BIJLAGENRAPPORT 2

GEMALEN OF VERMALEN WORDEN FASE 3

FYSISCHE OMSTANDIGHEDEN BIJ OPVOERWERKTUIGEN IN RELATIE TOT VIS

RAPPORT 2012 w02

BIJLAGENRAPPORT 2

GEMALEN OF VERMALEN WORDEN FASE 3

FYSISCHE OMSTANDIGHEDEN BIJ OPVOERWERKTUIGEN IN RELATIE TOT VIS

RAPPORT 2012 w02

Bijlagenrapport 2 bij het hoofdrapport 'Gemalen of vermalen worden (fase 3). Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen' (STOWA 2012-04)

Publicaties van de STOWA rapporten kunt u bestellen op www.stowa.nl

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Colofon

Amersfoort, februari 2012

Uitgave:
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Projectuitvoering: Visadvies BV, Nieuwegein

Begeleidingscommissie: A. Tomson, M. Beers, J. van Alphen, J. Lammers, H. Maandag, G.J. van Dijk, M. Thanhausser, G. Alkemade, P. Heuts, J. van IJmeren.

Expertgroep: W. de Wit, M. Klinge, T. Buijse, R. Schreuders, G. Manshanden, N. Brevé.

(Eind)redactie: Pui Mee Chan, Bert-Jan van Weeren

STOWA: 2012-W-02

Op stowa.nl kunt u een exemplaar van dit rapport bestellen, of een pdf van het rapport downloaden. Kijk onder de kop Producten | Publicaties.

Copyright De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

Inhoudsopgave

Samenvatting

1 Inleiding 6
1.1 Algemeen 6
1.2 Vraagstelling 6

2 Materiaal en methode 7
2.1 Apparatuur Sensor Fish *(SF)* 7
2.2 Datacollectie (*SF*) 11
2.3 Analyse (*SF*) 12
2.3.1 Basisgegevens 12
2.3.2 Bepaling van de theoretische schade 14
2.4 Apparatuur (geluid) 17
2.4.1 Datacollectie (geluid) 17
2.4.2 Analyse (geluid) 17

3 Resultaten 20
3.1 Ordening opvoerwerken op basis van *SF* metingen 20
3.2 Ordening opvoerwerken op basis van geluidmetingen 22
4 Discussie 23
4.1 SF 23
4.2 Geluid 23

5 Resultatenbijlage 24
5.1 Directe schade (dummies) 24
5.2 Centrifugaalpompen 25
5.2.1 Boreel 25
5.2.2 Duifpolder 27
5.3 Open schroefpomp 27
5.3.1 Tilburg 27
5.3.2 Thabor 28
5.4 Gesloten schroefpomp 28
5.4.1 Kortenhoef 28
5.5 Gesloten schroefpomp (compact) 30
5.5.1 Berkel. 30
5.5.2 Holierhoekse en Zouteveensepolder 31
5.5.3 Antlia.. 31
5.5.4 Meerpolder 32
5.6 Hidrostal 33
5.6.1 Wogmeer 33
5.6.2 Ypenburg 34
5.7 Schroefcentrifugaalpompen 36
5.7.1 Schilthuis 36
5.7.2 Visvriendelijke hidrostal 37
5.7.3 AmarexKRT(D) 38

5.7.4 Tonnekreek 39
5.7.5 Willem-Alexander 40
5.7.6 B.B. polder 41
5.7.7 De Zilk 41
5.8 Vijzels 42
5.8.1 Overwaard 42
5.8.2 De Wenden 43
5.8.3 Vleuterweide 44
5.8.4 Sudhoeke 44
5.9 Rest.. 46
5.9.1 Faunapomp 46

Samenvatting

In dit rapport wordt een onderdeel beschreven van het onderzoek naar de schade die opvoerwerken aan vis kunnen toebrengen. Het betreft hier een onderzoek naar fysische omstandigheden die een vis ondervindt bij de passage door een opvoerwerk. Hiervoor zijn 26 opvoerwerken en pompen geselecteerd die representatief zijn voor een groot aantal typen opvoerwerken in Nederland.
Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een meetinstrument dat tijdens de passage door het opvoerwerk metingen uitvoert, de Sensor Fish (*SF*). Dit instrument meet tijdens de passage de:

- druk (bar);
- versnelling (g-krachten);
- turbulentie (omwentelingen per seconde).

Daarnaast is op eenvoudige wijze getracht de schade in te schatten die een opvoerwerk aan vis toe kan brengen. Hiervoor zijn bij elk opvoerwerk een groot aantal dummy *SF* doorgevoerd en is het percentage bepaald dat het opvoerwerk onbeschadigd heeft kunnen passeren. Hiermee werd mede vastgesteld of een kostbare *SF* kon worden ingezet, met een aanvaardbaar risico voor verlies.
Ten slotte zijn bij elk opvoerwerk onderwater geluidsmetingen uitgevoerd waarbij de geluidsintensiteit per frequentiegebied is bepaald. De opzet was om de eventuele afschrikkende werking door intens geluid, te kunnen koppelen aan het sterftepercentage bij het desbetreffende opvoerwerk.
In dit rapport zijn de onderzochte opvoerwerken ten slotte geordend op basis van een score die maatgevend wordt geacht voor de schadelijkheid voor vis.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Tijdens de stroomafwaartse migratie van vele vissoorten worden o.a. opvoerwerken gepasseerd, waarbij veel slachtoffers wanneer de vissen in contact komen met de sneldraaiende schoepen (Kruitwagen 2008, 2009; Spierts *et al.*, 2008). Zo kunnen vissen door leid- of rotorschoepen geraakt worden en direct sterven. Ook kan sterke onderdruk een kapotte zwemblaas veroorzaken waardoor vissen na verloop van tijd sterven. Vismortaliteit is niet alleen afhankelijk van het type pomp maar ook van de vissoort.

Om de condities waar vissen bij de passage van 24 verschillende opvoerwerken mee te maken krijgen verder in beeld te brengen heeft STOWA VisAdvies verzocht om met behulp van de *SF* en geluidsmetingen de fysische omstandigheden bij deze opvoerwerken in relatie tot vis te onderzoeken.

1.2 Vraagstelling

Met behulp van de *SF* en geluidsmetingen, is onderzocht aan welke fysieke omstandigheden vissen worden blootgesteld tijdens de passage van de opvoerwerken.

Centraal in het onderzoek staan de volgende vragen:

1. Aan welke drukken worden vissen blootgesteld bij passage van de opvoerwerken?
2. Welke rotaties ondergaan passerende vissen in de opvoerwerken?
3. Wat zijn de versnellingen (g-krachten) die vissen ondergaan bij passage van de opvoerwerken?
4. Welke geluidsintensiteiten en frequenties produceren de opvoerwerken onder water?
5. Welke mogelijke impact hebben de bovengenoemde fysieke omstandigheden op de anatomie en fysiologie van een passerende vis?

tabel 1.2.1 *Opvoerwerken in het onderzoek. Voor de locaties en nadere specificaties van de opvoerwerken wordt verwezen naar § 2.2 van het hoofdrapport (Kemper et al., 2010).*

ref nr.	Categorie	Cap. klasse	Cap. (m^3/min)	Opvoer (m)	Toeren (/ min)	Opvoerwerk
1	**Centrifugaal**	25-50	38	3,5	368	*Duifpolder*
2		200-500	400	0,9	205	*Boreel*
3	**Open schroef**	0-25	24	0,98		*Thabor*
4		25-50	40	1,67	580	*Nijverheid*
5		100-200	120	0,1		*Tilburg*

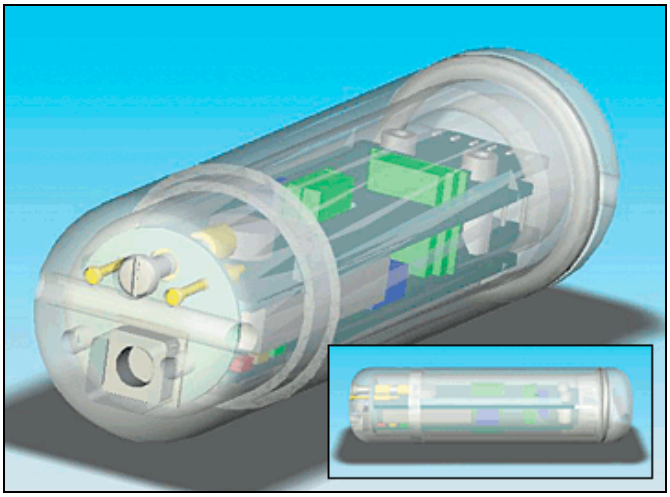
6	**Gesloten schroef**	0-25	26	3,08		*Makkumermar*
7		50-100	60	0,8	355	*Kortenhoef*
8	**Gesloten schroef**	25-50	45	2,54	592	*Meerpolder*
9	**(compact)**	50-100	90	2,7	364	*HZ polder*
10		100-200	135	0,5-1,0	19	*Antlia*
11		100-200	210	2,2	291	*Berkel*
12	**Hidrostal**	0-25	21	3,6	577	Ypenburg
13		25-50	42,5	3,5	552	*Wogmeer*
14	**Schroef-**	0-25	24	1,15		*B.B. polder*
15	**centrifugaal**	0-25	12,5	1,5	480	*AmarexKRT(D)* [1]
16		0-25	26,4	1,5	400	Visvr. Hidrostal [1]
17		25-50	25	0,15	1000	*De Zilk*
18		50-100	85		416	*Willem-Alexander*
19		100-200	170	1,52		*Tonnekreek*
20		200-500	350	2,8	115	*Schilthuis*
21	**Vijzels**	0-25	23	0,73		*Sudhoeke*
22		0-25	10	1,05	42	*Zwanburgerpolder*
23		50-100	100	1,4	42	*Vleuterweide*
24		100-200	120	0,30-1,50	29	*De Wenden*
25		200-500	500	2,2	17	*Overwaard*
26	**Rest**	0-25	5		n.v.t.	*Faunapomp*[2]

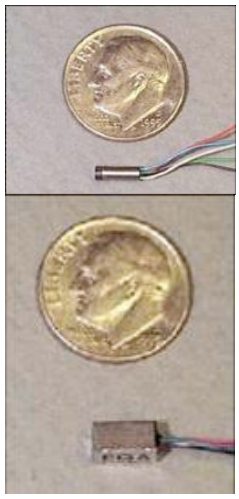
2 Materiaal en methode

2.1 Apparatuur Sensor Fish *(SF)*

De *SF* is een meetinstrument dat tijdens de passage door het opvoerwerk metingen uitvoert. Tijdens de passage worden:

- Druk,
- Versnelling en
- Rotatie gemeten.



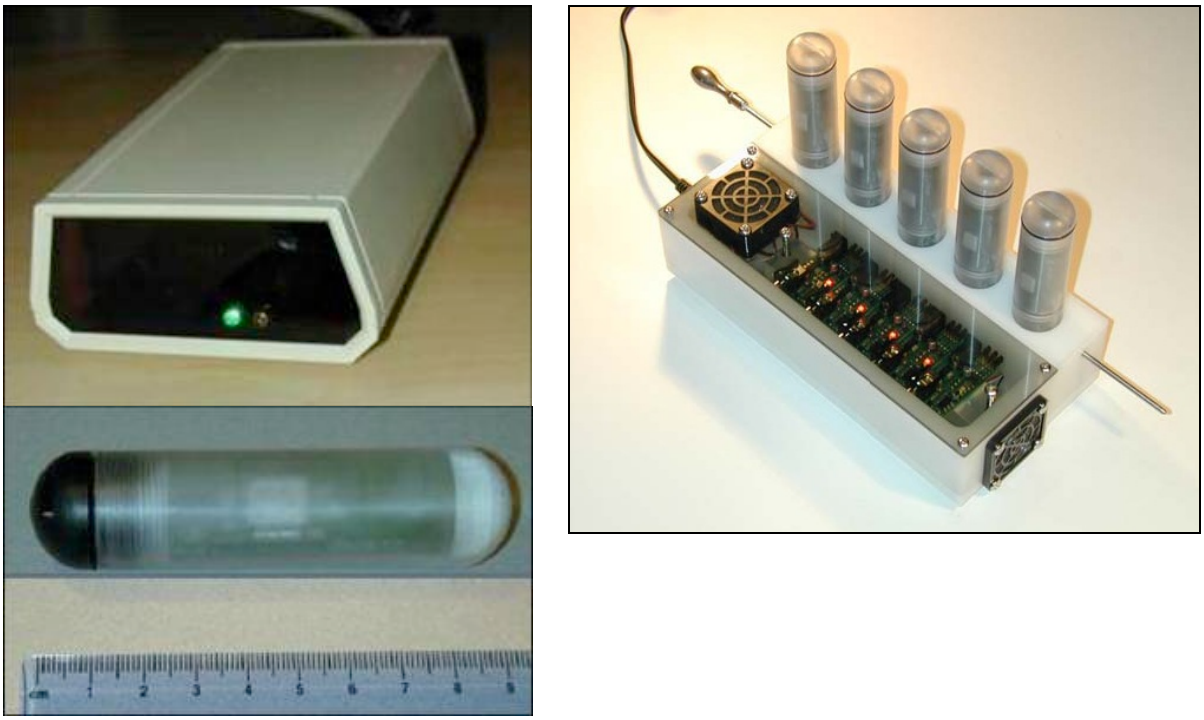


figuur 2.1.1 *Links: schematische voorstelling van een SF; rechts: de accelerometer (boven) en pressure transducer (beneden) zoals deze in de SF aanwezig zijn (Bron: www.SonicConcepts.com).*

De *SF* is oorspronkelijk ontwikkeld, door het bedrijf SONIC CONCEPTS INC om de condities, tijdens passage van vis door waterkrachtcentrales (wkc' s) vast te leggen. In de VS is er een landelijke database met deze informatie over een groot aantal wkc's. De *SF* is één keer ingezet om de condities tijdens passage van vis door een pompstation vast te leggen. Het betrof het Grand Coulee Dam pompstation aan de Columbia rivier (Carlson *et al.*, 2005, zie ook paragraaf 0). Het gehele *SF* pakket bestaat uit:

- Sensor Fish;
- infrarood modem;
- oplaadstation, en
- software (figuur 2.1.2).

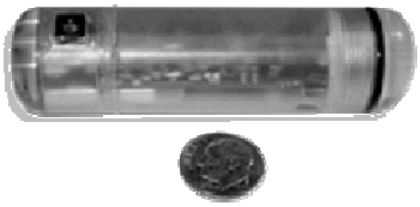
De belangrijkste kenmerken van de *SF* zijn weergegeven in figuur 2.1.3. De *SF* meet versnellingen (100 g' s), rotatie (1080 graden/sec) en drukken (max. ongeveer 10 atm).
Een g-kracht is een versnelling die wordt uitgedrukt in de gravitatieversnelling. Eén 'g' correspondeert met de zwaartekrachtsversnelling op aarde (9.81 m/s^2). G-krachten boven de 9 leiden bij de mens tot verlies van bewustzijn en boven de 14 tot de dood.



figuur 2.1.2 *Linksboven: infrarood modem om data Sensor Fish 'uit te lezen; linksonder: een exemplaar van de Sensor Fish; rechts: oplaadstation.'*

De sensoren voeren met een frequentie van 2000 keer per seconde een meting uit gedurende maximaal 4 minuten (466.000 dataregistraties). De *SF* is gewichtsloos in water ('neutrally buoyant') en stroomt eenvoudig mee door pompen en leidingen. De elektronica van de *SF* is omhuld door een waterdichte polycarbonaat behuizing. Data overdracht vanuit de *SF* gaat via het infrarood modem (zie figuur 2.1.2, rechts). Na passage door een pomp dient de *SF* te worden opgevangen en kunnen de gegevens worden uitgelezen. Na het opladen is de *SF* weer klaar voor gebruik.

- *3 axis linear acceleration, 100 G's*
- *3 angular velocity 1080 deg/sec*
- *Pressure, 100 PSIA (689 kPa)*
- *Data capacity = 466,000 data samples*
- *Sample rate = 2000 samples/second*
- *Enclosed within a cylindrical water sealed housing*
- *Buoyancy = 0.75 grams wet*
- *42.0 grams dry weight*
- *Overall size: 90 mm long by 25 mm maximum diameter*



figuur 2.1.3 *Kenmerken van de Sensor Fish.*

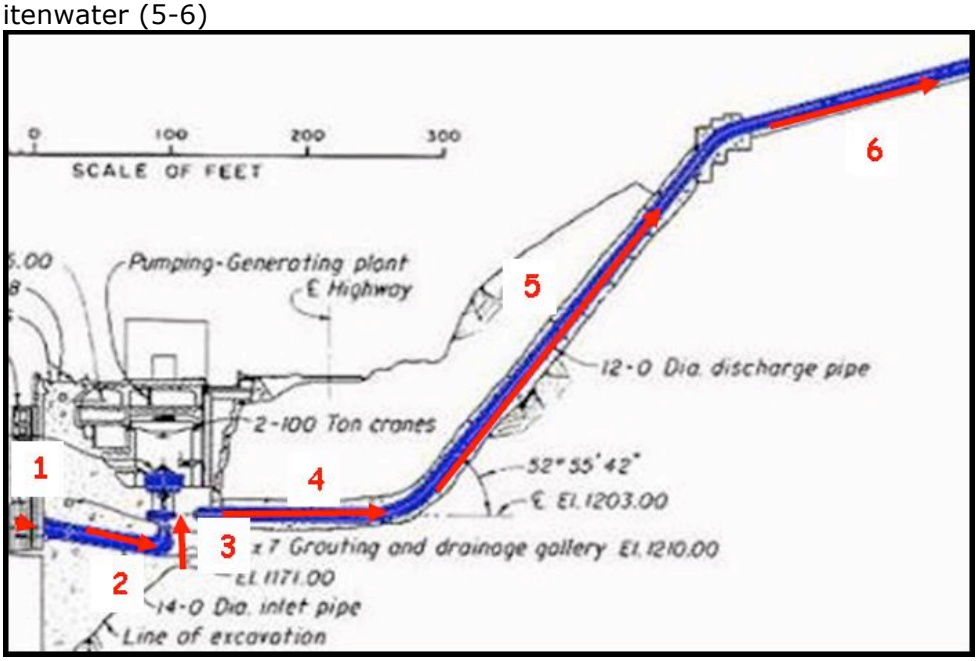
Eerdere studies

In Nederland is de *SF* al ingezet bij het opvoerwerk van IJmuiden (Vis *et al.*, 2010) en bij de opvoerwerken Hoekpolder en Aalkeetbuitenpolder in Delfland (Spierts & Kemper, 2010).

