



Milieu- en Natuur-
Planbureau



Delft University of Technology

Biologische globalisering

Omvang, oorzaken, gevolgen, handelingsperspectieven

*Achtergronddocument voor de Beleidsnota Invasieve Soorten
van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit*

Drs. Wouter J. van der Weijden
CLM Onderzoek en Advies

Dr. Rob Leewis
Milieu- en NatuurPlanbureau

Dr. Pieter Bol
Technische Universiteit Delft

*And although there is a Law of the Conservation of Matter,
there is no Law of the Conservation of Species.*

Charles Elton (1958)

*Invasions are important, invasions are interesting,
invasions are inadequately understood. (..)
Deliberate releases of any sort should be discouraged.*

Mark Williamson (1997)

Voorwoord

Dit rapport is ontstaan toen drie mensen elkaar vonden die vanuit zeer verschillende disciplines gefascineerd zijn door bio-invasies: een aquatisch bioloog, een arts-epidemioloog en een bioloog gespecialiseerd in zoögeografie, terrestrische ecologie en landbouw. Wij hebben contact gezocht met de directie Natuur van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, waar werd gewerkt aan een Beleidsnota Invasieve Exoten. Ons voorstel een rapport over biologische globalisering te schrijven kwam daar op het juiste moment. Het resultaat ligt voor u.

Bij het schrijven hebben wij waardevolle steun ontvangen van diverse personen.

Onze speciale dank gaat uit naar:

Drs. Deniz Haydar, Vakgroep Marine Biologie, RU Groningen, voor waardevolle adviezen en informatie;

Ir. Kees-Jaap Hin, CLM Onderzoek & Advies, Culemborg, voor adviezen inzake kosten dierziekten;

Dr. Ir. Carin Rougoor, CLM Onderzoek & Advies, voor berekeningen van de kosten van dierziekten.

Waardevolle informatie, commentaar en/of suggesties kregen wij van:

Dr. Peter Boomgaard, hoogleraar Ecologische Geschiedenis van Zuid-Oost Azië, Universiteit van Amsterdam

Ir. Thijs Bosker, CLM Onderzoek & Advies

Drs. Floris Brekelmans, Bureau Stadsnatuur Rotterdam

Dr. Guus de Hollander, RIVM

Ing. Bas Janssens, Landbouw Economisch Instituut

Dr. J. Lever, emeritus hoogleraar Dierkunde, Vrije Universiteit

Bert van Nijkerken, CLM Onderzoek & Advies

Dr. H. Prins, hoogleraar Natuurbeheer in de tropen en Ecologie der vertebraten, Wageningen Universiteit

Ir. Harriët de Ruiten, CLM Onderzoek & Advies

Hans Schinkel, Assen

Dr. Aad Smaal, Centrum voor Schelpdier Onderzoek, Yerseke

Ir. Laurens C. Smits, Plantenziektkundige Dienst

Dr. Frank de Wolf, Stichting HIV Monitoring, Amsterdam.

Ook Dr. Folchert R. van Dijken en drs. Jacob-Jan Bakker van de directie Natuur van het ministerie van LNV leverden waardevolle suggesties.

Niet in de laatste plaats gaat onze dank uit - deels posthuum - naar enkele van onze respectievelijke leermeesters die ons inzake biologische globalisering hebben geïnspireerd:

Dr. C. den Hartog, emeritus hoogleraar Aquatische Ecologie aan de Katholieke Universiteit Nijmegen (thans Radboud Universiteit)

Dr. J. Huisman, emeritus hoogleraar epidemiologie aan de Erasmus Universiteit en de TU Delft

E. Timmer, arts-epidemioloog (overleden in 2003)

Dr. K.H. Voous, hoogleraar Systematiek en Verspreiding van Dieren aan de Vrije Universiteit (overleden in 2002).

Tenslotte een wenk voor de lezer: in dit rapport staan 75 tekstblokken (boxen) met voorbeelden die het verhaal in de hoofdtekst illustreren. Hun plaats spoort soms wel en soms niet met de op de rechterpagina afgedrukte hoofdtekst. De boxen kunnen ook worden gelezen als een zelfstandig verhaal.

De lezer die weinig tijd heeft raden wij aan zich te beperken tot hoofdstuk 8.

Wouter van der Weijden, bioloog

Rob Leewis, aquatisch bioloog

Pieter Bol, arts-epidemioloog

Inhoud

- 1. Biologische globalisering**
- 2. Aard en omvang van bioglobalisering**
 - 2.1 Rol geografische barrières in de evolutie
 - 2.2 Eilanden en meren
 - 2.3 Effect wegvallen geografische barrières
- 3. Geschiedenis, drijvende factoren, mechanismen en verspreidingsroutes**
 - 3.1 Geschiedenis
 - 3.2 Drijvende factoren
 - 3.3 Mechanismen en routes
 - 3.4. Succes van invasies
- 4. Patronen van bio-invasies**
 - 4.1 Hoe verlopen bio-invasies in de tijd?
 - 4.2 Welke soorten zijn invasief?
 - 4.3 Welke soorten zijn kwetsbaar?
 - 4.4 Welke bioregio's/ecosystemen leveren invasieve soorten?
 - 4.5 Welke bioregio's/ecosystemen zijn ontvankelijk voor bio-invasies?
 - 4.6 In hoeverre zijn bio-invasies te beheersen?
- 5. Gevolgen voor natuur, biodiversiteit en milieu**
 - 5.1 Biodiversiteit algemeen
 - 5.2 Biodiversiteit op continenten
 - 5.3 Biodiversiteit op eilanden
 - 5.4 Biodiversiteit in meren
 - 5.5 Mechanismen
 - 5.6 Laatste redmiddelen
 - 5.7 Milieu
- 6. Gevolgen voor economie en volksgezondheid**
 - 6.1 Landbouw en bosbouw
 - 6.2 Veehouderij
 - 6.3 Visserij en aquacultuur
 - 6.4 Scheepvaart
 - 6.5 Waterhuishouding
 - 6.6 Energiesector en industrie
 - 6.7 Woningen en gebouwen
 - 6.8 Volksgezondheid
 - 6.9. Totale economische kosten
- 7. Nederland en bioglobalisering**
 - 7.1 Biogeografische positie van Nederland
 - 7.2 Nederland als factor van bioglobalisering
 - 7.3 Nederland als object van bioglobalisering
 - 7.4 Economische kosten door bio-invasies
- 8. Lessen en handelingsperspectieven**
 - 8.1 Lessen
 - 8.2 Handelingsperspectieven

Referenties

Bijlagen

1. Definities van bio-invasies en hun implicaties
2. Berekening economische schade door bio-invasies
3. Economische gevolgen van besmettelijke dierziekten in Nederland
4. *Estimated annual costs associated with some non-indigenous species introductions in the United States*
5. Routes van bio-invasies
6. Begrippenlijst

1. Biologische globalisering

In de wereld vallen steeds meer barrières weg en ontstaan steeds meer verbindingen en interacties over steeds grotere afstanden. Dat proces, globalisering geheten, roept de laatste decennia veel debat op. Meestal gaat dat debat over economische en sociaal-culturele globalisering. Maar er is nog een derde vorm van globalisering die grote gevolgen heeft en steeds meer debat oproept: biologische globalisering.¹ Dat is het proces van areaaluitbreiding van biologische soorten over klassieke geografische verspreidingsbarrières heen, resulterend in zogenaamde bio-invasies.

Al naar gelang hun oorzaak kunnen we twee soorten bio-invasies onderscheiden:

- *invasies door natuurlijke oorzaken*. Het kan dan gaan om een natuurlijke klimaatverandering annex zeespiegelverandering. Recent voorbeeld: de Aedes-mug, die onder meer dengue (knokkelkoorts) overbrengt, is zich mede dankzij de opwarming aan het vestigen in de VS. Ook kan het gaan om een spontane vestiging, al dan niet na een genetische aanpassing van de soort. Recent voorbeeld: de expansie van de Noordse stormvogel sinds 1800 vanuit IJsland over de Noordzee. En in omgekeerde richting: de expansie van de Turkse tortel sinds 1930 vanuit Azië en de Balkan over heel Europa tot in IJsland.
- *antropogene invasies*: invasies die met of zonder opzet zijn gefaciliteerd door de mens.²

In dit rapport richten we ons alleen op antropogene invasies.

Antropogene invasies kunnen we nader onderverdelen in invasies veroorzaakt door:

- a. verandering van grondgebruik en habitat. Voorbeelden: cultuurvolgers zoals de huismus en onkruiden in de landbouw. Maar ook: kolonisatie van een nieuw habitat, zoals de Flevopolders.
- b. klimaatverandering, voor zover mede veroorzaakt door de mens. Voorbeeld: de recente terugkeer van de eikenprocessievlinder in Nederland.
- c. opzettelijke herintroductie van een ter plaatse uitgestorven soort. Voorbeelden: de vale gier in midden-Frankrijk, de bever en de otter in Nederland.
- d. het opzettelijk of onopzettelijk geven van een “lift” aan soorten over geografische barrières heen. Bij opzettelijke introducties gaat het meestal om land- en bosbouwgewassen, vee, jachtwild, vissen, schelpdieren, hobbydieren en sierplanten. Onopzettelijke introducties betreffen vaak onkruiden, “ongedierte”, parasieten en microben.
- e. het afbreken van geografische barrières. Voorbeelden: de aanleg van een kanaal tussen twee rivieren, meren of zeeën. Of het bouwen van een dam tussen eiland en vasteland. Of het aanleggen van een weg door een bosareaal dat lange tijd als verspreidingsbarrière heeft gefungeerd.

In dit rapport richten we ons alleen op beide laatste categorieën, met incidentele aandacht voor b.

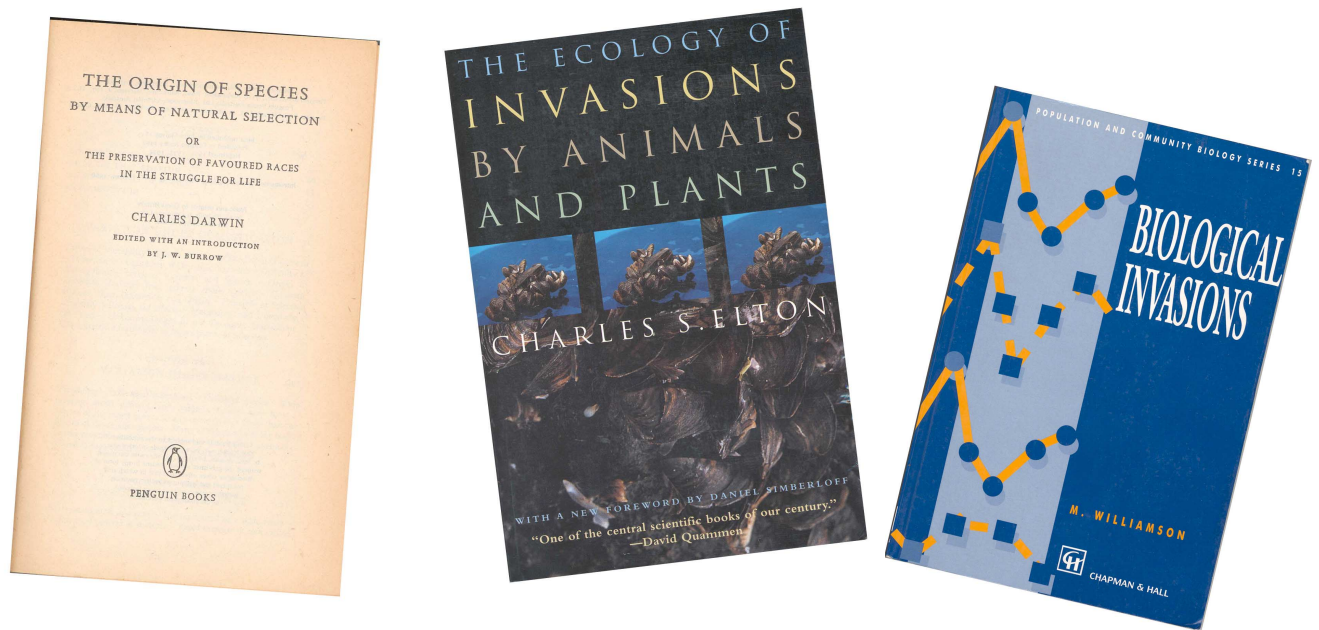
Het beginpunt van de antropogene biologische globalisering kunnen we stellen op ruim 1 miljoen jaar geleden, toen de voorgangers van de mens *Out of Africa* gingen. Of op ca. 100.000 jaar geleden, toen *Homo sapiens* Afrika verliet. Maar meestal worden veel latere beginpunten gekozen (Bijlage 1). De oudste geschreven bron over bioglobalisering is een brief van Darius de Grote van Perzië (521-468 v. Chr.) waarin hij een landgoedbeheerder opdraagt “bomen en planten van gene zijde van de Euphraat” te introduceren (Bright 1998). Plinius (vertaling 2004) noemt in de eerste eeuw van onze jaartelling twee in Rome geïntroduceerde boomsoorten: de plataan uit Griekenland en de balsemboom uit Palestina. Daarnaast noemt hij een reeks dieren die uit Afrika en Azië waren ingevoerd voor de spelen in het circus: Afrikaanse en Indische olifant, leeuw, luipaard/panter, tijger, apen, neushoorn, nijlpaard, giraffe en krokodil.³ Ook maakt hij gewag van de ongewilde introductie van de huidziekte *lichen* uit Klein-Azië en van melaatsheid uit Egypte. Marco Polo beschrijft dat Kublai Khan, de Mongoolse heerser die in 1279

¹ De term “biologische globalisering” is, waarschijnlijk onafhankelijk van elkaar, geïntroduceerd door medewerkers van de Universiteit van Texas in Austin in 1995 (<http://www.eco.utexas.edu/~archive/chiapas95/2001.09/msg00170.html>), door Bright (1998), door McNeill (1999) en door Van der Weijden (2003). McNeill reserveert de term voor de post-Columbiaanse transoceanische uitwisselingen. Davis (2003) gebruikt de term “biotic globalization” en Bol & De Hollander (2001) spreken van “decompartimentering”. Er dreigt overigens al verwarring, want in Australië wordt bioglobalisering gebruikt voor mondiale gentechnologie.

² Overigens zijn de grootste en meest invloedrijke bio-invasies die van de mens zelf geweest. Zie Box 27.

³ Ook lynx en beer werden gebruikt in het circus, maar die kwamen uit Europa, mogelijk ook uit Italië. Overigens was volgens Plinius de invoer van dieren uit Afrika voor andere dan circusdoeleinden verboden, naar we mogen aannemen vanwege de risico's voor de mens.

Oost-China had veroverd, op zoek was naar blijvend groene bomen. Als hij die vond, liet hij ze uitgraven en - zo nodig met olifanten - overbrengen naar zijn arboretum in Beijing (Bright 1998). In de daarop volgende eeuw begonnen de Europeanen met hun ontdekkings- en veroveringstochten en sedertdien is in alle werelddelen het aantal opzettelijke en onopzettelijke introducties snel toegenomen.



Figuur 1. Drie mijlpalen uit de geschiedenis van de invasiebiologie, voor het eerst gepubliceerd in 1859, 1958 en 1996. Alle drie zijn geschreven door Britten.

In tegenstelling tot de oude geschiedenis van bio-invasies is de *invasiebiologie* een jonge tak van wetenschap.

Bio-invasies worden summier behandeld door Lyell in zijn *Principes of Geology* (1832) en door Darwin in *The Voyage of the Beagle* (1836). Bio-invasies hebben Darwin mede geïnspireerd tot zijn evolutietheorie. Op diverse plaatsen in *On the Origin of Species* (1859) doet hij al steekhoudende uitspraken over bio-invasies die, op een rij gezet, kunnen worden gezien als grondslagen voor de invasiebiologie (Ludson & Wolfe 2001). Maar de studie van bio-invasies bleef anekdotisch tot 1958. In dat jaar publiceerde Charles Elton *The ecology of invasions by animals and plants*, waarin hij de basis legde voor een systematische aanpak en de invasiebiologie naar een hoger niveau tilde.¹ Het meest recente standaardwerk is *Biological invasions* van Mark Williamson (1977). Sinds 1999 bestaat er zelfs een gelijknamig tijdschrift.² Maar zoals Vermeij (1996) in een briljant artikel aangeeft, staan theorievorming en empirische toetsing nog in de kinderschoenen. Er bestaat zelfs nog verwarring over elementaire begrippen als “invasief” (Colautti & MacIsaac 2004). Experimenteel onderzoek komt pas recent op gang (J. Memmott, geciteerd in Van Strien 2004). De medische epidemiologie houdt zich overigens al veel langer met invasies bezig.³

¹ Eerder, in 1927, had Elton met zijn *Animal Ecology* al de grondslagen gelegd voor de ecologie.

² En er bestaat zelfs al een invasieceptisch boek (Theodoropoulos 2003).

³ Het optreden van infectieziekten afkomstig van ‘elders’ is zelfs een van de oudste velden van aandacht in de geneeskunde. In zijn *Al-Judari wa al-Hasabah* beschrijft de Perzische medicus Rhazes (864-930) scherpzinnig de epidemiologie en transmissiewegen van pokken en stelt hij al kunstmatige immunisatie voor (Bol 1999b). De Arabische geleerde Ibn-al-Wardi beschreef al kort na het begin van de pestepidemie in 1347 de verspreidingsgeschiedenis van de ziekte (McNeill 1998). En in 1352 gaf de Italiaanse schrijver Boccaccio in zijn inleiding tot de *Decamerone* een rake beschrijving van de epidemiologie van de pest en suggereerde hij de transmissiemechanismen. Reeds begin 16^e eeuw beschreef de Italiaan Fracastorio de syfilisepidemie in Europa en postuleerde hij infectieuze deeltjes als oorzaak. De Engelse arts John Snow gaf in 1854 een juiste voorstelling van de cholera-epidemiologie, een kwart eeuw nadat de ziekte in West-Europa opdook.

Zoals alle vormen van globalisering heeft ook biologische globalisering zowel voor- als nadelen. In dit rapport behandelen we de volgende vragen:

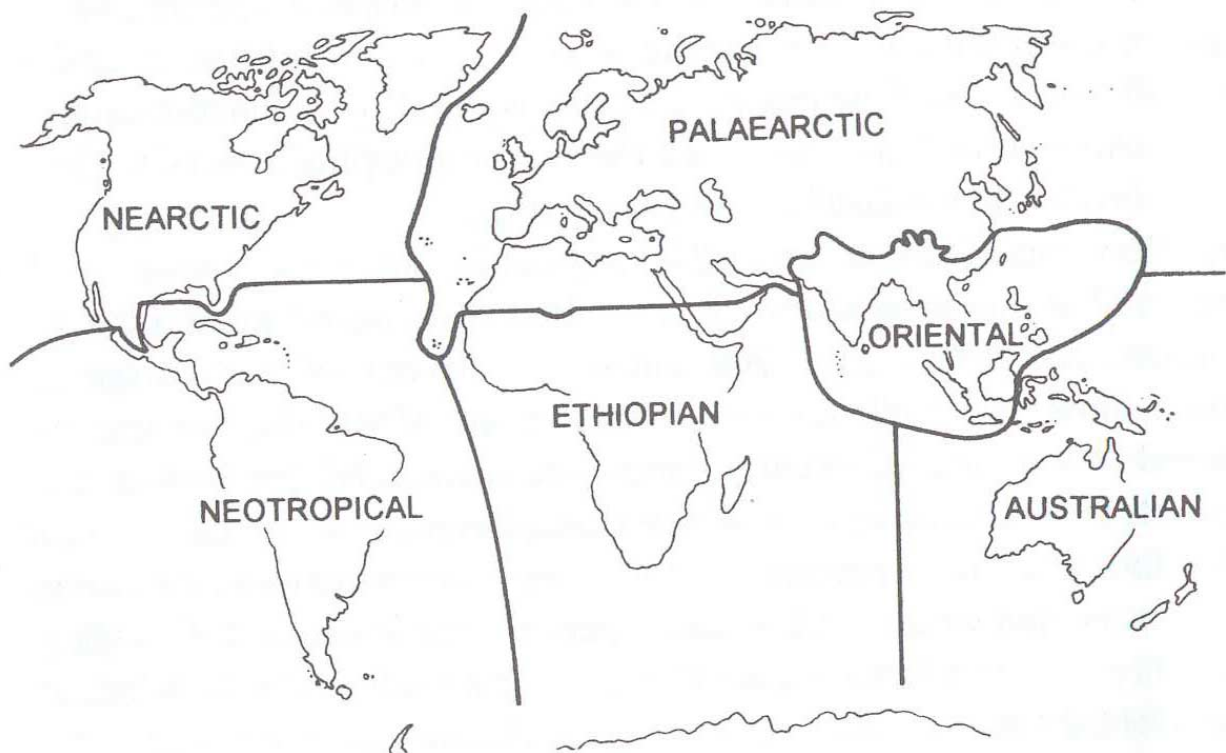
- wat is de aard en de omvang van biologische globalisering?
- wat zijn de drijvende factoren, mechanismen en verspreidingsroutes?
- volgens welke patronen verlopen bio-invasies?
- wat zijn de gevolgen voor natuur, milieu, economie en volksgezondheid?
- wat is de rol van Nederland in biologische globalisering?
- in hoeverre is biologische globalisering te beïnvloeden?

2. Aard en omvang van bioglobalisering

2.1 Rol geografische barrières in de evolutie

In de geschiedenis van het leven op aarde hebben geografische barrières een belangrijke rol gespeeld. Een barrière is een gebied met een voor een soort ongeschikt habitat, die hij niet kan passeren c.q. waar hij niet lang genoeg kan overleven om zich te verspreiden naar een verder gelegen, wel passend habitat. Barrière is een relatief begrip. Wat voor de ene soort een barrière is, kan voor andere vaak juist een brug zijn. Land is een barrière voor de meeste waterorganismen, land en zout water zijn barrières voor zoetwaterorganismen en land, zee en zoet water zijn barrières voor estuariumsoorten.¹ Voor laaglandorganismen is een hoge bergketen een barrière en voor soorten van vochtig habitat is dat een woestijn. Soorten verschillen sterk in ecologische amplitude en dispersievermogen. Vogels vliegen over woestijn en zee heen. De paling trekt zelfs van de Sargassozee over de Atlantische Oceaan naar de Noordzee, vervolgens naar zoet binnenwater en hij verplaatst zich ook over land.

Van belang is dat zelfs tamelijk smalle barrières soms al effectief zijn. Voorbeelden: de landengte van Panama, het Andesgebergte en de Straat van Madagaskar. De (deels) diepe zee tussen Bali en Lombok markeert een belangrijke scheiding tussen twee zoögeografische regio's, de Lijn van Wallace, hoewel zij nog geen 30 km breed is en gedurende de ijstijden zelfs nog smaller was.² In Amazonia blijkt een rivier van een paar honderd meter voor veel landdieren al een effectieve barrière, zelfs voor soorten die kunnen zwemmen. Kaaimannen en roofvissen verhinderen de oversteek.



Figuur 2. De klassieke zoögeografische regio's volgens P.L. Slater, in licht aangepaste vorm vereeuwigd door Wallace (1876). Hier de vereenvoudigde weergave door Williamson (1997). Merk op dat geen van de regio's precies samenvalt met een continent.

¹ Soms zijn barrières minder effectief dan het lijkt. Zo lijkt de tropische Atlantische oceaan een effectieve barrière voor soorten van de noordelijke Atlantische Oceaan.

² Wallace (1876, 1880) laat de lijn doorlopen tussen Borneo en Celebes, maar zegt erbij dat Celebes zoögeografisch gezien meer een overgangsgebied is en bovendien geheel eigen soorten kent, zoals de babirusa, een sterk afwijkend type varken. Vandaag worden de eilanden ten oosten van de lijn van Wallace wel ingedeeld in een aparte biogeografisch regio: Wallacea. Dat is één van de 25 *hot spots* van hoge, maar bedreigde biodiversiteit.

Zodra ergens een verspreidingsbarrière is gevormd begint divergente evolutie op te treden. Hoe ouder en effectiever de barrière, hoe groter de taxonomische verschillen zijn. Eerst ontstaan endemische soorten, later kunnen zelfs endemische genera, families en orden ontstaan. Een cruciale gebeurtenis in de geschiedenis van het leven op aarde was de *Great Diverge*: het uiteenvallen van het megacontinent Pangea 180 miljoen jaar geleden, waarbij de Atlantische Oceaan ontstond. Vanaf dat moment hebben de biota's van Amerika en Eurazië een verschillende evolutie doorgemaakt. Wel was er tijdens de ijstijden uitwisseling van soorten via de Pacifische route, namelijk via de tijdelijk drooggevallen Beringstraat. Ook de mens kon toen Amerika bereiken. Maar tussen de tropen en subtropen van Amerika en Eurazië vond nauwelijks nog uitwisseling van soorten plaats.

2.2. Eilanden en meren

Een verhaal apart zijn de eilanden. Die huisvesten doorgaans minder soorten dan overeenkomstige gebieden op het vasteland. We kunnen ze onderverdelen in continentale en oceanische eilanden.

Continentale eilanden liggen vaak op een continentaal plat en hadden tijdens de ijstijden een landverbinding met een continent, waardoor uitwisseling van soorten kon plaatsvinden. Op zulke eilanden, bijvoorbeeld de Britse eilanden, vinden we derhalve (nog) weinig of geen endemische soorten. Hun fauna is vaak een enigszins verarmde versie van die van het naburige vasteland. Endemische soorten zijn doorgaans schaars of afwezig.

Oceanische eilanden daarentegen kenden zo'n landbrug niet. Het zijn vulkanische eilanden, koraaleilanden of restanten van een oud continent (bijvoorbeeld Madagaskar en de Grote Antillen) of een mini-continent (Nieuw-Zeeland). De vulkanische en de koraaleilanden zijn geheel bevolkt met soorten die vanaf het vasteland (of vanaf een ander eiland) de zee konden oversteken, hetzij op eigen kracht hetzij door mee te liften (Box 1). De taxonomische samenstelling van de fauna is er niet representatief. We vinden er vaak wel vogels, planten, insecten, spinnen en reptielen, maar weinig of geen amfibieën (die zijn gebonden aan zoet water) en weinig of geen landzoogdieren. Zelfs Nieuw-Zeeland kende vóór de komst van de Europeanen geen andere zoogdieren dan mensen en vleermuizen. Landpredatoren, zelfs carnivore mieren, ontbreken vaak.¹

Op oceanische eilanden komen relatief weinig soorten voor, maar relatief veel *endemische* soorten, met name op grote en afgelegen eilanden zoals die in de Pacifische Oceaan, maar ook al op de Canarische eilanden.

¹ Extreem voorbeeld van een arme en eenzijdige flora en fauna is Paaseiland. Daar werden in 1917 slechts 44 soorten inheemse planten en 5 soorten inheemse landdieren aangetroffen: een gaasvlieg, een vlieg, een kever, een waterkever en een landslak. Maar vermoedelijk waren er vóór de komst van de Europeanen al inheemse planten en dieren uitgeroeid als gevolg van de kaalkap door Polynesiërs (Elton 1958).

effecten hebben op de biodiversiteit:

- soorten dringen door in elkaars gebied, bezetten vacante niches, of herverdelen niches en blijven naast elkaar bestaan. Dan neemt de biodiversiteit wereldwijd niet af en regionaal zelfs toe.
- inheemse soorten sterven uit door concurrentie, parasitisme, ziekte of predatie. Dan neemt de biodiversiteit regionaal niet toe, en wereldwijd af. En sterft een *endemische* soort uit, dan is het verlies onherstelbaar.

Bio-invasies treden steeds vaker op en hebben een enorme vlucht genomen. Ze zijn vastgesteld in alle terrestrische en marine natuurlijke en half-natuurlijke ecosystemen, tot in Antarctica.

Voorbeelden:

- op veel oceanische eilanden zijn geiten, varkens, herten, apen, honden, katten, mangoesten, ratten, slangen, slakken, mieren, parasieten en ziektekiemen geïntroduceerd, vaak ten koste van de inheemse fauna;¹
- Hawaï telt naast 5.246 inheemse soorten insecten 2.582 exotische soorten;
- op het eveneens sterk geïsoleerde, maar veel kleinere Paaseiland werden in 1917 slechts 5 inheemse diersoorten aangetroffen, tegenover 44 geïntroduceerde soorten. Dat is een verhouding van 1:9! (Elton 1958);
- het aantal plantensoorten dat zich in Nieuw Zeeland vestigt bedraagt over de laatste 150 jaar gemiddeld 12 per jaar (Williams & Timmins 2002);
- het percentage ingevoerde plantensoorten in een selectie van landen/regio's varieert van 7% op Java tot 47% in Nieuw-Zeeland. Maar zelfs in de VS staat de teller al op 30% (zie Box 2);²
- in de landbouw is het percentage nog hoger: van de onkruiden in de Amerikaanse weidebouw is 45% exoot, en van de onkruiden in de landbouw 73% (Pimentel *et al.* 1999). Van de schadelijke ongewervelde dieren in Nieuw Zeeland is zelfs 90% exoot (Barlow & Goldson 2002);
- in de San Francisco Bay Area is het aantal succesvolle invasies opgelopen van ca. 1 per *jaar* in de periode 1851 tot 1960 tot ca. 1 per *kwartaal* in de periode 1961 tot 1995.³ Plaatselijk bestaat de fauna zelfs al voor 100% uit exoten (Bright 1998);
- het aantal exotische soorten planten, dieren en microben in de VS wordt geschat op 50.000 (Pimentel *et al.* 1999);
- marine ecosystemen in het Middellandse zeegebied bevatten al 480 invasieve soorten, de Baltische Zee 89 en Australië 124 (Bright 1998).

Ook op continentale eilanden loopt het percentage exoten op. Zo is in het VK 46% van de land zoogdieren exoot, 10% van de vogels, 33% van de reptielen, 57% van de amfibieën en 23% van de vissen (White & Harris in: Pimentel 2002).

De bioglobalisering is in volle gang en het resultaat is een wereldwijde homogenisering (oftewel een toenemende entropie) van flora en fauna.⁴ Zoals we later in dit rapport zullen zien, volgen de bio-invasies elkaar zowel op het land als in het water steeds sneller op. Het einde van dat proces is nog lang niet in zicht.

¹ Darwin (1859): "Hardly an island can be named on which our smaller quadrupeds have not become naturalised and greatly multiplied".

² Deze getallen moeten met grote terughoudendheid worden gehanteerd, want verschillende auteurs geven soms sterk verschillende getallen voor hetzelfde gebied. Zo noemt Heywood voor Hawaï 1.200-1.300 versus Pimentel *et al.* 2.690 inheemse soorten. Voor exoten zijn de getallen 228 versus 946. Definities kunnen een groot effect hebben. Vermeij (1996) stelt dat je eigenlijk geen getallen van uiteenlopende biotopen en regio's mag vergelijken.

³ Bron: <http://earthtrends.wri.org/text/biodiversity-protected/feature-18.html>

⁴ Pimentel *et al.* (2002) geven cijfers voor invasieve planten, dieren en microben in zes landen. Het totale aantal exoten schatten zij op 120.000. Het aandeel exoten in het totale aantal soorten varieert sterk: van 1% in Brazilië, 3% in Australië, 6% in de VS en 7% in Zuid-Afrika tot 19% in India en 53% in het VK. Maar deze cijfers zijn nauwelijks serieus te nemen. Zo is het getal van 27.515 plantensoorten in het VK, waarvan 26.000 exoot zou zijn, veel te hoog. Het percentage exoten voor Brazilië lijkt goeddeels gebaseerd op 11.605 exotische planten gedeeld door de optelsom van 55.000 planten totaal + 1 miljoen arthropoda! Dat is niet de enige blunder in dit standaardwerk, dat sterke hoofdstukken afwisselt met zwakke. Ook het hoofdstuk over invasieve humane ziekten is weinig professioneel. Zo behandelt het ziekten die al eeuwenlang endemisch (dus niet-invasief zijn) en worden hoge infectiepercentages (met bijvoorbeeld HIV) voor hele bevolkingen gepresenteerd vanuit cijfers die betrekking hebben op distributies onder subpopulaties.

3. Geschiedenis, drijvende factoren, mechanismen en verspreidingsroutes

3.1 Geschiedenis

Bioglobalisering begon 1 miljoen jaar geleden, toen voorlopers van de huidige mens zich verspreidden vanuit Afrika naar Eurazië; en vervolgens, ca. 14.000 jaar geleden, naar Amerika. Verspreiding vond plaats over land en over zee. Migranten voerden – bedoeld en onbedoeld - planten, zaden, honden, katten, insecten, parasieten en microben mee. Na de uitvinding van de landbouw ca. 10.000 jaar geleden werden actief gewassen, zaden en vee verspreid. Hoogtijdagen van handel en immigraties waren de tijdperken van de vroege zijderoutes (ten tijde van het Romeinse Rijk), van de Chinese Tang dynastie en de Perzische Abbasiden dynastie (600-900) en van het Mongoolse imperium (13^e en 14^e eeuw). Behalve de zijderoutes door Azië zullen ook de karavaanroutes door het Arabisch Schiereiland en de Sahara voor bio-invasies hebben gezorgd.

Over zee bereikte de mens al 40.000 jaar geleden Australië en vervolgens Oceanië. Banaan, yam en taro uit Azië werden naar Afrika gebracht en de zoete aardappel uit Zuid-Amerika naar Oceanië. De Atlantische Oceaan werd in de Middeleeuwen meermalen overgestoken door de IJslanders, nazaten van de Vikingen. Een eerste kolonisatiepoging in Noord-Amerika was er al van 998 tot 1002 (beschreven in het *Vinlandbók*). Maar dat leidde niet tot veel uitwisseling van soorten. Ten eerste doordat de kolonisatiepogingen en de daarmee samenhangende transportstromen - mede door aanvallen van Indianen - niet lang stand hielden. Ten tweede waren in het noorden relatief weinig bio-invasies mogelijk doordat de noordelijke biota's van de Oude en de Nieuwe Wereld relatief arm aan soorten zijn en bovendien al veel soorten gemeen hadden dank zij uitwisseling via de Beringstraat.¹

De grote doorbraak kwam met de ontdekking van Amerika door Columbus in 1492, die werd gevolgd door succesvolle koloniseringspogingen. Het omvangrijke transport dat op gang kwam doorbrak de geografische barrière van de Atlantische Oceaan, die na 180 miljoen jaar geleden was ontstaan na het uiteenvallen van het Pangea supercontinent. Voor het eerst sindsdien kwamen de biota's van tropisch en subtropisch Amerika en Eurazië weer met elkaar in contact via transporten van kolonisten, slaven, planten, dieren en microben.²

Opmerkelijk is dat bij ziektekiemen goeddeels sprake was van eenrichtingverkeer van de Oude naar de Nieuwe Wereld. Europeanen en hun Afrikaanse slaven brachten pokken, mazelen, tyfus, builenpest, kinkhoest, tbc, griep, gele koorts en malaria tropica naar Amerika. De enige ziekte die vermoedelijk de omgekeerde weg aflegde was syfilis.³ Ook bij landbouwhuisdieren was er eenrichtingverkeer.⁴ Hetzelfde gold voor onkruiden.

¹ Wel waren de IJslanders waarschijnlijk goed voor de eerste antropogene bio-invasie vanuit Amerika in Europa: die van de strandgaper *Mya arenaria* tussen 1150 en 1400 (Petersen *et al.* 1992).

² Na het uiteenvallen van Pangea was uitwisseling van landdieren via de Atlantische Oceaan goeddeels beperkt gebleven tot arctische soorten die zich konden verplaatsen over het poolijs. Uitwisseling met Azië was nog lang mogelijk gebleven, maar werd 130 miljoen jaar geleden eveneens onderbroken toen de Beringstraat ontstond. Sedertdien was uitwisseling van landorganismen langs die route beperkt gebleven tot perioden met lage zeespiegel, dus de ijstijden. Tal van soorten van koude en gematigde klimaten hebben daar gebruik van gemaakt. Rond 12.000 jaar geleden hebben ook Aziatische mensen, de latere Indianen, Amerika gekoloniseerd. De noordelijke gematigde en koude gebieden van de Oude en de Nieuwe wereld hebben zelfs zo veel soorten gemeen dat sommige biogeografen de Palearctis (Eurazië minus de tropen plus Afrika boven de Sahara) en de Nearctis (Noord Amerika) combineren tot één super-bioregio, de Holarctis.

