

Katholieke Universiteit Leuven

Faculteit Wetenschappen

Departement Biologie

Afdeling Ecologie



**Evaluatie van vismigratiemogelijkheden doorheen een
aantal duikers en sifons op waterlopen in het
Vlaamse Gewest**

Door

Caroline Geeraerts

Promotor: Prof. Dr. F. Ollevier

Begeleidster: Hilde Verbiest

Verhandeling ingediend tot
het behalen van de graad van
licentiaat in de Biologie

Academiejaar 2001-2002

Deze verhandeling is een examendocument dat na verdediging niet gecorrigeerd wordt voor eventueel vastgestelde fouten. In publicaties mag enkel naar dit werk gerefereerd worden mits schriftelijke toelating van de promotor vermeld op de voorpagina.

Dankwoord

Allereerst zou ik graag enkele mensen bedanken die geholpen hebben bij de realisatie van dit eindwerk.

Vooreerst wens ik prof. Dr. F. Ollevier te bedanken voor het aanbieden van deze boeiende stage.

Hilde Verbiest was in de begeleiding onmisbaar voor de ideeën, de deskundige raad en de verbeteringen. Naast de ritjes naar Groenendaal en het toffe samenwerken, zou ik ze ook graag bedanken voor het kritisch nalezen van de verhandeling, samen met Saar Monden.

Marc was onmisbaar om de verwerking van de resultaten tot een goed einde te brengen. Bij hem heb ik mijn kennis van de statistiek wat kunnen uitbreiden. Hij stond me bij in de wat mindere momenten en met zijn enthousiasme bracht hij me telkens weer op gang. Ik wil hem ook bedanken voor het lenen van Tuffi waardoor ik altijd op tijd ter plaatse kon geraken, voor de aanmoediging en de hulp bij het schrijven. Voor zijn geduld wanneer ik weer eens te druk bezig was en geen oor en tijd had voor iets anders.

Paul Quataert zou ik graag bedanken voor zijn goede raad bij de interpretatie van de gegevens en voor de hulp bij het opstellen van de resultaten.

Ook zou ik alle mensen van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer te Groenendaal willen bedanken omdat ik hier terecht kon voor het maken van deze thesis, omdat ze steeds klaar stonden wanneer ik maar - weer eens - aankwam met vragen en om de hulp die ze me hebben geboden om het opzoekwerk aldaar mogelijk te maken.

Tenslotte wil ik nog mijn ouders bedanken voor het geduld en het vertrouwen dat ze mij in al die jaren geschonken hebben.

Inhoudsopgave

Dankwoord	
Inhoudsopgave	i
Lijst met figuren	vi
Lijst met tabellen	viii
Lijst met bijlagen	x
Inleiding	1

DEEL I LITERATUURSTUDIE

Hoofdstuk 1. Omschrijving van vismigratie en versnippering	2
1.1 Het begrip “Vismigratie”	2
1.2 Periodieke vismigratie	4
1.2.1 <i>Seizoensgebonden trek tussen de verschillende (deel)habitatten</i>	4
1.2.2 <i>De dagelijkse verplaatsingen</i>	6
1.3 Niet periodieke vismigratie	8
1.3.1 <i>Het wegvluchten voor ongunstige omstandigheden</i>	8
1.3.2 <i>Het kunnen uitwisselen tussen deelpopulaties</i>	8
1.3.3 <i>Uitbreiden van het leefgebied</i>	8
1.4 Versnippering	9
1.4.1 <i>Problematiek</i>	9
1.4.2 <i>Soortgebondenheid en versnipperinggevoeligheid (Riemersma, 2000)</i>	12
a. Tolerantie	12
b. Benodigd leefgebied	13
c. Dispersievermogen	13
d. Reproductiecapaciteit	13
1.5 Het beleid	14
1.6 Mogelijke oplossingen	16
1.6.1 Concrete uitwerking: Tunnelfishways in Noorwegen	18
Hoofdstuk II. Duikers en sifons	20
2.1 Definitie	20
2.2 Passeerbaarheidsanalyse voor duikers en sifons	21
2.2.1 <i>De fysisch/hydraulische toestand in de duiker</i>	22
a. De stroomsnelheid	22
b. Stroomsnelheden in de duiker in relatie tot de zwemsnelheid van de vis	23

c.	De lengte van de duiker	25
d.	De licht-donker barrièrewerking	26
2.2.2	<i>De fysisch/hydraulische toestand aan de in- en uitstroomopening van de duiker</i>	26
a.	Hoogteverschillen	27
b.	Waterdiepte	29
c.	Grofvuil rooster	30
2.3	Biologische randvoorwaarden bij de aanleg van duikers en sifons en bevordering van de vismigratie	30
a.	Duikertypen	31
b.	De stroomsnelheid	32
c.	Hoogteverschillen	34
d.	Waterdiepte	34
e.	Diameter van de duiker	34
2.4	Onderzoekresultaten	35

DEEL III MATERIAAL EN METHODE

Hoofdstuk III	Beschrijving van de staalname plaatsen	38
3.1	Inleiding	38
3.2	Inventarisatie	38
3.3	Beschrijving van de geselecteerde duikers en sifons	39
3.3.1	<i>De Poperingevaart</i>	40
a.	De waterloop	40
b.	De duiker	40
3.3.2	<i>De IJse</i>	42
a.	De waterloop	42
b.	De duiker	44
3.3.3	<i>De Herk</i>	45
a.	De waterloop	46
b.	De duiker	46
3.3.4	<i>De Velpe</i>	48
a.	De waterloop	48
b.	De duiker	50
3.3.5	<i>De Abeek</i>	52
a.	De waterloop	52
b.	De duiker	53
3.3.6	<i>De Bosbeek</i>	55
a.	De waterloop	55
b.	De sifon	56
3.3.7	<i>De Pulderbeek (Molenbeek, Bollaak, Dorpsloop, Bruulbeek,</i>	

	<i>Pulse beek, Vlimmerse beek)</i>	58
a.	De waterloop	58
b.	Sifon 1	59
c.	Sifon 2	60
Hoofdstuk IV.	Methode voor het vaststellen van vispassage doorheen duikers of sifons	63
4.1	Inleiding	63
4.2	Fysische parameters van de duikers en sifons	63
4.3	Methode van afvissen	63
4.3.1	<i>Elektrisch vissen</i>	63
4.3.2	<i>Fuiken</i>	66
4.4	Seizoenale fluctuaties bij de afvissingen	69
4.5	Merk- en terugvangstmethode	70
4.6	Waterkwaliteit	71
Hoofdstuk V. Overzicht van de aangetroffen vissoorten		72
5.1	Inleiding	72
5.2	Aal of paling (<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758))	73
5.3	Alver (<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758))	73
5.4	Baars (<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758))	74
5.5	Beekforel (<i>Salmo trutta</i> (Linnaeus, 1758))	74
5.6	Beekprik (<i>Lampetra planeri</i> (Bloch, 1794))	75
5.7	Bermpje (<i>Noemacheilus barbatulus</i> (Linnaeus, 1758))	75
5.8	Bittervoorn (<i>Rhodeus sericeus</i> (Pallas, 1776))	76
5.9	Blankvoorn (<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758))	76
5.10	Blauwband / blauwbandgrondel (<i>Pseudorasbora parva</i> (Linnaeus, 1758))	77
5.11	Brasem (<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758))	77
5.12	Bruine Amerikaanse dwergmeerval (<i>Ameiurus nebulosus</i> of <i>Ictalurus nebulosus</i> (Le Sueur, 1819))	78
5.13	Driedoornige stekelbaars (<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Linnaeus, 1758))	78
5.13	Giebel (<i>Carassus auratus gibelio</i>) en goudvis (<i>Carassus auratus auratus</i> (Linnaeus, 1758))	79
5.15	Karper (<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758))	79
5.16	Kolblei (<i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758))	80
5.17	Kopvoorn (<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758)) (De Nie, 1996; OVB, 2000)	80
5.18	Kleine modderkruiper (<i>Cobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758))	80
5.19	Kroeskarper (<i>Carcassius carcassius</i> (Linnaeus, 1758))	81
5.20	Regenboogforel (<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Waldbaum, 1792))	81

5.21	Rietvoorn / ruisvoorn (<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758))	82
5.22	Rivierdonderpad (<i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758))	82
5.23	Riviergrondel (<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758))	82
5.24	Serpeling (<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758))	83
5.25	Snoek (<i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758))	83
5.26	Tiendoornige stekelbaars (<i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758))	84
5.27	Vetje (<i>Leucaspius delineatus</i> (Linnaeus, 1758))	84
5.28	Winde (<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758))	85
5.29	Zeelt (<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758))	85
5.30	Zonnebaars (<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758))	86

DEEL IV RESULTATEN EN BESPREKING

Hoofdstuk VI.	Resultaten en bespreking	87
6.1	Doelstellingen	87
6.2	De Poperingevaart	88
6.2.1	<i>Soortsamenstelling</i>	88
	a. Methodologie	88
	b. Resultaten	88
	c. Bespreking	91
6.2.2	<i>De populatieopbouw</i>	93
	a. Methodologie	93
	b. Resultaten	94
	c. Bespreking	95
6.2.3	<i>Terugvangst</i>	96
	a. Methodologie	96
	b. Resultaten	99
	c. Bespreking	100
6.3	Overzicht van de behaalde resultaten voor alle bestudeerde waterlopen	103
6.4	Bespreking	107
6.4.1	<i>Terugvangst van gemerkte vis</i>	107
	a. De vissoorten	107
	b. De waterlopen	110
	c. Lengteafhankelijkheid	111
	d. Debietafhankelijkheid	112
6.4.2	<i>Vergelijking van de resultaten uit deze studie met eerder uitgevoerde onderzoeken</i>	112
6.5	Aanbevelingen bij verder onderzoek	113

Samenvatting	116
Summary	118
Referenties	120
Lijst met bijlagen	131
Bijlagen	132

Lijst met figuren

Figuur 1.1	Functionele eenheden in de levenscyclus van vissen	3
Figuur 1.2	Habitatvoorkeur van verschillende vissoorten	6
Figuur 1.3	Gedurende de jaren 1950-1970 heeft eutrofiëring in het IJzerbekken geleid tot een afname van een aantal vissoorten	9
Figuur 1.4	Afname van de stroomsnelheid in een onverstuwde rivier en in een meervoudig verstuwde rivier	10
Figuur 1.5	De verschillende stroombekkens in Vlaanderen	14
Figuur 1.6	Constructies met barrière-effect(en) voor vismigratie	15
Figuur 1.7	Watermolen op de Kleine Gete. De vispassage die aangelegd werd rond de watermolen	16
Figuur 1.8	De V-vormige vispassage op de Velpe in Hoeleden	17
Figuur 2.1	Sifon	19
Figuur 2.2	Gesloten duiker met ronde sectie en doorlopende beekbedding	19
Figuur 2.3	Niet ingebedde duiker, geen bodembedekking	20
Figuur 2.4	Relatie tussen de zwemsnelheid en de tijdsduur waarin deze kan worden volgehouden	23
Figuur 2.5	De verschillende delen van een duiker	25
Figuur 2.6	De aanwezigheid van een hoogteverschil aan de in- of uitgang van een duiker	26
Figuur 2.7	Twee vormen van overstortranden	26
Figuur 2.8	De overdiepte bij een gesloten duiker met ronde sectie en doorlopende bodembedekking en bij een ronde niet ingebedde duiker zonder bodembedekking	31
Figuur 2.9	Verkeerd geplaatste duikers kunnen de vispassage verhinderen	32
Figuur 3.1	De ligging van de Poperingevaart in het IJzerbekken	38
Figuur 3.2	De duiker op de Poperingevaart	40
Figuur 3.3	Situatieschets van de duiker op de Poperingevaart	40
Figuur 3.4	De ligging van de IJse in het Dijlebekken	41
Figuur 3.4	Situatieschets van de duiker op de IJse	43
Figuur 3.5	De duiker op de IJse	44
Figuur 3.6	De ligging van de Herk en de Velpe in het Demerbekken	44
Figuur 3.7	Situatieschets van de duiker op de Herk	46

Figuur 3.8	De duiker op de Herk (stroomafwaartse zijde)	47
Figuur 3.9	Situatieschets van de duiker op de Velp	49
Figuur 3.10	De duiker op de Velp stroomopwaarts en stroomafwaarts	49
Figuur 3.11	De ligging van de Abeek en de Bosbeek in het Maasbekken	50
Figuur 3.12	Situatieschets van de sifon op de Abeek	53
Figuur 3.13	De sifon op de Abeek stroomafwaartse en stroomopwaartse zijde	54
Figuur 3.14	Situatieschets van de sifon op de Bosbeek	56
Figuur 3.10	De ligging van de Pulderbeek in het Netebekken	57
Figuur 3.15	Situatieschets van de sifon op de Pulderbeek in Nijlen	58
Figuur 3.16	Sifon 1 op de Pulderbeek	59
Figuur 3.17	Situatieschets van de sifon op de Pulderbeek in Viersel	60
Figuur 3.18	Sifon 2 op de Pulderbeek	61
Figuur 4.1	De verschillende zones rond de positieve elektrode bij elektrovisserij	65
Figuur 4.2	Een enkelvleugelige palingfuik	67
Figuur 4.3	Schietfuik	68
Figuur 4.4	De aangebrachte merktekens	70
Figuur 6.1	De soortsaamenstelling van de uitgezette (en gemerkte) vis stroomafwaarts van de duiker op de Poperingevaart	90
Figuur 6.2	De soortsaamenstelling van het visbestand stroomopwaarts en stroomafwaarts de duiker op de Poperingevaart	90
Figuur 6.3	De soortsaamenstelling aan de slibvang en stroomafwaarts de ingestorte brug op de Poperingevaart	91
Figuur 6.4	De terugvangst bij de laatste bemonstering stroomafwaarts de duiker op de Poperingevaart	92
Figuur 6.5	De scatterplot van de meest voorkomende vissoorten op de Poperingevaart	94
Figuur 6.6	Het betrouwbaarheidsinterval voor de passeerbaarheid van de duiker wanneer de terugvangst nul bedraagt	94
Figuur 6.7	De terugvangst op de Poperingevaart in het voorjaar en in het najaar	98
Figuur 6.8	De debieten voor alle bemonsteringsdagen op de Poperingevaart en de relatie tussen debiet en terugvangst bij de blankvoorn, giebel en grondel	102

