

"Its subject is so important and its story so powerful that it
deserves to be read by the widest possible audience."

—New York Times Book Review

Our Stolen Future

THEO COLBORN, DIANNE DUMANOSKI,
AND JOHN PETERSON MYERS



FOREWORD BY VICE PRESIDENT AL GORE

ARE WE THREATENING OUR FERTILITY,

INTELLIGENCE, AND SURVIVAL?

A SCIENTIFIC DETECTIVE STORY

OUR STOLEN FUTURE

*Are We Threatening
Our Fertility, Intelligence,
and Survival?—A Scientific
Detective Story*

WITH A NEW EPILOGUE
BY THE AUTHORS

Theo Colborn,
Dianne Dumanoski,
and John Peterson Myers



A PLUME BOOK

To all of you who contributed to this effort, each in your own way—with your expertise, your critical assessment, your time, your encouragement, and your patience—and for your children and grandchildren and their grandchildren.

PLUME

Published by the Penguin Group

Penguin Books USA Inc., 375 Hudson Street, New York, New York 10014, U.S.A.

Penguin Books Ltd, 27 Wrights Lane, London W8 5TZ, England

Penguin Books Australia Ltd, Ringwood, Victoria, Australia

Penguin Books Canada Ltd, 10 Alcorn Avenue, Toronto, Ontario, Canada M4V 3B2

Penguin Books (N.Z.) Ltd, 182–190 Wairau Road, Auckland 10, New Zealand

Penguin Books Ltd, Registered Offices: Harmondsworth, Middlesex, England

Published by Plume, an imprint of Dutton Signet,

a division of Penguin Books USA Inc.

Previously published in a Dutton edition.

First Plume Printing, March, 1997

21 23 25 27 29 30 28 26 24 22

Copyright © Theo Colborn, Dianne Dumanoski, and John Peterson Myers, 1996, 1997

All rights reserved

A portion of Chapter Eight first appeared in *Natural History* magazine.



REGISTERED TRADEMARK—MARCA REGISTRADA

The Library of Congress has catalogued the Dutton edition as follows:

Colborn, Theo.

Our stolen future : are we threatening our fertility, intelligence, and survival? : a scientific detective story / Theo Colborn, Dianne Dumanoski, and John Peterson Myers.

p. cm.

ISBN 0-525-93982-2 (hc.)

ISBN 0-452-27414-1 (pbk.)

1. Reproductive toxicology. 2. Environmental health. I. Myers, John Peterson.

II. Dumanoski, Dianne. III. Title.

RA1224.2.C65 1996

615.9'02—dc20

95-30015

CIP

Printed in the United States of America

Original hardcover design by Jesse Cohen

Without limiting the rights under copyright reserved above, no part of this publication may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise), without the prior written permission of both the copyright owner and the above publisher of this book.

BOOKS ARE AVAILABLE AT QUANTITY DISCOUNTS WHEN USED TO PROMOTE PRODUCTS OR SERVICES. FOR INFORMATION PLEASE WRITE TO PREMIUM MARKETING DIVISION, PENGUIN BOOKS USA INC., 375 HUDSON STREET, NEW YORK, NY 10014.



VOORWOORD

AL GORE Vice President Al Gore

22 januari 1996

Vorig jaar schreef ik een voorwoord voor de dertigste jubileumuitgave van *Rachel Carson's* klassieke werk, *Silent Spring*. Ik realiseerde me niet dat ik zo snel een voorwoord zou schrijven voor een boek dat in veel opzichten haar vervolg is.

Dankzij Rachel Carson's klaroengeschal hebben we nieuwe en essentiële beschermingen voor het Amerikaanse publiek ontwikkeld. Nu werpt *Our Stolen Future* net zulke diepgaande vragen op als Carson dertig jaar geleden stelde - vragen waarop we antwoorden moeten zoeken.

Silent Spring was een welsprekende en dringende waarschuwing voor de gevaren van door de mens gemaakte pesticiden. Carson beschreef niet alleen hoe hardnekkige chemicaliën de natuur vervuilden, ze documenteerde ook hoe die chemicaliën zich in ons lichaam ophoopten. Sindsdien hebben onderzoeken naar moedermelk en lichaamsvet de omvang van onze blootstelling bevestigd. Mensen op afgelegen locaties zoals het noordelijk gelegen Baffin Island in Canada dragen nu sporen van persistente synthetische chemicaliën in hun lichaam, waaronder beruchte verbindingen als PCB's, DDT en dioxine. Erger nog, in de baarmoeder en via de moedermelk geven moeders deze chemische erfenis door

aan de volgende generatie.

Zoals Carson in een van haar laatste toespraken waarschuwde, is deze vervuiling een experiment zonder weerga: "We onderwerpen hele bevolkingsgroepen aan blootstelling aan chemische stoffen waarvan dierproeven hebben aangetoond dat ze extreem giftig zijn en in veel gevallen cumulatief in hun effecten. [010] Deze blootstelling begint nu bij of voor de geboorte en - tenzij we onze methoden veranderen - zal doorgaan gedurende het hele leven van degenen die nu leven. Niemand weet wat de resultaten zullen zijn omdat we geen eerdere ervaring hebben om ons te leiden."

We beginnen nu pas de gevolgen van deze vervuiling te begrijpen. *Our Stolen Future* gaat verder waar Carson ophield en bespreekt een grote en groeiende hoeveelheid wetenschappelijk bewijs dat synthetische chemicaliën in verband brengt met afwijkende seksuele ontwikkeling en gedrags- en voortplantingsproblemen. Hoewel veel van het bewijs in deze wetenschappelijke studies betrekking heeft op dierpopulaties en ecologische effecten, zijn er ook belangrijke implicaties voor de menselijke gezondheid.

Tien jaar geleden leverde het gat in de ozonlaag schokkend bewijs voor de effecten van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) in de atmosfeer. Vorig jaar verklaarden wetenschappers dat menselijke activiteiten het klimaat op aarde veranderen. Vandaag de dag wijzen rapporten in vooraanstaande medische tijdschriften onheilspellend op de effecten van hormoonverstorende chemicaliën op onze vruchtbaarheid en op onze kinderen.

Our Stolen Future geeft een levendig en leesbaar verslag van opkomend wetenschappelijk onderzoek over hoe een breed scala aan door de mens gemaakte chemicaliën de delicate hormoonssystemen verstoren. Deze systemen spelen een cruciale rol in processen die variëren van de seksuele ontwikkeling van de mens tot gedrag, intelligentie en het functioneren van het immuunsysteem.

Hoewel wetenschappers nog maar net begonnen zijn met het onderzoeken van de implicaties van dit onderzoek, leggen de eerste dierlijke en menselijke studies een verband tussen deze chemicaliën en talloze effecten, waaronder een laag aantal zaadcellen, onvruchtbaarheid, misvormingen van de genitaliën, hormonaal getriggerde kankers bij mensen, zoals borst- en prostaatkanker, neurologische stoornissen bij kinderen, zoals hyperactiviteit en aandachtstekort, en ontwikkelings- en voortplantingsproblemen bij in het wild levende dieren.

Het wetenschappelijke bewijs is nog steeds in ontwikkeling en ons begrip van de aard en omvang van deze bedreiging zal ongetwijfeld evolueren naarmate het onderzoek vordert. Omdat industriële chemicaliën een belangrijke sector van de wereldeconomie zijn geworden, zal bovendien elk bewijs dat ze in verband brengt met ernstige ecologische en menselijke gezondheidsproblemen tot controverse leiden. Het is echter duidelijk dat het wetenschappelijk onderzoek dat ten grondslag ligt aan *Our Stolen Future* dwingende en dringende vragen oproept die aangepakt moeten worden.

[011] Als reactie op het toenemende bewijs heeft de National Academy of Sciences een panel van experts opgericht

om de bedreigingen te beoordelen. Dat is een belangrijke eerste stap. We moeten ook de onderzoeksinspanningen uitbreiden om meer te weten te komen over hoe deze chemische stoffen hun schade aanrichten, om te identificeren hoeveel andere synthetische chemische stoffen dergelijke eigenschappen bezitten en om te ontdekken in welke mate wij en onze kinderen eraan worden blootgesteld. We moeten inzicht krijgen in de vaak onzichtbare schade die ze kunnen aanrichten. We moeten uitzoeken of er manieren zijn om kinderen te beschermen, die het grootste risico lijken te lopen op geboorteafwijkingen en ontwikkelingsstoornissen door dergelijke hormonaal actieve stoffen. We moeten de verbanden tussen de effecten op mensen en dieren in het wild verder onderzoeken.

We kunnen nooit een maatschappij opbouwen die volledig vrij van risico's is. Het Amerikaanse volk heeft echter op zijn minst het recht om te weten aan welke stoffen zij en hun kinderen worden blootgesteld en om alles te weten wat de wetenschap ons over de gevaren kan vertellen.

Het is nu duidelijk dat we te lang hebben gewacht met het stellen van de juiste vragen over de CFK's die uiteindelijk de ozonlaag hebben aangetast, en we gaan te langzaam met het aanpakken van de dreiging van klimaatverandering. We hebben zeker te lang gewacht met het stellen van de juiste vragen over PCB's, DDT en andere chemische stoffen, die nu verboden zijn, en die ernstige risico's voor de menselijke gezondheid met zich meebrachten.

Our Stolen Future is een zeer belangrijk boek dat ons dwingt om nieuwe vragen te stellen over de synthetische

chemicaliën die we over deze aarde hebben verspreid. In het belang van onze kinderen en kleinkinderen moeten we dringend op zoek naar de antwoorden. We hebben allemaal het recht om te weten en de plicht om te leren.

DANKBETUIGING

Dit boek was een gezamenlijke inspanning die veel verder reikte dan ons en omvatte wetenschappers, geleerden en vrienden van over de hele wereld. Het zou onmogelijk zijn om iedereen te noemen die tijd en expertise heeft gestoken in de ontwikkeling van dit verhaal. Liever dan het risico te lopen iemand over het hoofd te zien, hebben we ervoor gekozen geen lijst te maken van degenen die onze dank verdienen. We hopen dat ieder van u (u weet wie u bent), terwijl u het boek leest, voldoening put uit wat we hebben geproduceerd. We zijn jullie veel dank verschuldigd.

Daarnaast zou dit boek nooit tot publicatie zijn gekomen zonder de initiële en voortdurende steun van een aantal stichtingen: de W. Alton Jones Foundation, de Joyce Foundation, de C. S. Mott Foundation, het Pew Scholars Program, Pew Charitable Trusts, de Winslow Foundation en de Keland Endowment van de Johnson Foundation.

PROLOOG

Dit is een zeer ongebruikelijk boek. Het is het resultaat van een samenwerking tussen drie auteurs en het gebruikt een onconventionele stijl om een boodschap te presenteren die de traditionele kennis over synthetische chemicaliën, hun veiligheid en hoe we risico's waarnemen overstijgt. De drie personen die aan dit boek hebben gewerkt - Theo Colbom, Dianne Dumanoski en Pete Myers - hebben elk hun eigen talenten en ervaring ingebracht en een andere rol gespeeld bij het ter perse gaan van dit boek. We zijn deze samenwerking aangegaan omdat de steeds complexere problemen waar we aan het eind van de twintigste eeuw mee te maken hebben om dergelijke gezamenlijke inspanningen vragen. Er is meer voor nodig dan een enkel individu kan inbrengen.

Theo(dora) Colborn's March 28, 1927 – December 14, 2014 zeven jaar werk aan het synthetiseren van het onderzoek naar hormoonverstorende chemicaliën en haar uitgebreide databank vormden de wetenschappelijke basis voor deze inspanning. De uitdaging voor Dianne Dumanoski was om de complexe wetenschap om te zetten in een verhaal dat voor iedereen toegankelijk zou zijn, ook voor mensen zonder wetenschappelijke achtergrond. Dianne, die al vijftwintig jaar verslag doet van en schrijft over milieuwetenschap en -beleid, vulde deze informatie aan met extra onderzoek en interviews. Pete Myers bracht een wetenschappelijke achtergrond mee, evenals uitgebreide ervaring in nationaal en internationaal mili-

eubeleid, en voegde zo een andere waardevolle dimensie toe aan ons denken. De auteurs ontwikkelden en verfijnden samen de structuur en argumentatie van het boek en werkten tijdens het schrijven nauw en regelmatig samen in lange sessies.

[016] Omdat dit nog steeds een zich ontvouwend wetenschappelijk mysterie is, wordt het verteld als een detective-verhaal met Theo Colborn en Pete Myers als figuren in de tekst, net als de andere wetenschappers die een sleutelrol hebben gespeeld. Het eerste deel van dit verhaal neemt de lezer mee in Theo's ontdekkingsproces terwijl ze de wetenschappelijke literatuur bestudeert over de gezondheidseffecten van synthetische chemicaliën op wilde dieren en mensen. Theo is de speurneus in dit wetenschappelijke mysterie, niet alleen omdat ze echt zo'n rol heeft gespeeld, maar ook omdat we denken dat deze aanpak de lezer zal boeien. Naarmate het boek verder gaat dan Theo's vroege speurwerk, begint het het bewijsmateriaal te bespreken en weerspiegelt het de denkwijze van ons alle drie.

We leven in een complexe wereld die om een innovatieve aanpak vraagt van de problemen die de technologie heeft gecreëerd. Er was een niet-traditionele aanpak voor nodig - met uitgebreide samenwerking tussen experts uit vele disciplines - om de aard te onthullen van de chemische stoffen die onze toekomst stelen. Net zoals wetenschappers moesten breken met conventies om dit probleem te ontdekken, moesten wij breken met literaire conventies om het verhaal van hun ontdekking te vertellen.

VOORWOORD

PAPERBACK UITGAVE -1997

In de acht maanden sinds de publicatie in maart 1996 heeft *Our Stolen Future* veel bereikt van wat we gehoopt hadden toen we begonnen met het schrijven van een populair boek over het verontrustende nieuwe wetenschappelijke bewijs dat veel synthetische chemicaliën hormonen kunnen verstoren. We wilden deze dringende boodschap overbrengen aan een breed publiek buiten de wetenschappelijke gemeenschap. Wij wisten dat dit lang niet de eerste waarschuwing was over hormoonachtige effecten van sommige synthetische chemicaliën. Al in 1950 rapporteerden onderzoekers dat het door de mens gemaakte pesticide DDT de seksuele ontwikkeling van hanen kon verstoren en, door wat een hormonale werking leek te hebben, kon leiden tot “chemische castratie”. Maar dat wetenschappelijke rapport raakte in de vergetelheid, de waarschuwing werd niet opgevolgd en tientallen jaren lang bleven enorme hoeveelheden van dergelijke chemicaliën over de aarde verspreid worden. Gelukkig heeft onze eigen inspanning niet hetzelfde lot ondergaan.

De publicatie van *Our Stolen Future* leidde tot een enorme discussie en controverse en een stortvloed aan media-aandacht, niet alleen in de VS maar ook in andere landen. Dankzij deze intense aandacht heeft het idee dat syntheti-

sche chemicaliën aanzienlijke gezondheidsrisico's met zich meebrengen doordat ze hormonen verstoren, vaste voet aan de grond gekregen in het publieke debat en lijkt de kwestie van hormoonontregeling, zoals wetenschappers het noemen, een plaats te hebben veroverd op de agenda van het overheidsbeleid. Zoals gehoopt is het boek erin geslaagd om de heersende opvatting dat het primaire gevaar van giftige chemicaliën kanker is, in twijfel te trekken. [018] De toenemende bekendheid van de theorie die in *Our Stolen Future* uiteengezet wordt, heeft een golf van wetenschappelijk onderzoek en tientallen wetenschappelijke panels, bijeenkomsten en conferenties gestimuleerd. Het Amerikaanse Congres heeft dit jaar gereageerd met vier stukken wetgeving die verschillende acties voorschrijven, waaronder nieuwe procedures om chemicaliën te screenen op hormonale effecten. De regering-Clinton kondigde een nieuw beleid aan om de gezondheid van kinderen te beschermen tegen bedreigingen vanuit het milieu, waaronder gevaren van chemicaliën die hormonen verstoren. Volgens EPA-administrateur Carol Browner is het initiatief bedoeld om ervoor te zorgen dat gezondheidsnormen en risicoberekeningen de speciale kwetsbaarheid van baby's en kinderen weerspiegelen. Door vertalingen en twaalf buitenlandse edities tot nu toe bereikt het boek een publiek over de hele wereld en draagt het bij aan het groeiende momentum voor een wereldwijd verdrag om persistente chemicaliën, waaronder hormoonverstorende verbindingen zoals DDT en PCB's, te beheersen en te elimineren.

Dit alles geeft ons veel hoop. Het wetenschappelijk bewijs

dat in dit boek uiteengezet wordt, roept vragen op die dringend om antwoorden en actie vragen. De erkenning dat synthetische chemicaliën hormoonboodschappen in het lichaam kunnen verstoren, zou wel eens even diepgaande gevolgen kunnen hebben als de ontdekking dat door de mens gemaakte chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) de beschermende ozonlaag van de aarde kunnen aantasten. Wij zijn van mening dat het bewijs duidelijk aantoonst dat deze chemicaliën al invloed hebben op sommige mensen en vele soorten in het wild levende dieren, maar op dit moment zijn de omvang en de ernst van dit probleem nog onbekend. Talloze onderzoeken tonen echter aan dat verbazingwekkend kleine hoeveelheden van deze hormonaal actieve stoffen allerlei biologische schade kunnen aanrichten, vooral bij mensen die er in de baarmoeder aan worden blootgesteld. Tijdens deze creatieve en kwetsbare periode zetten hormonen met hun chemische boodschappen belangrijke gebeurtenissen in gang die essentieel zijn voor een normale ontwikkeling, variërend van de seksuele differentiatie van mannetjes tot de ordelijke migratie van zenuwcellen die nodig zijn voor de opbouw van goed functionerende hersenen. Door deze hormoonboodschappen te verstoren, kunnen synthetische chemicaliën de ontwikkeling van een baby ondermijnen met gevolgen die een leven lang zullen duren. Onderzoeken met wilde dieren tonen op levendige wijze aan dat deze chemicaliën de seksuele ontwikkeling kunnen verstoren, waardoor er intersekse individuen ontstaan die noch mannelijk noch vrouwelijk zijn. Ze kunnen de vruchtbaarheid saboteren, de intelligentie aantasten, het immuunsysteem ondermijnen en het gedrag veranderen.

[019] In de maanden sinds de voltooiing van dit boek zijn er een aantal belangrijke nieuwe onderzoeken verschenen die onze kennis over controversiële zaken als trends in het aantal menselijke zaadcellen vergroten en die de bezorgdheid dat zulke chemicaliën nu al een tol eisen op de gezondheid en het welzijn van de mens nog meer kracht bijzetten. In de epiloog aan het einde van deze editie bespreken we de laatste wetenschappelijke ontwikkelingen.

Zelfs voordat *Our Stolen Future* in de boekwinkels lag, was er al een luidruchtige publiciteitscampagne aan de gang om deze zorgen af te schilderen als ongefundeerd alarmisme. Zoals verwacht, klaagden sommigen onmiddellijk aan dat dit boek de mogelijke gevaren overdrijft en neerkomt op de zoveelste paniekzaaijerij over milieugevaren. Een paar conservatieve commentatoren en publicaties namen zelfs hun toevlucht tot aanvallen op de persoon in redactionele artikelen en opiniestukken waarin onze wetenschappelijke geloofwaardigheid en professionele integriteit in twijfel werden getrokken. Niets van dit alles was verrassend. Sterker nog, gezien de wrede aanvallen op Rachel Carson na de publicatie van *Silent Spring* in 1962, hadden we ons op veel erger voorbereid. Veel van deze aanvallen kenmerkten zich door flamboyante retoriek gekoppeld aan een opmerkelijk gebrek aan wetenschappelijke substantie. In schril contrast met de gezamenlijke campagne vierendertig jaar geleden om Rachel Carson en haar boodschap in diskrediet te brengen, is de chemische industrie zelf opmerkelijk bescheiden en voorzichtig geweest in haar publieke reactie op *Our Stolen Future*. De brancheorganisaties en individuele bedrijven

hebben zich onthouden van directe aanvallen op het boek en hebben in openbare verklaringen met een lichte toon erkend dat het boek serieuze vragen oproept. Sommigen hebben geprobeerd hun bezorgdheid te bagatelliseren door te beweren dat hun testprogramma's voor chemische stoffen altijd al hebben gescreend op effecten op de hormoonhuishouding en het nageslacht - een bewering die wordt betwist door het Environmental Protection Agency en veel wetenschappers die in dit boek worden geciteerd.

Tegelijkertijd is het boek niet onomstreden gebleven. Sommige commentatoren hebben legitieme wetenschappelijke kwesties geïdentificeerd die onderzocht moeten worden. We betwisten ook niet de noodzaak van bijkomend onderzoek naar veel van de vragen die we stellen over de impact van lage besmetting op de menselijke gezondheid. [020] Desondanks zijn we ervan overtuigd dat er al genoeg bekend is om de stappen die in hoofdstuk 13 worden aanbevolen te rechtvaardigen, en we zijn blij dat sommige van deze initiatieven al aan de gang zijn.

Andere uitdagingen waren echter gericht op een brede verwerping van de algemene stelling. Sommige door de industrie gesteunde wetenschappers en academici besteedden opmerkelijk veel tijd en energie aan het verwerpen van vragen over mogelijke verbanden tussen gezondheidsproblemen bij de mens en chemische vervuiling. De argumenten die in dit verband naar voren werden gebracht, gaven vaak blijk van weinig vertrouwdheid met het boek of de onderliggende wetenschap. Soms berustten ze op een ongepast gebruik van gegevens die voor iedereen met een wetenschap-

pelijke opleiding duidelijk zouden zijn, waardoor de vraag rees of het om een serieus wetenschappelijk debat ging of om propaganda gericht op de media en het publiek.

Net zoals het met de huidige kennis moeilijk is om alle gevolgen voor de menselijke gezondheid die we in het boek aan de orde stellen te bevestigen, is het onmogelijk om biologisch plausibele theorieën te verwerpen dat hormoonverstorende chemicaliën een factor kunnen zijn die de menselijke gezondheid aantast, de intelligentie ondermijnt en het voortplantingsvermogen vermindert.

De chemische industrie financiert zowel rechtstreeks als via haar handelsverenigingen ook haar eigen onderzoek naar het hormoonverstorende probleem. Dit is een stap in de goede richting, maar helaas wijst de ervaring uit het verleden uit dat dit geld waarschijnlijk naar onderzoekers zal vloeien die geneigd zijn tot het standpunt van de industrie en studies zullen opleveren die het bewijs van mogelijke verbanden tussen gezondheidsproblemen bij de mens en synthetische chemicaliën tegengaan.

Hoewel scepsis gezond is en theorieën zoals de hormoonontregelingshypothese uitgedaagd en getest moeten worden, zou het beter zijn om ongeïnteresseerde wetenschappers dit soort testen te laten uitvoeren met fondsen die niet direct aan de industrie verbonden zijn. Weinigen zullen beweren dat door de industrie gefinancierde wetenschap automatisch of noodzakelijkerwijs slechte wetenschap is. Maar studies die gefinancierd worden door belangengroepen die miljoenen dollars op het spel hebben staan bij de uitkomst, hebben van meet af aan te lijden onder een geloofwaardigheidspro-

bleem en dienen alleen maar om het politieke debat verder te polariseren. Individuele studies kunnen goed uitgevoerd en onbevooroordeeld zijn, maar de antwoorden die ze opleveren kunnen in grote mate afhangen van de studieopzet en de manier waarop de vraag wordt gesteld. We betreuren het dat dit geld niet naar een onafhankelijk fonds is gegaan om zorgvuldig ontworpen en gecoördineerde studies te steunen die onder toezicht staan van een belangeloos panel van vooraanstaande wetenschappers.

[021] De tekenen wijzen er momenteel op dat gevestigde belangen hun inspanningen zullen richten op het proces van het Environmental Protection Agency om nieuwe screening-procedures te ontwikkelen voor het identificeren van hormoonverstorende stoffen. De strijd zal gaan over hoe breed het probleem gedefinieerd moet worden. Facties binnen de chemische industrie hebben al geprobeerd om de reikwijdte van de bezorgdheid te beperken tot verbindingen die oestrogeen verstoren. Zoals het gewicht van het bewijs heeft aangetoond, is het probleem veel breder. Chemische belangen hebben er veel baat bij om dit proces te vertragen en de officiële reikwijdte van het hormoonverstorende probleem zo veel mogelijk te beperken. Hoe nauwer deze definitie, hoe gemakkelijker het zal zijn om het probleem te beperken en het belang ervan af te wijzen, en hoe goedkoper het zal zijn om nieuwe tests uit te voeren. —

Het meest opmerkelijke aan de reactie van de media op *Our Stolen Future* is de enorme hoeveelheid en breedte van de berichtgeving. In de afgelopen maanden hebben honderden nieuwsberichten, boekbesprekingen, radio- en tv-interviews,

tijdschriftartikelen en talkshowprogramma's aandacht besteed aan dit boek en deze belangrijke kwestie. Via publicaties variërend van het tijdschrift Science tot Esquire en Garden Design, is het nieuws over onze bezorgdheid erin geslaagd om een breed publiek te bereiken.