³ Syfilis arriveerde al direct met Columbus na zijn eerste terugreis in 1493. De stuurman van de Santa Maria had de ziekte opgedaan en verspreidde deze verder. De grote kans voor *Treponema pallidum* kwam bij het beleg van Napels in 1494/95. De huiswaarts kerende internationale troepen versnelden de globalisering van deze bacterie. Dat kwam ook tot uiting in de namen die er toen in Europa voor werden bedacht, sterk ingegeven door de buurlanden die men het meest verafschuwde: Spaanse pokken, Duitse ziekte, Engelse ziekte, etc. De virulentie van de ziekte droeg bij aan het kuisheidsoffensief van de navolgende eeuwen. De badhuizen bijvoorbeeld gingen bijna overal dicht (Canters 1965). In de loop van de 19e en 20e eeuw zag men de syfilis milder worden. Dat is het perspectief dat men ook hoopt te zullen zien voor AIDS.

⁴ Dat bij zowel ziekten als landbouwhuisdieren sprake was van eenrichtingverkeer van de Oude naar de Nieuwe Wereld hangt met elkaar samen. Volgens Diamond (1999) zijn veel humane infectieziekten ontstaan uit de interactie tussen mensen en hun vee. In Eurazië was de veehouderij veel verder ontwikkeld dan in Amerika.

Bij landbouwgewassen daarentegen was sprake van tweerichtingverkeer. Enerzijds brachten Europeanen tarwe, rijst, gerst, boekweit, spelt, haver, sorghum, suikerriet, soja, erwt, lins, olijf en vlas naar Amerika. Anderzijds namen ze aardappel, zoete aardappel, maïs, Spaanse peper, cacao, tabak, rubberboom, kinaboom, boon, cassave, zonnebloem, tomaat, pompoen en andere gewassen mee terug.¹

3.2 Drijvende factoren

Wat zijn de oorzaken van biologische globalisering? De belangrijkste oorzaken hangen nauw met elkaar samen:

- de globalisering van de samenleving;
- de economische groei, met name die van mondiaal verkeer en vervoer;
- technologische ontwikkelingen in verkeer en vervoer, waardoor steeds snellere verplaatsingen in steeds grotere hoeveelheden over steeds langer afstanden mogelijk zijn geworden. Door de hogere snelheid hebben organismen bovendien grotere overlevingskansen onderweg;
- verstoringen van ecosystemen, waardoor invasieve soorten meer vestigingskansen krijgen.

Op de achtergrond spelen politieke ontwikkelingen, zoals druk van exporterende landen, bedrijven en multilaterale organisaties als WTO, IMF en Wereldbank om handelsbarrières af te breken, exportbevordering door overheden en belastingvrijstellingen voor scheeps- en vliegverkeer.

3.3 Mechanismen en routes

Introductie van soorten kan plaatsvinden op verschillende manieren:

- *opzettelijk*. Op het land: landbouwgewassen, vee en jachtwild, zoals het konijn vanuit het Iberisch Schiereiland. In het water: vissen;
- *opzettelijk voor plaatselijk gebruik, maar uit de hand gelopen*. Voorbeelden op het land: de muskusrat in Europa en het konijn in Australië. In het water: de nijlbaars in het Victoriameer, de Russische koningskrab in Noorwegen en de Japanse oester in Nederland. Het ongeluk zit soms in een klein hoekje: degene die rond 1983 afvalwater van het Oceanografisch Museum in Monaco in de Middellandse Zee loosde kon niet vermoeden dat het wier *Caulerpa taxifolia* binnen twintig jaar zou uitgroeien tot een wereldwijde plaag (zie Box 7).
- *onopzettelijk doordat soorten meeliften* met mensen, dieren, planten of vervoermiddelen. Op het land: ratten. In het water: ballastwater² en aangroei van schepen. Of: wieren met voor de aquacultuur ingevoerde oesters. Op het land en in water: microben, parasieten, onkruiden;
- *onopzettelijk door afbraak van een verspreidingsbarrière*. Met name: afbreken van landbarrières tussen wateren. De eerste grote doorbraak was de aanleg in 611 van het Grote Kanaal tussen de Yangze en de Gele Rivier in China. In 1859 werden door de voltooiing van het Suezkanaal Rode Zee en Middellandse Zee met elkaar verbonden.³ Vanaf 1914 verbond het Panamakanaal de Atlantische met de Grote Oceaan, hetgeen overigens weinig uitwisseling van soorten opleverde, doordat het kanaal hoog ligt en wordt gevoed door rivieren. En in 1992 verbond het Rijn-Main-Donaukanaal de stroomgebieden van Rijn en Donau en ontstond een zoetwaterverbinding tussen Noordzee en Zwarte Zee.

Het belang van deze categorieën verschilt per soortgroep. In de VS hebben de meeste introducties van planten en gewervelde dieren opzettelijk plaatsgevonden, maar de meeste introducties van ongewervelde dieren en microben onopzettelijk (Pimentel *et al.* 1999). Voor een nagenoeg volledig overzicht van *pathways* zie Bijlage 5.

¹ Deze *Columbian exchange* van gewassen was volgens McNeill & McNeill (2003) een belangrijke oorzaak van de sterke groei van de wereldbevolking die plaatsvond vanaf de 18^e eeuw.

² Grote tankers vervoeren meer dan 200.000 m³ ballastwater. Bij het opzuigen nemen zij vaak ook forse hoeveelheden slib in. Een deel van het water kan niet eens worden uitgepompt (Bright 1998). In de Port of Coos baai in Oregon (VS) zijn in binnenkomend ballastwater binnen 5 jaar de volgende aantallen exotische soorten aangetroffen: 72 soorten crustacea, 43 annelide wormen, 11 protozoa en 128 diatomeeën (Carlton & Geller geciteerd in Williamson 1997).

³ De soorten die zich vervolgens vanuit de Rode Zee in de Middellandse Zee uitbreidden, kregen zelfs een aparte naam: Lessepsiaanse soorten, naar Ferdinand de Lesseps, de ingenieur die het kanaal ontwierp. Sommige van deze soorten zijn vissen, die gewoon van de ene naar de andere zee zwemmen – zij het kennelijk meer richting Middellandse Zee dan andersom – maar andere zijn bodemdieren die zich vastzetten op scheepshuiden, of zelfs op visnetten. Bij het schoonmaken van die netten komen de soorten dan in de haven terecht, zodat lokale uitbreidingspunten ontstaan.

3.4 Succes van invasies

Lang niet elke vestiging van een organisme is overigens succesvol. Integendeel, de meeste vestigingen mislukken na kortere of langere tijd. Voorbeeld: in Noord-Amerika zijn tal van vogelsoorten uit de oude wereld er in geslaagd zich te vestigen, waaronder lijsters, vinken, mezen, nachtegaal, boomleeuwerik, roodborst, waterspreeuw, kwartelkoning, auerhoen en knobbelzwaan (Elton 1958). Maar de meeste stierven na enkele jaren weer uit. Slechts zes wisten zich permanent te vestigen. Vanuit Europa waren dat huismus, spreeuw, patrijs, en fazant. En vanuit Azië: een andere soort fazant en een mynah. Allemaal soorten van een stedelijke of agrarische omgeving.

Zelfs na een succesvolle invasie kan een soort (of variëteit) uitsterven. Dat gebeurt vrijwel jaarlijks na een wereldwijde invasie van één of meer nieuwe influenza-stammen.

Een soort die is geïmporteerd kan verschillende stadia van penetratie bereiken:

1. import van de soort in een afgesloten omgeving (kooi, aquarium, omheinde ruimte etc.)
2. introductie van de soort in de natuur (door ontsnappen of loslaten)
3. vestiging: de soort kan zich handhaven en vermenigvuldigen
4. ontwikkeling van de soort tot een plaag.

Een vuistregel luidt: elke volgende stap heeft een slagingskans van 10%. Die regel staat bekend als de *tens rule* van Williamson (1997). Dus: van elke 1.000 geïmporteerde soorten ontwikkelt zich $1.000 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,1 = 1$ soort tot plaag. Een voorbeeld staat in Box 11.

Probleem is natuurlijk dat het begrip "plaag" een mengeling is van een biologisch, een economisch en een subjectief begrip, en dat maakt het bij voorbaat onwaarschijnlijk dat de *tens rule* meer is dan een vuistregel. Williamson noemt zelf vier uitzonderingen waarbij het percentage beduidend hoger ligt dan 10.¹ Maar ook elders in de literatuur komen we hogere, en soms ook lagere percentages tegen.

Voorbeelden:²

- van de 80 soorten exotische gewervelde dieren in Australië gelden er 30 (=37%) als plaag, met name in de landbouw (Bomford & Hart 2002);
- van de 8.750 invasieve planten in Zuid-Afrika gelden er 161 (=2%) als *ernstige* plaag (Van Wilgen *et al.* in: Pimentel 2002).

Soms wordt aangenomen dat geïntroduceerde landbouw- en siergewassen geen invasie (kunnen) beginnen vanuit de percelen waar zij zijn uitgezaaid, geplant of gepoot, omdat zij niet kunnen overleven in andere biotopen. Toch zijn daar krasse staaltjes van bekend (Box 12).

¹ Deze vier uitzonderingen zijn: eetbare gewassen in Groot-Britannië, vogels in Hawaï, insecten voor biologische bestrijding en zoogdieren op continentale eilanden. Williamson geeft daarvoor plausibele verklaringen. Het aardige van *tens rule* is dat we de metafoor kunnen gebruiken van de ijsberg, waarvan slechts 10% zichtbaar is.

² Pimentel *et al.* (2002) noemen een hoger getal voor de VS, het VK, Australië, India, Zuid-Afrika en Brazilië samen. Zij schatten het totale aantal exotische planten, dieren en microben op 120.000. Daarvan zou 20-30% een al dan niet ernstige plaag zijn. Maar hun benadering is te ruw om serieus te worden genomen.

4. Patronen van bio-invasies

In de bio-invasies in de wereld zijn bepaalde patronen te ontdekken. We behandelen de volgende vragen:

- hoe verlopen bio-invasies in de tijd?
- welke soorten zijn invasief?
- welke soorten zijn kwetsbaar?
- welke bioregio's/ecosystemen leveren invasieve soorten?
- welke bioregio's/ecosystemen zijn ontvankelijk voor bio-invasies?
- in hoeverre zijn bio-invasies te beheersen?

4.1 Hoe verlopen bio-invasies in de tijd?

Verspreiding van soorten over de planeet verloopt vaak traag, maar soms ook razendsnel. Extreem snel kan de verspreiding verlopen via vliegverkeer. Het snelst bij virussen die via de luchtwegen van mens op mens worden overgebracht (druppelinfecties). Zo'n virus kan tegenwoordig binnen enkele dagen naar alle werelddelen worden verspreid. Maar bij de meeste organismen verloopt de verspreiding veel trager.¹

Zoals gezegd leidt lang niet elke vestiging tot een invasie. Vaak is een meermalen herhaalde instroom van individuen nodig voordat een soort invasief wordt. Zo lukte introductie van het myxoma-virus ter bestrijding van konijnen in Europa en Australië pas na herhaalde pogingen. Ook het aantal individuen dat wordt uitgezet is van cruciaal belang. Introductie van de spreeuw in Amerika lukte na herhaalde pogingen pas toen in 1890 60 individuen waren uitgezet in Central Park, New York, en in het volgende jaar nog eens 40 (Williamson 1997).²

Na vestiging kan de soort zich langzaam of snel uitbreiden, afhankelijk van eigenschappen van de soort zelf (met name de dispersie- en de reproductiesnelheid)³ en van de biotische en abiotische omgeving (biotisch: aan- of afwezigheid van concurrenten, predatoren, parasieten en ziektekiemen).⁴ We kunnen de volgende patronen waarnemen:

1. Veel nieuwkomers sterven na een beperkt aantal generaties weer uit. Mogelijke oorzaak: de soort is toch niet voldoende opgewassen tegen de biotische en abiotische omstandigheden, bijvoorbeeld een onregelmatig optredende strenge winter of langdurige droogte. Of in het geval van een parasiet of ziekteverwekker: de gastheer wordt immuun. Of in het geval van een gastheer: inheemse ziektekiemen, parasieten of predatoren vallen de soort aan.
2. Soms treedt een lag-fase op, waarin de soort zich wel handhaaft, maar zich nog niet noemenswaardig uitbreidt. Die fase kan soms wel 100 jaar duren. Voorbeeld: de nijlbaars *Lates nilotica* werd in 1954 geïntroduceerd in het Vicoriameer, maar leidde een onopvallend bestaan. Pas in de jaren tachtig begon hij met zijn spectaculaire uitbreiding. Een nematode deed er in Japan nog langer over. Begin 1900 ontdekt, breidde hij zich pas tegen 1980 explosief uit ten koste van miljoenen dennebomen (Bright 1998). Daarvoor kunnen verschillende oorzaken zijn:
 - binnen de soort moet eerst een kruising of mutatie plaatsvinden voordat hij zich kan uitbreiden;
 - de soort moet wachten op gunstige weersomstandigheden die zich slechts zelden voordoen (Hengeveld 2001);
 - bij een plant kan de verklaring zijn: hij moet wachten tot een cruciale partner (bijvoorbeeld een mycorrhiza, een zaadverspreidende diersoort of een bestuiver) is gearriveerd;

¹ De grootste afstand die men over de planeet kan afleggen is 40.000 km; dit kan binnen 1 dag. Ter vergelijking: de hele wereld rond werd door Jules Verne 133 jaar geleden gesteld op 80 dagen, wat toen vrijwel iedereen nagenoeg onmogelijk leek.

² Introductie van de spreeuw was onderdeel van een project om alle door Shakespeare genoemde vogels in Central Park uit te zetten.

³ Frappant voorbeeld van een hoge reproductiesnelheid onder invasieve vogels is de Turkse tortel. Die heeft tot 5 legsels per jaar en de nakomelingen uit zeer vroege legsels broeden soms al in hetzelfde jaar (SOVON 2002).

⁴ Zo kon de Amerikaanse vogelkers zich in Nederland tot bospest ontwikkelen vanwege het ontbreken van een parasitaire schimmel. Daarentegen is hier wel een symbiotische schimmel waarvan de vogelkers profiteert (Van der Putten & Rienks 2004).

- bij een gespecialiseerd dier: hij kan pas overleven als een onmisbare biotische of abiotische resource aanwezig is.
- bij een pathogeen of parasiet: er moet zich eerst een geschikte gastheer of tussengastheer hebben gevestigd. Invasies niet zelden multifactorieel bepaald (Box 15). Zo is verbreiding van de difteriebacterie niet voldoende; zij moet ook door een bacteriofaag worden geïnfecteerd voordat een epidemie kan ontstaan. En voor de cholera-bacterie geldt zelfs: twee verschillende bacteriofagen (Goudsmit 2001).

Hoe het ook zij, het is niet gewaagd te voorspellen dat er in tal van gebieden latente exoten huizen die zich vroeg of laat zullen ontpoppen als plaag. Maar welke dat zijn weten we niet.

3. Soms wordt en blijft de soort dominant en laat plaatselijk weinig of geen ruimte meer voor concurrenten. Dat verschijnsel heet *swamping*. Zo is de nijlbaars na zijn introductie in het Victoriameer de dominante soort geworden en heeft hij honderden soorten endemische vissen uitgeroeid (Goldschmidt 1994).¹ Voor andere voorbeelden zie Box 18.
4. Na een explosie treedt vaak een terugval op (*boom-and-bust*), gevolgd door stabilisatie op een lager niveau. Nederlandse voorbeelden: waterpest en Turkse tortel. Mogelijke verklaringen voor de terugval zijn:
 - voedsel of een andere resource wordt schaars;
 - een inheemse parasiet, ziektekiem of predator “ontdekt” de nieuwe gastheer;
 - door de hogere dichtheid neemt de infectiedruk toe.
5. Niet zelden worden invasieve soorten in hun nieuwe gebied groter en talrijker dan in hun thuisland. Daardoor kunnen ze extra schade aanrichten. De verklaring lijkt in veel gevallen: ze zijn verlost van (een deel van) hun parasieten en predatoren (zie Box 16). Maar er kunnen ook andere mechanismen spelen. Zo scheidt de Europese look-zonder-look *Alliaria petiolata* een stof af die mycorrhizaschimmels in de bodem doodt. In Canada verschaft hij zich daarmee een groot concurrentievoordeel, want hij heeft zulke schimmels niet nodig, zijn concurrenten wel (Van Strien 2004).
6. Na vestiging ontstaan door evolutie, met name natuurlijke selectie,² genetische veranderingen, zowel bij de indringer als bij inheemse soorten waarmee hij interactie heeft:
 - de kolonisorator kan zich beter aanpassen aan zijn biotische en abiotische omgeving en bijvoorbeeld nieuwe gastheren gaan koloniseren;
 - inheemse soorten (voedselsoorten, concurrenten of gastheren) kunnen zich aanpassen aan de kolonisorator (bijv. door immuniteit of een verschuiving van hun niche), waardoor zij zich gedeeltelijk kunnen herstellen;
 - inheemse ziektekiemen, parasieten en predatoren kunnen zich aanpassen aan hun nieuwe gastheer. Vervolgens ontstaat een co-evolutionaire bewapeningswedloop, waarbij de ziektekiem of parasiet in het voordeel is als hij een snellere generatiewisseling heeft dan zijn gastheer;
 - is de kolonisorator zelf een (monofage) ziekteverwekker of parasiet, dan kan hij juist *minder* virulent worden. Verklaring: als hij zijn gastheer langer in leven laat, stijgen ook zijn eigen overlevingskansen.³

Op lange termijn kunnen nieuwe soorten ontstaan, maar dat vergt vaak meer dan 100.000 jaar (afhankelijke van de snelheid van generatiewisseling) en is bij antropogene invasies nog niet vastgesteld (Williamson 1997).

7. Soms kruist een invasieve soort met een inheemse soort. Dat kan uiteenlopende gevolgen hebben. Soms wordt het genoom van de inheemse soort verdrongen, zoals is vastgesteld bij vissen en eenden.⁴ Maar er kan ook een nieuwe (onder)soort ontstaan. Dat gebeurde toen een Amerikaanse slijkgras-soort in Engeland kruiste met een Europese soort en een zeer expansieve hybride ontstond (Box 7). Hetzelfde gebeurde toen in Brazilië de Afrikaanse ondersoort van de honingbij werd ingekruist in de populatie van de eerder geïntroduceerde Europese ondersoort (Box 42). Resultaat was een zeer agressieve en invasieve nieuwe ondersoort.

¹ Opmerkelijk is dat de nijlbaars in het Albertmeer - waar hij in 1955 is geïntroduceerd - een veel minder dominante soort is dan in het Victoriameer.

² De evolutionaire mechanismen zijn: selectie, kruising (recombinatie) en mutatie. Selectie en kruising kunnen al snel tot veranderingen leiden, mutatie veel langzamer. Doordat invasieve populaties een deel van de genetische variatie zijn kwijtgeraakt, kan het tempo van genetische verandering zelfs dalen: genostase. Zulke genetische versmallingen zijn aangetoond bij invasieve insecten, vogels, slakken en planten (Williamson 1997).

³ Elton (1958) noemt het voorbeeld van een schimmel van asperges die in de Europese teelt geen epidemieën veroorzaakt, maar na een invasie in Amerika daar de complete aspergeteelt bedreigde. De schade werd echter geleidelijk minder, niet door bespuiting, maar door genetische aanpassing van de schimmel, van de asperge of van beide. De commerciële teelt brengt daarvoor vaak het geduld niet op.

⁴ Actueel voorbeeld is de Amerikaanse stekelstaart, een eend die in zuid-Europa kruist met de zeldzame en bedreigde witkopenend.

8. Soms ontstaat synergie tussen een invasieve soort en een inheemse soort of een andere invasieve soort. Voorbeeld: de driehoeksmossel maakt wateren in Amerika geschikt voor invasieve waterplanten (Box 46).
9. Soms brengt de invasieve soort ingrijpende veranderingen in de levensgemeenschap en het ecosysteem teweeg (Boxen 34, 35 en 36).
10. Soms “temt” de natuur een invasieve soort zelf, namelijk door een vervolginvasie van een natuurlijke vijand.¹

4.2 Welke soorten zijn invasief?

Soorten en soortgroepen verschillen sterk in invasief vermogen. Elton viel het bijvoorbeeld al op dat in de Amerikaanse bossen geen vogels, maar wel veel (schadelijke) insecten uit Eurazië waren doorgedrongen. Wereldwijd zijn kevers een relatief succesvolle groep (Williamson 1997).

Ecologen hebben diverse pogingen gedaan om te voorspellen in hoeverre soorten invasief zijn.

Dat heeft nog weinig houvast opgeleverd. Theorieën met voorspellende waarde staan nog in de kinderschoenen.

De taxonomie biedt weinig houvast. Invasieve soorten blijken voor te komen in uiteenlopende taxonomische groepen. Een invasieve soort is vaak de enige invasieve soort in zijn familie. En reeds kleine genetische verschillen blijken het verschil te kunnen maken tussen een invasieve en een niet-invasieve soort.

Vermeij (1996) onderscheidt drie stadia van invasies: aankomst, vestiging en integratie (inpassen in de nieuwe levensgemeenschap). De hypothese ligt voor de hand dat een invasieve soort “goed” moeten zijn in elk van deze stadia om succes te hebben, maar die hypothese moet nog worden getoetst. Ook “flexibiliteit” wordt vaak als troef genoemd, maar ook daarvoor bestaat weinig bewijs. Zelfs matching tussen soort en klimaat blijkt niet altijd voorspellende waarde te hebben.

Volgens Williamson (1997) zijn de enige betrouwbare voorspellers:

- de soort past in één van de aanwezige habitats;
- de soort is elders al invasief gebleken;
- de soort kan een grote voortplantingsdruk (*propagule pressure*) uitoefenen.

Ricciardi en Rasmussen (1998) voegen daar de volgende eigenschappen toe:

- de soort maakt een goede kans om te worden opgepikt door een transportmiddel;²
- de soort is goed bestand tegen vervoerscondities. Voorbeeld: een soort met een brede zouttolerantie kan een (partiële) vervanging van ballastwater overleven.

De meest consistente eigenschap van invasieve soorten is volgens hen: commensalisme bij mensen.

Vervolgens stellen ze een lijst op van mogelijk invasieve Europese soorten in het Afrikaanse Grote Meren gebied, op basis van alle vijf bovengenoemde eigenschappen. Door ten slotte te kijken naar effecten die elders zijn opgetreden bij invasies van deze soorten, maken ze een inschatting van de risico's van systeemverstoring die optreedt als één van de beschouwde soorten het gebied zou binnendringen. Was een dergelijke aanpak in Europa en Noord Amerika tijdig gevolgd, dan hadden we bijvoorbeeld van te voren het gevaar van driehoeksmosselen kunnen zien aankomen en maatregelen kunnen nemen.

De Global Invasive Species Database³ maakt gebruik van de eerste drie bovengenoemde eigenschappen om een *habitat-matching* model te construeren.

Daar kunnen we op basis van *common sense* het volgende aan toevoegen:

- invasieve soorten hoeven *niet* soorten te zijn die zich goed kunnen verspreiden over grote afstanden, althans niet als we spreken over antropogene invasies. Van meer belang is dat de soort gebruik weet te maken van de nieuwe verspreidingskansen die de moderne transportmiddelen van de mens bieden.
- *kleine* organismen zijn *ceteris paribus* in het voordeel bij grote organismen in alle fasen van het invasieproces: verspreiding, vestiging en handhaving/integratie. Redenen:

¹ De paardekastanje wordt in Europa (waar hij rond 1550 is geïmporteerd vanuit Turkije) geteisterd door de paardekastanjemi-neermot *Cameraria ohridella*. Gezocht wordt naar een geschikte parasitaire sluipwesp, maar die is nog niet gevonden. De beste kans op het vinden van zo'n sluipwesp is in het oorsprongsgebied van de mot, maar zelfs dat is nog niet bekend.

² Maclsaac *et al.* (2004) ontwikkelden recent een model dat de verspreiding van soorten over meren voorspelt uit de mate waarin ze zich hechten aan vistuig en de vaarroutes van vissersschepen.

³ <http://issg.appfa.auckland.ac.nz/database/welcome/prediction.asp>

- doordat ze *klein* zijn hebben ze meer kans mee te liften, worden ze minder snel opgemerkt, kunnen ze zich gemakkelijker verbergen en zijn ze moeilijker te bestrijden;
- doordat ze ook vaak *talrijker* zijn, hebben ze ook om die reden meer kans mee te liften. Ook hebben ze meer kans een partner te vinden na kolonisatie en minder kans geheel te worden uitgeroeid door predatoren, parasieten, ziektekiemen, concurrenten en de mens. Bovendien hebben ze meer genetische variatie en daardoor meer kans zich aan te passen;
- doordat ze zich vaak *sneller voortplanten* hebben ze minder tijd nodig om een levensvatbare populatie te vormen.¹

Invasieve soorten hebben biologen al vaak voor verrassingen gesteld. Een soort die in zijn oorsprongsgebied een bescheiden plaats inneemt, kan zich in een nieuw gebied ontpoppen tot een “tiran” die andere soorten overwoekert (*swamping*). Voorbeelden staan in Box 18.

4.3 Welke soorten zijn kwetsbaar?

Iets meer valt te zeggen over soorten die *kwetsbaar* zijn voor bio-invasies. Vaak zijn dat soorten met een smalle genetische basis of genenpool. Die kunnen zich moeilijker aanpassen aan een invasieve exoot. Zulke soorten vinden we vaak in kleine, afgelegen bioregio's, zoals eilanden en meren.²

Maar ook invasieve soorten *zelf* zijn soms kwetsbaar. Omdat zij in hun nieuwe gebied vaak minder last hebben van natuurlijke vijanden kunnen zij zich daar relatief snel uitbreiden. Maar zij blijven uiteraard kwetsbaar voor het geval één of meer van hun natuurlijk vijanden er eveneens in slaagt de oversteek te maken, al dan niet met hulp van de mens.³ Ook lopen zij het risico hun afweer tegen pathogenen en parasieten uit hun oorsprongsgebied te verliezen. Daar komt bij dat hun genetische basis vaak smaller is dan die van hun moederpopulatie. Klassiek voorbeeld bij een geïntroduceerd gewas is de aardappelziekte die in 1846 in Ierland uitbrak kort nadat de schimmel *Phytophthora infestans* er in was geslaagd een lift over de oceaan te krijgen (zie Box 40). Gevolgen: hongersnood en massale emigratie. Voorbeeld van een wilde soort: de ribkwal *Mnemiopsis* in de Zwarte Zee (zie Box 19).

Maar heeft de natuurlijke vijand op haar beurt natuurlijke vijanden, dan is zij op haar beurt kwetsbaar en daar maakt de mens soms slim en dankbaar gebruik van.

4.4 Welke bioregio's/ecosystemen leveren invasieve soorten?

Uitwisseling van soorten tussen bioregio's vindt gemakkelijker plaats tussen twee bioregio's met overeenkomstig klimaat dan tussen bioregio's met sterk verschillend klimaat. De meeste soorten gedijen nu eenmaal slecht in een ander klimaat. Overigens zijn er uitzonderingen. Zo is de knolcyperus uit de tropen meegelift naar diverse werelddelen en vormt zij één van de meest gevreesde onkruiden ter wereld. In Nederland is knolcyperus een plaag in de maïs- en de bloembollenteelt en wordt zij gericht (en verplicht) bestreden. Ook weten de halsbandparkiet en de nijlgans – soorten die zijn ingevoerd uit de tropen, gekweekt en vervolgens ontsnapt of losgelaten – zich in Nederland en Engeland niet alleen te handhaven, maar zelfs uit te breiden.

Een speciaal geval zijn de microklimaten in verwarmde gebouwen, kassen en oppervlaktewater: die bieden kansen voor mediterrane of tropische soorten. Vandaar de vestiging in Nederlandse kassen van soorten als de Middellandse-zeevlieg (*medfly*), de Floridamol en de Californische trips. In gebouwen vinden we soorten als de kakkerlak en boktor. En bij de uitlaat van koelwater van elektriciteitscentrales en industrieën, zoals Hoogovens, vinden we soms tropische vissen zoals guppen. Het betreft dan vissen die door aquariumhouders zijn weggegooid, en overleven omdat ze toevallig bij zo'n centrale terechtkomen. Zulke vestigingen blijven niet altijd lokaal. Vanuit kassen worden wel plantenziekten verspreid naar andere landen, wat incidenteel leidt tot een importstop.

¹ Williamson (1997) merkt op dat het verband tussen voortplantingssnelheid en lichaamsgrootte niet eenduidig is en dat ook soorten met lage voortplantingssnelheid succesvolle invaders kunnen zijn. Voorbeelden: de Noordse Stormvogel en de mens.

Maar het is vreemd dat hij niet ingaat op het aannemelijke verband tussen lichaamsgrootte en invasiesucces.

² Soms kan een eilandsoort juist profiteren van een bio-invasie. Zo heeft de endemische Kea papegaaï in Nieuw Zeeland schapen ontdekt als bron van vlees. Daarmee riskeert de vogel wel de wraak van schapenhouders.

³ Bij dieren bestaat bovendien de kans dat zij na een invasie hun natuurlijke weerstand tegen bepaalde ziekten verliezen. Dat maakt hen extra kwetsbaar.

Bij uitwisseling is in beginsel sprake van tweerichtingverkeer, maar dat verloopt zelden symmetrisch. Zo leveren eilanden wel invasieve soorten aan andere eilanden,¹ maar zelden aan continenten.² Kleine continenten leveren al meer soorten: zo zijn diverse bomen van de geslachten *Eucalyptus*, *Acacia* en *melaleuca* uit Australië in andere regio's een plaag geworden.

Na de aanleg van het Suezkanaal drongen meer soorten van de Rode Zee de Middellandse Zee binnen dan omgekeerd. Daarvoor zijn diverse verklaringen:

- de Rode Zee is verbonden met de soortenrijke Indische en Grote Oceaan, de Middellandse Zee met de minder soortenrijke Atlantische Oceaan;
- de Rode Zee is zouter, waardoor soorten die daar vandaan komen minder moeite hebben met de barrières van twee hypersaline meren waar het kanaal doorheen loopt;
- er zijn meer vissers uit het Middellandse-Zeegebied die in de Rode Zee vissen dan omgekeerd. Die vissers maken de netten schoon in hun thuishaven: een recept voor introducties.

Evenzo immigrerden na de aanleg van het Rijn-Main-Donaukanaal meer zoetwatersoorten vanuit het gebied bij de Zwarte Zee in de Nederlandse grote rivieren dan omgekeerd. Dat komt onder meer doordat de dominante stroomrichting in het kanaal onze kant uit is.

Globaal kunnen we de volgende patronen vaststellen:³

1. *Soortenrijke biota's* leveren meer invasieve soorten dan soortenarme biota's. Vaak zijn dat grotere biota's. Het enorme Euraziatische continent heeft meer soorten aan Amerika en Australië geleverd dan omgekeerd. De meest voor de hand liggende verklaring is dat soortenrijke biota's meer soorten "in de aanbieding hebben". Bovendien: hoe meer soorten, hoe hoger de selectiedruk, dus hoe groter de concurrentiekracht (Darwin 1859).
2. Het *oost-west georiënteerde* Eurazië kent meer invasieve pathogenen dan het noord-zuid georiënteerde Amerika.⁴ Diamond (1999) geeft als verklaring: in Eurazië was veel meer migratie mogelijk doordat soorten binnen een zelfde klimaatgordel over enorme afstanden konden migreren. Daardoor steeg de infectie- en selectiedruk en bouwden soorten (ook de mens) meer natuurlijke weerstand tegen meer ziekten op. De combinatie van ziekten en weerstand werd een dodelijk wapen toen de Europeanen andere bioregio's gingen veroveren.⁵
3. Een continent dat *ecosystemen exporteert*, exporteert ook bijpassende soorten. Dat gold bij uitstek voor de export van agrarische en urbane systemen door Europeanen naar Noord Amerika, Argentinië, Australië en Zuid Afrika. Europa werd zo een "ecologisch imperialist" (Crosby 1986). De Europese landbouwmethoden worden gekenmerkt door intensieve begrazing of een ingrijpende verstoring van de bodem. Inheemse vegetaties bleken daar vaak niet tegen bestand en daardoor konden talrijke Europese soorten de vacant gekomen niches vullen.⁶ Meer in het algemeen treden bio-invasies het vaakst op in verstoorde ecosystemen (Reumer 2004).

¹ Voorbeeld van een eiland>eiland bio-invasie is de introductie van de bodembewonende platworm *Arthurdendyus triangulatus* op de Britse Eilanden in de jaren '60. De soort was waarschijnlijk meegelift met een plant annex grond die uit Nieuw Zeeland was verstuurd naar een botanische tuin. De platworm predeert op regenwormen, die hij wellicht zelfs kan uitroeien, ten koste van ecosystemen, inclusief agro-ecosystemen. De soort heeft zich genesteld in Schotland en Noord-Ierland en het is niet ondenkbaar dat hij zich ook vestigt op het Europese vasteland. Vestiging in Nederland zou niet alleen de bodemvruchtbaarheid aantasten, maar ook de stand van weidevogels als de grutto, die in het broedseizoen sterk afhankelijk zijn van regenwormen. Opmerkelijk: Nieuw-Zeeland kent 200 soorten platwormen, Europa slechts 6 (Bright 1998, DEFRA 2003).

² Zeldzaam voorbeeld van een eiland>continent invasie is het virus dat de Black Sigatoga ziekte in banaan veroorzaakt. Dat is afkomstig van de Fiji Eilanden. Zie www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/banana.html#Diseases. Het virus is zelfs een potentieel megaprobleem. Omdat de favoriete banaan-cultivar Cavendish zich ongeslachtelijk voortplant, is de variatie gering, kan geen resistentie worden ingekruist (althans niet met klassieke veredeling) en wordt gevreesd voor de toekomst van de bananenteelt wereldwijd (Van Hengstum 2003).

³ Genoemde patronen moeten met voorzichtigheid worden gehanteerd, want volgens Vermeij (1996) zijn er nog weinig empirische bewijzen voor.

⁴ Darwin (1836) merkt op: "*Wherever the European has trod, death seems to pursue the aboriginal. We may look to the wide extent of the Americas, Polynesia, the Cape of Good Hope, and Australia, and we find the same result*". Hij verbaast zich erover dat mensen en dieren die zelf niet ziek zijn, wel dodelijke ziekten kunnen verspreiden.

⁵ Hun vatbaarheid voor ziekten maakte de Indianen ongeschikt voor de slavenhandel. Overigens verloren Europese kolonisten in Amerika na één generatie zelf ook een deel van hun natuurlijke weerstand tegen infectieziekten (Diamond 1999).

⁶ Omdat de inheemse vegetatie vaak niet bestand was tegen begrazing door het geïntroduceerde vee, dreigde erosie. Wat dat betreft was het volgens Crosby misschien maar goed dat vanuit Europa ook begrazingstolerante planten werden geïntroduceerd.

Voor pathogenen geldt: de regio waar de gastheersoort van oudsher voorkomt, bevat en levert meer pathogenen van die gastheer dan de regio waar ze zijn ingevoerd. Vandaar dat aardappelziekten vaak uit Amerika komen, tarweziekten uit Eurazië, runderziekten uit India en kippenziekten uit Zuid-Oost-Azië.

4. Voor pathogenen geldt bovendien: *hoe hoger de dichtheid en hoe hoger de aantallen van de gastheer (dus hoe meer crowding)*, hoe hoger de infectiedruk en hoe vaker *nieuwe* pathogenen ontstaan. Bij de mens en bij vee is dat vooral het geval in Zuid-Oost Azië. McNeill (1998) spreekt voor steden van de *urban disease pool*.
5. Voor zoönosen geldt: *regio's waar grote aantallen mensen en dieren dicht op elkaar leven*, leveren meer zoönoseverwekkers dan regio's waar de dichtheid van vee en/of mensen laag is.¹ Hoge dichtheden komen vooral voor in Zuid-Oost Azië (Diamond 1999) en in Nederland, maar in ons land gaat het om veel kleinere aantallen (en is er veel minder *crowding*). Gaat het bovendien om vee van verschillende soorten, zoals geldt voor varkens en pluimvee in China, dan bestaat ook een verhoogde kans op het ontstaan van *nieuwe* virussen, die ook voor de mens gevaarlijk kunnen zijn; dit wordt bevorderd door het nauwe contact met dieren rond huizen en op markten (Bol 2003 a,b). Er is in China een verontrustende overdracht van virussen van wilde op tamme vogels, varkens en de mens; en vice-versa. Recent werd ook bij varkens en tijgers vogelgriep is vastgesteld.