In de VS is de *SF* onder anderen toegepast bij de Grand Coulee Dam pompstation (3.665 m^3/min, 120 m opvoerhoogte) aan de Columbia rivier (Carlson *et al.*, 2005, figuur 2.1.4). Doel van het onderzoek was om de condities (druk, versnelling en turbulentie) voor passage van vis door de pomp en afvoerleiding vast te leggen. Ook werd onderzoek gedaan naar botsingskansen en mechanische schade aan vis. In het onderzoek werd geconstateerde dat de overlevingskans voor vis rond de 90% zou liggen, zonder daarbij overigens de effecten van druk mee te nemen.

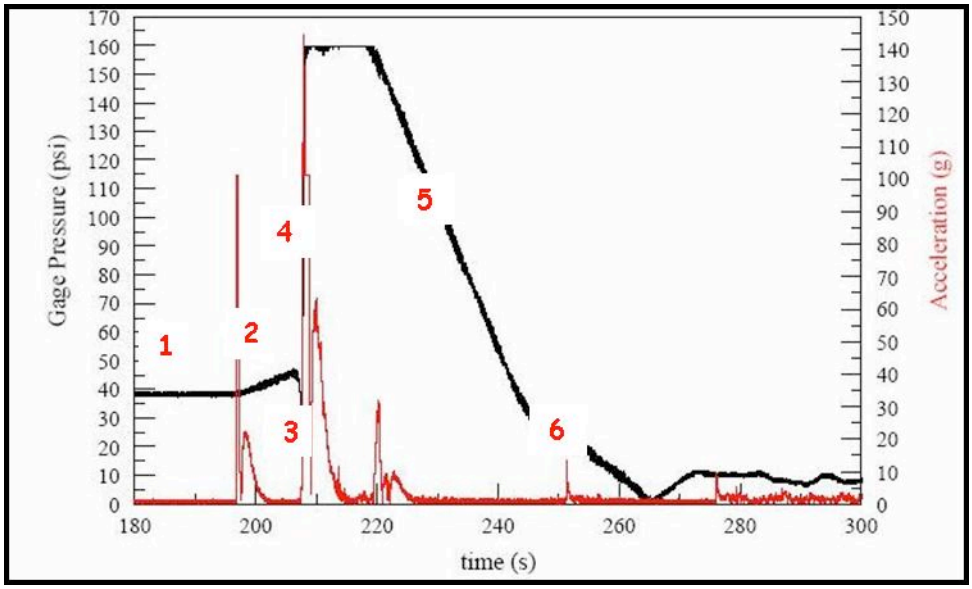
figuur 2.1.4 *Grand Coulee Dam en pompstation (rood omcirkelt) Installatie om Sensor Fish los te laten.*

In de schematische doorsnede van het pompstation en de afvoerleiding (figuur 2.1.5) is de route te zien die de *SF* moest afleggen (1-5) op weg naar een hoger gelegen meer (6). figuur 2.1.6 laat het drukverloop (zwarte lijn) en de acceleratie (rode lijn) door de pomp en afvoerleiding zien (1-6 correspondeert met de nummering zoals vermeld in figuur 2.1.5). Wanneer de *SF* door de pomp (2-3) gaat ontstaat er eerst een onderdruk, waarna een zeer snelle stijging van de druk volgt (4) tot een niveau waarop de druksensor geen bereik meer heeft (> 10 atm.). Tenslotte volgt een drukdaling wanneer de *SF* door de afvoerleiding omhoog stroomt, totdat atmosferische druk wordt bereikt wanneer de afvoerleiding eindigt in het buitenwater (5-6)



figuur 2.1.5 *Dwarsdoorsnede pompstation bij Grand Coulee Dam*

Ook is duidelijk te zien dat er enorme versnellingen wordt bereikt met name bij passage door de pomp.

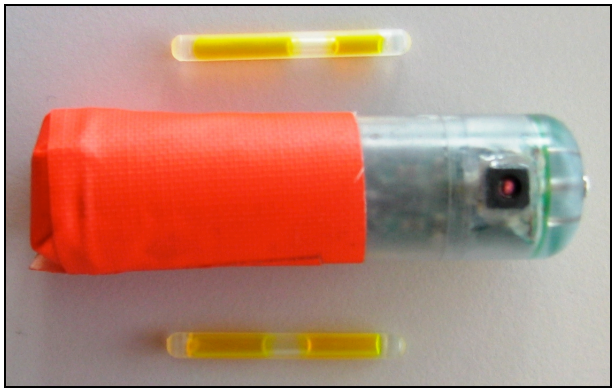


figuur 2.1.6 *Druk en acceleratie Sensor Fish bij passage door pompstation en af-*

Er werd geconcludeerd dat vis een hoge overlevingskans zou hebben bij passage door de pomp en de afvoerleiding doordat een relatief lage botsingskans en lage turbulentie bij passage optrad. Hoewel sprake was van een grote overgang in druk, van 0,5 naar meer dan 10 atm, werd dit niet als schadelijk voor vis beoordeeld. Vis is over het algemeen goed bestand tegen plotselinge overgang van lage naar hoge druk. Vis is meer kwetsbaar voor plotselinge overgang van hoge druk naar lage druk. Hierbij geven Carlson *et al* (2005) een grens voor schadelijke effecten van lage druk wanneer deze 60% bedraagt van waaraan een vis is geacclimatiseerd. Is de druk lager, dan ontstaan allerlei vormen van schade zoals gescheurde zwemblazen en haarvaten, gasbellen in bloed, weefsel en ogen etc. Wat de hoge versnelling met de vis doet wordt verder in Carlson *et al.* (2005) niet besproken.

In de situatie bij de hier te onderzoeken Nederlandse opvoerwerken zal een dergelijke overdruk ook niet voor de hand liggen gezien de beperkte opvoerhoogtes. Plotseling optredende onderdruk kan wel optreden, dus een beeld van het drukverloop is belangrijk voor de evaluatie van schade aan vis. Turbulentie bij pompen met hoog toerental kan schade veroorzaken evenals shear (tegengestelde waterstromingen die als een schaar werken).

2.2 Datacollectie (*SF*)



figuur 2.2.1 Gebruikte Sensor Fish met neontape..

De *SF* metingen zijn deels in 2009 uitgevoerd. Door de strenge vorstperiode rond de jaarwisseling hebben de meeste waarnemingen in februari-maart 2010 plaatsgevonden. Voor het aanbrengen van de *SF* in de zuigmond moest in veel gevallen gebruik worden gemaakt van een injectiebuis. Dit om te voorkomen dat de *SF* voor het opvoerwerk aan de oppervlak bleef drijven. De *SF* werd door de buis geblazen door middel van een waterstraal. De *SF* werd achter het opvoerwerk weer opgevangen met een schepnet of de monitoringsfuik, indien het opvoerwerk werd bemonsterd. Om het terugvinden te vereenvoudigen werd het apparaat voorzien van neontape en een chemisch lichtstaafje. (figuur 2.2.1).

figuur 2.2.2 *Voorbeeld van 2 kapot geslagen dummy exemplaren na passage door een opvoerwerk.*

Naast de meting met de *SF* is een eenvoudig experiment uitgevoerd met dummy exemplaren van de *SF*. Bij elk opvoerwerk werden ca 10 dummy exemplaren door het opvoerwerk gevoerd om de kans op schade in te schatten. De dummies hadden exact dezelfde afmetingen en drijfvermogen als de echte *SF*. De dummies werden gemaakt van doorzichtig perspex, zodat na hun gang door een opvoerwerk de mogelijke schade (figuur 2.2.2) kon worden geïnventariseerd. Uitgangspunt was dat minimaal 75% van de dummies het opvoerwerk ongeschonden moesten passeren alvorens het origineel werd doorgevoerd. Naast het inschatten van het risico op verlies van de kostbare *SF*, geeft dit experiment inzicht in de directie fysieke schade die het opvoerwerk aan kan brengen aan de hand van dummies. Vooral bij kleinere opvoerwerken met snel draaiende delen is de kans op schade aan de *SF* reëel.

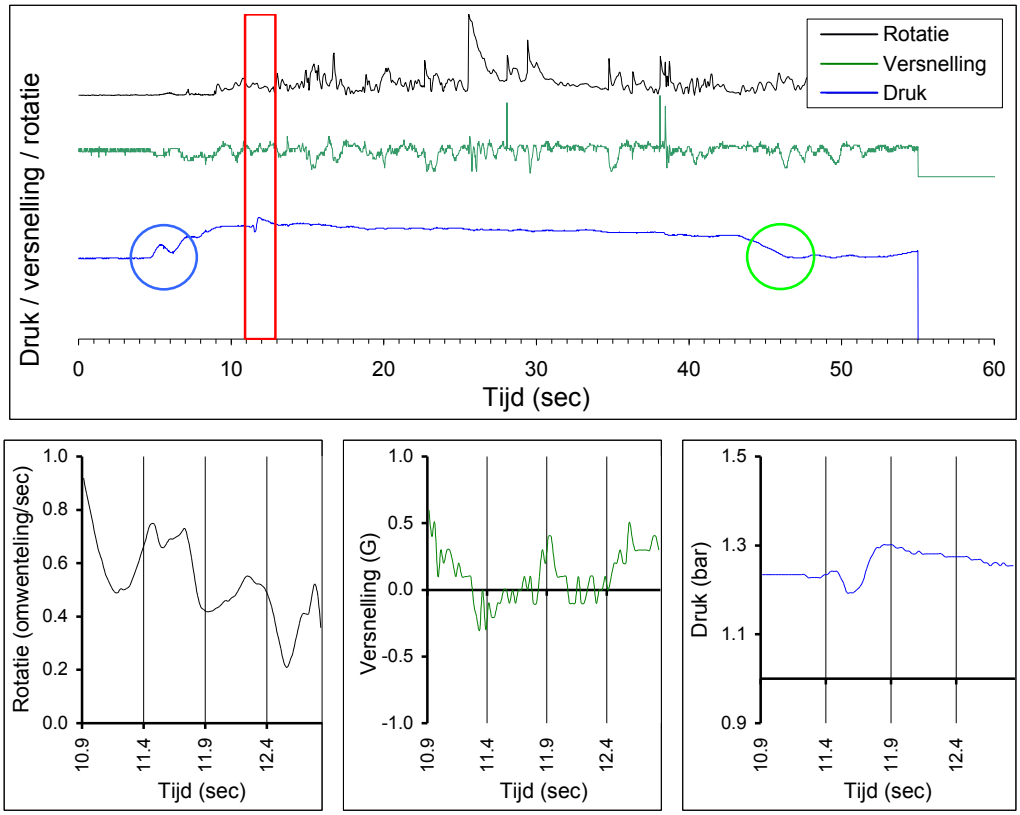
2.3 Analyse (*SF*)

2.3.1 Basisgegevens

De analyse is uitgevoerd aan de hand van het verloop van de gemeten parameters in de tijd. De tijdspanne dat de *SF* metingen uit kan voeren is instelbaar en is in dit geval ingesteld op 120 seconde. De tijdreeksen bevatten informatie op verschillend detailniveau.

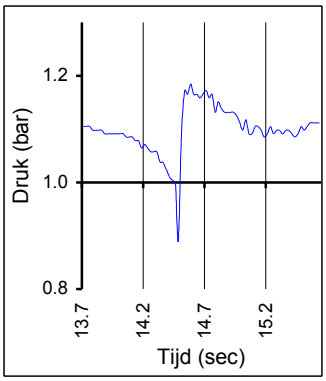
1. Een beeld van de gebeurtenissen tijdens de passage door de aan- en afvoerleiding en de pomp van het opvoerwerk. Afhankelijk van de lengte van de aan- en afvoerleiding van het opvoerwerk speelt dit zich in de regel af binnen 120 seconden.
2. Een beeld van de gebeurtenissen van vlak voor tot vlak na het passeren door de pomp van het opvoerwerk. Deze gebeurtenissen spelen zich binnen enkele seconden af.

Beide aspecten zijn in het rapport grafisch gepresenteerd op een bijbehorende tijds-as. Een voorbeeld is te vinden in figuur 2.3.1. In deze figuur is een overzicht gegeven van het verloop van de resultaten gedurende de totale passage van de *SF* door het opvoerwerk. De Y-as waarde is hierbij relatief, zodat de trend van alle metingen in één figuur en op dezelfde tijdas zichtbaar is.



figuur 2.3.1 *Voorbeeld van het verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd.*

- De blauwe cirkel geeft het moment aan dat de *SF* via de lanceerbuis in de pompopening wordt geblazen, wat resulteert in een drukverhoging.
- Het rode kader geeft het moment aan dat de pomp wordt gepasseerd. Dit moment wordt voor elke meting in detail weergegeven in de drie grafieken onder aan figuur 2.3.1.
- De groene cirkel geeft het moment aan waarop het opvoerwerk wordt verlaten en de *SF* het wateroppervlak bereikt.



figuur 2.3.2 *Verloop van de druk tijdens het passeren door de pomp.*

Een belangrijk aspect is de snelheid waarmee de druk in het opvoerwerk varieert. De grootste schommelingen zijn te verwachten ter hoogte van de pomp waar de druk vlak voor de pomp eerst afneemt (aanzuiging) en daarna weer toeneemt door de opstuwing van het water. Een voorbeeld staat in figuur 2.3.2. Voor de berekening is de duur van de toename van de druk gedeeld door de tijdsduur van de toename, met als uitkomst een druk-

verhoging per seconde. Dezelfde berekening is uitgevoerd voor de afname van de druk. Duidelijk is dat deze gebeurtenissen zeer kortstondig zijn, maar niettemin van grote invloed kunnen zijn op de zwemblaas van de vis. Zelfs *physostome* vissen (met open zwemblaas) kunnen in dit tijdsbestek geen lucht uit de zwemblaas laten ontsnappen en lopen mogelijk schade op door de plotselinge expansie van de zwemblaas.

De belangrijkste resultaten zijn voor elk opvoerwerk opgenomen in een tabel (tabel 2.3.1). Opgenomen zijn:

- De maxima, zoals deze tijdens de totale passage door het opvoerwerk zijn waargenomen.
- De druk toe- en afname ter hoogte van de pomp, zoals hierboven beschreven.

tabel 2.3.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door het opvoerwerk.*

	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	4.8	3.1	1.30
Druk-toename pomp			0.10
Duur druk-toename (sec)			0.20
Druk-toename/sec			0.50
Druk-afname pomp			0.05
Duur druk-afname (sec)			0.10
Druk-afname/sec			0.47

2.3.2 Bepaling van de theoretische schade

Aan de hand van het type meting kan elk opvoerwerk voor een specifiek type meting eenvoudig worden geordend. Hierbij krijgt het opvoerwerk met de hoogst waargenomen waarde de score 1. Het opvoerwerk met de laagst waargenomen waarde krijgt de score 0, met een intermediaire waarde voor de overige opvoerwerken tussen 0 en 1.

Het is lastiger om de type metingen onderling een plaats te geven, waarbij de vraag gesteld moet worden of druk schadelijker is dan bijvoorbeeld g-krachten. Deze keuze staat open voor interpretatie. In dit conceptverslag is een aanzet gegeven aan de hand van de huidige kennis en een deskundigen oordeel.

Om de onderlinge verhouding tussen de categorieën (type meting) aan te geven, krijgt elke categorie een waardering op de schaal van 0 tot 5, met een 0 als vis-vriendelijk en een 5 als vis-onvriendelijk. Voor de ordening van de opvoerwerken wordt de score van een opvoerwerk (0-1) voor een bepaalde categorie, vermenigvuldigd met de waardering van de desbetreffende categorie (0-5). Voor de eindscore, wordt het product (score x waardering) per opvoerwerk voor alle categorieën gesommeerd. De score loopt op van vis-vriendelijk naar vis-onvriendelijk. Een rekenvoorbeeld is te vinden in tabel 2.3.2.

tabel 2.3.2 *Rekenvoorbeeld voor de bepaling van de ordening van opvoerwerken op basis van theoretische vis-vriendelijkheid. Een lage eindscore duidt op*

vis-vriendelijkheid.

	Rotatie (waardering: 4.)		Versnelling (waardering 1)		**Eindscore**
Opvoerwerk	Score (meting)	score x waardering	Score (meting)	Score x waardering	
A	0.0	0.0	0.9	0.9	**0.9**
B	0.6	2.4	1.0	1.0	**3.4**
C	1.0	4.0	0.0	0.0	**4.0**

Als bijlage aan dit rapport is een Excel Spreadsheet toegevoegd waarin het effect van de waardering van de categorieën inzichtelijk kan worden gemaakt. De '*default*' waarden zijn gebaseerd op de waardering, zoals die door VisAdvies zijn voorgesteld.
In de hier opvolgende tekst worden alle categorieën verder toegelicht en tevens een waardering gegeven op de schaal van 0 tot 5.

Rotatie

- Maximum: Rotaties van de *SF* zijn een maat voor de turbulentie van het water. Turbulentie bij de draaiende delen is het hoogst en kan er toe leiden dat vissen geen positie kunnen houden. Aanraking met de waaier of andere onderdelen van het opvoerwerk, neemt hierdoor toe.
- Duur van de turbulentie: Een ander aspect van de turbulentie is dat vissen gedesoriënteerd raken tijdens de passage door een kunstwerk. Niet alleen de mate van turbulentie speelt een rol, maar ook de duur. Het gevolg van langdurige turbulentie is dat vissen een makkelijke prooi vormen voor roofvissen en vogels. Dit kan vooral worden waargenomen bij grotere opvoerwerken en spuiwerken. De score voor deze categorie wordt bepaald door het product van de gemiddelde rotatie en de duur van de passage door het opvoerwerk.

Waardering:
Voor de eindbeoordeling krijgt de **maximum turbulentie** een waardering van **5** (op de schaal van 0 tot 5). De argumentatie hierbij is dat grote turbulentie directe sterfte tot gevolg kan hebben, omdat de fysieke trefkans met bewegende delen wordt vergroot.

Duur van de turbulentie met als gevolg desoriëntatie wordt minder hoog gewaardeerd en wel met een **3.** De redenering is dat desoriëntatie zeker niet altijd zal leiden tot hogere predatie van de vis.

Versnelling

Door een grote versnelling van een vis kunnen sterke wrijvingskrachten (*shear stress*) ontstaan met het omringende water met tegengestelde stroomsnelheden. Tegengesteld stromende watermassa's werken hiermee als een schaar. Deze krachten treden vooral op in de nabijheid van de bewegende delen van de pomp. Schade die als gevolg hiervan bij vis ontstaat kan o.a. bestaan uit schubverlies,

aantasting van slijmlaag, verpletteren van interne organen, interne bloedingen, oogbeschadiging, oogverlies en bloedende kieuwen (Turnpenny *et al.*, 1992). Germonpré *et al.*, (1994) noemen een specifiek kenmerk betreffende de inversie van kieuwbogen. Als de kieuwbogen openstaan kan de kracht hierop voldoende zijn om de kop van het lijf te rukken.