Nieuwsberichten in de wetenschappelijke pers en zelfs in vakbladen over de industrie hebben over het algemeen aandacht besteed aan het boek, zonder ons af te doen als paniekzaaiers of te betwisten dat deze wetenschappelijke zaak serieuze aandacht verdient. Een opmerkelijke uitzondering was een verhaal in het wetenschapskatern van een toonaangevende krant, waarin de bezorgdheid van het boek als ongegrond werd afgeschilderd en de waarschuwingen werden ontkracht.

Het is misschien onvermijdelijk dat complexe kwesties een karikatuur krijgen in de berichtgeving in de pers en in het publieke debat. Rapporten richtten zich meestal alleen op oestrogene chemicaliën en negeerden het even overtuigende bewijs dat synthetische chemicaliën testosteron kunnen blokkeren of de schildklierhormonen kunnen verstoren die nodig zijn voor de ontwikkeling van de hersenen. De ontdekking van interferentie met andere hormonen is een cruciaal onderdeel van dit verhaal, omdat het aantoont dat de verstoring door synthetische chemicaliën met oestrogeen geen uniek geval is, een toevalstreffer die voortkomt uit een of andere eigenaardigheid van de oestrogeenreceptor. Er zijn vele manieren om hormonen te verstoren en ze zijn duidelijk niet beperkt tot oestrogeen of tot een biologisch effect waarbij een hormoonreceptor betrokken is. [022] De opko-

mende wetenschap toont in feite aan dat een groot deel van het chemische berichtensysteem van het lichaam - niet alleen het endocriene systeem - kwetsbaar is voor verstoring door de nieuwe verbindingen die mensen hebben gesynthetiseerd en in het milieu hebben gebracht.

Misschien onvermijdelijk, hadden journalisten ook de neiging om zich te richten op een paar problemen met de menselijke gezondheid, zoals de controverse over berichten over dalende spermatellingen of mogelijke milieuverbanden met stijgende percentages borstkanker. Deze aanpak was enorm frustrerend omdat het zo tegenstrijdig was met de methode van dit boek en de aard van het argument. In ons wetenschappelijke detectiveverhaal leggen we een uitgebreide hoeveelheid bewijsmateriaal bloot, afkomstig uit veel verschillende gebieden en soorten wetenschappelijk werk - onderzoeken naar wilde dieren, laboratoriumexperimenten, mechanistische onderzoeken naar hormoonreceptoren, rapporten over verontreinigingsniveaus bij mensen en wilde dieren, en menselijke gegevens van het tragische medische ongeluk met het synthetische oestrogeen DES. De vragen over mogelijke effecten op de menselijke gezondheid, die we uiteindelijk in hoofdstuk 9 behandelen, komen voort uit wat het geheel van biologisch bewijsmateriaal laat zien over de schade die hormoonverstorende chemicaliën aanrichten, de blootstelling van mensen aan deze verontreinigende stoffen en de potentiële kwetsbaarheid van mensen. De onderzoeken bij in het wild levende dieren en laboratoriumexperimenten wijzen op de mogelijkheid van een toename van zaadbalkanker, afwijkingen aan de mannelijke geslachtsor-

ganen en een verminderd aantal zaadcellen bij mensen die zijn blootgesteld aan synthetische chemicaliën die oestrogeen nabootsen. Als je verspreid berichten vindt over een toename van genitale afwijkingen, dan geven deze aanleiding tot meer bezorgdheid als je ze bekijkt in het licht van de hoeveelheid ondersteunend bewijs van dieren. Als je zorgwekkende trends ziet in een verscheidenheid aan gezondheidsproblemen die verband houden met hormoonverstoring, dan is het patroon veelzeggender dan een enkele trend. Het is een grote vergissing om deze kwestie door de smalle lens van een enkele ziekte of lichamelijke tekortkoming te bekijken of om alleen naar menselijk bewijs te kijken. De kracht van dit boek berust op het cumulatieve gewicht van het bewijsmateriaal en de overtuigende patronen die naar voren komen wanneer het als geheel wordt beschouwd.

-November 1996

Omdat dit verhaal nog lang niet voorbij is, zullen we onze verkenning van het hormoonontregelingsprobleem voortzetten op een speciale website. Voor de laatste ontwikkelingen in zowel wetenschap als beleid, kijk op [www. Osf-facts. org](http://www.Osf-facts.org) – 2025 404

Zie Web versie van boek

<https://theocolborn.com/our-stolen-future-1996/>

INHOUD-LIJST

Hfd.	Onderwerp	[xxx]
xxxx	Voorwoord - Vice President Al Goor 1996 - gelezen	009
xxxx	Dankbetuiging – schrijvers - gelezen	012
xxxx	Proloog - geleze	015
xxxx	Voorwoord bij Paperback editie	017
Hfd.-01	Voortekenen	023
Hfd.-02	Overgeleverd vergif	033
Hfd.-03	Chemische boodschappers	051
Hfd.-04	Hormoonschade	069
Hfd.-05	Vijftig manieren om je vruchtbaarheid te verliezen	090
Hfd.-06	Naar de uiteinden van de aarde	109
Hfd.-07	Een enkele klap	132
Hfd.-08	Hier, daar en overal	144
Hfd.-09	Kroniek van verlies	164
Hfd.-10	Veranderde lotsbestemmingen	189
Hfd.-11	Voorbij kanker	220
Hfd.-12	Zichzelf verdedigen	232
Hfd.-13	Loomings	253
Hfd.-14	Blind vliegen	261
xxxx	Epiloog voor Paperbackeditie	272
Bijlage:	De consensusverklaring van	181
	Wingspread 259 / Aantekeningen 269 / Index 305	

[023]

HOOFDSTUK – 01

OMENS

1952: Golfkust, Florida

IN JAREN VAN ZEEARENDEN KIJKEN HAD CHARLES BROLEY NOG NOOIT ZOIETS GEZIEN.

Dus maakte hij zorgvuldige aantekeningen in zijn velddagboek, een verslag dat na verloop van tijd de achteruitgang van de vogel langs de oostkust van Canada en de Verenigde Staten zou documenteren. Broley, een Canadees, verdiende zijn brood als bankier, maar hij werkte met dezelfde intensiteit aan zijn gepassioneerde bezigheid -ornithologie. Lang voordat de verlaten nesten met gebroken eierschalen verschenen, merkte hij dat de arenden zich vreemd gedroegen.

Broley's studie naar de zeearenden in Florida was in 1939 begonnen op aanraden van medewerkers van de National Audubon Society. Na zijn eerste onderzoeken maakte hij enthousiaste rapporten over een robuuste arendenpopulatie die

succesvol nestelde langs de hele westkust van het schiereiland, van Tampa tot Fort Myers. In het begin van de jaren '40 volgde Broley 125 actieve nesten en terwijl hij omhoog klom, bandagede hij elk jaar zo'n 150 jonge arenden.

[024] In 1947 veranderde het beeld plotseling. Het aantal adelaars begon sterk te dalen en in de daaropvolgende jaren was Broley getuige van bizar gedrag bij veel van de adelaarsparen. Het seizoen was vroeg in de winter, de tijd waarin volwassen vogels hun partner zoeken en hun balts beginnen door stokken te verzamelen en samen een nest te bouwen. Maar op de nestplaatsen die hij dertien jaar lang had bezocht, leek tweederde van de volwassen vogels, gemakkelijk te herkennen aan hun witte koppen, onverschillig tegenover het nestritueel. Ze deden niet aan baltsgedrag. Zoals Broley in zijn dagboek noteerde, toonden ze geen enkele interesse in paren. De vogels “lummelden” maar wat rond.

Waardoor hadden de arenden van Florida hun natuurlijke instinct om te paren en jongen groot te brengen verloren? Toen Broley om zich heen keek op zoek naar een mogelijke verklaring, viel zijn oog op de grote huizenbouwprojecten die het gevolg waren van de naoorlogse ontwikkeling van Florida. De nieuwe huizen slokten honderden acres eerste-klas kustgrond op, dus schreef Broley de achteruitgang en het afwijkende gedrag toe aan menselijke indringing. Onderzoekers van adelaars aan de universiteit waren het volledig eens met deze eerste diagnose.

Later begon Broley aan deze verklaring te twijfelen. Toen hij halverwege de jaren vijftig doorging met zijn werk, raakte hij er vast van overtuigd dat 80 procent van de zeearen-

den in Florida steriel was - een klacht die je moeilijk aan bulldozers kon wijten.

Eind jaren 1950: Engeland

Hoewel otters niet meer zo talrijk waren als vroeger, ging de traditionele otterjacht tot halverwege de vorige eeuw door, relatief ongewijzigd ten opzichte van de dagen dat Sir Edwin Landseer de jacht vastlegde in zijn negentiende-eeuwse olieverfschilderij *The Otter Hunt*. Toegewijden aan deze sport in Groot-Brittannië hielden nog steeds minstens dertien roedels ruige, langoorige jachthonden voor de jacht en pittige kleine terriërs om de otters te verjagen. En degenen die de gewoonten van de otter hadden geleerd van vaders en ooms voor hen, wisten nog steeds waar ze het hol van de otter moesten zoeken. In het weekend tijdens het jachtseizoen gingen ze op verkenning langs de oevers van de beek, op zoek tussen de verwarde wortels naar de holtes die overdag onderdak boden aan otters. Als een otter eenmaal op de vlucht was, weerklonken de geluiden van een thuis en het gebrul van de honden door de valleien terwijl de mannen een eeuwenoude bloedsport beoefenden.

[025] Tegen het einde van het decennium begonnen jagers echter problemen te krijgen met het vinden van otters om op te jagen en in sommige gebieden verdwenen de otters helemaal zonder duidelijke reden.

Behalve de jagers merkten maar weinigen op dat de ongrijpbare en grotendeels nachtdieren verdwenen uit rivieren en beken waar ze altijd gevonden waren. Toen natuurbescher-

mers het probleem eindelijk opmerkten, bijna twintig jaar nadat de achteruitgang was begonnen, zochten ze in de administratie van de jagers naar aanwijzingen over waarom de otters waren verdwenen.

Sommigen verdachten het pesticide dieldrin, maar de oorzaak van de achteruitgang zou een mysterie blijven tot de jaren 1980, toen Engelse wetenschappers bewijsmateriaal uit heel Europa analyseerden.

Midden jaren 60: Michiganmeer

In de economische boom na de Tweede Wereldoorlog leek de honger van de consument naar nieuwe luxeartikelen onverzadigbaar. Voor de nertsenfokkers in Michigan waren dit inderdaad goede tijden, want de golf van welvaart voerde hen door de jaren 1950 van het ene goede jaar naar het andere. Pat Nixon droeg misschien een goede Republikeinse stoffen jas, maar andere Amerikaanse vrouwen wilden nerts.

Aan het begin van de jaren 1960 begon de nertsenindustrie, die was gegroeid rond de Grote Meren vanwege de grote aanvoer van goedkope vis, echter te wankelen - niet omdat de vraag naar nertsen afnam, maar vanwege mysterieuze voortplantingsproblemen. Ranchers lieten hun gedomesticeerde nertsen paren zoals ze altijd hadden gedaan, maar de vrouwtjes produceerden geen pups. In het begin was het gemiddelde aantal pups gedaald van vier naar twee, maar tegen 1967 kregen veel vrouwtjes nooit jongen en de weinige die dat wel deden, verloren hun baby's onvermijdelijk snel

daarna. In sommige gevallen stierven de moeders ook. De enige nertsenfokkers die aan de verwoestende verliezen ontsnapten, waren degenen die hun dieren voerden met vis die geïmporteerd werd van de westkust.

Onderzoekers van de Michigan State University, die de oorzaak zochten, richtten zich onmiddellijk op de verontreinigende stoffen in de vis uit de Grote Meren en legden uiteindelijk een verband tussen het falen van de voortplanting en PCB's, een familie synthetische chemicaliën die worden gebruikt om elektrische apparatuur te isoleren.

[026] Vreemd genoeg hadden andere nertsenfokkers in het Midwesten een decennium eerder ook te maken gehad met financiële ondergang door falen van de voortplanting. Maar in hun geval stortten de nertsenkuddes in nadat de dieren gevoerd waren met restjes van kippen die het synthetische medicijn diethylstilbestrol of DES, een door de mens gemaakt vrouwelijk hormoon, toegediend hadden gekregen om ze sneller te laten groeien. Hoewel de symptomen opvallend veel op elkaar leken, kon de tweede crash onder nertsen die met vis gevoerd werden niet in verband gebracht worden met DES en bleef het verband tussen de twee dalingen een mysterie.

1970: Ontariomeer

De aanblik van de zilvermeeuwenkolonie op Near Island was overweldigend, zelfs voor een doorgewinterde bioloog als Mike Gilbertson. Dit was het moment waarop de meeuwen druk bezig zouden moeten zijn met het voeden van hun

krijssende, veeleisende broedsel, maar wat de bioloog van de Canadian Wildlife Service in plaats daarvan aantrof was een tafereel van verwoesting. Terwijl hij door de kale zandvlakte liep waar de meeuwen broeden en hun jongen grootbrengen, trof hij overal niet-uitgekomen eieren en verlaten nesten aan, en hier en daar dode kuikens.

Bij een snelle telling schatte Gilbertson dat tachtig procent van de kuikens was gestorven voordat ze uit het ei kwamen, een buitengewoon aantal. Toen hij de dode kuikens onderzocht, zag hij groteske misvormingen. Sommige hadden volwassen veren in plaats van dons, knobbelpoten, ontbrekende ogen, verdraaide snavels. Anderen zagen er verschrompeld en versleten uit en de dooierzak zat er nog aan, wat suggereerde dat ze de energie daarvan niet hadden kunnen gebruiken voor hun ontwikkeling.

Iets aan de symptomen kwam hem vaag bekend voor, maar Gilbertson wist dat hij ze nog nooit in het veld had gezien. Waar had hij hier eerder over gehoord? De vraag knaagde aan hem terwijl hij zijn melancholische tocht afrondde en per boot terugvoer naar zijn laboratorium.

Een paar dagen later drong het plotseling weer tot hem door. De ziekte van het kuikenoeedeem - een aandoening waarover hij had gelezen toen hij in Engeland studeerde. Dezelfde misvormingen en vermagering kwamen voor bij de nakomelingen van kippen die in laboratoriumexperimenten waren blootgesteld aan dioxine. Als de dode meeuwen alle symptomen van kuikenoeedeemziekte vertoonden, dacht hij, dan moet er wel sprake zijn van dioxineverontreiniging in de Grote Meren.

[027] Gilbertson's collega's en superieuren begroetten deze theorie met scepsis die grensde aan spot. Sommigen twijfelden aan zijn diagnose omdat er nog nooit dioxine in het meer was gerapporteerd en hun twijfel werd alleen maar groter toen analyse van meeuweneieren met de toen beschikbare methoden geen sporen van dioxine kon vinden.

Gilbertson bleef er desondanks van overtuigd dat vogels in de Grote Meren tekenen van dioxinebesmetting vertoonden, maar hij vond geen steun om zijn theorie door te zetten.

Begin jaren 1970: De Kanaaleilanden, Zuid-Californië

Zelfs het getrainde oog vindt het moeilijk om een mannelijke westelijke meeuw van een vrouwtje te onderscheiden. Dus als er geen extra eieren in de nesten hadden gezeten, zou niemand de verrassende ontdekking hebben gedaan dat vrouwtjes met andere vrouwtjes nestelden.

Ralph Schreiber van het Los Angeles County Natural History Museum ontdekte in 1968 voor het eerst nesten met ongewoon veel eieren op San Nicolas Island. Meeuwen vinden het moeilijk om meer dan drie eieren tegelijk uit te broeden, dus hij vermoedde meteen dat er meer dan één vrouwtje in deze nesten moest leggen.

Vier jaar later ontdekten George en Molly Hunt van de Universiteit van Californië in Irvine hetzelfde fenomeen op Santa Barbara, een kleiner eiland dicht bij de kust. Ten minste elf procent van de nesten op dat eiland had vier tot vijf eieren en ze ontdekten dat in deze nesten minder kuikens dan normaal daadwerkelijk uitkwamen. De Hunts za-

gen ook dunner wordende eierschalen in de meeuwenkolonie van Santa Barbara, waardoor ze vermoedden dat de vogels last hadden van blootstelling aan DDT.

De Hunts konden aanvankelijk niet bevestigen of de vrouwtjes inderdaad nesten deelden. In later werk stelde het echtpaar echter vast dat de vrouwtjesmeeuwen samen een huishouden begonnen en de nesten met extra eieren produceerden. In een artikel uit 1977 in het tijdschrift *Science* onderzochten ze mogelijke natuurlijke verklaringen voor dit gedrag en suggereerden ze dat paren van hetzelfde geslacht een aanpassing zou kunnen zijn die een evolutionair voordeel oplevert.

[028] In de volgende twee decennia werden vrouwelijke paren broedend aangetroffen in populaties zilvermeeuwen in de Grote Meren, bij glaucous meeuwen in Puget Sound, en bij de bedreigde roesduifjes voor de kust van Massachusetts.

De jaren 1980: Apopka-meer, Florida

Te oordelen naar de weelderige wetlands langs de oever zou Lake Apopka, een van Florida's grootste watermassa's, de alligatorhemel moeten zijn. Het meer stond begrijpelijkerwijs hoog op de lijst toen onderzoekers van de staat en de federale overheid op zoek gingen naar een bron van eieren voor de miljardenverslindende alligatorfokkerij, die de reptielen fokt voor hun mooie huiden. Tot hun verbazing ontdekten de biologen echter dat Apopka's alligators geen eieren te over hadden.

In sommige meren in Florida toonden de onderzoeken aan

dat negentig procent van de eieren die door vrouwelijke alligators gelegd worden, uitkomen. In Lake Apopka kwam nauwelijks achttien procent uit. Erger nog, de helft van de uitgekomen baby alligators kwijnde weg en stierf binnen de eerste tien dagen.

Lou Guillette, een specialist van de Universiteit van Florida op het gebied van voortplantingsbiologie van reptielen, kon geen wijs worden uit de symptomen die hij zag. Er leek weinig twijfel over te bestaan dat de problemen bij de alligators in het meer op de een of andere manier verband hielden met het ongeluk bij de Tower Chemical Company in 1980, dat zich een kwart mijl van de oever van het meer bevond. Direct na het morsen van het pesticide dicofol was meer dan negentig procent van de alligatorpopulatie verdwenen. Maar waarom hadden de alligators voortplantingsproblemen lang nadat watermonsters erop wezen dat het meer weer schoon was?

Toen onderzoekers 's nachts in luchtboten het water op gingen om de alligators van het meer te vangen en nader te onderzoeken, ontdekten ze een vreemde misvorming bij veel van de mannetjes: minstens zestig procent van hen had abnormaal kleine penissen. Zoiets was nog nooit eerder gerapporteerd.

Wat voor toxisch effect zou dit kunnen hebben?

1988: Noord-Europa

[029] De eerste tekenen van de epidemie die zou uitgroeien tot de grootste zeehondensterfte in de geschiedenis versche-

nen in de lente op het eiland Anholt in het Kattegat, een smalle zeestraat tussen Zweden en Denemarken.

Halverwege april vonden degenen die routinematig onderzoek deden naar de zeehondenpopulaties, geaborteerde zeehondenjongen aangespoeld op het natte zand, samen met het puin van de winterstormen. Niet lang daarna voerden de getijden ook de zilverkleurige gespikkelde lichamen van oudere dieren mee.

Vanwege de vervuiling in de Europese kustwateren speculeerden sommigen meteen dat de dieren het slachtoffer waren van vervuiling, maar de Nederlandse viroloog en dierenarts Albert Osterhaus was vanaf het begin sceptisch. Alle tekenen wezen op een infectieziekte.

Tegen het einde van de maand kwamen er meldingen binnen van meer dode zeehonden uit Hesselø, een kleiner, minder toegankelijk eiland in het zuiden. Van daaruit verspreidde de sterfte zich in galop langs de kustgebieden in de hele Noordzee, waarbij in juni zeehonden in de Straat Skagerrak tussen Denemarken en Noorwegen werden getroffen, in juli de kudde in de Oslo Fjord en begin augustus de gewone zeehonden aan de oostkust van Engeland. Tegen september werden de stranden van de afgelegen Orkney-eilanden voor de noordpunt van Schotland, de Schotse westkust en de Ierse Zee ook overspoeld met dode zeehonden. In december bedroeg het dodental bijna achttienduizend zeehonden, meer dan veertig procent van de hele Noordzeepopulatie.

Vreemd genoeg vertoonden de slachtoffers van de plaag echter verschillende symptomen op verschillende locaties -

een aanwijzing die Osterhaus deed vermoeden dat de onderliggende oorzaak een virus moest zijn dat het immuunsysteem onderdrukt. Na verloop van tijd vonden de onderzoekers tekenen van infectie met een distempervirus bij de getroffen zeehonden - een virus dat leek op, maar niet identiek was aan, de dodelijke microbe die honden en andere leden van de hondenfamilie doodt.

Eindelijk leken wetenschappers het antwoord te hebben op de verschrikkelijke sterfte, maar sommigen in de milieuge-meenschap bleven niet overtuigd. Wat had de zeehonden zo kwetsbaar gemaakt? Was het meer dan toeval dat de ziekte een veel lichtere tol eiste langs de minder vervuilde kusten van Schotland?

Begin jaren 1990: De Middellandse Zee

[030] Hoewel vissers en zeilers die zich buitengaats wagen soms scholen gestreepte dolfijnen tegenkomen die speels surfen in de boeggolf van boten, leven en sterven deze kleine, levenslustige, hoog springende walvisachtigen over het algemeen buiten het zicht van mensen ver van land. Om deze reden was de massale sterfte van de populatie in de Middellandse Zee al ver gevorderd voordat natuuronderzoekers zich realiseerden dat weer een ander zeezoogdier was getroffen door een dodelijke plaag.

De eerste dode en stervende gestreepte dolfijnen kwamen in juli 1990 één voor één aan land in de buurt van Valencia aan de oostkust van Spanje. Halverwege augustus begonnen echter aanzienlijke aantallen dode dieren de stranden te be-

reiken - niet alleen rond Valencia, maar ook in Catalonië in het noorden en op Mallorca en de andere Balearen - toen de ziekte de scholen dolfijnen in de diepe, open wateren een tiental mijl uit de kust teisterde. Lichamelijk onderzoek toonde aan dat de slachtoffers van de plaag leden aan gedeeltelijk ingeklapte longen, ademhalingsmoeilijkheden en abnormale bewegingen en gedrag. Eind september steeg het dodental langs de Franse kust en begonnen er ook zieke dieren aan te spoelen in Italië en Marokko. Maar toen de winter inzette, vertraagde de epidemie en stopte uiteindelijk.

De zomer daarop brak de virulente ziekte opnieuw uit in Zuid-Italië en trok oostwaarts naar de westelijke rand van de Griekse eilanden. In de lente van 1993 dook de ziekte weer op op de Griekse eilanden en verspreidde zich naar het oosten en noordoosten, waarbij steeds meer slachtoffers vielen.

Tegen de tijd dat de epidemie was uitgewoed, bedroeg het officiële dodental meer dan elfhonderd. Voor elk slachtoffer dat aanspoelde, verdwenen er meerdere in de diepte.

Opnieuw bleek de moordenaar een virus van de distemperfamilie te zijn, maar onderzoekers vonden aanwijzingen dat besmetting ook een rol kan hebben gespeeld bij de uitroeiing.

Vanaf 1987 verzamelde Alex Aguilar, een zeezoogdierspecialist van de Universiteit van Barcelona, vetmonsters van gestreepte dolfijnen voor de kust van Noordoost-Spanje door speciaal ontworpen pijltjes van een kruisboog of harpoengeweer af te vuren op dieren die op de boeggolf zaten. [031] Toen hij deze monsters vergeleek met die van de gestrande

karkassen, ontdekte hij dat de slachtoffers van de uitsterfte PCB-niveaus hadden die twee tot drie keer hoger waren dan wat hij had gevonden bij gezonde dolfijnen.

1992: Kopenhagen, Denemarken

Zelfs een biologiestudent van de middelbare school kon de misvormingen in de kleine kikkervisjes zien terwijl ze onder de microscoop rondzwommen. In één monster hadden sommige spermacellen twee koppen en andere twee staarten, terwijl andere spermacellen helemaal geen kop hadden. Velen leken niet goed te zwemmen en vertoonden totale inactiviteit of hectische hyperactiviteit in plaats van een sterke, regelmatige beweging. -

Niels Skakkebaek, een voortplantingsonderzoeker aan de Universiteit van Kopenhagen, zag in de loop der jaren steeds meer afwijkingen aan het sperma en een daling van het aantal zaadcellen. Tegelijkertijd was het aantal gevallen van zaadbalkanker in Denemarken verdrievoudigd tussen de jaren 1940 en 1980. Skakkebaek zag ook een laag aantal zaadcellen en ongebruikelijke cellen in de testikels van mannen die uiteindelijk dit type kanker ontwikkelden. Waren de twee bevindingen met elkaar verbonden?