4.5 Welke bioregio's/ecosystemen zijn ontvankelijk voor bio-invasies?

Uit het voorgaande mag niet worden afgeleid dat alleen soortenarme en kleine bioregio's zoals eilanden en Australië ontvankelijk zijn voor bio-invasies. Bio-invasies komen ook voor in soortenrijke regio's en op grote continenten. Darwin merkte in 1859 al op:

"Probably no region is as yet fully stocked, for at the Cape of Good Hope, where more species of plants are crowded together than in any other quarter of the world, some foreign plants have become naturalised without causing, as far as we know, the extinction of any natives".

Sindsdien heeft de biodiversiteit in de Kaapprovincie wel onder de invasies heeft geleden. Noord Amerika kent – micro-organismen inbegrepen - inmiddels ca. 50.000 invasieve soorten (Pimentel 1999). Zelfs het grootste continent Eurazië blijkt niet vol of verzadigd met soorten. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de invasie van de muskusrat, meermalen uit Amerika in Europa ingevoerd voor de bontproductie en in 1905 ontsnapt in Praag. De soort heeft zich sindsdien verspreid over een enorm areaal.

Wel kunnen we de volgende patronen waarnemen:²

1. *Kleine en afgelegen* bioregio's, zoals Australië, eilanden en meren zijn extra ontvankelijk. Verklarende factoren zijn onder meer:
 - *kans*: hoe kleiner de oppervlakte van een bioregio en hoe verder de regio ligt van grote continenten (soortenreservoirs), hoe minder soorten de regio huisvest³, dus hoe meer kans dat een koloniserende soort nieuw is en hoe meer kans dat er een niche voor de soort is. Wellicht waren mensen in het verleden ook meer enthousiast om soorten in te voeren.
 - *evolutie*: *hoe minder soorten, hoe lager de concurrentie- en infectiedruk*. Op den duur raken daardoor concurrentievermogen en weerstand van soorten verzwakt. Voorbeeld: recent onderzoek aan de natuurlijke weerstand van een endemische grondvink tegen parasieten op de Galapagos eilanden toont aan dat die weerstand geringer is naarmate het eiland kleiner is (Der Spiegel 2004).
 - *genenpool*: eilandpopulaties stammen vaak af van een kleine groep *founders* en hebben daardoor een smalle genetische basis en dus een beperkt aanpassingsvermogen. Ook de Indianen stammen vermoedelijk af van kleine groepen *founders* en dat is waarschijnlijk, naast eerder genoemde factoren, mede oorzaak geweest dat de Indianen zo kwetsbaar waren voor door de Europeanen en Afrikanen meegebrachte infectieziekten.
2. *Oceanische eilanden* zijn meer ontvankelijk dan continentale eilanden (Elton 1958). De verklaring is dat zij nooit met het vasteland verbonden zijn geweest, waardoor zij door minder land- en zoetwa-

¹ Historisch gezien zijn belangrijke fasen: de opkomst van de veehouderij in het Mesolithicum (stimulans voor ontstaan zoönosen), het ontstaan van steden in het Neolithicum (verhoogde de infectiedruk) en het ontstaan van een netwerk van steden in de Romeinse tijd (stimuleerde grootschalige epidemieën).

² Ook hier geldt de waarschuwing van Vermeij (1996) dat er nog weinig echt is bewezen.

³ MacArthur & Wilson (1967) verklaren het kleine aantal soorten op *kleine* eilanden uit de verhoogde kans op uitsterven en het kleine aantal soorten op *afgelegen* eilanden uit de verlaagde kans op immigratie van nieuwe soorten.

tersoorten konden worden gekoloniseerd. Daardoor hebben ze minder soorten en meer onderbezette niches dan louter op basis van hun oppervlakte zou mogen worden verwacht. Het lijkt aannemelijk dat hetzelfde geldt voor meren die lange tijd niet verbonden zijn geweest met andere meren.

3. *Jonge ecosystemen* zijn extra ontvankelijk. Dat komt doordat ze nog pas gedeeltelijk gekoloniseerd zijn. Wallace (1880) meldde al dat zowel in Engeland als in Nieuw-Zeeland soorten die in een streek niet voorkomen, waaronder exoten, vaak plotseling opduiken langs recent aangelegde spoorlijnen of afgebrande bospercelen.¹ Ook verwarmde gebouwen en kassen zijn te beschouwen als jonge ecosystemen met een verhoogde kans op bio-invasies.

Toen aan het eind van de ijstijden het landijs zich terugtrok, ontstonden jonge ecosystemen met tal van vacante *niches*. De kolonisatie daarvan is waarschijnlijk nog altijd niet geheel voltooid. Vermeij (1991) heeft onderzoek gedaan naar de uitwisseling van soorten die in de geologische geschiedenis heeft plaatsgevonden na (hernieuwd) contact tussen biota's. Voorbeelden: uitwisseling tussen de Atlantische en de Arctische Oceaan na het ontstaan van de Beringstraat en uitwisseling tussen de Rode Zee en de Middellandse Zee na de aanleg van het Suezkanaal. Zijn conclusie: zulke uitwisselingen verlopen vaak asymmetrisch. Invasies vinden vooral plaats in regio's waar veel soorten waren uitgestorven. Hij trekt dat door naar recent verstoorte systemen, zoals stedelijke en agrarische habitats. Maar Williamson (1997) wijst er terecht op dat dit louter een kans-kwestie kan zijn: soortenrijke levensgemeenschappen hebben a priori meer kans om invasieve soorten te leveren.

Na een ijstijd met grote zeespiegelval (laatste ijstijd: 135 m) waren in veel delen van de wereld niches leeg. In sommige delen konden die nadat het water weer was gestegen, snel vanuit soortenreservoirs worden opgevuld. In andere delen moest de ontwikkeling opnieuw beginnen. Hier was dan ook veel ruimte voor exoten. Voorbeeld: de Caribische Zee.² De Noordzee is geologisch gezien nog veel jonger (8000 jaar). Dat, gevoegd bij het feit dat het een zeer dynamisch, deels zelfs estuarien systeem betreft, maakt dat er volgens Wolff (2004) nog veel ruimte is voor introducties (een promovendus is bezig met toetsing van deze theorie). Daar komt bij dat de watertemperatuur in de Noordzee na de ijstijd slechts langzaam is gestegen, en recent nog verder stijgt.

Mogelijk is nog steeds sprake van herkolonisatie door destijds verdrongen soorten (Hofstede & Wolff 2002, geciteerd in Tien & Dankers 2004).

4. Naast verstoring verhoogt *voedselrijkdom* de kans op bio-invasies. In Australisch onderzoek (Lake & Leishman 2004) werd gevonden dat voedselrijke systemen veel ontvankelijker zijn dan voedselarme ecosystemen, zelfs al zijn die verstoord. Davis *et al.* (2000) hebben een theorie gelanceerd die perspectieven biedt, omdat er toetsbare voorspellingen uit voortvloeien. De theorie veronderstelt dat fluctuaties in *resource availability* (beschikbaarheid van hulpbronnen) de sleutelfactor vormen voor de "ontvankelijkheid" van een bepaald ecosysteem voor invasies. De intensiteit van competitie is omgekeerd evenredig met de hoeveelheid ongebruikte *resources*. Dat betekent dat elke factor die een toename van de beschikbaarheid veroorzaakt, tevens een verhoogde "ontvankelijkheid" veroorzaakt. Wisselingen in beschikbaarheid vinden in allerlei systemen voortdurend plaats. Dat kan op twee manieren: ofwel het gebruik door de lokale populatie vermindert (diverse oorzaken mogelijk), ofwel de *resource* groeit sneller dan de lokale populatie haar kan benutten (eveneens diverse oorzaken mogelijk). Alleen wanneer op het moment van verhoogde beschikbaarheid voldoende kiemen van een koloniserende soort aanwezig zijn, zal deze zich kunnen uitbreiden. Ontvankelijkheid voor invasies fluctueert dus in de tijd, en is veel minder een inherente eigenschap van de levensgemeenschap, zoals Case (1990) veronderstelde.
5. Elton claimde in 1958 dat *soortenarme* ecosystemen als zodanig meer ontvankelijk voor bio-invasies zijn dan soortenrijke ecosystemen. Daarvoor is echter nog altijd weinig empirisch bewijs gevonden (Williamson 1997). Weliswaar zijn verstoorte systemen ontvankelijker dan rijpe systemen, maar de reden daarvan zou louter kunnen zijn dat soorten van zulke systemen meer kans hebben te worden getransporteerd *vanuit* en *naar* zulke systemen. De diversiteit/stabiliteit hypothese, die in de jaren '50 en '60 opgang maakte, heeft vandaag onder ecologen weinig aanhang meer.

Voor ziekten van mens en vee waartegen wordt gevaccineerd geldt: door vaccinatie worden besmettelijke ziekten kort gehouden of uitgeroeid. Daardoor kunnen niches ontstaan voor andere pathogenen.

¹ Wallace merkt op dat deze soorten vaak na enkele jaren weer verdwijnen, maar dat ze intussen wel zaden hebben gevormd en verspreid. Hij trekt een parallel met wat er vaak gebeurt langs rivieren en randen van sneeuwmassa's en gletschers, waar stukken grond plotseling kaal komen te liggen. Dat levert tijdelijke *stepping stones* voor planten. Volgens hem hebben op deze wijze planten uit het hoge noorden zich langs berggruggen kunnen verspreiden naar het koude zuiden.

² De veel koudere Atlantische Oceaan kon voor de Caribische Zee maar beperkt als soortenreservoir fungeren. In het warmere Indo-Pacifische gebied zijn de aantallen soorten per diergroep 6 tot 10 maal hoger dan in de het Caribisch gebied, en ook het aantal symbioses dat zich heeft kunnen ontwikkelen is veel hoger.

Dit gevaar wordt onder meer gepostuleerd voor het geval we erin zouden slagen een werkzaam malariavaccin te ontwikkelen.¹ De paar plasmodia die dit overleven zouden het begin kunnen zijn van een verbreiding over de wereld van een virulente vorm van malaria waartegen het vaccin niet helpt.²

4.6 In hoeverre zijn bio-invasies te beheersen?

Bio-invasies die worden veroorzaakt door klimaatverandering zijn niet of nauwelijks tegen te houden, zeker als het kleine organismen betreft. Ook verspreiding van *airborne* ziektekiemen zoals influenza is nauwelijks te beheersen. Maar andere antropogene invasies zijn in beginsel te voorkomen. Lukt dat niet, dan zijn ze in beginsel te beheersen door de soort uit te roeien, te isoleren of te reguleren.

Vooropgesteld zij dat de meest gangbare strategie van natuurbescherming, vorming van natuurreservaten, geen effectieve bescherming biedt tegen bio-invasies, en al helemaal niet als grote aantallen bezoekers zonder controles worden toegelaten (Box 24). Als we invasies willen voorkomen zullen we moeten beginnen bij de bron: het internationale verkeer en vervoer.

Voorkomen

Voorkomen van invasies is in beginsel mogelijk door binnenkomende personen, vrachten en vervoermiddelen streng te controleren op exotische soorten en zo nodig quarantaine toe te passen. Probleem daarbij is onder meer dat landsgrenzen vaak niet samenvallen met grenzen van bioregio's. Daarom is het beter te controleren bij vertrek dan bij aankomst.

Daarnaast zijn technische preventiemaatregelen mogelijk, zoals:

- aanbrengen van barrières zoals schijven en trechters tegen ratten op meertouwen van schepen;
- neerleggen van ontsmettingsmatten op luchthavens tegen import van ziekten die via schoeisel kunnen worden overgebracht (in 2003 in Nederland toegepast tegen vogelgriep);
- vaccinatie van mensen en dieren;
- ontsmetting van planten en dieren met breed-spectrum biociden, zoals methylbromide;
- behandelen van scheepshuiden met aangroei-werende chemicaliën, zoals teer, tributyltin of koperhoudende verf. Alle drie zijn overigens dermate milieukritisch dat het gebruik aan strenge regels is gebonden of zelfs is verboden.³

Heeft een invasieve soort zich toch gevestigd, dan kan hij in beginsel worden *uitgeroeid*. Dat moet dan wel snel gebeuren, want heeft de soort zich eenmaal verspreid, dan is uitroeien vaak niet meer mogelijk of slechts mogelijk tegen hoge financiële en milieukosten. Voorbeeld: de muskusrat.⁴

Uitroeien

Heeft een soort zich toch gevestigd, dan is het in beginsel mogelijk hem uit te roeien. Dat lukt steeds vaker op kleine eilanden, maar nog zelden op grote eilanden en op continenten (Box 27).

¹ Zie: http://www.brightsurf.com/news/june_04/PLS_news_062204.php.

² Bron: <http://www.medscape.com/viewarticle/481484?src=mp>. Onderzoekers van de in Box 10 genoemde bio-invasies van meningokokken W-135 na de *haj* wijzen op het volgende. Na een epidemie van meningokokken van serogroep A in 1987 bij 2.000 pelgrims stelden de autoriteiten vaccinatie tegen de serogroepen A en C verplicht voor het krijgen van een visum. De onderzoekers vermoeden dat pelgrims nu gemakkelijker geïnfecteerd kunnen worden door de W-135 stam (die een C-stam in een ander jasje is). Er is weliswaar een vaccin dat ook tegen W-135 werkt, maar men vreest herhaling: het opkomen van weer een andere meningokok die onder een misleidend bacteriekapsel de C-meningokok of een andere gevaarlijke serogroep verbergt (Hijmans 2003).

³ Er wordt driftig gezocht naar alternatieven, zoals "natuurlijke" anti-aangroei middelen en elektrische afweer. Sommige soorten schelpen vertonen geen aangroei. Interessant is het uit te vinden welke stoffen zij produceren voor dit effect; wellicht zijn deze in te zetten als een milieuvriendelijke bestrijding van aangroei (A. Bijlsma, persoonlijke mededeling).

⁴ Jaarlijks worden er alleen al in Nederland bijna 400.000 muskusratten gevangen tegen hoge kosten. Desondanks richt de soort forse schade aan waterkeringen aan. Bovendien heeft de vangst ongewenste neveneffecten, want er worden onbedoeld zo'n 15.000 andere dieren bijgevangen, waaronder hoog gewaardeerde soorten als rivierkeeft, bunzing, dodaars en waterral (LCCM 2004).

Isoleren

Heeft een soort zich toch uitgebreid, dan is het soms mogelijk hem te isoleren door een combinatie van bestrijding en het aanbrengen van verspreidingsbarrières, zoals een hek of wildrooster. Dat zal dan tot in lengte van dagen moeten worden volgehouden.

Reguleren

Lukt ook isoleren niet, dan rest nog slechts één mogelijkheid: *reguleren*. Dat kan met chemische, mechanische of biologische methoden. Voorbeelden:

- *chemische bestrijding* van landbouwplagen en van de aangroei van inlaten van elektriciteitscentrales;
- bij infectieziekten van mensen en vee: *vaccinatie*. En bij bacteriële infecties: *antibiotica*. Tegen virussen zijn er vanaf de jaren '80 steeds meer effectieve *antivirale middelen*. Een treffend voorbeeld is AIDS. Hier tracht men bij gebrek aan effectieve middelen (althans bij het overgrote deel van de patiënten, n.l. in de derde wereld) methoden toe te passen zoals het propageren en verstrekken van condooms, schone naalden en spuiten, wegwerpmaterialen, en ontmoediging van borstvoeding bij seropositieve moeders. Ook het ruim voorradig zijn van chirurgische handschoenen en controle van gedoneerd bloed hoort bij de preventie.
- introductie van *natuurlijke vijanden* van de soort vanuit het oorsprongsgebied van de soort of vijanden van verwante soorten. Dat is in feite een doelgerichte contra-invasie. Geslaagde voorbeelden: het myxoma-virus uit Zuid Amerika en het RHD virus
- uit China tegen konijnen in Australië en Europa.¹ Ook in Afrika zijn successen geboekt. Van de 14 belangrijkste plagen in landbouw en water worden de meeste geheel of gedeeltelijk beheerst met biologische bestrijding, waarvan 7 met geïntroduceerde natuurlijke vijanden (Bokonon-Ganta 2001). Zo is met succes een sluipwesp uit Zuid-Amerika ingevoerd tegen de cassavewolluis. Daar staan mislukkingen tegenover. Betreft het een polyfage natuurlijke vijand, dan kan deze ook inheemse soorten aanvallen en kan het middel erger zijn dan de kwaal (Boxen 21 en 22).
- *andere biologische methoden*, zoals steriele mannetjes en lokvallen met feromonen.
- *combinaties van bijvoorbeeld feromonen en toxische stoffen*. Daarmee is in Nederland met succes de invasieve, uit de tropen afkomstige faraomier teruggedrongen.
- *mechanische methoden*, zoals het uitrukken van planten of het wegvangen van dieren. Dat gebeurt in Nederland met wisselend succes tegen respectievelijk de Amerikaanse vogelkers en de muskusrat.

Er zijn inmiddels al heel wat succesverhalen van het uitroeien van invasieve soorten. Maar deze verhalen zijn grotendeels beperkt tot kleine eilanden en tot een klein aantal soorten, vooral rat, kat en konijn. Succesverhalen op grote eilanden en continenten zijn goeddeels beperkt tot soorten die zich nog slechts plaatselijk hadden verspreid. Zo is het in Engeland en Ierland rond 1935 gelukt om de invasieve muskusrat uit te roeien (Williamson 1997).

Gebleken is dat uitroeien kan leiden tot herstel van biodiversiteit, met name die van grondbroedende vogels. Diverse campagnes zijn echter mislukt door gebrek aan geld en wettelijke regels, bestuurlijke problemen, traagheid of zelfs tegenwerking van plaatselijke dieren- en natuurbeschermers (Genovesi 2005). Pijnlijk voorbeeld is dat Italiaanse dierenbeschermers hebben verhindert dat een plaatselijke invasie van Amerikaanse eekhoorns in de kiem werd gesmoord. Daardoor kan deze soort beginnen aan een opmars over het Euraziatisch continent en op grote schaal gaan doen wat zij al eerder deed in Groot-Brittannië: verdringen van de inheemse rode eekhoorn (Bergmans 2001).

Al de bovengenoemde maatregelen kosten geld en arbeid, vaak tot in lengte van dagen, en de meeste hebben ook nadelen: ze schaden het milieu (chemie), zijn riskant voor de volksgezondheid (antibiotica, chemie) of schaden inheemse soorten (polyfage natuurlijke vijanden, bijvangst). In theorie zijn die kosten en nadelen het geringst bij de introductie van monofage natuurlijke vijanden. Zo'n introductie kost vaak slechts één keer geld en is doorgaans niet schadelijk voor milieukwaliteit, gezondheid, flora en fauna.

¹ Ook hier doet de gentechnologie zijn intrede. Momenteel wordt geprobeerd om een effectiever myxoma-virus te ontwikkelen. Zulke experimenten zijn niet zonder risico, want de effecten van een gemodificeerd virus zijn niet te voorspellen en het is al vaak onmogelijk gebleken de verspreiding van virussen te beheersen (COGEM 2004).

Probleem is dat niet altijd valt te voorspellen of een soort monofaag is, zelfs niet na proeven.¹ Ontwikkelt een geïntroduceerde natuurlijke vijand zich zélf tot plaag, dan hebben we te maken met permanente en onomkeerbare schade. Biologische bestrijding kan dan zelfs grotere ecologische en de economische schade aanrichten dan wanneer de oorspronkelijke plaag chemisch was bestreden. Bij chemische bestrijding is de schade *soms* permanent, bij een misplaatste biologische bestrijding is dat *vrijwel zeker* het geval (Williamson 1997).

¹ Zo is in Australië de galwesp *Trichilogaster acaciaelongifoliae* ingevoerd uit Zuid-Afrika ter bestrijding van een Acacia soort. Ondanks tevoren uitgevoerde proeven bleek de soort na introductie ook twee andere soorten aan te pakken, waaronder een Acacia-soort die wordt gebruikt voor houtproductie. Vermoedelijk was hier sprake van evolutie na introductie (Williamson 1997).

5. Gevolgen voor natuur, biodiversiteit en milieu

5.1 Biodiversiteit algemeen

Wat zijn de gevolgen van bio-invasies voor de biodiversiteit?

Het primaire effect is dat er in het gekoloniseerd gebied een nieuwe soort bij komt.¹ Dus neemt de biodiversiteit ter plekke per definitie toe. Daarna wordt het spannend: verdringt de invasieve soort inheemse soorten? Zo nee, dan is sprake van een blijvende verrijking, hoewel op wereldschaal gezien sprake zal zijn van nivellering of homogenisering. Zo ja, dan neemt de biodiversiteit ter plekke weer af. Sterft daarbij een *endemische* soort uit, dan is sprake van onherstelbaar verlies voor de mondiale biodiversiteit.

Dit laatste is nog niet vastgesteld in oceanen en continenten, maar wel veelvuldig op eilanden en in meren. Ook op continenten dreigt dit in toenemende mate te gebeuren. Zoals gezegd neemt de frequentie van bio-invasies wereldwijd toe (Welcomme 1992, Pimentel *et al.* 1999) en dat wordt een steeds grotere bedreiging voor de biodiversiteit.

Volgens sommige auteurs zijn bio-invasies vandaag na habitatverlies zelfs al de belangrijkste oorzaak van verlies van biodiversiteit. Maar dat ligt sterk verschillend voor verschillende soortgroepen en voor verschillende biomen (continenten, eilanden, meren en zeeën). In de wetenschappelijke literatuur zijn daarover discussies gaande (Box 29).

5.2 Biodiversiteit op continenten

Op continenten is de kans dat een soort door een bio-invasie uitsterft gering. Voor zover ons bekend is slechts één invasieve soort erin geslaagd om andere soorten op continenten uit te roeien: *Homo sapiens*. Maar dan ook op ongekende schaal. De massa-extinctie van grote zoogdieren aan het eind van het Pleistoceen komt waarschijnlijk grotendeels op rekening van de jagende mens (Box 28). Ook in historische tijd heeft de mens op continenten tal van plant- en diersoorten uitgeroeid: direct door jagen en verzamelen, indirect door habitatvernietiging. Misschien wel het meest verbijsterende voorbeeld daarvan is de uitroeijing van de Noord-Amerikaanse trekduif *Ectopistes migratorius*. Deze soort kwam nog aan het begin van de 19^e eeuw voor in onwaarschijnlijk grote aantallen: in 1810 werden nog 2,2 miljard exemplaren geteld in één enkele zwerm! Maar in 1900 was de soort in het wild uitgeroeid, vooral door jacht en ontbossing. In 1914 stierf het laatste exemplaar in gevangenschap (Quammen 1998).

Maar ook invasies van andere soorten dan de mens zelf vormen een bedreiging. Zo worden van de 958 bedreigde soorten in de VS er 400 (42%) vooral bedreigd door geïntroduceerde soorten (Pimentel *et al.* 1999). De Amerikaanse kastanje, die ooit 25% uitmaakte van de bladverliezende bossen in de VS, is nagenoeg uitgeroeid door een uit Azië ingevoerde schimmel, de *chestnut blight fungus* (*Cryphonectria parasitica*).²

Andere voorbeelden:

- in Australië bedreigt het konijn één soort buideldier, twee soorten vogels en zeventien soorten planten (Box 14);
- het in 1889 met rundvee uit Azië ingevoerd runderpestvirus heeft in Afrika massale sterfte onder hoefdieren en hun predatoren veroorzaakt en heeft de Kaapse buffel zelfs bijna uitgeroeid;
- Zuid-Afrika heeft een schatrijke flora met 21.137 soorten, waarvan er niet minder dan 80% endemisch zijn. Vele daarvan worden bedreigd. In het best onderzochte en sterkst geïnvadeerde boom, het *fynbos* in de Kaapprovincie, gaat het in 80% van de gevallen om bedreiging door exotische boomsoorten, vooral Acacia, Hakea en Pinus (Stirton 1987, Henderson 1995, Van Wilgen *et al.* in: Pimentel 2002).

¹ Ook beneden het soortniveau kan biodiversiteit verloren gaan: op het niveau van ondersoorten en ecotypen. Dat overigens soms belangrijke effect laten we hier verder buiten beschouwing.

² De schimmel is eind 19^e eeuw uit Japan ingevoerd met partijen Japanse eiken, die zelf resistent zijn tegen de schimmel (Anagnostakis 1997).

5.3 Biodiversiteit op eilanden

Op tal van eilanden is onder de endemische fauna en flora een ravage aangericht door de opzettelijke introductie van:

- Carnivoren: katten, honden en mangoesten;¹
- Herbivoren: schapen, geiten, herten, konijnen apen en slakken.

Daar komt bij de per-ongeluk-introductie van ratten, muizen, mieren, slangen, parasieten en ziektekiemen.

Van alle bekende extincties sinds 1600 heeft 75% plaatsgevonden op eilanden (Bright 1998). Van de talrijke tragedies die zich hebben voltrokken noemen we er twee: St. Helena in de Atlantische Oceaan, Hawaii in de Grote Oceaan en Guam, eveneens in de grote Oceaan (Boxen 30, 31 en 32).

Darwin merkte in *On the origin of species* (1859) al op:

“In many islands the native productions are nearly equalled or even outnumbered by the naturalised; and if the natives have not been actually exterminated, their numbers have been greatly reduced, and this is the first stage towards extinction”.

Het belangrijkste effect van indringers lijkt predatie. Simberloff (geciteerd in Williamson 1997) analyseerde 71 duidelijke gevallen van uitsterven op eilanden als gevolg van invasies. Hij kwam tot 50 extincties door predatie, 11 door habitatvernietiging en slechts 3 door competitie.

Voor vogels beschikken we over vrij complete mondiale cijfers (Williamson 1997). Sinds 1600 zijn tenminste 93 soorten en 83 ondersoorten uitgestorven. Vele andere worden bedreigd. De belangrijkste oorzaken zijn:

- habitatvernietiging: in 19% van de extincties en 58% van de gevallen van bedreiging;
- jacht: 15% resp. 26%;
- predatie (vooral door geïntroduceerde predatoren): 42% resp. 40%.

Predatie was dus de belangrijkste factor en zal in de toekomst de op één na belangrijkste factor zijn. Maar ook parasieten en hun vectoren kunnen een beslissende invloed hebben. Dat leert ons de introductie van muggen op Hawaii (Box 31).

Andere voorbeelden van extincties en dreigende extincties op eilanden:

- Ingevoerde geiten hebben op San Clemente Eiland bij Californië 8 endemische plantensoorten uitgeroeid en 8 andere in gevaar gebracht (Pimentel *et al.* 1999).
- Op Hawaii zijn 946 van de 2.690 plantensoorten (31%) exoot en zijn ongeveer 800 van de 1.744 inheemse soorten (46%) bedreigd (Pimentel *et al.* 1999).

Op steeds meer eilanden woedt zo een stille veldslag tussen inheemse en ingevoerde soorten, een veldslag die recent zelfs doordrong tot de kolommen van *The Economist*.

5.4 Biodiversiteit in meren

Tenslotte enkele voorbeelden van meren:

- In het Victoriameer is meer dan de helft van de oorspronkelijke 350 soorten vissen – waarvan ruim 80% cichliden - uitgestorven of tot minimale populaties gereduceerd na en mede door introductie van de nijlbaars (Goldschmidt 1994).
- Andere destructieve effecten zijn bekend uit de Cubaanse zoetwatersystemen, het Titicacameer (Peru en Bolivia), en het Atitlan-meer in Guatemala (Revenga & Kura 2003).
- In China werden na de introductie van een aantal exoten grote wijzigingen in de soortensamenstelling van de visfauna in bijvoorbeeld het Dianchi meer (met veel endemen) en het Donghu meer geconstateerd (Xie *et al.* 2001).
- In de Noord-Amerika leidde de aanleg van het Welland Ship kanaal in 1829 er toe dat de zeeprik *Petromyzon marinus* de barrère van de Niagara watervallen kon omzeilen en kon doordringen in Lake Erie en andere meren. Pas honderd jaar later werden de gevolgen duidelijk: drie endemische inheemse vissoorten stierven uit en de visserij liep grote schade op (Elton 1958, Simberloff 2000).

In tropisch Azië vormen herbivore en omnivore vissen, zoals diverse karpersoorten, het overgrote deel van de introducties. Deze soorten van gematigde gebieden zijn nooit een groot deel van de vangsten gaan uitmaken, behalve in China. De grootste impact lijkt uit te gaan van introducties van visetende vissen uit gematigde streken (forel, baars) en vleesetende vissen. Overigens werd in veel gevallen het doel van de introductie, betere opbrengsten voor de beroepsvisserij, wel bereikt. Maar wanneer de ingevoerde soort een groot deel van de vangsten ging overheersen, betekende dat een grondige verandering van de soortensamenstelling in het desbetreffende meer.

¹ Op kleine Britse eilanden is zelfs schade aangericht door introductie van de egel, die legsels van zeevogels opeet (DEFRA 2003).

5.5 Mechanismen

Welke ecologische mechanismen kunnen leiden tot verdringing? Dat zijn er tenminste vier:

1. Predatie: de invasieve soort predeert op een inheemse soort, maar is polyfaag, zodat hij talrijk blijft als de inheemse soort schaars is geworden.
2. Parasitisme: de invasieve soort is (of verspreidt) een ziekteverwekker of parasiet waar de inheemse soort geen weerstand tegen heeft.
3. Concurrentie: de invasieve soort concurreert met een inheemse soort. Is de concurrentie eenzijdig, dan spreken we van amensalisme. In extreme gevallen kan de invasieve soort een gebied geheel overwoekeren of anderszins domineren (*swamping*).
4. Indirecte effecten, bijvoorbeeld via aantasting van het habitat van inheemse soorten. Zie Box 34.

5.6 Laatste redmiddelen

Op verschillende eilanden zijn reddingsoperaties gaande om endemische soorten te redden. Soms betekent dat slechts uitstel van executie, soms heeft men succes. Op Mauritius is het om vijf voor twaalf gelukt de endemische Mauritius torenvalk voor uitsterven te behoeden, althans voorlopig (Box 38).

Recent is het Campbell Eiland, 700 km ten zuiden van Nieuw-Zeeland, met vergiftigd aas vrijgemaakt van ratten, die daar in extreem hoge dichtheden voorkwamen. Doel was om ruimte te scheppen voor bedreigde vogelsoorten, waaronder de niet-vliegende Campbell Eiland taling *Anas nesiotis* (World Birdwatch 2003). De soort werd hergeïntroduceerd en ging al in het eerste jaar over tot broeden.

5.7 Milieu

Sommige invasieve soorten hebben een direct effect op het milieu: input van stikstof en aantasting van grondwatervoorraden. Een veel groter aantal soorten heeft indirecte effecten: doordat zij worden bestreden, hetzij preventief, hetzij curatief.

Bij export van levend materiaal vindt bestrijding van pathogenen al plaats in het exporterende land, om handelssancties te voorkomen. Daarbij worden vaak sterk toxische breed-spectrum ontsmettingsmiddelen gebruikt.¹ Is een schadelijke soort toch binnengedrongen, dan wordt vaak geprobeerd hem te isoleren en uit te roeien. Dat gebeurt chemisch, mechanisch of biologisch. Heeft de soort zich desondanks verspreid, dan rest niets anders dan reguleren. Ook dat kan chemisch, mechanisch of biologisch.

Wereldwijd is een groot deel van het bestrijdingsmiddelengebruik in de landbouw en de bosbouw toe te schrijven aan invasieve exoten. In Zuid-Afrika is 42% van de plagen in de landbouw exoot (Pimentel 2002). In Brazilië is de milieuvervuiling door bestrijding van exoten enorm (zie Box 39).

Voorbeelden in andere sectoren:

- in het verleden: bestrijding van mieren in Australië met DDT en dieldrin;
- recent: bestrijding van *Aedes* muggen die het West Nile virus in Amerika overbrengen met insecticiden;
- uitroeien van ratten, opossums, konijnen, herten en gemzen in Nieuw Zeeland met gif, mede ter bescherming van bedreigde diersoorten;
- bestrijding van de struik *Chromolaena odorata* met 2,4 D en picloram;
- bestrijding van de driehoeksmossel in de VS en van de *black-striped mussel* in Australië met chloor en kopersulfaat;
- bestrijding van de zeeprick in de Great Lakes in de VS met "lampriciden";
- bestrijding van de waterhyacint met glyfosaat (Round Up);
- bestrijding van slijkgras met glyfosaat.

Als bestrijding niet lukt is er soms nog een laatste redmiddel: het gewas of dier resistent maken tegen de pathogeen. Maar met de klassieke veredeling is dat een zaak van lange adem. Met gentechnologie kan het in beginsel sneller, maar dat roept weer andere risico's op. Zo is er momenteel in Frankrijk discussie over een druivenras dat via gentechnologie resistent is gemaakt tegen een nematode die *fanleaf disease*

¹ In de veehouderij worden voor export bestemde fokdieren steeds vaker gefokt onder extreem hygiënische omstandigheden (*specific pathogen free*). Dat kan geen kwaad voor het milieu, maar roept weer andere kritiek op: de dieren komen niet meer aanraking met de buitenlucht, bouwen weinig natuurlijke weerstand op en lijden een wel erg onnatuurlijk bestaan.

veroorzaakt. Tegenstanders vrezen imagoverlies voor de Frans druiventeelt.¹
Geen van bovenstaande gevolgen is door de auteurs uitgedrukt in geld en dat lijkt ook niet goed mogelijk.

¹ <http://www.winespectator.com/wine/daily/news/0,1145,2571,00.html>

6. Gevolgen voor economie en volksgezondheid

Bio-invasies kunnen grote gevolgen hebben voor diverse sectoren van de economie, voor de volksgezondheid en voor het milieu. De volgende sectoren zijn in het geding: de landbouw, de veehouderij, visserij en aquacultuur, de scheepvaart, de waterhuishouding, elektriciteitscentrales, woningen en gebouwen.

6.1 Landbouw en bosbouw

De landbouw is in het grootste deel van de wereld gebaseerd op planmatige “bio-invasies”: de introductie van gewassen in regio’s waar dat gewas voorheen niet voorkwam. Dat heeft wereldwijd bijgedragen aan de sterke groei van de landbouwproductie. Geïntroduceerde gewassen deden het vaak zelfs beter dan in hun oorsprongsgebied. Oorzaak: het gewas was in zijn nieuwe gebied verlost van diverse ziekten, parasieten en plagen. Daarmee is meteen duidelijk dat geplande bio-invasies zeer gunstig kunnen uitpakken voor samenleving en economie.

Dat effect is voor een belangrijk deel blijvend, maar wordt vaak deels tenietgedaan door niet-geplande vervolginvasies: invasies van ziekten en plagen van het ingevoerde gewas. Die kunnen leiden tot een daling van de opbrengst en/of tot hoge bestrijdingskosten. Soms wordt dat effect op zijn beurt verminderd door een tweede – vaak weer wel geplande – contra-invasie: die van een natuurlijke vijand van de plaag, bijvoorbeeld een sluipwesp.

Wereldwijd is de schade die invasieve soorten toebrengen aan de landbouw geschat op 55 tot 248 miljard dollar per jaar (Bright geciteerd in Pimentel 2002: 310). Pas recent komen samenhangende studies per land beschikbaar.¹

Pimentel *et al.* geven cijfers voor land- en bosbouw in zes landen: VS, VK, Australië, Zuid-Afrika, India en Brazilië (Tabel 1). Het leeuwendeel daarvan komt voor rekening van landbouwgewassen. Veruit de grootste schade treedt op in India, de VS en Brazilië. Het totaal komt op 229 miljard dollar per jaar. Dat is een lage schatting, want voor diverse posten in diverse landen zijn geen cijfers bekend.²

Tabel 2. Economic Losses to Introduced Pests in Crops, Pastures, and Forests in the United States, United Kingdom, Australia, South Africa, India, and Brazil (billion dollars per year). Bron: Pimentel *et al.* in: Pimentel (2002).