De weerstand tegen *shear* is soortafhankelijk. Experimenten door Turnpenny *et al.* (1992) toonden aan dat haringachtigen al bij lage wrijvingsweerstand (206 N/m^2) sterfte vertoonden binnen 1 uur. Daarentegen vertoonden alen bij de hoogste wrijvingsweerstand (tot 3.410 N/m^2) geen schade, anders dan wat slijmverlies, of enige uitgestelde sterfte (7 dagen). Salmoniden vertoonden een grotere schade bij hogere wrijvingsweerstand, en hadden tot 10% uitgestelde sterfte na 7 dagen. Naar verwachting zal ook lengte en levensstadium een rol spelen bij de weerstand tegen wrijvingskrachten.

Waardering:
Grote versnelling (*shear stress*) is direct levensbedreigend voor vissen, zodat de maximaal waargenomen versnelling met een 5 wordt gewaardeerd.

Druk

Toename van druk
Uit verschillende onderzoeken naar drukverlopen in turbines komt naar voren dat de gemeten druk in de turbines geen directe schade als gevolg hebben voor passerende vissen (Glenn F et al,1997). Plotselinge toename van druk is, zelfs in hogere mate dan gemeten in turbines, resulteerde niet is mortaliteit onder passerende vissen. Wat betreft druk is een punt van zorg de plotselinge toename van druk met betrekking tot het drijfvermogen van vissen. Plotseling toename van druk kan door de vis niet direct worden gecompenseerd met de zwemblaas. Dit heeft als gevolg dat vissen min of meer afzinken en in mindere mate in staat zijn om te manoeuvreren. Mogelijk hebben deze vissen een grotere kans om te worden geraakt door de waaier van de pomp. Het zinkende effect kan door de vis worden opgevangen door actief omhoog te zwemmen. Onduidelijk is in hoeverre vissen in staat zijn dit te doen tijdens de passage van een turbine.

Afname van druk
Plotselinge afname van druk is een grotere zorg (Glenn *et al.*, 1997). Het probleem is niet zozeer de absolute druk maar meer het drukverschil tussen de druk in de pomp en de druk waarop de vis is geacclimatiseerd. Bij een plotselinge afname van 1 bar (d.i. de atmosferische druk op zeeniveau) naar 0,3 bar zullen vissen problemen ondervinden door plotselinge expansie van de zwemblaas. Vooral vissen zonder open verbinding tussen de zwemblaas en de maag (*physoclisten)* kunnen de lucht niet laten ontsnappen. Uitzonderingen zijn jonge vissen, salmoniden, karpers en aal die deze verbinding nog wel hebben (*physostome* vissen). Een daling in de druk van 40% ten opzichte van de buitenlucht, kan er al toe leiden dat vissen het bewustzijn verliezen. Een gevolg is dat de kans op predatie aan de uitstroomzijde van het opvoerwerk vergroot (Glenn *et al.*, 1997).

Waardering:

Uit het voorgaande blijkt dat druk (verschillen) niet wordt gezien als de belangrijkste factor voor vissterfte. Bovendien is de maximaal gemeten druk, bij de onderzochte opvoerwerken niet bijzonder hoog door de beperkte opvoerhoogte. De maximale druk krijgt daarom een waardering van 1. De druktoename bij de pomp een 2 en de drukafname een 3.

Directe schade

Waardering:
De schade die is gemeten op basis van de 'overleving' van de dummies, is een zeer directe maat. Deze categorie krijgt derhalve een waardering van 5.

2.4 Apparatuur (geluid)

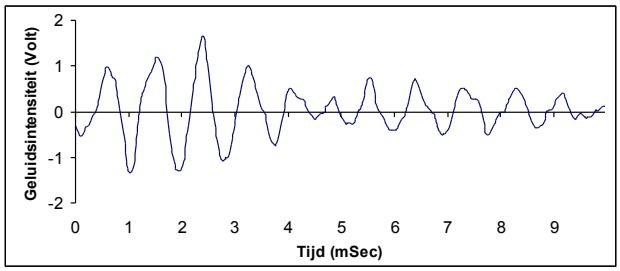
Bij alle opvoerwerken werden met behulp van een onderwatermicrofoon (hydrofoon) geluidsopnames gemaakt. Voor de meting werden alleen, de voor vissen relevante frequenties vastgelegd (5 tot 20 000 Hertz). De hydrofoon was van het merk Renson (type TC4032). De hydrofoon werd gevoed door de Renson Input module (type: EC6073). Van hieruit werd het signaal doorgevoerd naar een externe geluidskaart van het merk E-MU (type: Tracker pre) voor de filtering en digitalisering van het analoge signaal. De geluidskaart was aangesloten op een standaard laptop. Voor de opname en analyse van het geluid werd gebruik gemaakt van het software pakket SpectraPlus.

2.4.1 Datacollectie (geluid)

De metingen zijn standaard op twee meter vanaf het grofvuilrooster uitgevoerd op één meter onder het wateroppervlak. Daarnaast zijn nog een aantal metingen tot maximaal 10 meter van dit punt uitgevoerd, om na te gaan of hier afwijkende resultaten werden waargenomen. Op alle meetpunten werd gedurende 120 seconde opnamen gemaakt. Bij opvoerwerken met meerdere opvoerwerktuigen is tijdens de metingen enkel het onderzochte opvoerwerktuig in bedrijf geweest.

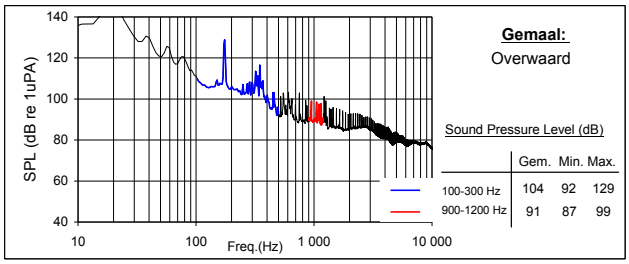
2.4.2 Analyse (geluid)

Het opgenomen geluid wordt in eerste instantie vastgelegd in het tijdsdomein. Dit wil zeggen dat de geluidsintensiteit wordt uitgezet op een tijdsas, zoals in figuur 2.4.1 is weergegeven. De geluidintensiteit is hier weergegeven in Volts, zoals dat door de hydrofoon wordt gemeten. Hierna vindt een omrekening plaats naar de druk in *Pascal (Pa)* volgens de gekalibreerde omrekeningsfactor van de hydrofoon. De schaal van de geluidsintensiteit in Pa doorloopt een range van 1 µPa tot ca 10^5 Pa. Om deze range inzichtelijk (behapbaar) te maken, wordt gebruik gemaakt van de decibel (dB). De dB is de logoritme van de verhouding tussen een referentiewaarde in Pa



figuur 2.4.1 Geluidsfragment in het tijdsdomein.

en de gemeten waarde in Pa. Als referentiewaarde in lucht is internationaal gekozen voor 20µPa en bij metingen onder water voor 1 µPa. **N.B.** Hoewel de dB sterk wordt geassocieerd met geluid, is de schaal dimensieloos.

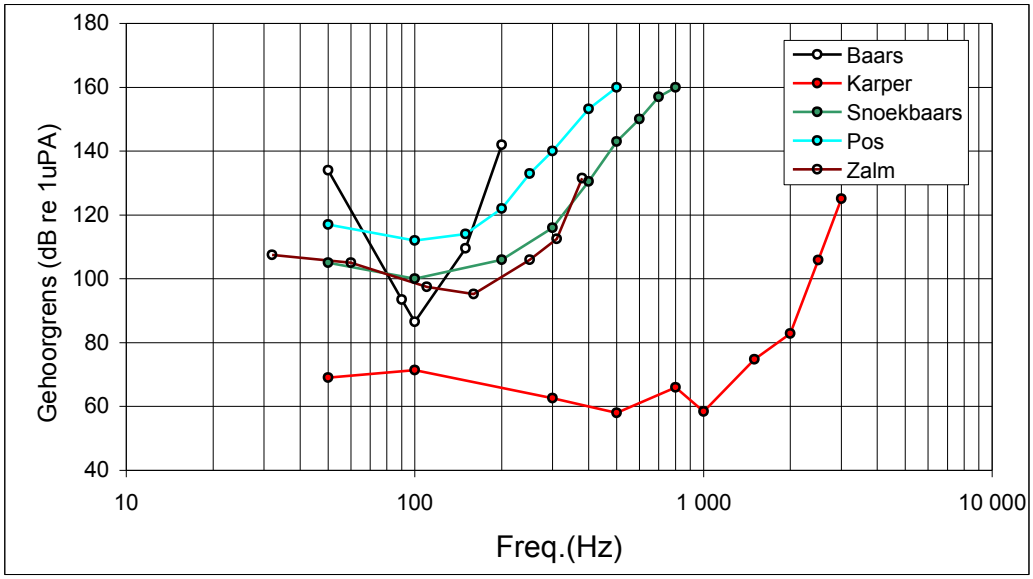


figuur 2.4.2 *Voorbeeld van een frequentiespectrum.*

In de geluidskaart wordt op het signaal een analoge filtering toegepast ('Low Pass filter'), waarbij de frequenties boven de 20 000 Hz worden verwijderd. Dit houdt verband met de 'sample rate' van 44 kHz, waarop het geluidssignaal wordt gedigitaliseerd. Met deze 'sample rate' van 44 kHz, kan maximaal een geluidsfrequentie van 22 kHz (= 44 / 2) worden gedigitaliseerd. Deze frequentie staat bekend als de 'Nyquist frequency'. Alle geluidsfrequenties die hoger zijn dan de 'Nyquist frequency' worden tijdens de digitalisering gespiegeld ten opzichte van deze frequentie en zouden dan onterecht in het bereik onder de 20 kHz terecht komen.

In een volgende stap van de analyse wordt het geluidsfragment van het tijdsdomein omgezet naar het frequentiedomein. Met behulp van een *'Fast Fourier Transformatie'* (FFT) wordt dan inzichtelijk welke afzonderlijke frequenties in het geluidsfragment aanwezig zijn met de bijbehorende geluidsintensiteit in dB.
Een voorbeeld van dit '*frequentiespectrum*' staat in figuur 2.4.2. Er zijn twee frequentieklassen onderscheiden als representatief voor het laag- en hoogfrequent gebied waarbinnen vissen gevoelig kunnen zijn voor geluid. Het laagfrequent gebied loopt van 100 tot 300 Hz (blauw) en een hoogfrequent gebied van 900-1200 Hz (rood). Van elke klasse is het gemiddelde, maximum en minimum bepaalt.

Vissen zijn in staat om geluid onder water te horen, en zijn daarbij in te delen in drie categorieën: hoorspecialisten, geen specialisten met luchtblaas en soorten zonder luchtblaas. Vissen hebben, net als bv, mensen, een frequentieafhankelijk gehoorbereik. Dit gehoorbereik is per vissoort verschillend en kan worden weergegeven in een audiogram (figuur 2.4.3). In het audiogram wordt de onderste gehoorgrens weergegeven bij een bepaalde frequentie die nog net door de desbetreffende vis kan worden waargenomen. Zo kan een karper bij 60 dB nog net het geluid bij een frequentie van 1 kHz waarnemen. Voor de Nederlandse zoetwatervissen zijn helaas maar enkele resultaten beschikbaar. Dit zijn baars (Wolff, 1967), Karper (Popper, 1972), snoekbaars/pos (Wolff, 1968) en zalm (Hawkins & Johnstone, 1978).
Met uitzondering van de karper, ligt de grootste gevoeligheid van deze vissen in het gebied 50-400 Hz vanaf een geluidsgrens van ca 100 dB.



figuur 2.4.3 *Audiogrammen van een aantal in het Nederlandse zoetwater voorkomende vissoorten.*

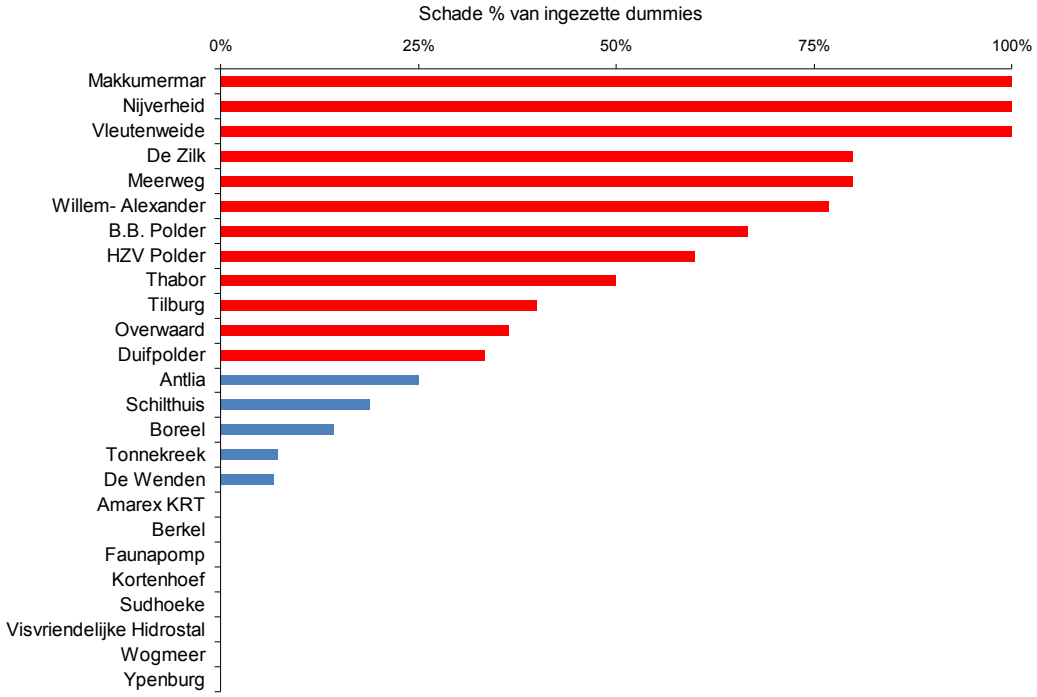
Waardering:
Het geluid past niet direct in de rij van factoren die schade toe kunnen brengen aan vis. Denkbaar is dat zeer intens geluid bijdraagt tot desoriëntatie van vis, met een verhoogde kans op predatie. In onze interpretatie is geluid juist een factor die er toe kan leiden dat vis van het opvoerwerk wordt geweerd en schade aan vis hierdoor wordt beperkt. Er is daarom voor gekozen om het geluid niet mee te nemen in de totale eindbeoordeling, tezamen met de resultaten op basis van de *SF* metingen.

3 Resultaten

Het onderzoek heeft een grote dataset opgeleverd. Voor de overzichtelijkheid zijn de basisgegevens (grafieken en tabellen) opgenomen en kort becommentarieert in de resultatenbijlage van hoofdstuk 5. In hoofdstuk 3 (resultaten) en hoofdstuk 4 (discussie) wordt ingegaan op het overzicht van de resultaten uit hoofdstuk 5.

3.1 Ordening opvoerwerken op basis van *SF* metingen

In figuur 3.1.1 zijn de resultaten grafisch weergegeven van de schade aan de doorgevoerde dummies. De rode balken geven de opvoerwerken weer waar het schadepercentage groter was dan 25%. Bij deze opvoerwerken is de *SF* niet ingezet.
De schade aan de dummies wordt beschouwd als de meest evidente aanwijzing dat het opvoerwerk schade toe kan brengen aan vis. Van de reeks opvoerwerken Makkemurmar tot en met Duifpolder uit figuur 3.1.1 (rode staven), wordt daarom aangenomen dat zij in het eindoordeel visonvriendelijker zijn dan de overige opvoerwerken.



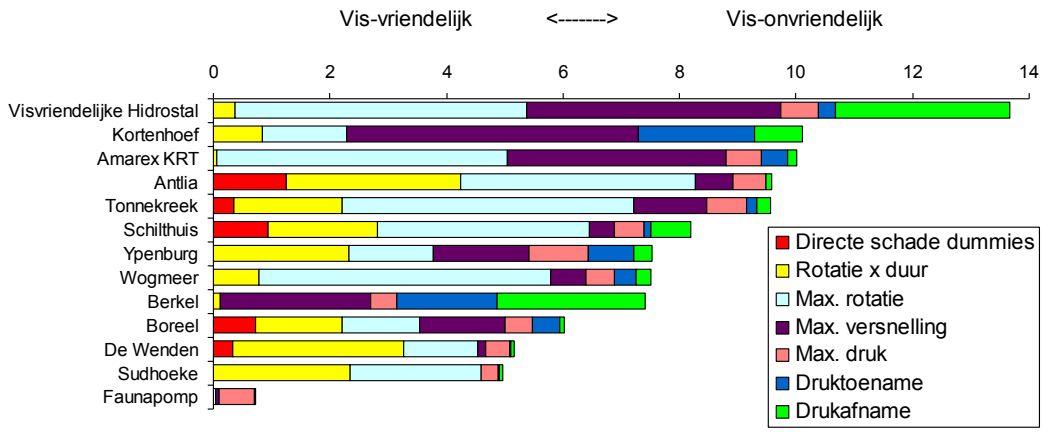
figuur 3.1.1 *Overzicht schadepercentage op basis van de inzet van dummies. Indien het schade percentage aan de dummies groter was dan 25%, is de originele SF niet ingezet.*

Van de 13 opvoerwerken (pompen) waarbij de *SF* is ingezet zijn de resultaten samengevat in tabel 3.1.1. Hierbij zijn de absolute waarden in de niet-gekleurde kolommen gepresenteerd. In de blauw gekleurde kolommen is de score geno-

teerd, zoals deze is gebruikt voor de onderlinge vergelijking tussen categorieën. In de onderste rij staat de waardering per categorie.
In figuur 3.1.2 is een grafisch overzicht gegeven van de eindbeoordeling van de opvoerwerken waar de *SF* is ingezet. De score is tot stand gekomen door het product van de meting van de *SF* en de waardering van de desbetreffende categorie. Het aandeel van elke categorie is als deel van de totaalscore in een kleur aangegeven.

tabel 3.1.1 *Overzicht van de waarnemingen met de SF en de bijbehorende scores. Tevens is de waardering per categorie aangegeven in de onderste rij.*