Skakkebaek begon de wetenschappelijke literatuur te bestuderen, op zoek naar andere onderzoeken naar het aantal zaadcellen, vooral naar gegevens over mannen die niet leden aan onvruchtbaarheid of andere gezondheidsproblemen. Hij en zijn collega's bekeken uiteindelijk eenenzestig onderzoeken, de meeste uit de Verenigde Staten en Europa, maar

ook uit India, Nigeria, Hong Kong, Thailand, Brazilië, Libië, Peru en Scandinavië.

De onderzoekers waren verbijsterd door wat ze vonden. Volgens de gegevens was het gemiddelde aantal mannelijke zaadcellen tussen 1938 en 1990 met bijna vijftig procent gedaald. Tegelijkertijd was het aantal gevallen van zaadbalkanker sterk gestegen, niet alleen in Denemarken maar ook in andere landen. De medische gegevens suggereerden ook dat genitale afwijkingen zoals achtergebleven testikels en verkorte urinewegen toenamen bij jonge jongens.

Omdat de veranderingen in het aantal zaadcellen en de kwaliteit ervan en de toename van genitale afwijkingen zich in zo'n korte tijd voordeden, sloten de onderzoekers genetische factoren uit. In plaats daarvan leken de veranderingen te wijten aan een soort omgevingsfactor.

[032] Vanaf de jaren 1950 begonnen deze bizarre en raadselachtige problemen op te duiken in verschillende delen van de wereld - in Florida, de Grote Meren en Californië; in Engeland, Denemarken, het Middellandse Zeegebied en elders. Veel van de verontrustende meldingen over wilde dieren hadden betrekking op defecte geslachtsorganen en gedragsafwijkingen, verminderde vruchtbaarheid, het verlies van jongen of het plotseling verdwijnen van hele dierpopulaties. Na verloop van tijd kwamen de alarmerende voortplantingsproblemen die voor het eerst bij wilde dieren werden gezien ook bij mensen voor.

Elk incident was een duidelijk teken dat er iets ernstig mis was, maar jarenlang zag niemand in dat deze uiteenlopende

fenomenen allemaal met elkaar verband hielden. Hoewel de meeste incidenten op de een of andere manier verband leken te houden met chemische vervuiling, zag niemand de rode draad.

Eind jaren '80 begon een wetenschapper de stukjes in elkaar te passen.

[033]

HOOFDSTUK – 02

DOORGEGEVEN GIF

Vanuit haar ooghoek zag Theo Colborn een ander wetenschappelijk artikel over de vloer vliegen en op het tapijt neerkomen. Ze nam niet eens de moeite om haar hoofd te draaien. In de hoop de stroom papier die haar kantoor in het najaar van 1987 overspoelde te vertragen, was ze haar deur gaan sluiten, maar dat hielp weinig. Met de polsbeweging van een frisbeekampioen schoot de projectdirecteur ze gewoon onder de deur door. Hij was er zo bedreven in geworden dat hij een document naar het midden van het kantoor kon gooien. Ze liet het liggen.

Knal. Nog een. Knal. Knal. Nog twee.

Soms kwamen er wel een half dozijn documenten binnen in een uur. Ze had amper tijd om de rapporten en papieren met titels als ‘Een kwantitatieve beoordeling van de schildklier-

histopathologie van zilvermeeuwen (*Larus argentatus*) uit de Grote Meren en een hypothese over de oorzakelijke rol van milieuverontreinigende stoffen' te archiveren, laat staan ze te lezen. Colborn keek om zich heen naar de stapels rapporten en studies en de uitpuilende kartonnen archiefdozen die over de vloer verspreid lagen. Sinds ze was begonnen met het doornemen van wetenschappelijke artikelen over de gezondheid van dieren en mensen in het gebied van de Grote Meren, had zich zoveel opgehoopt dat de ruimte op een vuilnisbelt begon te lijken. [034] Als het nog erger werd, zou ze een vergunning moeten aanvragen. Tot laat in de avond en in het weekend doorwerken had het probleem niet opgelost. Hoe hard ze ook werkte, ze had het gevoel dat ze begraven werd.

Hoe moest ze ooit wijs worden uit al deze informatie?

Ondanks twee maanden keihard werken had ze nog steeds geen duidelijk beeld van hoe goed de Grote Meren zich herstelden van decennia van ernstige vervuiling. Om alles te weten te komen wat ze kon, had ze honderden artikelen verzameld, naast de artikelen die nog steeds binnen bleven komen. Over een gebrek aan onderzoek kon ze niet klagen, maar uit haar intensieve onderzoek kwam geen samenhangend beeld naar voren. Het leek een mengelmoes van losstaande informatie, maar tegelijkertijd voelde ze dat er onder het verwarrende oppervlak iets belangrijks schuilging. Het meest veelbelovende materiaal leek nieuwe gegevens te zijn die een verband legden tussen giftige chemicaliën en kanker bij vissen. Dat was logisch. Dat was wat je zou verwachten in meren die bekend staan als vol met kankerver-

wekkende chemicaliën.

Maar hoe pasten de honderden andere studies die allerlei vreemde verschijnselen rapporteerden in het plaatje? Waarom verwaarloosden de vogels in vervuilde gebieden hun nesten? En hoe zat het met het bizarre verspillingssyndroom dat werd waargenomen bij sternkuikens, die er eerst normaal uitzagen, maar dan plotseling gewicht begonnen te verliezen tot ze wegwijnden en stierven? Dan waren er nog de meldingen van vrouwelijke zilvermeeuwen die samen nestelden in plaats van met mannetjes.

Maar zelfs toen de taak totaal overweldigend leek, voelde Colbom zich nog steeds gelukkig. De baan als wetenschapper bij dit project om de milieugezondheid van de Grote Meren te beoordelen, was een echte doorbraak geweest. Ze was begin augustus 1987 bij het team van de Conservation Foundation, een non-profit denktank in Washington, gekomen en was nogal trots op zichzelf en haar nieuwe carrière. Ze was immers pas twee jaar eerder voor het eerst in Washington gekomen, als 58-jarige grootmoeder met een gloednieuw doctoraat in de zoölogie van de Universiteit van Wisconsin. Haar eerste baan was als Congressional Fellow bij het Office of Technology Assessment, een beleidsanalysegroep die op verzoek van het Congres onderzoek deed (totdat deze in 1995 door de Republikeinse meerderheid werd afgeschaft), waar ze zich bezighield met onderzoek naar luchtvervuiling en waterzuivering. [035] Toen benaderde de Conservation Foundation haar voor het onderzoek naar de Grote Meren, een project dat de groep samen met een Canadese tegenhanger, het Institute for Research on Public Poli-

cy, uitvoerde.

Dit was zeker beter dan recepten invullen in een kleine apotheek in Carbondale, Colorado. Toen ze op haar vijftigste voor de vraag stond wat ze met de rest van haar leven wilde doen, had Colbom even overwogen om haar carrière als apotheker weer op te pakken en een apotheek te openen in Carbondale, of om door te gaan met het houden van schapen, het beroep dat ze had uitgeoefend sinds ze vijftien jaar eerder vanuit New Jersey naar Colorado was verhuisd. Beide opties waren verstandig geweest, maar ze besloot in plaats daarvan eindelijk te doen wat ze al zo lang wilde.

Door haar levenslange passie voor vogels was ze betrokken geraakt bij de groeiende milieubeweging en had ze jarenlang als vrijwilliger gewerkt aan waterproblematiek in het westen van de VS. Ondanks alles wat ze had geleerd in de frontlinie van verschillende milieustrijd, voelde ze zich nog steeds gehandicapt door het ontbreken van officiële kwalificaties. Zonder diploma was het voor tegenstanders gemakkelijk om haar af te doen als een wereldverbeteraar, een ‘kleine oude dame in tennisschoenen’, ook al was ze lang, van middelbare leeftijd en droeg ze cowboylaarzen. Dat was natuurlijk niet het hele verhaal; haar intellectuele honger was ook aangewakkerd door wat ze zelf had geleerd. Dus op 51-jarige leeftijd stortte Colborn zich in een nieuw leven als afgestudeerde studente die de bergen aan de westelijke helling van Colorado op en af sjokte om watermonsters te nemen voor haar masterwerk in ecologie – een onderzoek naar de vraag of waterinsecten zoals steenvliegen en eendagsvliegen konden dienen als indicatoren voor de gezondheid

van rivieren en beken. Hoewel sommige van haar mannelijke adviseurs sceptisch waren over het investeren van energie in zo'n oude studente, zette ze door en behaalde ze haar doctoraat.

Flick. Een ander document belandde een halve meter van haar stoel: een kopie van een toespraak van een gouverneur van een van de staten die aan de Grote Meren grenzen. Net als veel andere toespraken en rapporten prees ook deze de verbeteringen in de Grote Meren en de tekenen van herstel. Overheidsfunctionarissen aan beide zijden van de grens hadden bijna de totale overwinning uitgeroepen in de strijd tegen de ernstige vervuiling die de Grote Meren in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw in het hele land berucht had gemaakt.

[036] Het dieptepunt was bereikt in juni 1969, toen de Cuyahoga-rivier, die in Cleveland uitmondt in het Eriemeer, in brand vloog en een brug in de as legde. Zes maanden later, toen de burgemeester van Cleveland tijdens een hoorzitting van het Congres over de voorgestelde Clean Water Act over de brand vertelde, haalde de brandende rivier van de stad de nationale krantenkoppen. In die periode werd het Eriemeer door de media “dood” verklaard en wetenschappers oordeelden dat ook de andere meren ernstig bedreigd waren. Op het hoogtepunt van deze achteruitgang waren de stranden bedekt met enorme, stinkende matten van rottende algen, lagen de baaien en rivieren onder een laag olie en industrieel afval en stortten de eens zo rijke vogel- en dierenpopulaties in.

De verbeteringen sindsdien waren onmiskenbaar. In twintig

jaar tijd waren de erwtensoepachtige algen en de ernstige vervuiling geleidelijk afgenomen doordat lokale gemeenschappen rioolwaterzuiveringsinstallaties bouwden, staten een verbod instelden op fosfaten in wasmiddelen die de ongebreidelde algengroei hadden aangewakkerd, en industrieën hun werkwijzen aanpasten om te voldoen aan nieuwe normen voor lozingen in waterlichamen. Na de federale beperkingen op het pesticide DDT in 1972 begon het probleem van dunne en gebroken eierschalen, dat de Amerikaanse zeearenden en andere vogels had gedecimeerd, te verdwijnen en herstelden veel ernstig uitgeputte vogelpopulaties zich op spectaculaire wijze. Het aantal van sommige voorheen bedreigde vogels, zoals de zilvermeeuw en de dubbelkuifaalscholver, was zelfs gestegen tot een recordhoogte en vormde nu op veel plaatsen een overlast. Toch zou een dergelijke explosieve toename van opportunistische soorten iets anders kunnen betekenen dan een teken van herstel voor de meren. Paradoxaal genoeg zou een dergelijke bevolkingsexplosie net zo goed een teken kunnen zijn van een gestrest ecosysteem als een bevolkingscrash.

Na twee maanden verdieping in de literatuur over wilde dieren en lange gesprekken met biologen die in het gebied van de Grote Meren werken, had ze nu het sterke gevoel dat de verklaringen over herstel voorbarig waren. Ze begon te twijfelen of de meren, hoe verbeterd ook, echt “schoongemaakt” waren. De gebroken eieren die de vogelkolonies bezaaiden, waren misschien verdwenen, maar biologen die in het veld werkten, meldden nog steeds dingen die verre van normaal waren: verdwenen nertspopulaties, onuitgebroede eieren,

misvormingen zoals gekruiste snavels, ontbrekende ogen en klauwvoeten bij aalscholvers, en een raadselachtige onverschilligheid bij normaal gesproken waakzame broedvogels ten aanzien van hun broedeieren. Colborns blik dwaalde over de archiefdozen die in haar kantoor stonden opgesteld – drieënveertig in totaal, één voor elke soort die in de Grote Meren was onderzocht. Overal in deze gegevens over de wilde dieren vond ze aanwijzingen dat er nog steeds iets ernstig mis was.

[037] Wat het ook was, de symptomen waren niet zo zichtbaar en duidelijk als die welke Rachel Carson er bijna een kwart eeuw eerder toe hadden aangezet *Silent Spring* te schrijven. Carson, een wetenschapper en schrijfster wier boek uit 1962 mede de aanzet gaf tot de naoorlogse milieubeweging, kon de schade van het moedwillige gebruik van door de mens gemaakte pesticiden grafisch gedetailleerd weergeven. Het was moeilijk om de massa's dode vogels te missen die na het sproeien vanuit de lucht in de jaren vijftig de achtertuinen van de voorsteden bezaaiden, of om het beeld te vergeten van een vogel die stierf in een krampachtige stuipte van pesticidevergiftiging. Abnormaal gedrag van ouders of een slechte overlevingskans van jongen zijn daarentegen minder direct zichtbaar, maar op de lange termijn misschien niet minder belangrijk voor het voortbestaan van een soort.

En als er nog steeds iets mis was, wat waren dan de gevolgen voor de mensen die in het gebied woonden? Dat was de ultieme vraag die Colborn in het onderzoek naar de Grote Meren wilde beantwoorden.

Ze had al rapporten over de volksgezondheid opgevraagd bij de Verenigde Staten en Canada en was van plan gegevens te onderzoeken uit verschillende kankerregisters die in de jaren zeventig in het gebied van de Grote Meren waren opgezet – een tijd waarin het publiek zich steeds meer bewust werd van de vervuiling en er groeiende bezorgdheid ontstond dat de grote hoeveelheden giftige chemicaliën in de meren de volksgezondheid in gevaar konden brengen. Veel mensen in de regio waren er sterk van overtuigd dat ze aan hogere concentraties giftige chemicaliën werden blootgesteld dan mensen elders en dat ze vaker kanker kregen dan normaal.

Het gebied rond de Grote Meren leek een goede plek om verbanden te zoeken tussen milieuverontreinigende stoffen en kanker. Colborn was van plan de wetenschappelijke literatuur en gezondheidsstatistieken te doorzoeken en alle aanwijzingen te verzamelen. Als er iets te vinden was, was ze vastbesloten het te vinden. Voorlopig zou ze het raadsel van de samen nestelende vrouwelijke meeuwen en andere afleidende anomalieën opzij zetten en zich richten op het verband met kanker.

Haar projectleider, Rich Liroff, was nog enthousiaster over de kankervraag dan Colborn zelf. Als lid van de Wetenschappelijke Adviesraad van de Internationale Gemengde Commissie, die de Verenigde Staten en Canada adviseert over het beleid inzake meren, had hij veel gehoord over nieuwe bevindingen over tumoren bij vissen. Het was het meest besproken onderwerp in het onderzoek naar de Grote Meren.

[038] Op zijn aandringen vertrok Colborn een paar weken later naar de veertiende jaarlijkse workshop over aquatische toxiciteit in Toronto, waar de langverwachte laatste sessie zou worden gewijd aan chemische verontreinigingen en vistumoren. Liroffs laatste instructie was om een aantal “lelijke foto's” van met kanker besmette vissen te maken voor het geplande boek dat op hun werk zou worden gebaseerd.

De sessie over vistumoren overtrof alle verwachtingen, toen dia's van groteske vistumoren over het scherm in de verduisterde vergaderzaal flitsten. Dit was duidelijk belangrijk bewijs dat richting zou geven aan haar onderzoek naar de gezondheid van mensen en dieren in het wild, want de onderzoekers legden een overtuigend verband tussen specifieke chemicaliën die in het stroomgebied van de Grote Meren waren aangetroffen en kanker. Hoewel het gezond verstand suggereerde dat de gezondheidsproblemen bij dieren in het wild en de wijdverbreide verontreiniging met elkaar in verband moesten staan, bleek het vaak onmogelijk om een afwijking aan één enkele chemische stof toe te schrijven, mede omdat de dieren aan honderden chemische stoffen werden blootgesteld, waarvan de meeste nog niet geïdentificeerd waren.

Sommige sceptici hadden zich afgevraagd of de kanker bij vissen wel verband hield met chemische verontreiniging. Maar presentaties tijdens de sessie over vistumoren weerlegden verschillende alternatieve verklaringen, waaronder de suggestie dat de uitbraken van kanker geen nieuw fenomeen waren, maar een natuurlijke gebeurtenis veroorzaakt door virussen.

John Harshbarger, een vooraanstaand expert op het gebied van kanker bij wilde dieren van het Smithsonian Institution, had daarop gereageerd dat uit historische gegevens bleek dat grote uitbraken van kanker bij vissen pas sinds de chemische revolutie van de afgelopen halve eeuw waren gemeld, toen talloze tonnen kunstmatige chemicaliën in het milieu waren geloosd. Bij alle uitbraken, op één na, was virus als oorzaak uitgesloten, voegde hij eraan toe.

De gedocumenteerde uitbraken volgden ook een duidelijk patroon. De kanker bij vissen kwam voor onder afvoerbuiszen van industriële bedrijven of gemeenten en trof vissoorten die het grootste deel van hun tijd op de bodem doorbrengen, vermengd met modder en sediment. Bovendien hadden wetenschappers in laboratoriumexperimenten met vissen in gevangenschap het verband tussen de verontreinigde sedimenten en de kanker aangetoond. [039] Toen onderzoekers de uit het sediment geëxtraheerde verontreinigende stoffen aan de vissen voerden of op hun huid aanbrachten, ontwikkelden de vissen dezelfde vormen van kanker als in het wild.

Er volgde een reeks andere lezingen, waarin werd aangetoond dat de kankerverwekkende stoffen polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) waren, een klasse van chemische stoffen die voorkomen in aardolieproducten of ontstaan door onvolledige verbranding van koolstofhoudende materialen, variërend van benzine tot hamburgers op de barbecue.

Een team van de Amerikaanse Fish and Wildlife Service had in zijn onderzoek naar kanker bij bruine donderpadden, een

soort meerval, in de Black River en de Cuyahoga River, die uitmonden in het Eriemeer, niet alleen virussen uitgesloten, maar ook metalen en synthetische chloorhoudende chemicaliën zoals DDT. De dia's van met tumoren bedekte vissen uit de beruchte Cuyahoga-rivier waren een triest gezicht, met misvormde, knobbelige snorharen en etterende kankers op hun gladde, schubloze huid. De onderzoekers hadden hoge concentraties PAK's aangetroffen in het weefsel van deze met kanker bedekte vissen en afbraakproducten van PAK's in de gal in hun levers.

Andere onderzoekers rapporteerden over een internationaal samenwerkingsverband dat licht wierp op hoe PAK's schade aanrichten in het lichaam. Zieke vissen vertoonden veranderingen in de lever als gevolg van binding tussen koolstofhoudende organische chemicaliën zoals PAK's en het DNA in de celkernen. Dit fenomeen van binding tussen vreemde chemicaliën en DNA, dat de genetische blauwdruk van een individu bevat, werd in verband gebracht met het vroegste stadium van door chemicaliën veroorzaakte kanker. Alles bij elkaar was dit het meest geavanceerde onderzoek tot nu toe en een soort doorbraak. De studies – waarbij in het laboratorium dezelfde kanker werd veroorzaakt als in het wild, PAK's in visweefsel werden geïsoleerd en chemisch veroorzaakte kankergerelateerde veranderingen op cellulair niveau werden aangetoond – toonden allemaal aan dat het verband tussen viskanker en verontreinigde sedimenten meer was dan een toevallige samenloop van omstandigheden.

Te midden van de opwindende over het groeiende bewijs dat

PAK's in verband worden gebracht met tumoren bij vissen, bracht de keynote speech van de bijeenkomst een ontnuchterend perspectief.

Degenen die verbanden probeerden te leggen tussen een slechte gezondheid en verontreinigende stoffen, waren de strijd aan het verliezen, verklaarde Bengt-Erik Bengtsson, hoofd van het Laboratorium voor Aquatische Toxicologie van de Zweedse Milieubeschermingsraad. [040] Ondanks opmerkelijke vooruitgang raakten toxicologen steeds verder achterop bij het analyseren en identificeren van de verontreiniging die ze in het milieu aantroffen.

In de Oostzee hadden biologen een afname van de testikels van vissen gemeld, een aandoening die kennelijk verband hield met de hoeveelheid verontreiniging door organochloorverbindingen, een klasse van door de mens vervaardigde chemicaliën die chloor bevatten. Maar ze konden niet achterhalen welke chemische stof het probleem veroorzaakte, omdat met de huidige analysemethoden slechts zes procent van de synthetische organochloorverbindingen in de Oostzee kon worden geïdentificeerd. Chemische bedrijven brachten elk jaar honderden nieuwe synthetische chemicaliën op de markt, veel sneller dan toxicologen en regelgevende instanties nieuwe tests konden ontwikkelen om ze op te sporen, waarschuwde Bengtsson. Het was een wonder dat onderzoekers erin geslaagd waren om überhaupt een verband te leggen tussen zoveel chemicaliën en zoveel effecten.

Colborn voelde intuïtief aan dat Bengtssons toespraak een belangrijke aanwijzing bevatte over hoeveel chemicaliën er op de fauna in de Grote Meren en elders in werking waren.

Maar omdat ze zich meteen concentreerde op het verband met kanker, zette ze het uit haar hoofd. Het zou maanden duren voordat ze het volledige belang ervan inzag.

Toen Colbom terugkeerde uit Toronto met lelijke foto's in haar handen en hernieuwde enthousiasme voor de enorme taak die haar te wachten stond, lagen de rapporten over de volksgezondheid die ze had aangevraagd op haar bureau.

Ze verdiepte zich in de gezondheidsgegevens en concentreerde zich vooral op de gebieden waar onderzoekers van wilde dieren kanker bij vissen hadden aangetroffen. Als de wilde dieren een waarschuwing gaven, zo redeneerde ze, dan zou je daar ook als eerste mensen met hogere kankercijfers verwachten.

Tot haar ontsteltenis bleken de kankerregisters die in het stroomgebied van de Grote Meren waren opgezet, nutteloos, omdat geen van alle lang genoeg in gebruik was geweest om conclusies te kunnen trekken over trends of vergelijkbare risico's voor de regio's rond de meren. Daarom wendde Colborn zich tot bredere rapporten over kanker bij mensen in de Verenigde Staten en Canada. Ze ploos urenlang de computeruitdraaien en rapporten door en analyseerde de gegevens vanuit verschillende perspectieven om te zien of ze zinvolle patronen kon ontrafelen. Toen er niets naar voren kwam, begon ze opnieuw vanuit een andere invalshoek. Ze zocht naar clusters van één soort kanker, hogere totale kankercijfers, opvallende geografische patronen in de kankerincidentie of iets anders dat afweek van het normale patroon.

[041] Uiteindelijk, na maanden van gezamenlijke inspannin-

gen, moest ze toegeven dat hoe ze de gegevens ook bekeken, ze geen ondersteuning boden voor de overtuiging dat mensen in het gebied rond de Grote Meren vaker aan kanker stierven dan mensen elders in de Verenigde Staten en Canada. Verrassend genoeg leek het tegenovergestelde het geval te zijn. De percentages voor sommige vormen van kanker waren in het gebied rond de Grote Meren zelfs lager dan in sommige andere regio's. Er was gewoonweg geen bewijs in de volksgezondheidsgegevens van verhoogde of ongebruikelijke kankerpatronen onder mensen die in de buurt van de meren woonden.

Colborn was verbaasd. De hoge kankercijfers waarover ze zoveel had gehoord, leken meer een mythe dan de werkelijkheid. Na maandenlang achter het spook van kanker aan te hebben gejaagd, bevond ze zich in een doodlopende straat.

Geconfronteerd met deze grote tegenslag richtte ze haar aandacht weer op de literatuur over wilde dieren en probeerde ze helder na te denken over wat ze nu moest doen. Terwijl ze daar zat, omringd door dozen met dierstudies, drong het ineens tot haar door. Waarom had ze dit niet eerder gezien? Het onderzoek naar kanker bij vissen was misschien baanbrekend, maar de meeste problemen die bij wilde dieren werden gemeld, hadden niets met kanker te maken. Behalve bij vissen in sterk vervuilde gebieden kwam kanker uiterst zelden voor. Toch vertoonden tal van vissen en dieren in het hele gebied rond de Grote Meren gezondheidsproblemen die hun overlevingskansen leken te verminderen.