<i>Plant pathogens</i>							
<i>Crops</i>	23.5	2.0	2.7	1.8	35.5	17.1	82.6
<i>Forest</i>	2.1	-	-	-	-	-	2.1
Total	78.5	5.56	3.24	4.3	91.02	42.6	228.72

¹ Een opmerkelijk type landbouwschade doet zich voor in Nieuw Zeeland. De melkveehouderij aldaar betreft zijn stikstof van oudsher grotendeels uit biologische stikstofbinding door klavers. Na een invasie van de *clover root weevil* (*Sitona lepidus*) is die binding sterk verminderd en moeten de veehouders extra stikstofkunstmest aankopen tot een bedrag van \$ 1,5 miljard per jaar (Barlow & Goldson in: Pimentel 2002).

² MacIsaac *et al.* hebben de *potentiële* kosten (schade + bestrijdingskosten) berekend van een *selectie* van invasieve exoten in Canada. Zie: <http://sgnis.org/publicat/macibail.htm>. Zij komen tot:

- \$ 5,3 – 14 miljard voor de landbouw (door 6 soorten exoten);
- \$ 7,7 – 20,1 miljard voor de bosbouw (8 soorten);
- \$ 299 - 776 miljoen voor aquatische systemen (4 soorten).

Deze potentiële kosten laten zich echter lastig vergelijken met de gemiddelden die Pimentel en wij hebben gehanteerd.

6.2 Veehouderij

Ook de veehouderij is grotendeels gebaseerd op planmatige introducties die vaak gunstig hebben uitgepakt voor productie en de economie. Wel hebben ontsnapte en losgelaten dieren economische schade aangebracht. Zo wordt de schade door verwilderde varkens in de VS geschat op \$ 800 miljoen per jaar, nog afgezien van ecologische schade en schade aan de volksgezondheid.

Ook hier geldt dat vervolginvasies van ziektekiemen enorme schade kunnen aanrichten (hoewel ze de schade door verwilderde dieren juist kunnen verminderen). Voornaamste schadeposten zijn: productievermindering en de kosten van preventie, bestrijding en behandeling. In de VS wordt de schade door vervolginvasies geschat op \$ 9 miljard per jaar (Pimentel *et al.* in: Pimentel 2002). Voor Australië noemen zij \$ 249 miljoen en voor Zuid-Afrika \$ 100 miljoen per jaar.

6.3 Visserij en aquacultuur

Het doel van introducties ten behoeve van visserij of aquacultuur is in het algemeen een grotere vangst of hogere productie (soms indirect: als er bijvoorbeeld een soort wordt ingevoerd om als biologische bestrijder te dienen). Zoals gezegd slaagt deze opzet meestal wel. Maar vervolgens treden er vaak ongewenste neveneffecten op (Box 45).

Pimentel schat de schade door introducties van vreemde vissoorten voor de visserij in de VS op \$ 1 miljard per jaar.

6.4 Scheepvaart

Voor de scheepvaart zijn ons geen baten van bio-invasies bekend, wel kosten. Met name: het dichtgroeien van watergangen door planten als hydrilla (*Hydrilla verticillata*), waterhyacint (*Eichhornia crassipes*) en watersla (*Pistia stratiotes*). Dat is een probleem voor de binnenvaart in tal van warme landen. Ook waterdieren en de recreatie worden gedupeerd.

In de VS bedragen de kosten voor de bestrijding \$ 100 miljoen per jaar. De schade is niet precies bekend, laat staan welk deel daarvan betrekking heeft op de scheepvaart is niet bekend.

6.5 Waterhuishouding

Exoten kunnen ook effecten hebben op de waterhuishouding en de watervoorziening. Veel gunstige effecten zijn ons niet bekend. Vermeldenswaard is de introductie van de graskarper in Nederland om overmatige begroeiing in watergangen te bestrijden. Maar deze soort plant zich hier niet voort en valt dus niet onder de gangbare definitie van invasieve soort.

Schadeposten zijn er des te meer. Waterhyacint, watersla en *Salvinia* kunnen alle waterfuncties ernstig verstoren. Zuid-Afrika biedt daarvan een treffend voorbeeld (Box 33).

6.6 Elektriciteitscentrales en industrie

Exoten hebben belangrijke baten voor de energiesector en de industrie. We doelen dan op energiegewassen (zoals suikerriet in Brazilië) en op landbouwproducten die worden verwerkt in de agro-industrie. Andere invasieve soorten daarentegen richten grote schade aan, vooral door verstopping van de in- en uitlaat van koelwater door driehoeksmosselen en andere invasieve soorten. Bestrijding daarvan gebeurt soms mechanisch, soms chemisch en dat laatste kan milieuschade aanrichten. In de VS bedragen alleen al de bestrijdingskosten van de driehoeksmossel \$ 5 miljard per jaar. Die van de *Asian clam* komen op \$ 1 miljard per jaar.

6.7 Woningen en gebouwen

Soorten als de huisstofmijt en de bedwants ('wandluis') vergezellen de mens waarschijnlijk al zo lang dat het weinig zin heeft om ze nog invasief te noemen.¹

De verwarming van huizen en andere gebouwen in gematigde en koude gebieden heeft kansen geschapen voor nieuwe (sub)tropische exoten, zoals kakkerlakken. In de tweede helft van de 20^e eeuw heeft in Nederland en andere landen zelfs een kleine micro-klimaatrevolutie plaatsgehad. Er wordt gelijkmatig en continu verwarmd tot hogere temperaturen dan daarvoor. Daarvan hebben diverse exoten geprofiiteerd, waaronder faraomier, huiskrekkel, huisboktor en hondenteek (Box 71). Alleen voor de kakkerlak kunnen we hier enige economische cijfers geven, en dan nog alleen voor Nederland.

6.8 Volksgezondheid

De meeste ziektekiemen ontstaan in een bepaalde regio en verspreiden zich van daar uit naar andere regio's. In alle andere gebieden waar de kiem doordringt kan hij dan worden beschouwd als invasief. Zo is de pestbacterie in de middeleeuwen vanuit Oost-Azië verspreid naar Europa. Dat was al eerder gebeurd, maar Europa was al acht eeuwen vrij van pest. Pokken, gele koorts, griep en tal van andere ziekteverwekkers zijn vanuit Europa en Afrika verspreid naar Amerika en hebben daar de Indianenbevolking gedecimeerd. Tal van influenzavirussen hebben zich vanuit Oost-Azië over de wereld verspreid. Recent heeft het HIV-virus – vermoedelijk vanuit centraal Afrika - de wereld veroverd. Syfilis stamt waarschijnlijk uit Amerika en cholera uit het Indiase subcontinent.² Malaria komt waarschijnlijk uit Afrika, evenals de pokken (Egypte en omgeving). De oorsprong van de tuberculosebacteriën en de hepatitisvirussen is onbekend. Maar vele van deze ziekten zijn endemisch geworden in andere werelddelen, en of we ze daar nog invasief mogen noemen is een kwestie van definitie (Bijlage 1).

De kosten van een ziekte bestaan uit de bestrijdings- en preventiekosten en uit de schade aan volksgezondheid en economie. De directe bestrijdingskosten zijn in beginsel goed in geld uit te drukken. Veel moeilijker is dat voor de gevolgen van de ziekte. Wat is een mensenleven of een levensjaar waard? Hoe moeten gederfde arbeidsdagen worden gewaardeerd? Hoe waarderen we verlies van welzijn (Bijlage 2)? Pimentel *et al.* (2002) schatten de bestrijdingskosten van alleen al AIDS, influenza en syfilis voor de VS, VK, Australië, Zuid-Afrika en Brazilië op in totaal \$ 10,4 miljard per jaar.³ Daar komen nog forse bedragen bij voor ziekten als cholera, tbc, malaria en hepatitis. Plus dus nog de schade die de ziekten aanrichten aan volksgezondheid en economie.

Wereldwijd moeten de kosten aanmerkelijk hoger zijn. Een schatting komt alleen al voor influenza op \$ 16,6 miljard, inclusief economische verliezen (Box 51). En voor HIV/AIDS op \$ 10 miljard, exclusief economische verliezen (Box 52).

6.9 Totale economische gevolgen

De gevolgen van bio-invasies die bovenop de schade voor de land- en bosbouw komen zijn voor Pimentel *et al.* (2002) geschat voor de VS, VK, Australië, Nieuw-Zeeland, India en Brazilië. De resultaten staan samengevat in Tabel 2.⁴

Combineren we Tabel 1 met Tabel 2, dan krijgen we een beeld van de totale kosten.

Voor de VS komt het totaalbedrag op \$ 138 miljard per jaar. Het overgrote deel daarvan (ruim \$ 112 miljard) betreft schade; de bestrijdingskosten (ruim \$ 21 miljard) zijn veel lager (Bijlage 3). Maar aan die verhouding moeten we niet teveel waarde hechten, want beide bedragen zijn forse onderschattingen.

¹ Vlooiën (mensen-, katte- en hondevlo) zijn kosmopolitische commensalen van de mens en/of zijn huisdieren. Ze zijn meer gebonden aan het lichaam dan aan huizen en ze zijn waarschijnlijk al zo lang commensaal dat het weinig zin heeft ze nog invasief te noemen.

Hetzelfde geldt voor luizen. Die zijn al meer dan een half miljoen jaar commensaal van de mens. Maar in Amerika droeg de mens tot 1492 waarschijnlijk slechts één soort luis, *Pediculus humanus*. De Europeanen brachten drie (onder)soorten mee: hoofd luis (*P. capitis*), klee luis (*P. corporis*) (beide ondersoort van *P. humanus*) en schaamluis (*Phthirus pubis*) (Wade 2004). Alle drie de soorten zijn vandaag cosmopoliet (Smart *et al.* 1948), maar de schaamluis kan in Amerika als invasief worden aangemerkt.

² De cholera-epidemie die in 1991 uitbrak in Peru, ingevoerd met ballastwater of met El Niño, kostte dat land \$ 1 miljard aan inkomsten uit export van *seafood* en toerisme (Bright 1998).

³ Voor de VS en Brazilië horen syfilis niet in het rijtje thuis, want de ziekte is waarschijnlijk ergens in Amerika zelf ontstaan en kwam mogelijk in heel Amerika voor. Maar dat is slechts een kleine post van \$ 18 miljoen op een totaal van \$ 6,5 miljard per jaar.

⁴ Overigens bevat ook deze categorie enige schade aan de landbouw, met name een deel van de schade door ratten.

Tabel 2 *Environmental Losses to Introduced Pests in the United States, United Kingdom, Australia, South Africa, India, and Brazil (billion dollars per year). Bron: Pimentel et al. in: Pimentel 2002.*

<i>Introduced Pest</i>	United States	United Kingdom	Australia	South Africa	India	Brazil	Total
<i>Plants</i>	0.148	-	-	0.095	-	-	0.178
<i>Mammals</i>							
<i>Rats</i>	19.000	4.100	1.200	2.700	25.000	4.00	56.400
<i>Other</i>	18.106	1.200	4.655	-	-	-	23.961
<i>Birds</i>	1.100	0.270	-	-	-	-	1.370
<i>Reptiles & Amph.</i>	0.006	-	-	-	-	-	0.006
<i>Fishes</i>	1.000	-	-	-	-	-	1.000
<i>Arthropods</i>	2.137	-	0.228	-	-	-	2.365
<i>Mollusks</i>	1.305	-	-	-	-	-	1.305
<i>Livestock diseases</i>	9.000	-	0.249	0.100	-	-	9.349
<i>Human Diseases</i>	6.500	1.000	0.534	0.118	-	2.33	10.467
Total	58.299	6.570	6.866	3.013	25.000	6.733	106.481

Althans, ze zijn erg onvolledig:

- van de drie humane ziekten die zijn meegenomen ontbreken schadeposten;
- wat betreft de bestrijdingskosten: van de helft van de posten waren geen getallen beschikbaar.¹

Daar staat tegenover dat de schade door de kat arbitrair hoog is (Bijlage 2).

Voor alle zes genoemde landen bij elkaar komt de schatting op \$ 336 miljard per jaar. Dat komt neer op \$ 240 per inwoner.

Pimentel *et al.* gaan nog verder en gebruiken dit laatste getal voor een ruwe schatting van de totale kosten van invasieve exoten in de wereld. Zo komen zij op \$ 1.400 miljard per jaar. Dat is 5% van het mondiaal BNP. Maar deze benadering is wel erg ruw zolang niet duidelijk is in hoeverre de geselecteerde landen representatief zijn qua kosten per inwoner.

Bij bovengenoemde schrikbarende hoge getallen mag niet worden vergeten dat invasieve soorten ook enorme economische baten hebben. Landbouw en veehouderij zijn immers grotendeels gebaseerd op exotische soorten. In de VS zijn deze volgens Pimentel *et al.* goed voor niet minder dan 98% van de productiewaarde van het *food system*: \$ 800 miljard per jaar. Dat is bijna 14x zo veel als de totale schade van alle exoten in de VS.

Tenslotte nog iets over de verdeling van kosten en baten van exoten. Vaak komen de baten van opzettelijke introducties ten goede aan ondernemingen, maar worden de kosten afgewenteld op de samenleving. Het beginsel "de vervuiler betaalt" wordt hier nog zelden toegepast (Box 56).

¹ Daarbij moet worden aangetekend dat Pimentel *et al.* alle schadeposten, ook die van bijvoorbeeld verlies aan wilde planten en dieren, hebben uitgedrukt in geld. Maar dat is alleen bij zoogdieren (huiskat) een grote post.

7. Nederland en bioglobalisering

7.1 Biogeografische positie van Nederland

De positie van Nederland in de biogeografie kunnen we als volgt karakteriseren.

Voor de landecosystemen is relevant:

- Nederland is onderdeel van het enorme Euraziatisch continent. Dat continent bevat van oudsher relatief veel soorten en is daardoor ontvankelijk voor bio-invasies dan andere continenten.
- daar staat tegenover dat tijdens de ijstijd veel soorten zijn uitgeroeid, waardoor ons land na terugtrekking van het landijs juist extra ontvankelijk werd. Weliswaar zijn veel soorten teruggekeerd, maar mogelijk is die herkolonisatie nog niet geheel voltooid.
- Nederland kent enkele zeer jonge ecosystemen (polders), waarvan de jongste nog volop worden gekoloniseerd.
- Nederland is een klein land, dat niet door barrières wordt gescheiden van het achterland en kent daardoor nauwelijks endemische soorten. Daardoor is er slechts een minieme kans dat een bio-invasie leidt tot het volledig uitsterven van een soort.
- omgekeerd kan een invasieve soort die zich in Nederland heeft gevestigd zich gemakkelijk verspreiden over Europa. Actueel voorbeeld: de nijlgans.

Voor de waterecosystemen is relevant:

- Nederland ligt aan zee en heeft de grootste haven ter wereld. Daardoor zijn er relatief veel contacten en uitwisselingsmogelijkheden van soorten overzee. Niet toevallig komen in Rotterdam en omgeving veel exotische soorten planten voor.¹
- Nederland heeft goede waterverbindingen met het achterland via twee grote rivieren. Sinds 1992 is daar het Rijn-Main-Donaukanaal bij gekomen. Daarmee heeft de Rijndelta in Nederland een directe zoetwaterverbinding gekregen met de Donaudelta in Roemenië. Hoewel ook bio-invasies in twee richtingen mogelijk zijn, namelijk van zoetwaterorganismen, zijn invasies in onze richting waarschijnlijker gezien de overheersende stroomrichting in het kanaal;
- het Nederlandse kustwater maakt onderdeel uit van de geologisch gezien jonge Noordzee en is daardoor relatief ontvankelijk voor bio-invasies (Wolff 1999);
- ook de Nederlandse zoetwatersystemen zijn relatief jong en daardoor wellicht extra ontvankelijk voor bio-invasies.

7.2 Nederland als factor in de bioglobalisering

Nederland is van oudsher gericht geweest op handel, ook handel overzee. In de 17^e en 18^e eeuw hebben de Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC) en de West-Indische Compagnie (WIC) een belangrijke rol gespeeld. De VOC wordt wel beschouwd als de eerst multinationale onderneming. We zijn al heel lang een distributieland en bovendien een *biodistributieland*, met zowel gunstige als ongunstige gevolgen.

Gunstig was de invoer in Indonesië van diverse uitheemse gewassen, zoals:

- de koffieplant uit Arabië;²

¹ Opmerkelijk is dat in Rotterdam nog weinig exotische diersoorten zijn gesignaleerd. Stadsecoloog Brekelmans meldt: “Wel komt er zo nu en dan een vogelspin binnen met scheepsladingen fruit, en éénmaal is een groene leguaan meegekomen uit Zuid-Amerika. Maar dat zijn niet echt de soorten die zich hier zullen vestigen. De enige soort waarvan ik verwacht dat hij zich mogelijk de komende jaren (bij zachte winters) buiten kan uitbreiden, met name in de stad waar het jaarrond een graadje warmer is, is de uit oost-Azië afkomstige miljoenpoot Kasplatrug *Oxidus gracilis*. Ik heb hem in 2002 en 2003 buiten aangetroffen in Diergaarde Blijdorp. Ook in Amsterdam is de soort buiten aangetroffen, namelijk in een composthoop op begraafplaats Zorgvliet. Binnen die groep, en bij pissebedden en duizenpoten, zijn vast meerdere soorten te verwachten”.

² De koffieplant volgde een opmerkelijke route. Aanvankelijk uit Ethiopië ingevoerd in Arabië, werd zij vanuit Jemen door de VOC ingevoerd in India en vanuit India in 1690 in Indonesië. Daar vandaan ging een stek naar de Hortus in Amsterdam. In 1715 schonk de Amsterdamse burgemeester een stek aan Lodewijk XIV voor de Parijse Hortus. Vandaar ging de plant westwaarts naar Martini-que, waar binnen korte tijd miljoenen koffiestruiken groeiden (zie ook Box 50).

Overigens waren er in 1690 in Parijs al 250 koffiehuisen (Daar komt ons woord 'café' vandaan). En in 1734 schreef J.S.Bach zijn satirische *Kaffeekantate* over een woordenwisseling tussen een meisje en haar vader, die vindt dat zij te veel koffie drinkt.

- de cassaveplant uit Afrika (waar hij eerder door Portugese slavenhandelaren was ingevoerd vanuit Zuid-Amerika);
- de rubber- en de kinaboom uit Zuid-Amerika;
- groentegewassen uit Europa (geteeld in de bergen).

In de Kaapprovincie met haar mediterrane klimaat was er sporadisch primitieve landbouw op 'grondjes' door lokale groepen als de Khoi, Bushmen en Hotnots, totdat de Portugezen en vanaf 1652 de VOC daar mediterrane gewassen zoals citrussoorten introduceerden. De VOC introduceerde ook de complete Hollandse groenten- en moestuin. Daarnaast verhandelde zij paarden en geiten uit Arabië naar diverse Aziatische landen, waaronder Japan.

Schadelijk daarentegen waren:

- de invoer door de Westindische Compagnie van Europese contractarbeiders en Afrikaanse slaven in Amerika. Afgezien van het leed voor de direct betrokkenen ging dat gepaard met de verspreiding van tal van voor Indianen dodelijke ziekten;¹
- de invoer van varkens, katten, geiten en honden op eilanden. Dat heeft bijgedragen aan het uitsterven van tal van endemische soorten, waaronder de dodo op Mauritius;
- de onbedoelde invoer van ratten en muizen, met soortgelijke gevolgen;
- geslachtsziekten als lues (syfilis) vonden via zeelieden een riante weg naar alle handelskusten;
- veeziekten werden verspreid via aan boord meegenomen dieren. Zoals de paardenziekte (*perdesiekte*) van de Kaap naar Indonesië en Europa door meeneming van met orbivirus besmette mugjes (*Culicoides imicola*).²

Eén ziekte is in Nederland het eerst ontdekt: de iepziekte *Dutch elm disease*, veroorzaakt door de schimmel *Ophiostoma ulmi*, die wordt overgebracht door de iepenspintkever. Maar waarschijnlijk is de ziekte elders ontstaan. Na haar ontdekking in 1921 heeft de ziekte zich verspreid over Europa, Amerika en delen van Azië, met vaak verwoestende gevolgen voor iepen. Er bestaat nog altijd geen afdoende bestrijdingsmethode tegen.

Ook vandaag is Nederland distributieland, zowel via de weg als via water en lucht, en alleen al daarom een potentieel belangrijke bron van bio-invasies. Daar komen de volgende specifieke risicofactoren bij:

- Nederland is een relatief grote producent van levend materiaal van uiteenlopende aard (vee, tuinbouw- en boomkwekerijgewassen, bollen), waarvan het grootste deel wordt geëxporteerd. Vooral de uitvoer van levend uitgangsmateriaal (plantenzaden, pootaardappelen, sperma) is een groot risico omdat het terecht komt in landbouwsystemen over de hele wereld;
- Nederland drijft een levendige handel in vee en vlees;
- Nederland heeft enorme internationale bloemenveilingen, waar levend materiaal uit alle windstreken wordt aangevoerd, verhandeld, met elkaar in contact kan komen, en wordt doorgevoerd (Vermeulen *et al.* 2004);
- Nederland heeft veel tuinbouwkassen met een warm microklimaat. Dat betekent dat bio-invasies niet alleen kunnen komen uit gematigde klimaatzones, maar ook uit de tropen en subtropen;
- Nederland is een vooraanstaand importeur en vooral exporteur van ballastwater (Aguasense 1998a).

Dat betekent niet dat Nederland lukraak soorten verspreidt. Dat zou namelijk snel worden afgestraft, want volgens de internationale handelsregels mogen landen export van landbouwziekten en -plagen te beantwoorden met een handelsboycot. Vandaar dat Nederland zeer actief is om export van besmette partijen te voorkomen. Toch gaat er bijna geen jaar voorbij of één of meer landen sluit vanwege de vondst van een besmette partij zijn grenzen voor Nederlandse bloemen, planten, vee, vlees of zuivel. Recente aanleidingen waren varkenspest, vogelpest, MKZ, Californische trips en de Middellandsezeevlieg. We zijn en blijven een potentieel biodistributieland.

¹ Hier was sprake van een zichzelf versterkende keten van biologische en maatschappelijke factoren. Eerst deden de Spanjaarden er alles aan om de Indianen als slaven in te zetten, bijvoorbeeld in het Peruviaanse rijk van Pizarro. Dat was een logische stap voor zover bijna de helft van het subcontinent door de Inca's was onderworpen en de overgrote meerderheid van de bevolking reeds slaaf was. De operatie mislukte door de massale sterfte onder de Indianen als gevolg van de door Europeanen meegebrachte ziektekiemen. Daardoor ontstond vraag naar Afrikaanse slaven. Ook dat was logisch in zoverre slavenhandel een normaal Afrikaans gegeven was, overigens vooral in Arabische/islamitische handen. De Afrikanen brachten echter extra ziekten mee, waardoor nog meer Indianen stierven en vervolgens nog meer vraag naar Afrikaanse slaven ontstond. Vóór de zestiende eeuw deden Europese landen nauwelijks aan slavenhandel. De Spanjaarden zouden er nooit aan zijn begonnen als Zuid-Amerika vol gezonde Indiaanse arbeidskrachten gezeten had, die al generaties lang slaaf waren.

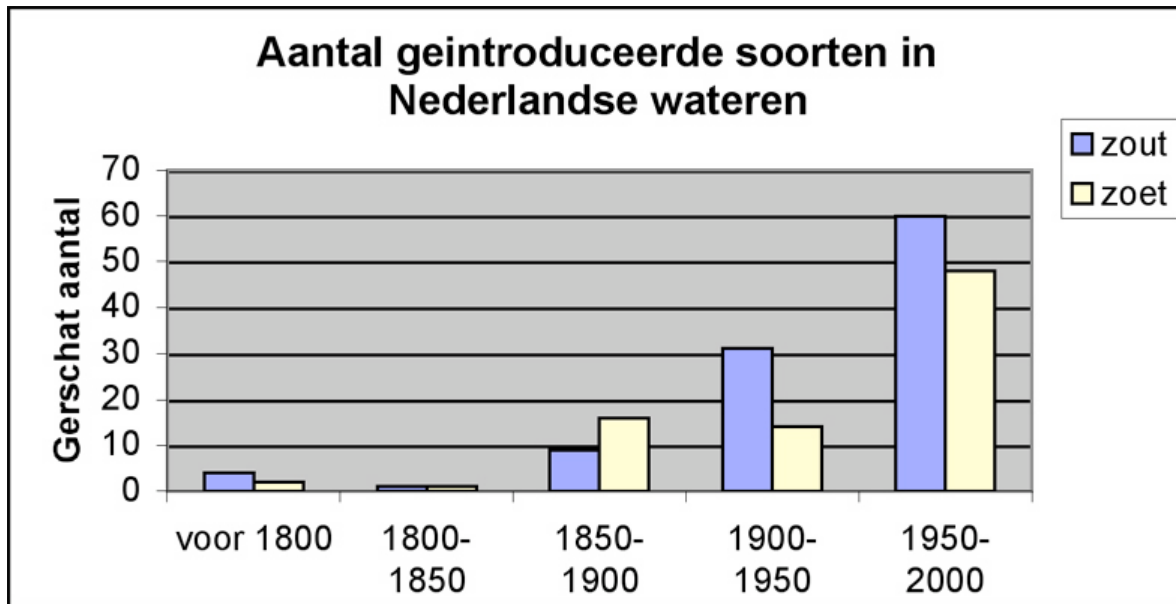
² Zie: www.nda.agric.za/vetweb/History/H_Diseases/H_Animal_Diseases_in%20SA7.htm.

7.3 Nederland als object van bioglobalisering

Gezien het voorgaande is het weinig verrassend dat (ook) in Nederland zelf in toenemende mate bio-invasies optreden.

Invasies in aquatische milieu's

Sinds ongeveer 1850 is duidelijk sprake van een toename van introducties in de Nederlandse zoete en zoute wateren (Figuur 4).



Figuur 4 Aantal geïntroduceerde soorten in Nederlandse wateren in de tijd.

Inmiddels zijn bijna 200 aquatische exoten gesignaleerd, waarvan ruim de helft in zout water. Voor overzichten verwijzen we naar Van der Velde *et al.* (2002), Wolff (in druk) en Bij de Vaate (2004). Een nog ongepubliceerde soortenlijst van Van der Velde telt:

- voor zoet water: 20 planten (incl. fytoplankton) en 65 dieren (incl. protozoa);
- voor zout water: 53 planten (incl. fytoplankton) en 131 dieren (incl. protozoa).

Van 36 van deze soorten is het nog niet zeker of ze tot de Nederlandse natuur zullen gaan behoren, omdat ze slechts van één of enkele locaties bekend zijn.¹

Met name in de laatste 5 jaar is het aantal introducties toegenomen, zodat het werkelijke aantal inmiddels eerder in de buurt van de 300 zal liggen.

Berekend is dat alleen al met ballastwater elke 4 jaar 1 soort in Nederland wordt geïntroduceerd (Aquasense 1998b, verwijzend naar een berekening in Aquasense 1998a). Welke van die soorten blijven zal de tijd moeten leren.

Voor de biodiversiteit is de vraag van belang of er sprake is van *verdringing* van inheemse soorten. Daarvoor zijn in Nederland nog weinig aanwijzingen. Er zijn wel wat voorbeelden, maar soms komt zo'n verdrongen soort toch terug. Dat kan zelfs na tientallen jaren nog gebeuren. Voorbeeld in zout water: de boormossel *Petricola pholadiformis* leek in Nederland de inheemse witte boormossel *Barnea candida* te gaan verdringen. Later bleek dat toch niet het geval te zijn.

In de Rijn is de laatste tijd sprake van een reeks Ponto-Caspische invasies, waarbij wel verdringing plaatsvindt.

Mechanismen: de ene soort eet zijn concurrenten op, een andere neemt substraat in beslag, etc. Bij de Vaate (2004) noemt een aantal negatieve effecten van invasieve aquatische exoten in Nederland. Maar

¹ Een zeer recente nieuwkomer is de *Atlantic croaker*, *Micropogonias undulatus*, een vis van de Atlantische kust van Noord-Amerika, waarvan exemplaren zijn gevonden in Engeland, België en het Noordzeekanaal. Vanwege de knorrende geluiden die hij maakt is hij "knorrepos" gedoopt. De soort is mogelijk meegekomen met ballastwater (de Volkskrant 22 januari 2005).

echte verdringing komt in die lijst amper voor. Volgens Wolff (2000) zijn er in het mariene milieu geen gevallen van verdringing.

Er zijn natuurlijk wel gevallen van uitsterven. Die nemen ook toe. Maar we weten in veel gevallen niet of die te maken hebben met introducties. Wel is bekend dat de rivierkreeft *Astacus astacus* is gedecimeerd door de kreeftenpest *Aphanomyces astaci*, een schimmel die was ingevoerd met partijen Amerikaanse kreeften. Door de decimering kwam er ruimte voor andere soorten, die waren ontsnapt uit kweekinrichtingen of uitgezet door aquariumhouders. De nieuwe soorten kunnen beter tegen watervervuiling en met name de Amerikaanse rivierkreeft is ongevoelig voor de kreeftenpest.

Zoetwaterplanten en -dieren

Zoals opgemerkt zijn in zoet water al exotische 20 planten (incl. fytoplankton) en 65 dieren (incl. protozoa) vastgesteld. Om welke taxonomische groepen gaat het? Voor zoet water zie Box 60.¹ Bij de planten overwegen de gametofyten, bij de dieren de kreeftachtigen en de vissen.

Waar komen deze zoetwatersoorten vandaan? Dat staat weergegeven in Box 61. We zien dominantie van soorten uit Oost-Europa, Noord Amerika en Oost-Azië. Deze herkomst weerspiegelt enerzijds klimaatzones, anderzijds dominante handelroutes.

Zoutwaterplanten en -dieren

Voor zoutwatersoorten gaat het zoals gezegd om 53 soorten planten (incl. fytoplankton) en 131 soorten dieren (incl. protozoa). Wolff (in druk) noemt 30 soorten planten en 68 soorten dieren. De verdeling over taxonomische groepen is weergegeven in Box 62. Verschil met de zoetwaterplanten is dat de roodwieren domineren. Bij de dieren overheersen de kreeftachtigen en de tweekleppigen, niet de vissen.

Waar komen deze soorten vandaan? Dat staat aangegeven in Box 63. Veruit de meeste soorten komen uit het Noordwestelijk deel van de Atlantische en de Grote Oceaan.

Hoe definitief zijn deze vestigingen? Wolff beschouwt 60 soorten als permanent in ons land gevestigd, 18 als tijdelijk en 18 als recent gevestigd. 4 soorten werden wel ingevoerd, maar vestigden zich niet en van 1 is onbekend of hij zich heeft gevestigd. Hiernaast geeft hij nog een lijst van 12 soorten uit het aangrenzende noordoost-Atlantische gebied die mogelijk in Nederland zijn ingevoerd, maar misschien op eigen kracht ons land hebben bereikt, en een lijst van 38 soorten waarvoor onvoldoende bewijs is gevonden dat het een introductie betreft.

Tenslotte moet nog worden opgemerkt dat sinds het verzamelen van de informatie voor deze publicatie er al weer enkele tientallen nieuwe soorten zijn gevonden. Hun status als wel of niet gevestigd kan echter nog niet worden vastgesteld.

Planten

De Nederlandse wilde flora telt volgens Odé *et al.* (2003) 1.490 soorten. Daarvan zijn er 1.130 inheems en 360 sinds de oudheid zodanig ingeburgerd dat ze tot de Nederlandse flora worden gerekend.² Het historisch verloop van de inburgering was als volgt:

- 130 soorten vóór 1500;
- 85 in de 19^e eeuw;³
- 145 in de 20^e eeuw.

Soorten die zich voor 1500 hebben gevestigd worden *archeofyten* genoemd, soorten die zich daarna hebben gevestigd *neofyten*. De snelheid van inburgering neemt toe. Volgens Pegtel (2003) is in de periode 1500-1996 gemiddeld 1 neofyt per jaar ingeburgerd. En in de periode 1962-1996 waren dat er zelfs 2 per jaar.

Van de nieuwkomers hebben maar liefst 65% soorten zich verspreid vanuit tuinen, 25% hebben hun gebied op natuurlijke wijze uitgebreid en 10% zijn onbedoeld geïntroduceerd met schepen, treinen, auto's etc. (zgn. adventiefplanten).

¹ In deze lijst geen planktonsoorten, parasieten en epibionten.

² Onder ingeburgerde soorten verstaan zij die soorten die zich ten minste drie generaties spontaan hebben kunnen voortplanten onder de Nederlandse condities, én meer dan één vindplaats bezetten.

³ Volgens Odé *et al.* waren er tussen 1500 en 1800 nauwelijks invasies. Maar dat lijkt ons weinig geloofwaardig.

Opmerkelijk is dat meer dan de helft van soorten zich vestigt in stedelijke milieus, waarvan 60% op straat en 20% op stenen muren (Denters 2004).¹ Daarmee is de straat onze belangrijkste acceptor (zo men wil: opvangcentrum) van exoten! Dat past in het beeld dat invasies vaak plaatsvinden in verstoorte milieus. Maar het is ook een gevolg van de opwarming van het klimaat, die het sterkst merkbaar is in de stenen stad. Veel nieuwkomers zijn dan ook afkomstig uit warme landen (Box 64). De stedelijke flora telt al 700 soorten, dat is bijna de helft van de totale Nederlandse flora! En van die 700 soorten is maar liefst eenderde exoot (Denters 2004).²

De exoten dragen onmiskenbaar bij aan de biodiversiteit in Nederland, met name in de stad. Daar richten ze tot dusver weinig schade aan. Uitzonderingen zijn de Japanse duizendknoop en de reuzenberenklauw, die plaatselijke inheemse planten verdringen. De berenklauw kan bovendien bij de mens jeuk, brandblaren of zelfs bloedvergiftiging teweegbrengen. Meer schade in de toekomst is echter niet uitgesloten, want de invasiebiologie leert dat ca. 10% van de ingeburgerde soorten zich ontwikkelt tot plaag en dat schadelijke uitbreidingen soms pas lange tijd na vestiging optreden.

Buiten de stad richten nieuwkomers al meer schade aan:

- als onkruiden in de landbouw (bijv. knolcyperus) en de bosbouw (Amerikaanse vogelkers);
- als woekerplant in het water, bijvoorbeeld waterhyacint, watersla en hydrilla. De schade is zowel economisch als ecologisch, want onder de bedekking door de woekerplant verandert met name het lichtklimaat sterk. Daardoor wijzigt de soortensamenstelling; meestal zijn er minder soorten;
- als plaag voor inheemse vegetaties: naast de Japanse duizendknoop verdringen ook twee soorten mossen (grijs kronkelsteeltje en zuidelijk kantmos) plaatselijk inheemse soorten (Bal 2004).

Landdieren, vogels en amfibieën

Het aantal invasieve gewervelde dieren is veel kleiner dan het aantal planten. Gerekend over de hele geschiedenis vanaf de oudheid gaat het (exclusief vissen) om 12 soorten zoogdieren, 9 vogels en 2 amfibieën. Box 65 geeft een overzicht.

Afgaande op deze gegevens ontstaat het volgende beeld:

- In totaal kunnen 23 soorten worden aangemerkt als invasief, hoewel slechts 5 binnen ons land grootschalige expansie hebben vertoond: konijn, bruine rat en huiskat³ en meer recent muskusrat, beverrat en nijlgans.⁴
- 18 introducties dateren uit de 20^e eeuw, slechts 5 uit eerdere perioden. Dat hoeft niet te betekenen dat het tempo van introducties navenant sterk is toegenomen, want er kunnen oudere introducties zijn geweest die na verloop van tijd zijn mislukt en daarom niet in de lijst zijn gekomen.
- De meeste soorten komen oorspronkelijk uit gematigde klimaatzones op het noordelijk halfrond. Slechts 2 (beverrat en zwarte zwaan) komen van het zuidelijk halfrond. En 4 (beverrat, halsbandparkiet, nijlgans en huiskraai) uit de tropen.
- 16 soorten komen uit de Oude Wereld, waarvan 3-4 (konijn, moeflon, Italiaanse kamsalamander en mogelijk damhert) uit Zuid-Europa. 7 soorten komen uit de Nieuwe Wereld.

