per seconde, en de maximum zwemsnelheid die hij kortstondig kan realiseren ongeveer 10-maal zijn lengte per seconde bedraagt. Of deze regel toepasbaar is voor zeer jonge vis is de vraag. In het laboratorium voldeed 7 à 10 cm vis aan deze regel, maar vis van 4 à 7 cm niet. Deze kleine vis begon met een stroomsnelheid boven 5 cm/s al moeite te krijgen.

Ook de praktijkexperimenten van 1982 geven voedsel aan de veronderstelling dat zeer kleine vis slechts stroomsnelheden die aanmerkelijk kleiner zijn dan 3-maal hun lichaamslengte per seconde aankunnen, getuige het feit dat de vispassage van de al dan niet ingeschakelde viswering aanmerkelijk vermeerderd met toenemende stroomsnelheid in het traject 3 t/m 13 cm/s (uitzondering hierop vormen baars en driedoornige stekelbaars). Bij oudere vis (1- of meerjarig) is deze toename niet geconstateerd.

Onderzocht is of een maximum toelaatbare stroomsnelheid van 10 cm/s als uitgangspunt kan dienen met betrekking tot een viswering die  $0^+$  vis moet tegenhouden zowel vanuit het oogpunt van de zwemsnelheden van jonge vis als vanuit het oogpunt van bouwkundige realiseerbaarheid. Een aanmerkelijk lagere stroomsnelheid zou tot dermate grote en dure elektrische visweringen leiden, dat daarmee geen in de praktijk toepasbare oplossingen worden geboden.

De bruikbaarheid van het uitgangspunt van 10 cm/s bleek niet duidelijk aantoonbaar, wegens de onduidelijkheid van de effectiviteit van de viswering bij deze stroomsnelheid.

##### IV-b. De situering van de elektrische viswering.

In principe dient de viswering zo dicht mogelijk voor de inlaat te

worden geprojecteerd om zodoende geen ruimte te creëren waar binnen zich nog een vispopulatie kan ontwikkelen.

De grootte van de viswering (in verband met lage stroomsnelheden, zie paragraaf IV-a) kan beperkingen geven aan de uitvoering van dit principe.

Indien de viswering op of nabij een beton- of staalconstructie moet worden geprojecteerd, moet ervan worden uitgegaan dat een deel hiervan met elektrisch isolerend materiaal dient te worden afgeschermd om een juiste veldopbouw mogelijk te maken en om corrosie van de constructie als gevolg van elektrische stroom te voorkomen.

Indien de toegang tot de inlaat door een kanaal wordt gevormd is het van belang dat de vis de mogelijkheid heeft in dit kanaal tegen de stroom in terug te zwemmen, anders dient de viswering voor de toegangsopening van het kanaal te worden geplaatst.

Verder is de verwachting dat een plaats waar de vis zijdelings (dat wil zeggen loodrecht op de waterstroom) kan ontsnappen, de werking van de viswering positief zal beïnvloeden. Fuikvorming moet dus worden vermeden.