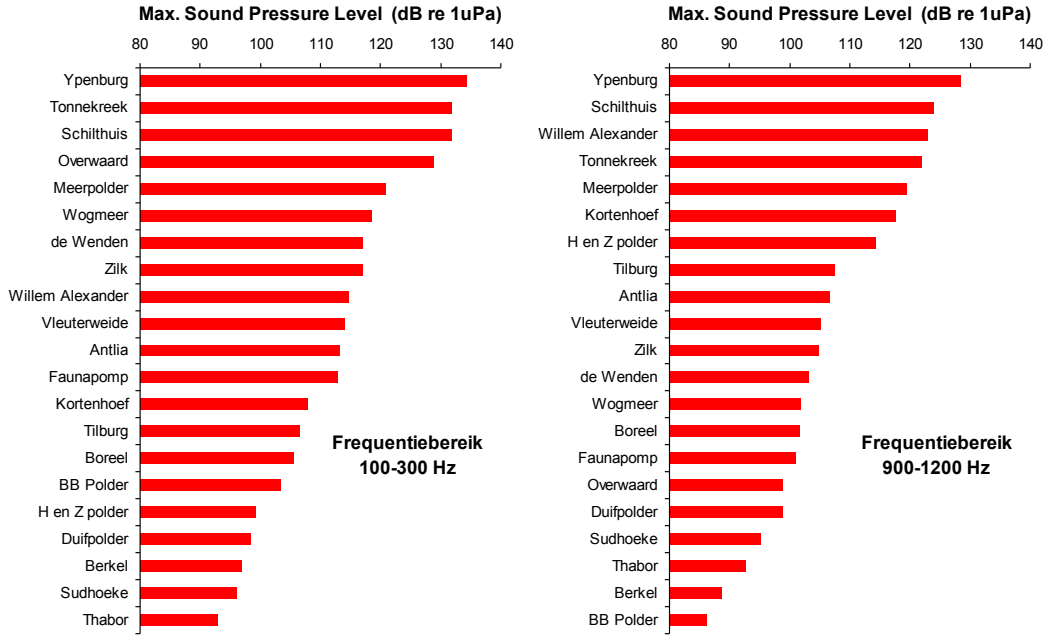
	Directe schade dummies (score)	Rotatie x duur (score)	Max. rotatie (omwent./sec)	Score	Max. versnelling (g)	Score	Max. druk (bar)	Score	Druk toename (bar/sec)	Score	Druk afname (bar/sec)	Score
Antlia	0.25	1.00	6.39	0.80	5.90	0.13	1.32	0.58	0.10	0.00	0.15	0.03
Schilthuis	0.19	0.63	6.19	0.73	4.60	0.08	1.27	0.51	0.46	0.06	1.16	0.23
Boreel	0.14	0.50	4.90	0.26	10.60	0.29	1.25	0.48	1.61	0.23	0.12	0.02
Tonnekreek	0.07	0.62	6.94	1.00	9.30	0.25	1.40	0.69	0.64	0.08	0.40	0.08
De Wenden	0.07	0.98	4.88	0.26	2.90	0.02	1.20	0.41	0.16	0.01	0.11	0.02
Amarex KRT	0.00	0.02	6.94	1.00	23.60	0.75	1.33	0.60	1.53	0.22	0.27	0.05
Berkel	0.00	0.04	4.16	0.00	16.90	0.52	1.23	0.45	5.63	0.86	4.30	0.85
Faunapomp	0.00	0.00	4.18	0.01	2.60	0.01	1.34	0.61	0.14	0.01	0.00	0.00
Kortenhoef	0.00	0.28	4.98	0.29	30.70	1.00	0.90	0.00	6.52	1.00	1.37	0.27
Sudhoeke	0.00	0.78	5.42	0.45	2.20	0.00	1.11	0.29	0.14	0.01	0.10	0.02
Visvriendelijke Hidrostal	0.00	0.12	6.94	1.00	27.10	0.87	1.37	0.64	1.01	0.14	5.08	1.00
Wogmeer	0.00	0.26	6.94	1.00	5.70	0.12	1.25	0.48	1.30	0.19	0.42	0.08
Ypenburg	0.00	0.77	4.97	0.29	11.60	0.33	1.62	1.00	2.61	0.39	0.54	0.11
Waardering categorie	5	3		5		5		1		2		3



figuur 3.1.2 *Eindscore van de opvoerwerken waar de* SF *is ingezet. N.B. het effect van de waardering van de verschillende categorieën is te bestuderen in het Excel spreadsheet:* ***Interactief schadeprofiel.xls****, dat als digitale bijlage bij dit rapport hoort.*

3.2 Ordening opvoerwerken op basis van geluidmetingen

In figuur 3.2.1 zijn de opvoerwerken geordend naar de geluidsbelasting per frequentiegebied. De ordening heeft plaatsgevonden op basis van de maximaal waargenomen geluidsintensiteit.
In tabel 3.2.1 is een overzicht gegeven van alle metingen. Per categorie (Maximim, minimum en gemiddelde) zijn de opvoerwerken geordend.



figuur 3.2.1 Overzicht geluidsbelasting bij opvoerwerken in twee frequentiegebieden.

tabel 3.2.1 Overzicht van de geluidsmetingen..

Geluidsintensiteit (Sound Pressure Level (dB re 1uPA))

Frequentiebereik: 100-300 Hz					
Gem.	dB	Min.	dB	Max.	dB
Schilthuis	112	Faunapomp	107	Ypenburg	134
Tonnekreek	111	Tonnekreek	102	Tonnekreek	132
Ypenburg	110	Schilthuis	100	Schilthuis	132
Zilk	110	Zilk	100	Overwaard	129
Faunapomp	109	Ypenburg	96	Meerpolder	121
Overwaard	104	de Wenden	95	Wogmeer	119
Willem Alex.	104	Overwaard	92	de Wenden	117
de Wenden	103	Tilburg	90	Zilk	117
Tilburg	102	Meerpolder	89	Willem Alex.	115
Meerpolder	101	Vleuterweide	88	Vleuterweide	114
Wogmeer	99	Boreel	88	Antlia	113
Vleuterweide	96	Antlia	85	Faunapomp	113
Antlia	96	Wogmeer	84	Kortenhoef	108
Boreel	95	Willem Alex.	83	Tilburg	106
H en Z polder	89	Sudhoeke	77	Boreel	106
BB Polder	88	BB Polder	76	BB Polder	103
Duifpolder	84	H en Z polder	76	H en Z polder	99
Sudhoeke	83	Berkel	75	Duifpolder	98
Kortenhoef	82	Kortenhoef	74	Berkel	97
Berkel	82	Duifpolder	74	Sudhoeke	96
Thabor	74	Thabor	68	Thabor	93

Frequentiebereik: 900-1200 Hz					
Gem.	dB	Min.	dB	Max.	dB
Willem Alex.	116	Willem Alex.	112	Ypenburg	129
Kortenhoef	114	Kortenhoef	110	Schilthuis	124
Schilthuis	112	Schilthuis	106	Willem Alex.	123
Meerpolder	112	Meerpolder	105	Tonnekreek	122
Tonnekreek	108	Ypenburg	104	Meerpolder	120
Ypenburg	108	H en Z polder	102	Kortenhoef	118
H en Z polder	107	Tonnekreek	101	H en Z polder	114
Tilburg	103	Tilburg	97	Tilburg	108
Zilk	101	Zilk	97	Antlia	107
Vleuterweide	99	Vleuterweide	95	Vleuterweide	105
Antlia	98	Faunapomp	94	Zilk	105
Faunapomp	96	Antlia	91	de Wenden	103
Boreel	96	Boreel	91	Wogmeer	102
Wogmeer	93	Sudhoeke	88	Boreel	102
Duifpolder	92	Overwaard	87	Faunapomp	101
Sudhoeke	91	de Wenden	85	Overwaard	99
Overwaard	91	Wogmeer	85	Duifpolder	99
de Wenden	89	Duifpolder	81	Sudhoeke	95
Thabor	87	Thabor	80	Thabor	93
Berkel	78	Berkel	73	Berkel	89
BB Polder	73	BB Polder	69	BB Polder	86

4 Discussie

4.1 SF

Zoals eerder opgemerkt is het niet eenvoudig om aan te geven welke categorieën de meeste invloed hebben op de overleving van vis door een opvoerwerk. Om het effect van de waardering van de verschillende categorieën inzichtelijk te maken is het Excel spreadsheet (SS) **Interactief schadeprofiel.xls** samengesteld. Dit SS is bij het conceptrapport beschikbaar gesteld. De ingestelde default waarden, zijn de waarden die door VisAdvies zijn voorgesteld (§ 2.3.2). Wat het SS vooral illustreert is dat de uitkomst niet sterkt wijzigt, als met de onderlinge verhouding wordt geschoven. Dit houdt in dat opvoerwerken hoog scoren (vis-onvriendelijk zijn), omdat er op de meeste categorieën, meer dan gemiddeld wordt gescoord..

Bij de opvoerwerken uit figuur 3.1.2 werd meer dan 75% van de dummies ongeschonden teruggevonden, zodat zij op grond hiervan al in de categorie van meest visvriendelijke opvoerwerken vallen. Het verdere onderzoek van deze opvoerwerken met de *SF* geeft een aantal opmerkelijke resultaten. Vooral de twee speciaal ontworpen pompen, 'Visvriendelijke hidrostal' en de 'Amarex', scoren onverwacht hoog. Dit wordt vooral veroorzaakt door de hoge score bij de versnelling en de hoge mate van turbulentie die de pompen veroorzaken. Dit is verder verassend, omdat

- beide pompen alle dummies ongeschonden hebben doorgelaten,
- de vissen die gedwongen werden blootgesteld aan de pompen, onbeschadigd zijn gepasseerd en
- deze vissen ook na 24 uur geen uitgestelde sterfte vertoonden.

De vraag werpt zich hier op in hoeverre de gemeten versnelling daadwerkelijk een bedreiging is voor de passage van vis. Wellicht leidt de constructie van de pompen bij hoge versnellingen toch niet tot 'shear stress'. De schade als gevolg van grote turbulentie is gelegen in de vergrote kans dat een vis wordt geraakt door een waaier van de pomp. Ook hier geldt wellicht dat bij beide pompen dit aspect goed is ondervangen door de speciale constructie van de draaiende delen. Niettemin blijven de pompen 'heftig' gezien de hoge score. In welke mate desoriëntatie van de vis (verhoogde predatiekans) hier nog een rol speelt is moeilijk vast te stellen.
De vijzels en de Faunapomp hebben een lage schade, zoals op voorhand kon worden verwacht. Alleen de vijzel Overwaard scoort hoog. Dit was het gevolg van het hoge percentage dummies dat niet terugkeerde.

4.2 Geluid

De meeste opvoerwerken hebben een gelijkmatige geluidsintensiteit verdeeld over het frequentiegebied. Een aantal kenmerken zich doordat het accent sterk in het lage frequentiegebied ligt zoals de opvoerwerken:

- Overwaard,
- de Wenden,

- Sudhoeke,
- Faunapomp en
- De Zilk.

Dit ligt in de lijn der verwachting, omdat al deze pompen langzaam draaiende delen hebben.
Of juist in het hoge frequentiegebied zoals de opvoerwerken:

- Willem Alexander,
- Holierhoekse en Zouteveense polder en
- Kortenhoef

De informatie met betrekking tot het gehoor van vis is beperkt. Daarom wordt er vooralsnog van uitgegaan dat de audiogrammen in figuur 2.4.3 representatief zijn voor de doorsnee Nederlandse zoetwatervis. Op basis hiervan mag worden aangenomen dat de meeste opvoerwerken hoorbaar zijn voor vissen. Circa acht opvoerwerken produceren geluid onder de 100 dB bij 100-300 Hz, in het lage frequentiegebied, van rond of waarvan aangenomen wordt dat deze niet of slecht hoorbaar zijn. De relatie tussen geluid en schade is in het hoofdrapport nader beschreven.

5 Resultatenbijlage

5.1 Directe schade (dummies)

In tabel 5.1.1 is een overzicht gegeven van de resultaten van de inzet van de dummy *SF* . De resultaten zijn primair gebruikt om het risico van verlies van *SF* in te schatten. Daarnaast geeft het inzicht in de directe schade tijdens passage door het opvoerwerk.

tabel 5.1.1 Overzicht van het percentage dummies dat onbeschadigd opvoerwerken heeft gepasseerd.

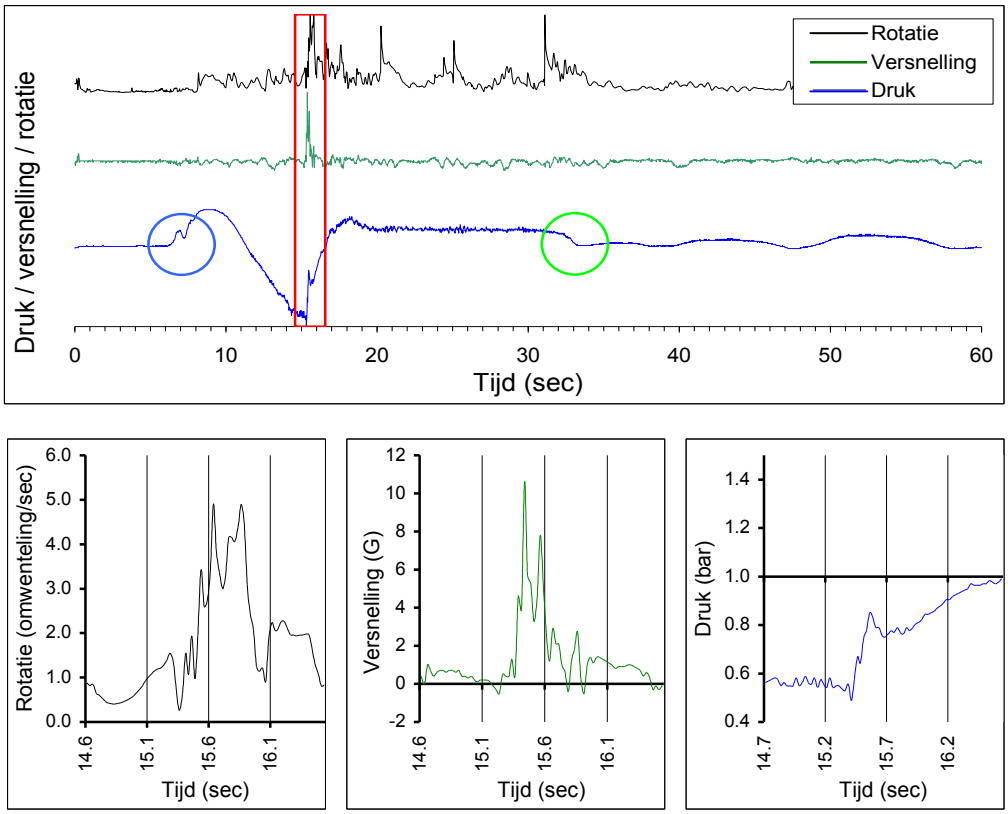
Ref.nr.			**n**	**Onbeschadigd**	
1	Centrifugaal	25-50	15	67%	Vijf van de 15 werden niet teruggevonden.
2		200-500	14	86%	Twee dummies zijn wellicht blijven hangen in de uitstroomklep, aan het einde van het lange uitstroomkanaal.
3	Open schroef	0-25	6	33%	Van de zes zijn er twee heel en één stuk gevonden.
4		25-50	6	0%	Al de zes dummies die zijn ingezet zijn beschadigd teruggevangen.
5		100-200	10	60%	Van de tien dummies zijn er zes heel, twee kapot en twee niet meer waargenomen.
6	Gesl. Schroef	0-25	7	0%	Van de zeven dummies zijn er vier niet meer terug gezien, twee beschadigd en één kapot teruggevonden.
7		50-100	8	100%	Alles onbeschadigd.
8	Gesl.Schroef (comp)	25-50	5	20%	Van de vijf dummies die werden ingezet kwam er één heel terug, één zwaar beschadigd en één gehalveerd.
9		50-100	10	40%	Vier werden heel teruggevonden, drie kapot geslagen en drie dummies zijn nooit teruggevonden.

10		100-200	16	75%	Er werden 14 van de 16 dummies terug-gevonden, waarvan twee met een barst in het materiaal. De overige twee zijn niet teruggevonden.
11		100-200	9	90%	Ondanks het grote peilverschil, de hoge stroomsnelheid en turbulentie werden niettemin negen van de tien dummies ongeschonden teruggevonden.
Ref.nr.			**n**	**Onbe-schadigd**	
12	Hidrostal	0-25	10	100%	Alles onbeschadigd.
13		25-50	10	100%	Alles onbeschadigd.
14	Schroef-centrifugaal	0-25	12	33%	Vier van de twaalf kwamen heel terug en 3 kapotte.
15		0-25	18	100%	Alles onbeschadigd.
16		0-25	8	100%	Alles onbeschadigd.
17		25-50	10	20%	Hier zijn 10 dummies door het opvoerwerk gegaan waarvan er twee zijn teruggevon-den.
18		50-100	13	23%	Er zijn in totaal 13 dummies door het opvoerwerk gedaan, waarvan er twee niet meer werden gezien, vier zwaar zijn be-schadigd, vier met barsten en drie in goede staat terug gevonden.
19		100-200	14	93%	De afstand tussen het krooshek en de pomp was met ongeveer acht meter, vrij groot. Bovendien liep de aanvoerkoker naar de pomp onder een hoek naar bene-den. Tweemaal zeven dummies ingezet waarvan één exemplaar verloren is ge-gaan.
20		200-500	16	81%	Dit opvoerwerk heeft een uitstroomkanaal van enkele honderden meters lang. Eerste test met zes dummy's waarvan vier te-ruggevonden. Vervolgens tien dummies ingezet, waarvan er negen werden terug-gevonden.
21	Vijzels	0-25	14	100%	Alles onbeschadigd.
22		0-25	n.v.t.	n.v.t.	Niet uitgevoerd omdat het opvoerwerk voor lange tijd in onderhoud is gegaan.
23		50-100	6	0%	Van de zes dummies werd geen een te-ruggevonden. Dit kwam zeker door de ingewikkelde ondergrondse constructie van het opvoerwerk, waardoor de dum-mies in veel gevallen in een hoek kan blijven drijven.
24		100-200	15	93%	14 Exemplaren zijn onbeschadigd terug-gevonden.
25		200-500	11	64%	Tussen het krooshek en het begin van de vijzel is een schot aanwezig waar de SF de uitstroomklep mogelijk blijven hangen.
26	Rest	0-25	10	100%	Alles onbeschadigd.