¹ Denters behandelt kruiden, geen bomen. Des te aardiger is een recente inventarisatie van exotische bomen in Amsterdam-Zuid (Lever 2002). De emeritus-hoogleraar J. Lever inventariseerde de bomen in de buurt waar hij woont. Op een gebied van ca. 10 km² blijken tenminste ca. 170 boomsoorten te groeien, waarvan er ca. 89 afkomstig zijn van een ander continent (als beginjaar houden we 1850 aan, dus bijvoorbeeld amandel, perzik, olijf en abrikoos worden niet meegerekend). Daarvan blijken er 51 afkomstig uit Azië, 32 uit Noord-Amerika en slechts 2, 1 resp. 3 uit Zuid-Amerika, Afrika en Australië. Opvallend is het grote aantal soorten uit Japan en Noord-Amerika, dus van min of meer dezelfde klimaatgordel. Hoewel deze inventarisatie niet geheel volledig is, laat zij duidelijk zien hoe intensief en wijd vertakt de import van uitheemse planten is geweest. Enkele van de soorten, waaronder de Gewone of Kaukasische vleugelootboom *Pterocarya fraxinifolia*, planten zich in het Beatrixpark zodanig voort dat ze moeten worden bestreden (mond. med. J. Lever).

Een geografisch spiegelbeeldige situatie bestaat in Zuid-Afrika, waar maar liefst 69% van de voor landschap en landbouw bedreigende exotische planten afkomstig is uit Australië en Zuid-Amerika (Stirton 1983).

² In de komende Flora van Nederland zal een nieuw plantendistrict worden toegevoegd: het urbane district.

³ De huiskat is een grensgeval. De expansie is sterk afhankelijk van de mens. Er zijn slechts enkele lokale autonome populaties. Volgens Nowak (1999) stamt onze huiskat *Felis catus* af van de ondersoort *Felis silvestris lybica*, dus niet van de inheemse wilde kat *F.s. silvestris*, waarmee hij overigens wel kan kruisen.

⁴ Ook andere ganzen breiden zich recent regionaal sterk uit. Twee daarvan, Indische gans en grote Canadese gans, zijn exoten. Andere (brandgans, kolgans, rotgans) zijn wel inheems als wintergast, maar niet als broedvogel. Deze dieren zorgen voor extra ganzenschade in de landbouw (vraat, vervuiling van veevoer).

- 20 van de 23 soorten zijn opzettelijk ingevoerd, vooral voor productie, jacht en sier. De vogels zijn bijna allemaal ingevoerd voor de sier (met name voor watervogelcollecties), de meeste zoogdieren voor (bont)productie en/of jacht.
- 3 daarvan zijn elders in Europa ingevoerd en hebben vervolgens op eigen kracht Nederland weten te bereiken: muskusrat, wasbeer en wasbeerhond.
- Slechts 2 soorten (bruine rat en recent huiskraai) zijn meegelift, i.c. met schepen. Dat illustreert wat eerder werd opgemerkt: grote dieren liften zelden mee, maar worden wel opzettelijk ingevoerd.
- Slechts 4 soorten, alle zoogdieren, richten op grote schaal schade aan: huiskat,¹ konijn, bruine rat en muskusrat.² Mogelijk is ook de nijlgans bezig zich tot plaag te ontwikkelen.³

Arthropoda

Recent is een eerste inventarisatie gemaakt van invasieve arthropoda (geleedpotigen) in Nederland (Reemer 2003). Het betreft groepen als vliegen, vlinders, kevers, libellen, spinnen, mijten en wantsen. De inventarisatie beperkt zich tot invasies vanaf 1950 en is ook in andere opzichten niet geheel compleet: buiten beschouwing gelaten zijn enkele taxonomische groepen waarvoor geen specialisten konden worden gevonden, “echte” aquatische soorten en soorten die zich niet sterk hebben uitgebreid. Ook oudere invasies, zoals die van diverse soorten kakkerlakken, zijn niet meegenomen. Daar staat tegenover dat – anders dan in het voorgaande overzicht – de Europese soorten die zich actief, dus zonder hulp van de mens, hebben gevestigd wel zijn meegenomen.⁴ Daarom zijn de getallen nauwelijks vergelijkbaar.

De totale lijst komt op 104 soorten. Laten we de actieve verspreiders buiten beschouwing, zoals we in dit rapport doen, dan komt het aantal op 67 soorten. Dat is in een halve eeuw al drie keer zoveel als het totale aantal gewervelde invasieve diersoorten (minus vissen) in de hele geschiedenis.

Een nadere analyse van de 104 soorten levert het volgende beeld:

- 73% komt uit Europa, 27% van elders;
- de soorten van elders komen uit alle werelddelen uitgezonderd Antarctica, met een relatief groot aandeel (11%) uit Noord-Amerika;
- de Europese soorten hebben zich grotendeels (88%) op actieve wijze gevestigd, dus zonder hulp van de mens;
- de niet-Europese soorten hebben zich alle op passieve wijze gevestigd. Wel heeft een deel daarvan zich elders in Europa gevestigd en daarna op eigen kracht Nederland bereikt.

De ontwikkelingen gaan onrustbarend snel. Alleen al sinds 1992 hebben zich 30 soorten gevestigd en sterk uitgebreid. Dat is bijna 3 per jaar. Van deze groep hebben de auteurs een nadere analyse gemaakt:

- 19 soorten komen uit Europa, 7 direct of indirect uit Noord-Amerika en 1 uit achtereenvolgens Zuid-Amerika, Azië, Afrika en Australië. Het overgrote deel komt dus van het noordelijk halfrond;
- de meeste vestigingen uit Europa zijn actief en waarschijnlijk veroorzaakt door de opwarming van het klimaat;
- bij de passieve verspreidingen is de belangrijkste vector: import van plantmateriaal (7 soorten). Andere vectoren: import van appels, tabak, honden, import als biologische bestrijder en scheepvaart (alle 1 soort);
- bij passieve verspreiding gaat het slechts in één geval om opzettelijke verspreiding door de mens (i.c. voor biologische bestrijding), in de overige gevallen om onopzettelijke verspreiding, dus om “versteelingen”. Dat is het spiegelbeeld van wat we vonden bij de gewervelde dieren en past in het patroon dat kleine invasieve soorten doorgaans zijn meegelift en grote doorgaans opzettelijk zijn ingevoerd;
- Van de 11 soorten die van buiten Europa komen is er 1, de netwants *Stephanitis takeyai* uit Japan, het eerst in Nederland zelf aangetroffen, waarschijnlijk niet toevallig bij Boskoop, wereldspeler op het gebied van de boomteelt.

Helaas vermeldt de studie niet hoe deze aantallen zich verhouden tot het totale aantal soorten van deze groepen in Nederland, dus welk *percentage* van de soorten exoot is.

Interessant is ook het beeld van nut en schadelijkheid:

- van alle 104 invasieve soorten geldt 7% als nuttig en 36% als schadelijk;
- is van de Europese soorten 22% schadelijk, van de niet-Europese soorten is dat maar liefst 75%;

¹ Daar staat tegenover dat de (half-exotische) huiskat plaatselijk de rat reguleert.

² In 2003 werden bijna 399.120 muskusratten en 4.847 beverratten gevangen (LCCM 2004).

³ Hooguit 1 plaag onder 9 gevestigde invasieve vogelsoorten komt overeen met de *tens rule* van Williamson. Maar 3-4 plagen (afhankelijk van de vraag of we de huiskat meerekenen) onder 12 zoogdieren is duidelijk meer.

⁴ Dat is een inconsistentie in dit rapport, maar correctie was niet mogelijk bij gebrek aan voldoende basisgegevens.

- van de 30 sinds 1992 gevestigde invasieve exoten zijn er maar liefst 23 schadelijk of potentieel schadelijk voor samenleving en/of natuur;
- de schade doet zich voor in landbouw, bosbouw, sierplanten en –bomen, de menselijke leef- en werkomgeving en de gezondheid van mens en dier. Veruit de meest voorkomende schade is aantasting van planten. Daarnaast: huidirritatie bij vee en huisdieren, overbrenging van ziekten en zelfs vraat aan oude boeken en zoölogische collecties;
- over de effecten op de natuur is weinig bekend. Er is geen geval bekend van een soort die een ecosysteem sterk beïnvloedt. Wel wordt van één invasieve soort sprinkhaan en één soort hooiwagen vermoed dat ze inheemse concurrenten verdringen.

Recent zijn er berichten dat inheemse soorten lieveheersbeestjes van het geslacht *Coccinella* worden verdrongen door de Aziatische soort *Harmonia axyridis*, in België en Frankrijk ingevoerd ter bestrijding van luizen in de glastuinbouw.¹ De nieuwste vondst is de Japanse thujabastkever *Phloeosinus rudis*, die sierconiferen aantast. Hij werd in 2004 in Ridderkerk gesignaleerd. De mate van verspreiding over Nederland is nog niet bekend.

Bij deze hoge cijfers moet ook nog worden bedacht dat alleen soorten zijn meegenomen die zich *sterk* hebben uitgebreid. Dat de exoten die van ver komen vaker schadelijk zijn kan worden verklaard uit de eerder genoemde *enemy release* hypothese. Soorten die hierheen komen door klimaatverandering zullen vaak vergezeld gaan van hun natuurlijke vijanden. Voor soorten die van ver weg komen geldt dat niet of in mindere mate. Bovendien kunnen zij soms onbezette niches innemen. Toch zijn er ook onder soorten die oprukken door klimaatverandering uitgesproken killers (Box 74).

7.4 Economische kosten door bio-invasies

Hoeveel economische schade richten deze exoten aan? Dat bezien we per sector.

Visserij, aquacultuur etc.

Bij de Vaate (2004) noemt 36 aquatische exoten met duidelijk negatieve effecten. De meeste daarvan hebben ook economische effecten, met name in:

- de visserij (schelpdiervergiftiging, parasieten, schade aan netten);
- de aquacultuur (voedsel- en plaatsconcurrentie, parasieten);
- het waterbeheer (verstopping watergangen);
- de industrie (verstopping koelwaterinlaten).

Maar er zijn nog maar weinig economische cijfers beschikbaar.

Landbouw en bosbouw

De Nederlandse land- en tuinbouw herbergt tal van schadelijke invasieve soorten. Het gaat om uiteenlopende taxonomische groepen en teelten (Box 67).

Insecten en mijten veroorzaken ook schade aan sierplanten, zowel in tuinen en parken als in de sierteelt, waaronder kastanje, linden, esdoorn, sierconiferen, stokroos, hortensia en dopheide. In 1994 is een netwants gevonden in Boskoop, ingevoerd met plantmateriaal, die schadelijk is voor dopheidesoorten.

De schade is velerlei:

- preventiekosten om in- en uitsleep van de schadelijke soorten te voorkomen op landelijke niveau en op bedrijfsniveau (hygiëne);
- monitoring;
- productbemonstering;
- bestrijding: chemisch, biologisch, mechanisch of anderszins;
- bij quarantaine-organismen: teeltverboden voor gewassen die kunnen worden besmet en de ziekte kunnen verspreiden.

De totale kosten van bestrijdingsmiddelen in de land- en tuinbouw bedragen volgens het LEI (2003) vanaf 1990 ca. 300 miljoen euro per jaar. Daar komen nog bij de kosten van bestrijdingsapparatuur, biologische bestrijding in kassen, monitoring, weerpalen en productbemonstering. We schatten die kosten arbitrair op 50-100 miljoen euro per jaar, waardoor het totaal komt op 350-400 miljoen per jaar.

¹ J. van Lenteren, geciteerd in de Volkskrant van 4 augustus 2004.

Bij de Plantenziektkundige Dienst noch het Landbouw Economisch Instituut is bekend welk percentage van de bestrijdingskosten moet worden toegerekend aan invasieve soorten.

Eén van de weinige bronnen die we konden vinden is een publicatie van Van Lenteren *et al.* uit 1987 met cijfers over invasieve insecten in de tuinbouw (Box 68). Hij merkt op dat invasieve insecten geen problemen veroorzaken in de groenteteelt in de vollegrond, maar des te meer in fruitboomgaarden en de kas-cultuur. Ook signaleert hij aanzienlijke problemen in de bosbouw, in openbare parken en in de opslag van voedsel in silo's en in huizen.

Opnieuw arbitrair stellen we het percentage van de bestrijdingskosten dat kan worden toegedeeld aan invasieve soorten op 30-60% (waarbij we het jaar 1800 als cesuur kiezen, waardoor bijvoorbeeld ook *Phytophthora* als invasief geldt). Daarmee komen we op 117-240 miljoen euro bestrijdingskosten per jaar. In de bosbouw bedragen de bestrijdingskosten van de Amerikaanse vogelkers, bijgenaamd bospest, 2 miljoen euro/jaar.¹

Daar komt nog een aanmerkelijk bedrag bij: de schade die de invasieve soorten ondanks de preventie en bestrijding aanrichten. Die schade kan bestaan uit kwantitatief en/of kwalitatief opbrengstverlies. Daarover zijn nauwelijks cijfers beschikbaar, maar als we mogen afgaan op cijfers van de VS, Australië en Nieuw Zeeland (Pimentel 2002), dan ligt die schade iets lager of beduidend hoger dan de kosten van de bestrijding. We blijven aan de lage kant en gaan uit van een lage schatting van 50% en een hoge schatting van 150% van de bestrijdingskosten. Dat komt neer op 58,5-360 miljoen euro. Daarmee zou het totaal van bestrijdingskosten plus schade uitkomen op 175,5-600 miljoen euro/jaar.

Van de apparaatkosten van de Plantenziektkundige Dienst à 28 miljoen euro/jaar kunnen we 70-80% toerekenen aan preventie van bio-invasies door controles op quarantaine-organismen (L. Smits, mond. med.). Dat komt op 21-24 miljoen euro/jaar.

Veehouderij

Nederland is de laatste jaren geconfronteerd met drie grote epidemieën van invasieve dierziekten: varkenspest in 1997, mond- en klauwzeer in 2001 en vogelpest in 2003. De kosten daarvan zijn geschat op resp. 1,5 à 1,9 miljard, 874 miljoen en 880 à 980 miljoen euro (Box 69). Dat telt op tot meer dan 3 miljard euro in 7 jaar tijd.

Daar komt bij een meer sluipende invasie van BSE, waarschijnlijk met veevoer en/of rundvee ingevoerd vanuit Engeland. Hoewel in Nederland geen enkel menselijk slachtoffer bekend was (en is), namen de autoriteiten het zekere voor het onzekere en gingen over tot het ruimen van duizenden met diermeel gevoerde jonge runderen, tientallen veestapels van bedrijven waar een besmet dier was aangetroffen, een verbod op het vermarkten van zogenaamde risico-organen, testen van alle voor slacht aangeboden runderen en een verbod op verwerking van diermeel, inclusief vismeel, in veevoer.² De kosten hiervan zijn voor een klein deel (ruimen) incidenteel, voor het grootste deel structureel. De BSE-epidemie deed verdenkingen rijzen dat ook de nauw verwante ziekte scrapie bij schapen schadelijk zou kunnen zijn voor de mens. Daarom zijn programma's opgezet om de schapenstapel scrapie-vrij te maken. De totale kosten van BSE in de periode 1995 t/m 2004 zijn geschat op 554 tot 940 miljoen euro.

De totale kosten van 4 dierziekten bedragen hiermee 3,9 tot 4,6 miljard euro in 10 jaar tijd.

We mogen dit uiteraard niet zonder meer vertalen naar 0,4 of 0,5 miljard per jaar, want mogelijk hadden we te maken met een ongunstige samenloop van omstandigheden.³ Maar een minimum van 95 miljoen euro per jaar, enigszins arbitrair verdeeld over 20 miljoen schade en 80 miljoen bestrijdingskosten, lijkt zeker niet te hoog.

Natuurbeheer

Hiervoor verwijzen we kortheidshalve naar de soorten en effecten genoemd in hoofdstuk 7.2.

In ons land worden slechts weinige voor de natuur schadelijke exoten actief betreden (we laten hier muskusrat en beverrat, die vooral schadelijk zijn in andere opzichten, buiten beschouwing). We noemen al de Amerikaanse vogelkers, de muntjak en het damhert. Maar alleen de eerste vergt tot dusver aanmerkelijke bestrijdingskosten.

¹ In 1999 is uit N. Amerika een natuurlijke vijand van de vogelkers gearriveerd: de boorvlieg *Rhagoletis cingulata*. Die helpt weinig bij de bestrijding, maar zal mogelijk wel schade toebrengen aan kersenbomen en verwante soorten.

² Hergebruik van vismeel in veevoer werd niet verboden omdat dat schadelijk zou zijn, maar omdat de gangbare testen geen onderscheid konden maken tussen eiwitten van vissen en van zoogdieren.

³ Voor de aardigheid noemen we hier ook een exoot met een pluspuntje voor de veehouderij: de roofvlieg *Hydrotaea aenescens* is na 1950 niet zonder succes geïntroduceerd vanuit Noord-Amerika ter bestrijding van huisvliegen in stallen.

Opmerkelijk is dat van de 6 miljoen euro aan de schadevergoedingen die het Faunafonds in 2003 toekende (onder meer aan boeren) het leeuwendeel betrekking heeft op inheemse soorten. Konijn, damhert, Canadese gans en fazant zijn samen goed voor nog geen 17.000 euro (Faunafonds, Jaarverslag 2002/2003).

Een nieuwkomer met grote gevolgen is een calicivirus, *Rabbit Hemorrhagic Disease Virus*, dat dodelijke bloedingen in konijnen veroorzaakt. Het werd voor het eerst waargenomen in China in 1984 en in de Benelux in 1990. Inmiddels is de konijnenstand hier drastisch teruggelopen en in sommige gebieden zelfs verdwenen. Dat leidt tot het dichtgroeien van de vegetatie, waar natuurbeheerders vaak niet blij mee zijn.

Om de vegetatie open en gevarieerd te houden zijn in Nederland al vóór de komst van genoemd virus grote aantallen exotische grote grazers ingevoerd, zoals paarde- en runderrassen. De laatste tijd ontstaat discussie over de vraag of de biodiversiteit daar wel bij is gebaat. De vraag of de grazer exoot of geen exoot is, is daarbij overigens van ondergeschikt belang. Deze discussie is nog onbeslist, maar mochten we het aantal grote grazers willen terugbrengen, dan zal dat weinig moeite kosten en meer geld opleveren dan kosten.

Recreatie en toerisme

We beperken ons tot vier effecten:

- bij incidentele invasies van giftige algensoorten kunnen toeristen wegblijven. De dan optredende schade voor de toeristische sector hebben we geschat op 1 miljoen euro;
- tijdens de MKZ-crisis in 2001 werden tal van wegen en paden langdurig afgesloten. De schade voor de horeca liep op tot 200 miljoen euro;
- bovengenoemd RHD virus heeft de mogelijkheden voor konijnenjacht drastisch gereduceerd. De economische schade daarvan in termen van jachtrechten is voor zover wij weten nog niet gekwantificeerd;
- de Japanse oester belemmert plaatselijk de strandrecreatie langs de Oosterschelde.

Woningen en gebouwen

Hiervoor verwijzen we kortheidshalve naar Box 71.

Ter aanvulling: de spektor *Dermestes* is in 1977 met de scheepvaart uit Zuid-Amerika ingevoerd. Deze soort vreet aan graanproducten en zoölogische collecties.

Cijfers over aangerichte bestrijdingskosten en schade zijn ons niet bekend.

Milieu

Zowel bij het voorkomen van bio-invasies als bij het bestrijden invasieve soorten worden pesticiden c.q. herbiciden gebruikt. Zo wordt de aangroei van koelwaterinlaten bestreden met chloor.

Een groot deel van het bestrijdingsmiddelengebruik in de landbouw is toe te rekenen aan invasieve exoten, zoals *Phytophthora*. Binnengedrongen quarantaine-organismen zoals *Thrips palmi* worden bestreden met een milieukritisch middel als dichloorvos. Daar komt bij dat de land- en tuinbouw als vooraanstaand exporteur van levend plantaardig materiaal genoodzaakt is veel te spuiten. Vooral bij export van uitgangsmateriaal, zoals pootaardappelen, zaden en bollen zijn de fyto-santitaire eisen extreem streng. Hierbij wordt zelfs nog het ozonlaag-aantastende methylobromide gebruikt.

De milieu-effecten zijn niet goed in geld uit te drukken.

Volksgezondheid

Elk jaar worden tal van ziekten in Nederland geïmporteerd. Slechts enkele daarvan zijn in staat hier een eigen leven te lijden of hebben zich hier al permanent gevestigd. De belangrijkste daarvan zijn HIV/AIDS en influenza (griep). Ook importziekten als malaria, buiktyfus, Ebola- en Lassa-koorts zijn gevaarlijk, maar zij gaan hier geen eigen leven leiden. HIV/AIDS en influenza vergen jaarlijks meer dan 100 resp. enkele honderden doden. Daarnaast genereren zij jaar in jaar uit hoge kosten, de eerste door de forse uitgaven per patiënt, de tweede vanwege het grote patiëntenaantal en de daarmee samenhangende economische verliezen en preventiekosten (vaccinatie).

De kosten van griep bedragen 400 miljoen euro per jaar, inclusief economische kosten (Box 72).

De kosten van HIV bedragen 115 miljoen euro per jaar, exclusief economische verliezen door verloren arbeidsdagen etc. (Box 73).

Niet onvermeld mag blijven dat ook sommige exotische plant- en diersoorten gezondheidseffecten hebben.¹ Voorbeelden:

- kakkerlakken zijn een belangrijke oorzaak van astma. Alleen al de behandelkosten kunnen worden geschat op 30-60 miljoen euro/jaar (Box 71);
- de hondenteeke *Rhipicephalus sanguineus*, afkomstig uit Zuid-Europa, kan ziekteverwekkers overbrengen zoals babesiosis en filariasis, incidenteel ook op de mens (Box 71);
- reuzenberenklauw veroorzaakt jeuk, brandblaren en bloedvergiftiging.

De kosten hiervan zijn uiteraard gering vergeleken met die van griep en HIV/AIDS.

Totale kosten

Voor Nederland bestaat geen totaalberekening van de schade van invasieve exoten. Daarom hebben we zelf een eerste, ruwe poging ondernomen in afwachting van meer gedegen studies. Doel is slechts om een orde van grootte te bepalen.

Er zijn tenminste twee methoden om tot een schatting te komen:

1. extrapoleren vanuit buitenlandse gegevens;
2. een optelsom maken van afzonderlijke kostenposten.

Methode 1: Extrapoleren

Extrapolatie kan plaatsvinden op drie manieren:

- Op basis van het *areaal* van Nederland in vergelijking met dat van andere landen waarvan cijfers bekend zijn, onder de aanname dat de schade van invasieve exoten per km² gemiddeld in elk land gelijk is. Dat lijkt geen vruchtbare benadering, want Nederland is relatief dicht bevolkt met mensen zowel als dieren, waardoor de infectiedruk hoog is en invasies meer schade per km² kunnen aanrichten dan elders.
- Op basis van het *aantal inwoners* van Nederland in vergelijking met dat van andere landen, aangenomen dat de schade evenredig is met het aantal inwoners. Maar voor die laatste aanname bestaat geen goede reden. Zo treedt een groot deel van de schade op in de landbouw, bosbouw en veehouderij, en de omvang van deze sectoren per inwoner verschilt van land tot land.
- Op basis van het *BNP* van Nederland in vergelijking met dat van andere landen, aangenomen dat de schade evenredig is met het BNP. Maar ook die aanname is weinig plausibel.

Bovendien houdt geen van de drie manieren rekening met het feit dat Nederland een distributieland is, dat veel exoten importeert. Ook zagen we al dat de getallen van Pimentel *et al.* enerzijds een overschatting zijn (met name de grote schade toegerekend aan de kat), anderzijds een onderschatting, omdat veel posten ontbreken.

Stappen we voor het moment over deze bezwaren heen, en hanteren we het door Pimentel *et al.* berekende getal van 5% van het bruto nationaal product, dan luidt de berekening als volgt. Volgens het CBS was het BNP van Nederland in 2003: 454,3 miljard euro. Een percentage van 5% daarvan zou neerkomen op het onwaarschijnlijk hoge bedrag van 22,7 miljard euro/jaar door invasieve exoten.

Rekenen we met het aantal inwoners, dan komen we op 16 miljoen x \$ 240 = \$ 3,8 miljard/jaar. Dat komt bij een wisselkoers van 1 dollar = 0,75 euro op 2,85 miljard euro/jaar. Dat getal oogt minder ongeloofwaardig, maar is slecht onderbouwd.

Methode 2: Optellen en schatten

Ook bij de tweede methode: optellen van afzonderlijke kostenposten, stuiten we op problemen. Er zijn meer lacunes dan gegevens: zie de talrijke pm-posten in Box 75.

Enkele grote posten die ontbreken zijn de schade door AIDS en de schade door exotische pathogenen en onkruiden in de land- en tuinbouw. Om toch een indruk van de schade te krijgen hebben we deze geschat uit de bestrijdingskosten, die beter bekend zijn. Als lage schatting hebben we gehanteerd: 50% van de bestrijdingskosten, en als hoge schatting: 150% van de bestrijdingskosten. Dezelfde schattingsmethode hebben we gehanteerd bij de muskusrat en de beverrat.

Het totaal van preventie en bestrijding (excl. influenza) komt zo op 674 à 941 miljoen euro/jaar.

Het totaal van de economische schade (excl. influenza) komt op 227 à 772 miljoen euro/jaar.

En het totaal van preventie, bestrijding en schade *inclusief* influenza komt op 1.296 à 2.113 miljoen euro/jaar.

Resteren de overige pm-posten. De meeste daarvan zullen niet zeer hoog zijn, anders waren er wel indicaties van bekend. Maar de bestrijdingskosten en de schade van huisboktor en de driehoeksmossel, de

¹ Ook de rupsen van de eikeprocessiev�inder veroorzaken allergie, maar die soort past niet in het bestek van dit rapport, want zij kwam ook al in 19^e eeuw in Nederland voor en is dus nu terug van weggeweest. Bovendien betreft het een actieve verspreiding.

schade door de varroamijt en de bestrijdingskosten van kakkerlakken zullen in de miljoenen per jaar lopen. We schatten het totaal van alle pm-posten op 20 tot 50 miljoen euro/jaar. Dat brengt het totaal op 1,3 à 2,2 miljard euro per jaar. Maar dat is uiteraard een zeer ruwe schatting, die schreeuwt om nadere studie.

Synthese

De uitkomsten van de verschillende methoden lopen sterk uiteen. Maar we hechten vooralsnog weinig waarde aan extrapolaties op basis van areaal, aantal inwoners of BNP, want die hebben geen goede theoretische en empirische basis.

Ook de tweede methode is echter nog niet goed onderbouwd. Er bestaat nog geen consensus over welke soorten we wel en niet moeten meerekenen en welke schadeposten we op welke manier moeten meetellen. Dit vergt nadere studie en afspraken, ook in internationaal verband.

In afwachting van nadere studie schatten we de kosten van invasieve exoten voor de Nederlandse economie op **1,3 à 2,2 miljard euro/jaar**.

8. Lessen en handelingsperspectieven

8.1 Lessen

Alvorens te kijken naar sturingsmogelijkheden en beleid, trekken we eerst een aantal lessen uit de vorige hoofdstukken:

1. Bio-invasies zijn op zichzelf niets nieuws, maar komen als gevolg van de versnelde globalisering steeds vaker en op steeds grotere schaal voor. Invasies zijn vastgesteld in alle terrestrische en marine natuurlijke en half-natuurlijke ecosystemen, tot in Antarctica.
2. Ook in Nederland volgen de invasies elkaar steeds sneller op. Alleen al sinds 1992 hebben zich hier 30 soorten arthropoda gevestigd, waarvan 12 met hulp van de mens.
3. Vuistregel: ca. 10% van de introducties in de natuur leidt tot een invasie en ca. 10% van de invasies (dus ca. 1% van de introducties) ontwikkelt zich tot een plaag.
4. Sommige introducties zijn zeer gunstig geweest, met name doelgerichte introducties van landbouwgewassen en vee. In vrijwel alle landen ter wereld is de landbouwproductie voor het overgrote deel gebaseerd op een klein aantal uitheemse soorten planten en dieren.
5. Meestal zijn de gevolgen min of meer neutraal.
6. Soms zijn de gevolgen schadelijk tot zeer schadelijk voor economie, milieu, natuur en/of volksgezondheid.
7. We hebben bij introducties dus te maken met een kleine kans op grote schade. Maar die schade is vaak onomkeerbaar.
8. De favoriete strategie van natuurbescherming, vorming van natuurreservaten, biedt geen bescherming tegen bio-invasies. Zoals zij overigens ook geen bescherming biedt tegen klimaatverandering.
9. Soms sterft een invasieve plaag uit (zoals voorkomt bij sommige ziektekiemen), meestal niet. Wel kan de schade door bio-invasies in de loop van de tijd minder worden, onder meer door evolutie van de invasieve soort en/of zijn gastheer. Maar daar kunnen we niet op rekenen. De *chestnut blight* schimmel heeft de Amerikaanse kastanje vrijwel compleet uitgeroeid, maar toont nog geen tekenen van verminderde virulentie.
10. De grootste risico's doen zich voor bij:
 - kleine en afgelegen bioregio's, zoals meren en oceanische eilanden met endemische soorten. Maar ook grote bioregio's als Amerika en zelfs Eurazië zijn allesbehalve onkwetsbaar;
 - verstoorde ecosystemen die bovendien voedselrijk zijn;
 - transporten tussen overeenkomstige klimaatzones. In het geval van Nederland: vooral Noord-Amerika en Oost-Azië. En voor verwarmde kassen en gebouwen: tropische en subtropische zones.De invasies zullen groeien met de handelsstromen. Gezien het toenemende handelsverkeer met China zijn uit die hoek wellicht de meeste invasies te duchten, zowel in Europa als elders.
11. De schade aan de economie betreft uiteenlopende sectoren zoals landbouw, visserij, bosbouw, scheepvaart, waterhuishouding, energiesector en *last but not least* de volksgezondheid. De schade wordt geschat op \$ 336 miljard per jaar (inclusief bestrijdingskosten) alleen al in de VS, VK, India, Zuid-Afrika, Brazilië en Nieuw-Zeeland. Daarvan bestaat \$ 229 miljard uit economische schade aan land- en bosbouw en \$ 106 miljard uit overige schade inclusief infectieziekten van mens en dier. Dat komt overeen met 5% van het BNP van de betrokken zes landen. Als we dat mogen extrapoleren naar wereldschaal zou de schade \$ 1.400 miljard bedragen.

12. Voor Nederland is nog geen schadebedrag bekend. Een ruwe schatting gebaseerd op een optelsom van alle bekende kosten van preventie, bestrijding en schade, aangevuld met schattingen, komt op 1,3 à 2,2 miljard euro per jaar. Veruit de belangrijkste posten zijn plantenziekten, dierziekten en humane ziekten (met name influenza en HIV/AIDS). Laatstgenoemde ziekten eisen bovendien enkele honderden dodelijke slachtoffers per jaar.
13. Tal van schadeposten, zoals de schade aangericht door (invasieve) landbouwplagen en door de muskusrat, worden in Nederland niet geregistreerd.
14. Van de soorten die van ver weg komen (met name Noord-Amerika en Oost-Azië) is een veel groter percentage schadelijk dan van de soorten die uit Europa komen.
15. Schade aan het milieu ontstaat vooral door:
 - preventieve chemische ontsmetting van levend exportmateriaal;
 - chemische bestrijding van geïntroduceerde soorten; tijdelijk als het lukt de soort uit te roeien, permanent als dat niet lukt.
16. De schade aan de natuur bestaat vooral uit verdringing van inheemse soorten, soms ontworming van eco-systemen. Dat is nog nauwelijks gebeurd op continenten en in oceanen (uitroeiing door *Homo sapiens* buiten beschouwing gelaten), maar veelvuldig op eilanden en in meren. In Nederland zijn deze vormen van schade tot dusver gering. Wel is hier sprake van bijvangsten, ook van zeldzame diersoorten, bij het vangen van muskusrat en beverrat.
17. In de toekomst zullen steeds meer bio-invasies optreden, enerzijds door klimaatverandering, anderzijds door de verwachte toename van volume en snelheid van het goederen- en personenvervoer. Maar zelfs als alle invasies zouden stoppen, zullen de problemen nog toenemen, want een onbekend deel van de soorten die zich al hebben gevestigd zal zich vroeg of laat ontpoppen tot plaag. En van de soorten die al een plaag zijn, zal een deel zich uitbreiden.
18. Met het aantal bio-invasies zal ook de schade toenemen. Enkele voorbeelden:
 - Van de 18.000 soorten die volgens de IUCN wereldwijd zijn bedreigd, wordt 1/3 vooral of mede bedreigd door bio-invasies;
 - In de VS bestaat alleen al in de veehouderij vrees voor meer dan 60 potentieel invasieve ziektekiemen en parasieten;
 - Nieuw-Zeeland, waar al 47% van de planten van elders komt, vreest de komst van nog talrijke aquatische en terrestrische planten en dieren (Green 2000);
 - Modelberekeningen geven aan dat bio-invasies de vierde oorzaak van achteruitgang van soorten zijn, na veranderingen in grondgebruik, klimaatverandering en stikstofdepositie.
19. Ook in Nederland gaan de ontwikkelingen verontrustend snel. Gemiddeld vestigt zich:
 - elke vier jaar een nieuwe aquatische soort alleen al met ballastwater;
 - elke drie jaar een nieuwe soort arthropood;
 - elk half jaar een nieuwe plantensoort.
20. Van de volgende groepen exoten lijkt het meest te vrezen.

Op het land:

 - *new emerging diseases*, met name *airborne* virussen;¹
 - andere ziektekiemen voor planten, vee en mens en hun vectoren. Met name de muggensoorten die het West Nile virus (mensen, vogels, paarden) en *blue tongue* (schapen) overbrengen. De

¹ Een serieuze kandidaat voor een nieuwe pandemie is het A (H5N1) vogelgriep virus dat de laatste jaren huishoudt in Zuid-Oost Azië. Het virus is al aangetroffen bij wilde vogels (een meeuw, reigers, een valk en een mus), varkens, tijgers en mensen. Meer dan 200 miljoen stuks pluimvee zijn gestorven of afgemaakt. Oktober 2004 waren van de 43 besmette mensen er 31 overleden. Sindsdien is het aantal slachtoffers nog met tientallen gestegen. Er is zelfs al een mens-mens besmetting vastgesteld. Een vaccin is nog niet beschikbaar. Trekvogels worden wel verdacht van verspreiding van het virus en in Thailand zijn om die reden al ooievaars afgeschoten. Maar wilde vogels lijken eerder slachtoffer dan oorzaak. Meer serieuze kandidaten van verspreiding zijn: vogelmarkten, reizende pluimveehouderijwerkers en de handel in kippen en vechthanen (Bradsher & Altman 2004, McNeil 2004).

kans is reëel dat deze muggen de komende decennia Nederland bereiken als gevolg van klimaatverandering;

- arthropoda die schadelijk zijn voor de landbouw (zoals *Thrips palmi*, nieuwe ziekten en plagen van aardappelen en nieuwe ziekten en plagen van maïs, zoals de maïswortelkever), de glastuinbouw en sierplanten;
- planten (onkruiden) die schadelijk zijn voor landbouw, bosbouw en tuinen;
- kevers die houten onderdelen van gebouwen en funderingen aantasten.

In het water:

- giftige algen;
- voor aquacultuur ingevoerde soorten en hun pathogenen en parasieten;
- Ponto-Caspische soorten, met name kleine kreeftachtigen, die de inheemse fauna verdringen;
- wieren, vissen en kreeftachtigen die ontsnappen uit kweekinstallaties;
- door aquariumhouders in de natuur “geloosde” soorten.

Vooraf kleine organismen (en voortplantingsstadia zoals eieren, zaden en sporen) liften gemakkelijk mee.