#### IV-c. Het type viswering.

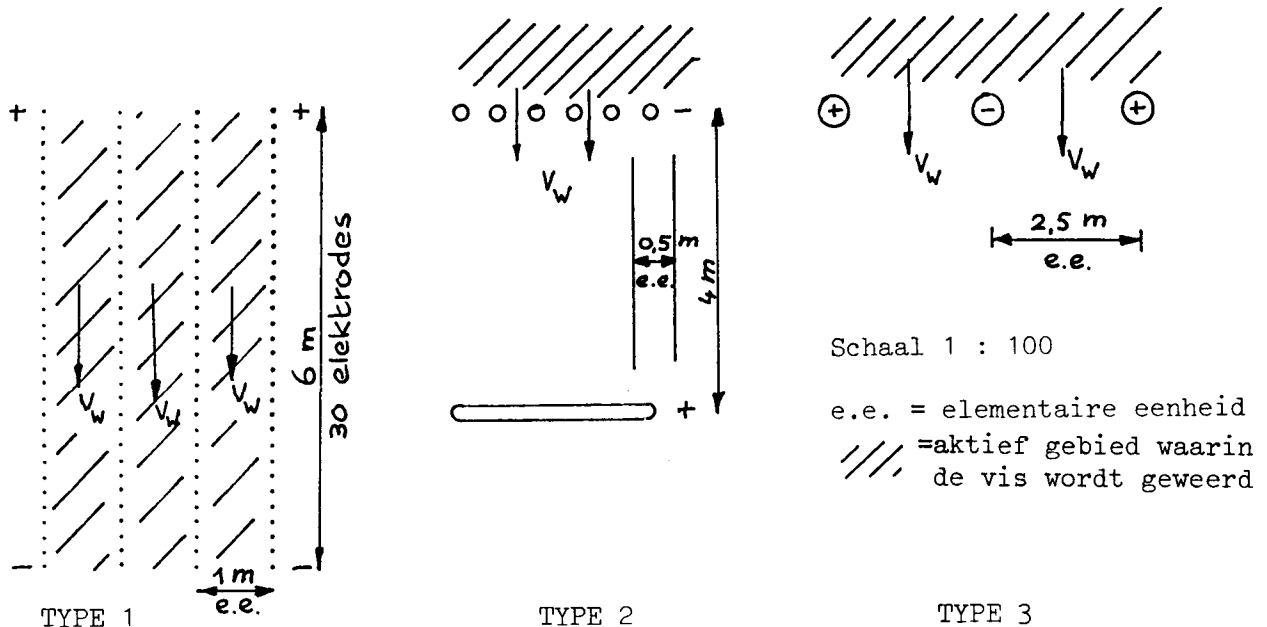
Indien men uitgaat van het in het laboratorium gevonden "optimale" veld, waarbij ongeveer 95 % van de vissen terugkeerde, dan is het van belang dat over de hele breedte en diepte van de viswering dezelfde veldopbouw wordt gerealiseerd en dat de vis in één bepaalde zwemrichting wordt gedirigeerd. Komt de vis onder verschillende hoeken aanzwemmen, dan reduceert de veldsterktegradiënt met de cosinus van deze hoeken, hetgeen een verhoogde visdoorlaat tot gevolg zal hebben.

Aan bovengenoemde uitgangspunten kan het beste worden voldaan met een viswering (type 1, zie figuur 1), die elementair bestaat uit twee rijen elektrodes evenwijdig aan de waterstroom, waartussen - binnen zekere grenzen - elke gewenste veldopbouw gerealiseerd kan worden en waartussen de vis wordt gedirigeerd. Een dergelijke opstelling is in zijn elementaire vorm in het laboratorium gebruikt.

In de praktijk dient een viswering te worden opgebouwd uit meerdere elementaire eenheden naast elkaar, teneinde voldoende dwarsdoorsnede voor het toestromende water te verkrijgen. Een type 1 viswering bestaat dan globaal uit per meter dwarsdoorsnede een ongeveer 6 m lange rij elektrodes in de richting van de waterstroom, met per rij ongeveer 30 elektrodes. Het voordeel van dit type (type 1) viswering is dat alle parameters optimaal kunnen worden ingesteld en dat de vis met veel oriëntatiepunten is omgeven. Een nadeel van dit type is zijn kolossaliteit en de daarmee gepaard gaande hoge kosten. Bovendien kan met dit type alleen vis worden geweerd en niet afgeleid (zie paragraaf IV-d.), de vis zit voortdurend tussen elektrodeschermen.

Een tweede type viswering (type 2, zie figuur 1), elementair bestaande

uit een negatieve en een positieve elektrode, kan in zijn elementaire uitvoering het gewenste elektrische veld bij benadering opwekken. Het actieve gebied van dit type viswering ligt met de waterstroomrichting meegezien voor de negatieve elektrodes, in plaats van tussen de elektrodes by type 1 (zie arcering in figuur 1). Evenals bij het eerste type kan de veldsterktegradiënt eenvoudig met de elektrodespanning worden gevarieerd.



**Figuur 1:** Drie typen elektrische visweringen (getallen geven orde van grootte aan).

Een praktijkviswering van dit tweede type bestaat uit meerdere elementaire eenheden naast elkaar, zodat één rij actieve elektrodes ontstaat en één rij passieve.

De actieve elektrodes dienen de negatieve polariteit te hebben omdat dan  $\phi = 0$ .