De uitdrukking komt automatisch: “kankerverwekkende

chemische stof”. Deze denkwijze is zo diep geworteld dat we niet eens meer de conceptuele gelijkstelling herkennen die ons denken over chemicaliën heeft gedomineerd. De afgelopen drie decennia zijn de woorden “giftige chemicaliën” bijna synoniem geworden met kanker, niet alleen in de publieke opinie, maar ook in de hoofden van wetenschappers en regelgevers. Colborn was daarop geen uitzondering. Maar nu beseftte ze dat deze fixatie op kanker en mutaties haar blind had gemaakt voor de diversiteit van de gegevens die ze had verzameld. Het overstijgen van kanker bleek de belangrijkste stap in haar reis te zijn, want toen ze met een nieuwe blik naar hetzelfde materiaal keek, begon ze geleidelijk aan belangrijke aanwijzingen te herkennen en te volgen waar die haar naartoe leidden.

Colborn wist niet goed welke weg ze nu moest inslaan. Als het probleem niet kanker was, wat was het dan wel? Ze bleef ronddobberen in een moeras van onverteerde informatie. [042] Inmiddels had ze honderden wetenschappelijke artikelen en tientallen studies en rapporten verzameld, maar elk nieuw document leek de verwarring alleen maar groter te maken.

Bij gebrek aan een beter idee besloot ze terug te gaan en de dossiers over nertsen, otters, vissen en vogels zoals de Amerikaanse zeearend en de zilvermeeuw nog eens door te lezen.

Op aanraden van haar projectleider was Colborn eerder naar Hull, buiten Ottawa, gereisd om Mike Gilbertson, Glen Fox en andere ervaren onderzoekers van de Canadian Wildlife Service te ontmoeten, die al meer dan tien jaar onderzoek

deden naar de problemen met de wilde dieren in de Grote Meren. De reis was van onschatbare waarde geweest, zowel vanwege de informatie die ze had verzameld als vanwege de professionele vriendschappen die uit die eerste ontmoeting waren voortgekomen.

Gilbertson had Colborn volledige toegang gegeven tot zijn zorgvuldig geordende verzameling materiaal over elke diersoort die in het stroomgebied van de Grote Meren voorkomt – gegevens die hij in de loop der jaren had verzameld en in chronologische volgorde in ringbanden had geordend. Colborn was onder de indruk van de elegantie van deze onderneming en van de jarenlange toewijding en wetenschappelijke zorgvuldigheid die hieruit bleken. Met gevoel voor geschiedenis had Gilbertson veel moeite gedaan om artikelen en studies te verzamelen die een halve eeuw of ouder waren – literatuur waaruit bleek dat de problemen die vandaag de dag bij vogels en andere dieren langs de meren worden waargenomen, vóór de Tweede Wereldoorlog niet waren gemeld. In het dossier over de Amerikaanse zeearend vond ze bewijs van een parallelle achteruitgang in de naoorlogse periode van de Amerikaanse zeearend in Noord-Amerika en zijn Europese neef, de zeearend, samen met een verzameling rapporten met gedetailleerde informatie over de concentraties van synthetische chemische verontreinigingen die in beide soorten waren aangetroffen. De fotokopieën uit het archief van Gilbertson hadden de dossiers van Colborn aanzienlijk verrijkt, maar hun gesprekken, waarin Gilbertson gul zijn ruime ervaring deelde, bleken nog waardevoller.

Tijdens de lunch in de kantine van de Canadian Wildlife

Service hadden Colborn, Gilbertson en Fox gesproken over het bewijs uit de natuur dat in tegenspraak was met de veelgehoorde beweringen dat de meren waren schoongemaakt. De twee Canadezen waren ervan overtuigd dat het onderzoek naar de wilde dieren waarschijnlijk gevolgen had voor de gezondheid van de mens en een waarschuwing vormde waar de mens gehoor aan moest geven. In haar onderzoek van de wetenschappelijke literatuur was Colborn gefascineerd geraakt door een deel van het werk van Fox, waarin hij melding maakte van gedragsveranderingen bij wilde dieren en tekenen van lichamelijke schade.

[043] In kolonies zilvermeeuwen, met name in sterk vervuilde gebieden van de meren Ontario en Michigan, hadden Fox en zijn collega's nesten gevonden met twee keer zoveel eieren als normaal – een teken dat de vogels die de nesten bewoonden twee vrouwtjes waren in plaats van het verwachte mannetje-vrouwtje-paar. Dit fenomeen, dat in sommige gebieden aanhield, kwam vooral veel voor in het midden en aan het einde van de jaren zeventig. In deze periode had Fox zeventien bijna volgroeide embryo's en pas uitgekomen kuikens uit de getroffen kolonies verzameld en bewaard, in de hoop dat hij uiteindelijk zou ontdekken wat de oorzaak was van dit ongewone gedrag en andere voortplantingsproblemen.

Een paar jaar later kwam Fox een wetenschapper tegen die hem misschien kon helpen het antwoord te vinden. Michael Fry, een toxicoloog gespecialiseerd in wilde dieren aan de Universiteit van Californië in Davis, had onderzocht hoe het pesticide DDT en andere synthetische chemicaliën de seksu-

ele ontwikkeling van vogels verstoren, nadat hij berichten had gehoord over nesten met vrouwelijke paren in westelijke meeuwenkolonies in Zuid-Californië. Terwijl sommigen op zoek waren naar een evolutionaire verklaring voor het fenomeen, vermoedde Fry dat er sprake was van verontreiniging. Berichten in de wetenschappelijke literatuur wezen erop dat een aantal synthetische chemicaliën, waaronder het pesticide DDT, op de een of andere manier konden werken als het vrouwelijke hormoon oestrogeen.

Om zijn theorie te testen, injecteerde Fry eieren uit kolonies van westelijke meeuwen en Californische meeuwen in relatief niet-verontreinigde gebieden met vier stoffen: twee vormen van DDT, DDE, het afbraakproduct van DDT, en methoxychlor, een ander synthetisch pesticide waarvan ook is gemeld dat het werkt als het hormoon oestrogeen. Het experiment toonde aan dat de DDT-niveaus die in verontreinigde gebieden werden gemeld, de seksuele ontwikkeling van mannelijke vogels zouden verstoren. Fry constateerde een vervrouwelijking van het voortplantingsstelsel van de mannetjes, wat bleek uit de aanwezigheid van typisch vrouwelijke celtypes in de testikels of, bij hogere doses, uit de aanwezigheid van een eileider, het kanaal waar eitjes worden gelegd dat normaal gesproken bij vrouwtjes voorkomt. Ondanks al deze interne verstoringen vertoonden de kuikens geen zichtbare afwijkingen en zagen ze er volkomen normaal uit.

Zodra hij alles had geregeld, stuurde Fox de geconserveerde embryo's en kuikens naar Fry in Californië. Bij zijn onderzoek van het voortplantingsstelsel van de vogels ontdekte

Fry dat vijf van de zeven mannetjes aanzienlijk gefeminiseerd waren en twee zichtbaar abnormale geslachtsorganen hadden. [044] Vijf van de negen vrouwtjes vertoonden ook significante tekenen van verstoorde ontwikkeling, waaronder de aanwezigheid van twee eileiders in plaats van één, wat normaal is bij meeuwen. Dergelijke verstoringen konden volgens Fry erop wijzen dat de vogels waren blootgesteld aan chemische stoffen die als het vrouwelijke hormoon oestrogeen werkten.

Eerdere experimenten door andere onderzoekers hadden aangetoond dat blootstelling van mannelijke vogels aan oestrogeen tijdens de ontwikkeling zowel de hersenen als het voortplantingsstelsel aantast en het seksuele gedrag permanent onderdrukt. Toen kippen- en Japanse kwarteleieren oestrogeeninjecties kregen, kraaiden de mannetjes die uitkwamen nooit, paradeerden ze niet en vertoonden ze als volwassen dieren geen paringsgedrag.

Alles bij elkaar genomen wees het bewijs in de Grote Meren erop dat de vrouwtjes samen nestelden vanwege een tekort aan mannetjes, die mogelijk afwezig waren omdat ze niet geïnteresseerd waren in paren of niet in staat waren om zich voort te planten. Hoewel de meeste eieren in deze nestjes van hetzelfde geslacht onvruchtbaar waren, slaagden deze vrouwtjes er soms in om te paren met een mannetje dat al een partner had en een kuiken uit te broeden. De vrouwelijke paren leken een poging te zijn om het beste te maken van een slechte situatie.

Fox en anderen hadden ook andere gedragsafwijkingen opgemerkt, vooral bij vogels met een hoge chemische veront-

reiniging. In kolonies in het Ontariomeer vertoonden de vogels afwijkend ouderschapsgedrag, waaronder een verminderde neiging om hun nesten te verdedigen of op hun eieren te broeden. In mislukte nesten werden de broedeieren drie keer zo lang onbeheerd achtergelaten als in nesten waar vogels met succes nakomelingen voortbrachten. Een studie waarin de voortplanting van Forster's tems in schone en verontreinigde gebieden werd vergeleken, meldde dat het verlaten van nesten en het verdwijnen van eieren, vaak als gevolg van diefstal door roofdieren, aanzienlijk was in het verontreinigde gebied aan het Michiganmeer, maar vrijwel niet voorkwam in de schone kolonie aan een kleiner meer in Wisconsin. Ouderlijke onoplettendheid verminderde duidelijk de kans dat de eieren zouden uitkomen en de kuikens zouden overleven.

Wat Colborn zich achteraf van het gesprek herinnerde, was hoe voorzichtig ze allemaal waren geweest. Ondanks de gedeelde opvatting dat bevindingen over wilde dieren implicaties hadden voor de mens, wilde niemand de onuitgesproken vraag erkennen die in de lucht hing. Niemand durfde te vragen of synthetische chemicaliën mogelijk een soortgelijk verstorend effect hadden op het gedrag van mensen. Dat waren gevaarlijke wateren die ze allemaal liever vermeden.

[045] Toen Colborn zich voor de tweede keer over de dossiers over wilde dieren boog, bleef haar gedachten terugkeren naar de vrouwelijke meeuwen die samen nestelden. Ze haalde de artikelen van Fox en Fry tevoorschijn en las ze aandachtig opnieuw. Ze voelde dat de ‘homomeeuwen’, zoals iemand ze had genoemd, een belangrijk stukje van de

puzzel waren, maar ze wist nog steeds niet hoe ze alles in elkaar moest passen. De feminisering van de mannetjes was een gevolg van verstoorde hormonen. Dat had te maken met het endocriene systeem, dat bestaat uit verschillende klieren die cruciale functies regelen, zoals de basale stofwisseling en de voortplanting.

Dat was zo'n beetje alles wat ze wist van de huidige endocrinologie. Ze had vakken gevolgd tijdens haar studie farmacologie, maar in de afgelopen decennia had er een revolutie plaatsgevonden op dit gebied. En endocrinologie behoorde niet tot de standaardkennis van ecologen. Als ze deze onderzoekslijn wilde volgen, moest ze meer weten.

Er kwamen verschillende nieuwe endocrinologieboeken bij de stapel dossiers over wilde dieren op haar bureau. Haar eerste pogingen om de basis van het endocriene systeem onder de knie te krijgen, waren uiterst frustrerend. De teksten waren compact, onleesbaar en vol afkortingen, waardoor je steeds terug moest bladeren naar eerdere pagina's. Colbom begon pas vooruitgang te boeken toen ze een praktisch, toegankelijk boek vond, *Clinical Endocrine Physiology*, dat ze de maanden daarna binnen handbereik hield.

Toen ze zich concentreerde op hormonen, kreeg bewijs dat ze eerder over het hoofd had gezien een nieuwe betekenis. Ze herinnerde zich de keynote speech van Bengtsson, de Zweedse toxicoloog die beschreef hoe de testikels van vissen kleiner waren geworden naarmate de vervuiling door synthetische organochloorverbindingen in de Oostzee toenam. Was dit een teken van hormoonverstoring? Ze keek opnieuw naar rapporten over abnormaal paringsgedrag bij

Amerikaanse zeearenden, dat was voorafgegaan aan het dunner worden van de eierschalen en de ineensstorting van de adelaarsstand. De vogels hadden geen interesse in paren. Colborn vermoedde nu dat er sprake was van hormoonverstoring.

Toen ze de dossiers over wilde dieren doorlas, vielen haar nog andere dingen op. Er begon zich een patroon af te tekenen. Vogels, zoogdieren en vissen leken vergelijkbare voortplantingsproblemen te hebben. Hoewel de volwassen dieren die in en rond de meren leefden zich voortplantten, overleefden hun nakomelingen vaak niet. [046] Colborn begon zich te concentreren op studies waarin de populaties in de Grote Meren werden vergeleken met andere populaties in het binnenland. In alle gevallen waren de in het meer levende dieren, die verder gezond leken, veel minder succesvol in het voortbrengen van overlevende nakomelingen. Het leek erop dat de verontreiniging bij de ouders op de een of andere manier van invloed was op hun jongen.

Colborn realiseerde zich dat de studies bij mensen naar de effecten van blootstelling aan synthetische chemicaliën zich grotendeels hadden gericht op kanker bij blootgestelde volwassenen. Slechts een handvol onderzoekers had gekeken naar mogelijke effecten op de kinderen van blootgestelde personen, maar Colborn herinnerde zich een onderzoek naar kinderen van vrouwen die regelmatig vis uit de Grote Meren hadden gegeten. Ze haalde het uit haar archief en las het op-nieuw. Het onderzoek van Sandra en Joseph Jacobson, psychologen van de Wayne State University in Detroit, had ook bewijs gevonden dat de mate van chemische verontreiniging

bij de moeder van invloed was op de ontwikkeling van haar baby. De kinderen van moeders die twee tot drie keer per maand vis aten, werden eerder geboren, wogen minder en hadden een kleiner hoofd dan kinderen van moeders die geen vis aten. Bovendien gold dat hoe hoger het gehalte aan PCB's, een hardnekkige industriële chemische stof die veel voorkomt in vis uit de Grote Meren, in het navelstrengbloed was, hoe slechter de kinderen scoorden op tests voor neurologische ontwikkeling. Ze bleven achter op verschillende punten, zoals het kortetermijngeheugen, dat vaak een voorspeller is voor het latere IQ.

De parallel tussen dit onderzoek bij mensen en de effecten op de nakomelingen in het wild was zowel interessant als verontrustend.

Colborn ging verder en volgde alle sporen van het onderzoek, maar de studie van Jacobson bleef in haar achterhoofd hangen en bleef haar kwelen als een onbeantwoorde vraag. Hadden wetenschappers op de juiste plaats gezocht naar effecten? Misschien waren de studies van Jacobson wel belangrijker dan iedereen had beseft.

Naarmate ze dieper groef, werden meer parallellen duidelijk. In de weefselanalyses van de wilde dieren kwamen steeds dezelfde chemicaliën voor bij de bedreigde soorten, waaronder de pesticiden DDT, dieldrin, chloordaan en lindaan, evenals de familie van industriële chemicaliën die PCB's worden genoemd en die in elektrische apparatuur en vele andere producten werden gebruikt. Natuurlijk konden deze resultaten toeval zijn, of ze konden een weerspiegeling zijn van technische beperkingen en de kleine budgetten voor

het opsporen van verontreinigende stoffen. [047] Dit waren de chemicaliën die toxicologen konden meten en die het goedkoopst waren om te analyseren.

Wat de reden voor hun herhaalde voorkomen ook was, studies hadden precies dezelfde chemicaliën aangetroffen in menselijk bloed en lichaamsvet. Colborn was vooral geschokt door de hoge concentraties die werden gemeld in het vet in moedermelk.

Tegen de tijd dat de deadline voor het onderzoek naderde, had Colborn meer dan tweeduizend wetenschappelijke artikelen en vijfhonderd overheidsdocumenten doorgenomen. Ze voelde zich als een speurhond die zijn neus volgde. Ze wist niet precies waar ze heen ging, maar gedreven door haar nieuwsgierigheid en intuïtie was ze het spoor op het spoor. Ze had zoveel intrigerende parallellen gevonden, zoveel echo's tussen de studies. Op de een of andere manier was ze er zeker van dat alles in elkaar paste, omdat ze steeds onverwachte verbanden vond. Haar laatste ontdekking deed ze toen ze de literatuur over het griezelige uitputtingssyndroom bij jonge vogels opnieuw bestudeerde. De kuikens konden er dagenlang normaal en gezond uitzien, maar dan plotseling en onvoorspelbaar begonnen ze te kwijnen, weg te kwijnen en uiteindelijk te sterven. Wetenschappers ontdekten dat het vermageringsprobleem een symptoom was van een verstoorde stofwisseling. De jonge vogels konden niet genoeg energie produceren om te overleven. Hoewel je in eerste instantie niet zou vermoeden dat dit probleem iets te maken had met het fenomeen van de homoseksuele meeuwen, was het ook het gevolg van een verstoring van

het endocriene systeem en de hormonen.

Maar de opwinding van de ontdekking was snel voorbij. De deadline naderde. Wat betekende dit allemaal? Ze had stukjes en patronen, maar geen totaalbeeld.

Misschien zou ze meer inzicht krijgen als ze alles op een rijtje zette. Colborn begon de bevindingen van de studies in een groot grootboekblad in te voeren, zoals accountants dat gebruiken. Toen dat te omvangrijk werd, schakelde ze over op haar computer en maakte ze een elektronische spreadsheet, wat wetenschappers een matrix noemen. Terwijl ze gegevens invoerde in kolommen met de kopjes ‘populatieafname’, ‘reproductieve effecten’, ‘tumoren’, ‘vermagering’, ‘immuunsuppressie’ en ‘gedragsveranderingen’, ging haar aandacht steeds meer uit naar zestien van de drieënveertig soorten in de Grote Meren die de grootste problemen leken te hebben.

[048] Ze leunde achterover en keek naar de lijst: de Amerikaanse zeearend, de meerforel, de zilvermeeuw, de nerts, de otter, de dubbelkuifaalscholver, de bijtschildpad, de visdief en de cohozalm. Wat hadden ze gemeen?

Natuurlijk! Al deze dieren waren toproofdieren die zich voedden met vis uit de Grote Meren. Hoewel de concentraties van verontreinigende stoffen zoals PCB's in het water van de Grote Meren zo laag zijn dat ze niet met standaard watertestprocedures kunnen worden gemeten, concentreren dergelijke persistente chemicaliën zich in het weefsel en hopen ze zich exponentieel op naarmate ze via de voedselketen van dier op dier worden overgedragen. Door dit proces

van vergroting kan de concentratie van een hardnekkige chemische stof die niet afbreekbaar is en zich ophoopt in lichaamsvet, bij een toproofdier zoals een zilvermeeuw 25 miljoen keer hoger zijn dan in het omringende water.

Uit de spreadsheet kwam nog een ander verrassend feit naar voren. Volgens de wetenschappelijke literatuur leken de volwassen dieren in orde te zijn. De gezondheidsproblemen werden vooral bij hun nakomelingen vastgesteld. Hoewel ze had nagedacht over de effecten op het nageslacht, had Colborn dit schrijnende, algemene contrast tussen volwassenen en jongen niet opgemerkt.

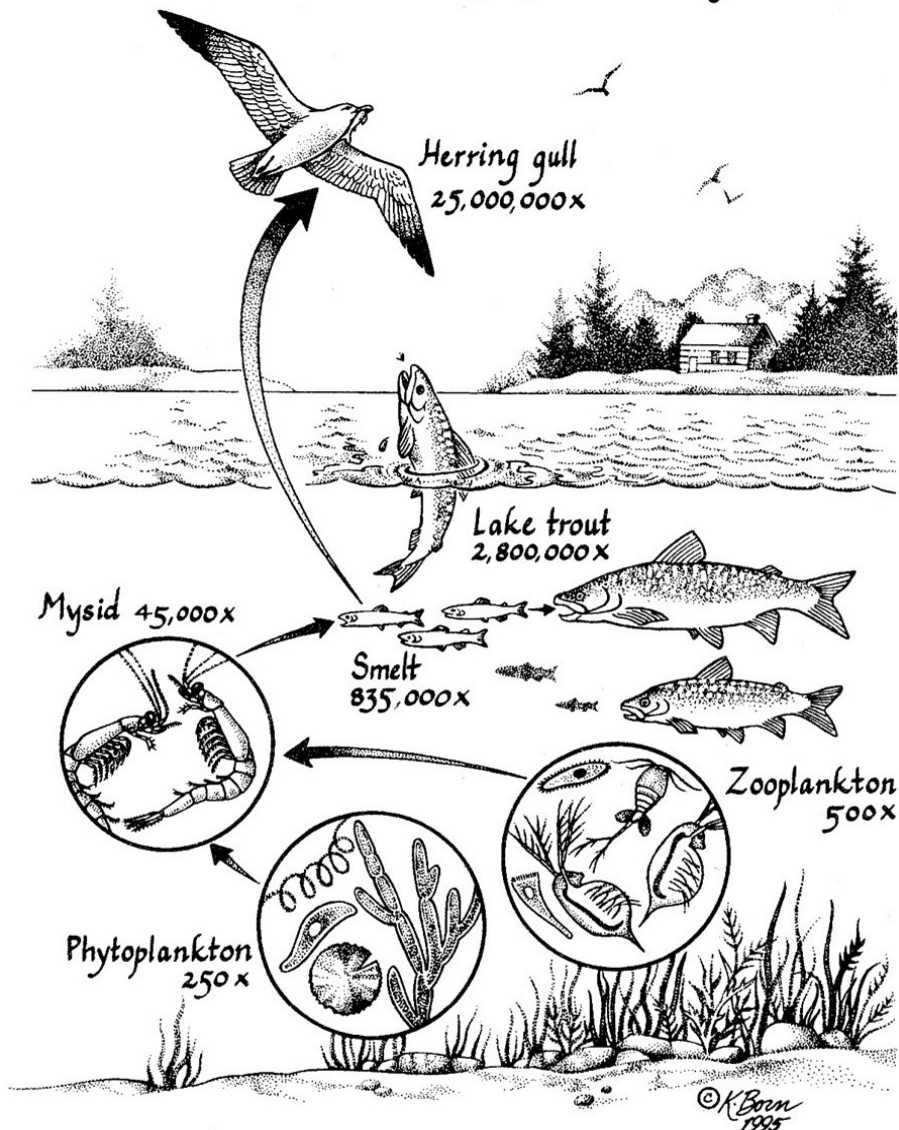
Nu begonnen de stukjes op hun plaats te vallen. Als de chemicaliën die in het lichaam van de ouders waren aangetroffen de boosdoeners waren, dan werkten ze als een soort erfelijk gif dat van de ene generatie op de andere werd doorgegeven en dat ongeboren en zeer jonge dieren aantastte. De conclusie was huiveringwekkend.

Maar de vele uiteenlopende symptomen bij alles, van volwassen zilvermeeuwen tot babysnapschildpadden, leken niet op elkaar te passen. Sommige dieren, zoals de meeuwen, vertoonden vreemd gedrag, zoals nestelen met partners van hetzelfde geslacht, terwijl andere soorten, waaronder de dubbelkuifaalscholver, zichtbare grove geboortefwijkingen hadden, zoals klompvoeten, ontbrekende ogen, kromme ruggen en gekruiste snavels. Opnieuw kwam er een patroon naar voren uit de verwarrende puzzelstukjes toen Colborn nadacht over wat ze had geleerd door haar neus te volgen.

Dit waren allemaal gevallen van ontregelde ontwikkeling,

een proces dat in belangrijke mate wordt gestuurd door hormonen. De meeste gevallen konden in verband worden gebracht met een verstoring van het endocriene systeem.

Lake Ontario Biomagnification of PCBs



Tekening 049 Naarmate PCB's zich via de voedselketen ophopen, kan hun concentratie in dierlijk weefsel tot wel 25 miljoen keer toeneemen. Microscopisch kleine organismen nemen persistente chemicaliën op uit sedimenten, een voortdurende bron van verontreiniging, en uit water, en worden in grote hoeveelheden geconsumeerd door filtervoedende kleine dieren, zoöplankton genaamd. Grotere soorten zoals mysiden eten vervolgens het zoöplankton, vissen eten de mysiden, enzovoort, tot aan de zilvermeeuw aan het einde van de voedselketen.

Dit inzicht leidde Colborns onderzoek in een andere richting. Ze begon alles te lezen wat ze kon vinden over de chemicaliën die steeds weer opdoken in de weefselsanalyses van dieren die moeite hadden met het voortbrengen van levensvatbare jongen. [050] Ze kwam er al snel achter dat de tests en beoordelingen van fabrikanten en regelgevende instanties van de overheid zich grotendeels hadden gericht op de vraag of een chemische stof kanker kon veroorzaken, maar ze vond genoeg in de peer-reviewed wetenschappelijke literatuur om te bewijzen dat haar vermoeden juist was.

De afgedankte gifstoffen die in het vet van wilde dieren werden aangetroffen, hadden één ding gemeen: op de een of andere manier werkten ze allemaal in op het endocriene systeem, dat de vitale interne processen van het lichaam reguleert en cruciale fasen van de prenatale ontwikkeling stuurt. De afgedankte gifstoffen verstoorden de hormonen.