21. Bio-invasies zijn een bijverschijnsel van globalisering. Ze zijn deels onvermijdelijk, deels vermijdbaar. Tegen bio-invasies als gevolg van klimaatverandering staan we machteloos. Maar tegen andere antropogene invasies staan we niet bij voorbaat machteloos, want:
 - Een aanmerkelijk deel van de schadelijke invasies in het verleden is voortgekomen uit opzettelijke, soms zelfs geforceerde introducties. Zulke fouten kunnen we in beginsel vermijden;
 - Zelfs bij “flits-invasies” zoals die van SARS in 2003 is beheersing mogelijk gebleken. Met een slagvaardige en wereldwijd gecoördineerde campagne werd binnen enkele weken een dreigende pandemie beheerst en teruggedrongen.
 - Landen als Nieuw-Zeeland en Australië hebben, door schade en schande wijs geworden, tal van invasies weten te voorkomen.
 - De risico's zijn vaak geconcentreerd op bepaalde stromen, met name die van levend materiaal uit landen met overeenkomstige klimaatzone.
22. Heeft een soort zich eenmaal gevestigd, dan is dat - met uitzondering van kleine eilanden - vaak onomkeerbaar, dan wel slechts omkeerbaar tegen hoge financiële- en milieukosten.
23. Er zijn weinig natuurlijke afweermechanismen tegen bio-invasies. Eén van de weinige mechanismen is het hoog ontwikkelde immuunsysteem van vogels en zoogdieren, dat in beginsel door vaccinatie tegen invasieve soorten ziektekiemen kan worden geactiveerd. Maar niet tegen alle ziektekiemen bestaat een vaccin en bovendien is vaccinatie vaak niet toepasbaar bij wilde dieren.
24. Een potentieel effectieve methode is een contra-invasie van pathogeen, parasiet of predator. Maar die is lang niet altijd beschikbaar. Bovendien doen zulke introducties soms meer kwaad dan goed.
25. Van alle invloeden die de mens op het milieu uitoefent zijn bio-invasies misschien wel het minst voorspelbaar. De ecologische theorie is nog amper in staat te voorspellen welke soorten invasief zijn en wat de gevolgen van invasies zijn. Sommige soorten blijken pas decennia na introductie schadelijk, andere – zoals de driehoeksmossel – blijken als snel schadelijk, maar hebben zich dan al zozeer verspreid dat zij moeilijk meer zijn te beheersen. En het voorbeeld van de Japanse oester leert dat experts er met hun voorspellingen behoorlijk naast kunnen zitten. Op dit terrein worden weliswaar theoretische vorderingen geboekt (Ricciardi & Rasmussen 1998),¹ maar de onzekerheden blijven groot.
26. Daarom lijkt een terughoudend beleid geboden op basis van het voorzorgbeginsel: geen introductie tenzij de gevolgen in redelijke mate zijn te voorspellen en aanvaardbaar worden geacht. Een dergelijk *nee, tenzij* beleid lijkt ook geboden voor gentech gewassen.
27. Nederland speelt in de biologische globalisering een relatief belangrijke rol. We zijn een distributieland, produceren en exporteren veel levend materiaal, exporteren veel ballastwater, importeren veel levend materiaal en hebben gigantische internationale bloemenveilingen waar kruisbesmettin-

¹ Zie ook de website: Global Invasive Species Program (GISP), van SCOPE + IUCN + UNEP + CABI: <http://jasper.stanford.edu/GISP/>

gen kunnen plaatsvinden. Daardoor zijn we zowel een belangrijk object als een belangrijke actor van bioglobalisering.

28. De belangrijkste routes (*pathways*) van bio-invasies zijn:¹
 - Transport tussen *gelijksoortige klimaatzones dat klassieke verspreidingsbarrières overschrijdt*. Meestal gaat het niet om transport per auto, maar per schip of vliegtuig. Voorbeeld: een transport tussen Nederland en Noord-Amerika of Japan is riskanter dan een transport tussen Nederland en de tropen.² Maar ook transport tussen Afrika, Zuid-Amerika en zuidelijk Azië is riskant.
 - Transport van *levend materiaal*: planten en dieren. Bij dieren zijn vooral de handel in oesters en de aquariumhandel risicofactoren. Bij planten is aanhangende grond (potplanten, boomkwekerijproducten, pootaardappelen) een veel grotere risicofactor dan bovengrondse delen (snijbloemen e.d.).
 - Transport van *land- en bosbouwproducten*, zoals fruit, wol, vlees, zuivel, tabak en hout, maar ook bijvoorbeeld van houten pellets.
 - Transport van *ballastwater*.
 - Transport als *aangroei op scheepshuiden*.
 - Plaatsen waar levende stromen elkaar kruisen zoals *havens, luchthavens, veemarkten, veilingen en tuincentra*.Belangrijke “toegangspoorten” zijn verstoorde, voedselrijke ecosystemen.
29. In Nederland lijken ballastwater, aangroei op scheepshuiden, plantmateriaal en vee de belangrijkste vectoren.
30. Niet onvermeld mag blijven dat vele exotische ziektekiemen en parasieten van mensen, vee en gewassen potentiële massavernietigingswapens zijn, die in handen kunnen vallen van (bio)terroristen.
31. Alles afwegende is *laisser faire* een riskante en onverantwoorde strategie.

8.2 Handelingsperspectieven

Op basis van deze lessen kunnen we de volgende, vooral op het voorzorgbeginsel gerichte handelingsperspectieven schetsen:

1. De meest verstandige gedragslijn lijkt die van artikel 8 (h) van de Convention on Biological Diversity van 1992: “*to prevent the introduction of, control or eradicate those alien species which threaten ecosystems, habitats or species*”, overigens alleen “*as far as possible and appropriate*”. Deze lijn is inmiddels door velen overgenomen. Meer concreet gaat het om drie hiërarchische *guiding principles*:
 - a. Eerst proberen invasies te voorkomen (preventie).
 - b. Vervolgens detectie en, waar passend, snelle actie om vestiging te voorkomen (uitroeien).
 - c. Voor gevestigde soorten: beheersingsmaatregelen, zoals *containment* of bestrijding.
2. *Preventie* kan zich het best richten op de hierboven onder 19 genoemde prioriteiten en de onder 23 genoemde routes.
3. In het importerende land kan preventie niet alleen worden bedreven door importcontroles, maar ook door maximaal gebruik te maken van de “natuurlijke weerstand” van biota’s. Dat betekent: zorgen dat zo min mogelijk verstoorde, voedselrijke milieus ontstaan. En wellicht ook: activering van inheemse predatoren, parasieten en pathogenen.
4. *Uitroeien* kan het best door de kolonist “in de kiem te smoren”. Dus niet er op gokken dat de soort geen schade zal aanrichten, want voorspellen is moeilijk en hoe langer je wacht, hoe moeilijker en duurder uitroeien wordt.

¹ Voor een nagenoeg volledig overzicht van *pathways* zie Bijlage 5.

² In theorie zou dat dan ook moeten gelden voor transport van Nieuw-Zeeland en Zuid-Chili naar Nederland, maar of dat het geval is, is ons niet bekend.

5. Ook met *opzettelijke* introducties kunnen we het best een “*nee, tenzij*” beleid voeren.¹ Maar naarmate er meer theorieën en methoden met voorspellende waarde komen kunnen we, zonder het voorzorgbeginsel los te laten, vaker gaan werken met risicoanalyses.²
6. *Beheersing* moet zeer gericht (*targeted*) gebeuren, gericht op de invasieve soort. Dat kan in beginsel vaak het best door introductie van monofage natuurlijke vijanden, gesteld al dat die zijn te vinden. Maar zelfs dan is zorgvuldige toetsing vooraf geboden.
7. *Nederland* is weliswaar klein, maar heeft als distributieland een extra verantwoordelijkheid bij de beheersing van bio-invasies, zowel bij import als bij export. Dat rechtvaardigt een hoge plaats voor dit thema op de politieke agenda.
8. Internationaal is de uitdaging om globalisering te ontkoppelen van *bioglobalisering*. En om *free trade* te vervangen door *safe trade*.
9. Ontkoppeling vergt onder meer *ontkoppeling tussen handel in levende en niet-levende goederen*. Handel in levende organismen en verse producten moet strakker wordt gereguleerd. Risicovolle handel in levend materiaal (vooral handel met landen in overeenkomstige klimaatzones) zal strenger moeten worden gereguleerd en gecontroleerd. Is dat niet voldoende, dan zal die handel zelf moeten worden teruggedrongen.³
10. Preventief beleid is niet zonder problemen. Zo zijn importbeperkingen uiteraard nadelig voor exporterende landen. Maar dat geldt in mindere mate voor ontwikkelingslanden, want de meeste van die landen liggen in de (sub)tropen en voor landen met een gematigd klimaat zijn transporten vanuit zulke landen minder riskant dan transporten uit andere landen met een gematigd klimaat. Bovendien kunnen we ontwikkelingslanden compenseren met *extra afzetmogelijkheden voor bewerkte producten*. Dan snijdt het mes aan twee kanten: voor “noord én zuid” minder kans op bio-invasies en voor “zuid” meer kansen om verwerkende industrieën op te bouwen. Aangezien een toename van de zuid-zuid handel wordt verwacht, zijn ook hier extra beleidsinspanningen nodig.
11. Ander probleem bij preventie is (maar dat geldt evenzeer voor bijvoorbeeld in de gezondheidszorg), dat *politici* er minder eer aan kunnen behalen en *bedrijven* er minder winst mee kunnen boeken dan met bestrijding. Politici kunnen het best worden aangesproken op hun verantwoordelijkheid voor de kosten en risico's op lange termijn. Importerende en exporterende bedrijven kunnen wellicht het best worden geactiveerd door toepassing van het beginsel “de vervuiler betaalt”.
12. Ook het uitroeien van gevestigde exoten kan op problemen stuiten. Het is soms technisch niet uitvoerbaar, meestal kostbaar en kan weerstand oproepen bij het publiek. Bewoners kunnen gehecht zijn geraakt aan een exotische boomsoort, dierenbeschermers vinden dat ook exoten recht hebben op bescherming, sommige critici zien het uitroeien van exoten als een vorm van xenofobie en jagers hechten aan hun jachtwild.⁴ Dat is een reden temeer om het accent te leggen op preventie en op “in de kiem smoren”. Maar het is ook een reden voor *zorgvuldige afwegingen* en voor een *maatschappelijk debat* over hoe om te gaan met gevestigde exoten.
13. Op basis van dit rapport formuleren wij de volgende *speerpunten voor het Nederlandse beleid*:
 - a. Zorgen voor een meer rationale *balans in het beleid tussen drie groepen risico's*: die van chemische stoffen, gentech-rassen en invasieve soorten. De laatste krijgen nog weinig aandacht, hoewel de risico's en de onvoorspelbaarheid misschien wel groter zijn. Hier is een inhaalslag nodig.

¹ Voor een overzicht van risico's bij opzettelijke introducties zie: Van Dommelen 1996.

² We kunnen hier veel leren van de medische wetenschap, de artspraktijk, de ggd's, de plantenziektekunde en de diergeneeskunde. Daar heeft men diagnosetechnieken ontwikkeld (het kijken naar details die je snel kunt zien en waar je iets belangrijks uit kunt afleiden) waar de ecologie nog niet aan kan tippen.

³ Hier doet zich een pikante paradox voor. Landen als Australië, Nieuw-Zeeland en de VS zijn enerzijds kampioenen van de vrijhandel, maar zijn anderzijds - door schade en schande wijs geworden - zeer beducht voor bio-invasies. In economisch opzicht prediken zij dus het recht van de sterkste, in biologisch opzicht het recht van de zwakste.

⁴ In de recent verschenen Bomengids van Amsterdam-Zuid (Lever 2002) en in Stadsplanten (Denters 2004) wordt over exoten bijna uitsluitend gesproken in termen van “aanwinst”. En daar is ook veel voor te zeggen. Toch is, met name bij de soorten die zich spontaan hebben gevestigd, de kans groot dat daar toekomstige plagen bij zullen zijn.

- b. Het brede publiek en specifieke doelgroepen *bewust maken* van de risico's van bio-invasies door voorlichtingscampagnes gericht op zowel het brede publiek als op specifieke doelgroepen. Duidelijk maken dat het loslaten van soorten net zo riskant of zelfs riskanter is dan het dumpen van chemisch afval. Prioritaire doelgroepen: toeristen, tuincentra en aquariumhandel.
 - c. Opstellen, in interactie met stakeholders, van *gedragscodes* voor de meest betrokken sectoren.
 - d. In het grensverkeer extra aandacht geven *alle stromen van levend materiaal*, maar ook van hout en houten verpakkingen. Gaten in de regelgeving dichten, met name waar het gaat om aquariumhandel, houthandel, verpakkingshout en ballastwater.¹
 - e. Strenger *handhaven* van bestaande regels en daarbij focussen op risicovolle stromen. En dan met name stromen van en naar gebieden met een overeenkomstig klimaat. Met name: VS, Canada, China en Japan.
 - f. Europa hanteert voor bewerkte producten vaak hogere invoertarieven dan voor verse, levende producten. Nederland zou zich in moeten zetten voor *afbouw van deze tariefescalatie*.
 - g. Terugdringen van het aantal *verstoorde, voedselrijke habitats*, favoriete vestigingsplaatsen van exoten.
 - h. *Minder bescherming* van exotische soorten planten en dieren, voor zover die zich (kunnen) uitbreiden.
 - i. Bevorderen dat bij beplantingen en dergelijke *inheemse soorten voorrang* krijgen. Inzake bio-invasies actief samenwerken met andere Noord-West Europese landen. Bevorderen van een *Europees bio-invasiebeleid*.
 - j. Actief meewerken aan *multilateraal beleid* in het kader van FAO, WTO, Wereldbank en VN, gericht op preventie, uitroeien en beheersen van exoten.
 - k. Toetsen van het *ontwikkelingsbeleid* op eventuele bevordering van bio-invasies.²
 - l. *Bilaterale hulp* aan arme en kwetsbare landen met bedreigde endemische soorten, waaronder eilandstaten, om bio-invasies te voorkomen en zo mogelijk terug te draaien. Daarbij anticiperen op de verwachte toename van de zuid-zuid handel.
 - m. Bevorderen dat *ontwikkelingslanden* in landbouw, bosbouw en visserij gebruik maken van hun *inheemse soorten*. Duizenden tropische boomsoorten zijn bijvoorbeeld nog nooit getoetst op hun bruikbaarheid voor de bosbouw (Bright 1998).
14. Een knelpunt in de uitvoering is de sterke versnippering van de verschillende import- en exportcontroles. Daarom moet de oprichting worden overwogen van een *coördinerend orgaan*, bijvoorbeeld in de vorm van een overkoepelende dienst voor het grensverkeer. Die zou zich moeten richten op coördinatie of zelfs bundeling van alle diensten die toezicht houden op in- en uitgaande stromen van personen, goederen en stoffen. Waarschijnlijk kan efficiencywinst worden geboekt door bundeling met controles op drugs en wapens³.
15. Daarnaast valt de oprichting te overwegen van een *Bioveiligheidsraad*, dan wel een onafhankelijke *Commissie Toelating Organismen*, die adviseert c.q. beslist over alle voorgenomen introducties van nieuwe soorten en variëteiten: door import, klassieke veredeling en gentechnologische veredeling.⁴
16. Voor het *onderzoek* kunnen we de volgende prioriteiten formuleren:
- a. Behoud of creëer voldoende brede *expertise* inzake taxonomie, opsporing en beheersing van alle potentieel invasieve taxa. Werk daarbij samen in Europees verband. Op sommige terreinen, zoals

¹ Regulering van ballastwater kan stuiten op weerstand van de scheepvaartsector. In Canada heeft deze sector zich tegen regulering verzet, zelfs na introductie van de schadelijke oesterparasiet MSX. <http://www.ecologyaction.ca/news/103961478511996.html>

² De *National Invasive Species Council* (2001) noemt vier manieren waarop de VS soms bio-invasies in het buitenland hebben bevorderd: ontwikkelingshulp, militaire operaties, voedselhulp en internationale financiering.

³ Het is overigens een illusie te menen dat gangbare detectiemethoden, zoals röntgenfotografie en speurhonden, bioterroristische introducties kunnen tegenhouden. Voor zulke introducties zijn vaak slechts minieme hoeveelheden ziekteverwekkers nodig. Bestrijding van bioterrorisme vergt heel andere strategieën.

⁴ Voor genetisch gemodificeerde organismen gebeurt dat reeds door de Cogem, voor biologische bestrijders door de Commissie Toelating Bestrijdingsmiddelen, voor andere soorten gebeurt het nog niet. België kent een Bioveiligheidsraad, Nieuw-Zeeland kent een *Biosecurity Law* en een *Minister for Biosecurity* en de VS kent een *National Invasive Species Council*, waarin participeren de ministers van binnenlandse zaken, landbouw, handel, buitenlandse zaken, transport, defensie en financiën, alsmede de Environmental Protection Agency. De Council heeft als primaire taak het opstellen van een *Invasive Species Management Plan*. Recent heeft president Bush toestemming van het congres gekregen om alle diensten die toezicht houden op de veiligheid van in- en uitgaande stromen samen te voegen tot een nieuwe dienst onder het *Department of Homeland Security*.

- plantenziekten, lijkt de kennis in Nederland al te vergaand wegbezuinigd. Nederland Kennisland is hier op zijn retour.
- b. Beter *monitoring* van soorten in Nederland en omliggende landen, vooral bij havens en luchthavens. Doel: *early warning*. Wanneer een verdachte soort wordt gesignaleerd, dan moet deze indien mogelijk snel worden uitgeroeid, tenzij er goede redenen zijn om dat niet te doen. Is uitroeien onmogelijk of ongewenst, dan moet de soort terdege worden gevolgd, inclusief eventuele effecten en aangerichte schade. Het kan nodig zijn om daar jaren mee door te gaan. Doel: meer inzicht in bio-invasies en hun gevolgen.
 - c. Opzetten van een landelijke *database en website* over invasieve soorten, naar het voorbeeld van de VS.
 - d. Onderzoek naar verfijnde *detectietechnieken* voor kleine invasieve soorten ten behoeve van grenscontroles. Gebruik maken van high tech fysische, chemische en biologische technieken en apparatuur, maar ook van speurhonden en -varkens.¹
 - e. Onderzoek naar de *ontvankelijkheid* van ecosystemen voor bio-invasies.
 - f. Onderzoek naar de mogelijkheden om de *natuurlijke weerstand* van ecosystemen tegen invasies te versterken, bijvoorbeeld door het activeren en faciliteren van inheemse (!) pathogenen, parasieten en predatoren, door te manipuleren met de *resource availability* etc.
 - g. Meer onderzoek naar monofage *natuurlijke vijanden* van invasieve soorten.
 - h. *Empirisch onderzoek* naar de schade aangerichte aan diverse sectoren. De kennislacunes op dit terrein zijn groot. Zo worden de schade die invasieve landbouwplagen en de muskusrat in Nederland aanrichten nog niet geregistreerd.
 - i. Onderzoek naar *voorspellingsmethoden* voor de effecten van geïntroduceerde soorten.
 - j. Ontwikkeling van een *methodologie* voor de berekening van de economische, sociale en ecologische *schade* die invasieve exoten feitelijk aanrichten aan natuur, economische sectoren en volksgezondheid, met inbegrip van de indirecte schade. Daarnaast bevorderen van internationale consensus daarover. Dat kan bijvoorbeeld in FAO, WHO, IUCN en OECD.
 - k. Ontwikkeling van methoden van *risico-analyses* voor introducties, inclusief effectrapportages, kostenschattingen en kosten-effectiviteitsanalyses. Ook hier: internationaal afstemmen.
 - l. Strategische *risicoanalyses* van bio-invasies in Nederland: welke soorten kunnen uit welke regio's via welke routes worden binnengesleept? Wat zijn daarvan de economische, ecologische en sociale risico's? Bij welke stromen moeten prioriteiten worden gelegd, wat zijn kritische controlepunten² en waar en hoe kan het meest kosteneffectief worden gestuurd?
 - m. Ontwikkeling in EU-verband van doelmatige en rechtmatige *regels voor aansprakelijkheid, inclusief ketenaansprakelijkheid*.
 - n. Ontwikkeling van *methoden* voor import- en exportbedrijven en hun afnemers om de *risico's van bio-invasies beperken*. Op basis daarvan: *systemen van transparantie en verslaglegging* ontwikkelen.
- Zulk onderzoek misstaat allerminst op de onderzoeks- en innovatie-agenda van een distributieland.

¹ Varkens hebben een nog beter reukorgaan dan honden. In Zuid-Europa worden zij benut als opspoorders van truffels in de grond.

² De term is ontleend aan de *Hazard Analysis of Critical Control Points (HACCP)*, dat is ontwikkeld voor de veiligheid van de voedselketen. Ook daar gaat het in zekere zin om invasies van organismen. Mogelijk biedt dat systeem bruikbare aanknopingspunten.

Referenties

- Anagnostakis, S.L. 1997: *Chestnut and the introduction of chestnut blight*. www.caes.state.ct.us/FactSheetFiles/PlantPathology/fspp008f.htm
- Aquasense 1998a: *Ballast water. Overview of available data and estimation of possible risks. Ordered by the Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate*. Rapport nr 98.1162. Amsterdam.
- Aquasense 1998b: *Risk assessment ballast water. Ecological and economic consequences, frequency analysis and measures. Ordered by the Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, North Sea Directorate*. Rapport nr 98.1290. Amsterdam.
- Bal, D. 2004: Een overzicht van invasieve exoten in de soortgroepen Zoogdieren, Vogels, Reptielen, Amfibieën, Dagvinders, Libellen en Mossen. Basisinformatie voor de Beleidsnota Invasieve Exoten. Expertisecentrum ministerie van LNV, Ede.
- Ball, A.P., R.B. Hopkins *et al.* 1979: *Human botulism caused by Clostridium botulinum type E: the Birmingham outbreak*. Quarterly Journal of Medicine 48: 473-91.
- Barlow, N.D. & S.L. Goldson 2002: *Alien invertebrates in New Zealand*. In: Pimentel 2002.
- Benedictus, R. 2004: "Het geld gaat naar IT, niet naar taxonomie". Bionieuws 14 (20): 7.
- Bergmans, W. & E. Blom (eds). *Invasive plants and animals: is there a way out?* Netherlands Committee for IUCN, Amsterdam.
- Bergmans, W. 2001: *Concluding remarks and recommendations*. In: W. Bergmans & E. Blom (eds).
- Bibby, G. 1961: Vierduizend jaar geleden. Het leven van 2000-1000 v. Chr. Meulenhoff, Amsterdam.
- Bieleman, J. 1992. Geschiedenis van de landbouw in Nederland 1500-1950. Boom, Meppel.
- Bij de Vaate, B. 2004: Invasieve aquatische exoten. Achtergrondnotitie van RIZA voor Beleidsnota Invasieve Exoten van LNV.
- Bilio, M. & U. Niermann 2004: *Is the comb jelly really to blame for it all? Mnemiopsis leidyi and the ecological concerns about the Caspian Sea*. Marine Ecology Progress Series 269: 173-83.
- Bogaards, J.A., M.G.W. Dijkgraaf, J.M. Prins & F.de Wolf 2004: *Changing direct costs of HIV treatment since the introduction of HAART in the Netherlands*. Jaarverslag 2003. Stichting HIV Monitoring, Amsterdam.
- Bokonon-Ganta, A.H. 2001: *Introduction, economic importance and control of invasive pests in Africa; with special reference to the Mango Mealy Bug, Rastrococcus invadens Williams (Homoptera: Pseudococcidae)*. In: W. Bergmans & E. Blom (eds).
- Bol, P. 1999a: Gepokt. NRC-Handelsblad 29 mei.
- Bol, P. 1999b. Rhazes. In: Dokters van eeuwen. Twintig artsen uit twee millennia. In: C.J.E. Kaandorp & J.J.E. van Everdingen, red). Belvédère, Overveen.
- Bol, P. 2000: Infecties met *Escherichia coli* type O157. Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde 107: 73-74.
- Bol, P. & A.E.M de Hollander 2001: De compartimentering van de wereld. Rapport voor minister J. Pronk van VROM. RIVM, Bilthoven.
- Bol, P., A.E.M. de Hollander & J. Melse 2001: Onbeheersbare risico's van micro-organismen. In: Bouwstenen voor NMP4. Aanvulling op de Nationale Milieuverkenning 5. RIVM, Bilthoven.
- Bol, P. 2001: BSE en andere prionziekten. Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde 108: 72-73.
- Bol, P. 2002: Importziekten 1&2. Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde 109: 321-22 & 366-67.
- Bol, P. 2003a: Influenza. Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde 110: 132-33.
- Bol, P. 2003b: Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS). Nederlands Tijdschrift voor Tandheelkunde 110: 335-37.
- Bondt, N., C.J.A.M. de Bondt, G. Cotteleer, M. de Haan, H.H.W.J.M. Snegers & J.J. de Vlieger 2003: Ontwikkelingen in de vleesindustrie tot 2007. LEI, Den Haag.
- Bradsher, K. & L.K. Altman 2004: *A lethal virus stirs new fears of a pandemic*. New York Times 16 October.
- Bright, C. 1998: *Life out of bounds – Bioinvasion in a borderless world*. W.W. Norton & Company, New York/London.
- Canter Cremers-van der Does, E. 1965: Het bad. Van Dishoeck, Bussum.
- Case, T.J. 1990: *Invasion resistance arises in strongly interacting species-rich model competition communities*. Proceedings National Academy of Sciences 87: 9610-14.
- COGEM 2004: Ontwikkelingen in de biotechnologie - Achtergrondstudie bij de Trendanalyse Biotechnologie 2004. CBD/CCMO/COGEM.
- Colautti, R. I. & H. J. MacIsaac 2004: *A neutral terminology to define "invasive" species*. Diversity and Distributions 10: 135-41.
- Colautti, R. I., A. Ricciardi, I.A. Grogorovich & H.J. MacIsaac 2004: *Is invasion success explained by the enemy release hypothesis?* Ecology Letters 7: 721-33.
- Colwell, R. 2001: Les in cholera. De Volkskrant, Amsterdam.
- Convention on Biological Diversity*, 1992.
- Cook, A., P. Weinstein & A. Woodward 2002. *The impact of exotic insects in New Zealand*. In: Pimentel 2002.
- Crosby, A. 1986: *Ecological Imperialism - The biological expansion of Europe, 900-1900*. Cambridge University Press.
- Darwin, C. 1836 (reprint 1972): *The voyage of the Beagle*. Penguin, Harmondsworth.
- Darwin, C. 1859 (reprint 1968): *The origin of species by means of natural selection*. Penguin, Harmondsworth.
- Davis, M.A., J.P. Grime & K. Thompson 2000: *Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility*. Journal of Ecology 88: 528-34.

- De Grootte, H., O. Ajuonu, S. Attignon, R. Djoussou & P. Neuenschwander 2003: *Economic impact of biological control of water hyacinth in Southern Benin*. Ecological Economics 45 (1): 105-17.
- De Hollander, A.E.M. & P. Bol 2004: *Friend and foe: health and the environment from an historical-epidemiological perspective*. In: A.E.M. de Hollander. *Assessing and evaluating the health impact of environmental exposures*. RIVM, Bilthoven.
- DEFRA 2003: *Review of non-native species – Report of the Working Group*. DEFRA, London.
- Denters, T. 2004: *Stadsplanten – veldgids voor in de stad*. Fontaine Uitgevers, Abcoude.
- Der Spiegel 2004: *Anfällige insulaner*. Nr 26: 131.
- De Vries, B. & J. Goudsblom (eds) 2002: *Mappae mundi. Humans and their habitats in a long-term socio-ecological perspective*. University Press, Amsterdam.
- Davis, M.A. 2003: *Biotic globalization: does competition from introduced species threaten biodiversity?* Bioscience 53: 481-89.
- Diamond, J. 1999: *Zwaarden, paarden en ziektekiemen*. Het Spectrum, Utrecht.
- Di Castri, F. 1989: *History of biological invasions with special emphasis on the Old World*. In: J. A. Drake et al. (eds).
- Drake, J.A., F. Di Castri, R.H. Groves, F.J. Kruger, M. Rejmanek & M. Williamson (eds): *Biological Invasions: A Global Perspective*. SCOPE 37. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- EAAP 2003: *After BSE – A future for the European livestock sector*.
- Elton, C.S. 1958 (reprint 2000): *The ecology of invasions by animals and plants*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Engelsman, M. Y. & O.L.M. Haenen 2003. *Ziekten en plagen van schelpdieren in Nederland*. Aquacultuur 2003: 22-25.
- Invasive Species Pathways Team 2003: *Final Report*. USDA, Washington.
- Flinkenflögel, P.H. & P. Bol 1992: *De gelaarsde rat; over pest, moed en onmacht*. In: J.J.E. van Everdingen (red): *Beesten van mensen, deel I*. Belvédère, Overveen.
- Geisler, W. 1994: *AIDS: origin, spread and healing*. Bipawo Verlag, Köln.
- Genovesi, P. 2005: *Eradications of invasive species in Europe: a review*. Biological Invasions 7: 127-133.
- Goldschmidt, T. 1994: *Darwins hofvijver – een drama in het Victoriameer*. Prometheus, Amsterdam.
- Goudsmit, J. 2001: *Virus in water*. In: J.J.E. van Everdingen & J. Goudsmit (red): *Gevaar van water, water in gevaar Belvédère/Medidact, Overveen/Alphen ad Rijn*: 47-53.
- Green, W. 2000: *Biosecurity threats to indigenous biodiversity in New Zealand*. www.pce.govt.nz/reports/all-reports/biosecurity_threats.pdf
- Harache, Y. 1992: *Pacific salmon in Atlantic waters*. ICES Marine Sciences Symposium 194: 31-55.
- Henderson, L. 1995: *Plant Invaders of Southern Africa*. Plant Protection Research Institute, Agricultural Research Council. Pretoria.
- Hengeveld, R. 2001: *Invasion biology: from theory to practice*. In: W. Bergmans & E. Blom (eds).
- Heywood, V.H. 1989: *Patterns, Extents, and Modes of Invasions by Terrestrial Plants*. In: J. A. Drake et al. (eds).
- Hijmans, A. 2003: Amsterdam: AMC-Magazine, mei.
- Hill, G., J. Waage & G. Phiri 1997: *The Water Hyacinth Problem in Tropical Africa*. In: E.S. Delfosse & N.R. Spencer (eds): *Proceedings of the International Water Hyacinth Symposium*. World Bank, Washington D.C. (available on-line at: http://www.sidney.ars.usda.gov/scientists/nspencer/water_h/appendix5.htm).
- Hofstede, R. & W.J. Wolff 2002: *De introductie van nieuwe soorten in de Nederlandse Noordzee. Een ecologische graadmeter voor klimaatverandering volgens de GONZ-systematiek*. Ongepubliceerd rapport RU Groningen, i.o.v. RIKZ.
- Huirne, R.B.M., M. Mourits, F. Tomassen, J.J. de Vlieger & T.A. Vogelzang 2002: *MKZ - verleden, heden en toekomst. Over de preventie en bestrijding van MKZ*. LEI, Den Haag.
- Hull, Th.G. 1955. *Diseases transmitted from animals to man*. CC Thomas, Springfield.
- Infectieziekten Bulletin 2003, nr 5: diverse artikelen over de Ziekte van Lyme.
- Johnson, L.E. & D.K. Padilla 1996: *Geographic spread of exotic species: ecological lessons and opportunities from the invasion of the zebra mussel Dreissena polymorpha*. Biological Conservation 78: 23-33.
- Kalkman, C. 2003. *Planten voor dagelijks gebruik – botanische achtergronden en toepassingen*. KNNV, Utrecht.
- Lach, L., M.D. Pricker, J.F. Colville, M.H. Alssopp & C.L. Griffiths 2002: *Alien invertebrates in South Africa*. In: Pimentel 2002.
- Lake, J. & M. Leishman 2004: *Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores*. Biological Conservation 117: 215-26.
- Lange, R., P. Twisk, A. van Winden & A. van Diepenbeek 1994. *Zoogdieren van West-Europa*. KNNV-uitgeverij, Utrecht.
- LCCM 2004: *Landelijk Jaarverslag 2003*. Landelijke Coördinatiecommissie Muskrattenbestrijding, 's-Hertogenbosch.
- LEI 2001: *Bestrijdingsscenario's voor Mond- en Klauwzeer*. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- LEI 2003: *Ketenconsequenties van de uitbraak van vogelpest*. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- LEI 2003b: *Landbouw Economisch Bericht*. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- Leppäkoski, E., S. Gollasch & S. Olenin (eds) 1998: *Invasive aquatic species of Europe. Distribution - Impacts and Management*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Lever, J. 2002: *Bomengids van Amsterdam-Zuid - Wandelend bomen leren kennen*. Ginkgo, Leiden.
- Longhurst, A. 1998: *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press, San Diego.
- Ludsin, S.A. & A.D. Wolfe 2001: *Biological invasion theory: Darwin's contributions from The origin of species*. Bioscience 51: 780-89.
- Lyell, C. 1832: *Principles of geology*. Murray, London.
- MacArthur, R.H. & E.O. Wilson 1967: *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.

- Maclsaac, H.J., T.C. Robbins & M.A. Lewis 2002: *Modelling ships 'ballast water as invasions threats to the Great Lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 59: 1245-56.
- Maclsaac, H.J., J.V.M. Borbely, J.R. Muirhead & P.A. Graneiro 2004: *Backcasting and forecasting biological invasions of inland lakes*. Ecological Applications 14: 773-83.
- Madl, P. & M. Yip 2003: *Literature review on the aquarium strain of Caulerpa taxifolia*. 31st BUFUS Newsletter, <http://www.sbg.ac.at/ipk/avstudio/pierofun.ct/ct-1>
- McNeil, D.G. 2004: *Wild birds, blamed for the spread of disease, often become its victims*. The New York Times, 16 October.
- McNeill, W.H. 1998: *Plagues and Peoples*. Anchor Books, New York.
- McNeill, J.R. 1999: *Ecology, epidemics, and empires: environmental exchange and the geopolitics of tropical America, 1600-1825*. Environmental History 5: 175-84.
- McNeill, J.R. & W.H. McNeill 2003: *Het menselijk web – de wereldgeschiedenis in vogelvlucht*. Het Spectrum, Utrecht.
- Mooney, H.A. 1999: *The Global Invasive Species Program (GISP)*. Biological Invasions 1: 97-98.
- National Invasive Species Council 2001: *Management Plan: Meeting the Invasive Species Challenge*. Washington.
- Nowak, R.M. 1999: *Walker's mammals of the world*. The John Hopkins University Press, Baltimore/London.
- Odé, B., R. van der Meijden, C.L.G. Groen & W.L.M. Tamis 2003: *Invasieve neofyten in Nederland - een eerste verkenning van hun schadelijkheid*. Rapport 2003.38. Stichting FLORON, Leiden.
- Office of the US Secretary of Defense, 2001: *Proliferation: threat and response*. www.defenselink.mil.
- Pegtel, D. 2003: *Biogeografie en dispersie. De introductie van planten, dieren en micro-organismen*. Collegedictaat RU Groningen.
- Petersen, K.S., K.L. Rasmussen & J. Heinemeier 1992: *Clams before Columbus?* Nature 359: 679.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zuniga & D. Morrison 1999: *Environmental and economic costs associated with non-indigenous species in the United States*. Cornell University, Ithaca. http://www.news.cornell.edu/releases/Jan99/species_costs.html
- Pimentel, D. (ed) 2002: *Biological invasions - Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal, and Microbe Species*. CRC Press, Boca Raton/London/New York, Wahington, D.C.
- Pimentel, D. et al. 2002: *Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions*. In: D. Pimentel 2002.
- Plinius: *Naturalis historia*. Nederlandse vertaling 2004: *De wereld – Naturalis historia*. Athenaeum-Polak & Van Genneep, Amsterdam.
- Pollitzer, R. 1959: *Cholera*. World Health Organization, Geneva.
- Prenter, J. 2004: *Roles of parasites in animal invasions*. TRENDS in Ecology and Evolution 19: 385-90
- Prusiner S.B. 1996: *Mad cows, cannibals, and prions*. Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk onderzoek, Den Haag.
- PVE 2003: *Sectorinfo 2003. Productschappen voor Vee, Vlees en Eieren*, Den Haag.
- Quammen, D. 1998: *Het lied van de Dodo*. Atlas, Amsterdam.
- Rajagopal, J., G. van der Velde, B.G.P. Paffen & A. bij de Vaate, 1998: *Ecology and impact of the exotic amphipod, Corophium curvispinum Sars, 1895 (Crustacea: Amphipoda), in the river Rhine and Meuse. Reports of the project "Ecological Rehabilitation of Rivers Rhine and Meuse"*. No. 75-1998. RIZA, Lelystad.
- Reemer, M. 2003: *Invasieve Arthropoda in Nederland: een eerste inventarisatie*. Rapport in opdracht van de Plantenziektkundige Dienst. Stichting European Invertebrate Survey – Nederland. Leiden.
- Reumer, J. 2004: *Ongenode gasten – zonder verstoringen heeft de natuur nauwelijks last van indringers*. NRC Handelsblad 10/11 juli.
- Revenga, C. & Y. Kura 2003: *Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosystems*. Secretariat of the Convention of Biological Diversity, Montreal, Technical Series no. 11: pp. 1-120.
- Ricciardi, A. & K.L. Rasmussen 1998: *Predicting the identity and impact of future biological invaders*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science: 1759-65.
- RIVM 2002. *Volksgezondheid Toekomst Verkenning*. RIVM, Bilthoven.
- Sala, O.E. et al. 2000: *Global diversity scenarios for the year 2100*. Science 287: 1170-74.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2003: *Handbook of the Convention on Biological Diversity (2nd ed)*. Montreal.
- Shapiro, B. et al. 2004: *Rise and Fall of the Beringian Steppe Bison*. Science 306: 1561-65.
- Shaw, R.H. & L. A. Seiger 2002: *Japanese Knotweed*. In: R. Van Driesche et al. *Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States*. USDA Forest Service Publication FHTET-2002-04, Fort Collins, CO.
- Simberloff, D. 2000: *Foreword* in: Charles Elton: *The ecology of invasions by animals and plants*.
- Smart J., K. Jordan & R.J. Whittick 1948: *A handbook for the identification of insects of medical importance*. British Museum, London.
- Smit, H.S., A. Bij de Vaate, H.H. Reeders, E.H. van Nes & R. Noordhuis 1993: *Colonisation, ecology and positive aspects of zebra mussels (Dreissena polymorpha) in the Netherlands*. In: T.F. Nelapa & D.W. Schloesser (eds): *Zebra mussels: biology, impacts and control*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- SOVON Vogelonderzoek Nederland 2002. *Atlas van de Nederlandse broedvogels 1998-2000*. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey-Nederland. Leiden.
- Spielman, A. & M. D'Antonio 2001: *Mosquito. A natural history of our persistent and most deadly foe*. Faber and Faber, London.
- Stirton, C.H. (ed) 1987: *Plant invaders: beautiful but dangerous*. Department of Nature and Environmental Conservation of the Cape Provincial Administration, Cape Town.