Om het karakter van de veldopbouw van de elementaire eenheid te behouden, is het nodig dat alle elementaire eenheden op verschillende tijden worden bekrachtigd. Een nadeel van dit type viswering is dat de pulsen die bestemd zijn voor het gebied van de betreffende elementaire eenheid ook, zij het verzwakt, terecht komen in de naastliggende gebieden. Op deze wijze ontstaat er een pulstrein van  $n$  pulsen, waarbij  $n$  het aantal afzonderlijk bekrachtigde elementaire eenheden van de viswering is. Alleen de eigen puls van de elementaire eenheid is echter effectief, een zwakkere pulstrein van andere elementaire eenheden kan een narcotiserende werking hebben. Gegevens hierover ontbreken.

Een derde type viswering (type 3, zie figuur 1) is er één waarbij alle elektrodes actief voor het weren worden aangewend. Deze viswering bestaat uit één rij elektrodes van afwisselend positieve en negatieve polariteit. Dat laatste betekent dat de veldrichting elke waarde aanneemt ( $0^\circ$  voor de negatieve elektrode,  $90^\circ$  of  $270^\circ$  midden tussen twee elektrodes,  $180^\circ$  voor de positieve elektrode). Verder heeft dit type als nadeel dat de veldopbouwcurve nogal per plaats verschilt (vóór een elektrode anders dan midden tussen twee elektrodes) en ook nauwelijks meer wordt bepaald door de elektrodespanning, maar door de afstand tussen de elektrodes (voor een experimentele viswering een handicap als men juist met de veldopbouw wil experimenteren).

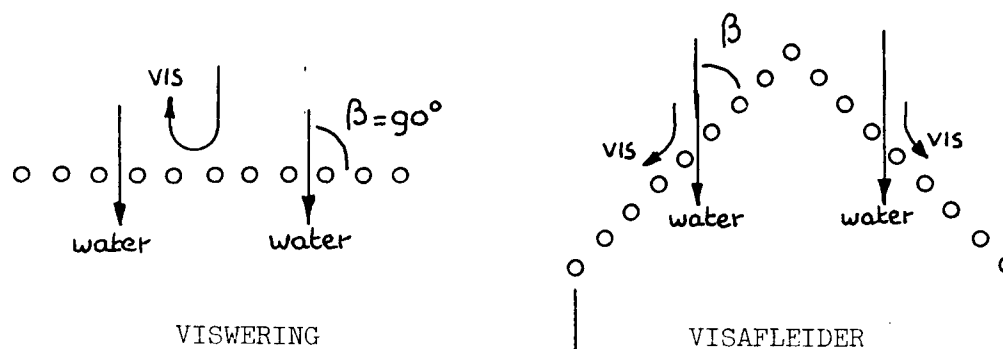
Het derde type viswering is het eenvoudigst en daardoor het voordeligst. Het heeft niet het pulstreinnadeel, maar bij dit type is een compromis gesloten met de veldrichting en plaatselijk met de veldopbouw  $g(x)$ .

Als praktijkviswering wordt het type 1 wegens de hoge kosten niet als haalbaar beschouwd. De voorkeur zal moeten worden gegeven aan een voordeliger viswering met 90 % effectiviteit boven een duurdere met 95 %. Als experimentele praktijkviswering is gekozen voor type 2 wegens het gemak waarmee met de veldopbouw kan worden geëxperimenteerd. Het voordeel van het tweede en derde type ten opzichte van het eerste type is bovendien, dat deze ook als visafleider kunnen worden gebruikt (zie paragraaf IV-d).

#### IV-d. De hoek $\beta$ van de viswering met de waterstroom.

Is de viswering van het type 2 of 3 (zie vorige paragraaf) dan is de hoek  $\beta$  die de rij elektrodes met de waterstroom maakt vrij te kiezen. Is deze hoek  $90^\circ$ , dan is er sprake van weren van vis, is deze hoek kleiner dan is er meer sprake van afleiden van vis (zie figuur 2).

De gekozen type 2 experimentele opstelling te Enkhuizen is als een viswering uitgevoerd met  $\beta = 90^\circ$  (J. Sloof en H. Jansen, 1982).



Figuur 2: Twee mogelijke vormen van een elektrische viswering.



IV-e. De grootte, vorm, afstand en het materiaal van de elektrodes.