HOOFDSTUK – 03

CHEMISCHE BOODSCHAPPERS

IN HET KADER VAN haar onderzoek naar hormonen ontdekte Theo colborn een centraal stukje van de puzzel in de wereld van Frederick vom Saal, een bioloog aan de Universiteit van Missouri. Vom Saal's onderzoek naar hoe hormonen ons maken tot wie we zijn is een fascinerend wetenschappelijk avontuur op zich. In een reeks experimenten met muizen toonde hij aan dat kleine verschuivingen in hormonen voor de geboorte veel kunnen uitmaken en gevolgen kunnen hebben die een leven lang duren. Zijn werk heeft geholpen om het gevaar te benadrukken van synthetische chemicaliën die hormonale systemen kunnen verstoren.

Vom Saal's onderzoek naar de wondere wereld van hormonen begon in 1976 tijdens zijn postdoctorale dagen aan de Universiteit van Texas in Austin, geïnspireerd door het gedrag van laboratoriummuizen. Zoals de meeste postdoctorale biologiestudenten bracht vom Saal het grootste deel van zijn leven door in het laboratorium, waar het fokken van muizen tot zijn vaste taken behoorde. Terwijl hij muizenkoppelaar speelde en ontmoetingen regelde tussen gretige mannetjes en ontvankelijke vrouwtjes, raakte hij geïntrigeerd door het samenspel tussen de dieren terwijl hij ze van kooi naar kooi verplaatste.

[052] In het begin leken de kleine, witte wezentjes met roze ogen allemaal kopieën van elkaar. Maar toen hij de vrouwtjes in de broedkooien zag rondscharrelen, kwamen er al snel individuen tevoorschijn uit de menigte. Telkens als hij een vrouwtje terugbracht naar een groepskooi met een half dozijn vrouwtjes, leek er altijd één muis te zijn die de indringer aanviel. Dit waren muizen met een attitude, harde koekjes die dreigend met hun staart klapperden en uithaalden naar hun zachtaardige soortgenoten.

Zo'n verschil tussen het gedrag van het ene vrouwtje en het andere was opvallend en raadselachtig. De muizen waren allemaal afkomstig van één laboratoriumstam die al generaties lang was ingeteeld. Wat de genen betreft, waren ze vrijwel identiek.

Deze eenvoudige observatie zette de koers uit voor het levenswerk van vom Saal in de voortplantingsbiologie. In de jaren die volgden, ontwierp hij tientallen experimenten om het mysterie te onderzoeken hoe twee muizen met bijna dezelfde genetische blauwdruk zich zo verschillend konden gedragen.

Het idee blijft bestaan dat genen het lot bepalen en dat je alles van kanker tot homoseksualiteit kunt verklaren door de verantwoordelijke genen te lokaliseren. Maar in een reeks wetenschappelijke artikelen toonde vom Saal aan dat er andere krachtige krachten zijn die individuen - zowel mannen als vrouwen - al voor de geboorte vormen. Genen, zo bleek, zijn niet het hele verhaal. Bij lange na niet.

Wat vom Saal zag tijdens die lange uren waarin hij muizen

observeerde in het laboratorium, was in tegenspraak met alles wat hij had gelezen. Volgens de wetenschappelijke literatuur uit die tijd (die zowel de heersende menselijke aannames weerspiegelde als het gedrag van dieren beschreef) was agressie strikt mannelijk gedrag. Maar als staartratelen, achtervolgen en bijten onder de vrouwtjes geen agressie was, hoe zou je het dan wel moeten noemen?

Uiteindelijk moesten de collega's van vom Saal toegeven dat het gedrag wel degelijk op agressie leek, maar ze deden het af als onbelangrijk. Mannetjes waren het middelpunt van de actie in dierensamenlevingen volgens de heersende wijsheid op het gebied van dierlijk gedrag, dus wat vrouwtjes deden deed er gewoon niet toe. Ze waren gewoon passieve baby-makers.

Vom Saal was daar niet zo zeker van. Zijn intuïtie vertelde hem dat wat hij zag waarschijnlijk zowel belangrijk als interessant was. [053] Tijdens zijn promotieonderzoek had hij zich geconcentreerd op de rol van testosteron in de ontwikkeling voor de geboorte en hij wist dat dit hormoon - dat in veel hogere concentraties voorkomt bij mannetjes - agressie stimuleert.

Uit zijn observaties bleek dat de stoere vrouwtjes niet veel voorkwamen, maar ze waren ook niet zeldzaam. Er leek ongeveer één agressief vrouwtje per zes muizen in de kolonie te zijn - iets wat hem opviel omdat de muizen met z'n zessen in een kooi zaten. Als de muizen klonen waren, moest iets anders dan genen de agressieve vrouwtjes vormen. Sinds hun geboorte waren de zusjes identiek opgevoed, dus de leefomstandigheden konden de verschillen niet verklaren.

Zou iets in hun prenatale omgeving de oorzaak kunnen zijn? Dat zette hem aan het denken over hoe muizen gedragen worden voor hun geboorte. De baarmoeder van hun moeder bestaat niet uit één compartiment zoals de menselijke baarmoeder, maar uit twee aparte compartimenten of “hoorns” die zich naar links en rechts vertakken bovenaan de vagina of het geboortekanaal. De babymuisjes zitten als erwten in een dop in de smalle hoorns - wel zes per kant. Deze opstelling betekent dat sommige vrouwtjes zich ontwikkelen ingeklemd tussen twee mannetjes.

Vom Saal begon waarschijnlijkheden te berekenen. Als er twaalf muizen in een typisch muizennest zaten en als de plaatsing van mannetjes en vrouwtjes in de baarmoeder willekeurig was, hoeveel vrouwtjes zouden er dan tussen twee mannetjes belanden? Ruwweg één op de zes, dacht hij. Dat ondersteunde de theorie die zich in zijn hoofd begon af te tekenen. Hij vermoedde dat sommige vrouwtjes duidelijk agressiever waren omdat ze hun prenatale leven hadden doorgebracht ingeklemd tussen twee mannetjes. Een week voor de geboorte beginnen de testikels van een mannelijke pup het mannelijke hormoon testosteron af te scheiden, dat zijn eigen seksuele ontwikkeling stimuleert. De vrouwelijke pups worden misschien overspoeld door testosteron van hun mannelijke burens.

Misschien, dacht vom Saal, lag het antwoord op het mysterie van hoe genetisch identieke vrouwtjes zo verschillend konden zijn in hormonenchemische boodschappers die door de bloedbaan reizen en boodschappen van het ene lichaamsdeel naar het andere overbrengen.

In het constante gesprek dat het lichaam met zichzelf voert, zijn zenuwen slechts één communicatiekanaal - het kanaal dat gebruikt wordt voor snelle, discrete boodschappen die een hand de opdracht geven om weg te gaan van een heet fornuis. Een groot deel van het interne gesprek van het lichaam wordt echter gevoerd via de bloedbaan, waar hormonen en andere chemische boodschappers zich voortbewegen op het biologische equivalent van de informatiesnelweg, en signalen doorgeven die niet alleen seks en voortplanting regelen, maar ook organen en weefsels coördineren die samenwerken om het lichaam goed te laten functioneren.

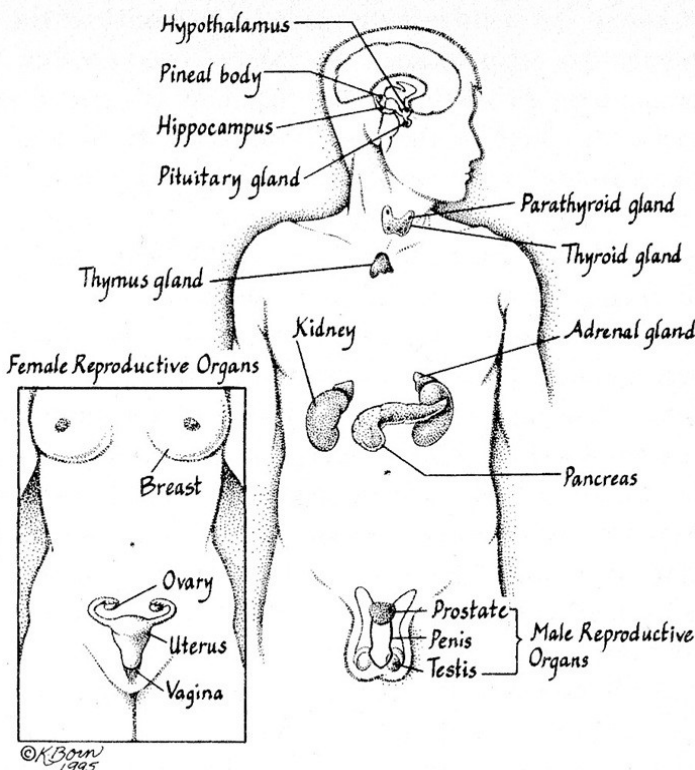
[054] Hormonen, die hun naam ontleen aan het Griekse woord “aansporen”, worden geproduceerd en afgegeven aan de bloedsomloop door verschillende organen die bekend staan als endocriene klieren, waaronder de testikels, de eierstokken, de alvleesklier, de bijnieren, de schildklier, de bijnierschildklier en de zwezerik. De schildklier, bijvoorbeeld, produceert chemische boodschappers die de algehele stofwisseling van het lichaam activeren, waardoor weefsels worden gestimuleerd om meer warmte te produceren. Naast eicellen geven de eierstokken van een vrouw oestrogenen af - vrouwelijke hormonen die zich via de bloedbaan naar de baarmoeder verplaatsen, waar ze de groei van het baarmoederweefsel stimuleren in afwachting van een mogelijke zwangerschap.

Een andere endocriene klier, de hypofyse, die aan een steeltje aan de onderkant van de hersenen net achter de neus bungelt, fungeert als controlecentrum en vertelt de eierstokken of de schildklier wanneer ze hun chemische boodschap-

pen moeten sturen en hoeveel ze moeten sturen. De hypofyse krijgt zijn signalen van een nabijgelegen deel van de hersenen dat de hypothalamus wordt genoemd, een centrum ter grootte van een theelepel aan de onderkant van de hersenen dat voortdurend de hormoonspiegels in het bloed controleert, net zoals een thermostaat de luchttemperatuur in een huis controleert. Als het niveau van een hormoon te hoog of te laag wordt, stuurt de hypothalamus een boodschap naar de hypofyse, die de klier die dit hormoon produceert een seintje geeft dat hij moet versnellen, vertragen of uitschakelen.

De berichten gaan voortdurend heen en weer. Zonder deze kruisbestuiving en constante terugkoppeling zou het menselijk lichaam een onhandelbare bende van zo'n 50 biljoen cellen zijn in plaats van een geïntegreerd organisme dat werkt volgens één enkel script.

Toen wetenschappers zich verder verdiepten in het zenuwstelsel, het immuunsysteem en het endocriene systeem - de drie grote integrerende netwerken van het lichaam - stuitten ze op diepgaande onderlinge verbanden: tussen de hersenen en het immuunsysteem, het immuunsysteem en het endocriene systeem, en het endocriene systeem en de hersenen. De verbanden lijken soms volkomen mystificerend. Hoe kon bijvoorbeeld een vrouw die aan een meervoudige persoonlijkheidsstoornis leed urenlang met een kat spelen terwijl ze de ene persoonlijkheid was en hevige allergische reacties op katten krijgen wanneer ze een andere persoonlijkheid aannam?



Afbeelding 055 Enkele belangrijke klieren, organen en weefsels die hormonale boodschappen verzenden of ontvangen in het menselijk lichaam.

Niemand weet het antwoord op deze vraag, maar het ligt zeker in deze interne conversatie en het constante gekabbel van chemische boodschappers. Veranderingen in één deel van dit complexe, onderling verbonden systeem kunnen dramatische en onverwachte gevolgen hebben op andere plaatsen, vaak op plaatsen waar je het het minst zou verwachten, omdat alles met elkaar verbonden is. Een hersentumor kan

zich bijvoorbeeld manifesteren als een verstoorde menstruatiecycclus en overgevoeligheid van de huid in plaats van hoofdpijn.

Als hormonen van vitaal belang zijn om goed te blijven functioneren bij volwassenen, dan zijn ze misschien nog wel belangrijker in het uitgebreide ontwikkelingsproces voor de geboorte.

Maar hoe kon vom Saal zijn theorie testen?

Keizersneden bij muizen.

[056] Vlak voordat de vrouwtjes aan het einde van hun negentiendaagse zwangerschap klaar waren om te bevallen, verwijderde vom Saal de kleine baby's, die ongeveer een inch lang en ongeveer zo groot als een olijf waren. Hij markeerde ze op basis van hun positie ten opzichte van hun buren in de baarmoeder. Op deze manier kon hij ontdekken waar agressieve vrouwtjes hun prenatale leven hadden doorgebracht. Zo begon het onderzoek van vom Saal naar wat sommigen in het vakgebied spelenderwijs het “baarmoeder-vriend”-effect noemen, formeel bekend als het intra-uteriene positie-fenomeen.

Hoewel vom Saal nu negenenveertig is en professor aan de Universiteit van Missouri, ziet hij er nog jeugdig genoeg uit om voor een afgestudeerde student te worden aangezien. In een wetenschappelijke wereld waar velen zich zelden buiten nauwe specialismen wagen, omarmt vom Saal het grote geheel en verklaart hij ongegeneerd dat hij geïnteresseerd is in “van baarmoeder tot baarmoeder biologie”. Hij beweegt zich gemakkelijk tussen elegante, strak gefocuste studies en

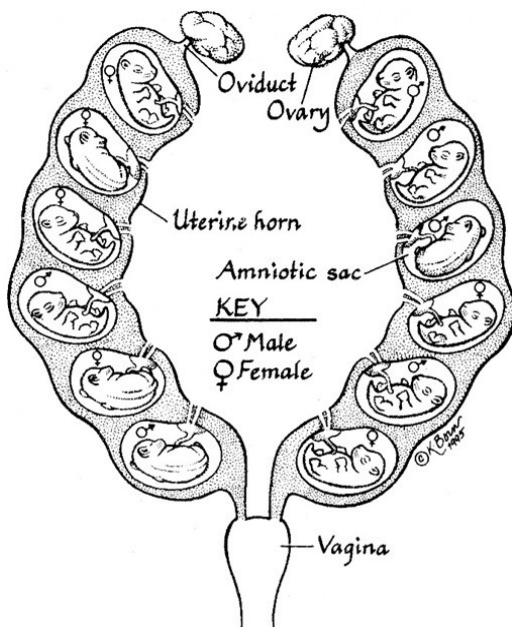
een groter, meer omvattend onderzoek naar fundamentele vragen: Waarom gebeurt dit? Wat is de evolutionaire betekenis?

Die eerste studies in Austin bevestigden zijn theorie. Toen de muizen die met een keizersnede waren verwijderd volwassen werden, waren de agressieve vrouwtjes, zoals voorspeld, degenen die zich tussen de broers hadden ontwikkeld. Elke intrigerende bevinding riep nieuwe vragen op, die leidden tot meer studies en, na verloop van tijd, observaties bij duizenden muizen die met een keizersnede ter wereld waren gebracht. Agressie bleek slechts het duidelijkste teken van diepgaande verschillen tussen muizenzusjes die in opmerkelijke mate voorspeld konden worden door hun positie in de baarmoeder.

Op het eerste gezicht klinken de resultaten van vom Saal als het verhaal van de lelijke zus en de mooie zus. Niet alleen was de lelijke zus - de muis die zich tussen mannetjes had ontwikkeld - agressiever, maar vom Saal ontdekte ook dat ze significant minder aantrekkelijk was voor mannetjes dan de mooie zussen die hun tijd in de baarmoeder hadden doorgebracht tussen andere vrouwtjes. Acht van de tien keer zou een mannetje dat de keuze kreeg, kiezen voor de mooie zus.

Wat aantrekkelijk is voor mannetjes zijn niet de kleine roze oogjes van het vrouwtje of de kromming van haar staart. Het sociale leven van muizen wordt bepaald door de neus, en de aantrekkelijkheid van vrouwtjes hangt af van de sociale chemicaliën die ze afgeven, die feromonen worden genoemd. De mooie zusjes ruiken “sexier” voor mannetjes omdat ze andere chemische stoffen produceren dan hun

minder aantrekkelijke zusjes. De prenatale hormoonomgeving laat een permanente afdruk achter op elke zus die door mannetjes voor de rest van haar leven wordt herkend.



Afbeelding 057 Gedrags- en voortplantingsverschillen bij muizen kunnen in opmerkelijke mate voorspeld worden door hun positie, die gerelateerd is aan hormoonblootstelling, in de baarmoeder. (Aangepast van vom Saal en Dhar, 1992)

De zusjes vertoonden ook dramatische verschillen in hun voortplantingscycli. De mooie zus vond niet alleen gemakkelijker een partner, ze werd ook sneller volwassen dan haar lelijke zus en werd vaker loops - een periode van seksuele ontvankelijkheid. Als gevolg daarvan had ze meer mogelijkheden om zwanger te worden en had ze meer kans om in

haar leven meer nakomelingen te produceren dan haar agressieve, onaantrekkelijke zus, die later in de puberteit kwam en minder vaak loops werd.

Nog verbazingwekkender is dat studies van andere onderzoekers, waaronder Mertice Clark, Peter Karpiuk en Bennett Galef van de McMaster University en het team van John Vandenberg en Cynthia Huggett van de North Carolina State University, hebben ontdekt dat het baarmoederma-te-effect zelfs invloed heeft op de vraag of een vrouwtje meer reuen of meer teven ter wereld brengt als ze zelf pups krijgt. Dit is inderdaad mysterieus, omdat wetenschappers tot nu toe dachten dat de moeder geen rol speelt in het bepalen van het geslacht van haar nakomelingen. [058] Volgens de huidige inzichten is het het sperma van de vader dat bepaalt of de eicel zich ontwikkelt tot een mannetje of een vrouwtje, dus hoe een moeder de sekseverhouding beïnvloedt is nog onbekend. Hoe het ook gebeurt, de mooie zusjes hebben de neiging om nesten te krijgen die voor zestig procent uit vrouwtjes bestaan, terwijl de lelijke zusjes over het algemeen nesten baren die ruwweg voor zestig procent uit mannetjes bestaan. Zoals Vandenberg schreef over deze transgeneratiele invloed van de baarmoeder: “Broers verwekken neven.”

Na het horen van het verhaal van de twee zussen, zou je gemakkelijk kunnen concluderen dat het verstandig zou zijn om een mooie zus te zijn als je een muis moest zijn. Ze hebben veel partners en baby's en lijken, afgaande op de evolutionaire noodzaak om nakomelingen te produceren, succesvoller dan hun lelijke zussen.

Niet zo snel, waarschuwt vom Saal. Als je bedenkt hoe deze zussen hun leven leiden binnen een muizenpopulatie die cycli van hoog- en laagconjunctuur doormaakt, begint de mooie zus haar duidelijke voorsprong te verliezen. Een muizenpopulatie bereikt gewoonlijk een zeer hoge piek en stort dan in. In gewone tijden, wanneer de populatie niet te dicht is, zijn de knappe zusjes zeker in het voordeel, maar wanneer de omstandigheden overbevolkt raken, vermindert het vermogen van de knappe zusjes om baby's te produceren omdat de vrouwtjes reageren op geurstoffen in de urine die de voortplanting remmen.

Maar juist in deze overbevolkte tijden komen de lelijke zusjes het best tot hun recht. Omdat zij relatief immuun zijn voor de remmende signalen, zijn zij waarschijnlijk de enigen die nakomelingen produceren en zijn de lelijke zussen de enigen die sterk genoeg zijn om hun baby's te beschermen tegen aanvallen en kindermoord.

Interessant genoeg hebben sommige onderzoeken aangetoond dat de fysieke toestand van de moeder ook de hormoonspiegels in de baarmoeder kan veranderen en de nakomelingen kan beïnvloeden. Muismoeders die tijdens het laatste deel van hun zwangerschap voortdurend stress ervaren, baren vrouwtjes die alle fysieke en gedragskenmerken hebben van vrouwtjes die zich tussen mannetjes ontwikkelen. Maternale stress lijkt de gewone variaties in de baarmoeder op te heffen en een nest voort te brengen dat uitsluitend uit taaie koekjes bestaat.

Dus wat is de evolutionaire les van dit verhaal?

Volgens vom Saal is de echte les de waarde van variabiliteit.

[059] De acute gevoeligheid van zich ontwikkelende zoogdieren zoals muizen voor kleine verschuivingen in de hormoonspiegels in de baarmoeder is gevormd door de evolutie. Deze eigenschap heeft geholpen om een grote variatie in het nageslacht te verzekeren, zelfs een grotere variatie dan alleen voortgebracht wordt door genetische verschuivingen. Variatie is de manier waarop zoogdieren zich hebben ingedekt tegen een snel veranderende omgeving. Als je niet weet wat de omstandigheden voor je nakomelingen zullen zijn, kun je het beste veel verschillende soorten produceren in de hoop dat ten minste één van hen geschikt zal zijn voor het nieuwe moment.

De vroege onderzoeken van Vom Saal naar het ‘wombmate effect’ richtten zich alleen op vrouwtjes. De beslissing om bij mannetjes te kijken of vrouwelijke baarmoedergenoten enige invloed op hen hadden, was bijna een bijzaak. Hoewel de resultaten deze onderzoekslijn zouden afronden, geeft vom Saal toe dat hij eerlijk gezegd niet verwachtte iets opmerkelijks te vinden. Er werd algemeen aangenomen dat de ontwikkeling van de man uitsluitend door testosteron werd gestuurd, dus naast de vrouwtjes zitten zou weinig verschil moeten maken.

In feite verbaasden de resultaten van zijn experimenten hem. Het baarmoedermate-effect vormde het lot van zowel mannen als vrouwen en op manieren die niemand ooit had kunnen voorspellen. In een belangrijk artikel in het prestigieuze tijdschrift Science van juni 1980 stelden vom Saal en zijn medewerkers dat blootstelling aan het vrouwelijke hor-

moon oestrogeen vóór de geboorte de seksuele activiteit van de man op volwassen leeftijd verhoogde.

Binnen en buiten de wetenschappelijke wereld beschouwden velen het niveau van seksuele activiteit bij mannen als een index van mannelijkheid en een product van het mannelijke hormoon testosteron. De bevindingen waren zelfs zo contra-intuïtief en zo tegenstrijdig met veronderstellingen over het “mannelijke” hormoon testosteron en het “vrouwelijke” hormoon oestrogeen, dat een van zijn medewerkers protesteerde dat ze de monsters op de een of andere manier door elkaar hadden gehaald. Vom Saal ontdekte echter dat oestrogeen en testosteron beide invloed hebben op mannen - en wel op manieren die indruisen tegen onze conventionele opvattingen over “mannelijkheid” en “vrouwelijkheid”. Het effect van baarmoedergenoten op mannetjes bleek een nog provocerder onderzoeksader dan zijn eerdere werk aan vrouwtjes.

Als de vrouwen een verhaal lijken van de mooie en lelijke zussen, dan klinken de bevindingen van vom Saal over de mannen als een verhaal over de playboy en de goede vader.

[060] Als volwassenen vertoonden de playboy mannetjes, blootgesteld aan hogere niveaus van oestrogeen door hun vrouwelijke baarmoedergenoten, nog een ander verrassend kenmerk naast hun hogere mate van seksuele activiteit. Het lijkt logisch om aan te nemen dat blootstelling aan oestrogeen mannetjes meer begaan maakt met hun jongen, maar in feite bleek het tegenovergestelde waar. Wanneer ze bij jonge muizen werden geplaatst, waren deze mannetjes eerder geneigd om baby's aan te vallen en te doden. De mannetjes

met een hoog testosterongehalte die broers als baarmoedermaatjes hadden gehad, bleken de goede papa's te zijn, die verrassend genoeg bijna net zoveel geneigd waren om voor de pups te zorgen als muizenmoeders.

De playboy mannetjes waren ook in één ander opzicht opmerkelijk: de grootte van hun prostaat, de kleine klier die om de urinebuis zit en waardoor de urine wordt uitgescheiden. De mannetjes die waren blootgesteld aan hogere oestrogeengehaltes hadden prostaatgroottes die vijftig procent groter waren dan die van broertjes die mannelijke baarmoederogenoten hadden gehad. Bovendien zijn deze grotere prostaten op volwassen leeftijd gevoeliger voor mannelijke hormonen omdat ze drie keer zoveel testosteronreceptoren bevatten als de prostaten van broers met mannelijke baarmoedermaatjes. Meer receptoren betekent over het algemeen dat de klier sneller zal groeien als reactie op mannelijke hormonen die op volwassen leeftijd in de bloedbaan circuleren.