- Takken, W., P.A. Kager & H.J. van der Kaay 1999: Terugkeer van endemische malaria in Nederland uiterst onwaarschijnlijk. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 143: 836-38.
- Theodoropoulos, D.I. 2003: *Invasion biology: critique of a pseudoscience*. Avvar Books, Blythe, California.
- Tien, N. & N. Dankers, 2004: Exoten in de Nederlandse kustwateren: Situatiebeschrijving en beheers- en onderzoeksvoorstellen. Achtergrondrapport bij Beleidsnota Invasieve Exoten van LNV. Alterra, Wageningen.
- Torchin, M. E., K.D. Lafferty, A.P. Dobson, V.J. Mckenzie & A.M. Kuris 2003: *Introduced species and their missing parasites*. *Nature* 421: 628-30.
- Usher, M.B. 1988: *Biological invasions of nature reserves: a search for generalizations*. *Biological Conservation* 44: 119-35.
- Van Dam, P.J.E.M. 2000: De rol van de warande – geschiedenis van de inburgering van het konijn. Jaarboek voor ecologische geschiedenis. Vereniging voor Ecologische Geschiedenis/Academia Pers, Gent.
- Van den Brink, F.W.B. & G. van der Velde 1998: Zoetwater-exoten in Nederland: aanwinst of versterking? *De Levende Natuur* 99: 129-49.
- Van der Heijden, C. 2001: De aardappelmisogsten (1845-1848). *NRC-Handelsblad* 26 september.
- Van der Putten, W. & F. Rienks 2004: Amerikaanse vogelkers groeit ongeremd door bodemleven. *De Levende Natuur* 105: 136-37.
- Van der Velde, G., I. Nagelkerken, S. Rajagopal & A. Bij de Vaate 2002: *Invasions by alien species in inland freshwater bodies in western Europe: the Rhine Delta*. In: E. Leppäkoski, S. Olenin & S. Gollash (eds): *Invasive aquatic species of Europe. Distributions, impacts and management*. *Monographiae Biologicae*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Van der Weijden, W. 2001: Landbouw kwetsbaar voor bioterreur. *NRC Handelsblad* 26 november.
- Van der Weijden, W. 2003: Rem nodig op biologische globalisering. *NRC Handelsblad* 9 september.
- Van Dommelen, A. (ed) 1996: *Coping with deliberate release – the limits of risk assessment*. International Centre for Human and Public Affairs, Tilburg/Buenos Aires.
- Van Hengstum, G. 2003. Alleen genetische modificatie kan banaan redden. *Bionieuws* 13 (2): 10.
- Van Lenteren, J.C., J. Woets, P. Grijpma, S.A. Ulenberg & O.P.J.M. Minkenberg 1987: *Invasions of pest and beneficial insects in the Netherlands*. In: W. Joenje, K. Bakker & L. Vlijm (eds): *The ecology of biological invasions*. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen* 90 (1): 51-58.
- Van Senter, H.A. 1963: *The disappearance of malaria in The Netherlands* (thesis). Faddegon, Zwanenburg.
- Van Strien, W. 2004: Zijn de indringers nog te stoppen? *Bionieuws* 14 (19): 5.
- Van Wilgen, B.W., D.M. Richardson, D.C. le Maitre, C. Marais & D. Magdella 2002: *The economic consequences of alien plant invasions: examples of impacts and approaches to sustainable management in South Africa*. In: Pimentel 2002.
- Veldhoen, L. 1997: Mislukte rups uit Europa vreet Amerika kaal. *De Standaard* 28 juli.
- Vermeulen, T., W. van der Weijden & A. Kool 2004: Wereldwijde bloemenhandel is risico. *Agrarisch Dagblad* 5 juli.
- Vermeij, G.J. 1991: *When biotas meet: understanding biotic interchange*. *Science* 253: 1099-1104.
- Vermeij, G.J. 1996: *An agenda for invasion biology*. *Biological Conservation* 78: 3-9.
- Vitousek, P.M., L.R. Walker, L.L. Loope, M. Rejmanek & R. Westbrooks 1977: *Introduced species: a significant component of human-caused global change*. *Ecological Monographs* 59: 247-65.
- Wade, N. 2004: *The lessons of an ancient hominid and its lice*. *The New York Times* 16 October.
- Wallace, A.R. 1876: *The geographical distribution of animals*. 2 vols. Macmillan and Co. London.
- Wallace, A.R. 1880 (facsimile reprint 1998): *Island Life*. Prometheus Books, New York.
- Wallerstein, I. 1976: *The modern world-system I. Capitalist agriculture and the origins of the European world-economy in the sixteenth century*. Academic Press, New York.
- Wallerstein, I. 1999: Globalisering of transitie? Een lange-termijnvisie op de ontwikkelingsgang van het wereldsysteem. *Amsterdams Sociologisch Tijdschrift* 26: 145-63.
- Welcomme, R.L. 1992: *A history of international introductions of inland aquatic species*. *ICES Marine Science Symposium* 194: 3-14.
- Werkgroep Lyme-borreliose 2004. Richtlijn Lyme borreliose.
- Van Zuiden Communications B.V., Alphen aan den Rijn.
- Wetsteyn, L.P.M.J. & M. Vink 2001: *Ballast water. An investigation into the presence of plankton organisms in the ballast water of ships arriving in Dutch ports, and the survival of these organisms in Dutch surface and port waters. On behalf of the North Sea Directorate*. Report RIKZ/2001.026, Rijswijk.
- Williams, P.A. & S. Simmins 2002: *Economic impacts of New Zealand*. In: Pimentel 2002.
- Williamson, M. 1997: *Biological Invasions*. Capman & Hall, London.
- Wills, C. 1996: *Plagues. Their origin, history and future*. HarperCollins, London.
- Wolff, W.J. 1999: *Exotic invaders of the meso-oligohaline zone of estuaries in The Netherlands: Why are there so many?* *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 52: 393-400.
- Wolff, W. J. 2000: *Causes of Extirpations in the Wadden Sea, an Estuarine Area in the Netherlands*. *Conservation Biology* 14: 876-85.
- Wolff, W.J. in druk: *Non-indigenous marine and estuarine species in the Netherlands*. *Zoölogische Mededelingen* 79 (1).
- World Birdwatch 2003: *Campbell Island Teal can go home*. Nr. 25 (3): 4.
- Xie, Y., Z. Li, W.P. Gregg & D. Li 2001: *Invasive species in China – An Overview*. *Biodiversity and Conservation* 10: 1317-41.
- Yanez, A. 1950: *Cronicas de la conquista*. Ediciones de la universidad nacional autonoma, Mexico.
- Zimmer, C. 2000: Koning parasiet. *Contact*, Antwerpen.

Websites

Website Earth Crash Earth Spirit (ECES) <http://www.eces.org/archive/ec/bioinvasion/>

Website Global Invasive Species Program (GISP), van SCOPE + IUCN + UNEP + CABI: <http://jasper.stanford.edu/GISP/>

Website National Agricultural Library. <http://www.invasivespecies.gov/vectors/main.shtml>

Website www.invasivespecies.gov

Bijlage 1. Definities van bio-invasies en hun implicaties

De invasiebiologie is een nog jonge wetenschap. Vandaar dat wij tijdens het schrijven van dit rapport steeds weer werden geconfronteerd met problemen op het gebied van definities en afkadering. Vaak hanteren onderzoekers impliciete concepten zonder te beseffen wat daarvan de implicaties voor het betoog zijn. Hieronder geven we enkele voorbeelden. Ongetwijfeld zal het begripkader in de komende jaren uitkristalliseren, maar voor nu geven we een voorlopige inventarisatie van knelpunten.

1. Tijd

Wanneer laten we de antropogene biologische globalisering beginnen?

- Een eerste optie is dat we het begin leggen bij de *verspreiding van de voorgangers van de mens* vanuit Afrika naar Eurazië, ruim een miljoen jaar geleden (*Out of Africa I*). In dat geval hebben we te maken met tal van cyclische invasies, extincties, herintroducties etc. onder invloed van ijstijden. Het beeld wordt dan uiterst verwarrend, dus deze cesuur is weinig zinvol.
- Een tweede mogelijke cesuur is de verspreiding van *Homo sapiens* vanuit Afrika, ca. 50.000 jaar geleden (*Out of Africa II*). Maar ook in dat geval hebben we te maken met verwarrende golfbewegingen onder invloed van ijstijden.
- Een meer serieuze kandidaat is het *einde van de laatste ijstijd* (9000 v.Chr.). In dat geval wordt het beeld gedomineerd door invasies vanuit het zuiden als gevolg van de opwarming van het klimaat. Daarnaast gaan “cultuurvolgers” het beeld bepalen.
- Ook het *ontstaan van de landbouw* (vanaf 6000 v.Chr.) kan worden gekozen als cesuur. Het ontstaan van steden hangt hiermee nauw samen. Complicatie hierbij is dat de landbouw in verschillende werelddelen onafhankelijk van elkaar in verschillende perioden is uitgevonden. Hoe dan ook zullen bij deze cesuur introducties samenhangend met landbouw en veeteelt een grote rol spelen.
- Een andere zinvolle cesuur is de periode waarin *steden netwerken gaan vormen* en transcontinentale handelscontacten krijgen. McNeill & McNeill (2003) spreken van het “menselijk web”. Ook hier stuiten we op de complicatie dat er geen duidelijk beginpunt valt aan te wijzen. De netwerken tussen Chinese, Indiase, Mesopotamische, Foenicische en Romeinse steden ontstaan in de periode van ongeveer 2.000 v.Chr. tot het begin van onze jaartelling (Bibby 1961). Dit is de opmaat tot de globalisering van betrekkingen. Deze cesuur is vooral van belang voor de verspreiding van humane infectieziekten (Bol & De Hollander 2001, De Hollander en Bol, 2004).
- Een cruciale fase breekt aan rond 1450 met de ontdekkings- en veroveringsreizen van de Portugezen en de Spanjaarden. Na de ontdekking van Amerika in 1492 ontstaat de *wereldmarkt* en die gaat alle aangeschakelde lokale economieën steeds sterker beïnvloeden (Wallerstein 1976, 1999). De doelbewuste wereldwijde verspreiding van planten en dieren begint. De introducties via de Grote en de Atlantische Oceaan gaan een steeds grotere rol te spelen. Vanaf 1500 kunnen we spreken van echte biologische globalisering.
- Vanaf de *Industriële Revolutie* (1780-1860) neemt het aantal verplaatsingen van mensen en goederen snel toe, en worden ook de afgelegde afstanden gemiddeld groter. Medio 19^e eeuw begint ook het planmatig kolonialisme. De intercontinentale uitwisseling van organismen neemt dan sterk toe.

Welke cesuur men kiest hangt af van het doel dat men heeft en de vragen die men stelt. Maar hoe verder in het verleden we de cesuur leggen, hoe meer complicaties: we moeten steeds meer soorten invasief noemen, maar hebben steeds minder betrouwbare gegevens. Of we de hond, de huiskat en het damhert in Nederland of de dingo in Australië een exoot noemen staat of valt met de gekozen cesuur. In dit rapport hebben we meerdere opties naast elkaar gebruikt, soms met opzet, soms bij gebrek aan oudere gegevens.

2. Ruimte

Een bio-invasie is een vestiging van een soort in een ander gebied. In dit rapport richten we ons vooral op vestigingen waarbij de soort een verspreidingsbarrière overschrijdt. Barrières zijn er op elke schaal, maar in de invasiebiologie gaat het doorgaans niet om barrières op ecologische, maar op geografische schaal. Welke typen barrières zijn dan relevant?

- Barrières tussen *continenten*? Dat criterium lijkt weinig relevant, want niet alle continenten zijn gescheiden door verspreidingsbarrières. Tussen Europa en Azië is veel uitwisseling mogelijk, zij vormen in feite één continent. Ook tussen Noord- en Zuid Amerika is veel uitwisseling mogelijk en in vochtige perioden in het verleden was dat ook het geval tussen Afrika en Azië. Ook een grote afstand hoeft geen effectieve barrière op te leveren: Wallace (1880) merkte al op dat Engeland en Japan meer gemeenschappelijke diersoorten hebben dan Bali en Lombok. Omgekeerd lopen er verspreidingsbarrières dwars door continenten. Denk aan de Sahara, de Rocky Mountains, de Andes en de Pyreneeën. En wanneer een soort vanuit een regio binnen een continent wordt verspreid naar een andere regio *binnen* dat continent - zoals bijvoorbeeld het konijn vanaf het Iberisch schiereiland - waarom zou dat dan géén bio-invasie mogen heten?
- Alternatief: grenzen tussen *biogeografische regio's*, zoals de klassieke regio's van Sclater, die in licht aangepaste vorm zijn vereeuwigd door Wallace (Bijlage 4) en ook door Elton in 1958 werden gehanteerd. Elton spreekt van de *breakdown of the realms of Wallace*. Maar ook dat is problematisch, want niet tussen alle regio's van Wallace bestaan verspreidingsbarrières. Met name is in de Oude Wereld ruime uitwisseling mogelijk tussen de Palearctische en de Oriëntaalse regio's; en in de Nieuwe Wereld tussen de Nearctis en de Neotropis. We mogen aannemen dat de meeste soorten die kunnen overleven aan gene zijde van de grens die grens al zijn zijn overgestoken. Omgekeerd kunnen er *binnen* een regio effectieve verspreidingsbarrières bestaan, zoals ononderbroken zones van bos, woestijn of toendra. Voorbeeld: een aantal soorten uit Oost-Azië heeft Eu-

ropa nooit kunnen bereiken en omgekeerd. Niet vanwege de afstand, maar vanwege het voor de soort onherbergzame tussenliggende klimaat en habitat. De regio's van Wallace worden deels afgebakend door verschillen in klimaat, deels door geografische barrières. Alleen de laatste zijn relevant voor de invasiebiologie, want die richt zich primair op invasies waarbij een soort zich vestigt in een gebied waarvan klimaat en habitat weliswaar geschikt zijn, maar dat hij niet kon bereiken vanwege een fysisch-geografische verspreidingsbarrière.

- Beter lijkt daarom het hanteren van *oude geografische verspreidingsbarrières*: aaneengesloten gebieden die al sinds lang een voor de soort ongeschikt klimaat en/of habitat kennen. Voorbeelden:
 - voor land-, zoetwater- en brakwatersoorten: zoutwatermassa's die tijdens de ijstijden niet zijn drooggevallen. Dat zijn niet alleen oceanen, maar kan ook een smalle zeestraat zijn, zoals de lijn van Wallace die tussen Bali en Lombok nog geen 30 km breed is;
 - voor zout- en brakwatersoorten: landmassa's, zoals continenten. Ook hier geldt: de massa hoeft niet groot te zijn, als zij maar aaneengesloten is. Denk aan de lengte van Panama;
 - *binnen* land- en watermassa's: aaneengesloten zones met voor de soort ongeschikt klimaat (hoge bergketens, tropische of juist koude zeeën) en biomen (zoals tropisch regenwoud, toendra, taiga en woestijn).

Het gaat bij bio-invasies dus doorgaans niet om de vestiging van een soort in een andere klimaatzone, maar juist om vestiging in een soortgelijke klimaatzone aan gene zijde van een (oude) verspreidingsbarrière. Zulke barrières vallen ten dele samen met die van de klassieke biogeografische regio's (Bijlage 4), maar ze lopen er ten dele dwars doorheen. Daardoor kunnen soorten uit oost-Azië voor een bio-invasie in Europa zorgen en vice versa.

Blijft de vraag wat we aan moeten met invasies over *relatief jonge* barrières, zoals de zeestraten tussen continentale eilanden en continenten. De flora's en fauna's aan weerszijden van zo'n zeestraat komen vaak sterk overeen, al telt het eiland minder soorten. Ook introductie over zo'n zeestraat heen kunnen we een bio-invasie noemen, maar zo'n introductie zal zelden dramatische ecologische gevolgen hebben. Uitzondering is de introductie van een predator op een klein continentaal eiland, waar de predator nog niet was gearriveerd toen de zeespiegel steeg of wel was gearriveerd, maar later is uitgestorven. Zo'n invasie kan een ravage aanrichten onder broedende zeevogels.

Overigens is er nog een ander mechanisme dat leidt tot bio-invasies: de klimaatzone *zelf* schuift op. Ook die variant komt steeds vaker voor.

3. Stadium

Bij bio-invasies kunnen we vier stadia van penetratie onderscheiden:

1. import van de soort in een afgesloten omgeving (kooi, aquarium, omheinde ruimte etc)
2. introductie van de soort in de natuur (door ontsnappen, loslaten of uitzetten)
3. vestiging: de soort kan zich handhaven en vermenigvuldigen
4. ontwikkeling van de soort tot een plaag.

Vanaf welk stadium spreken we van een invasie? Hanteren we 1, dan moeten we ook alle exotische dieren in dierentuinen en alle exotische planten in horti, tuinen en steden invasief noemen. Daarmee doen we het begrip "invasie" geweld aan. Hanteren we 2, dan is elk onsnap of uitgezet exemplaar meteen een invasie. Ook dat is weinig reëel. Reëler is het van een invasie te spreken vanaf stadium 3. Let wel: we spreken dus *niet* pas van een invasie als de soort zich tot plaag heeft ontwikkeld.

4. Bestendigheid

Als een soort wordt geïntroduceerd en kan overleven, maar zich niet voortplant en zich alleen handhaaft dankzij herhaalde introductie, spreken we dan van een bio-invasie?

Dat vraagstuk raakt aan het begrip inburgering: een soort wordt pas tot de inheemse flora of fauna gerekend als hij voldoet aan bepaalde kenmerken van voortplanting onder de plaatselijke omstandigheden, zonder onderbreking voorkomen gedurende tenminste x tijdseenheden, op tenminste y plaatsen. Om deze reden wordt in diverse lijsten van geïntroduceerde soorten de "mate" van vestiging aangegeven (zoals bijvoorbeeld: 1 maal waargenomen; lokaal gevestigd; algemeen).

5. Continuïteit

Als een soort in een gebied is verdwenen, maar later spontaan terugkeert of opnieuw wordt uitgezet (denk aan otters en bevers), kan dit dan een nieuw element worden genoemd? En hoeveel tijd moet er dan zitten tussen verdwijnen en opnieuw verschijnen? In het geval van uitzetten spreken we van *herintroductie*. Het betreft dus geen invasie van een exoot. Op een symposium in 1990 over dit onderwerp werd onder meer het volgende standpunt ingenomen: (her)introductie van soorten die functies vervullen in het betrokken ecosysteem die van belang zijn voor het beheer daarvan, kunnen een goede vorm van beheer zijn. Maar als zo'n doelstelling ontbreekt wordt de informatie over habitatkwaliteit verstoord zoals die tot uiting komt in de soortensamenstelling. Ernstig bedreigde soorten kunnen als noodmaatregel worden geïntroduceerd in speciale gebieden. Maar als natuurlijke rekolonisatie niet plaatsvindt en het uitsterven doorgaat, moet dit misschien eindelijk worden herhaald. Is de soort daarentegen destijds uitgestorven door natuurlijke oorzaken, dan zouden we wel kunnen spreken van een nieuw element, hoewel ook dan de term exoot misplaatst is.

Lastiger wordt het als een soort bij herhaling uitsterft of wordt uitgeroeid en later terugkeert. Dat is bijvoorbeeld het geval bij infectieziekten als influenza. Moeten er dan decennia of eeuwen zitten tussen verdwijnen en terugkeer?

6. Taxonomie

Ook kan een soort uitsterven, maar terugkomen in een andere variant. Dat gebeurt bijvoorbeeld vrijwel jaarlijks met influenza. In dat geval kunnen we het best spreken van een nieuwe invasie.

Lastiger is als een variant zich uitbreidt, maar kruist met de inheemse variant. Dat is bijvoorbeeld het geval met de gedomesticeerde vorm van de huiskat, die vanuit het Midden-Oosten met de mens is gearriveerd in Europa. Maar hij kruist hier met de inheemse wilde kat. Dus is de huiskat geen exoot *pur sang* in Europa, maar wel in Amerika.

Bijlage 2. Berekening economische schade door invasieve soorten: haken en ogen

Bij de berekening van economische schade door bio-invasies doen zich al snel methodologische vragen voor. Een beknopt overzicht.

1. *Vanaf welke periode reken je invasies mee?*

In Bijlage 1 zagen we dat we (antropogene) biologische globalisering in verschillende perioden kunnen laten beginnen. De keuze van deze cesuur heeft uiteraard grote gevolgen voor de vraag welke soorten we invasief noemen en daarmee voor de vraag wat de schade is van invasieve soorten. De best bruikbare cesuren zijn:

- de periode waarin steden netwerken gaan vormen en transcontinentale handelscontacten krijgen. Dat is ongeveer 2000 v.Chr. tot het begin van onze jaartelling;
- rond 1500, als de wereldmarkt ontstaat;
- medio 19^e eeuw, als alle westerse landen betrokken zijn geraakt in de Industriële Revolutie en planmatig koloniën gaan creëren.

Hoe vroeger we de cesuur leggen, hoe groter de schade door invasieve soorten.

2. *Welke economische effecten moet je meerekenen?*

Het is zinvol onderscheid te maken tussen directe kosten, indirecte kosten, directe schade en indirecte schade. Voorbeeld: de MKZ-crisis in 2001 (LEI 2002):

- *Directe kosten* waren er voor ontsmettingsmiddelen, het ruimen van dieren en het schadeloos stellen van boeren;
- *Indirecte kosten* waren er door het afzetten van veehouderijgebieden, het toezicht op vervoerverboden e.d. en het geven van voorlichting.
- *Directe economische schade* was er door omzetverliezen en exportverboden. Enkele cijfers, omzetverliezen in miljoenen euro's: 70 miljoen (vee)transport, 10 veehandel, 3 veemarkten, 100 slachterijen, 25 zuivelverwerking (inclusief kosten). Verlies van imago en markt in binnen- en buitenland kan gevolgen op langere termijn hebben (zie Box 70).
- *Indirecte economische schade*, met name aan de horeca, ontstond door het afsluiten van natuurgebieden, het verbieden van evenementen en het verhinderen van transport. Alleen al het niet doorgaan van het koninklijk bezoek op 30 april 2001 aan Meppel en Hoogeveen valt te becijferen op enkele miljoenen guldens aan inkomstenderving.

3. *Wat te doen met effecten die niet zijn gemeten?*

Na epidemieën en natuurrampen is er niemand die een compleet overzicht heeft om alle effecten in kaart te kunnen brengen. Er zal altijd onder- en overrapportage zijn en wat aan het licht komt valt niet altijd te kwantificeren. Voorbeeld: SARS. In 2003 was er geen enkel geval in Nederland. Toch waren er indirecte kosten (voorlichting en luchthaven surveillance) en economische schade, o.a. voor vliegverkeer en toerisme.

4. *Wat te doen met effecten die niet in geld zijn uit te drukken?*

Geld is soms maar een armzalig middel om het palet aan effecten uit te drukken. Het is weinig zinvol om te proberen effecten als ontwrichting van het maatschappelijk verkeer of het collectief gedeprimeerd raken door het ruimen van tienduizenden dieren of door het weghalen van de kippen uit je tuin te vertalen in geld. Hetzelfde geldt voor ziekte en sterfte. Dat kan alleen voor de kosten van ziektebestrijding en het verlies van arbeidsdagen. In het laatste geval weegt ziekte van een kind of gepensioneerde minder zwaar dan ziekte van een werknemer. Dat is economisch wel verdedigbaar, maar menselijk gezien niet. Bovendien kan niet alleen een invasieve soort, maar ook de bestrijding ervan schade veroorzaken voor milieu en natuur. Ook die is lastig of niet in geld uit te drukken, maar moet wel in beeld worden gebracht.

In de economie zijn overigens diverse methoden ontwikkeld om allerlei waarden en effecten om te rekenen in geld, waaronder *contingency valuation* en *hedonic pricing*. Daarmee probeert men te meten hoeveel geld burgers over hebben (hun *willingness to pay*) voor het behoud van bepaalde waarden. Vooral in de VS worden zulke methoden vaak gebruikt bij rechtszaken. Voorbeeld: biodiversiteit. Pimentel *et al.* (1999) rekenen de vogels die in de VS worden gedood door de 63 miljoen huiskatten en 30 miljoen wilde katten om in geld. Op basis van o.a. de bedragen die vogelaars per vogel uitgeven voor waarneming en jagers voor de jacht komen zij tot \$ 30 per vogel. Aangevuld met de gedode vissen komen zij op het enorme bedrag van \$ 14 miljard per jaar. Zulke berekeningen zullen in Europa niet snel worden geaccepteerd, nog afgezien van het feit dat de huiskat in Europa slechts een "half-exoot" is. Beter lijkt het om financiële schadeberekeningen standaard aan te vullen met informatie over verlies van andere waarden, zoals mensenlevens, welzijn, biodiversiteit etc.

5. *Welke schade zou er zijn als de soort zich niet had gevestigd?*

Als we de schade veroorzaakt door een invasieve soort hebben vastgesteld moeten we ook de vraag stellen: welke schade zou zijn opgetreden als de soort zich *niet* had gevestigd? Soms is die *what if?* vraag goed te beantwoorden, bijvoorbeeld bij de muskusrat in Nederland en bij de driehoeksmossel in de Great Lakes in Noord-Amerika. Die bezetten een "vacante niche" en het zijn recente vestigingen, dus we kennen de nulsituatie. Lastiger is het bijvoorbeeld bij de bruine rat, die in veel landen nogal wat schade

aanricht. Maar was zij er niet geweest, dan was haar voorganger de zwarte rat er waarschijnlijk geweest en ook die zou schade hebben aangericht. Maar over de vraag "hoeveel schade?", kunnen we niet veel meer dan speculeren.

6. Welke interacties zijn er tussen effecten?

Twee invasieve soorten kunnen elkaars effect versterken of juist verzwakken. Zo kan een soort die veel water verbruikt de weg bereiden voor een droogteminnende invasieve soort die een inheemse soort verdringt. Omgekeerd kan de ene invasieve soort de schade van de andere beperken. Voorbeeld: de huiskat reguleert de rat. Ander voorbeeld: Europese kolonisten hebben vee meegenomen naar Amerika. Dat leidde tot overbegrazing van kwetsbare inheemse graslanden, hetgeen de weg bereidde voor andere Europese *invaders*: grassen (Crosby 1986). Die verdragen meer begrazing en redden in die zin de bodem, maar verdrongen wel de inheemse grassoorten. Aan welke soort moeten we deze verdringing nu toeschrijven: aan het vee of aan de Europese grassen? Ecologische relaties zijn vaak veel te complex voor 1 op 1 toedelingen. Soms is het beter om het effect toe te delen aan een systeem, in dit geval de veehouderij.

7. Wat is het effect van predatie op de populatieomvang van de prooi-soort?

Als een predator 5% van de aanwezige prooidieren eet, wordt soms gemakshalve aangenomen dat hij de populatie met 5% kleint. Maar dat hoeft niet zo te zijn. Katten eten bijvoorbeeld vooral jonge vogels, waarvan een groot deel sowieso het tweede jaar niet haalt. Bovendien eten veel predatoren vooral zieke exemplaren, en dat kan leiden tot positieve selectie. Ook kan het er toe leiden dat een infectieziekte minder kans krijgt. Dat is bijvoorbeeld het geval bij predatie van konijnen door de vos, die vooral exemplaren pakt die zijn aangetast door myxomatose.

8. Hoe waardeer je jacht op en consumptie van de invasieve soort?

Jacht op een invasieve soort kan een pragmatische oplossing zijn voor het probleem. Consumptie van de muskusrat (als waterkonijn België), de Chinese wolhandkrab (Noorwegen), het damhert in Nederland en het edelhert in Nieuw-Zeeland maakt van de nood een deugd. De baten zijn dan ten dele in geld uit te drukken (bijv. jachtrechten) en moeten in mindering worden gebracht op de aan de soort toegerekende schade. Overigens zijn veel soorten zoogdieren en vissen juist ingevoerd terwille van de jacht. Vandaar dat het uitroeien van zulke exoten vaak op verzet van jagers stuit en dat sommige exoten (zoals de fazant) worden bijgevoerd.

9. Moet je de preventiekosten van invasies ook meerekenen?

Er is veel voor te zeggen om ook de kosten van *preventie* tegen een potentiële bio-invasie in rekening te brengen. Voorbeelden:

- preventieve maatregelen aan de grens tegen binnenkomst van SARS;
- de nationale voorraad koepok-entstof bij het RIVM;
- de strenge maatregelen tegen binnenkomst van de MRSA-bacterie in Nederland.

Maar zoals bij veel preventie valt te becijferen dat voorkomen veel minder kost dan genezen, omdat preventieve maatregelen vaak niet zeer duur zijn. Bovendien werken bijvoorbeeld grenscontroles en hygiëne tegen een breed spectrum van invasieve ziektekiemen. Dat geldt ook voor andere invasieve soorten.

Voorbeeld: BSE. Mede doordat Nederland onzorgvuldig is geweest bij de import van vee uit Engeland moeten we voor onbepaalde tijd elk geslacht rund testen en dat zal de kostprijs van rundvlees nog lang verhogen.

10. Wat te doen met "opportunity costs"?

Alle arbeid en kosten die worden gemaakt voor het bestrijden van bio-invasies hadden ook kunnen worden ingezet voor andere activiteiten die méér geld of ander voordeel kunnen opleveren. Economen spreken dan van *opportunitiy costs*. Voorbeeld: de politie-inzet voor toezicht op vervoersverboden tijdens MKZ zou ook kunnen worden gebruikt voor preventie van criminaliteit. Met enige overdrijving zou je zelfs kunnen zeggen dat MKZ de criminaliteit verhoogt. Ook hier hebben we te maken met een speculatieve *what if?* vraag, maar in de economie zijn daarvoor berekeningsmethoden ontwikkeld.

Bijlage 3. Economische gevolgen van invasieve dierziekten in Nederland

Dr. ir. Carin Rougoor
CLM Onderzoek en Advies

Deze bijlage geeft een onderbouwing van de kosten van invasieve dierziekten genoemd in Box 75. Deze bijlage omvat:

1. Uitgangspunten berekeningen
2. Kosten BSE
3. Kosten Mond- en Klauwzeer (MKZ)
4. Kosten Varkenspest
5. Kosten Vogelpest
6. Samenvattend overzicht

1. Uitgangspunten berekeningen

De schatting van de economische schade van dierziekten is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

1. Een uitbraak van een zeer besmettelijke ziekte als MKZ heeft in het jaar van uitbraak een grote schade tot gevolg, die snel terugloopt in de volgende jaren, terwijl er in andere jaren geen schade is, omdat er geen uitbraak is. Om een schatting te krijgen van de gemiddelde langjarige kosten, hebben we voor de volgende aanpak gekozen: de totale kosten van de grote uitbraken van MKZ, varkenspest, vogelpest en BSE in de periode 1995 t/m 2004 hebben we gesteld als bovengrens voor de kosten in 10 jaar (dus 10% daarvan als *bovengrens* voor de jaarlijkse kosten). De aanname is dus dat het aantal uitbraken van besmettelijke dierziekten en de gevolgen daarvan in de afgelopen 10 jaar bovengemiddeld was. Als *ondergrens* hanteren we een kwart van deze kosten.
2. Indirecte *baten* (c.q. externe voordelen) laten we buiten beschouwing. Hiermee doelen we op de voordelen die andere sectoren hebben. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het voordeel dat destructiebedrijven hebben door de ruiming, of andere veehouderijsectoren of de vleesvervangende industrie die hun omzet zien stijgen. We laten deze “de een zijn dood is de ander zijn brood” effecten buiten beschouwing omdat zij de schade van rampen verdoezelen.
3. We beperken ons tot kosten voor de *Nederlandse* economie; schade in het buitenland wordt buiten beschouwing gelaten.
4. Het *toerekenen* van bepaalde kosten aan een ziekte is afhankelijk van de nulsituatie die je neemt. Er is bijvoorbeeld voor gekozen de kosten van het verbod op voederen van diermeel toe te schrijven aan BSE, omdat deze situatie is ontstaan ten gevolge van BSE. Deze kosten vormen een grote kostenpost van de totale kosten van BSE. Deze keuze is overigens arbitrair, omdat het niet voederen van diermeel aan herkauwers ook gezien kan worden als normale praktijk, omdat herkauwers geen carnivoren zijn.
5. Allerlei hygiënemaatregelen op het agrarisch bedrijf zijn deels bedoeld als preventiemaatregel om in- en uitsleep van ziekten te voorkomen. Dit is echter niet het enige doel. Hygiënisch werken is ook noodzakelijk vanuit het oogpunt van bijvoorbeeld melkqualiteit en dierenwelzijn. Bovendien zijn de kosten niet toe te rekenen aan één infectieziekte. De kosten van deze maatregelen nemen we daarom niet mee in het kostenoverzicht.

Voor zover mogelijk zijn cijfers gebaseerd op onderzoek van anderen. Als dit niet beschikbaar is, zijn eigen berekeningen gemaakt.

2. Kosten BSE

2.1. Kosten BSE in EU

EAAP (2003) heeft berekend dat de kosten van BSE op Europees niveau zijn:

- 55 euro waardeverlies per dier (doordat slachtafval niet kan worden gebruikt);
- 21 euro afvoer/verwijdering vleesbeendermeel;
- 25 tot 50 euro voor testen op BSE.

De totale kosten komen hiermee op meer dan 100 euro per dier voor dieren die worden getest en 75 euro voor dieren die niet worden getest. Voor alle 15 EU-landen samen is dit 2,8 miljard euro per jaar. Alle toekomstige kosten meenemend komt dit op een totale kostenpost van 92 miljard euro (dit is de NPV = *Net Present Value*. Toekomstige kosten worden daarin verrekend).