5.2 Centrifugaalpompen

5.2.1 Boreel

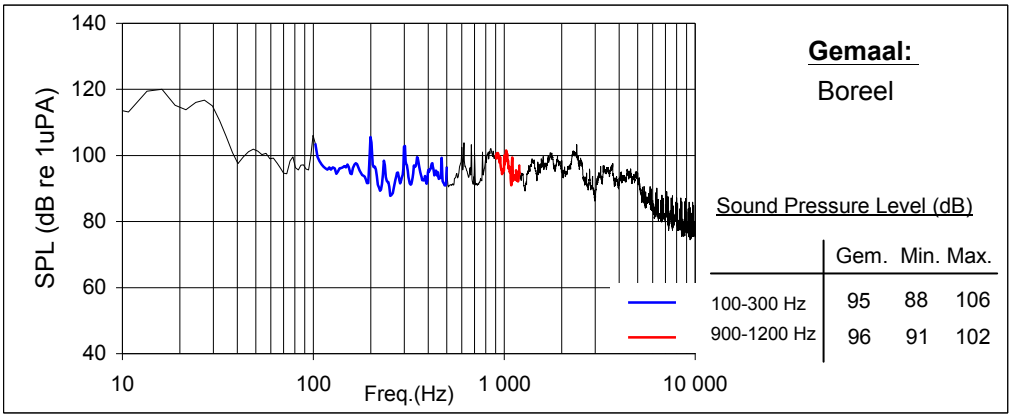
Vooral het drukverloop geeft bij dit type pomp een karakteristiek verloop wat is te herleiden tot de constructie van het opvoerwerk. Het eerste deel van de toevoer-leiding loopt naar de diepte wat een toename van de druk tot gevolg heeft (t= 6-8 sec). Vervolgens wordt het water 'opgezogen' tot ver boven de waterspiegel zodat er een onderdruk ontstaat (t= 10-15 sec). Op t= 15,3 sec, passeert de *SF* de pomp en neemt de druk snel toe door de opstuwing van het water.



figuur 5.2.1 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Boreel.*

tabel 5.2.1 *Overzicht van de meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Boreel*

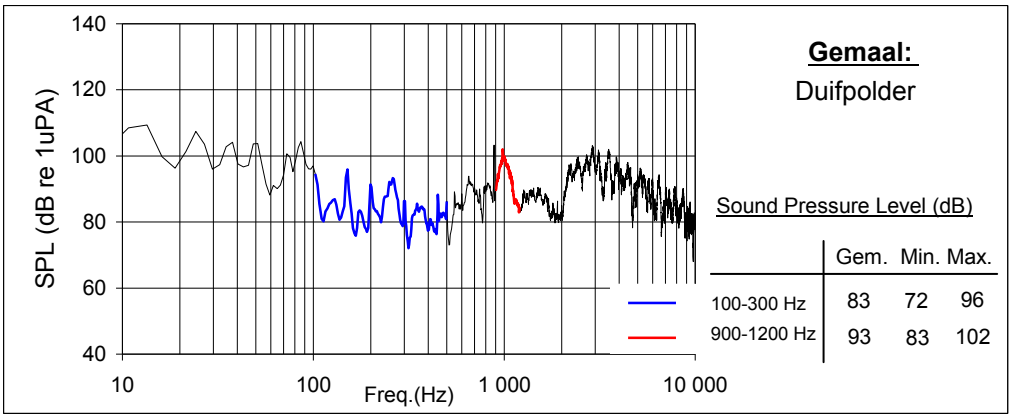
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	4.9	10.6	1.25
Druk-toename pomp			0.32
Duur druk-toename (sec)			0.20
Druk-toename/sec			1.61
Druk-afname pomp			0.72
Duur druk-afname (sec)			6.3
Druk-afname/sec			0.11



figuur 5.2.2 Frequentiespectrum

5.2.2 Duifpolder

Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (33%).

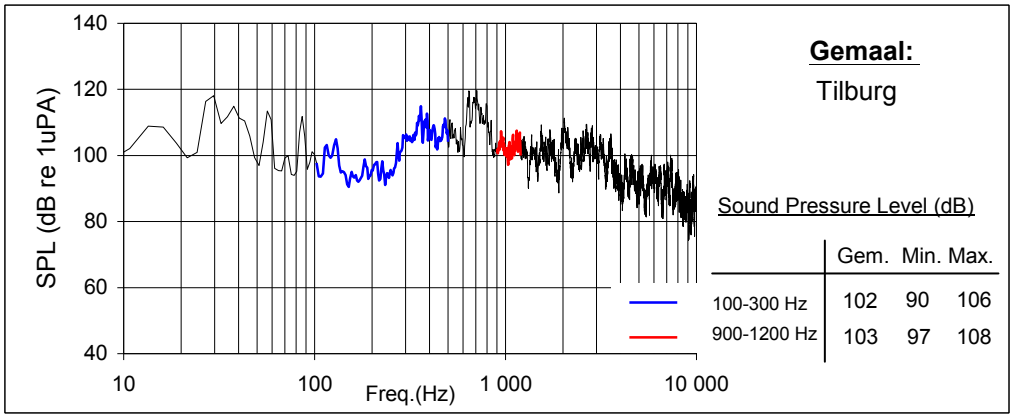


figuur 5.2.3 Frequentiespectrum

5.3 Open schroefpomp

5.3.1 Tilburg

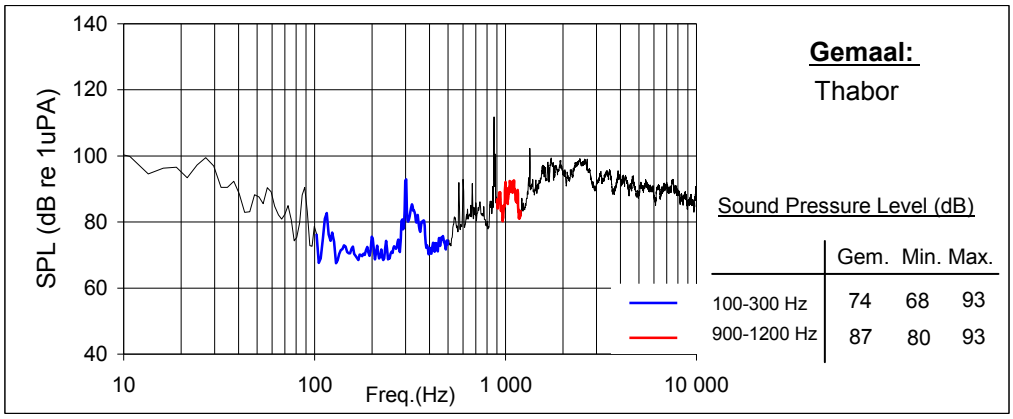
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (40%).



figuur 5.3.1 Frequentiespectrum

5.3.2 Thabor

Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (50%).

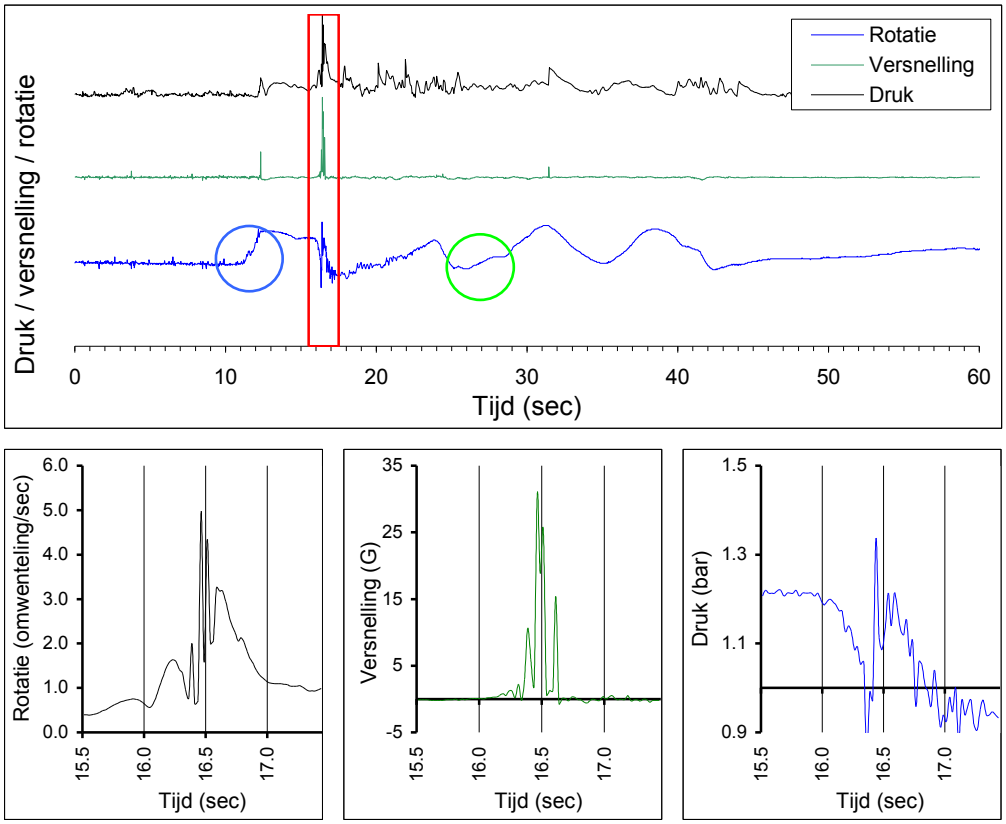


figuur 5.3.2 Frequentiespectrum

5.4 Gesloten schroefpomp

5.4.1 Kortenhoef

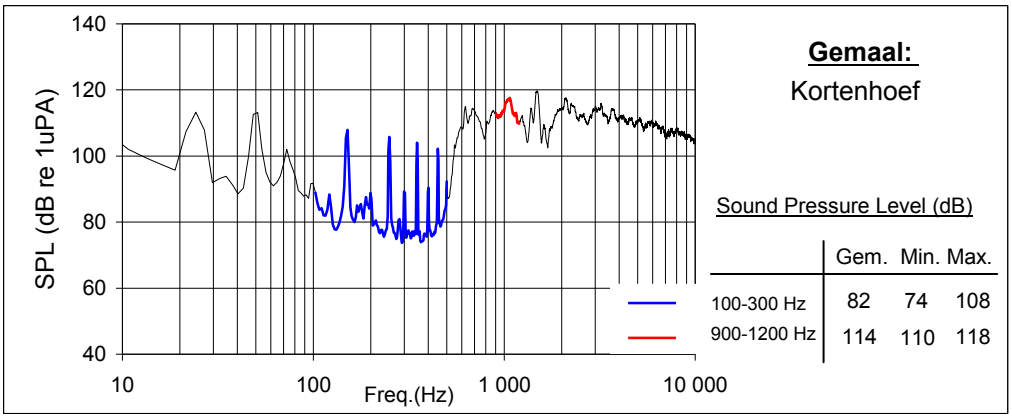
Opvallend is de hoge versnelling van de *SF* bij het passeren van de pomp. Dit kan het gevolg zijn van een botsing met de waaier, maar de kans wordt gering geacht. Alle acht ingezette dummies zien hier immers ongeschonden door het opvoerwerk heen gekomen. De toename in druk is hier ook bijzonder hoog ten opzichte in vergelijking tot de overige opvoerwerken. Het opvoerwerk brengt vooral hoog frequent geluid voort. De frequentie pieken in het lage gebied zijn het gevolg van elektrische verstoring en hebben geen relatie met de geluidsintensiteit.



figuur 5.4.1 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Kortenhoef.*

tabel 5.4.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Kortenhoef.*

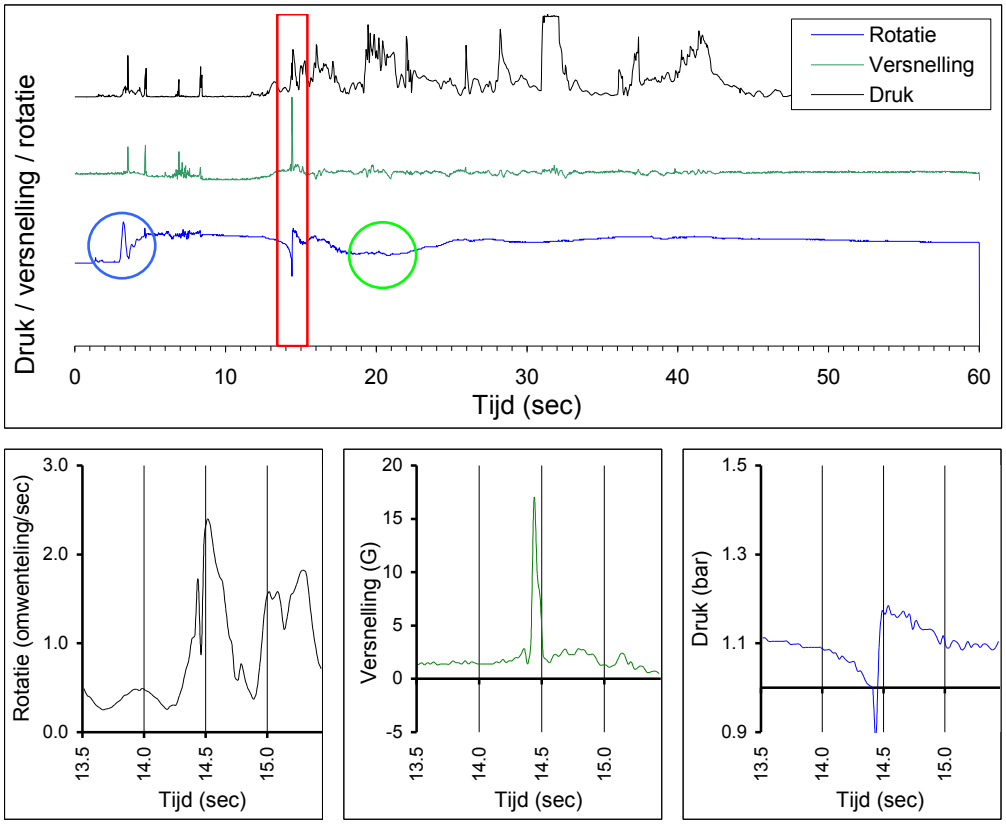
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	5.0	30.7	0.90
Druk-toename pomp			0.49
Duur druk-toename (sec)			0.07
Druk-toename/sec			6.52
Druk-afname pomp			0.34
Duur druk-afname (sec)			0.25
Druk-afname/sec			1.37



figuur 5.4.2 *Frequentiespectrum*

5.5 Gesloten schroefpomp (compact)

5.5.1 Berkel

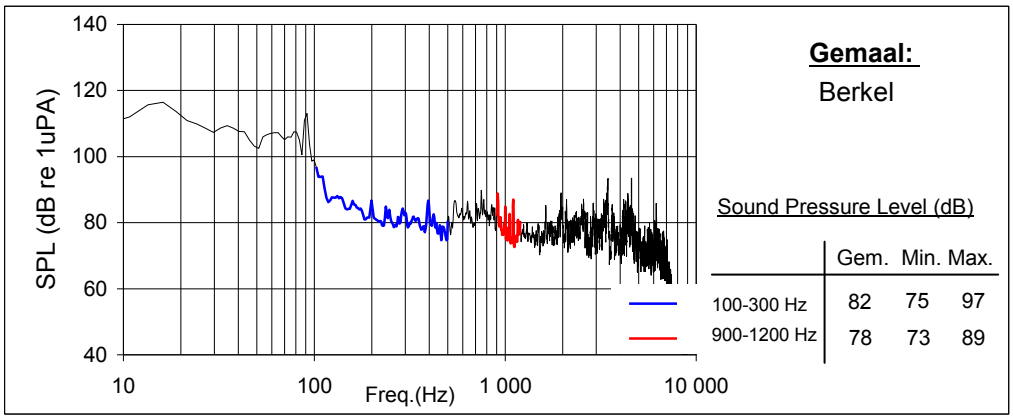


figuur 5.5.1 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Berkel.*

Opmerkelijk bij dit opvoerwerk is de uiterst snelle drukverschillen die bij de pomp plaatsvinden. Ook de versnelling is hier bovengemiddeld.

tabel 5.5.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Berkel.*

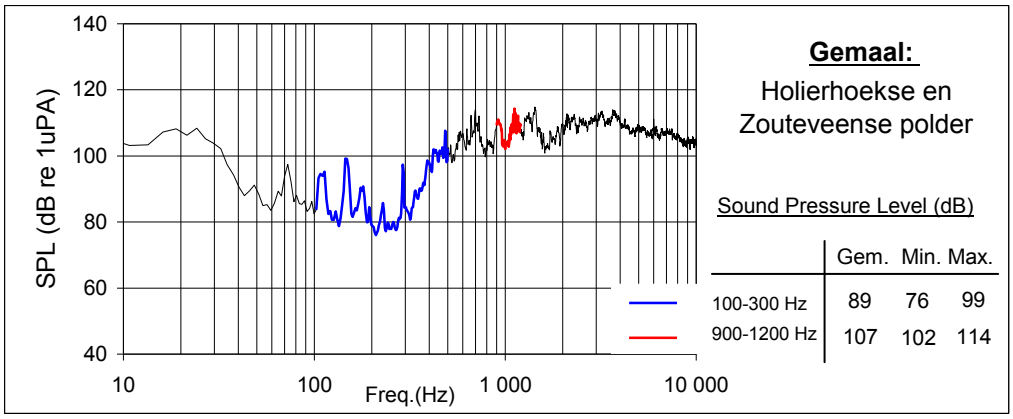
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	4.2	16.9	1.23
Druk-toename pomp			0.28
Duur druk-toename (sec)			0.05
Druk-toename/sec			5.63
Druk-afname pomp			0.11
Duur druk-afname (sec)			0.03
Druk-afname/sec			4.3



figuur 5.5.2 Frequentiespectrum

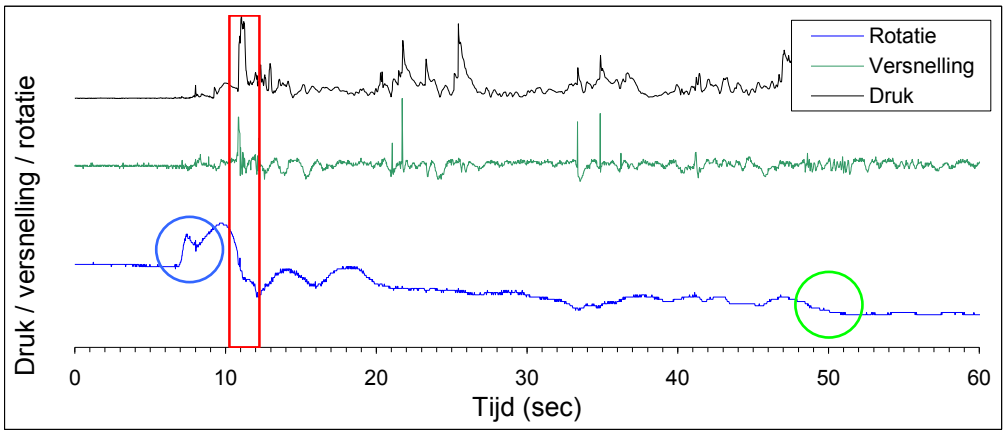
5.5.2 Holierhoekse en Zouteveensepolder

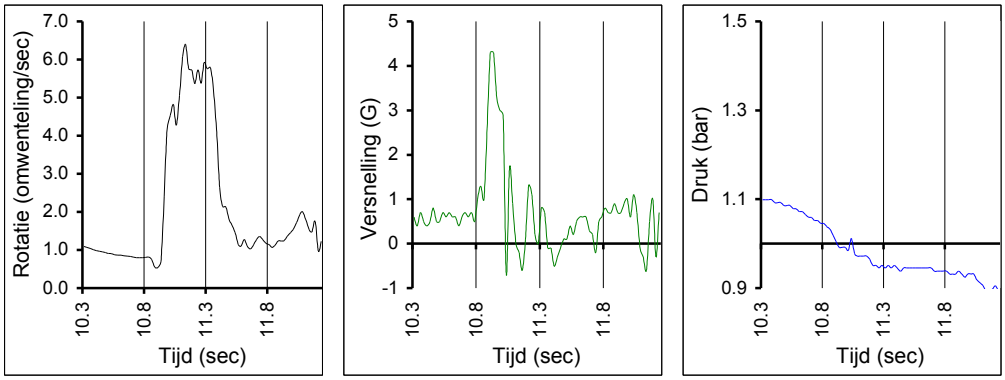
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (60%).