Vanuit oogpunt van energiebesparing is een zo groot mogelijke elektrode gewenst. Van andere zijden worden daar grenzen aan gesteld. Met een te grote elektrode verdwijnt het gedeelte van de veldopbouwcurve met hoge veldsterktes dat juist nodig is voor het weren van kleine vis. Met een te grote elektrode in relatie tot de afstand tussen de elektrodes vernauwt de doorstroomopening te zeer en treedt gedeeltelijke kortsluiting op door de naast liggende elektrodes. Met het oog op deze punten is voor de praktijkviswering de elektrodediameter gesteld op 22 cm en de hartafstand tussen de elektrodes op 52 cm.

Reductie van materiaalkosten, zonder aan werende werking in te boeten, kan worden verkregen door een voordelig profiel te kiezen, bijvoorbeeld U-profiel. Elk materiaal zal door de elektrische stroom min of meer worden aangetast. Met het goedkoopste materiaal - staal - zal men het voordeligst uit zijn.

De passieve elektrode (van een type 2 viswering) dient daar te worden opgesteld waar het elektrisch veld ervan niet de veldopbouw vóór de actieve elektrodes verstoort. De beste plaats is (meer dan 2 m) achter de rij actieve elektrodes (gezien vanuit de waterstroomrichting) (zie figuur 1). Er is één passieve elektrode die dienst doet met alle actieve elektrodes. Een passieve elektrode kan bestaan uit meerdere onderdelen die elektrisch met elkaar zijn verbonden; de grootte, vorm en afstand van de individuele onderdelen doen niet ter zake. Het gaat om het natte oppervlak van de passieve elektrode: hoe groter dat is des te kleiner zijn de elektrische verliezen. Een nat oppervlak dat ruim vijfmaal zo groot is als dat van één actieve elektrode is een goede richtlijn.

## V. DE EFFECTIVITEIT VAN DE EXPERIMENTELE ELEKTRISCHE VISWERING.

De experimentele viswering bij een waterwinstation te Enkhuizen (debiet 4000 m<sup>3</sup>/h, breedte 12 m, diepte 2,5 m) was een viswering van het type 2 (zie paragraaf IV-c.) met het voordeel dat de veldsterktegradiënt met behulp van de spanning op de elektrodes kon worden geregeld en met het nadeel dat een trein van meerdere, snel op elkaar volgende pulsen werd opgewekt die een narcotiserende bijwerking zouden kunnen hebben op de vis.

De viswering werd medio 1981 in bedrijf gesteld. Ongeveer 20 meter achter de elektrodenopstelling was een netwerk geplaatst om de doorgelaten vis te vangen. Gezocht werd naar een instelling van de viswering, waarbij zo weinig mogelijk vis werd doorgelaten. Doordat de vis ongeveer twee dagen tussen het netwerk en de elektrodenopstelling verbleef konden geen definitieve resultaten worden aangegeven. Wel bestond de indruk dat de viswering bij rustig weer vis goed tegenhield, ook de 0-vis. Sterke winden daarentegen, bij noordelijke winden (= naar de viswering toe) reeds vanaf windkracht 3, deden de effectiviteit van de viswering sterk afnemen (J. Sloof & H. Jansen, 1982).

In 1982 werden de veldexperimenten voortgezet, nu met twee vlak achter de buitenste rij (negatieve) elektrodes geplaatste fuiken. Bij verschillende spanningen en waterstroomsnelheden werd de doorgelaten hoeveelheid vis met ingeschakelde viswering vergeleken met de doorgelaten hoeveelheid vis met uitgeschakelde viswering.

Bij de uitwerking van de resultaten van het RIVO over 1982 werd gebruik gemaakt van een sterk pessimistische statistische benadering (H. Jansen & W. Dekker, 1984). Hierbij worden alle gevonden verschillen tussen scherm aan en scherm uit voor zover mogelijk toegekend aan andere variabelen als temperatuur en stroomsnelheid, opdat wat dan overblijft met zekerheid valt toe te schrijven aan het effect van het elektrische veld. Op deze wijze wordt een relatief ongunstig beeld verkregen van de waargenomen reductiefactoren. De reductiefactor is hierbij het quotiënt van het aantal passerende vissen met het scherm uit, en het aantal met het scherm aan.