Lijst met tabellen

Tabel 1.1	Migratie- en paaiperioden van verschillende vissoorten en bijhorende watertemperatuur	5
Tabel 2.1	Zwem- en sprongcapaciteiten	27
Tabel 2.2	Technische gegevens over de sifons in Beerze, Goorloop en de Tungelroyse beek	35
Tabel 3.1	Gegevens uit de databank voor de duiker op de Poperingevaart	39
Tabel 3.2:	Gegevens uit de databank voor de duiker op de IJse	43
Tabel 3.3:	Gegevens uit de databank voor de duiker op de Herk	46
Tabel 3.4:	Gegevens uit de databank voor de duiker op de Velpe	49
Tabel 3.5:	Gegevens uit de databank voor de sifon op de Abeek	53
Tabel 3.6:	Gegevens uit de databank voor de sifon op de Bosbeek	56
Tabel 3.7:	Gegevens uit de databank voor sifon 1 op de Pulderbeek	58
Tabel 3.8:	Gegevens uit de databank voor sifon 2 op de Pulderbeek	60
Tabel 6.1	De aantallen gevangen individuen op de Poperingevaart per soort en per staalnameplaats over alle staalnamedata samen	89
Tabel 6.2	De aantallen gevangen individuen op de Poperingevaart per staalname datum en per staalnameplaats voor alle vissoorten samen	89
Tabel 6.3	Indeling van de juvenielen (<1 jaar) en de adulten (>1jaar – geslachtsrijp) per soort, gebaseerd op de lengte van de individuen	94
Tabel 6.4	Het verband tussen lengte en gewicht en de populatieopbouw voor de meest voorkomende vissoorten op de Poperingevaart	94
Tabel 6.5	Een overzicht van de betrouwbaarheidsintervallen voor een steekproefgrootte van 1 – 20	99
Tabel 6.6	Overzichtstabel van de terugvangsten op de Poperingevaart voor de meest voorkomende vissoorten (aantal > 20)	99
Tabel 6.7	Overzichtstabel van de terugvangsten op de Poperingevaart voor de verschillende perioden waarin de afvissingen plaats vonden, namelijk voorjaar en najaar	99
Tabel 6.8	Overzichtstabel van de terugvangsten op de Poperingevaart in functie van de populatieopbouw	100

Tabel 6.9	Het aantal uitgezette (en gemerkte) vissen en de terugvangst percentages in relatie met het debiet voor de meest voorkomende vissoorten voor alle locaties	103
Tabel 6.10	De verschillen in de terugvangsten tussen voorjaar- en najaar voor de meest voorkomende vissoorten voor alle locaties	104
Tabel 6.11	De leeftijdsverdeling van de teruggevangen vissoorten voor de meest voorkomende vissoorten voor alle locaties	105
Tabel 6.12	Overzicht van de vissoorten die bij onderzoek in staat bevonden zijn om een duiker / sifon in stroomopwaartse richting te passeren	109

Lijst van de gebruikte afkortingen en symbolen

3DS	driedoornige stekelbaars
3DSL	driedoornige stekelbaars leiurus
3DSSA	driedoornige stekelbaars semi-armatus
10DS	tiendoornige stekelbaars
a.d.h.v.	aan de hand van
AL	alver
AMINAL	Administratie Milieu-, Natuur-, Land-, en Waterbeheer van het Vlaamse gewest
AWZ	Administratie Waterwegen en Zeewezen
BA	baars
BADM	bruine Amerikaans dwergmeerval
BB	blauwbandgrondel
BF	beekforel
BIV	bittervoorn
BL	blei
BR	brasem
BV	blankvoorn
cm	centimeter
cm/s	centimeter per seconde
COI	Centrum voor Overheidsinformatie
d.m.v.	door middel van
e.d.	en dergelijke
enz	enzovoort
etc.	ex cetera
GI	giebel
GO	goudvis
GR	grondel
HEMMIS	Hydro Ecolo Meteo Management Information
IBW	Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer
ism.	in samenwerking met
i.v.m.	in verband met

l/s	liter per seconde
KA	karper
KK	kroeskarper
KM	kleine modderkruiper
KV	kopvoorn
m	meter
m.a.w.	met andere woorden
m/s	meter per seconde
m ³ /s	kubieke meter per seconde
nl.	namelijk
OVB	Organisatie ter verbetering van de Binnenvisserij
o.a.	onder andere
PA	paling
RF	regenboogforel
RID	rivierdonderpad
RV	rietvoorn
RWZI	Riool Water Zuivering Installatie
SA	stroomafwaarts
SK	spiegelkarper
SN	snoek
SO	stroomopwaarts
UIA	Universitaire Instelling Antwerpen
VE	vetje
VHA	Vlaams Hydrografische Atlas
VHAG	Vlaams Hydrografische Atlas Gewestcode
VMM	Vlaamse Milieu Maatschappij
Vnl.	voornamelijk
WI	winde
WLH	Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek
ZB	zonnebaars
ZE	zeelt
zgn.	zogenaamd

Inleiding

Vissen migreren afhankelijk van de soort over korte of langere afstanden op zoek naar geschikte paai-, rust- en voedselplaatsen of om te ontsnappen aan verontreinigingen en predatoren. De meest opvallende migratie gebeurt echter in functie van de voortplanting.

Op de meeste waterlopen wordt de vrije vismigratie onmogelijk gemaakt door de aanwezigheid van barrières zoals stuwen, molenraden, terugslagkleppen, e.d. Hierdoor worden de paaigebieden, schuilplaatsen en voedselrijke gebieden onbereikbaar. De vismigratieknelpunten brengen dan ook onrechtstreeks het voortbestaan van een groot aantal vissoorten in het gedrang.

Om de veelheid aan knelpunten op te lossen, is een gestructureerde aanpak noodzakelijk. Daarom wordt in Vlaanderen de vismigratieproblematiek toegespitst op prioritaire waterlopen, namelijk de grote migratieassen, verbindingswaterlopen, alternatieve waterwegen en glasaalroutes.

Het oplossen van de vismigratieproblematiek beperkt zich echter niet tot het wegnemen van knelpunten of de aanleg van vispassages. Voor een aantal constructies is het nog niet duidelijk in welke mate ze effectief een knelpunt vormen voor de vismigratie. Duikers en sifons behoren tot deze categorie. Het is in dit kader dat de passeerbaarheid van vier duikers en vier sifons wordt geëvalueerd.

Vooreerst wordt in een literatuurstudie inzicht gegeven in het wat, waar en waarom van vismigratie, de problematiek en het beleid. In een tweede hoofdstuk wordt er toegespitst op duikers en sifons als specifieke vismigratieknelpunten, met de bedoeling om een beeld te schetsen van de onderzoeken die reeds verricht zijn omtrent deze probleemstelling. Ook worden suggesties gedaan naar aanleg van nieuwe en bevordering van reeds bestaande, voor vis passeerbare duikers en sifons.

Vervolgens wordt, in materiaal en methode, een situatieschets gegeven van de passeerbaarheid voor vissen van de duikers en sifons die binnen dit onderzoek geëvalueerd werden. De vier duikers werden bemonsterd in drie verschillende stroombekkens: het IJzerbekken, het Dijlebekken en het Demerbekken, de vier sifons in het Netebekken en het Maasbekken.

In de bespreking wordt dan een overzicht gegeven van de bekomen resultaten en wordt gezocht naar relaties tussen de passeerbaarheid van de duikers / sifons en parameters als debiet en grootte van de vissen.

Deel I : Literatuurstudie

Hoofdstuk I : Omschrijving van vismigratie en versnippering

Globaal overzicht van vismigratie en de bijhorende milieuproblematiek

Hoofdstuk 1. Omschrijving van vismigratie en versnippering

1.1 Het begrip “Vismigratie”

Migratie is een natuurlijk verschijnsel bij verschillende diersoorten. Vismigratie vormt hierop geen uitzondering. De definities voor het begrip ‘vismigratie’ die in de literatuur gegeven worden, leggen veelal tevens de klemtoon op de verschillende beweegredenen voor vistrek. In de meest enge zin wordt onder vismigratie alleen de trek verstaan tussen zout en zoet water (McDowall, 1987). Een veel gehanteerde en ruimere definitie wordt door Raat (1994) geformuleerd als:

“De verplaatsing van vissen die een groot deel van de populatie en/of leeftijdsklassen betreft. De verplaatsingen komen voor met een voorspelbare periodiciteit gedurende de levenscyclus van een soort. Het is een gedrag dat ontwikkeld is om de soort betere overlevingskansen te bieden. De verplaatsingen zijn dus functioneel voor de overleving van de soort.”

Volgens deze auteur behoren “toevallige verplaatsingen” strikt genomen niet tot het verschijnsel “migratie”. Andere auteurs daarentegen rekenen ook toevallige, onvoorspelbare bewegingen onder migratie. Er is o.a. sprake van “katastrophen-drift” (Anon., 1996), waarbij vissen (maar ook bentische vertebraten) vluchten voor allerlei vormen van watervervuiling (Cowx & Welcomme, 1998).

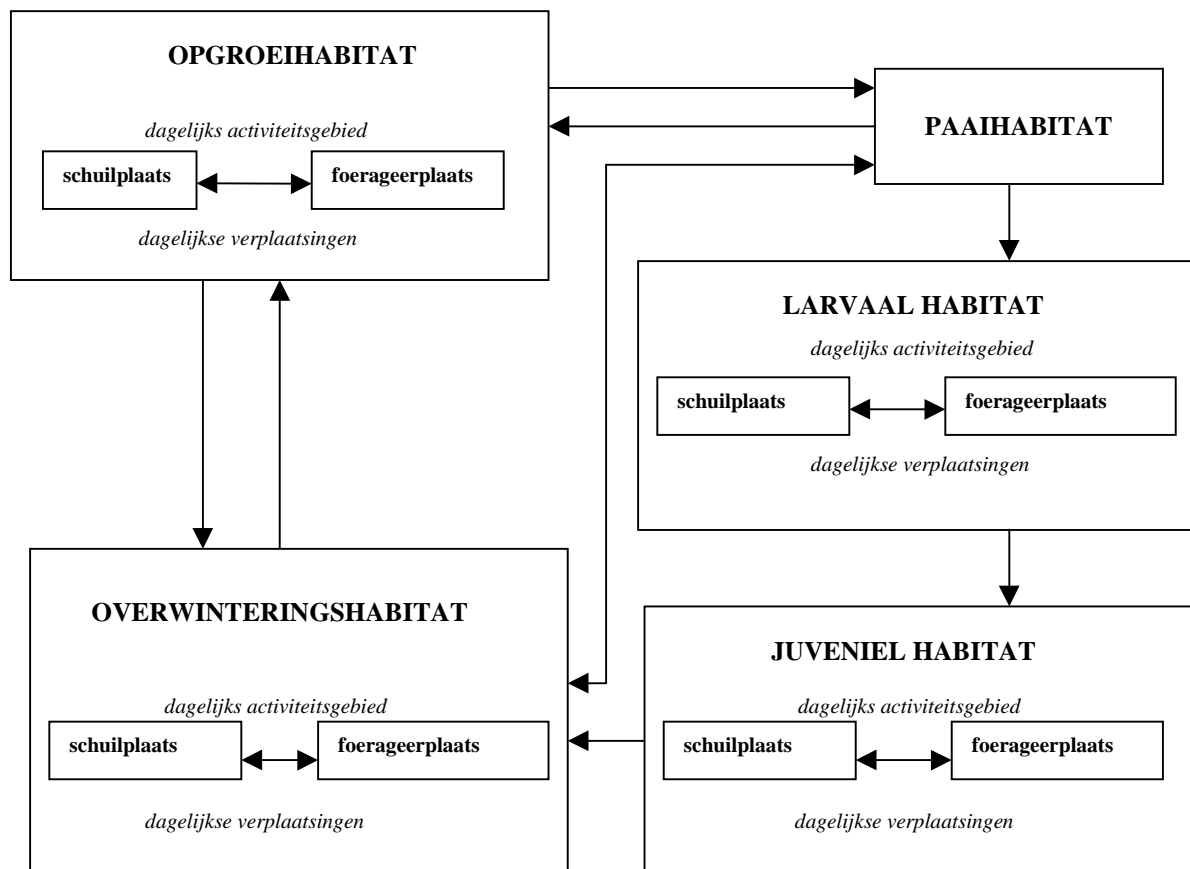
Naast de functionaliteit voor de overleving van de soort als voornaamste beweegreden voor vismigratie (in de definitie van Raat) wordt de migratiebehoefte van vis op de tweede plaats bepaald door de eisen die de verschillende vissoorten stellen ten aanzien van hun leefomgeving en hun verspreidingsvermogen. Dit wordt verder uitgewerkt in 1.2 “Periodieke vismigratie”.

De migratiedrang wordt op gang gebracht door de reactie van vis op prikkels uit zijn omgeving, zoals veranderingen in de watertemperatuur, in de waterstroming, of chemische, mechanische en visuele prikkels zoals de zuurstofconcentratie, geluid, licht,... De vis registreert deze prikkels via de ogen, de smaak- en reukzin, het gehoor, de tastzin en het zijlijnsysteem (Gross, 1987). Bij langdurige onderbreking van de migratieroute kan door selectie de migratiedrang verdwijnen en zodoende de migratie worden stopgezet. Migratiebarrières kunnen zo een onderbreking van de migratietrek veroorzaken (Verbiest *et al.*, 1998).

Een vaak waargenomen eigenschap bij vissen is dat ze meestal in grote populaties leven. Het voordeel van dit groepsleven is de grotere bescherming tegen roofdieren. Vissen vinden deze veiligheid door in scholen te zwemmen. Daarom is een belangrijk migratiekenmerk van vistrek dat het zich meestal massaal voordoet (Riemersma, 2000).