figuur 5.5.3 Frequentiespectrum

5.5.3 Antlia

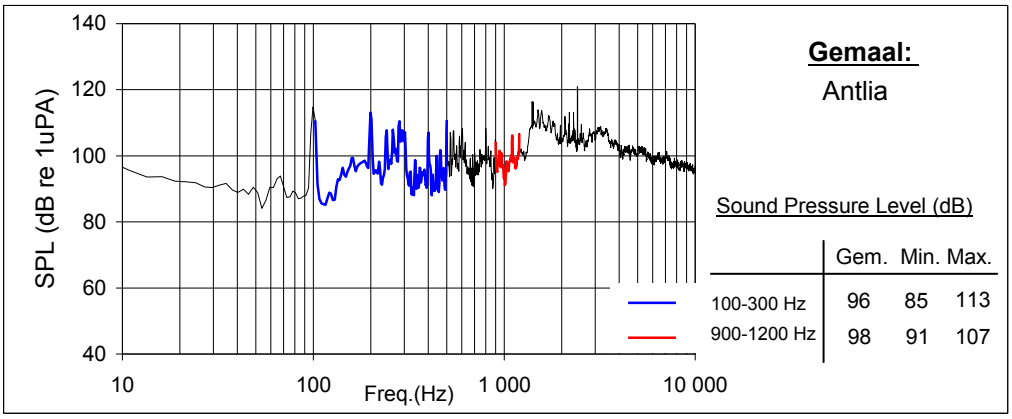




figuur 5.5.4 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Antlia.*

tabel 5.5.2 *Overzicht van de belangrijkste resultaten tijdens de passage door opvoerwerk Antlia*

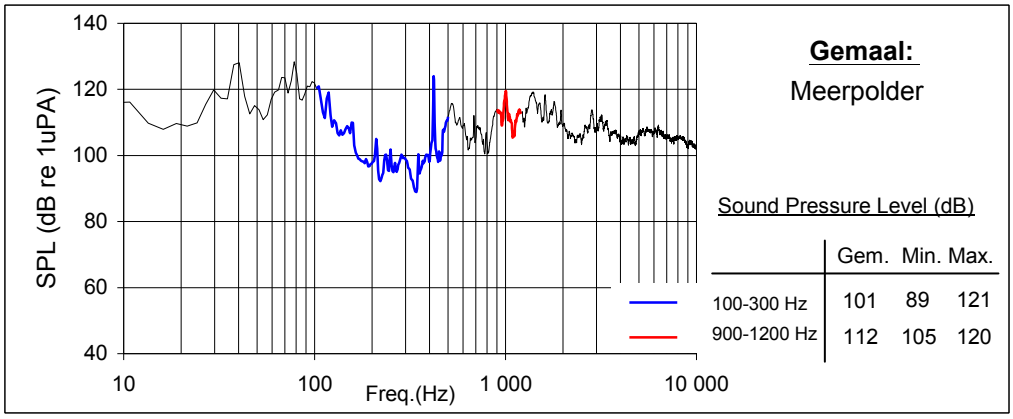
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.4	5.9	1.32
Druk-toename pomp			-
Duur druk-toename (sec)			-
Druk-toename/sec			-
Druk-afname pomp			0.12
Duur druk-afname (sec)			0.80
Druk-afname/sec			0.15



figuur 5.5.5 *Frequentiespectrum*

5.5.4 Meerpolder

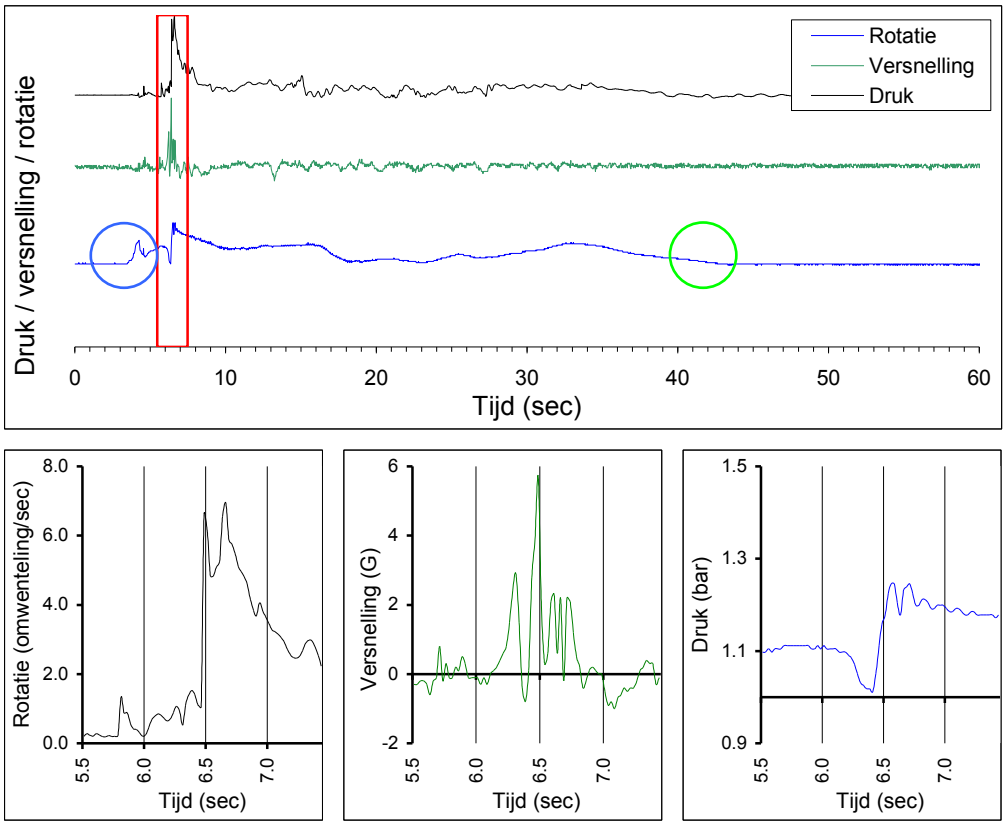
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (67%).



figuur 5.5.6 Frequentiespectrum

5.6 Hidrostal

5.6.1 Wogmeer

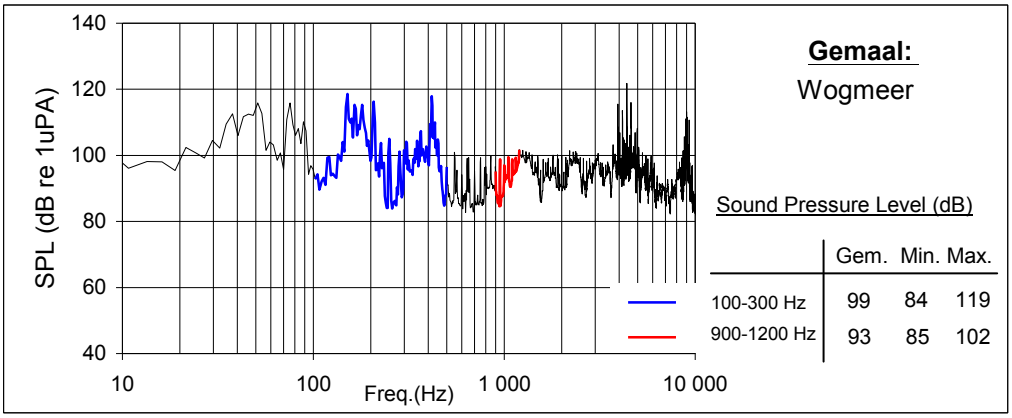


figuur 5.6.1 Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Wogmeer.

tabel 5.6.1 Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de door opvoerwerk Wogmeer

	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.9	5.7	1.25
Druk-toename pomp			0.23
Duur druk-toename (sec)			0.18

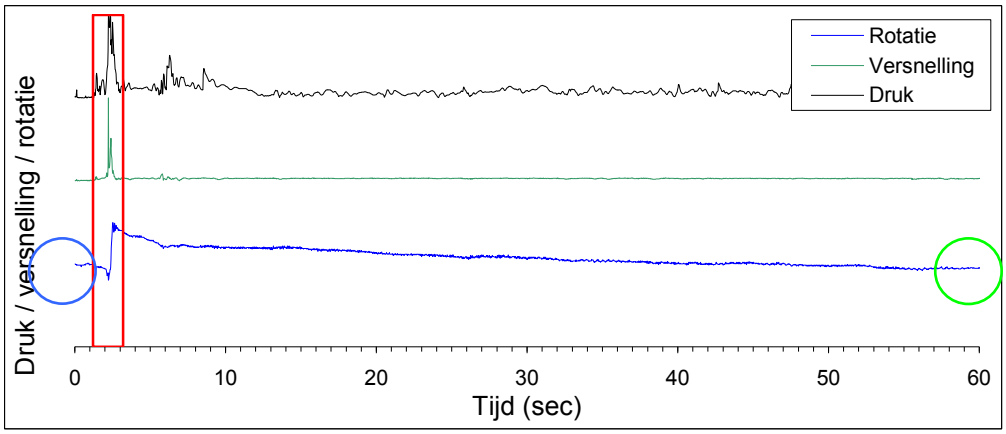
Druk-toename/sec			1.30
Druk-afname pomp			0.07
Duur druk-afname (sec)			0.18
Druk-afname/sec			0.42

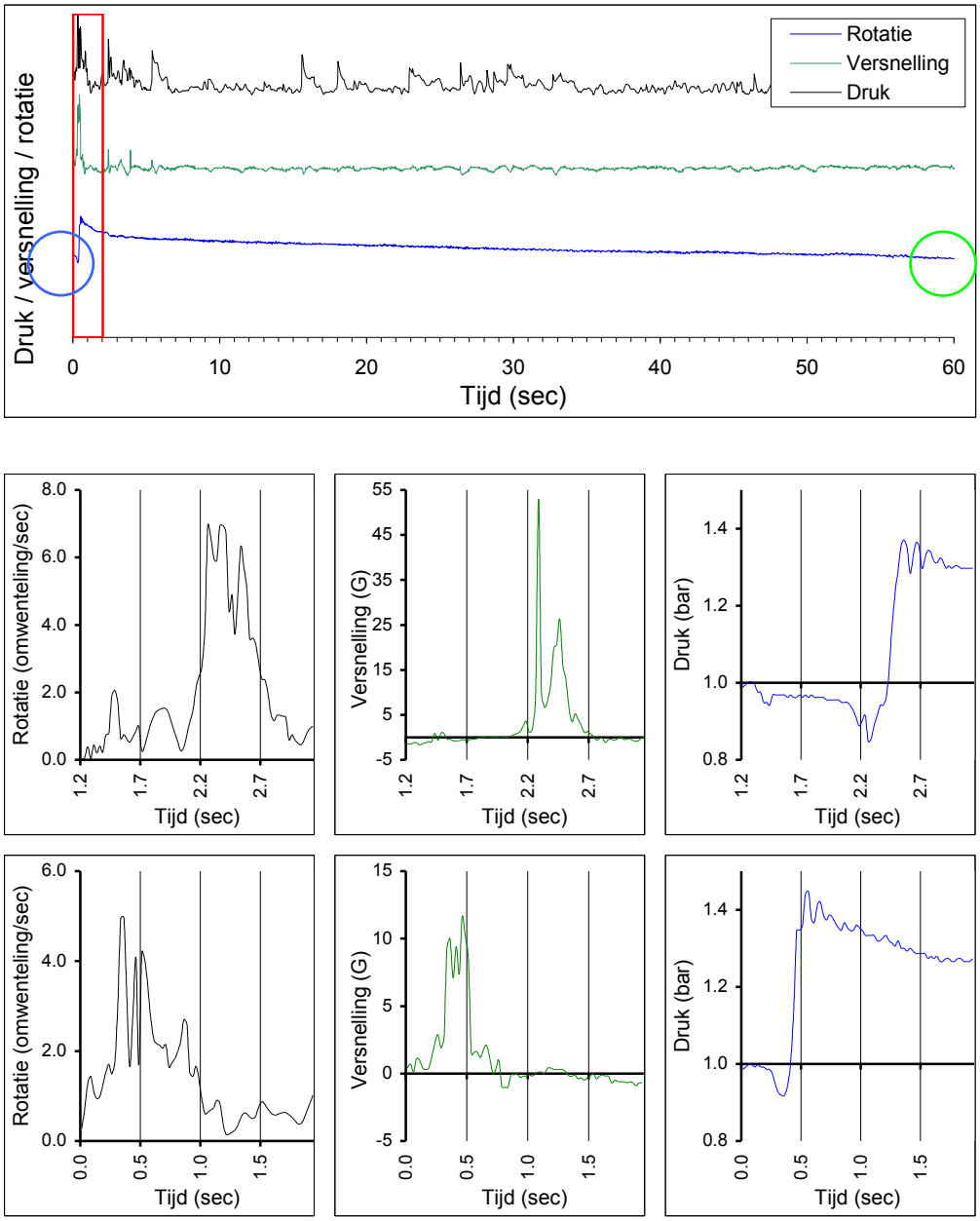


figuur 5.6.2 Frequentiespectrum

5.6.2 Ypenburg

Opvallend was dat tijdens de eerste run met de *SF* de versnelling bijzonder hoog was bij het passeren van de pomp. Gezien de korte duur van de versnelling kan de enige verklaring zijn dat de *SF* werd geraakt door één van de waaiers van de pomp. Opgemerkt moet worden dat de grote versnelling van 55 g niet representatief is voor de kracht die een vis in deze omstandigheden zal ondervinden. De hardheid van de *SF* brengt met zich mee dat deze van de waaier afketst. Dit zal niet in die mate gebeuren met een 'zachte' vis, zodat de versnelling lager zal blijven. Dit staat overigens los van de fysieke schade die een vis zal ondervinden ten gevolge van een botsing met de waaier. Deze hoge versnelling werd al in het veld opgemerkt bij de controle van de meetresultaten. Besloten werd om een tweede run met de *SF* uit te voeren.



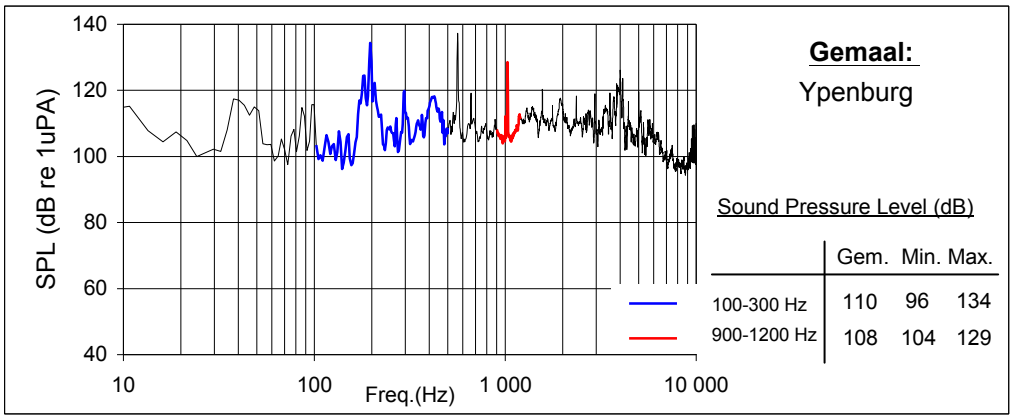


figuur 5.6.3 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Ypenburg tijdens run 1 (boven) en run 2 (onder)..*

tabel 5.6.2 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Ypenburg.*

Run 1	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.9	53.0	1.62
Druk-toename pomp			0.50
Duur druk-toename (sec)			0.25
Druk-toename/sec			2.01
Druk-afname pomp			
Duur druk-afname (sec)			
Druk-afname/sec			

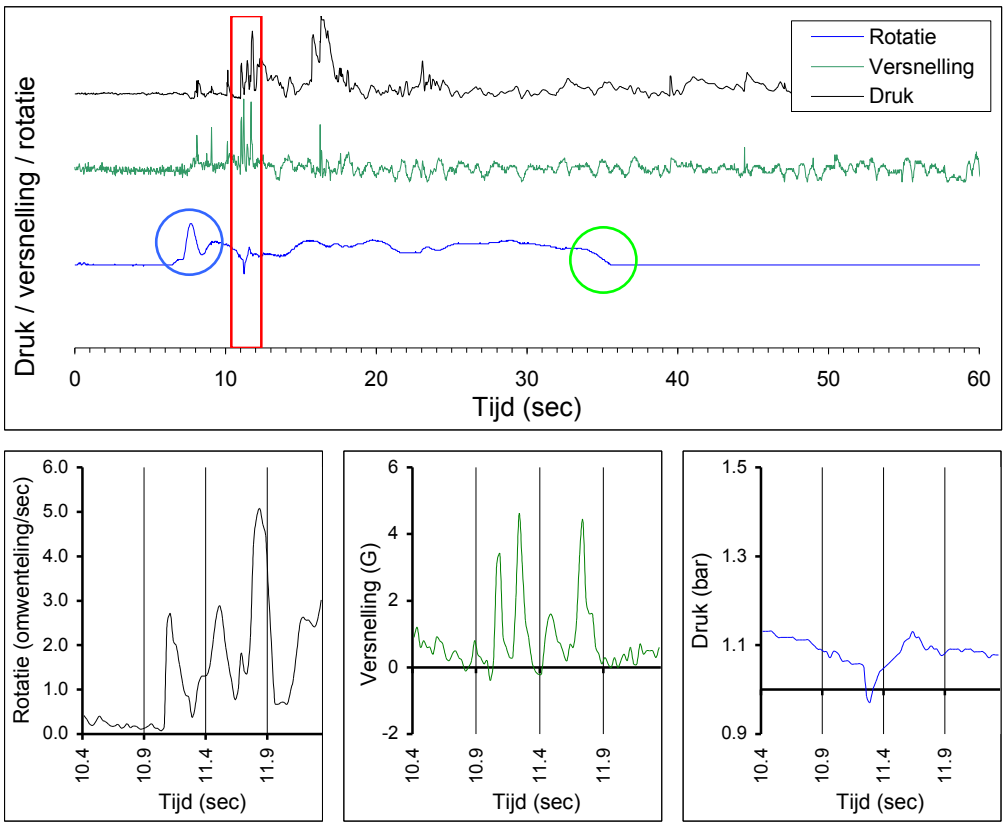
Run 2	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	5.0	11.6	1.65
Druk-toename pomp			0.52
Duur druk-toename (sec)			0.20
Druk-toename/sec			2.61
Druk-afname pomp			0.07
Duur druk-afname (sec)			0.10
Druk-afname/sec			0.67