De waarnemingen van 1982 bieden, wegens de in dat jaar gescheiden houden van de vangsten per fuik, tot significante verschillen in de vispassage tussen de ingeschakelde en de uitgeschakelde viswering. De conclusie over 1982 luidt, dat de viswering van een aantal categorieën vis die voor meer dan 80 % van de totale passages deel uitmaakten de vispassage deed afnemen met een reductiefactor 3 à 4. Voor een ongeveer even groot aantal andere categorieën vis, die echter kwantitatief veel minder belangrijk waren, deed het scherm de vispassage toenemen of was de invloed niet te bepalen.

De resultaten van het KEMA-onderzoek in 1983, met nu alleen het elektrische veld als parameter, bleken over het algemeen slecht. Bij ingeschakelde viswering werd zelfs een niet duidelijk significant gemiddelde toename van het aantal doorgelaten vissen gevonden. De reductiefactor bedroeg gemiddeld 0,6 (een vermeerdering dus), een

resultaat dat, hoewel niet significant, negatief genoemd kan worden. Het lijkt erop dat de viswerende werking van het scherm wordt overvleugeld door andere (natuurlijke) factoren: 1981 was een bijzonder warm jaar met een uitzonderlijk grote algenbloei in de zomer (J. Sloof & R.H. Haddingh, 1983).

Het onderzoek van de KEMA in 1984 tenslotte vormde een herhaling van dat in 1983, teneinde definitief vast te stellen of de matige tot slechte resultaten inherent waren aan de viswering of wellicht bepaald waren door toevallige ongunstige omstandigheden als windwerking of intensieve algenbloei.

Ook bij afwezigheid van deze omstandigheden, zoals dat in 1984 het geval was, bleken de resultaten van de elektrische viswering sterk te wisselen. Weer konden zowel afname als toename in de vispassage vastgesteld worden (R.H. Haddingh, G.H.F.M. Aerssen & J.W. van der Stoep, 1984). De reductiefactor in 1984 bedroeg weliswaar 3,2 (wat lijkt op die van 1982), doch deze kon ook bij de meer optimistische benadering van de KEMA niet significant genoemd worden als gevolg van de grote spreiding in de gegevens.

Bij een meer pessimistische statistische benadering van de onderzoekresultaten in 1983 en 1984 als gehanteerd door het RIVO voor 1982 (H. Jansen & W. Dekker, 1984), bleken de resultaten van het KEMA onderzoek, als vermeld in de rapporten van 1983 en 1984, nog minder significant te zijn. De strekking van deze conclusies (de werking van de elektrische viswering is niet duidelijk aantoonbaar) bleef uiteraard overeind. Het is dan ook toelaatbaar de verschillende verwerkingsmethoden door elkaar te hanteren.

Alles bijeengenomen leverde het onderzoek in de periode 1981 tot en met 1984 het volgende beeld op:

- reductiefactoren 1981: niet te bepalen,  
1982: 3 à 4 van de belangrijkste categorieën vis,  
1983: 0,6 (niet significant),  
1984: 3,2 (niet significant).
- het aantal passerende vissen bedroeg ongeveer 40.000 (1982) à 150.000 (1984) per jaar;
- de spreiding van de vispassages is enorm groot: de maximale vispassage van één etmaal was 16.000 exemplaren (4 augustus 1984); de maximale waarden zijn vaak tienmaal groter dan de gemiddelde waarden;
- de vis bestond voor meer dan 80 % uit blankvoorn, spiering en/of baars;
- ongeveer 97 % van de vis bestond uit 0<sup>+</sup> vis;
- de passage van 0<sup>+</sup> vis begint omstreeks 1 juni en eindigt medio december;
- ongeveer 90 % van de vis passeerde in de nacht;

De werende eigenschappen van de experimentele viswering bleken af te kunnen hangen van:

- de sterkte van de golfbeweging van het water vóór de elektrodes. Bij wind met een kracht groter dan 3 Beaufort recht naar de viswering toe en van 5 Beaufort van de viswering af nam de

- effectiviteit af, zo zelfs dat bij zeer sterke winden de viswering vis ging aantrekken;
- de soort en leeftijd van de vis; de meeste van de voorkomende viscategorieën werden geweerd, enkele werden aangetrokken;
  - het al of niet voorkomen van een intensieve algenbloei.