Vistrek wordt waargenomen tijdens de seizoensgebonden verplaatsing tussen de verschillende deelhabitaten (paai- en opgroeigebied, foerageer- en overwinteringgebieden, figuur 1.1). Andere migratievormen zijn de dagelijkse jacht naar voedsel; het wisselen tussen dag- en nachtverblijf (periodieke vismigratie); de uitbreiding van het leefgebied van de soort, de uitwisseling tussen deelpopulaties en het ontvluchten van ongunstige omstandigheden (zgn. katastrofendrift; Anon, 1996; niet-periodieke vismigratie).

Hoewel de opgesomde beweegredenen voor vismigratie en de stimuli voor de migratiedrang voor vrijwel alle vissoorten gelden, verschillen de gevoeligheden voor en de reacties op dergelijke prikkels per vissoort en vaak ook per levensstadium. Een uitgebreid overzicht van het gedrag van vis in relatie tot migratie is te vinden in de monografie "The control of fish" (Smith, 1985 in: Raat, 1994).



Figuur 1.1: Functionele eenheden in de levenscyclus van vissen, met aanduiding van de bezochte leefgebieden en dagelijkse en seizoensgebonden verplaatsingen ertussen (naar Coeck *et al.*, 2000)

1.2 Periodieke vismigratie

1.2.1 Seizoensgebonden trek tussen de verschillende (deel)habitatten

Voor vrijwel alle vissoorten geldt dat ze voor het voltooien van hun levenscyclus gebruik maken van verschillende leefhabitatten die in mindere of meerdere mate ruimtelijk van elkaar onderscheiden worden. De afstand tot, evenals de omvang van de verschillende gebieden zijn belangrijke ruimtelijke parameters voor de seizoensgebonden trek. In combinatie met de mobiliteit van de beschouwde vissoort zijn ze immers bepalend voor de migratieduur (Riemersma, 2000). Voor de binnenwateren zijn in het algemeen foerageer-, paai-, opgroei- en overwinteringgebieden te onderscheiden (figuur 1.1).

Op grond hiervan kan voor vissen globaal de volgende indeling gehanteerd worden (Dumont, 1982; Semmekrot, 1994):

1. Diadrome vissoorten die migreren tussen zout en zoet water
 - Anadrome soorten brengen het grootste deel van hun leven in zee door en trekken naar zoet water om te paaien (vb. driedoornige stekelbaars, rivierprik, rivierforel)
 - Katadrome soorten brengen het grootste deel van hun leven in zoetwater door en trekken naar zee om te paaien (vb. paling, bot)
2. Potamodrome vissoorten migreren enkel in zoet water. Ze werden door Quak (1994a) onderverdeeld in:
 - Lokale migranten trekken over korte afstanden (brasem, karper, zeelt, blankvoorn)
 - Regionale migranten migreren over langere afstanden (snoek, winde, kopvoorn, vlagzalm)
3. Oceanodrome soorten migreren enkel in zee

Voor diadrome vissoorten zijn duidelijke migratieroutes te onderscheiden. Deze doen uitsluitend dienst als doortrekroute en vervullen geen habitatfunctie. Het kunnen migreren vormt een essentiële voorwaarde voor het voortbestaan van deze soorten, men noemt ze vaak de 'echte' trekvissoorten.

Bij potamodrome vissoorten liggen de deelgebieden ruimtelijk dicht bij elkaar (verscheidene tot tientallen kilometers¹) en kunnen deze elkaar zelfs overlappen. Migratieroutes kunnen voor de betrokken soorten een habitatfunctie hebben. Deze groep vissoorten worden ook wel 'standvissoorten' genoemd, een vaak misleidende naam omdat ook deze soorten behoefte kunnen hebben aan vismigratie (Riemersma, 2000).

Migratieperioden zijn moeilijk exact aan te geven. Deze verschillen van jaar tot jaar. Beïnvloedende factoren zijn watertemperatuur, weersgesteldheid, en waterafvoer. In het algemeen kan gesteld worden dat vismigratie, afhankelijk van de vissoort en de beschikbare habitat, het gehele jaar door kan plaatsvinden. Voor een mogelijk knelpunt (hier een duiker of sifon) betekent dit dat de constructie het hele jaar door passeerbaar dient te zijn. Indien dit niet realiseerbaar is, moet de werking van de passage op de trekperioden van de prioritaire soorten worden afgestemd. In de meeste gevallen houdt dit in dat de duiker of sifon in ieder geval tijdens de paaitrek van de belangrijkste vissoorten

¹ Bijlage 1: Een aantal afstanden afgelegd door potamodrome vissoorten

operationeel dient te zijn (Riemersma, 1994). In tabel 1.1 wordt een indicatie gegeven van de paaiperiode van enkele vissoorten. Uit deze tabel is af te leiden dat de paaiperiode van de meeste vissoorten tussen eind februari en eind juli plaatsvindt.

Tabel 1.1: Migratie- en paaiperioden van verschillende vissoorten en bijhorende watertemperatuur (Riemersma & Quak, 1991).

Vissoort	Migratieperiode											
	Jan.	Feb.	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.
Stilstaande wateren												
Snoek	***** 6-14 °C *****											
Baars	***** 8-14 °C *****											
Snoekbaars	**** 10-12 °C *****											
Blankvoorn	***** 12-15 °C *****											
Brasem	→ ***** 14- 16 °C *****											
Kolblei	***** 14-16 °C *****											
Karper	***** 16-20 °C ***											
Zeelt	***** 18-20 °C ***											
Ruisvoorn	→ *** 15 °C ***											
Stromende wateren												
Kopvoorn	***** 9- 10 °C *****											
Winde	**** ca 8 °C ***											
Sneep	**** 8-10 °C ***											
Serpeling	***** ca 8 °C *****											
Vlagzalm	**** ca 7 °C ***											
Barbeel	*** 10-12 °C ***											
Zalm	*****											*** 3-9 °C ***
Zeeforel	*****											*** 3-9 °C ***
Beekforel	*****											*** 3-9 °C ***

Kan met zekerheid meerdere malen per jaar (tot ca. drie keer) afpaaien.

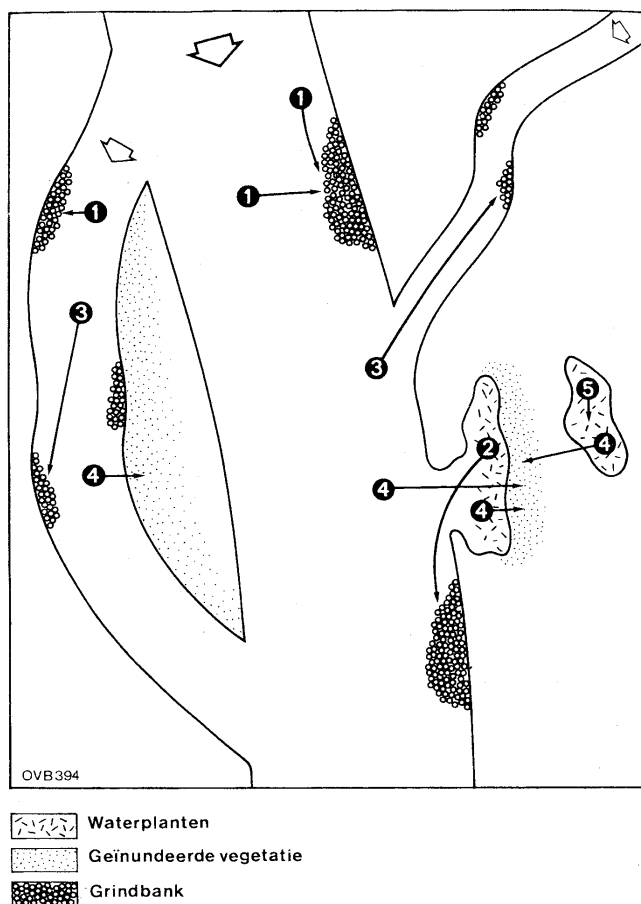
1.2.2 De dagelijkse verplaatsingen

De afstand die een vis dagelijks kan afleggen is sterk soortgebonden en is afhankelijk van de grootte en de bouw van de vis. Voor alle soorten geldt dat deze voor het zoeken naar voedsel een bepaald 'territorium' hebben waarin dagelijks heen en weer getrokken wordt. De afgelegde afstanden zijn afhankelijk van de voedselbehoefte van de soort, de populatieomvang en de beschikbaarheid aan voedsel (Riemersma, 2000).

In het algemeen geldt: hoe groter de populatieomvang, des te groter het leefgebied om aan de voedselbehoefte van de individuele vis te voldoen. De voedselbehoefte van trekvissoorten is tevens groter dan van standvissoorten, omdat trekvissoorten meer ener-

gie verbruiken voor verplaatsingen. Een tweede belangrijke parameter voor de dagelijkse migratiebehoefte is de beschikbaarheid van voedsel: hoe groter de voedseldichtheid in een water, hoe minder de vis hoeft te trekken om aan zijn behoeften te voldoen (Riemersma, 2000).

In een antropogene rivier zal de totale oppervlakte geschikt paaigebied sterk afnemen, waardoor de mobiliteit van vissen vaak zal toenemen. Ook 'plaatsgetrouwe' vissoorten zoals de blankvoorn en brasem worden bij gebrek aan voldoende paaiplaatsen gedwongen zich te verplaatsen op zoek naar geschikte paaigronden (Riemersma & Quak., 1991). Omdat de mogelijkheid van laterale beweging in een antropogene rivier is afgenomen, zal de vis een geschikte paaiplaats langs de oever moeten vinden en zich hierbij in sterkere mate in de lengterichting van de waterloop bewegen. Andersom geldt ook dat indien er voldoende geschikte paaiplaatsen aanwezig zijn, de noodzaak van de paaitrek vervalt en deze slechts kleinschalig zal zijn. Omdat iedere vissoort soortspecifieke eisen stelt aan de paaiplaats (bijvoorbeeld substraat, waterdiepte, stroomsnelheid), zullen naargelang de omstandigheden meer of minder vissoorten op zoek gaan naar geschikte paaiplaatsen. De mate van de vismigratie hangt daarmee volgens Peltz (1985) in belangrijke mate af van de kwaliteit en de kwantiteit van geschikt paaiareaal.



Figuur 1.2: Habitatvoorkeur van verschillende vissoorten. Genummerde cirkels geven het voorkeurshabitat van adulte vissen weer, de pijlen wijzen naar de paai- en opgroei gebieden (bewerkt naar Schiemer & Waidbacher, 1992)

1 = barbeel, kopvoorn, serpeling, rivierdonderpad
2 = winde, riviergrondel, kleine modderkruiper
3 = kwabaal
4 = snoek, baars, alver, blankvoorn, brasem, kolblei
5 = bittervoorn, ruisvoorn, kroeskarper, zeelt, grote modderkruiper

1.3 Niet periodieke vismigratie

1.3.1 Het wegvluchten voor ongunstige omstandigheden

Factoren die bij deze migratievorm een rol kunnen spelen zijn bijvoorbeeld het zoutgehalte, de temperatuur, het zuurstofgehalte, getijdenwerking, voedselomstandigheden, lage waterstanden, hoge waterafvoer, waterverontreiniging (bijvoorbeeld riooloverstorten), ... Het wegvluchten voor lage zuurstofgehalten, onaangepaste watertemperaturen en hoge waterafvoer gaan in natuurlijke systemen doorgaans niet gepaard met trek over grote afstanden. Het opzoeken van diepere wateren of de bescherming van de oever volstaan vaak. Ten gevolge van getijdenwerking en hoge zoutgehaltenes zijn vissen verplicht te migreren over grotere afstanden om een veilig heenkomen te vinden. Vermits veel vissoorten in het ei- of larvale stadium het meest gevoelig zijn voor hoge zoutgehaltenes bevinden vele paai- en opgroeigebieden van zoutgevoelige vissoorten zich ver landinwaarts (Riemersma, 2000).

1.3.2 Het kunnen uitwisselen tussen deelpopulaties

Indien in een waterloop migratiebelemmerende barrières aanwezig zijn, worden heel wat riviersysteem-habitatten gefragmenteerd en bestaat het gevaar van isolering van vispopulaties (Gebler, 1990). Door langdurig isoleren van populaties kan genetische verarming of 'inteelt' optreden. Op lange termijn kunnen deze populaties geheel of gedeeltelijk uitsterven (ondanks het feit dat aan alle eisen van de vissoort voldaan is). Genotypische variabiliteit, evenals de populatieomvang zijn belangrijk voor het voortbestaan van geïsoleerde populaties, daar de kans op uitsterven groter wordt bij een kleinere populatie. Daarom is een minimale populatieomvang vereist; het betreft het aantal ouderdieren nodig om een populatie in een bepaald gebied duurzaam te laten voortbestaan. In de literatuur worden waarden genoemd van 200 tot 2000 individuen (Verbiest *et al.*, 1996). Het 'lange termijn overleven' van vispopulaties vereist dus het opnieuw in verbinding stellen van alle lokale populaties door migratie en genetische uitwisseling. Toch houdt het openstellen van migratiewegen ook gevaren in. Bij het introduceren van nieuwe vissoorten die stroomopwaarts kunnen migreren kan een plaatselijke vispopulatie bedreigd worden door competitie en hybridisatie (Verbiest *et al.*, 2001).

1.3.3 Uitbreiden van het leefgebied

Larvale drift wordt voor een groot aantal vissoorten beschouwd als het belangrijkste mechanisme dat instaat voor dispersie. De driftactiviteit is soortgebonden en temperatuursafhankelijk en vertoont een dagelijkse piek tussen 22.00u. en 2.00u. (Verbiest *et al.*, 2001).

Ook de aan- en afwezigheid van andere organismen speelt een rol in het verspreidingsvermogen van vis. Dringen exemplaren van een bepaalde soort tot 'nieuw' water door en is het milieu geschikt om in te leven dan nog kunnen andere organismen deze soort het leven onmogelijk maken. De nieuwkomers kunnen bijvoorbeeld worden gedood door roofvijanden of parasieten nog voordat ze zich kunnen voortplanten. En zelfs al lukt de voortplanting, dan is het nog altijd mogelijk dat het broed zich in de nieuwe omgeving in een uiterst kwetsbare positie bevindt ten opzichte van roofvijanden (Riemersma, 2000).