figuur 5.6.4 Frequentiespectrum

5.7 Schroefcentrifugaalpompen

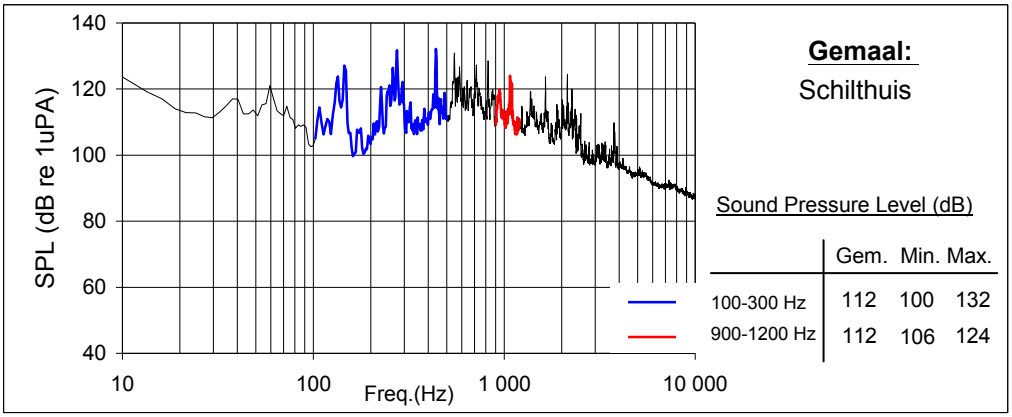
5.7.1 Schilthuis



figuur 5.7.1 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Schilthuis.*

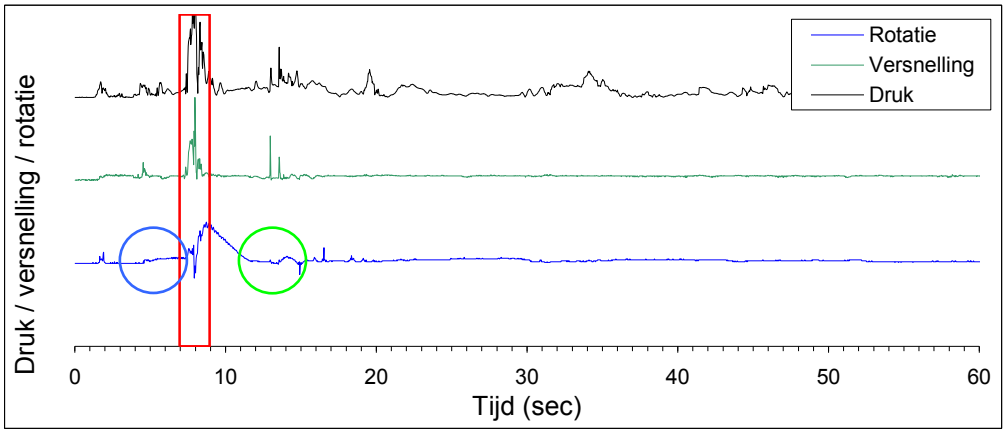
tabel 5.7.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Schilthuis.*

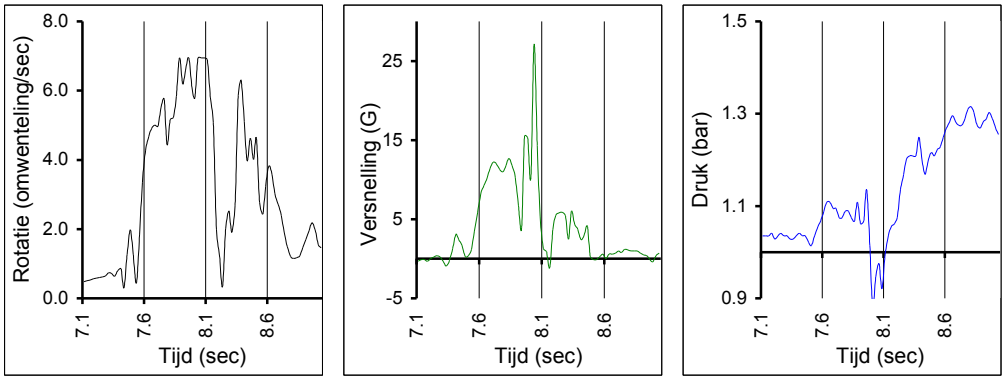
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.2	4.6	1.27
Druk-toename pomp			0.16
Duur druk-toename (sec)			0.35
Druk-toename/sec			0.46
Druk-afname pomp			0.09
Duur druk-afname (sec)			0.07
Druk-afname/sec			1.16



figuur 5.7.2 *Frequentiespectrum*

5.7.2 Visvriendelijke hidrostal



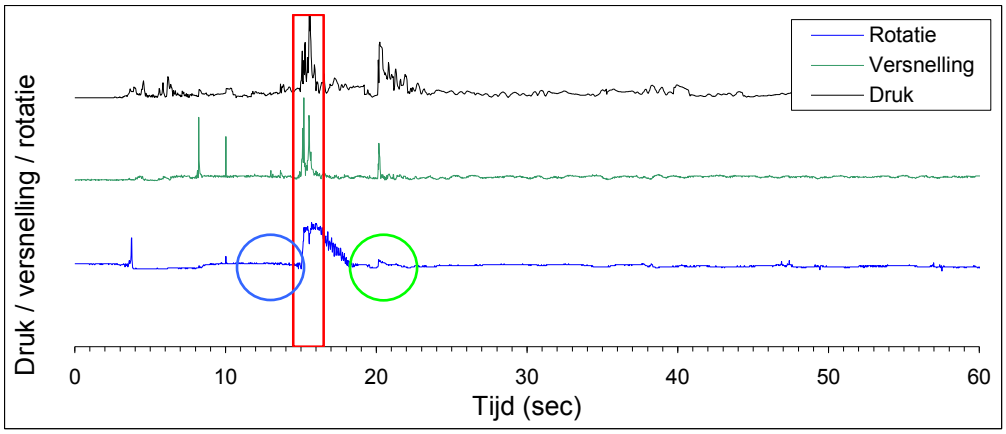


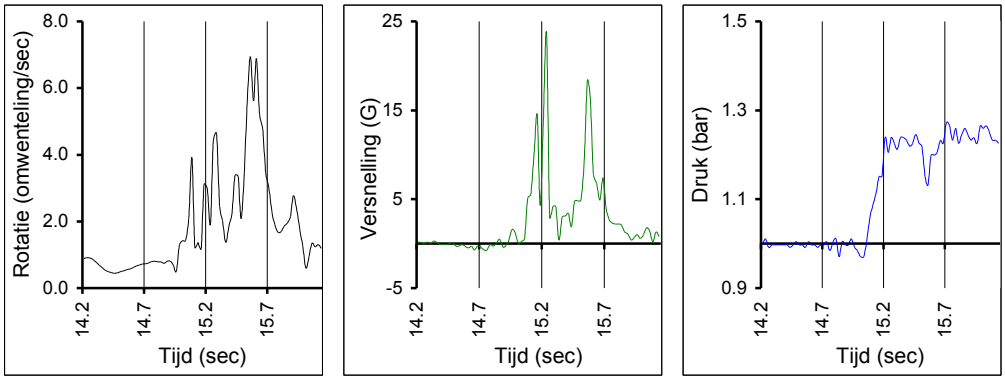
figuur 5.7.3 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij de visvriendelijke hidrostal pomp.*

tabel 5.7.2 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage de visvriendelijke hidrostal pomp.*

	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.9	27.1	1.37
Druk-toename pomp			0.29
Duur druk-toename (sec)			0.25
Druk-toename/sec			1.15
Druk-afname pomp			0.25
Duur druk-afname (sec)			0.05
Druk-afname/sec			5.08

5.7.3 AmarexKRT(D)





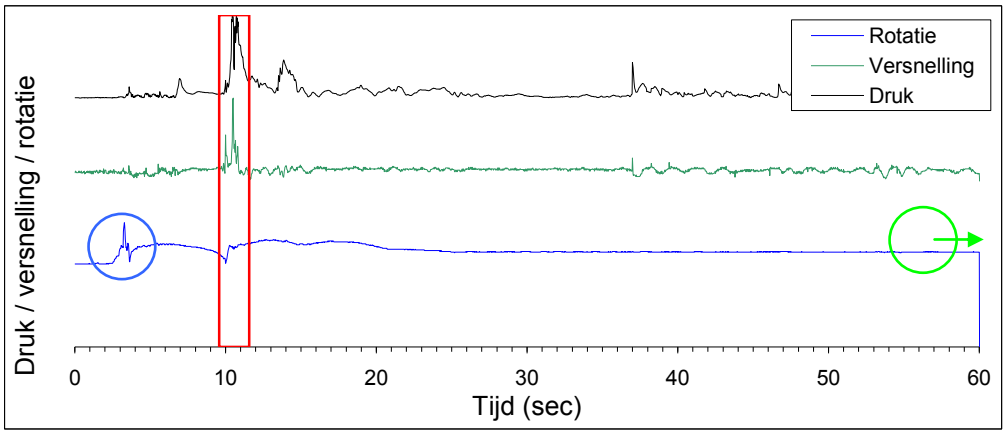
figuur 5.7.4 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij de Amarex pomp..*

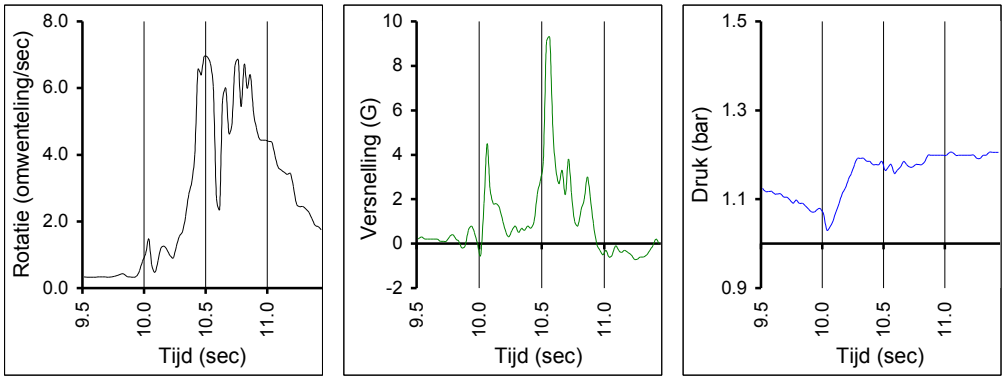
tabel 5.7.3 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door de visvriendelijke Amarex pomp*

	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.9	23.6	1.33
Druk-toename pomp			0.27
Duur druk-toename (sec)			0.17
Druk-toename/sec			1.53
Druk-afname pomp			0.02
Duur druk-afname (sec)			0.08
Druk-afname/sec			0.27

5.7.4 Tonnekreek

De dummies en de *SF* werden na ca twee minuten achter het opvoerwerk terug-gezien, zodat het eindpunt (groene cirkel) buiten de figuur valt.

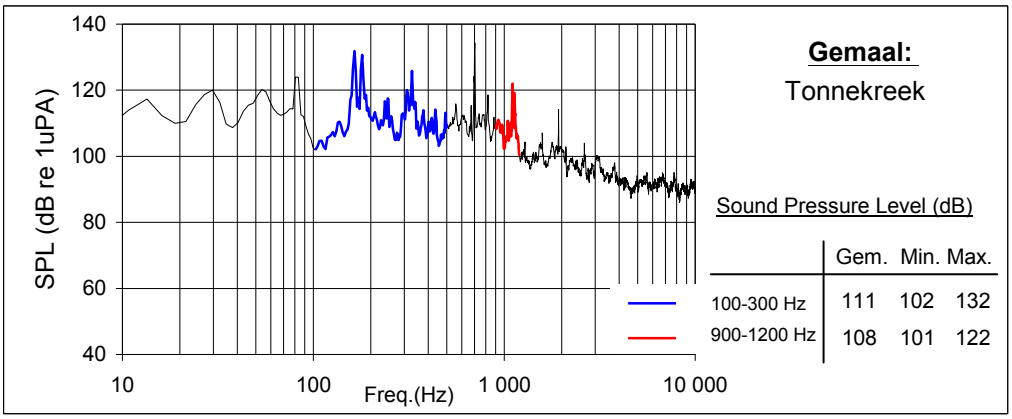




figuur 5.7.5 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Tonnekreek.*

tabel 5.7.4 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Tonnekreek.*

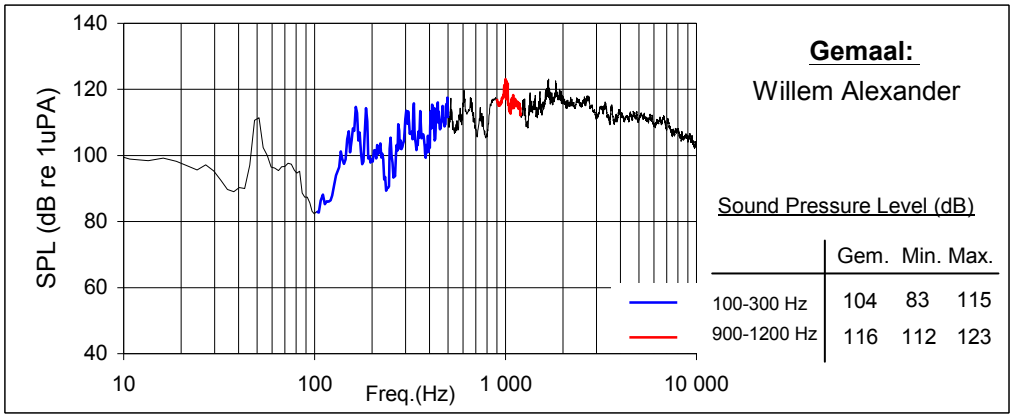
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	6.9	9.3	1.40
Druk-toename pomp			0.16
Duur druk-toename (sec)			0.25
Druk-toename/sec			0.64
Druk-afname pomp			0.04
Duur druk-afname (sec)			0.10
Druk-afname/sec			0.40



figuur 5.7.6 *Frequentiespectrum*

5.7.5 Willem-Alexander

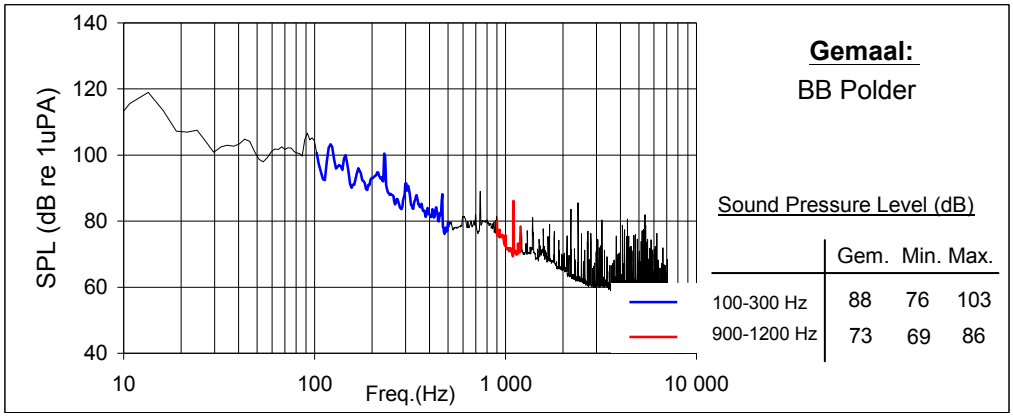
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (77%).



figuur 5.7.7 Frequentiespectrum

5.7.6 B.B. polder

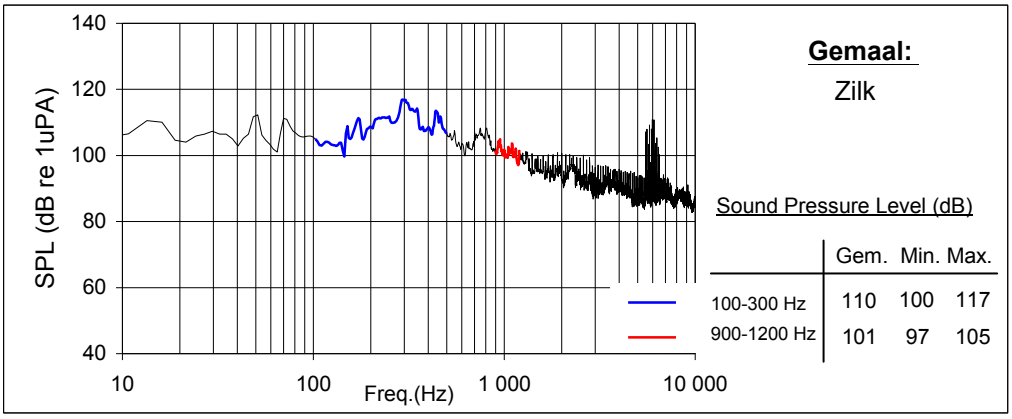
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (67%).



figuur 5.7.8 Frequentiespectrum

5.7.7 De Zilk

Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (80%).