Samenvattend kan dus gesteld worden dat het door de enorm grote spreiding in de vispassage zeer moeilijk is significante verschillen in vispassage aan te geven als gevolg van toestandsverschillen bij de viswering.

De interpretatie van de onderzoeksgegevens over de periode 1981-1983 van het RIVO en KEMA onderzoek wordt bemoeilijkt door het ontbreken van voldoende gegevens over de visstand in het bekken vóór het elektroscherm. Met name geldt dat voor de talrijkheid van vis in de directe omgeving van het elektroscherm en de lengteverdeling van de vis in het bekken. Aan de hand van aanvullend onderzoek van het RIVO in 1984 (J.W. van der Heul, e.a., 1984) kon worden vastgesteld dat in de diepe delen van het bekken een veel dichtere concentratie spiering aanwezig was dan in het IJsselmeer. In het donker werd de samenhang binnen deze visconcentratie duidelijk losser en trok een deel van de spiering naar ondieper water.

Als gevolg van dit gedrag komt dus overdag een grote massa jonge vis niet in de buurt van het in het ondiepere deel van het bekken geplaatste elektroscherm. Een dergelijk gedrag van jonge vis zou kunnen verklaren waarom de meeste vis de viswering 's nachts passeert los van de effectiviteit van het scherm.

Overigens bestaat de indruk dat in de directe oeverzone van het bekken meer jonge vis (blankvoorn en baars) voorkomt dan in de rest van het bekken of het IJsselmeer. Dit gedrag van de jonge vis zou een verklaring kunnen geven voor de grote spreiding in de waarnemingen ten aanzien van de effectiviteit van de viswering voor 0-jarige vis.

## VI. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.

Van de onderzoeksperiode waren in slechts één jaar (1982) de resultaten significant, zodat strikt genomen alleen de gegevens van dat jaar als basis voor de conclusies kunnen worden genomen.

Gebleken is dat in dat jaar de hoeveelheid gepasseerde vis door de betreffende viswering met ongeveer een factor 3 werd verminderd. De meeste vissoorten werden geweerd. Enkele vissoorten werden echter aangetrokken door de viswering.

De resultaten van de experimenten aan de viswering van 1983 en 1984 wijzen er niet op dat het huidige elektroscherm een wezenlijke beperking in vispassages oplevert.

Grote golfbewegingen als gevolg van wind kunnen bij ingeschakelde viswering de vispassage sterk doen toenemen. Bij de bouw van een viswering zou er daarom naar gestreefd kunnen worden de golfwerking in het gebied vóór de elektrodes zoveel mogelijk te beperken.

Een intensieve algenbloei met haar diverse mogelijke uitwerkingen op vissen kan de effectiviteit van een elektrische viswering sterk verminderen.

De aanschafkosten van een viswering voor bijvoorbeeld een elektriciteitscentrale met een koelwaterdebiet van 30 m<sup>3</sup>/s bedragen 0,5 à 1 miljoen gulden. De exploitatiekosten zullen 100.000 à 200.000 gulden per jaar zijn. Volgens gegevens van de KEMA bedraagt de vispassage per jaar ruwweg 50.000 exemplaren per m<sup>3</sup>/s. Met een reductiefactor 3 zou hiermee dus 2/3 van de toestromende vis kunnen worden tegengehouden, per 30 m<sup>3</sup>/s is dit ongeveer 1 miljoen vissen per jaar.

Gebleken is dat de hoeveelheid gepasseerde vis (bij in- of uitgeschakelde viswering) veelal slechts een zeer klein deel is van de vóór de viswering aanwezige vis.

Gezien:

- de onzekerheid in hoeverre het onttrekken van vis aan de oppervlaktewateren schadelijk is voor de ontwikkeling van de visstand in het betreffende oppervlaktewater,
  - het feit dat de schade c.q. kosten die bedrijven van de ingenomen vis ondervinden bij lange na niet op lijken te wegen tegen de kosten van een viswering,
  - de matige effectiviteit van de experimentele elektrische viswering als gevolg van zaken als golfbewegingen onder invloed van de wind en algenbloei,
  - de kosten per uiteindelijk tegengehouden vis,
- wordt op basis van het nu verrichte 7-jarige onderzoek geconcludeerd dat het aanbrengen van een elektrische viswering van het in dit rapport beschreven type 2 niet behoeft te worden voorgeschreven.