1.4 Versnippering

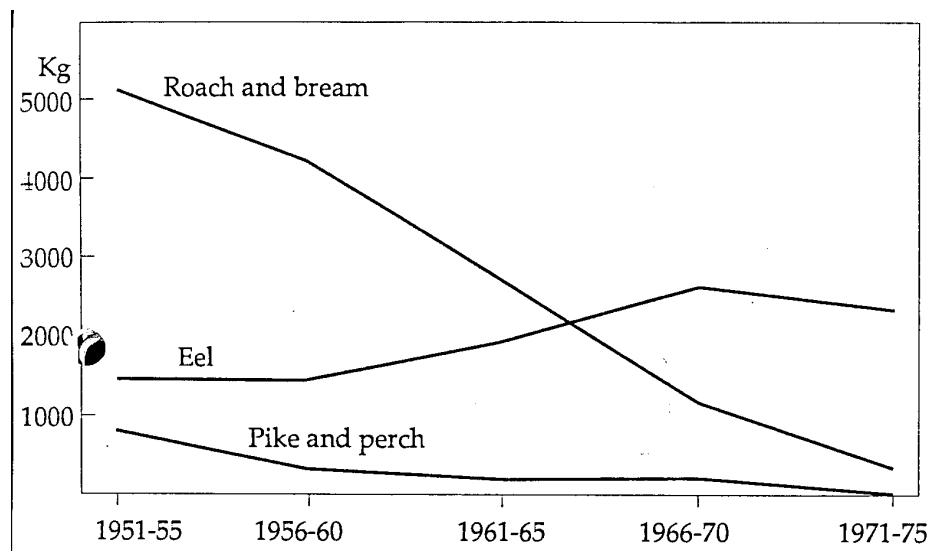
1.4.1 Problematiek

Stroomgebieden zijn grote, samenhangende ecosystemen. Ingrepen op een bepaalde plaats in een stroomgebied hebben vaak gevolgen op andere plaatsen. In eerste instantie zijn er hydromorfologische veranderingen (achteruitgang van stroom- en structuurdiversiteit) ten gevolge van verstuwings, indijking, rechttrekking van onze waterlopen. Dit betekent voor vissen een verdwijnen, verkleinen en kwaliteitsvermindering van de leefgebieden en een sterke afname van de toegang tot die leefgebieden (Riemersma & Quak, 1991).

Naast de fysische migratiebelemmeringen veroorzaken ook andere ingrepen een achteruitgang van de biotoopkwaliteit. Zo heeft onnatuurlijk peilbeheer het wegvallen van de stroomdiversiteit tot gevolg en zullen stuwen ervoor zorgen dat natuurlijke overstromingsgebieden niet meer onder water komen te staan. Eutrofiëring, ruimingbeheer, baggerbeheer, ... tasten belangrijke leefgebieden aan, waardoor de natuurlijke vorm hiervan verdwijnt en de typische paai-eigenschappen van de biotoop (overstromingsgebieden, water- en oeverplanten waar eitjes opgekleefd worden bij de voortplanting, ondiep stilstaand water) verdwijnen. Juist door die aantasting lijkt de migratiebehoefte van een aantal vissoorten te zijn toegenomen. Indien namelijk een bepaald habitat niet aanwezig is, zal de vis op zoek gaan naar nieuwe gebieden (Riemersma, 2000; figuur 1.3).

Daarnaast zijn er natuurlijke verspreidingsbarrières, zoals omgevallen bomen en wortelformaties die leiden tot natuurlijke watervallen. Zulke natuurlijke hindernissen in natuurlijke rivieren dienen niet verwijderd te worden omdat ze op termijn door het dynamisch karakter van de waterloop vanzelf verdwijnen. Bovendien dragen zij vaak bij tot

het verhogen van de natuurlijke structuurdiversiteit van een waterloop (Verdonschot *et al.*, 1995). In cultuurtechnische waterlopen is het wegnemen van natuurlijke hindernissen echter een noodzaak om vrije vismigratie te bevorderen.



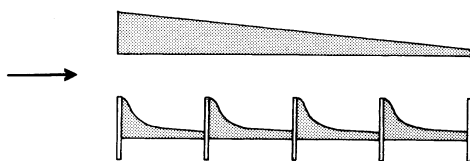
Figuur 1.3: Gedurende de jaren 1950-1970 heeft eutrofiëring in het IJzerbekken geleid tot een afname van een aantal vissoorten zoals blankvoorn, rietvoorn en piscivore vissen (snoek en baars) en gelijktijdig een toename van de palingpopulatie (overeenkomstig de palingdata van Timmermans, 1976). Bij een verdere toename van de eutrofiëring gedurende de jaren '70 bleek uiteindelijk ook de palingpopulatie drastisch af te nemen (Denayer & Belpaire, 1996).

Vismigratie heeft daarmee alles te maken met versnippering: het complexe proces waarbij de leefgebieden van dier- en plantensoorten worden doorsneden en uiteenvallen in kleinere deelgebieden. Van de bijna 200 Europese zoetwatervissoorten zijn er op dit ogenblik 67 bedreigd in hun voortbestaan door menselijke ingrepen op de waterlopen (Verbiest *et al.*, 1996). Ongeveer de helft hiervan kan teruggebracht worden naar problemen die verband houden met fysieke migratiebelemmering. Voor Vlaanderen worden in een vergelijkende studie van de historische visstand met de actuele, drie verschuivingen opgemerkt. Met name een sterke achteruitgang van de rheofiele (stroomminnende) vissoorten, een toename van exoten (o.a. blauwband) en een sterke achteruitgang van de grote migratoren (forel, paling, zalm; IBW, 2002).

Omdat deze problemen van versnippering zich vaak gelijktijdig voordoen in een bepaald gebied en daarbij elkaars werking kunnen versterken, moeten ze in samenhang

bekeken worden. Knelpunten zoals stuwen en bodemvallen zorgen op veel plaatsen voor onoverbrugbare hindernissen voor vissen, omdat ze in stroomopwaartse richting niet passeerbaar zijn. De schade die hierbij optreedt, is sterk afhankelijk van de mate waarin de gescheiden delen ecologisch van elkaar afhankelijk waren en de mate waarin het resterende deel kan compenseren voor de verloren gegane habitat (Riemersma, 2000). In de overgebleven gebieden treedt vaak biotoopverkleining op en ontstaan er (deel)populaties die min of meer geïsoleerd leven van elkaar. Deze gebieden worden dan te klein voor sommige vissoorten om zich hierin staande te houden of ze bieden te weinig mogelijkheden aan de soorten om te overleven, wanneer zich extreme omstandigheden voordoen. De problematiek beperkt zich dus niet lokaal rond die barrières maar is onlosmakelijk verbonden met de inrichting en het beheer van viswateren (Verbiest *et al.*, 2001).

Pompgemalen en waterkrachtcentrales vormen een barrière voor stroomafwaarts trekkende vissen die erdoor opgezogen worden en gedood of verwond. Om deze migratieknelpunten te overbruggen werd een heel gamma aan oplossingen bedacht, waaronder vispassages. Het bouwen van vispassages is natuurlijk slechts een effectverzachtende maatregel die weer migratie toelaat, maar die nog altijd vertragend werkt op de vrije vismigratie en die ook andere negatieve effecten van verstuwning niet oplost. Door de bouw van stuwen wordt het natuurlijk verval van de beek of rivier immers over grote afstanden verkleind (figuur 1.4). Hierdoor is in Vlaanderen heel wat oppervlakte aan typische paaien en opgroeihabitaten voor stroomminnende soorten verloren gegaan, een evolutie die reeds begon bij de bouw van de eerste watermolens (Monden *et al.*, 2001a).



Figuur 1.4: Afname van de stroomsnelheid in een onverstuwde rivier (boven) en in een meervoudig verstuwde rivier (onder) (Pelz, 1985).

Bij het voorstellen van oplossingen voor de verschillende knelpunten is het noodzakelijk dat elke obstructie afzonderlijk bekeken wordt omdat niet alle kunstwerken in dezelfde mate een migratiebarrière vormen voor vis. Toch moet men altijd in ogenschouw nemen dat migratie en verbreiding niet de enige belangrijke criteria zijn voor de aanwezigheid en/of succes van een soort. Uiteraard dienen de habitatten en biotopen waar naartoe soorten zich verplaatsen geschikt te zijn en dienen de milieuomstandigheden op de migratieroute gunstig te zijn om overleving te waarborgen.

Omdat het zwem-, sprong- en uithoudingsvermogen sterk kan variëren per vissoort (en per lengteklasse binnen de soort)², is de mate waarin een kunstwerk (on)passeerbaar is voor vis eveneens sterk soortgebonden. Dit betekent dat het type kunstwerk invloed heeft op de mate waarin versnippering zich als een knelpunt manifesteert (Riemersma, 2000).

Daarnaast dient vismigratie het gehele jaar door en voor alle soorten te kunnen optreden. De inspanning van de vis om migratievoorzieningen (bijvoorbeeld een vistrap) te passeren kost extra energie. Dit energieverlies kan leiden tot vervroegd paaien of uitputting. Om een gezonde vismigratie en -stand te waarborgen, dienen barrières zoveel mogelijk vermeden te worden (Riemersma, 1990).

Aangezien vismigratie massaal optreedt, dienen migratievoorzieningen voldoende groot van omvang (dimensies van de passage zoveel mogelijk in de richting van de dimensies van de betreffende beek) te zijn (Verdonschot, 1996). Wanneer de passage slechts de helft van de beekomvang bedraagt, kunnen opstoppingen het gevolg zijn. De in scholen optrekkende vis kan dan niet in één keer passeren en hoopt zich op voor de ingang van de passage.

1.4.2 Soortgebondenheid en versnipperinggevoeligheid (Riemersma, 2000)

De mate waarin een vissoort hinder ondervindt van versnippering is afhankelijk van o.a. het verspreidingsvermogen van de soort en de tolerantie ten aanzien van verandering in de leefomgeving. Daarnaast is het van belang na te gaan in hoeverre de verschillende kunstwerken daadwerkelijk een barrière vormen voor vis. De versnipperinggevoeligheid van een soort wordt bepaald door het stadium dat het gevoeligst is voor versnippering. Bovendien verschilt deze gevoeligheid niet alleen tussen soorten maar ook tussen de verschillende levensstadia die een soort doorloopt.

a. Tolerantie

Soorten die gevoelig zijn voor veranderingen in het milieu en die kieskeurig zijn ten opzichte van hun leefgebied hebben een lage tolerantie en zijn dus versnipperinggevoelig. Vaak zijn het gespecialiseerde soorten die zich aangepast hebben aan een specifiek habitat. Voor vissen zijn de eieren en de larven vaak bepalend voor de tolerantie van een soort. Dit komt omdat ze in dit levensstadium hoge eisen stellen aan hun habitat en erg kwetsbaar zijn.

² Zie 2.2.1(b) Stroomsnelheden in de duiker in relatie tot de zwemsnelheid van de vis

b. Benodigd leefgebied

Het benodigd leefgebied van een populatie omvat het areaal dat een soort nodig heeft om duurzaam te kunnen voortbestaan. Duurzaam betekent hierbij dat er voldoende individuen in het leefgebied voorkomen om uitsterven van de soort op lange termijn te voorkomen.

c. Dispersievermogen

Onder dispersievermogen van een soort wordt de afstand verstaan die door het merendeel van de individuen kan afgelegd worden om een geschikt leefgebied te koloniseren. Soorten met een klein dispersievermogen zijn meer versnipperinggevoelig omdat ze veel meer moeite zullen hebben om een gebied te herkoloniseren. Vaak is het dispersievermogen gerelateerd aan de zwemcapaciteit³. Soorten met een geringe zwemcapaciteit, zoals rivierdonderpad en kleine modderkruiper, hebben een laag dispersievermogen. Algemeen kan aangenomen worden dat vissoorten van stromend water een groot dispersievermogen hebben. Dit hangt niet alleen samen met het feit dat de adulte dieren zich over grote afstanden kunnen verplaatsten, maar vaak ook met de voortplantingsstrategie.

d. Reproductiecapaciteit

De reproductiecapaciteit van een soort wordt bepaald door het aantal nakomelingen dat een ouderpaar van een soort kan voortbrengen. Soorten die veel nakomelingen kunnen voortbrengen zijn minder versnipperinggevoelig dan soorten met een gering aantal grotere eieren en weinig nakomelingen.

Om een indruk te krijgen van de mate van (soortgebonden) versnipperinggevoeligheid van de meest voorkomende vissoorten, zie bijlage 2.