Hoewel menselijke baby's de baarmoeder meestal niet hoeven te delen met broers en zussen, kan hun ontwikkeling toch beïnvloed worden door wisselende hormoonspiegels die in de baarmoeder voorkomen om redenen die wetenschappers niet helemaal begrijpen. Medische problemen zoals hoge bloeddruk kunnen bijvoorbeeld de oestrogeenspiegel opdrijven. Of misschien kan het eten van tofu, alfalfa-kiemen of andere voedingsmiddelen die veel plantaardige oestrogenen bevatten tijdens de zwangerschap de blootstelling aan oestrogenen verhogen. Het is ook mogelijk dat het lichaamsvet van de moeder synthetische chemicaliën bevat die hormonen verstoren.

Wat de bron ook is, een recent onderzoek bij een menselijke tweeling van verschillend geslacht toonde aan dat baarmoederhormooneffecten ook bij mensen kunnen worden waargenomen. Het onderzoek, dat zich richtte op een obscuur verschil in het gehoorsysteem van mannen en vrouwen dat vanaf de geboorte bestaat, ontdekte dat meisjes die zich hadden ontwikkeld met een jongenstweeling een mannelijk patroon vertoonden, wat suggereert dat zij, net als de vrouwelijke muizen van vom Saal, enigszins vermannelijkt waren door de hormonen die overspoelden van een mannelijke baarmoedergenoot.

Te midden van al deze verrassingen leverden de studies naar mannelijke baarmoedermaatjes bij muizen slechts één verwacht resultaat op, namelijk mannelijke agressie. [060] Mannetjes met mannelijke baarmoedergenoten en de hoogste blootstelling aan testosteron voor de geboorte waren inderdaad het meest agressief tegen andere volwassen mannetjes, en mannetjes met vrouwelijke baarmoedergenoten waren het minst agressief.

Wetenschappers die op dit gebied werkzaam zijn, discussiëren nog steeds over hoe oestrogeen de ontwikkeling van mannetjes en vrouwtjes beïnvloedt, in het bijzonder de ontwikkeling van de hersenen en het gedrag, maar vom Saal gelooft dat oestrogeen helpt bij het vermannelijken van mannetjes door bepaalde effecten van het mannelijke hormoon testosteron te versterken. Samen beïnvloeden de twee hormonen de organisatie van de zich ontwikkelende hersenen om het niveau van seksuele activiteit van de mannelijke muis als volwassene te verhogen. Vom Saal had aangetoond

dat dit een prenataal effect is in plaats van een gevolg van volwassen hormoonspiegels door de muizen kort na de geboorte te castreren en vervolgens op volwassen leeftijd een identieke hoeveelheid mannelijk hormoon toe te dienen aan broers met mannelijke en vrouwelijke baarmoedergenoten. Zelfs met identieke hormoonblootstelling vertoonden deze mannelijke muizen verschillende niveaus van seksuele activiteit - een bewijs dat volwassen hormoonniveaus niet de oorzaak zijn van deze gedragsverschillen.

Degenen die horen over het werk van vom Saal vragen hem meestal: Wat is de “normale” muis: de mooie zus of de lelijke zus? De playboy of de goede vader?

“Ze zijn allemaal normaal,” zegt vom Saal nadrukkelijk.

De vraag zelf lijkt voort te komen uit onze dualistische opvatting van mannelijkheid en vrouwelijkheid, die de twee seksen als elkaar uitsluitende categorieën ziet. In feite zijn er veel grijstinten en overlap tussen gedragingen die als typisch mannelijk of vrouwelijk worden beschouwd. Zo bezien is er niets abnormaals aan een agressief vrouwtje of een verzorgend mannetje. In deze muizenstam, waarvan de genetische variabiliteit verminderd is door generaties van in-teelt, weerspiegelen deze individuen de variabiliteit die gecreëerd is door de natuurlijke invloed van hormonen voor de geboorte. Wat “normaal” is,” zegt vom Saal, terugkomend op een evolutionair thema, is niet het ene of het andere type individu, maar de variabiliteit zelf.

Maar variabiliteit is slechts een van de grotere lessen die uit het werk van vom Saal naar voren komen. Het heeft ook een

venster geopend op de krachtige rol van hormonen in de ontwikkeling van beide geslachten en de extreme gevoeligheid van zich ontwikkelende zoogdieren voor kleine verschuivingen in de hormoonspiegels in de baarmoeder. De studies met baarmoedermaatjes hebben ook onderstreept dat hormonen permanent cellen, organen, de hersenen en gedrag “organiseren” of programmeren vóór de geboorte, en in veel opzichten de koers van het individu voor een heel leven bepalen.

[062] Het is belangrijk om te onthouden dat hormonen dit doen zonder genen te veranderen of mutaties te veroorzaken. Ze controleren de “expressie” van genen in de genetische blauwdruk die een individu erft van zijn ouders. Deze relatie is vergelijkbaar met die tussen de toetsen op een piano en de voorgeperforeerde muziekrol die er doorheen loopt en de melodie bepaalt. Hoewel de piano theoretisch veel melodieën kan spelen, zal hij alleen de melodie spelen die gedicteerd wordt door het patroon van gaatjes in de muziekrol. Tijdens de ontwikkeling bepalen hormonen in de baarmoeder welke genen een leven lang tot expressie komen en hoe vaak ze tot expressie komen. Er is niets veranderd in de genen van het individu, maar als een bepaalde noot niet in de muziekrol is geslagen tijdens de ontwikkeling, zal deze voor altijd stom blijven. Genen mogen dan het toetsenbord zijn, maar hormonen die tijdens de ontwikkeling aanwezig waren, componeren de melodie.

Wat verbazingwekkend is aan de studies van vom Saal is hoe weinig er nodig is om de melodie drastisch te veranderen. Hormonen zijn uitzonderlijk krachtige chemicaliën die

werken bij concentraties die zo laag zijn dat ze alleen kunnen worden gemeten met de meest gevoelige analysemethoden. Als je het hebt over hormonen zoals estradiol, het krachtigste oestrogeen, vergeet dan delen per miljoen of delen per miljard. De concentraties zijn meestal delen per biljoen, duizend keer lager dan delen per miljard. Je kunt je een hoeveelheid voorstellen die zo oneindig klein is door te denken aan een druppel jenever in een trein met tankwagens vol tonic. Eén druppel in 660 tankwagens zou één deel op een biljoen zijn; zo'n trein zou zes mijl lang zijn.

De opvallende levenslange verschillen tussen een mooie zus en een lelijke zus komen voort uit niet meer dan een verschil van vijfendertig delen per triljoen in hun blootstelling aan oestradiol en een verschil van één deel per miljard in testosteron. Als we de gin en tonic analogie gebruiken, dan had de cocktail van de mooie zus 135 druppels gin in duizend tankwagens tonic en die van de lelijke zus 100 druppels - een verschil dat misschien niet detecteerbaar is in een glas, laat staan in een tankwagon.

[063] Dit is een mate van gevoeligheid die het onpeilbare benadert, een gevoeligheid, zegt vom Saal, “die de stoutste verbeelding van mensen te boven gaat”. Als zo'n exquise gevoeligheid rijke mogelijkheden biedt voor gevarieerde nakomelingen uit dezelfde genetische voorraad, dan maakt diezelfde eigenschap het systeem ook kwetsbaar voor ernstige verstoring als iets de normale hormoonspiegels verstoort - een beangstigende mogelijkheid die voor het eerst tot vom Saal doordrong toen Theo Colborn hem belde om te praten over synthetische chemicaliën die als hormonen zouden

kunnen werken.

Om de bezorgdheid van vom Saal te begrijpen, moet je meer begrijpen over de ingewikkelde choreografie van gebeurtenissen voor de geboorte die bekend staat als seksuele differentiatie en de sleutelrol die hormonen spelen in dit ontwikkelingsballet. Bij muizen, olifanten, walvissen, mensen en alle andere zoogdieren, maar ook bij vogels, reptielen, amfibieën en vissen, wordt het proces waarbij twee geslachten ontstaan uit aanvankelijk uniseks embryo's geleid door deze chemische boodschappers. Zij zijn de geleiders die op het juiste moment de signalen geven wanneer weefsels en organen nu of nooit keuzes maken over de richting van de ontwikkeling. In dit centrale drama waarin jongens jongens worden en meisjes meisjes, spelen hormonen de hoofdrol.

Ons begrip van wat bepaalt of een bevruchte eikel een mannetje of een vrouwtje wordt, is erg recent. Vóór de twintigste eeuw werd algemeen aangenomen dat het geslacht van de baby werd bepaald door omgevingsfactoren zoals temperatuur.

Pas in 1906 merkten twee wetenschappers - Nettie Marie Stevens en Edmund Beecher Wilson - onafhankelijk van elkaar op dat elke cel bij vrouwen twee X-chromosomen had, terwijl mannen altijd een X en een Y hadden, een observatie die leidde tot de theorie dat het aantal X-chromosomen het geslacht bepaalde. In het afgelopen decennium hebben onderzoekers eindelijk vastgesteld dat het een gen op het Y-chromosoom is in plaats van het aantal X-chromosomen dat het geslacht bepaalt.

Zoals de meesten van ons op de middelbare school biologie hebben geleerd, hebben de eicellen van de moeder allemaal één X-chromosoom en het sperma van de vader heeft een X- of een Y-chromosoom. Het geslacht van de baby hangt af van het moment waarop de zaadcellen uit het starthek komen en tegen elkaar racen in de voortplantingsmarathon. Als deze meest primordiale atletiekwedstrijd zou worden uitgezonden zoals de Boston Marathon, zouden we misschien horen dat drie Y's nek-aan-nek zijn bij de ingang van de baarmoederhals, maar dat een X een zet doet aan de buitenkant in de drang naar de baarmoeder. [064] Een veld van 75 miljoen zaadcellen heeft hard geduwd, hun staart heen en weer zwemmend in gestage zwembewegingen, maar in het biologische equivalent van Heartbreak Hill, beginnen veel zaadcellen te verslappen wanneer ze de eileider ingaan die van boven uit de baarmoeder komt. Het is een spannende race tot aan de finish terwijl de deelnemers zich naar het doel spoeden. Bij de finish van deze race wacht de overwinnaar een eitje in plaats van een lauwerkrans. Als het Y-dragende sperma als eerste bij de eicel komt, zal de baby, die XY-chromosomen heeft, een jongen zijn. Als de spermacel die als eerste de eicel bereikt een X draagt, zal het XX-chromosoom een meisje voortbrengen.

Zulke verhalen over de race tussen de X'en en de Y'en om de eicel gaven velen van ons de indruk dat de uitkomst allemaal afhing van de genetische instructies die de zaadcellen bij zich droegen. Als de zaadcel een Y leverde, bingo, dan was het een jongen - wat er tussen de bevruchting en de geboorte gebeurde was min of meer automatisch en gedicteerd

door die genetische blauwdruk. In feite is het proces veel complexer. Het geslachtsbepalende gen in dat Y-chromosoom speelt slechts een korte rol in het elegante en wonderbaarlijk proces waardoor jongens jongens worden. '

Bij dieren zoals vogels en mensen is het ene geslacht het basismodel en het andere wat omschreven zou kunnen worden als maatwerk, omdat het laatste een opeenvolging van extra veranderingen vereist die door hormonen gestuurd worden om zich goed te ontwikkelen tot het andere geslacht. Bij vogels is dit basismodel toevallig mannelijk. Bij zoogdieren, waaronder mensen, is het tegenovergestelde het geval en zal een embryo zich tot een vrouwtje ontwikkelen tenzij mannelijke hormonen het programma omzeilen en het op een andere koers zetten.

Hoewel het sperma de genetische trigger voor een man levert wanneer het de eicel penetreert, legt de zich ontwikkelende baby zich enige tijd niet vast op de ene of de andere koers. In plaats daarvan behoudt het gedurende meer dan zes weken de potentie om zowel mannelijk als vrouwelijk te zijn, door het ontwikkelen van een paar uniseks geslachtsklieren die testikels of eierstokken kunnen worden en twee afzonderlijke sets primitieve leidingen - de ene de voorloper van het mannelijke voortplantingskanaal en de andere de aanmaak van de eileiders en de baarmoeder. Deze twee buizensystemen, bekend als de Wolffian en Mullerian ducts, zijn het enige deel van het mannelijke en vrouwelijke voortplantingssysteem dat afkomstig is uit verschillende weefsels. Al het andere essentiële materiaal - dat misschien dramatisch lijkt te verschillen tussen de twee geslachten - ont-

wikkelt zich uit gemeenschappelijk weefsel dat zowel in jongens- als meisjesfoetussen wordt aangetroffen. Of dit weefsel de penis of de clitoris wordt, de balzak die de testikels draagt of de plooien van schaamvlies rond de vagina van een vrouw, of iets daartussenin, hangt af van de hormonale signalen die worden ontvangen tijdens de ontwikkeling van een baby.

[065] Het grote moment voor het Y-chromosoom komt rond de zevende levensweek, wanneer een enkel gen op het chromosoom de uniseks geslachtsklieren aanstuurt om zich te ontwikkelen tot mannelijke testikels. Door dit te doen, zet het Y-chromosoom de schakelaar om en zet de allereerste stap in de mannelijke ontwikkeling in gang, de ontwikkeling van de testikels, en dat is het begin en het einde van zijn rol in de vorming van een man. Vanaf dit moment wordt de rest van het vermannelijkingsproces gestuurd door hormoonsignalen afkomstig van de gloednieuwe testikels van de baby. Op volwassen leeftijd produceren de testikels sperma om de eitjes van de vrouw te bevruchten, de bijdrage van de man aan de voortplanting en het nageslacht. Maar de testikels spelen een nog belangrijkere rol in het leven van de man voor zijn geboorte. Zonder de juiste hormonale signalen op het juiste moment - signalen afkomstig van de testikels - zal de baby niet het mannelijke lichaam en de hersenen ontwikkelen die bij de testikels horen. Misschien ontwikkelt hij zelfs niet de penis die nodig is om het sperma af te leveren dat de testikels produceren.

Bij meisjes beginnen de veranderingen die de uniseks klieren veranderen in eierstokken, het deel van de vrouwelijke

anatomie dat eitjes produceert, iets later, in de derde tot vierde maand van het foetale leven. In diezelfde periode wordt een set kanalen - de Wolffiaanse kanalen die de mogelijkheid bieden voor een mannelijk voortplantingskanaal - kleiner en verdwijnt zonder speciale hormooninstructies. Hoewel de ontwikkeling van het vrouwelijk lichaam niet zo afhankelijk is van hormoonaanwijzingen als de ontwikkeling van het mannelijk lichaam, suggereert dierlijk onderzoek dat oestrogeen essentieel is voor de juiste ontwikkeling en het normaal functioneren van de eierstokken.

Het leggen van de basis voor het voortplantingskanaal is ingewikkelder bij mannen en wordt gekenmerkt door kritieke stadia waarin hormonen richting geven aan beslissingen van nu of nooit. Kort nadat ze gevormd zijn, produceren de testikels een speciaal hormoon dat de verdwijning van de vrouwelijke optie - de Mullerian ducts - in gang zet. Om deze mijlpaal te bereiken, moet de hormoonboodschap op het juiste moment aankomen, want er is slechts een korte periode waarin de vrouwelijke kanalen reageren op het signaal om te verdwijnen. Dan moeten de testikels nog een boodschap sturen naar de Wolffian kanalen, omdat ze geprogrammeerd zijn om automatisch te verdwijnen tegen de veertiende week tenzij ze orders krijgen die het tegendeel bewijzen.

[066] De boodschapper is het overwegend mannelijke hormoon testosteron, dat zorgt voor het behoud en de groei van de mannelijke Wolffia kanalen. Onder invloed van testosteron vormen deze kanalen de bijbal, zaadleiders en zaadblaasjes - het sperma leveringssysteem dat van de testikels naar de penis leidt.

Een krachtige vorm van testosteron begeleidt de ontwikkeling van de prostaatklier en de uitwendige geslachtsorganen, stuurt de genitale huid naar de vorming van een penis en een scrotum dat de testikels vasthoudt als ze uiteindelijk - laat in de ontwikkeling van een baby - uit de buik naar beneden komen. Een natuurlijk voorkomend defect illustreert op dramatische wijze wat er kan gebeuren als deze boodschappen niet worden doorgegeven.

Van tijd tot tijd komt er een jonge patiënt bij de gynaecoloog omdat de tiener nog steeds niet ongesteld is geworden, hoewel alle andere meisjes in haar klas deze mijlpaal al hebben bereikt. Meestal is er niets ernstigs aan de hand.

Maar af en toe komt de arts met een schokkende diagnose. De patiënte menstrueert niet, want ondanks alles is ze geen vrouw. Hoewel deze mensen zijn opgegroeid als normaal uitziende meisjes, hebben ze de XY-chromosomen van mannen en testikels in hun buik in plaats van eierstokken. Maar omdat een defect hen ongevoelig maakt voor testosteron, hebben ze nooit gereageerd op de hormonale signalen die de vermannelijking in gang zetten. Ze hebben nooit het lichaam en de hersenen van een man ontwikkeld.

De foto's in medische leerboeken van deze niet-gerealiseerde mannetjes zijn fascinerend, want er is niets aan hun ontklede lichamen dat er ook maar een beetje vreemd of ongevoel uit ziet. Hoe hard je ook zoekt naar een hint dat er een genetisch mannetje in deze lichamen schuilt, er is geen teken van een ontspoorde ontwikkeling. Deze genetische mannen zien eruit als doodgewone vrouwen met normaal ontwikkelde borsten, smalle schouders en bredere heupen.

Deze volledig vervrouwelijkte mannen zijn het meest extreme voorbeeld van wat er gebeurt als iets de chemische boodschappen blokkeert die de ontwikkeling sturen. Als er iets ingrijpt in het testosteron of het enzym dat het effect ervan versterkt, zal het gewone weefsel van jongens- en meisjesfoetussen zich in plaats daarvan ontwikkelen tot een clitoris en andere uitwendige vrouwelijke geslachtsdelen. In minder extreme gevallen van verstoring kunnen mannen dubbelzinnige genitaliën hebben of abnormaal kleine penis en ongegroeide testikels.

[067] Maar seks is meer dan een puur fysieke aangelegenheid. Volgens artsen die hen behandelen, zien deze gefeminiseerde mannen er niet alleen uit als vrouwen, ze gedragen zich ook als vrouwen en zien zichzelf als vrouwen. Er is niets in hun gedrag dat erop wijst dat ze echt mannen zijn. Bij de meeste dieren zijn bij de ontwikkeling van een goed functionerend mannetje of vrouwtje net zo goed de hersenen als de genitaliën betrokken en onderzoek zoals dat van vom Saal toont aan dat hormonen sommige aspecten van het gedrag al voor de geboorte permanent vormgeven, net zoals ze de penis vormgeven. Als een individu zich als een man wil gedragen en er ook zo uit wil zien, moeten de hersenen testosteronboodschappen van de testikels ontvangen tijdens een kritieke periode waarin hersencellen een aantal van hun 'nu of nooit'-beslissingen nemen.

Een individu dat tijdens deze kritieke periode van hersenontwikkeling de verkeerde hormoonboodschappen krijgt, kan abnormaal gedrag vertonen en er niet in slagen om te paren, ook al heeft het de juiste fysieke uitrusting. In een in-

vloedrijk onderzoek uit 1959 ontdekte Charles Phoenix van de Universiteit van Kansas dat vrouwelijke cavia's die in de baarmoeder werden blootgesteld aan hoge niveaus testosteron zich gedroegen als mannetjes. Ze vertoonden niet de klassieke vrouwelijke paringshouding, een opgetrokken achterste, bekend als “lordose”, als volwassen dieren of reageerden normaal op de vrouwelijke hormonen die seksueel gedrag en voortplanting stimuleren.

Niemand betwist dat hormonen mannetjes en vrouwtjes verschillende lichamen geven en dat hun rol in de ontwikkeling van dieren en mensen vrijwel hetzelfde is. Maar over de invloed van hormonen op de ontwikkeling van het menselijk brein wordt heftig gedebatteerd. Geven ze de hersenen en het gedrag bij mensen net zo'n dramatische vorm als bij muizen, ratten of cavia's? Zijn er structurele verschillen tussen de hersenen van mannen en vrouwen en is er enig bewijs dat de verschillen voortkomen uit hormooninvloeden vóór de geboorte?

Deze vragen zijn moeilijk te beantwoorden. Niet alleen is menselijk gedrag complexer dan dat van de muizen van vom Saal, maar we zijn niet vrij om zwangere vrouwen verschillende doses hormonen te geven om het effect op de hersenontwikkeling van hun baby's te bekijken.

Degenen die de vraag hebben onderzocht of de gedragsverschillen tussen mannen en vrouwen een biologische basis hebben of puur cultureel zijn, hebben bewijs gevonden van enkele structurele verschillen die verband houden met hormonen, maar tot nu toe zijn deze geslachtsgebonden gebieden minder en minder uitgesproken dan de gebieden die bij

ratten worden gezien. [068] Psychologen hebben ook bepaalde algemene verschillen gerapporteerd in de manier waarop mannen en vrouwen denken. Ze meldden dat vrouwen in de regel meer verbale vaardigheden hebben en dat mannen over het algemeen beter zijn in het oplossen van ruimtelijke problemen. Velen geloven ook dat het ruige spel en de gevechten die in veel grotere mate voorkomen bij jonge jongens dan bij meisjes, voortkomen uit de biologie en niet uit de cultuur of de opvoedingsmethoden.

Op hetzelfde moment dat hormonen ten minste enkele aspecten van de seksuele ontwikkeling van het ongeboren kind sturen, orkestreren deze chemische boodschappers ook de groei van het zenuwstelsel en het immuunsysteem van de baby en programmeren ze organen en weefsels zoals de lever, het bloed, de nieren en de spieren, die anders functioneren bij mannen en vrouwen. De normale ontwikkeling van de hersenen is bijvoorbeeld afhankelijk van schildklierhormonen die de ontwikkeling van zenuwen en hun migratie naar het juiste gebied in dit immens complexe orgaan sturen.

Voor al deze systemen is een normale ontwikkeling afhankelijk van de juiste hormoonboodschappen in de juiste hoeveelheid op de juiste plaats en op het juiste moment. Terwijl dit uitgebreide chemische ballet zich in een duizelingwekkend tempo voortbeweegt, hangt alles af van timing en de juiste signalen. Als iets de signalen verstoort tijdens een kritieke periode van de ontwikkeling, kan dat ernstige levenslange gevolgen hebben voor de nakomelingen.

HOOFDSTUK – 04

HORMOON HAVOC

Terwijl wij het mysterie van hormoonverstorende gifstoffen onderzoeken, bevatten twee tragische episodes uit de medische geschiedenis belangrijke lessen en directe relevantie voor onze zoektocht. Ze laten er geen twijfel over bestaan dat mensen kwetsbaar zijn voor hormoonverstorende synthetische chemicaliën en tonen aan dat dierstudies herhaaldelijk een vroege waarschuwing hadden gegeven over de gevaren voor mensen.

Vanaf het allereerste begin waren deze waarschuwingen duidelijk en onheilspellend. Al in de jaren 1930 toonden onderzoekers van de Northwestern University Medical School aan dat het gevaarlijk was om tijdens de zwangerschap met hormoonspiegels te knoeien, vooral voor de foetus die in de baarmoeder een snelle ontwikkeling doormaakt. In sommige experimenten gaven de onderzoekers simpelweg een extra dosis oestrogeen aan zwangere ratten, die dit vrouwelijke hormoon al in hun lichaam hebben. Het effect op hun pups bleek dramatisch. Bij de geboorte vertoonden de rattenkinderen opvallende afwijkingen die het gevolg waren van een verstoorde seksuele ontwikkeling. De vrouwelijke pups die in de baarmoeder werden blootgesteld aan extra natuurlijk of synthetisch oestrogeen leden aan structurele afwijkingen

van de baarmoeder, vagina en eierstokken; mannetjes hadden onvolgroeide penissen en andere genitale misvormingen.

[070] In tegenstelling tot het werk van Fred vom Saal, dat het effect van kleine natuurlijke variaties in hormoonspiegels in de baarmoeder onderzoekt, verhoogden deze eerdere experimenten de hormoonspiegels van een vrouw boven het normale bereik door oestrogeen van buiten het lichaam toe te voegen. Ze toonden aan dat grotere verschuivingen in de hormoonspiegels de chemische boodschappen verstoorden en de seksuele ontwikkeling vertraagden. Hoewel oestrogeen op normale niveaus essentieel is voor de ontwikkeling, kan een teveel ervan een ravage aanrichten.

Dit waarschuwende bewijs kwam op het juiste moment. In 1938 kondigden de Britse wetenschapper en arts Edward Charles Dodds en zijn collega's de synthese aan van een chemische stof die in het lichaam op de een of andere manier werkte als natuurlijk oestrogeen. Vooraanstaande onderzoekers en gynaecologen bejubelden het door de mens gemaakte oestrogeen, bekend als diethylstilbestrol of DES, als een wondermiddel met een groot aantal potentiële toepassingen. Vrijwel onmiddellijk begonnen onderzoekers DES toe te dienen aan vrouwen die problemen ondervonden tijdens de zwangerschap in de overtuiging dat onvoldoende oestrogeenniveaus miskramen en vroeggeboorten veroorzaakten. Wat een grootschalig menselijk experiment zou blijken te zijn - een experiment waarbij uiteindelijk naar schatting vijf miljoen zwangere vrouwen in de Verenigde Staten, Latijns-Amerika en elders betrokken waren - was

nog maar net begonnen.