2.2. Kosten BSE in Nederland

Preventie

Ter voorkoming van BSE zijn de volgende maatregelen genomen:

1. Diermeel mag sinds 1994 niet als veevoer voor runderen, schapen en geiten worden gebruikt en de eisen voor de productie van vleesbeendermeel zijn verscherpt (20 minuten bij 133 °C).
2. Hersenen, ruggemerg, ogen, amandelen, delen van de ingewanden van runderen, schapen en geiten mogen niet worden geconsumeerd (sinds oktober 2000).

3. BSE-monitoringsprogramma (sinds januari 2001): Testen van slachtmateriaal in slachthuizen. Een post-mortemtest moet worden uitgevoerd op:
- o dieren voor noodslachting of dieren die tekenen van enigerlei ziekte vertonen en die ouder zijn dan 24 maanden;
 - o alle runderen ouder dan 30 maanden en die op normale wijze voor menselijke consumptie worden geslacht (NB. Deze leeftijdsgrens wordt misschien opgehoogd naar 42 maanden: zie Agrarisch Dagblad 31 december 2004);
 - o runderen die gestorven zijn op het bedrijf en die ouder zijn dan 24 maanden.
- In de praktijk houdt dit in dat de meeste dieren uit de melkveehouderij moeten worden getest. Vleesvee zal er gedeeltelijk buiten vallen.

Schade

Als een geval van BSE wordt geconstateerd, kunnen we directe en indirecte kosten onderscheiden:

Directe kosten:

4. Afmaken van zieke dieren.
5. Afmaken van andere dieren op het bedrijf c.q. afmaken familieleden van zieke dieren.
6. Derving inkomsten BSE-bedrijven door leegstand, heropbouw veestapel.

Indirecte kosten:

7. Gevolgen voor de export: De rundvleesexport liep door de BSE terug. Vanwege de BSE-crisis wensten belangrijke afnemers als Egypte en Iran in 2001 geen rundvlees uit de EU. Daarnaast stond de afzet naar EU-lidstaten onder druk door enerzijds een afgenomen consumptieve vraag (ook door BSE), en anderzijds een grotere voorkeur voor vlees van eigen bodem. Ook de uitvoer van kalfsvlees naar Duitsland stond onder druk (daling met 27% tussen 2000 en 2001). De schatting is dat in 1999/2000 als gevolg van BSE:
 - o de export van levend vee 2% is gedaald;
 - o de export van rundvlees(waren) 10% is gedaald;
 - o de export van kalfsvlees(waren) met 6% is gedaald;
 - o de exportprijs van levend vee en rund- en kalfsvlees is gedaald met 3% (Huirne e.a. 2002).
8. Binnenlands imagooverlies van de sector, mogelijk leidend tot omzetzakking. Huirne e.a. (2002) geven aan dat BSE een beperkte daling van rundvleesconsumptie tot gevolg had: 1% minder rundvlees en 4% minder kalfsvlees. Hiernaast heeft dit imagooverlies mogelijk tot gevolg dat de maatschappelijke positie van de sector verzwakt. De economische gevolgen hiervan zijn echter moeilijk te kwantificeren.
9. Mogelijke gevolgen voor andere sectoren: pluimveehouderij profiteerde in eerste instantie van problemen in de rundveehouderij. Zoals aangegeven onder 'uitgangspunten', wordt dit hier buiten beschouwing gelaten.
10. Vervolgschade doordat mensen de ziekte van Creutzfeldt-Jakob oplopen. Dat heeft zich in Nederland (nog) niet voorgedaan.

2.3. Nadere uitwerking

Ad 1, 2 en 3: diermeel en ander slachtafval en testen

Per jaar worden in Nederland 656.000 runderen geslacht (Bondt e.a. 2003). Sinds 1 januari 2001 wordt een deel hiervan getest op BSE, het andere deel niet. Volgens LNV gaat het om meer dan een half miljoen testen per jaar. Vóór 2001 werden alleen runderen getest die symptomen van BSE vertoonden. Daarnaast werden gestorven runderen steekproefsgewijze getest. Volgens PVE sectorinfo (2003) zijn de kosten in Nederland voor testen op BSE en voor verwijdering van risicomateriaal (sinds oktober 2000) 35 tot 160 euro, afhankelijk van de efficiëntie van de slachterij. Vóór 2001 moest alleen beendermeel worden afgevoerd. De geschatte kosten bedragen 21 euro per dier (EAAP, 2003).

Waardeverlies van het dier (doordat slachtafval minder waard is, c.q. geld kost) zit hier nog niet bij in. Deze kosten bedragen 55 euro per dier (EAAP 2003).

De kosten in de periode 1995 t/m 2004 zijn daarmee:

Waardevermindering dier:

656.000 dieren x 55 euro x 4,25 jaar = 360 miljoen euro

BSE-test en verwijderen risicomateriaal:

500.000 dieren x (35 - 160 euro) x 4 jr = 70 tot 320 miljoen euro

Verwijderen beendermeel: 656.000 dieren x 21 euro x 6 jr = 83 miljoen euro

Totale kosten over de periode 1995 t/m 2004:

513 tot 763 miljoen euro.

NB. Het verbod op het gebruik van diermeel in veevoer staat ter discussie. Als dit verbod vervalt of wordt versoepeld, dalen logischerwijs de kosten.

Ad 4. Afmaken van zieke dieren, en:

Ad 5. Afmaken van andere dieren op het bedrijf c.q. afmaken van familieleden

Vanaf 1997 t/m 2004 zijn er in Nederland 77 gevallen van BSE geweest, d.w.z. 10 gevallen per jaar. Dit is een gemiddelde: in 2002 waren er de meeste gevallen (24), in 2004 was dit al afgenomen naar 6.

Tot maart 2003 werden alle dieren op het bedrijf van een BSE-koe afgemaakt. Vanaf april 2003 werden alleen 'verwanten' van de BSE-koe afgemaakt. Tot maart 2003 werden gemiddeld 107 dieren extra per BSE-geval afgemaakt. Na maart 2003 waren dit gemiddeld 38 dieren extra.

Voor de berekening van de schade per dier gaan we uit van de vervangingswaarde van melkvee en jongvee. Een volwassen koe heeft een vervangingswaarde van circa 1000 euro, een kalf heeft een vervangingswaarde van circa 230 tot 800 euro, afhankelijk van de leeftijd (KWIN-Veehouderij). We gaan hier uit van een gemiddelde waarde van 750 euro.

In totaal zijn van 1997 t/m 2004 in Nederland 6851 dieren afgemaakt à 750 euro = 5 miljoen euro

Ad 6. Derving inkomsten BSE-bedrijven door leegstand en heropbouw veestapel

Aanname is dat het de veehouder 3 maanden kost voordat er weer een volledige veestapel is. Huirne *et al.* (2002) rekenen met leegstandskosten van 2,25 euro per melkkoe per dag (inclusief jongvee).

Als we er vanuit gaan dat circa 4000 van de 6851 afgemaakte dieren melkkoeien waren (overig is jongvee), dan komen de totale leegstandskosten op:

4000 dieren x 90 dagen à 2,25 euro = 0,81 miljoen euro

Ad 7. Daling van export van vlees en vee en een prijsdaling

Nederland exporteert circa 169.000 ton rundvlees(waren) per jaar (Bondt *et al.* 2003). In 2000 was er een daling van 6% (kalfsvlees) tot 10% (rundvlees) van de export ten gevolge van BSE. Of dit effect tijdelijk of blijvend was, is niet duidelijk. Als ondergrens stellen we dat er slechts gedurende 1 jaar een teruggang was. Als bovengrens stellen we dat de 10% daling blijvend was. De prijs van rundvlees van slachtkoeien bedroeg circa 1,50 euro per kg (KWIN-Veehouderij). Vlees van vleesvee en vleeskalveren brengt meer op. We gaan hier uit van een gemiddelde vleesprijs van 1,75 euro.

Ondergrens: 16.900 ton vlees x 1,75 euro omzetverlies = 29,6 miljoen euro omzetverlies

Bovengrens: 16.900 ton vlees x 1,75 euro omzetverlies x 5 jaar = 147,9 miljoen euro.

Export van levend vee daalde met 2% en de prijs hiervan daalde met 3% (Huirne *et al.* 2002). De totale export is circa 40.000 dieren per jaar. De opbrengst van een slachtkoe is circa 465 euro, vleesvee heeft een hogere waarde (KWIN-Veehouderij). Uitgaande van dezelfde aannames als bij de vleesexport, is het omzetverlies:

Ondergrens: 40.000 dieren x (3% van 500 euro) + 800 dieren x 500 euro =

1 miljoen euro

Bovengrens: 5 maal dit omzetverlies =

5 miljoen euro

Ad 8. Binnenlandse daling rundvleesconsumptie

De consumptie van rundvlees in Nederland bedraagt 287.000 ton. In ieder geval 80.000 ton hiervan is import (Bondt *et al.* 2003). De kosten van een daling van de consumptie met 1% (in minimaal 1 jaar, tot maximaal 5 jaar):

Ondergrens: 2000 ton x 1,75 =

3,5 miljoen euro

Bovengrens: 5 maal dit omzetverlies =

17,5 miljoen euro

Samenvattend overzicht kosten BSE in de periode 1995 t/m 2004 (in miljoen euro)

Preventie- en bestrijdingskosten:

- Verwijderen slachtafval, diermeel afvoeren en testen 513 - 763
- Afgemaakte dieren 5
- Derving inkomsten BSE-bedrijven 1

Schade (omzetverliezen):

- lagere vleesexport 30 - 148
 - minder export vee, tegen lagere prijzen 1 - 5
 - dalende rundvleesconsumptie in Nederland 4 - 18
- TOTAAL (in miljoen euro) 554 - 940**

3. Kosten Mond- en Klauwzeer

In 2001 was er een grote uitbraak van Mond- en Klauwzeer in Nederland. Huirne *et al.* (2002) hebben de economische gevolgen van deze uitbraak geanalyseerd:

Bestrijdingskosten agrarische sector en toeleveranciers (in miljoen euro):

Inkomensderving agrarische bedrijven (t.g.v. prijsveranderingen, leegstand, kosten van geruimde dieren zijn niet meegenomen; die zijn vergoed via DGF):	230
Bijdrage landbouwbedrijfsleven aan diergezondheidsfonds (DGF):	120
Extra kosten veevoederleveranciers (ontsmetten wagens, wijziging routes etc.)	15

Bestrijdingskosten overheid (in miljoen euro):

Kosten ministerie van LNV en handhaving (incl. AID) en lagere overheden	67
---	----

Schade agrarische sector (in miljoen euro):

Omzetderving veetransport, veehandel, veemarkten, slachterijen	183
Omzetverlies en kosten zuivelverwerking en veeverbetering	40
Omzetverlies agrarische diensten (loonwerk, voorlichting etc.)	10

Schade andere sectoren (in miljoen euro):

Toerisme, recreatie, detailhandel, bouwnijverheid en goederenvervoer (inkomensverlies):	208
Kosten voor natuur- en landschapsbeheerders	<u>1</u>
TOTAAL (in miljoen euro)	874

4. Kosten Varkenspest

In 1997 was er een grote uitbraak van varkenspest. Volgens een persbericht van de WUR heeft deze uitbraak ruim 3 miljard gulden (1,4 miljard euro) gekost. Gespecificeerd (in miljoen euro):

• 362 besmette bedrijven zijn geruimd en 881 preventief geruimd:	226
• opkoop van 4,4 miljoen dieren om welzijnsredenen en doodspuiten 1,4 miljoen biggen:	454
• vervoersverbod, leegstand na ruiming, veevoederindustrie, kunstmatige inseminatie, handel, transport en slachterijen:	681

Dit zijn bestrijdingskosten. De EU heeft 35% van deze kosten gedragen, de Nederlandse overheid 20%, de varkensboeren 25% en overige partijen in de sector (slachterijen, handel, transport, veevoederindustrie, KI-stations) 20%.

Er zijn geen exacte cijfers bekend over omzetverliezen of -winsten ten gevolge van de varkenspest. Bedrijven die niet werden getroffen door de varkenspest, hadden een financieel voordeel: na het uitbreken van de pest stegen de prijzen in rap tempo met meer dan 20% (CBS). Daar staat tegenover dat de consument mogelijk minder varkensvlees ging consumeren en dat de export werd belemmerd. Zo heeft de VS de grenzen gesloten gehouden voor Nederlands varkensvlees tussen 1997 en 2003. Volgens het Productschap Vee en Vlees was de inkomstenderving voor varkenshouders tot september 2001 hierdoor al 200 miljoen gulden (90 miljoen euro). Voor de gehele periode (1997 tot 2003) is de inkomstenderving hierdoor circa 135 miljoen euro geweest.

In 1997 bedroeg de Nederlandse varkensstapel 15,2 miljoen dieren. Als gevolg van de varkenspest nam dit in 1998 af tot 13,4 miljoen. Dit herstelde zich weer een beetje tot 13,6 miljoen dieren in 1999, maar nam verder af tot 11,3 miljoen dieren in 2004. Als ondergrens stellen we dat deze krimp van de varkensstapel ook had plaatsgevonden zonder varkenspest. Als bovengrens stellen we dat een daling met 1,5 miljoen dieren (vleesvarkens, biggen en zeugen gezamenlijk) structureel het gevolg is van de varkenspest. Hierdoor zullen per jaar 3 miljoen vleesvarkens minder worden geproduceerd. Het saldo per afgeleverd vleesvarken bedraagt circa 22 euro. Op jaarbasis is dit dus een saldoverlies van 66 miljoen euro. Voor de totale periode 1998 t/m 2004 is dit **462 miljoen euro**.

Dit nemen we op als bovengrens van het schadebedrag; de sluiting van de grenzen door de VS kan immers worden opgevangen door deze verkleining van de veestapel. Als ondergrens nemen we alleen de schade door de grenssluiting van de VS: **135 miljoen euro**.

5. Kosten Vogelpest

Kosten van de vogelpestitbraak in 2003 zijn door het LEI gecijferd op minimaal 750 miljoen (Volkskrant, 4 juli 2003):

• kosten ruiming:	270 miljoen
• verlies omzet in eieren en vlees (door leegstand etc.):	500 miljoen

Dit valt geheel onder bestrijdingskosten. De helft van de ruimingskosten is gefinancierd door de EU.

De verwachting is dat een deel van de eierexport van voor de crisis (ruim 7 miljard eieren per jaar) blijvend verloren zal zijn (Volkskrant, 4 juli 2003). Volgens het PVE was de eierproductie in 2004 circa 9,3 miljard stuks. Dit is een toename van 32% t.o.v. het jaar ervoor, maar nog maar een afname van circa 4% t.o.v. 2002 (Sectorinfo Pluimvee en Eieren 10, 26 oktober 2004). We stellen als bovengrens dat deze daling in productie geheel het gevolg is van de vogelpest. In twee jaar tijd is dit een totale productievermindering met 3 miljard eieren. De producentenprijs van kooi-eieren is circa 4,5 eurocent (KWIN-Veehouderij). Kosten komen hiermee op 135 miljoen euro.

Het PVE schat de Nederlandse productie van pluimveevlees op ruim 596.000 ton geslacht gewicht in 2004. Dit is een afname van 15% t.o.v. 2002, maar een stijging met 11% t.o.v. 2003. De producentenprijs bedraagt circa 70 eurocent per kg. Als we (als bovengrens) stellen dat de veranderingen na 2002 geheel het gevolg zijn van de vogelpest, komt de totale productievermindering van 270.000 ton in twee jaar tijd ten laste van de vogelpest. Dit vertegenwoordigt een waarde voor de producent van 189 miljoen euro. Een deel van deze omzetverliezen is al verwerkt in het omzetverlies van 500 miljoen euro in eieren en vlees. Als we aannemen dat 50% van de omzetsdaling in 2003 hierin al is verwerkt, komt de extra schade op **200 miljoen euro** ten gevolge van daling in vlees- en eierproductie. Als ondergrens stellen we dat 50% van deze omzetsdaling het gevolg is van de vogelpest: **100 miljoen euro**.

6. Samenvattend overzicht

In onderstaand overzicht staan alle schattingen van de kosten van de uitbraken van BSE, MKZ, vogelpest en varkenspest, zoals deze zich in de afgelopen 10 jaar hebben voorgedaan, samengevat.

Uitbraak van:	kosten (in miljoen euro)	
	preventie en bestrijding	schade
BSE	519 - 769	35 - 171
Mond- en klauwzeer:		
• agrarische sector (incl. bijdrage overheid en EU)	437	233
• toerisme, goederenvervoer etc.	-	208
• natuurbeheer	1	-
Varkenspest		
• agrarische sector (incl. bijdrage overheid en EU)	1.400	135 - 462
Vogelpest		
• agrarische sector (incl. bijdrage overheid en EU)	770	100 - 200
TOTAAL	3.122 - 3.372	756 - 1.274
	3.878 - 4.646	

De totale kosten in 10 jaar bedragen dus naar schatting 3,9 tot 4,6 miljard euro. Zoals aangegeven, is ons uitgangspunt dat als 'langjarig gemiddelde' de bovengrens overeenkomt met de gemiddelde kosten in de periode 1995 t/m 2004, terwijl we als ondergrens 25% hiervan aanhouden.

Zo komen we op **jaarlijkse kosten van 100 tot 460 miljoen euro**, waarvan de meeste kosten voor de agrarische sector (die deels weer werden gecompenseerd door de overheid, o.a. via wachtgeld): **95 tot 440 miljoen euro**. Het resterende deel is schade voor het toerisme, recreatie, detailhandel, bouwnijverheid en goederenvervoer: **5 tot 21 miljoen euro**.

Bijlage 4. *Estimated annual costs associated with some non-indigenous species introductions in the United States (x million \$)*

Category	Non-Indigenous Species	Losses and Damages	Control	Costs Total
PLANTS	25,000			
Purple loosestrife*		---	---	45
Aquatic weeds		10	100	110
Mealeuca tree		NA	3-6	3
Crop weeds		24,000	3,000	27,000
Weeds in pastures		1,000	5,000	6,000
Weeds in lawns, gardens, golf courses		NA	1,500	1,500
MAMMALS	20			
Wild horses and burros		5	NA	5
Feral Pigs		800	0.5	800.5
Mongoose		50	NA	50
Rats		19,000	NA	19,000
Cats		14,000	NA	14,000
Dogs		250	NA	250
BIRDS	97			
Pigeons		1,100	NA	1,100
Starlings		800	NA	800
REPTILES & AMPHIBIANS	53			
Brown tree snake		1	4.6	5.6
FISH	138	1,000	NA	1,000
ARTHROPODS	4,500			
Imported fire ant		600	400	1,000
Formosan termite		1,000	NA	1,000
Green crab		44	NA	44
Gypsy moth		NA	11	11
Crop pests		13,000	500	13,500
Pests in lawns, gardens, golf courses		NA	1,500	1,500
Forest pests		2,100	NA	2,100
MOLLUSKS	88			
Zebra mussel**		---	---	5,000
Asian clam		1,000	NA	1,000
Shipworm		205	NA	205
MICROBES	20,000			
Crop plant pathogens		21,000	500	21,500
Plant pathogens in lawns, gardens, golf courses		NA	2,000	2,000
Forest plant pathogens		2,100	NA	2,100
Dutch elm disease		NA	100	100
LIVESTOCK DISEASES		9,000	NA	9,000
HUMAN DISEASES		NA	6,500	6,500
TOTAL		>112,065	>21,119.1	\$138,229.1

* Kattestaart *Lythrum salicaria*

** Driehoeksmossel *Dreissena polymorpha*

Bron: Pimentel et al. 1999

Bijlage 5. Routes van bio-invasies

Pathways Outline

- I. **Transportation-Related Pathways** - incl. military travel -
 - A. **Modes of Transportation** (i.e. things doing the transporting)
 - 1. **Air Transportation**
 - a) Examples - Planes, helicopters, etc. (e.g. stowaways in wheel wells, cargo holds, and anywhere else)
 - (1) **Organisms Transported** - v (snakes and others), in, inv, ps, pdp - please see list at end of this document for abbreviations.
 - 2. **Water/Aquatic Transportation** - including all methods of moving through the water.
 - a) Examples - all types of ships (incl. cruise ships), recreational boats and other craft, barges, semisubmersible drydocks, oil derricks - can be freshwater or marine or both; can be large or small; includes industrial, tourism, recreational, law enforcement, and military crafts.
 - b) Subpathways
 - (1) **Ballast Water and Sediments** and other things that hold water - sea chests, engines, etc.
 - (a) **Organisms Transported** - ai, ap, mbv, di, ph
 - (2) **Hull/Surface Fouling**
 - (a) **Organisms Transported** - hfo, other aquatic organisms when talking about slow moving platforms
 - (3) **Stowaways in holds**, cabins, etc.
 - (a) **Organisms Transported** - v, inv, ps, pdp
 - (4) **Superstructures/structures above the water line**
 - (a) **Organisms Transported** - inv (gypsy moths), others?
 - (5) **Dredge Spoil Material**
 - (a) **Organisms Transported** - ai, av, ap, adp, pdp
 - 3. **Land/Terrestrial Transportation** - including all methods of moving across the ground.
 - a) Subpathways -
 - (1) Cars, trucks, buses, ATVs, etc.
 - (2) Construction equipment and firefighting equipment
 - (3) Trains, subways, metros, monorails
 - (4) Hikers, Horses, Pets
 - b) **Organisms Transported** - ps, gm, si, in, v, adp, pdp
 - B. **Items Used In Shipping Process**
 - 1. **Containers** - both exterior and interior
 - a) **Organisms Transported** - ps, gm, si, in, v, dp,
 - 2. **Packing Materials**
 - a) Subpathways
 - (1) **Wood packing materials** - wood pallets, wood crates,
 - (a) **Organisms Transported** - ps, in, pdp, si
 - (2) **Seaweed**
 - (a) **Organisms Transported** - ai, av, adp, pdp
 - (3) **Other plant materials**
 - (a) **Organisms Transported** - ps, psp, in, si, v, adp
 - (4) **Sand/earth** - sometimes used in archaeological shipments
 - (a) **Organisms Transported** - in, inv, ps
 - C. **Tourism/Travel/Relocation**
 - 1. Examples - travel for recreation, business or for relocation
 - 2. Subpathways -
 - a) **Traveler's themselves** (incl. humans as vectors for disease)
 - b) **On baggage and gear** - "carry on" and checked items
 - c) **Transported Pets/Plants and Animals Transported for Entertainment** - this includes pets already owned that are transported when one moves or travels, and animals transported for horse shows, sporting events, circuses, rodeos, plant or garden shows, etc.
 - d) **Travel Consumables** (food on cruise ships, etc.)
 - 3. **Organisms Transported** - ps, insect, sim inverts, dp

D. **Mail/Internet/Overnight Shipping Companies**

1. Organisms Transported - ps, pdp, in, si, ai, av

II. **Living Industry Pathways - [see diagram 3]**

A. **Food Pathways**

1. **Live Seafood** (market ready - imported into and/or throughout the U.S. for immediate consumption)
 - a) Subpathways
 - (1) Food organism "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers¹
 - (a) On or in live seafood (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, packing material, substrate (live rock?)
 - b) Organisms Transported - ai, ap, av, di, ph, adp, pdp, la
2. **Other Live Food Animals** (imported alive into and/or throughout the U.S.)
 - a) Examples - Livestock, game birds
 - b) Subpathways -
 - (1) Food organism "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers
 - (a) On or in live animals (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding
 - c) Organisms Transported - adp, in, mbv, tv, v
3. **Plants and Plant Parts as Food** (imported into and/or throughout the U.S.)
 - a) Examples - fruits, vegetables, nuts, roots, seeds, edible flowers, etc.
 - b) Subpathways -
 - (1) Plant "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers
 - (a) On or in food organism (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding
 - c) Organisms Transported - ps, pdp, in, inv, v (frogs on plants, etc.)

B. **Non-Food Animal Pathways**

1. **Aquaculture** (includes the sites where organisms are raised, the raising of the organism, and their movement, unless classified as live seafood; if an organism usually classified as live seafood is being transported for reproduction purposes or other reasons, it falls under aquaculture).
 - a) Examples - fish, shellfish, shrimp and other invertebrates
 - b) Subpathways -
 - (1) Aquacultured organism "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers
 - (a) On or in cultured organism (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding
 - c) Organisms Transported - when including larval stages of animals, almost any aquatic plant or animal is possible, with the exception of marine mammals
2. **Pet/Aquarium Trade** - including the organisms and their facilities
 - a) Examples - dogs, cats, birds, herptiles, exotic mammals, fish, other aquarium stock, invertebrates (tarantulas, scorpions, etc.)
 - b) Subpathways -
 - (1) Pet organism "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers
 - (a) On or with pet organism (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding, aquarium substrates,
 - c) Organisms Transported - almost anything is possible - see list at end
3. **Bait Industry**
 - a) Examples - anything used as bait for fishing, etc.
 - b) Subpathways -
 - (1) Bait organisms "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped

¹ Note: In all places where the term hitchhiker is used, it includes plants, animals, invertebrates, parasites, diseases, and pathogens.

- (2) Hitchhikers
 - (a) On or with bait (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding
- c) Organisms Transported - ai, ap, av, di, ph, adp, pdp, la
- 4. **Non-Pet Animals**
 - a) Examples - importation of animals for non-food livestock (hunt clubs, breeding, racing, draft animals), research, harvesting fur/wool/hair, entertainment and their sites of deliberate introduction (zoos, public aquaria, ranches, rodeos, lab facilities, etc.).
 - b) Subpathways -
 - (1) Non-pet organism "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - (2) Hitchhikers
 - (a) On or with non-pet animal (incl. parasites and pathogens)
 - (b) In water, food, growing medium, nesting or bedding
 - c) Organisms Transported - adp, in, mbv, tv, v
 - d)

C. **Plant Trade** (aquatic and terrestrial)

- 1. Examples -importation of plants and sites of deliberate introductions of plants (botanical gardens, nurseries, landscaping facilities, research facilities, public and private plantings, and aquariums/water gardening facilities when talking about aquatics, etc.)
 - a) **Whole plants** and nurseries/landscaping/garden facilities
 - b) **Plant parts**
 - (1) **Seeds** and the seed trade
 - (2) **Below Ground Plant Parts**
 - (a) Bulbs, culms, roots, tubers, etc.
 - (3) **Above Ground Plant Parts**
 - (a) Cuttings, budwood
 - (4) **Aquatic Plant Propagules**
- 2. Subpathways -
 - a) Plant organisms "in trade" - intentionally released (authorized or unauthorized) or escaped
 - b) Hitchhikers
 - (1) On or with plant or plant part (incl. parasites and pathogens)
 - (2) In water, growing medium, or packing material
- 3. Organisms Transported - ps, pdp, in, si, v, ai, av, adp

III. **Other Miscellaneous Pathways** -

A. **Other Aquatic Pathways**

- 1. Subpathways
 - a) **Interconnected Waterways**
 - (1) Examples - Chicago Ship and Sanitary Canal
 - b) **Interbasin Transfers**
 - (1) Examples - California Aqueduct, All American Canal
- 2. Organisms Transported - ai, av, ap, adp, pdp

B. **Other Animal and Plant Related Pathways**

- 1. **Minimally Processed Animal Products**
 - a) Examples - hides, trophies, feathers
 - b) Organisms Transported - adp, in, inv
- 2. **Minimally Processed Plant Products**
 - a) Examples - logs, firewood, chips, mulch, straw, baskets, sod, etc.
 - b) Organisms Transported - in, inv, ps, pdp, si, v
- 3. **Meat Processing Waste**
 - a) Organisms Transported - adp

C. **Ecosystem Disturbance**

- 1. **Short-term disturbances that facilitate introduction**
 - a) Examples - habitat creation, restoration, enhancement; forestry
 - b) Organisms Transported - ps, pdp, in, inv, v
- 2. **Long-term disturbances that facilitate introduction**
 - a) Examples -
 - (1) Highway rights-of way, Railroad rights of way, Utility Rights of way
 - (2) Land clearing, development, damming, stream channelization, logging
 - b) Organisms Transported - ps, pdp, in, inv, v

D. **Natural Spread of Established Populations of Invasive Species**

1. Examples include natural migration, movement and spread of established populations, ocean currents, wind patterns, unusual weather events, spread by migratory waterfowl, etc.
 2. Organisms transported - this category includes all established invasive species
-

Key to Organisms Transported

ai = aquatic invertebrates (and larval stages)

adp = animal disease pathogens and parasites

ap = aquatic plants

av = aquatic vertebrates (and larval stages)

di = dinoflagellates

dp = disease pathogens

gm = gypsy moth

hfo = hull fouling organisms

in = insects and similar invertebrates

inv = other invertebrates (not insects)

mbv = microbes, bacteria, and viruses

pdp = plant disease pathogens

ph = phytoplankton

ps = plants and seeds

si = snails and other invertebrates

tv = terrestrial invertebrates (insects and other arthropods)

v = vertebrates

Bron: Invasive Species Pathways Task Team (2003)

Bijlage 6. Begrippenlijst

Adventiefplant: Plant die onbedoeld is geïntroduceerd.

Arbovirus: *Arthropod Borne Virus*, een virus dat wordt overgebracht door arthropoda, meestal muggen.

Bio(logische)globalisering: Het verschijnsel dat steeds meer planten, dieren en micro-organismen geografische barrières passeren en zo hun arealen uitbreiden. Waar de mens het passeren van barrières faciliteert (indirect ook door klimaatverandering) is sprake van *antropogene* bioglobalisering, het onderwerp van dit rapport. Resultaat van biologische globalisering is dat flora's en fauna's van de verschillende regio's steeds meer op elkaar gaan lijken: homogenisering en toename van entropie.

Bio-invasie: Het binnendringen van een soort in een voor die soort nieuw gebied, waar hij zich handhaaft en uitbreidt. Kortstondige invasies, zoals die van de pestvogel in Nederland, waarbij de soort zich niet voorplant, worden hier niet toe gerekend.

Bio(geografische)regio: Regio met een relatief homogene flora en fauna, door een geografische barrière min of meer gescheiden van andere zulke regio's.

Bioom: Een grote ecologische levensgemeenschap of *community* (of complex van *communities*) die zich uitstrekt over een groot areaal gekarakteriseerd door een dominant vegetatietype. De grenzen tussen biomen worden bepaald door het klimaat en zijn daardoor niet scherp. Voorbeelden: toendra, taiga, tropisch regenwoud en woestijn.

Biota: (Het totaal van) alle organismen in een bepaalde regio.

Commensalisme: mutualisme tussen twee soorten waarbij slechts één soort profiteert, maar de andere geen schade ondervindt.

Contra-invasie: introductie van een natuurlijke vijand van een invasieve soort (dit rapport). Ook: aanval van een inheemse soort op een exoot (Bright 1998).

Counterpest (Elton): een natuurlijke vijand geïntroduceerd ter bestrijding van een schadelijke invasieve soort.

Endemische soort (in de biogeografie): Soort die exclusief in een bepaald gebied voorkomt.

Endemische ziekte (in de epidemiologie): Continu in een gebied voorkomende ziekte op een tamelijk constant niveau.

Epidemie: Een in korte tijd optredende aanmerkelijke verhoging van de incidentie van een bepaalde aandoening onder mensen. Anders dan vaak wordt aangenomen geldt dit *niet* alleen infectieziekten, maar ook vormen van kanker, hart- en vaatziekten, drugslachtoffers e.d.

Epizootie: Een epidemie onder dieren.

Exoot: Een soort die van oorsprong niet voorkomt in een gebied waar hij op een bepaald moment wordt aangetroffen. Synoniemen: uitheemse soort, nieuwkomer. Engels: *exotic, alien, non-indigenous, non-native species*.

Herintroductie: Opnieuw inbrengen van een soort in een gebied waar hij was uitgestorven, met de bedoeling dat hij zich daar vestigt en handhaaft.

Import: Het invoeren (door de mens) van een soort in een gebied in een min of meer gesloten omgeving. Het kan gaan om soorten die nieuw zijn voor het gebied, maar ook om soorten die er wel thuishoren. Voorbeelden: zalm en oester. Geïmporteerde organismen kunnen overigens wel genetisch verschillen van de in het gebied aanwezige populatie.

Importgevallen: (in de epidemie): Ziekten die door patiënten uit het buitenland worden meegenomen. Voorbeelden: malaria, buiktyfus, hepatitis A en infecties door de MRSA-bacterie.

Inburgeren: Zich na vestiging in een gebied handhaven en voortplanten op meer dan één plek gedurende een nader te specificeren tijdseenheid of aantal generaties. Engels: *naturalize*.

Incidentie: Het aantal *nieuwe* gevallen van een bepaalde aandoening in een bepaalde periode (vaak een jaar) in een circumscribeerde bevolking (vaak uitgedrukt per 100.000).

Inheemse soort: Soort die in een bepaald gebied van oudsher voorkomt. Engels: *native, indigenous species*.

Introductie: Inbrengen van een soort in een gebied waar de soort nog niet voorkomt. Kan met opzet geschieden, per ongeluk, of niet met opzet maar wel bewust.

Invasieve soort: Hiervan bestaan in de literatuur tenminste 5 uiteenlopende definities (Colautti & MacIsaac 2004).

In dit rapport: soort die met hulp van de mens een nieuw gebied koloniseert en zich daar op eigen kracht handhaaft en uitbreidt. Volgens deze definitie is een invasieve soort in zijn nieuwe gebied niet per se talrijk, laat staan schadelijk.

(N.B: de Amerikaanse overheid noemt alleen die soorten invasief die schade veroorzaken of waarschijnlijk zullen veroorzaken).

Kolonisatie: Uitbreiding van een soort in een voor die soort nieuw gebied. Als een kolonisatie succesvol verloopt, leidt dat tot vestiging.

Lag-fase: De fase waarin een soort zich wel heeft gevestigd, maar zich nog niet noemenswaardig uitbreidt. Die fase kan wel 100 jaar duren.

Niche: De status of rol van een soort in een habitat, gedefinieerd in termen van voedsel, predatoren, temperatuurtolerantie etc. Volgens het principe van Gause kunnen twee soorten niet langdurig in dezelfde niche leven.

Pandemie: Een wereldwijd optredende epidemie. Kan zich over vele jaren uitstrekken.

Ponto-Caspische soorten: soorten die endemisch zijn in Zwarte Zee en Kaspische Zee.

Presentie: Aanwezigheid van een soort, ongeacht het aantal individuen dat wordt gevonden, gemeten als het aantal locaties waar hij wordt gevonden en/of het aantal meetpunten in de tijd waarop hij wordt aangetroffen.

Prevalentie: Het *totale* aantal gevallen van een bepaalde aandoening in een bepaalde periode (vaak een jaar: jaarprevalentie) of op een bepaald tijdstip (puntprevalentie) in een circumschreven bevolking (vaak uitgedrukt per 100.000). Gevallen die vóór de meetperiode of het meettijdstip zijn ontstaan, tellen dus ook mee. De prevalentie kan vele malen de jaarincidentie bedragen (chronische ziekten).

Propagule (invasion) pressure: het aantal individuen (of zaden) van een soort dat is betrokken bij de invasie. Vaak geldt: hoe groter dat aantal, hoe meer kans op succes de invasie heeft.

Secundaire bio-invasie: Een invasie niet rechtstreeks vanuit het oorsprongsgebied van de soort, maar via een tussenliggend gebied.

Tariefescalatie: Een opbouw van invoerheffingen waarbij het tarief stijgt naarmate het product verder is bewerkt.

Transformerende soort: soort die een ecosysteem direct of indirect ingrijpend verandert. Voorbeeld: konijn dat regeneratie van bos verhindert. Maar ook: virus dat konijn uitroeit, waardoor het bos regenerereert.

Uitheemse soort: synoniem van "exoot".

Vector (in de ecologie): Het transportmiddel/de drager waarmee, c.q. de manier waarop de desbetreffende soort is vervoerd van het gebied van oorsprong naar het gebied van aankomst .

Vector (in de epidemiologie): Organisme dat een ziektekiem overbrengt van de ene gastheer naar de andere (dier-dier, dier-mens, mens-mens, mens-dier). Vaak betreft het geleedpotigen (*arthropod borne diseases*): muggen, teken, vlooien. Ook dode voorwerpen kunnen transportmiddel zijn. Daarvoor bestaat de Engelse term *fomite*. Voorbeelden: scheermes (hepatitis B), drinkglas (ziekte van Pfeiffer) en kraan (influenza).

Vestigen: Zich na kolonisatie handhaven en vermenigvuldigen.

Zoönose: Ziekte die van dieren overgaat op mensen.