³ Zie 2.3.2 Zwemsnelheden in relatie tot de verschillende vissoorten

1.5 Het beleid

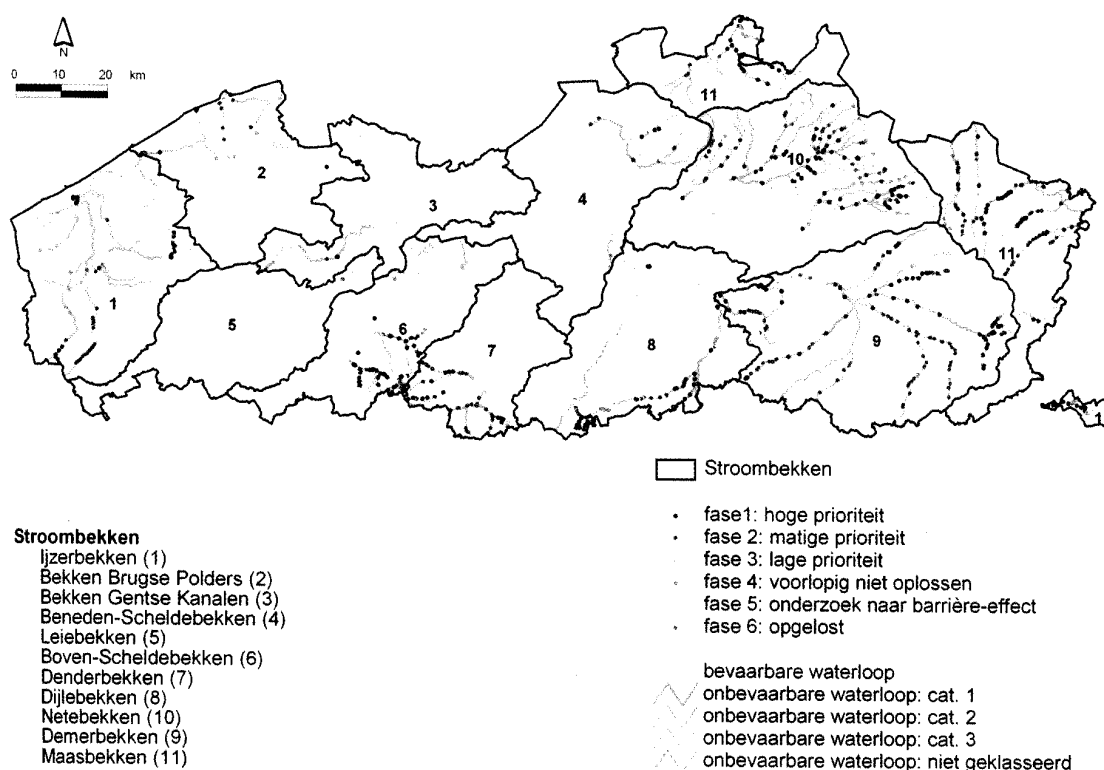
De laatste decennia heeft de aandacht voor het milieu een grote opgang gekend. Daarbij is de slechte toestand van de waterlopen en het belang van vismigratie duidelijk geworden. Ecologisch beekherstel is alleen mogelijk wanneer het ecosysteem van een stroomgebied, flank-dal-beek, als een integraal geheel wordt bekeken (Verdonschot *et al.*, 1995). Met dit gegeven in het achterhoofd werd er een begin gesteld aan de verbetering van onze waterlopen inzake vismigratieproblematiek. Er werden een aantal wetgevingen opgesteld die streven naar het behoud en herstel van wilde dieren en hun habitatten. Hieronder volgt een overzicht van de bestaande wetgevingen die rechtstreeks en onrechtstreeks betrekking hebben op vismigratie (in bijlage 3 worden de wetgevingen verder verklaard).

- Verdrag van Bonn inzake de bescherming van trekkende wilde diersoorten van 23 juni 1979.
- Verdrag van Bern inzake het behoud van wilde dieren en planten en hun natuurlijk leefmilieu in Europa van 19 september 1979.
- Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van de Europese Gemeenschappen inzake de instandhouding van de natuurlijke habitatten en de wilde flora en fauna van 21 mei 1992.
- Beschikking van het Comité van ministers van de Benelux Economische Unie inzake de vrije migratie van vissoorten in de hydrografische stroomgebieden van de Benelux landen van 26 april 1996 M (96) 5.
- Decreet van de Vlaamse regering betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu van 21 oktober 1997.
- In het Mina-plan 2 wordt in verschillende thema's aangedrongen op het wegwerken van migratieknelpunten en worden hiervoor financiële middelen voorzien.
- Europese Kaderrichtlijn Water.

Op basis van deze wetgevingen werd een Vlaams beleid ontwikkeld. Uitgangspunt voor de oplossingsstrategie is de Beneluxbeschikking die stelt dat tegen 2010 alle waterlopen migratievrij moeten zijn voor vis. Omdat deze termijn vrijwel onhaalbaar is, werd een lijst opgesteld van de vismigratieknelpunten (figuur 1.6 en bijlage 4) op alle prioritaire waterlopen⁴ in het Vlaamse Gewest (figuur 1.5). Deze werden geïnventari-

⁴ Onder prioritaire waterlopen worden de meest waardevolle waterlopen in combinatie met strategisch belangrijke verbindingswaterlopen verstaan die opgenomen zijn in de prioriteitenlijst van de te saneren waterlopen in Vlaanderen. Het gaat hierbij over ongeveer 3000 km van de in totaal 20.000 km waterloop in Vlaanderen.

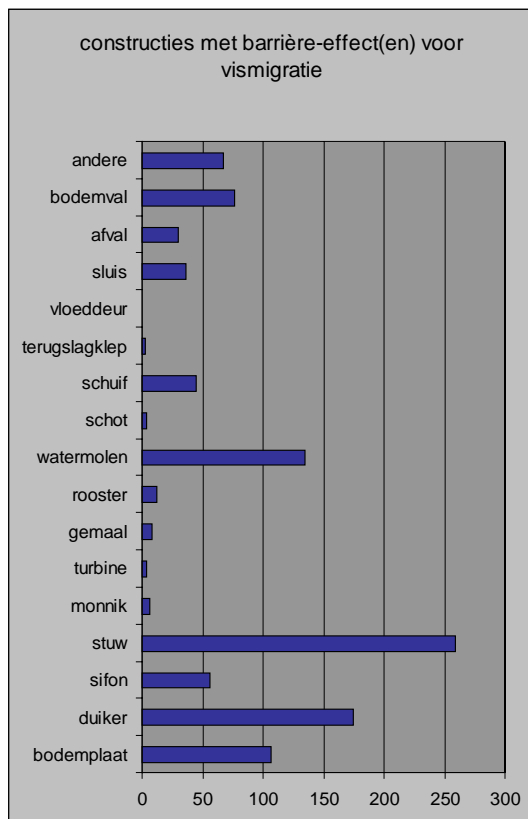
seerd volgens een vooropgestelde methodologie⁵. De inventarisaties vormen de basis voor de opmaak van een financierings- en saneringsprogramma om deze knelpunten weg te werken. 1026 constructies op 3000 km waterloop werden geïnventariseerd waaronder 175 duikers en 56 sifons waarvan de barrièregraad nog moest nagekeken worden. Per constructie werd een fasering gegeven die berust op het toekennen van een graad van hoogdringendheid voor het oplossen van de knelpunten. Alle inventarisatiegegevens zijn gebundeld en opgenomen in een informix-databank⁶ die kan geraadpleegd worden via het internet.



Figuur 1.5: De verschillende stroombekkens in Vlaanderen (Monden *et al.*, 2001b).

⁵ 5.1 methodologie in bijlage 5

⁶ <http://vismigratie.instat.be>



Figuur 1.6: Constructies met barrière-effect(en) voor vismigratie (Monden *et al.*, 2001a).

1.6 Mogelijke oplossingen

Een geschikte oplossing voor een bepaald knelpunt hangt af van situatie tot situatie. Er dient rekening gehouden te worden met het type waterloop, het type knelpunt, de aanwezige en te verwachten vissoorten, de aanwezige ruimte, *etc.* Het is dus niet mogelijk om aan elk knelpunt per definitie een bepaald type oplossing te koppelen. In de literatuur wordt voor het uitwerken van een geschikte oplossing voor de migratieknelpunten voorgesteld om volgende prioriteitenlijst te volgen (Monden *et al.*, 2001a):

- Waar mogelijk wordt voorgesteld de waterloop terug door de natuurlijke bedding te laten stromen. Dit houdt in dat het knelpunt verwijderd wordt en volledig beekherstel plaatsvindt (op waterlooptniveau).

- In tweede instantie wordt voorgesteld de knelpunten te verwijderen en de rivier opnieuw in te richten met een natuurlijk verval. Hierbij vinden lokaal herstel en herinrichting van de beek plaats (lokaal niveau).
- Indien volledig herstel niet mogelijk is, kan men rond de obstakels lange omleidingkanalen aanleggen die een sterker verval hebben en die als een natuurlijke (meanderende) beek met hoge ruwheid worden ingericht. Dergelijke omleidingen kunnen naast hun functie als visdoorgang, ook dienen als paai-, opgroei- of verblijfsplaats voor de stroomminnende soorten.



Figuur 1.7: Watermolen op de Kleine Gete (foto a). De vispassage die aangelegd werd rond de watermolen (foto b). In de omleiding werd gewerkt met streekeigen materiaal om het verval af te bouwen en de stroomsnelheid in te perken.

- Het plaatsen van streekeigen materiaal in de bedding kan een verval afbouwen, de stroomsnelheid inperken of het waterpeil verhogen.
- Ook een aangepast beheer is voor sommige knelpunten een geschikte oplossing. Door aan beide zijden het spuiregime van spuisluizen aan te passen en de schuiven te laten open staan tot het peil gelijk is, kunnen vissen optrekken. Het platleggen van klepstuwen en het verwijderen van schotbalken op momenten van paaimigratie zijn mogelijke beheersmaatregelen ter bevordering van de vismigratie. Deze laten echter geen migratie gedurende het hele jaar toe en moeten daarom op hun efficiëntie geëvalueerd worden (Kuijken *et al.*, 2001).
- Slechts indien de voorgaande mogelijkheden zijn onderzocht en negatief bevonden, kan men denken aan de aanleg van kunstmatige vispassages zoals de bekkentrap met V-vormige overlaten of hellingen uit stortsteen.



Figuur 1.8: De V-vormige vispassage op de Velpe in Hoeleden (Verbiest *et al.*, 1998)

1.6.1 Concrete uitwerking: Tunnelfishways in Noorwegen

Al vanaf 1870 worden in Noorwegen vispassages gebouwd, meestal gericht op de migratie van zalm en forel. Deze geven vis de mogelijkheid om grotere gebieden te gebruiken voor hun voortplanting en groei. Door het aanleggen van zo'n 420 vispassages, werd het leefgebied van de zalm, de zeeforel en de beekforel over een lengte van 3700 kilometers uitgebreid. $\frac{1}{4}$ van de passages is aangelegd voor het overbruggen van kunstmatig aangelegde knelpunten op rivieren, $\frac{3}{4}$ van de passages werd aangelegd voor het overbruggen van natuurlijke obstakels. Die obstakels kunnen tot bijna 50 m hoog zijn, waarbij trappen met een hoogteverschil van bijna 1m^7 worden aangelegd. Meestal zijn de vervallen door de obstakels gecreëerd echter kleiner, met hoogteverschillen tot 5 m.

De meeste vispassages zijn van het 'pool and weir' type⁸, sommige zijn van het Deynl-type⁹ in combinatie met stuwen. Ook werden tunnelfishways gebouwd op rivieren in Noorwegen. Dit zijn vispassages aangelegd in een duiker (Grande, 2001).

Alhoewel de vlakten in Noorwegen heel uitgestrekt zijn, is het vaak moeilijk om plaats te vinden voor een vistrap in open terrein, omdat de rivieroever naast de vele watervallen en dammen steil zijn en heel smal. Daarom worden veel vistrappen in duikers of tunnels gebouwd. Tot nu toe bestaan er al 32 zogenaamde tunnelfishways in Noorwegen. De helft daarvan wordt gebouwd in verbinding met dammen en waterkrachtcentra-

⁷ Meestal bedraagt de hoogte van de trappen 40-60 cm wanneer ze aangelegd worden voor zalm en forel en 20-30 cm wanneer ze gebouwd worden voor de passage van witvis en paling.

⁸ pool and weir vispassage = bekken-vistrap Deze vistrap bestaat uit een hellende waterloop (circa 1 : 20 à 50) met een rechthoekig of een trapeziumvormig dwarsprofiel. De waterloop wordt door een aantal overlagen in bekkens verdeeld. Het aantal bekkens wordt bepaald door het totale verval over de constructie en het gewenste verval per bekken. De energie van het over de overlagen stromende water wordt gedempt in de bekkens, die daartoe voldoende lang, breed en diep moeten zijn (Raat, 1994).

⁹ Deze passage bestaat uit een hellend rechthoekig kanaal waarin op korte afstand van elkaar geplaatste, enigszins naar voren hellende, schotten een grote weerstand leveren aan het er door stromende water. Als gevolg van de hoge energiedemping is het water zeer turbulent. Door de grote weerstand zijn de gemiddelde stroomsnelheden relatief laag (Raat, 1994).

les en de andere helft in verbinding met natuurlijke watervallen. De langste tunnelfishway is 290 m lang en de constructie is 35 m hoog¹⁰.

Tunnelfishways vertonen een aantal voordelen: de vistrap is beschermd tegen een overtoevoer aan water, tegen overstroming en tegen schade door ijs in de winter (wat in Noorwegen belangrijk is). Een ander voordeel bestaat erin dat de tunnel afgesloten is voor vissers, wat de inspectie van onbevoegd vissen vergemakkelijkt. De onderhoudskosten zijn verlaagd. Nadeel is de moeilijke toegang wanneer er onderhoudswerken verricht moeten worden, of wanneer een teveel aan zand en stenen verwijderd dient te worden.

Omdat vissen niet in staat zijn om lang aan een hoge snelheid te zwemmen, is in elke vijftiende trap een zgn. rustpoel ingebouwd waar het water minder turbulent is en de vis de mogelijkheid geboden wordt om even tot rust te komen. Uit onderzoek naar passerbaarheid in relatie tot lichtintensiteit in de tunnels is gebleken dat er geen significant verschil is of er al dan niet licht aanwezig is in de tunnel. Zelfs een tunnel van 1600 m lengte zonder licht, bleek geen barrière voor de vispassage (Grande, 2001). Het gaat hierbij hoofdzakelijk over zalmachtigen. Bij de aanleg van de duikers werd alleen met deze groep vissen rekening gehouden.

¹⁰ Bijlage 6 geeft een overzicht van de opbouw van de langste tunnelfishway

Hoofdstuk II : Duikers en sifons

Hoofdstuk II. Duikers en sifons

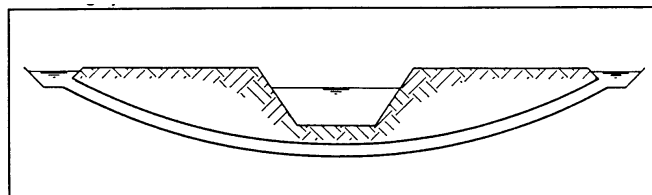
2.1 Definitie

Colijn en Van Der Hooft (1968) definiëren een duiker als volgt:

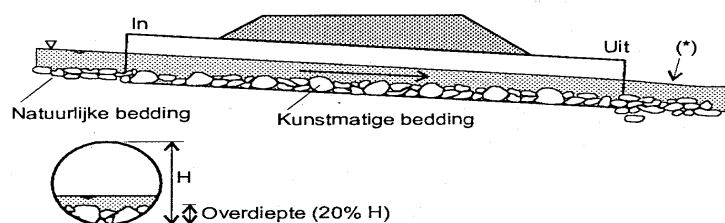
“Een duiker is een koker, aangebracht onder een weg, een dijk, een kanaal, een watergang, e.d., die tot doel heeft om een verbinding tussen wateren in stand te houden of te herstellen en de afwatering van aangrenzende landerijen mogelijk te maken.