In de decennia die volgden, schreven artsen DES niet alleen voor om miskramen te voorkomen, ze begonnen het ook aan te bevelen voor onbezorgde zwangerschappen, alsof het een vitamine was die de natuur kon verbeteren. Prestigieuze publicaties, waaronder het Journal of Obstetrics and Gynecology, publiceerden advertenties van medicijnfabrikanten zoals een van Grant Chemical Company die verscheen in juni 1957, waarin het gebruik van DES voor “ALLE zwangerschappen” werd aangeprezen en waarin werd opgescheept dat het “grotere en sterkere baby's” produceerde.

DES vond ook een brede markt buiten zwangere vrouwen. Artsen gebruikten het rijkelijk om de melkproductie na de bevalling te onderdrukken, om opvliegers en andere symptomen van de menopauze te verlichten en om acne, prostaatkanker en gonorroe bij kinderen te behandelen en zelfs om de groei te remmen van tienermeisjes die onmodieus lang werden. Jarenlang deelden universiteitsklinieken DES uit als een anticonceptiemiddel “voor moeders”. Boeren waren net zo enthousiast over DES en gebruikten er tonnen van als toevoeging aan diervoeder of in nek- of oorimplantaten omdat het het vetmesten van kippen, koeien en ander vee versnelde.

[071] Het naoorlogse tijdperk was een tijd van Piomethean optimisme, waarin iedereen, van artsen tot boeren, zich haastte om nieuwe “wonder” technologieën te omarmen. DES was slechts één van de vele nieuwe synthetische chemicaliën die ons controle beloofden te geven over de krachten van de natuur. Met een mengeling van overmoed en naï-

viteit stelden voorstanders van vooruitgang zich een wereld voor met onbeperkte mogelijkheden voor de beheersing van het leven zelf.

De rattenstudies van de Northwestern University, die een donkere schaduw wierpen op het gedurfde nieuwe tijdperk van de hormoontherapie, veroorzaakten nauwelijks een rimpeling op de vloedgolf van enthousiasme. Degenen die nota namen van de bevindingen, deden ze af als irrelevant voor mensen. De door hormonen veroorzaakte seksuele afwijkingen bij rattenpups werden gezien als een curiositeit, als iets dat alleen bij knaagdieren kon gebeuren. Dergelijk scepticisme is niet ongebruikelijk onder artsen, wier antropocentrische traditie het idee versterkt dat de mens een unieke tak aan de boom des levens is. Gezien deze visie waren en zijn ze geneigd om menselijke epidemiologische studies als het enige overtuigende bewijs te beschouwen.

De geneeskunde werd ook decennialang gedomineerd door de mythe van de placentabarrière - het geloof dat de placenta, het complexe weefsel dat zich vasthecht aan de wand van de baarmoeder en aan de baby via de navelstreng, fungeert als een ondoordringbaar schild dat de zich ontwikkelende baby beschermt tegen schadelijke invloeden van buitenaf. Deze mythe bleef bestaan lang nadat het tegendeel was bewezen. Volgens de denkwijze van die tijd was straling het enige dat de baarmoeder kon binnendringen en misvormingen kon veroorzaken.

In de volgende kwarteeuw zouden twee medische schandalen deze mythe uiteindelijk vernietigen en onze ideeën over de kwetsbaarheid van de baby in de baarmoeder radicaal

herdefiniëren. De eerste bom was de thalidomide tragedie, die aan het licht kwam in 1962, minder dan tien jaar later gevolgd door de schokkende ontdekkingen over DES, een medicijn dat artsen al meer dan dertig jaar aan vrouwen gaven.

Toen het verhaal van de thalidomidebaby's bekend werd, veroorzaakte het een internationale sensatie. Kranten en tijdschriften haastten zich om te vertellen hoe een voorgeschreven medicijn verschrikkelijke geboortefwijkingen had veroorzaakt. De foto's van baby's zonder armen of benen raakten een gevoelige snaar, want het was de ergste nachtmerrie van elke ouder.

[072] Voordat artsen in Europa en Australië thalidomide in verband brachten met een alarmerende toename van bizar misvormde baby's, hadden duizenden zwangere vrouwen het middel genomen als kalmeringsmiddel of als behandeling tegen misselijkheid. Tegen de tijd dat het eindelijk van de markt en uit de medicijnkastjes werd gehaald, had het ernstige misvormingen veroorzaakt bij achtduizend kinderen in zesenveertig landen. De placenta bleek geen enkele barrière te vormen voor het medicijn. Het tragische voorval maakte ook duidelijk dat stoffen en doses die gemakkelijk door volwassenen worden verdragen, verwoestend kunnen zijn voor ongeborenen.

Zoals later het geval zou zijn met DES, kregen artsen het vermoeden dat er iets ernstig mis was alleen omdat thalidomide opvallende en bijna ongekennde afwijkingen veroorzaakte. Sommige baby's werden geboren met handen die direct uit hun schouders kwamen en zonder armen. Anderen

hadden geen benen of niet meer dan een romp zonder ledematen. De medische handboeken noemden de aandoening phocomelia, wat afgeleid is van de Griekse woorden voor “zeehond” en “ledemaat”, omdat de handen of voeten direct uit het hoofdgewricht groeien zoals de zwemvliezen van een zeehond, maar deze geboortefwijking was zo zeldzaam vóór 1961 dat de teksten geen foto's bevatten. De misvorming werd voor toekomstige artsen in één tekstboek geïllustreerd met een tekening van een baby door de vroeg negentiende-eeuwse Spaanse schilder Francisco de Goya.

Veel kinderen die voor de geboorte aan thalidomide werden blootgesteld, vertoonden echter geen misvormingen aan de ledematen, maar leden in plaats daarvan aan meer algemeen voorkomende afwijkingen zoals misvormingen aan hart en organen, hersenbeschadiging, doofheid, blindheid, autisme en epilepsie. En sommige gelukkige kinderen leken helemaal aan de nadelige effecten te ontsnappen hoewel ook hun moeders het medicijn tijdens de zwangerschap hadden genomen. Waarom waren sommige kinderen gespaard gebleven?

Het was niet zo dat sommige moeders heel veel thalidomide hadden genomen en anderen heel weinig. Onderzoekers ontdekten dat het verschil tussen verwoestende afwijkingen en een ongeschonden uitkomst leek af te hangen van de timing van het medicijngebruik, niet van de dosis. Mogelijk hebben genetische verschillen in gevoeligheid voor thalidomide ook een rol gespeeld, waardoor sommige individuen extra kwetsbaar waren voor het medicijn. Sommige moeders met kinderen zonder ledematen hadden slechts twee of drie

slaappillen met thalidomide ingenomen tijdens hun hele zwangerschap, maar ze hadden deze geslikt in een kritieke periode voor de ontwikkeling van de armen en benen van hun baby's - tussen de vijfde en achtste week van de zwangerschap. [073] Het principe “timing is alles” zou keer op keer aangetoond worden toen wetenschappers de kracht van chemische stoffen om de ontwikkeling te verstoren onderzochten. Een kleine dosis van een medicijn of hormoon dat op een bepaald moment in de ontwikkeling van een baby geen effect heeft, kan bijvoorbeeld een paar weken eerder al verwoestend zijn.

Amerikanen ontsnapten grotendeels aan deze tragedie dankzij een sceptische arts bij de Food and Drug Administration, Frances Kelsey, die meer veiligheidsgegevens eiste en de algemene verkoop tegenhield. Desondanks had de thalidomide-ervaring een diepgaande invloed op het publiek en op wetenschappers in de Verenigde Staten en elders. Hoewel er een incident voor nodig was dat zo subtiel was als een voorhamer om het punt duidelijk te maken, accepteerden de medische en wetenschappelijke gemeenschap eindelijk zonder twijfel wat sommige dieronderzoekers hen al tientallen jaren probeerden te vertellen: chemische stoffen kunnen geboortefwijkingen veroorzaken bij zowel mensen als knaagdieren.

Voor gewone mensen deden de foto's van baby's zonder ledematen het technologische optimisme dat sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog had geheerst, schudden als een aardbeving in Californië en veroorzaakten een groeiend scepticisme over de “wonder” medicijnen en “wonder” chemicaliën die op de markt kwamen en over de toereikendheid

van de overheidsregulering. In de zomer van 1962 deelden velen via de nieuwsbladen zoals Life de nachtmerrie van Sherri Finkbine, een vierentwintigjarige moeder en televisiepresentatrice uit Arizona die thalidomide kalmeringsmiddelen had genomen die ze uit Engeland had meegenomen tijdens de kritieke beginfase van haar zwangerschap. Finkbine en haar man waren ervan overtuigd dat haar ongeborn baby ernstig beschadigd was en zochten naar een plek in de Verenigde Staten waar ze een abortus konden laten plegen. Hun wanhopige zoektocht eindigde uiteindelijk in Zweden.

Toevallig verscheen *Silent Spring* - het nu klassieke boek van Rachel Carson over de gevaren van synthetische pesticiden voor de mens en het ecosysteem - in serie in *The New Yorker*, net voordat het verhaal over de thalidomide uitkwam. Het boek ving de opkomende golf van publieke bezorgdheid op en voerde die mee naar de bestsellerlijst.

Als thalidomide de mythe van de onschendbare baarmoeder voor altijd deed ontploffen, dan deed de DES-ervaring het idee kantelen dat geboortefwijkingen onmiddellijk en zichtbaar moeten zijn om belangrijk te zijn.

[074] Iedere ouder bidt voor een normale, gezonde baby.

Toen hun dochter Andrea in september 1953 eindelijk geboren werd, hadden Eva en David Schwartz, een echtpaar dat in de Roxbury buurt van Boston woonde, het gevoel dat ze

gezegend waren met meer dan waar ze voor gebeden hadden. Hun baby was niet alleen normaal en gezond, ze was ook mooi. Eva, die twee miskramen had gehad na de geboorte van haar zoon Michael acht jaar eerder, was extatisch. Ze verklaarde vaak dat de baby het mooiste was dat ze ooit had gezien. Mollig, roze, blond, Andrea was het soort baby dat je zag in advertenties voor babyvoeding.

Op een babyfoto gluren Andrea's nieuwsgierige ogen onder de rand van een zonnehoed vandaan, wat zowel intelligentie als schoonheid suggereert. Het gezichtje wordt omlijst door een delicaat kanten kraagje en de trots van haar moeder is duidelijk te zien in de onberispelijk gestreken jurk. Toen ze opgroeide, was het kleine meisje stoer en robuust en leek ze nooit iets anders te zijn dan “kernegezond”.

In april 1971 veranderde het leven van de Schwartzes plotseling voorgoed.

Andrea, toen zeventien, was een laatstejaars op de middelbare school en bruiste van de plannen en dromen die begonnen met studeren in de herfst en die uiteindelijk ook een huwelijk en een gezin inhielden. Ze had altijd al kinderen gewild, altijd al. Ze herinnert zich dat ze op haar vijfde al gefascineerd was door de nieuwe baby van haar neefje en de opwinding om op de bank te mogen zitten en het kind vast te mogen houden. Andrea had geen al te grote ambities; ze wilde gewoon een gelukkig, normaal leven.

Toen Eva Schwartz op een ochtend door de Boston Globe bladerde, begon ze een verhaal te lezen dat haar de adem benam. Volgens een nieuwe studie in het New England Journal

of Medicine hadden artsen van het Massachusetts General Hospital een verband gelegd tussen een zeldzame vaginale kanker die bij jonge vrouwen voorkwam en een medicijn dat hun moeders tijdens de zwangerschap hadden genomen - het synthetische oestrogeen DES. Haar gedachten dwaalden af naar de pillen, honderden pillen, die ze tijdens haar zwangerschap van Andrea regelmatig had geslikt. Ze had nooit een dag overgeslagen, ook al had ze vaak last van extreme misselijkheid. Op zulke dagen wachtte ze tot haar maag wat tot rust was gekomen voordat ze de pillen innam die de dokter had voorgeschreven. Eva Schwartz wist het al voordat haar medische gegevens het bevestigden. Ze was een van die moeders.

[075] Hoewel die laatste zwangerschap geen problemen opleverde, had haar arts in de gezondheidskliniek in Roxbury haar toch DES voorgeschreven, ongetwijfeld vanwege haar geschiedenis van miskramen. Eva begon de DES pillen te slikken toen ze nog maar zes weken zwanger was en ging door met het slikken van steeds grotere doses van het medicijn naarmate haar zwangerschap vorderde, volgens een programma dat werd aanbevolen door een man en vrouw onderzoeksteam van de Harvard Medical School, George van Siclen Smith, een arts, en Olive Watkins Smith, een endocrinoloog. De Smiths waren de grootste voorstanders van het voorschrijven van DES aan zwangere vrouwen, vooral aan vrouwen die hun zwangerschap al hadden verloren.

Andrea Schwartz zou aan de ergste gevolgen van DES ontsnappen. In tegenstelling tot de meest ongelukkigen stierf ze niet aan kanker toen ze nog in haar tienerjaren was of onder-

ging ze een verminkingsoperatie waarbij de baarmoeder en vagina werden weggesneden in een poging de kanker weg te snijden. Maar medische onderzoeken in het volgende decennium zouden aantonen dat Andrea, ondanks uiterlijke schijn, verre van normaal was. DES had al een deel van haar dromen gestolen.

Als men de DES-ervaring onderzoekt, komt er een knagende vraag terug. Het is een vraag die zich niet alleen voordoet bij DES, maar bij alle overgeleverde vergiften die schade aanrichten over generaties heen.

Zouden artsen ooit een verband hebben gelegd tussen de medische problemen van jonge vrouwen en het medicijn dat hun moeders tientallen jaren eerder hadden gebruikt, als er niet een opvallend cluster van extreem zeldzame kankers was geweest en een toevallige vraag van de moeder van een patiënt? Sommige specialisten zijn ervan overtuigd dat ze het probleem zouden hebben herkend, omdat blootstelling aan DES naast kanker ook andere unieke symptomen veroorzaakt, zoals misvormd vaginaal weefsel. Vroeg of laat zou iemand het verband gelegd hebben. Toch is het mogelijk dat niemand er ooit achter zou zijn gekomen dat DES diepgaande maar onzichtbare schade toebracht aan degenen die er in de baarmoeder aan werden blootgesteld. Tot DES dachten de meeste wetenschappers dat een medicijn veilig was, tenzij het onmiddellijke en duidelijke misvormingen veroorzaakte. Ze vonden het moeilijk te geloven dat iets een ernstige impact op lange termijn kon hebben zonder zichtbare geboortefwijkingen te veroorzaken.

[076] En zelfs als men erkent dat prenatale gebeurtenissen

jaren later tot medische problemen kunnen leiden, maakt de lange tijd tussen oorzaak en gevolg het moeilijk om verbanden te bewijzen of zelfs maar te verifiëren dat de moeder was blootgesteld aan het vermoedelijke geneesmiddel of de vermoedelijke stof. In het geval van DES heeft de angst voor aansprakelijkheid van artsen de problemen voor degenen die aan het synthetische oestrogeen zijn blootgesteld alleen maar vergroot. Dochters en zonen van DES maken bittere grappen over de epidemie van branden en overstromingen die volgens hen dokterspraktijken teisterden toen ze de medische dossiers van hun moeders wilden opvragen.

Het pijnlijkste aspect van de DES-tragedie is dat het medicijn niet eens miskramen voorkwam. In 1952 rapporteerden ten minste vier afzonderlijke onderzoeken dat vrouwen die behandeld werden met DES voor dreigende miskramen het niet beter deden dan vrouwen die behandeld werden met alternatieven zoals bedrust of kalmerende middelen. Later datzelfde jaar presenteerden Dr. William Dieckmann en zijn collega's van de Universiteit van Chicago een vernietigende aanklacht tegen de werkzaamheid van DES tijdens de jaarlijkse bijeenkomst van de American Gynecological Society. In het grootste en meest zorgvuldig opgezette onderzoek tot nu toe nam het team tweeduizend zwangere vrouwen op en behandelde de helft van hen met DES en de rest met een identiek uitziende pil die geen geneesmiddel bevatte. De onderzoekers probeerden vooroordelen te elimineren door dubbelblinde methoden te gebruiken die zowel patiënten als artsen onwetend hielden over wie DES kreeg en wie de nep-pil. Hun conclusies waren ondubbelzinnig: dit wondermid-

del maakte geen enkel verschil in de uitkomsten van zwangerschappen. Degenen die DES namen hadden niet minder miskramen, minder premature baby's of minder sterfgevallen onder kinderen. Erger nog, een latere analyse van dezelfde gegevens concludeerde dat DES had geleid tot een significante toename van miskramen, vroeggeboorten en sterfgevallen onder pasgeborenen.

Ondanks de onderzoeken die aantoonde dat DES niet effectief was, ondernam de federale Food and Drug Administration geen actie om het gebruik ervan tijdens de zwangerschap te beperken. Het onderzoek van de Universiteit van Chicago temperde echter wel het enthousiasme en sommige artsen stopten met het gebruik van DES. Maar velen deden dat niet en bijna twintig jaar lang gebruikten honderdduizenden vrouwen DES tijdens de zwangerschap, in de hoop op preventieve miskramen.

Toen het aantal kankergevallen in het Massachusetts General Hospital in Boston begon op te duiken, waren artsen gealarmeerd en verbijsterd. Tussen 1966 en 1969 hadden specialisten daar zeven gevallen van vaginakanker gezien - een uiterst zeldzame vorm van kanker die bijna nooit voorkomt bij vrouwen onder de vijftig. [077] Maar de patiënten die in deze periode voor behandeling naar het academisch ziekenhuis van Harvard werden doorverwezen, waren allemaal jonge vrouwen tussen vijftien en tweeëntwintig jaar. Vóór deze golf van patiënten in een ziekenhuis in Boston waren er in de medische literatuur wereldwijd slechts vier gevallen gemeld bij vrouwen onder de dertig jaar.

Zelfs de meest radicale behandeling, waarbij de baarmoeder

en vagina werden verwijderd, spaarde niet altijd het leven van de jonge vrouwen. Een van de eerste patiënten stierf in 1968 op achttienjarige leeftijd.

Aanvankelijk had Dr. Howard Ulfelder, een professor in de gynaecologie aan de Harvard Medical School, de vraag van de moeder van een van deze jonge patiënten van zich afgeschud. Ze had DES genomen tijdens haar zwangerschap, zei ze. Dacht hij dat dat iets te maken kon hebben met de ziekte van haar dochter?

Ulfelder zag gewoon niet hoe dit mogelijk kon zijn. Toch besloot hij, toen de volgende moeder binnenkwam met een dochter die aan helderecelkanker leed, te vragen of ze DES had genomen tijdens haar zwangerschap. Hij was stomverbaasd toen ze ja zei.

Ulfelder en zijn collega's Arthur Herbst, een verloskundige, en David Poskanzer, een medisch epidemioloog, hadden de geschiedenis van deze jonge patiënten doorgespit op zoek naar een gemeenschappelijke factor die kon verklaren waarom deze zeldzame kanker plotseling opdook bij deze jonge vrouwen. Eindelijk hadden ze een mogelijke aanwijzing. Op 22 april 1971 publiceerden ze een artikel in de New England Journal of Medicine waarin ze meldden dat zeven van de acht jonge vrouwen die behandeld werden voor kanker van de vagina met heldere cellen moeders hadden die DES hadden genomen tijdens de eerste drie maanden van de zwangerschap.

Eva Schwartz kon het vijf maanden lang niet opbrengen om Andrea over DES en het gevaar van kanker te vertellen.

Vlak voordat Andrea in de herfst naar de universiteit zou gaan, maakte ze een afspraak om haar dochter door een gynaecoloog te laten onderzoeken en vertelde ze het nieuws.

Bijna een kwart eeuw later, zittend aan haar keukentafel in de buitenwijk Canton in Boston, kan Andrea Schwartz Goldstein zich de woorden van dat gesprek niet herinneren. Ze herinnert zich alleen de gevoelens, het gevoel van weggerukt te worden van een zonnige kust en meegezogen te worden in een hevige draaikolk van angst en onzekerheid. Haar [078] geest ging tekeer. Ze dacht aan wat ze vol vertrouwen had aangenomen over het leven dat voor haar lag. Misschien zou ze sterven aan kanker voordat ze ooit de kans had om te trouwen. Misschien zou ze nooit de kans krijgen om kinderen te krijgen. Na die dag kwam de gedachte steeds terug: “Ik ga geen heel leven leiden.”

Ze worstelde vier jaar later nog steeds met het kankerspook, toen ze trouwde met Paul Goldstein, die ze op haar zestienste via een vriend had leren kennen. Het jaar daarop kochten ze een huis met drie slaapkamers in Canton en Andrea sloot een levensverzekering af die zonder lichamelijk onderzoek verlengd kon worden, voor het geval dat. De verzekering zou helpen als ze zou sterven en Paul met kleine kinderen zou achterlaten.

Op haar veertigste is Andrea nog steeds blond en haar groene ogen hebben nog steeds dezelfde intensiteit als op de babyfoto's. Ze is een aantrekkelijke vrouw die een sterke uitstraling heeft. Ze is een aantrekkelijke vrouw met diepe psychologische en fysieke littekens van haar DES-erfenis. Soms heeft ze gevochten met depressies en zelfs na al die

jaren zweeft de pijn vlak onder de oppervlakte als ze spreekt, rauw en ongenezen. Na dertien jaar te hebben gewerkt als assistente van een arts die gespecialiseerd is in onvruchtbaarheid, is ze onlangs teruggegaan naar school om een diploma verpleegkunde te halen. DES heeft haar veel afgenomen, denkt ze terug, waaronder de tijd van haar leven die zorgeloos en leuk had moeten zijn.

Hoewel er in dierstudies genoeg aanwijzingen waren dat prenatale blootstelling aan DES of oestrogenen andere schade zou kunnen veroorzaken, richtten medische specialisten zich vooral op kanker van de vagina met heldere cellen en op weefselafwijkingen in de vagina, waarvan ze vreesden dat ze tot kanker zouden kunnen leiden. Het kwam nooit bij Andrea op dat onzichtbare schade veroorzaakt door DES het onmogelijk zou kunnen maken om kinderen te krijgen. Zelfs haar artsen opperden die mogelijkheid niet.

Andrea legt een andere foto op de keukentafel, niet ver van de babyfoto van het blonde meisje met de zonnehoed. Deze foto onthult echter de realiteit die verborgen ligt onder de schijn van gezondheid en normaliteit. Ze houdt de röntgenfoto tegen het licht en denkt terug aan de dag dat ze hem ophaalde bij de radioloog. De secretaresse overhandigde het en vertelde dat de dokter had gezegd dat het “de grappigste baarmoeder was die hij ooit had gezien”.

Het jaar daarvoor had Andrea een buitenbaarmoederlijke zwangerschap gehad, een abnormale gebeurtenis waarbij de bevruchte eicel niet goed indaalt in de baarmoeder. In plaats daarvan begint het zich te ontwikkelen in de eileider die van de eierstok naar de baarmoeder leidt - een gevaarlijke situa-

tie die vaak de buis scheurt, wat ernstige bloedingen en soms de dood veroorzaakt. Nadat Andrea met spoed naar het ziekenhuis was gebracht, hebben artsen haar geopereerd, de bloeding gestopt en de beschadigde buis verwijderd. Ze hield nog maar één eileider over.

In de maanden daarna probeerden zij en Paul opnieuw een gezin te stichten, maar tevergeefs, dus raadpleegde ze uiteindelijk een vruchtbaarheidsspecialist. Toen hij hoorde dat ze een DES-dochter had, liet haar arts een speciale röntgenfoto van de baarmoeder maken omdat uit een nieuw onderzoek was gebleken dat veertig van de zestig dochters die met een speciale kleurstof en röntgentechniek waren onderzocht, abnormaal gevormde baarmoeders hadden.

Het oog doorzoekt de patronen van licht en donker op de röntgenfoto op zoek naar de bekende driehoekige ruimte, de omgekeerde peer die zo vaak te zien is in schematische diagrammen van het vrouwelijke voortplantingskanaal. Er is niets herkenbaars als een baarmoeder. Het gebied dat door de kleurstof wordt gemarkeerd is een smalle, rafelige buis die helemaal geen holte bevat.

Andrea vond haar arts aardig omdat hij de diagnose niet mooier maakte dan hij was. Hij zei het haar rechtuit. Haar baarmoeder was “ernstig misvormd”. Ze zou nooit een baby kunnen krijgen.