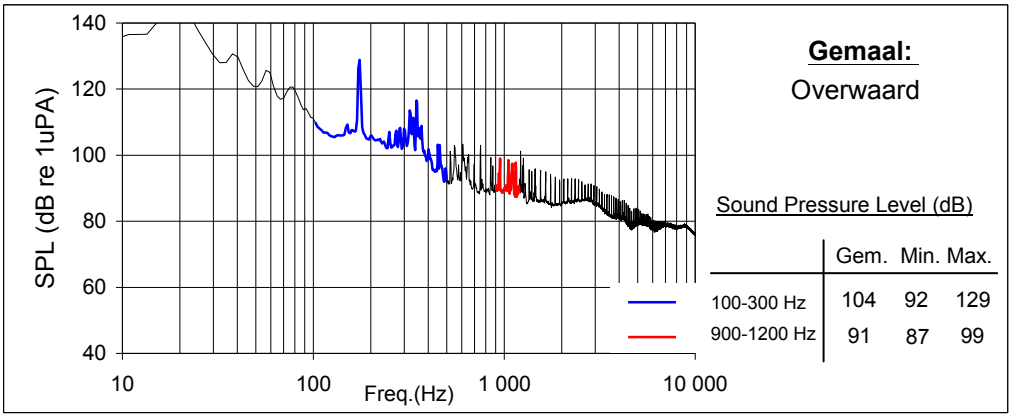


figuur 5.7.9 Frequentiespectrum

5.8 Vijzels

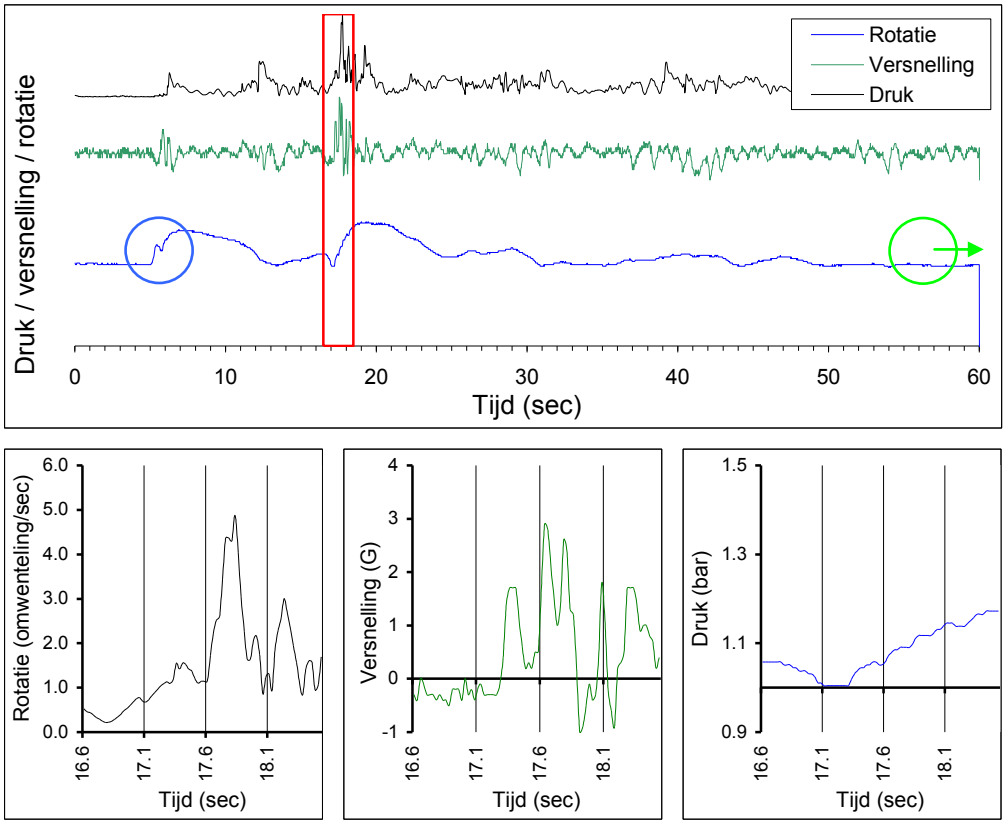
5.8.1 Overwaard

Bij opvoerwerk Overwaard zijn vooral de lage frequenties dominant, met een opvallende piek bij 174 Hz. Deze specifieke frequentiepieken zien we bij veel opvoerwerken terug. Deze zijn soms te herleiden tot het toerental van de pomp of de motor. Door de tandwieloverbrenging van de motoren naar de waaiers van de pomp kunnen ook nog andere frequenties domineren.
Bij een aantal opvoerwerken is in meer of mindere mate, interferentie met elektrische storing waargenomen. Dit was ook het geval bij opvoerwerk Overwaard. Dit kan resulteren in een frequentiepiek bij 50 Hz en veelvouden hiervan. De 50 Hz is te herleiden tot de wisselspanning van het elektriciteitsnet. Bij opvoerwerk Overwaard werd deze verstoring vanaf de 250 Hz waargenomen.
Bij opvoerwerk Nijverheid en Makkemermar was de verstoring dusdanig dat ook na herhaling, geluidsmetingen op deze locaties verloren zijn gegaan.



figuur 5.8.1 Frequentiespectrum

5.8.2 De Wenden

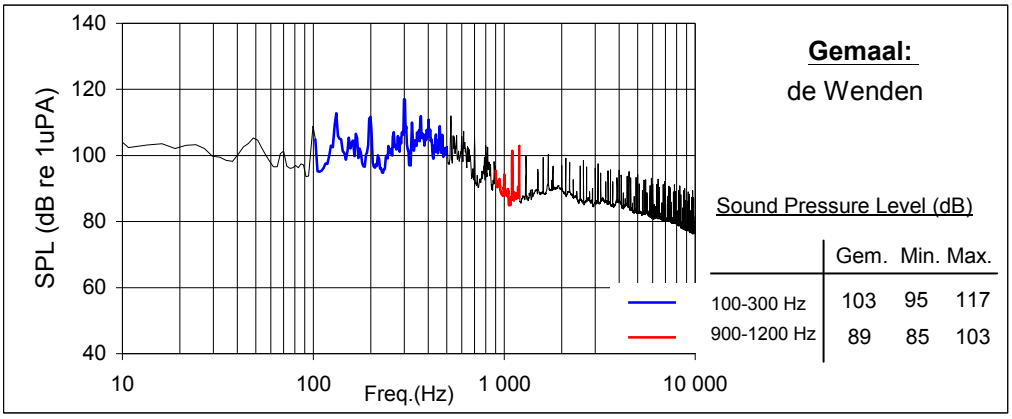


figuur 5.8.2 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk de Wenden.*

Bij de vijzels is niet duidelijk sprake van een moment waarop de pomp wordt gepasseerd. De sterkste respons van de *SF* is na ca 18 seconde. Op dat moment wordt de aanvoerleiding verlaten en de *SF* door de vijzel opgepakt. De doorgang van de dummies duurde ca 120 tot 140 seconden, zodat het eindpunt (groene cirkel) niet in de grafiek staat.

tabel 5.8.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk de Wenden.*

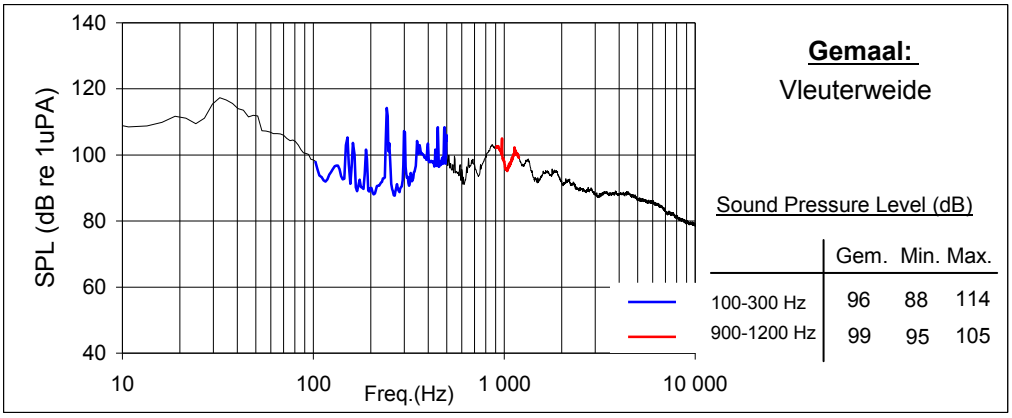
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	4.9	2.9	1.20
Druk-toename pomp			0.05
Duur druk-toename (sec)			0.33
Druk-toename/sec			0.16
Druk-afname pomp			0.05
Duur druk-afname (sec)			0.42
Druk-afname/sec			0.11



figuur 5.8.3 *Frequentiespectrum*

5.8.3 Vleuterweide

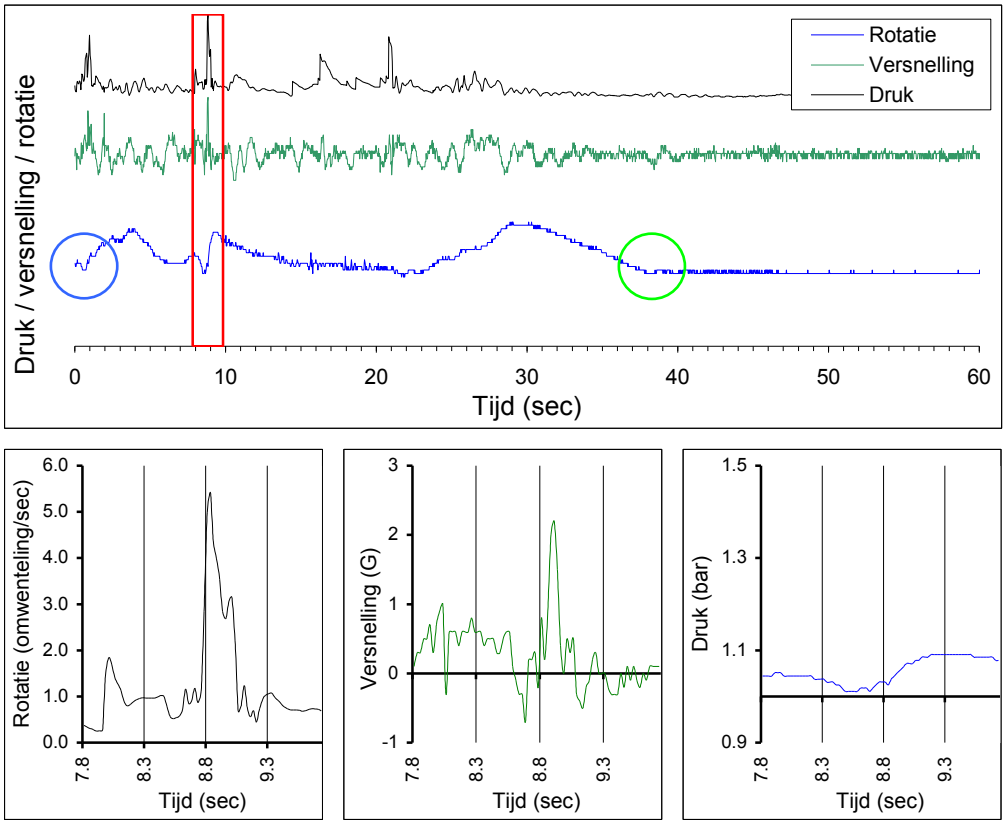
Bij dit opvoerwerk is de *SF* niet ingezet op basis van het verlies aan dummies (100%).



figuur 5.8.4 *Frequentiespectrum*

5.8.4 Sudhoeke

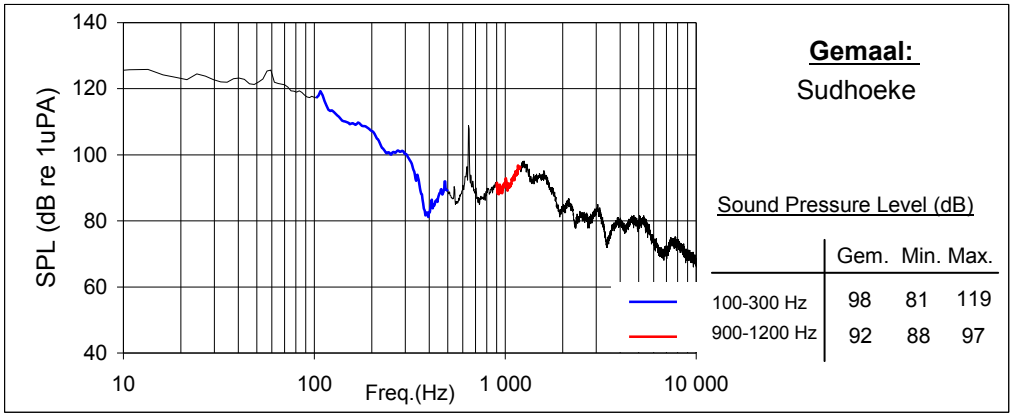
Ook bij de vijzel Sudhoeke is er geen sprake van het passeren van de pomp. Het rode kader geeft wellicht het moment aan dat de *SF* door de vijzel wordt opgepakt. De druk en de versnelling zijn op dit punt ook uiterst beperkt.



figuur 5.8.5 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij opvoerwerk Sudhoeke.*

tabel 5.8.2 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door opvoerwerk Sudhoeke*

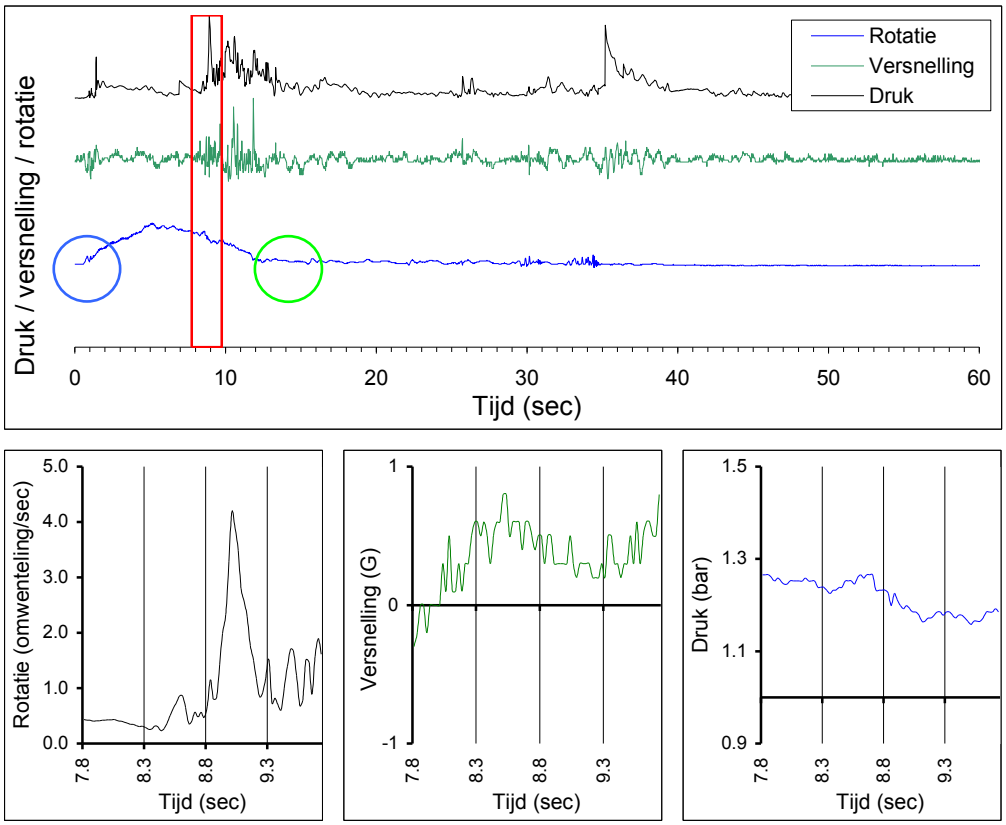
	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	5.4	2.2	1.11
Druk-toename pomp			0.07
Duur druk-toename (sec)			0.48
Druk-toename/sec			0.14
Druk-afname pomp			0.03
Duur druk-afname (sec)			0.35
Druk-afname/sec			0.1



figuur 5.8.6 *Frequentiespectrum*

5.9 Rest

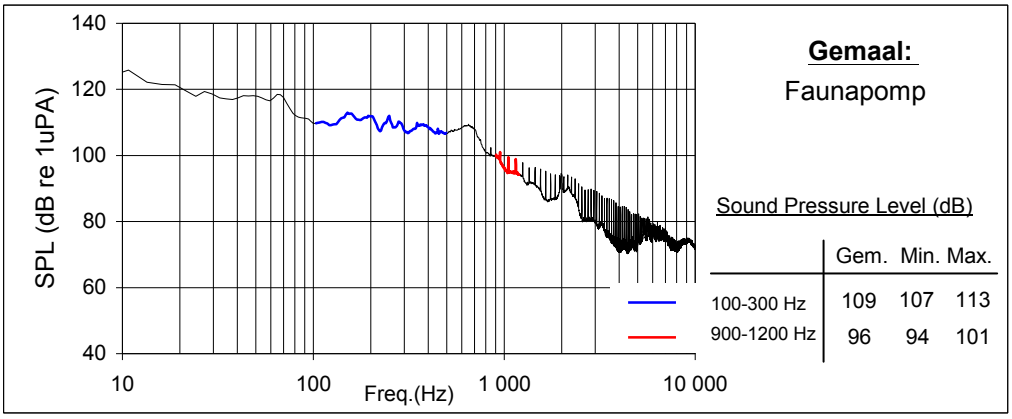
5.9.1 Faunapomp



figuur 5.9.1 *Verloop van rotatie, versnelling en druk in de tijd bij de Faunapomp.*

tabel 5.9.1 *Overzicht van de belangrijkste meetresultaten tijdens de passage door de Faunapomp.*

	Rotatie (omw/sec.)	Versnelling (g)	Druk (bar)
Maximum tijdens passage	4.2	2.6	1.34
Druk-toename pomp			0.02
Duur druk-toename (sec)			0.15
Druk-toename/sec			0.14
Druk-afname pomp			-
Duur druk-afname (sec)			-
Druk-afname/sec			-



figuur 5.9.2 Frequentiespectrum

Literatuurlijst

Carlson, T.J., J.P. Duncan & R.L. Johnson, 2005. Characterization of Pump Flow at the Grand Coulee Dam Pumping Station for fish passage, U.S. Department of Commerce, Springfield. 36 pag.

Dermonpré, E., B. Denayer, C. Belpaire & F. Ollivier, 1994. Inventarisatie van pomp-gemalen in het Vlaamse gewest en preliminair onderzoek naar de schade van diverse pomptypes op vissen na gedwongen blootstelling. Onderzoek door AMINAL en de Katholieke Universiteit Leuven.

Glenn F. C. & C.C. Coutant,1997. Environmental Sciences Division Oak: Ridge Na-tional Laboratory Oak: Ridge, TN and Richard R Whitney Leavenworth, Washington.

Hawkins, A.D. & Johnstone, A.D.F., 1978. The hearing of the Atlantic salmon, Salmo salar. J. Fish. Biol., 13:655-673.

Kemper J.H., H. Vis, F.T. Vriese, J. Hop & J. Kampen, 2011. Gemalen of vermalen worden (fase 3). Subtitel: Onderzoek naar de visvriendelijkheid van 26 opvoerwerktuigen. VisAdvies BV. Nieuwegein. Projectnummer VA2009_33, 73 pag.

Popper, A.N., 1972. Pure-tone auditory thresholds for the carp, Cyprinus carpio. JASA, 52(6) Part 2, 1714-1717.

Spierts, I.L.Y. & J.H. Kemper, 2010. Fysische omstandigheden bij de gemalen Hoek-polder en Aalkeetpolder in relatie tot vis. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009_42, 18 pag.

Turnpenny, A.W.H., M.H. Davis, J.M. Fleming & J.K. Davies. 1992. Experimental studies relating to the passage of fish and shrimps through tidal power turbines. Ma-rine and Freshwater Biology Unit, National Power, Fawley, Southhampton, Hamp-shire, England.

Vis H., I.L.Y. Spierts & J.H. Kemper, 2010. Fysische omstandigheden in de opvoer-werk-pompen bij IJmuiden in relatie tot vis. VisAdvies BV, Nieuwegein. Projectnummer VA2009_53, 23 pag..

Wolff, D.L.,1967. Das Hörvermögen des Flussbarsches (Perca fluviatilis L.). Biol. Entr., 86:449-460.

Wolff, D.L., 1968. Das Hörvermögen des Kaalbarsches (Acerina cernua L.) und des Zanders, (Luciaperca sandra Cuv. Und Val.). Z. vergl. Physiol., 60:14-33.