Een sifon (of grondduiker) verschilt van een duiker doordat hij niet volledig recht is, maar twee of meer knikken vertoont.”

Daar kan aan toegevoegd worden dat een sifon doorgaans volledig verdronken is, terwijl het waterpeil in een duiker sterk kan variëren. Duikers bezitten normaliter een open verbinding tussen boven- en benedenstroomse trajecten in een beek. Daarnaast bestaan afsluitbare duikers (terugslagklep) waarmee water in een bepaald gebied binnen gelaten kan worden.

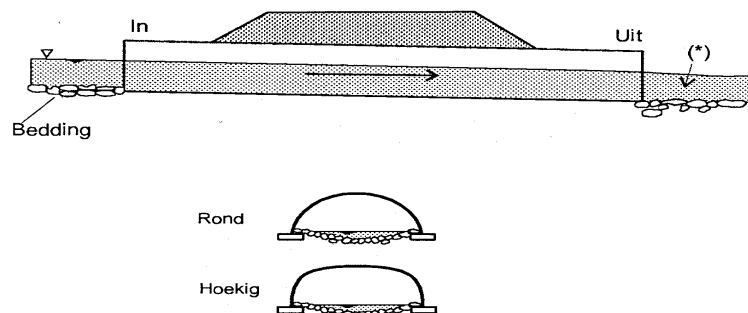
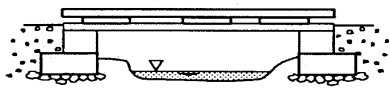


Figuur 2.1: Sifon (Grontmij, 1990)



Figuur 2.2: Gesloten duiker met ronde sectie en doorlopende beekbedding (Viaene et al., 1999).

De diameter van de duiker wordt zodanig gekozen dat er een voldoende grote capaciteit is om water uit het achterland veilig te kunnen afvoeren. De meeste duikers en sifons worden geconstrueerd in beton, met relatief gladde wanden. Maar ook metalen of stenen duikers komen voor. De doorsnede van de buizen kan gaan van vierkant of rechthoekig tot rond en 'druppelvormig'. De buizen kunnen (bij duikers) ofwel op de bodem gelegd worden, ofwel gedeeltelijk ingegraven worden, zodat in de buizen substraat aanwezig is. In sommige gevallen wordt ook gewerkt met halfopen buizen (zgn. bodemloze duikers). In dergelijke constructies blijft het oorspronkelijk substraat van de waterloop bewaard (Viaene *et al.*, 1999). Een overzicht van duikertypes met een aantal voor- en nadelen staat in bijlage 7.



Figuur 2.3: Niet ingebedde duiker, geen bodembedekking (Viaene *et al.*, 1999).

2.2 Passeerbaarheidsanalyse voor duikers en sifons

De barrièrewerking van een duiker hangt niet enkel af van de biologische eigenschappen van vissen, maar hangt ook samen met de fysisch/hydraulische toestand aan de in- en uitstroomopening en met de fysisch/hydraulische omstandigheden in de duiker zelf (Verdonschot, 1996). Al deze gegevens zijn bepalend voor het al dan niet kunnen passeren van een bepaald kunstwerk.

Naast zwem- en sprongcapaciteiten is ook kennis met betrekking tot de migratie van de betrokken vissoort, zoals migratietijden, -periode, aantallen en andere voorwaar-

den voor de migratie, in de uiteindelijke analyse waardevol. De hierboven genoemde parameters verschillen veelal per vissoort en ze zijn binnen de soort ook nog eens afhankelijk van het levensstadium (Grontmij, 1990).

Vissen zijn op basis van hun zwemgedrag in twee groepen te verdelen, namelijk de bodemvissen en de pelagische soorten. Een bodemvis houdt zich voornamelijk bij de bodem op en bevindt zich ook vaak in de oeverzone. Is bijvoorbeeld de bodem van een duiker hoog boven de bodem van de beek gesitueerd dan zal deze voor bodemvis moeilijker te passeren zijn. Voorbeelden zijn beekprik, paling, biermpje, rivierdonderpad en riviergrondel. Pelagische soorten zijn onder andere winde, blankvoorn, rietvoorn. Ze oriënteren zich voornamelijk visueel en bevinden zich tijdens de paaitrek in de bovenste waterlagen of in de ondiepe oeverzones (Riemersma, 1994). Migratie van deze soorten vindt overdag plaats en tijdens de schemering. Hierbij is 'licht' en niet het absolute tijdstip van de dag de stimulus voor migratie. Vissoorten die zich tijdens de migratie voornamelijk oriënteren op de tast en via visuele aanpassingen, bewegen zich vooral 's nachts in de nabijheid van de oever voort. Voorbeelden hiervan zijn meerval, aal en snoekbaars. Andere vissoorten kunnen migratie vertonen gedurende het hele etmaal. De intensiteit van de nachtelijke migratie wordt bij deze vissoorten sterk positief beïnvloed door het maanlicht (Riemersma *et al.*, 1991).

2.2.1 De fysisch/hydraulische toestand in de duiker

a. De stroomsnelheid

De bodem in een duiker is vaak glad (geen bodembedekking) waardoor de wrijvingsweerstand van de buiswand zeer laag ligt en de stroomsnelheid hoog is. Dit vormt moeilijk passeerbare omstandigheden. De stroomsnelheid mag niet zo hoog zijn dat zij de doorgang van vis in de weg zou staan en opstoppingen aan de duikeringang het gevolg zijn (Verdonschot, 1996). Anderzijds kunnen hoge stroomsnelheden ook het gevolg zijn van een smallere doorstroomsectie van de buizen ten opzichte van de sectie van de waterloop stroomopwaarts van de constructie. Hogere stroomsnelheden gaan vaak gepaard met een verhoogde turbulentie, wat de zwemcapaciteit van de vissen nadelig kan beïnvloeden (verminderd oriëntatievermogen, meer ingesloten lucht in het water; Verdonschot, 1996). Een veel voorkomend probleem bij duikers en sifons bestaat erin dat ze niet ontworpen zijn om piekdebieten met een bepaalde terugkeertijd te verwerken zonder

extreme stroomsnelheden te veroorzaken. Wanneer die piekafvoeren samenvallen met de vismigratie wordt deze dus belemmerd.

Bij extreem lage afvoerdebieten kan vaak een ander probleem ontstaan, namelijk een tekort aan waterdiepte. Dit probleem treedt vaak op bij duikers met een brede, vlakke bodem (vaak betonplaat; Viaene *et al.*, 1999).

Vanwege het feit dat migratie meestal stootsgewijs en massaal plaatsvindt, is het snel kunnen passeren van de duiker van groot belang. De meeste vissoorten zijn in staat (een vispassage) te passeren bij een maximale stroomsnelheid van 1 m/s. Alhoewel uit onderzoek blijkt dat deze waarde goed functioneert, bestaat toch de behoefte op sommige waterlopen de zwemcapaciteit meer naar vissoort te specificeren (Riemersma & Quak, 1991), bijvoorbeeld op kleine beekjes met welbepaalde vissoorten.

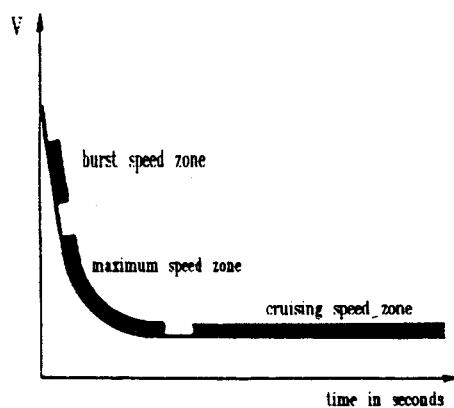
b. Stroomsnelheden in de duiker in relatie tot de zwemsnelheid van de vis

De zwemprestaties (zwemsnelheden) die vissen kunnen leveren zijn voor vissoorten en lengteklassen binnen de soort verschillend en worden onder andere bepaald door de morfologie van de vis. Naast de vissoort en de vislengte wordt de maximale zwemsnelheid die een vis kan bereiken tevens bepaald door factoren als watertemperatuur en de conditie van de vis. Overigens geldt dat de vis de maximale zwemcapaciteit enkel kan benutten indien de omstandigheden dit toelaten. De vis moet in ieder geval voldoende water boven de vinnen hebben, de afzetmogelijkheden moeten ruim aanwezig zijn en de stroomsnelheid mag niet te hoog zijn. Door turbulenties kunnen de zwemprestaties aanzienlijk afnemen (Beach, 1984).

De “zwemsnelheid” wordt gedefinieerd als: “*de snelheid waarmee de vis zich ten opzichte van een referentiepunt voortbeweegt*”. Onder “relatieve zwemsnelheid” wordt “*het verschil tussen de zwemsnelheid van de vis en de stroomsnelheid van het water*” verstaan. Uiteraard moet de relatieve zwemsnelheid positief zijn om een duiker te kunnen passeren (Powers *et al.*, 1985).

Verder is niet alleen de zwemsnelheid van belang maar tevens de duur waarbij de betreffende snelheid kan worden volgehouden (uithoudingsvermogen). In dit verband wordt in de literatuur onderscheid gemaakt in de volgende typen zwemsnelheden (Hoar & Randall, 1978):

- *Sprintsnelheid*: (burst speed of darting speed) snelheid die een vis minder dan 20 seconden kan volhouden.
- *Verhoogde snelheid*: (prolonged speed, ook sustained speed genoemd) snelheid die een vis gedurende een zekere tijd (20 seconden tot 200 minuten) kan volhouden, maar die dan tot uitputting leidt
- *Kruissnelheid*: (cruising speed, soms in de literatuur ook sustained speed genoemd hetgeen gemakkelijk tot verwarring met de vorige categorie kan leiden) snelheid die een vis lang (> 200 minuten) kan volhouden zonder dat dit direct tot uitputting leidt.



Figuur 2.4: Relatie tussen de zwemsnelheid en de tijdsduur waarin deze kan worden volgehouden (Naar Hoar & Randall, 1978).

De vis zwemt met kruissnelheid tijdens de ‘normale’ verplaatsingen en zal waarschijnlijk ook met deze snelheid zwemmen tijdens de paaitrek zolang deze niet gehinderd wordt in doorgang (Bell, 1973). Bij deze snelheid is het energieverlies van de vis het kleinst. De kruissnelheid en de sprintsnelheid worden aangewend om moeilijke trajecten op de migratieroute te overbruggen, zoals bijvoorbeeld stroomversnellingen en hoogteverschillen. De sprintsnelheid wordt ook gebruikt voor de vlucht en het foerageren door sommige roofvissen zoals de snoek. Verder dient nog opgemerkt te worden dat de waarden van de zwemsnelheden gegeven door Bell (1973) betrekking hebben op vissen die zwemmen in water waar geen lucht is ingesloten (zgn. ‘black water’). Als het luchtgehalte in het water toeneemt, wat bijvoorbeeld het geval is bij turbulentie (‘white water’), zal de vis niet de volledige kracht van de staartslag kunnen benutten en zal de zwemsnelheid afnemen.

Overzichten van zwemsnelheden per soort¹ geven onder andere Riemersma (1990), Riemersma en Quak (1991), Powers (1985), Semmekrot (1994) en Dane (1978a, 1978b).

¹ Zie bijlage 8 voor een overzicht van de zwemsnelheden van een aantal zoetwatervissen

In het algemeen geldt voor langzame zwemmers (lengte 10 cm) een zwemsnelheid van 0,2-0,5 m/s over een afstand > 10 m en voor snelle zwemmers 1,0-2,0 m/s.

Daarnaast staat de zwemcapaciteit in directe relatie met de lengte van de vis (Riemersma & Quak 1991, McPhee & Watts 1976). Hoe langer de vis is, en dus ouder, des te groter is de zwemcapaciteit. Watts (1974) komt hiervoor tot de volgende vuistregel:

Zwemsnelheid	Afmeting vis
sprintsnelheid	8-12 * lichaamslengte / seconde
verhoogde snelheid	4-7 * lichaamslengte / seconde
kruissnelheid	2-4 * lichaamslengte / seconde

Indien de watertemperatuur hoog is, moeten deze waarden met 35% worden verhoogd (Watts 1974, Brett et al. 1958).

c. De lengte van de duiker

Niet alleen de stroomsnelheid in de duiker is belangrijk maar ook de lengte van de duiker of sifon. Voor de beoordeling van de passeerbaarheid van een lange duiker moet van de kruissnelheid worden uitgegaan (Verdonschot, 1996). Wanneer vissen bijvoorbeeld door een buis moeten zwemmen aan een verhoogde snelheid of zelfs sprintsnelheid (twee snelheden waarbij uitputting optreedt) is het nodig dat de vis de uitgang van de duiker of sifon bereikt vóór hij uitgeput is. Het is dus vooral de lengte waarover een vis een bepaalde snelheid moet aanhouden die van belang is (Baker & Votapka, 1990). Wanneer een duiker langer is dan 4,5 m dan moet de kruissnelheid worden aangehouden. Belford & Gould (1989) geven voor forel het volgende schema:

zwemafstand <i>Salmo trutta</i>	10	30	50	70	90	meter
stroomsnelheid aan de bodem	0,96	0,80	0,74	0,70	0,67	m/s

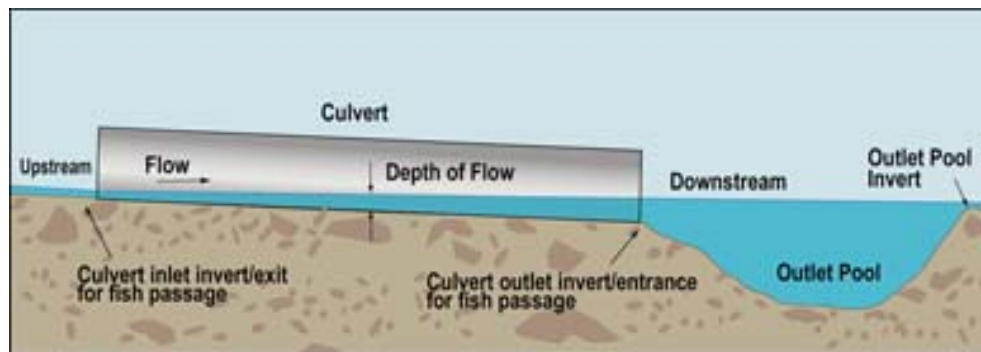
Ook voor andere vissoorten gaat deze relatie op, dit staat uiteraard in direct verband met de soortspecifieke zwemcapaciteit.

d. De licht-donker barrièrewerking

Over de licht-donker barrièrewerking van een duiker verschillen de meningen. Volgens bepaalde auteurs zou de afwezigheid van licht een barrièrewerking hebben (Baker & Votapka, 1990) en moet er bij duikers licht te zien zijn aan de andere kant (Anon., 1990). Uit ander onderzoek blijkt dat vissen weinig tot geen effect hiervan ondervinden (Kay & Lewis 1970, Rogers & Cane 1979). Sommige vissoorten, zoals forel, worden zelfs aangetrokken door donkere duikers en verblijven bij de ingang. De duiker vormt in dit geval een habitat of schuilplaats voor dieren. Kratt (1981) nam zelfs waar dat arctische zalmen eieren in grindachtig substraat in een duiker afzetten. Bij forellen zou zelfs een betere migratie mogelijk zijn doorheen donkere duikers (Ebel, 1985).