Het lijkt er op dat de constructie van dit scherm (dikke elektrodes op

geringe afstand van elkaar) op zich al een barrière vormt, die door andere toestandsveranderingen (bijvoorbeeld elektrische pulsen) nog maar weinig wordt beïnvloed.

Bij een eventueel voortgezet onderzoek is het aan te bevelen dit barrière effect als gevolg van stroomsnelheidsgradiënten in combinatie met visuele obstakels nader te onderzoeken.

Indien men zou overwegen het onderzoek aan elektrische viskeringen voort te zetten dan zou ook kunnen worden aanbevolen aandacht te besteden aan elektrische viskering van het in dit rapport genoemde type 3.



## VII. LITERATUUR.

- Aalten, R.M., 1980 - Pulsgeneratoren voor experimenten met "elektroschermen". RIVO-rapport TO 80-07.
- Haddingh, R.H., 1978 - Mortality of young fish in the cooling water system of Bergum power station. Verh. Int. Ver. Limnol., 20, 1827-1832.
- Haddingh, R.H., G.H.F.M. van Aerssen, L. Groeneveld, H.A. Jenner & J.W. van der Stoep, 1983 - Fish impingment at power stations situated along the rivers Rhine and Meuse in The Netherlands. Hydrobiological Bulletin, 17(2), 129-141.
- Haddingh, R.H., G.H.F.M. Aerssen & J.W. van der Stoep, 1984 - Resultaten experimenten elektrische viswering in 1984. KEMA-rapport 9169-84. MO-Biol.
- Heul, J.W. v.d., L.A. Schaap & J. Willemsen, 1984 - Horizontale en verticale verspreiding van vis in een diep water. RIVO-rapport BW 84-03.
- Jansen, H. & R.M. Aalten, 1979 - Het meten van een elektrisch veld. RIVO-rapport TO 79-04.
- Jansen, H. & J.H.A van Wakeren, 1980 - De werking van elektrische visweringen. Visserij, 33, 354-361.
- Jansen, H., J. Sloof, R.M. Aalten & G.P. Boonstra, 1980 - Electric fish barrier experiments in a flume tank. RIVO-rapport TO 80-09.
- Jansen, H. & W. Dekker, 1984 - Vervolgexperimenten met de elektrische viswering te Andijk gedurende 1982. RIVO-rapport TO/BW 84-06.
- Sloof, J., 1980 - Het gedrag van goudwindes (Leuciscus idus L.) in een elektrisch veld. Visserij, 33, 438-445.
- Sloof, J. & H. Jansen, 1982 - Experimenten met een nieuwe elektrische viswering. RIVO-rapport TO 82-01.
- Sloof, J. & R.H. Haddingh, 1983 - Resultaten experimenten elektrische viswering in 1983. KEMA-rapport 9078-83, MO-Biol.
- Stoep, J.W. van der, 1982 - Ingezogen vis bij de centrale Bergum in de periode juni 1976 tot en met mei 1979. KEMA-rapport 5192-82.

## APPENDIX I

## SAMENSTELLING WERKGROEP RIVO-ONDERZOEK ELEKTROSCHERMEN.

Ing. R.M. Aalten	RIVO
Hr. G.H.F.M. Aerssen	KEMA
Drs. R.H. Haddingh	KEMA
Ir. H. Jansen	RIVO
Hr. L. Poppe	RIVO
Mw. J. Sloof	RIVO
Hr. J.W. van der Stoep	KEMA

## APPENDIX II

## SAMENSTELLING BEGELEIDINGSGROEP RIVO-ONDERZOEK ELEKTROSCHERMEN.

Ir. E.J. de Boer	RIVO
Hr. G.P. Boonstra	RIVO
Drs. R.H. Hadderingh	KEMA
Ir. M.A. Hofstra (Secretaris tot 1979)	RWS/WW
Ir. H. Jansen	RIVO
Ir. J.L. Koolen (Voorzitter)	RWS/RIZA
Ir. H.J. de Kruik (Secretaris vanaf 1980)	RWS/WW
Ir. J.P.A. Luiten (secretaris van 1979 tot 1980)	RWS/WW
Ir. M.C.W. Moerdijk	KEMA
Drs. J. Willemsen	RIVO