2.2.2 De fysisch/hydraulische toestand aan de in- en uitstroomopening van de duiker

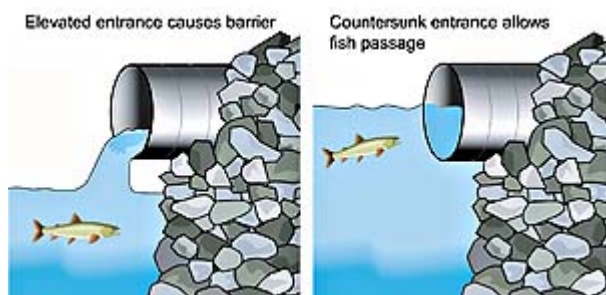
Er zijn veel verschillende situaties aan de in- en uitstroomopening van een duiker. Vaak bevindt zich aan de duikeruitgang een poel die iets breder en dieper is dan de (verdere) loop van de rivier. Mocht de duiker een overstort hebben dan stort het water de poel in die dan rijkelijk voorzien wordt van zuurstof en een ideaal habitat vormt voor sommige vissoorten.



Figuur 2.5: De verschillende delen van een duiker (Poulin *et al.*, 1998).

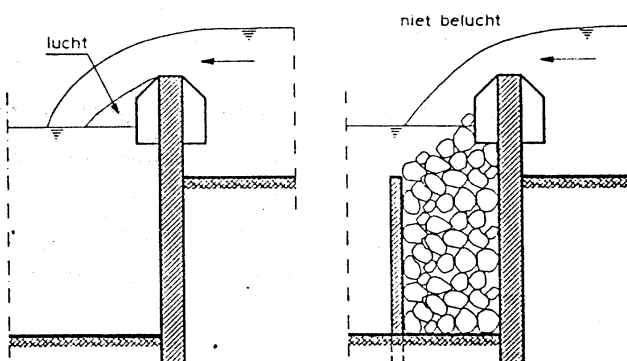
a. *Hoogteverschillen*

Zijn er hoogteverschillen aanwezig tussen beek en instroom (stroomversnelling) of tussen duiker en uitstroom (stroomversnelling en/of waterval), dan levert dit voor dieren een moeilijk passeerbare structuur op.



Figuur 2.6: De aanwezigheid van een hoogteverschil aan de in- of uitgang van een duiker vormt een hindernis voor vis. Een ondergedoken in- of uitgang daarentegen laat vrije vismigratie toe (Poulin, 1997)

Bless (1981) noemt stuwen hoger dan 30 cm al wezenlijke hindernissen voor beekvis met uitzondering van grotere zalmachtigen. Wanneer de waterstroom over een stuw vrijkomt van de verticale stuwwand, dan is daarmee een volledige hindernis voor optrekkende vis gecreëerd (Wilke 1970). Dit geldt ook voor de uitstroomopening van een duiker (figuur 2.7).



Figuur 2.7: Twee vormen van overstortranden. De eerste vorm zal vrijwel zeker een knelpunt vormen voor het merendeel van de cypriniden en dit door de aanwezigheid van lucht onder het overstortende water, als gevolg van het vrijkomen van het overstort van de rand (Boiten, 1989).

Een vis heeft in principe twee mogelijkheden om een obstakel te passeren: zwemmen of springen. Uit onderzoek is gebleken dat een vis een obstakel bij voorkeur zwemmend passeert (Stuart, 1962). Indien dit niet realiseerbaar is, wordt geprobeerd het obstakel door middel van een sprong te overwinnen. De spronghoogte die de vis kan bereiken, is direct afhankelijk van de maximale zwemsnelheid waarmee de vissoort het wateroppervlak doorbreekt (Riemersma, 1990). Van essentieel belang hierbij is dat er voldoende afzetmogelijkheid (waterdiepte) is om de volledige sprongcapaciteit te kunnen benutten.

In tabel 2.1 zijn de maximale spronghoogte en de kruis- en sprintsnelheid van slechte en goede zwemmers weergegeven. Deze resultaten zijn verkregen door onderzoek te verrichten naar vissoorten in relatief stromend water (Riemersma & Quak, 1991).

Tabel 2.1: Zwem- en sprongcapaciteiten (Riemersma & Quak, 1991).

soort zwemmer	zwemcapaciteit (U_{max} (m/s))		max. spronghoogte (m)
	kruissnelheid (lengte > 10 m)	sprintsnelheid (lengte < 10 m)	
slechte zwemmers (o.a. meeste witvis, cypriniden)	0,50 – 1,00	1,00 – 1,50	0,20
goede zwemmers (o.a. forel, winde, snoek)	1,00 – 1,50	2,00 – 2,50	0,30

De maximale spronghoogte die een bepaalde vis kan bereiken is nauw gerelateerd aan de sprintsnelheid van de vis. Slechte zwemmers leveren in het algemeen ook slechte sprongprestaties. De soorten uit de familie van de cypriniden presteren beduidend minder in het trotseren van hoge stroomsnelheden en het maken van sprongen. Er zitten zelfs soorten tussen die zich vrijwel nooit tot een sprong laten verleiden. Van veel soorten is nauwelijks kennis over zwem- en sprongcapaciteiten aanwezig (Riemersma & Quak, 1991).

Uit onderzoek naar het spronggedrag van verschillende vissoorten – zowel salmiden als cypriniden - blijkt onder andere het volgende (Stuart, 1962):

- Zolang een waterstraal over het obstakel stroomt, proberen vissen via deze straal het obstakel zwemmend te overbruggen.

- De vissen gaan het obstakel ook springend proberen te overbruggen, zodra een staande golf (watersprong) achter het obstakel ontstaat.
- De sprong wordt altijd vanuit de staande golf ingezet, ook als deze ver van het kunstwerk verwijderd is.
- Het succesvol passeren van het obstakel d.m.v. een sprong is het grootst, indien de waterdiepte achter het obstakel ten minste 1,25 maal het hoogteverschil bedraagt (goede afzetmogelijkheden).

Naast de individuele capaciteit van de vis is ook de capaciteit van de populatie van belang. Hetgeen betekent dat het overwinnen van een barrière door voldoende individuen moet kunnen geschieden wil een populatie overleven.

b. Waterdiepte

De waterdiepte waarbij migratie plaatsvindt is een belangrijk gegeven in verband met de hoogte van de duikeringang ten opzichte van de hoofdstroom. Voor het zwemmen kunnen passeren moet de doorzwemopening zodanig geplaatst zijn of (bij een slecht aangelegde duiker) moet een voldoende dikke overstortende straal (dikte van de waterschijf) aanwezig zijn opdat de vis zijn volledige zwemcapaciteit kan benutten (Verdonschot, 1996). Dryden en Stein (1975) (in: Verdonschot, 1996) stellen dat de waterdiepte ten allen tijde groter moet zijn dan de hoogte van de grootste vis die wil passeren. Dit geldt met name voor zogenaamde ‘ronde vis’ zoals verschillende roofvissen, die in tegenstelling tot bijvoorbeeld de brasem niet in staat zijn om op hun zijde in een dunne overstortende straal naar boven te zwemmen.

Pelagische soorten, zoals blankvoorn, bevinden zich tijdens de migratie in de bovenste waterlagen. Specifieke bodemvissoorten zoals grondel en bierpje, migreren voornamelijk over en net boven de bodem. Uit bovenstaande volgt dat in het ideale geval de duikeropening over de gehele waterdiepte reikt, zodat de vistrek op iedere gewenste waterdiepte mogelijk is. Toch moet de duiker liefst niet geheel gevuld zijn met water maar moet een ‘luchtkussen’ aanwezig zijn boven de waterlaag.

c. *Grofvuil rooster*

Vaak wordt in stedelijk gebied aan de instroomopening een grofvuil rooster geplaatst. Dit rooster moet verhinderen dat takken, zwerfvuil e.d. zich in de duiker ophopen en zo verstopping zouden veroorzaken. Om de efficiëntie van zo'n rooster zo groot mogelijk te maken, worden de spijlen vaak relatief dicht naast elkaar geplaatst. Voor grotere ("bredere") vissoorten, zoals de karper, kan dit de vrije migratie verhinderen. Daarnaast blijkt dat in de praktijk veel kleine duikers in de loop der tijd door achterstallig onderhoud van de roosters geheel of gedeeltelijk zijn dichtgeslibd (Riemersma, 2000).



2.3 Biologische randvoorwaarden bij de aanleg van duikers en sifons en bevordering van de vismigratie

Uit een studie naar de relatie tussen vissen en de passeerbaarheid van duikers zijn een aantal criteria (dimensies, stroomsnelheid, substraat, lengte, wandruwheid) naar voren gekomen die een duiker beter passeerbaar maken. Een open afleiding wordt niet als een barrière beschouwd en geldt als nulsituatie.

Allereerst stellen de potentiële passanten eisen aan de te passeren constructie, hier de duiker / sifon. De diameter van de duiker benadert best de omvang van de beek en de lengte is zo kort mogelijk. De wandruwheid is hoog zodat de stroomsnelheid beperkt blijft rond 0,25 m/s. Dit betekent dat de inrichting van de duiker van groot belang is bij het nagaan van de barrièrewerking. Deze laatste kan bij een geschikte inrichting sterk verkleind worden. Naast de inrichting speelt ook de periode waarin de constructie passeerbaar is een belangrijke rol. Vissen mogen tijdens hun verschillende verplaatsingen (met de paaimigratie, seizoensmigratie en verspreiding als de belangrijkste) niet gehinderd worden in hun bewegingen (Verdonschot, 1996).

Door het belang van beekverplaatsing te relateren aan de verschillende opties van inrichting kan volgende waardering verkregen worden: vissen verkiezen een open afleiding boven een gesloten afleiding; en in het geval van een gesloten afleiding verdient de omgekeerde U-vormige duiker (waarbij de bodembedekking van de rivier behouden

blijft) de voorkeur boven de O-vormige duiker waarbij (vaak) onnatuurlijk (of zelfs geen) substraat aangelegd wordt in de duiker (Verdonschot, 1996).

Algemeen moet bij de aanleg van duikers en sifons in relatie tot de passeerbaarheid voor vis rekening gehouden worden met de volgende factoren (Gebhards & Fisher, 1972; Saltzmann & Koski, 1971; Kay & Lewis, 1970; Lauman, 1976): duikertype, stroomsnelheid, licht-donker werking, hoogteverschillen en verval, waterdiepte, diameter van de duiker.

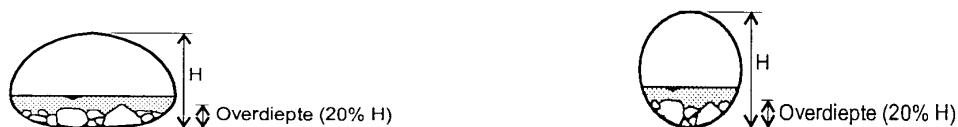
a. Duikertypen

Voor de aanleg van duikers kan er een keuze gemaakt worden uit verschillende types². Een aantal hiervan worden in “voorkeursvolgorde” besproken, te beginnen met het meest te verkiezen type.

- Duikers waarbij de oorspronkelijke bedding en ook een deel van de oever behouden blijven, veroorzaken na hun installatie heel weinig verstoring in de waterloop. Het snelheidspatroon in de duiker verschilt dan ook niet veel van het natuurlijk patroon stroomopwaarts en -afwaarts de duiker. Erosieproblemen (ten gevolge van onder-spoeling) aan de in- en uitstroomopeningen wordt op die manier ook vermeden. Wanneer deze constructie gebouwd wordt met halfcirkelvormige platen (vb. Armco-staal) zal een grotere breedte ook een hogere constructie vereisen (omwille van hun boogvorm). Daardoor zal de toepassing niet overal mogelijk zijn. Een alternatief is misschien een bodemloze koker met rechthoekige sectie, waarvan de zijwanden buiten de waterloop staan. De te overspannen breedte kan hier een belemmerende factor zijn (Viaene *et al.*, 1999).
- Gesloten buizen worden best ingebed in de bodem. De overdiepte (die aangeeft hoe diep de buis ingebed moet worden, figuur 2.8) moet ongeveer 20 % van de buisdiameter bedragen (met een minimum van 0,3 m). Na de aanleg kan de overdiepte opgevuld worden met een grof substraat tot op het niveau van de bodem stroomopwaarts en stroomafwaarts. Door het instromende water zal fijner sediment aangevoerd worden en tussen de stenen worden afgezet. Op die manier zal in de duiker een semi-natuurlijke bedding ontstaan die aansluit op de oorspronkelijke bedding stroom-

² Een overzicht en een opsomming van een aantal voor- en nadelen van duikertypes wordt weergegeven in bijlage 7.

op- en afwaarts de duiker. Inbedden van de duiker vermindert ook de kans op erosie aan de uitstroomopening (Poulin & Argent, 1998).



Figuur 2.8: De overdiepte voor een gesloten duiker met ronde sectie (eventueel niet ingebed in de waterloopbodem) en al dan niet doorlopende bodembedekking (Viaene *et al.*, 1999).

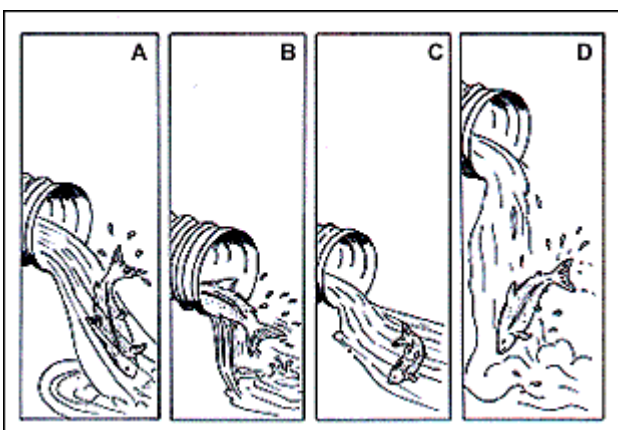
- Het gebruik van gesloten duikers die niet ingebed worden, is af te raden. De bodem en de wanden zijn te glad om een gediversifieerd stromingspatroon te veroorzaken (Viaene *et al.*, 1999).

Om sifons passeerbaar te maken, wordt in de literatuur o.a. voorgesteld om in de buis snelheidsremmende structuren aan te brengen. Kemper (1998) raadt aan om in de buis overlaten te plaatsen onder een helling (in de richting van de stroming), waarachter vissen stromingsluwe plaatsen vinden om uit te rusten. Poulin & Argent (1998) stellen voor om in sifons verticale overlaten te plaatsen. Volgens deze auteurs zijn hieraan wel een aantal nadelen verbonden: er kan gemakkelijk sedimentatie optreden in de sifon en het is moeilijk om aanslibbing te verwijderen. Wanneer één van de overlaten op één of andere manier loskomt, kan dit de sifon ernstig beschadigen. Dure herstelmaatregelen zijn dan nodig. Dit maakt dat het bij sifons uitermate belangrijk is om de natte sectie af te stemmen op de gewenste stroomsnelheden, omdat bijkomende maatregelen moeilijk haalbaar zijn.

b. De stroomsnelheid

- Om de kans op terugspoelen van vis in een duiker te verminderen, moet de stroomsnelheid in ieder geval lager zijn dan de sprintsnelheid van de vis (Riemersma, 1994; figuur 2.9.(A)). De uitstroom moet vindbaar zijn voor vis (lokstroomrichting), niet turbulent en met lagere stroomsnelheden dan de gemiddelde stroomsnelheid van de betreffende beek (in afhankelijkheid van de doelsoorten). Ook dient in de duiker de turbulentie voldoende laag te zijn.

- Bij korte duikers kan van de laagste waarde van de sprintsnelheid worden uitgegaan. Is de lengte > 10 m dan is de maximale stroomsnelheid voor slechte zwemmers circa 0,5-1,0 m/s en voor goede zwemmers circa 1,0-1,5 m/s (Riemersma, 1994).
- Het verdient aanbeveling om een “natuurlijke diversiteit” aan stroomsnelheden te ontwikkelen in de duiker. Op deze manier wordt de buis passeerbaar gemaakt voor een waaier aan soorten en leeftijdsklassen. Deze diversiteit kan bekomen worden door in de buis een bepaald substraat te voorzien dat een uniform snelheidspatroon doorbreekt.
- De duiker dient voldoende inwendige ruwheid te bezitten (oriëntatiepunten, luwteplekken) en er dient substraat in aanwezig te zijn. Eventueel kunnen stenen ingevoegd worden zodat de waterdiepte en stroomsnelheid toenemen en de duiker rendabeler wordt voor vispassage, maar de duiker mag niet dichtgroeien (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1990).
- Gladde duikers zonder obstakels met een hoge stroomsnelheid zijn moeilijk passeerbaar. Bij lagere stroomsnelheden zijn dieren ook actiever, komen achter obstakels vandaan en vertonen positieve rheotaxis. Pechlaner (1986) adviseert dan ook om duikers te voorzien van grof sediment van natuurlijke oorsprong (geërodeerd) waarover en waardoor dieren stroomopwaarts kunnen migreren.
- De duiker mag geen overstort bezitten (Ministerie van landbouw en Visserij, 1990).



Figuur 2.9: Verkeerd geplaatste duikers kunnen de vispassage verhinderen: (A) de stroomsnelheid is veel te groot, (B) de waterdiepte in de duiker is te klein, (C) er is geen poel aan de duiker-ingang aanwezig waar de vis tot rust kan komen en (D) springafstand is te hoog (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1990).

c. *Hoogteverschillen*

- Het verval is bij voorkeur lager dan het verval in de beek zelf.
- Een luwtezone bij de uitstroomopening is een randvoorwaarde bij de aanleg van een passeerbare duiker (Kay & Lewis 1970; figuur 2.9(C)).
- In de duiker moet bij voorkeur de natuurlijke rivierbedding behouden blijven, zoniet moeten duikers zo laag mogelijk in het profiel worden geplaatst (10 cm boven de bodem; Riemersma, 1994).
- Bij voorkeur mag er geen hoogteverschil bestaan tussen instroom- en uitstroomopening van de duiker en de beek zelf (figuur 2.9(D)).

d. *Waterdiepte*

Het gehele jaar door moet er water doorheen de duiker stromen ten behoeve van het bieden van passagemogelijkheden voor alle relevante soorten, daarbij moet de waterdiepte minimaal de hoogte van de grootste vis bedragen. Is dit niet mogelijk dan dient afgestemd te worden op migratiewijze en –periode van de karakteristieke soorten (Riemersma, 1994). Als redelijke minimale diepte dient 20-25 cm te worden nagestreefd. Bij sifons kan waterdiepte vooral een probleem vormen aan de in- en uitstroomopeningen (figuur 2.9(B)).

e. *Diameter van de duiker*

- De duiker moet zoveel mogelijk de natuurlijke omstandigheden in de beekmonding nabootsen zodat vissen niet beperkt worden bij passage. Dit betekent feitelijk streven naar maximale dimensies (vergelijk beekmonding), waarmee ook de volledige diepte en breedte en daarmee ook alle posities van in- en uitbewegingen van vis gegarandeerd worden. Is dit niet haalbaar dan moet de bodem naar de in- en uitstroomopening oplopen en moet voldoende diepte en omvang in de duiker aanwezig zijn (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1990).
- Komen de dimensies van de duiker niet overeen met de dimensies van de betrokken beek dan dienen de afmetingen van de duiker gerelateerd te worden aan de capaciteit zodat piekstromen kunnen worden opgevangen. Daarvoor is het noodzakelijk om een hydrologische en hydraulische analyse te maken zodat de juiste afmetingen berekend kunnen worden. De hydrologische analyse is noodzakelijk om de piekstromen te be-

rekenen en de hydraulische analyse wordt gebruikt om de capaciteit van de duiker in relatie tot piekstromen te bekijken (Riemersma, 1994).

2.4 Onderzoekresultaten

Uit onderzoek blijkt dat de meeste duikers over het algemeen goed passeerbaar zijn voor vis. Ook sifons waarin een knik is aangebracht worden door veel vissoorten nog gepasseerd. Toch worden ook minder positieve resultaten gerapporteerd.

Verbiest *et al.* (1997) maken melding van migratie van vissen doorheen twee verbindingsbuizen (Ø 1m; lengte 11m) tussen het Netekanaal (te Duffel) en een paaivijver. Het betreft hier weliswaar buizen met weinig tot geen stroming. Toch werd migratie vastgesteld van 13 soorten: baars, blankvoorn, brasem, gibel, karper, kolblei, paling, pos, rietvoorn, snoek, vetje, zeelt en zonnebaars.

Vandelannoote *et al.* (1998) maken melding van zowel juveniele als adulte exemplaren van bot op de Kleine Nete te Grobbendonk. Aangezien bot een vissoort is die paait in de kustwateren, mag er verondersteld worden dat de gevonden juvenielen bij het stroomopwaarts zwemmen de sifon van de Kleine Nete onder het Netekanaal in Lier kunnen passeren.

Driessen & Van Der Meer (1981) concluderen dat duikers met een diameter van meer dan 25 cm en tot 7 meter lengte (bij een stroomsnelheid van 7-13 cm/s) geen belemmering vormen voor de passage van blankvoorn en graskarper (beide eurytope³ soorten).

Derksen (1980; in: Verdonschot, 1996) kwam tot de conclusie dat een duiker (lengte 27,5 m) met een stroomsnelheid van 1,37-2,04 m/s bijna niet passeerbaar is voor snoek. Snoeken van 30-40 cm lengte passeren nog wel bij stroomsnelheden van 0,6-0,7 m/s en kleine snoekjes passeren alleen bij snelheden van circa 0,25 m/s. Passage door kwabaal werd niet waargenomen. Uit een door Derksen (1980) gegeven literatuuroverzicht blijkt passage door salmoniden bij stroomsnelheden hoger dan 1,22 m/s niet op te treden. Voor andere soorten liggen deze snelheden lager (circa 0,3-0,9 m/s).

Gauley *et al.* (1966) toonden aan dat salmoniden duikers waarin stroomsnelheden van 0,3-0,6 m/s optreden probleemloos passeren. Ook Rogers & Cane (1979) beschrij-

ven een succesvolle passage van salmoniden en forellen door een 2,2 km lange duiker met een lage stroomsnelheid. Clay (1961) adviseert ten aanzien van salmoniden een stroomsnelheid van circa 0,6 m/s.

Door Kemper (1998) werd onderzoek verricht naar de passeerbaarheid van sifons voor vissen. Het studieterrein voor het onderzoek omvatte drie sifons. Technische gegevens over de sifons zijn terug te vinden in tabel 2.2:

Tabel 2.2: Technische gegevens over de sifons in Beerze, Goorloop en de Tungelroyse beek (Kemper, 1998).

	Beerze	Goorloop	Tungelroyse beek
lengte sifon (m)	63	58	96
aantal buizen	1	3	3
maatgevende afvoer (m ³ /s)	11	2,7	6,3
maximale stroomsnelheid (m/s)	2,16	1,45	1,00
gemiddelde stroomsnelheid (m/s)	0,43	0,29	0,22
stroomsnelheid tijdens eerste en tweede periode van afvissingen (m/s)	0,02 – 0,03	0,15 – 0,06	0,17 – 0,07
totaal aantal gevangen soorten ⁴	8	14	13
aantal gemerkte soorten opwaarts ⁵	8	11	11
aantal gemerkte soorten afwaarts ⁵	8	9	6

Op deze drie plaatsen werden in de periode september-oktober 1997 afvissingen uitgevoerd. Daarbij werden de stroomopwaarts en -afwaarts gevangen vissen verschillend gemerkt. Daarna werden alle vissen stroomafwaarts de sifon teruggezet. Na ongeveer twee weken werden alle plaatsen opnieuw bevist stroomopwaarts de sifon. Uit het onderzoek konden volgende besluiten getrokken worden:

- Er kan geen belangrijk verschil aangetoond worden tussen de soortensamenstelling stroomopwaarts en stroomafwaarts van de sifon. Indien de sifon een migratieknel-punt is, dan blijkt dit niet uit de soortensamenstelling.
- Er is zeker migratie mogelijk voor baars, blankvoorn, brasem, kolblei riviergrondel, rietvoorn, snoek en zeelt. Alver, winde, bermpje en karper waren in te geringe aan-

³ Eurytope vissoorten komen voor over een breed traject van milieugradiënten. Alle stadia van deze vissoorten komen zowel in stilstaand als stromend water voor. Tot deze groep behoren de meest voorkomende soorten.

⁴ Omvat zowel stroomopwaarts als -afwaarts gevangen vissen, en zowel gemerkte (tijdens eerste afvissing) als niet-gemerkte (tijdens tweede afvissing) exemplaren

⁵ omvat enkel de soorten die bij de eerste afvissing werden gevangen

tallen aanwezig om besluiten te trekken. Alle waarnemingen werden gedaan bij stroomsnelheden van maximaal 0,15m/s.

- De gemiddelde lengte van de vissen stroomopwaarts de sifon ligt hoger dan die van de vissen stroomafwaarts de sifon. Hieruit valt af te leiden dat de lengte van de vissen positief gecorreleerd is met de mogelijkheid om een bepaalde stroomsnelheid te overwinnen en dus de sifon te passeren. De kleinst gemerkte vis die door de sifon ging, was een blankvoorn van 8 cm.

Als voornaamste knelpunt voor een sifon werd niet zozeer de buisconstructie op zich aangegeven, maar wel de soms extreme stroomsnelheden die kunnen optreden bij piekdebieten. Dergelijke piekdebieten kunnen uitspoeling van vissen veroorzaken. Het ontbreken van licht wordt in dit onderzoek dus niet als knelpunt aangevoerd.

Samengevat kan gesteld worden dat in elke geval volgende vissoorten in staat zijn de duiker of sifon te passeren; hierbij worden duikertype, stroomsnelheden, temperaturen en andere omgevingsfactoren buiten beschouwing gelaten:

baars	giebel	paling	snoek
blankvoorn	graskarper	pos	vetje
brasem	karper	rietvoorn	zeelt
forel	kolbei	riviergrondel	zonnebaars

Referenties

Bijlagen

Samenvatting

Summary

Hoofdstuk III : Beschrijving van de staalname plaatsen

Hoofdstuk IV : Methode voor het vaststellen van vispassage doorheen duikers of sifons

Hoofdstuk V : Overzicht van de aangetroffen vissoorten

Hoofdstuk VI : Resultaten en bespreking