Net zoals het decennia eerder had gedaan met de rattenpups in de experimenten, had DES haar achtergelaten met ernstige misvormingen van de voortplantingsorganen.

Ondanks het overtuigende verband tussen DES en vaginale

kanker dat het team van Mass General rapporteerde, bleven sommigen in de medische en wetenschappelijke gemeenschap sceptisch over het feit dat DES echt vaginale kanker kon veroorzaken bij mensen die er voor hun geboorte aan waren blootgesteld, ook al hadden dierstudies tien jaar eerder al gewezen op mogelijke verbanden tussen blootstelling aan oestrogeen op jonge leeftijd en latere kankers. In een studie uit 1963, gepubliceerd in het Journal of the American Cancer Institute, ontdekte Thelma Dunn, een patholoog bij het National Cancer Institute, dat zich een verscheidenheid aan pathologische veranderingen, waaronder cysten en kankers, ontwikkelden bij muizen die als pasgeborene oestrogeeninjecties hadden gekregen. Ze waarschuwde dat de resultaten “de kwetsbaarheid van het onvolwassen dier voor de schadelijke effecten van blootstelling aan een natuurlijk voorkomend hormoon” aantoonde. Dunn drong erop aan dat wanneer aanwijzingen voor de oorzaak van kanker worden gezocht in menselijke populaties, “alles in het werk moet worden gesteld om de prenatale en vroege postnatale geschiedenis van patiënten met kanker te achterhalen.”

[080] Een jaar later rapporteerden Noboru Takasugi en Howard Bern in hetzelfde tijdschrift parallelle bevindingen, waaronder permanente veranderingen in het vaginale weefsel van muizen die kort na de geboorte met oestrogeen waren behandeld. Ook zij waarschuwden voor de ernstige gevolgen: “We zijn van mening dat abnormale hormonale omgevingen tijdens het vroege postnatale (en antenatale) leven niet onderschat moeten worden als het gaat om hun mogelijke bijdrage aan abnormale veranderingen van neoplastische [kankerachtige] betekenis later in het leven.” Hoewel deze

dierstudies klinisch relevante waarschuwingen voor mensen bleken te bevatten, schonken artsen en medicijnfabrikanten er geen aandacht aan.

De discussie over de vraag of DES de zeldzame vaginale kankers had veroorzaakt woedde nog steeds in het begin van de jaren '70 toen John McLachlan, een jonge onderzoeker die gespecialiseerd was in de overdracht van medicijnen en andere chemische stoffen uit het milieu naar de baarmoeder, aankwam bij het National Institute of Environmental Health Sciences in Research Triangle Park, North Carolina, om een nieuwe groep op te zetten om stoffen te onderzoeken die de ontwikkeling verstoorden. De kwestie van DES-kanker was een van de eerste uitdagingen die de groep ontwikkelingstoxicologie aanging.

Al snel had de groep zijn eerste belangrijke bevinding. De vaginale kanker, die zeldzaam was bij mensen, was nog nooit gezien bij muizen. Toch was McLachlans team in staat om adenocarcinoom van de vagina te induceren bij vrouwelijke muizen door DES aan hun zwangere moeders te geven. Het onderzoek hielp in ieder geval om dat argument te bevestigen, maar het was slechts het begin van een nog steeds voortdurende discussie over de vraag of DES verantwoordelijk is voor een verscheidenheid aan medische problemen en afwijkingen bij DES-dochters en -zonen.

McLachlan en zijn collega's begonnen vervolgens de effecten van DES op mannelijke nakomelingen te onderzoeken. Ze toonden duidelijk aan dat mannelijke muizen die in de baarmoeder aan DES waren blootgesteld niet minder beschadigd waren door dit synthetische oestrogeen dan hun

zussen. Deze mannetjes hadden een verscheidenheid aan genitale afwijkingen, waaronder achtergebleven testikels, afgestompte testikels en cysten in de bijbal, een deel van het voortplantingskanaal naast de testikels waar sperma rijpt. Ze hadden ook abnormaal sperma, verminderde vruchtbaarheid en genitale tumoren. De onderzoekers vonden aanwijzingen dat DES op de een of andere manier de hormoonboodschappen tijdens de ontwikkeling had verstoord. Bij een normale mannelijke ontwikkeling produceren de testikels in de zich ontwikkelende foetus een chemische boodschapper die het verdwijnen van de vrouwelijke optie, de Mullerian duct, in gang zet. De mannelijke muizen blootgesteld aan DES hadden nog steeds delen van het vrouwelijke voortplantingssysteem. In 1975 publiceerde het team een belangrijk artikel in het tijdschrift Science met details over de schade die werd aangericht bij mannelijke muizen die voor de geboorte werden blootgesteld aan dit synthetische oestrogeen.

[081] Dat waren onstuimige tijden, herinnert McLachlan zich, vol opwinding en ontdekkingen. Het was baanbrekende wetenschap en hij was er graag mee bezig. Zijn team hield nauw contact met Dr. Arthur “Hap” Haney, een arts aan het Duke University Medical Center in het nabijgelegen Durham, die mensen behandelde die waren blootgesteld aan DES. Steeds weer ontdekte McLachlan iets bij muizen en als hij Haney belde, ontdekte hij dat de arts hetzelfde probleem ook bij mensen had gezien. Af en toe wezen de bevindingen bij muizen op problemen, lang voordat die zich bij mensen voordeden. Het ontwikkelingstoxicologisch team waarschuwde voor de mogelijkheid van achtergebleven tes-

tikels drie jaar voordat het probleem werd gemeld bij jongens van wie de moeder was blootgesteld aan DES.

Ongetwijfeld omdat ze nooit een opvallende kanker ontwikkelden, zijn DES-zonen veel minder bestudeerd dan DES-dochters. Hoewel McLachlan en Haney herhaaldelijk parallellen zagen tussen de schade die in muizenstudies werd gevonden en de problemen die zich bij mensen manifesteerden, heeft dit gebrek aan uitgebreide studies bij mensen het onmogelijk gemaakt om onomstotelijk vast te stellen dat DES-zonen inderdaad vaker dergelijke problemen hebben dan degenen die niet prenataal aan oestrogeen werden blootgesteld. Sommige grotere onderzoeken, zoals die aan de Universiteit van Chicago, hebben hogere percentages onderontwikkelde testikels, afgestompte penissen en ongegroeide testikels gerapporteerd, evenals een hogere frequentie van abnormaal sperma bij DES-zonen, maar andere onderzoeken hebben niet al deze bevindingen bevestigd. Er zijn ook tegenstrijdige resultaten naar voren gekomen uit onderzoeken naar verbanden tussen blootstelling aan DES en zaadbalkanker, hoewel onderzoekers een dergelijk verband verwachtten op basis van dierstudies. In de ogen van het medische establishment blijft de vraag officieel onopgelost.

Ondanks de medische scepsis zijn veel DES-zonen ervan overtuigd dat ze lijden aan DES-schade, waaronder een grotere kans op zaadbalkanker en vruchtbaarheidsproblemen. Rick Friedman is één van hen die er zeker van is dat DES zijn leven blijvend heeft getekend.

Voor Friedman was zijn jeugd geen tijd van robuuste gezondheid. Maar hij ging door en negeerde zoveel mogelijk

de artritis en lichamelijke problemen die hem plaagden. [082] Als twintiger was hij getrouwd en had hij de leiding van het familiebedrijf overgenomen, een International House of Pancakes dat zijn vader bijna twintig jaar geleden had gebouwd in Ardmore buiten Philadelphia. Maar als het niet het één was, dan leek het wel het ander. Na mislukte pogingen om een gezin te stichten, gingen Friedman en zijn vrouw Sachi in 1987 naar een vruchtbaarheidskliniek. Terwijl zijn vrouw aan voortplantingsproblemen leed, toonden tests aan dat hij ook deel uitmaakte van het probleem: hij had abnormaal sperma en een laag aantal zaadcellen.

Het was nooit bij hem opgekomen dat zijn groeiende litanie van kwalen op de een of andere manier met elkaar te maken zou kunnen hebben - de chronische allergieën, de vreemde artritis die toesloeg toen hij zeventien was, de achtergebleven testikel, de bijbalcysten in zijn voortplantingskanaal en de onvruchtbaarheid die het onwaarschijnlijk maakte dat hij en zijn vrouw kinderen zouden krijgen. En toen, in 1992, een bizarre tumor. De ontdekking dat zijn problemen konden voortkomen uit één enkele oorzaak, uit iets wat hem was overkomen voordat hij was geboren, was puur toeval. Hoe onverwacht dat een rode draad al deze pijn en verdriet met elkaar kon verbinden.

Als Friedman had vermoed dat hij een speciaal risico liep, had hij de vermoeidheid en ademhalingsproblemen misschien niet zo lang genegeerd. Misschien zou hij zichzelf naar een dokter hebben gebracht voordat de tumor was uitgegroeid tot “een massa ter grootte van een kindervoetbal”. Dat waren de woorden waarmee de dokter hem vertelde dat

hij leed aan iets meer dan overwerk. Op zijn eenendertigste lag Friedman op de intensive care, vechtend voor zijn leven tegen kanker en de ernstige longschade die de tumor had veroorzaakt. De artsen gaven hem slechts één kans op drie om er doorheen te komen.

Desondanks versloeg hij de kansen. Hij overleefde de operatie en onderging vier rondes van agressieve chemotherapie. Tijdens zijn lange herstelperiode begin 1993, een periode waarin hij weinig meer kon doen dan op de bank liggen en lezen, pakte Friedman toevallig McCall's magazine. Op deze dag begon hij een artikel te lezen over de gezondheidsproblemen van mannen die in de baarmoeder waren blootgesteld aan een medicijn dat hun moeders namen om miskramen te voorkomen.

“Verdomme, dit klinkt als mij,” dacht Friedman terwijl hij begon te lezen over de problemen die werden gemeld bij mannen die in de baarmoeder aan DES waren blootgesteld - abnormaal sperma, problemen met het immuunsysteem zoals artritis, en de klassieke symptomen die bij DES-zonen werden gevonden: achtergebleven testikels en epididymale cysten. Hij las verder. **[083]** Het artikel ging over verschillende jonge mannen die getroffen waren door teelbalkanker, waarvan ze overtuigd zijn dat het nog een erfenis van DES is. Vanwege de schaarste aan onderzoeken naar DES-zonen en de moeilijkheid om vast te stellen of zwangere vrouwen het medicijn decennia eerder namen, hebben onderzoekers dit verband echter nog niet met zekerheid kunnen vaststellen. Hoewel de footballsize tumor in zijn borstkas was gegroeid en niet in zijn teelbal, vertelden de artsen Rick dat

het een kiemceltumor was die verwant was aan teelbalkanker.

Rick zette zijn voorgevoel door. Eerst kon zijn moeder zich niet herinneren dat ze iets had genomen dat DES heette, maar dat is niet ongewoon. In een onderzoek ontdekten onderzoekers dat slechts negenentwintig procent van de vrouwen van wie het medisch dossier aangaf dat ze DES hadden gebruikt tijdens de zwangerschap, zich kon herinneren of ze het medicijn hadden gebruikt of niet. Nog eens acht procent verklaarde stellig van niet, hoewel hun medisch dossier het tegendeel meldde. Toen - terwijl zijn moeder in haar geheugen zocht - vertelde ze hem dat ze een miskraam had gehad voordat ze zwanger van hem werd en dat ze al vroeg in haar zwangerschap tekenen had vertoond van een dreigende tweede miskraam. Ja, herinnerde ze zich, het was vlak nadat zijn grootmoeder was overleden. Haar dokter had haar een injectie gegeven en haar daarna pillen gegeven, maar ze wist niet of die DES waren.

Friedman besloot de medische gegevens van zijn moeder op te zoeken en stuitte op dezelfde frustratie als kankeronderzoekers van het Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, die hebben geprobeerd teelbalkanker in verband te brengen met prenatale blootstelling aan DES. De dokter van zijn moeder was nu dood en de gegevens waren allang verdwenen. De apotheek waar zijn moeder de pillen had gekocht was verhuisd en had de oude gegevens weggegooid. Het ziekenhuis waar hij geboren was kwam uiteindelijk wel met gegevens, maar die bevatten geen informatie over de prenatale zorg van zijn moeder:

Maar Friedman had echt geen gegevens nodig om in zijn eigen hoofd te bevestigen dat hij inderdaad een DES-zoon was. Ongeacht het voortdurende debat in de medische gemeenschap, leek het indirecte bewijs volgens hem overweldigend. Toen hij medische onderzoeken en menselijke en dierlijke studies naar de effecten van DES bestudeerde, ontdekte hij dat hij niet slechts één of twee van de problemen had die gemeld werden bij mannen die blootgesteld waren aan DES. Hij had er een half dozijn. “Ik ben een schoolvoorbeeld,” concludeerde hij.

[084] In het geval van DES-dochters, aan de andere kant, is er overvloedig bewijs dat DES kanker van de heldere cel en misvormingen van het voortplantingskanaal heeft veroorzaakt. Vanwege deze structurele afwijkingen hebben DES-dochters een veel grotere kans op buitenbaarmoederlijke zwangerschappen, miskramen en premature baby's. Hoewel de meerderheid van de DES-dochters geen buitenbaarmoederlijke zwangerschappen heeft, is de kans op miskramen veel groter. Hoewel de meerderheid van de DES-dochters uiteindelijk een kind baart, vaak pas na herhaalde pogingen, is de kans tegen hen, met twee op de drie zwangerschappen die mislukken.

Net als bij thalidomide lijkt het tijdstip van blootstelling aan DES belangrijker dan de dosis. Vrouwen van wie de moeder DES nam na de twintigste week van de zwangerschap hebben geen last van misvormingen van de voortplantingsorganen, terwijl degenen die voor de tiende week van de zwangerschap werden blootgesteld een grotere kans hebben om vaginale of baarmoederhalskanker te ontwikkelen.

Deze kwestie van timing voegt ook een element van verwarring toe voor degenen die onderzoeken hoe DES mensen heeft beïnvloed. Het over één kam scheren van personen die vroeg en laat in de zwangerschap zijn blootgesteld kan de omvang van de invloed van het medicijn op degenen die tijdens kritieke perioden van hun ontwikkeling zijn blootgesteld maskeren. Veel onderzoeken hebben aan DES blootgestelde individuen als één groep behandeld zonder de kwestie van timing aan te pakken.

Maar dierstudies geven aan dat DES inwerkt op andere delen van de zich ontwikkelende foetus dan het voortplantingskanaal, waaronder de hersenen, de hypofyse, de borstklieren en het immuunsysteem, en ook daar blijvende veranderingen veroorzaakt. Onderzoekers hebben bewijs gevonden dat prenatale en neonatale blootstelling aan DES of andere oestrogenen de zich ontwikkelende foetus gevoelig kan maken voor oestrogenen en hem later in zijn leven misschien kwetsbaarder kan maken voor bepaalde vormen van kanker, zoals borstkanker, baarmoederkanker en prostaatkanker, die in verband worden gebracht met een verhoogde blootstelling aan oestrogenen.

In onderzoeken naar het immuunsysteem van muizen hebben wetenschappers ontdekt dat blootstelling aan DES voor de geboorte het aantal T-helpercellen vermindert. Deze cellen worden soms omschreven als het hart van het immuunsysteem, omdat ze de algehele immunrespons coördineren door andere immuuncellen te vertellen wanneer ze in actie moeten komen. Het belang van de T-helpercellen is onlangs op levendige wijze aangetoond door de komst van het

AIDS-virus, dat deze sleutelcellen uitschakelt waardoor het lichaam niet in staat is om een gecoördineerde immuunrespons op te bouwen.

[085] De vernietiging van de T-helpercellen zorgt ervoor dat allerlei indringers, van kankers tot schimmels, amok kunnen maken. DES tast ook een ander belangrijk onderdeel van het afweersysteem van het lichaam aan, de natuurlijke killercellen, waarvan wordt aangenomen dat ze als tumorpatrouille fungeren, het immuunsysteem waarschuwen voor de aanwezigheid van tumorcellen en de verspreiding van deze cellen naar andere delen van het lichaam controleren - een proces dat bekend staat als metastase. Gezien deze verminderde verdediging tegen tumoren is het niet verrassend dat een aantal onderzoeken hebben aangetoond dat muizen die aan DES zijn blootgesteld een verhoogde gevoeligheid voor chemische carcinogenen vertonen op volwassen leeftijd en meer kankers ontwikkelen naarmate ze ouder worden.

Hoewel muizen die aan DES zijn blootgesteld kankers ontwikkelen in de borst, baarmoeder en eierstokken, is er niets bekend over de incidentie van deze kankers bij vrouwen die voor hun geboorte aan DES zijn blootgesteld. Maar in het afgelopen decennium hebben onderzoekers bevestigd dat vrouwen die voor de geboorte aan DES zijn blootgesteld vergelijkbare permanente veranderingen in de functie van hun T- en natural killer cellen vertonen. Ondanks deze aantasting vertonen DES nakomelingen over het algemeen geen grotere kwetsbaarheid voor infecties, hoewel in één onderzoek wel een verhoogde incidentie van reumatische koorts werd gevonden. Er is echter steeds meer bewijs dat vrouwen

die aan DES zijn blootgesteld een grotere kans hebben op het ontwikkelen van auto-immuunziekten, zoals Hashimoto's thyroiditis, de ziekte van Graves, reumatoïde artritis en andere ziekten die voortkomen uit defecten in de regulatie van het immuunsysteem. Op basis van dierstudies die aantonen dat de ernst van immuundefecten toeneemt met de leeftijd, vrezen onderzoekers dat mensen die aan DES worden blootgesteld ook meer problemen met hun immuunsysteem zullen krijgen naarmate ze ouder worden.

Heeft DES net zo'n dramatisch effect gehad op de hersenen als op het lichaam? Dit is misschien wel de meest intrigerende vraag die voortkomt uit het onbedoelde menselijke DES-experiment, en deze blijft grotendeels onbeantwoord. Hoewel studies hebben aangetoond dat DES de lichamelijke ontwikkeling van mensen en dieren op identieke manieren verstoort, is het niet duidelijk of deze opvallende parallellen opgaan als het gaat om de invloed op de ontwikkeling van de hersenen. Studies hebben enkele verschillen gevonden tussen soorten in de balans van hormonen die aan het werk zijn tijdens dit proces, waardoor het moeilijk is om direct te extrapoleren van knaagdieren naar mensen.

[086] Bij dieren veroorzaakt blootstelling aan DES of hogere oestrogeengehaltes dan normaal “dramatische en permanente veranderingen in de hersenstructuur en het gedrag”, volgens Melissa Hines, een onderzoeker aan het Goldsmiths' College van de Universiteit van Londen in New Cross, die gespecialiseerd is in het effect van hormonen op de ontwikkeling van de hersenen en het gedrag. En ook hier zijn de effecten verrassend en contra-intuïtief. Hoe vreemd het ook

lijkt, vrouwelijke ratten, muizen, hamsters en cavia's die voor of vlak na de geboorte worden blootgesteld aan een overmaat aan oestrogeen, vertonen een mannelijker patroon van voortplantingsgedrag. Ze bestijgen vaker andere dieren en zijn minder geneigd om de vrouwelijke paringshouding aan te nemen. Vroege blootstelling aan oestrogeen verandert ook ander gedrag dat verschilt tussen de seksen, zoals ruw en struikelend spelen, het leren van doolhoven en agressie, waardoor vrouwtjes zich weer meer als mannetjes gaan gedragen. Dus terwijl kleine hoeveelheden oestrogeen nodig lijken te zijn voor een normale vrouwelijke ontwikkeling, leiden hogere doses tot vermannelijking. Bij een groot aantal diersoorten, waaronder amfibieën, zangvogels, knaagdieren, honden, runderen, schapen en resusaapjes, hebben onderzoekers ontdekt dat het blootstellen van zich ontwikkelende vrouwtjes aan verhoogde oestrogenen of mannelijke androgenen leidt tot meer mannelijk gedrag en minder vrouwelijk gedrag.

Bij mannelijke muizen waarvan de moeders tijdens de zwangerschap behandeld zijn met lage doses DES, hebben wetenschappers een toename in territoriaal gedrag waargenomen, met name het markeren van hun territorium met urine, en een duidelijke toename in activiteitsniveaus als volwassenen. Bij hoge doses krijgt men de tegenovergestelde effecten en verminderd mannelijk gedrag.

De dierstudies roepen provocerende vragen op over mogelijke effecten bij mensen, maar helaas zijn de meeste daarvan nooit zorgvuldig onderzocht, merkt Hines op.

Het beste bewijs voor een verband tussen blootstelling aan

DES en menselijk gedrag komt van onderzoeken naar seksuele oriëntatie, de vraag welk geslacht iemand seksueel aantrekkelijk vindt. De overgrote meerderheid van de mannen voelt zich aangetrokken tot vrouwen en de overgrote meerderheid van de vrouwen tot mannen. Maar de klassieke Kinsey-studies over seksueel gedrag bij mensen ontdekten dat dit verschil niet absoluut is. De Kinsey-onderzoeken die eind jaren '40 en begin jaren '50 werden uitgevoerd, meldden dat ongeveer tien procent van de mannen zich seksueel aangetrokken voelde tot andere mannen en drie tot vijf procent van de vrouwen tot andere vrouwen.

[087] Hines vatte verschillende onderzoeken samen waarin aan DES blootgestelde vrouwen werden vergeleken met hun niet-blootgestelde zussen of met andere niet-blootgestelde vrouwen en vond een verband tussen prenatale blootstelling aan DES en homoseksualiteit en biseksualiteit. In een van deze onderzoeken werven en interviewden onderzoekers zestig vrouwen uit een medische kliniek - dertig die waren blootgesteld aan DES en dertig vermoedelijk niet-blootgestelde vrouwen die abnormale uitstrijkjes vertoonden (hoewel deze aandoening ook in verband wordt gebracht met blootstelling aan DES). De onderzoekers hielden interviews met deze vrouwen en beoordeelden hun seksuele oriëntatie met behulp van een zeven-punts heteroseksuele tot homoseksuele gradiënt, ontwikkeld door Kinsey. Terwijl geen van de vrouwen met afwijkende uitstrijkjes een homoseksuele of biseksuele oriëntatie aangaf, rapporteerde 24 procent van de DES-vrouwen een levenslange biseksuele of homoseksuele oriëntatie. Deze onderzoekers vergeleken ook twaalf DES-

dochters met zussen die niet waren blootgesteld aan het synthetische oestrogeen en ontdekten dat tweeënveertig procent van de aan DES blootgestelde vrouwen een levenslange biseksuele oriëntatie had, maar slechts acht procent van hun zussen. Een tweede onderzoek onder dertig aan DES blootgestelde vrouwen en dertig niet-blootgestelde controles die gematcht waren op basis van kenmerken als leeftijd, ras en sociale klasse, rapporteerde vergelijkbare verschillen. Onderzoeken naar DES-zonen hebben tot nu toe geen aanwijzingen gevonden dat DES de seksuele geaardheid van zonen beïnvloedt.

Het onderzoeksteam dat vrouwen rekruteerde in de medische kliniek, ondervroeg hen ook om te zien of ze verschillen konden ontdekken in ander gedrag dat typisch verschilt tussen mannen en vrouwen, zoals opvoedingsinteresses, mate van lichamelijke activiteit, en agressie en delinquentie. Een eerste studie rapporteerde dat degenen die blootgesteld waren aan DES minder interesse toonden in ouderschap, maar een tweede studie vond geen verband met blootstelling aan DES.

Onderzoekers hebben ook verrassend hoge percentages ernstige depressies gevonden bij zowel mannen als vrouwen die voor de geboorte aan DES werden blootgesteld, evenals andere psychiatrische stoornissen zoals angst, anorexia nervosa (een eetstoornis waarbij mensen zichzelf uithongeren door te weigeren te eten) en fobische neurose. Studies hebben zulke verschillen zelfs gerapporteerd wanneer DES zonen en dochters zich niet bewust waren dat ze waren blootgesteld. In één serie onderzoeken naar blootgestelde DES-

patiënten bleek dat veertig

procent van de vrouwen en eenenzeventig procent van de mannen een zware depressie doorgemaakt waardoor ze thuis, op het werk of op school minder goed konden functioneren, medicijnen tegen depressie moesten nemen of professionele hulp nodig hadden.

De DES-ervaring is rijk aan lessen.

[088] Dit tragische en onbedoelde experiment toonde aan dat chemische stoffen de placenta kunnen passeren, de ontwikkeling van de baby kunnen verstoren en ernstige gevolgen kunnen hebben die pas tientallen jaren later duidelijk worden. Dit was een tot dan toe niet erkend medisch fenomeen: vertraagde langetermijneffecten die pas zichtbaar werden als het kind in de puberteit kwam of later in het leven.

Het waarschuwde dat de schijn niet altijd samenvalt met de werkelijkheid. Men moest zich niet alleen zorgen maken over grove en direct zichtbare geboortefwijkingen zoals ontbrekende ledematen, maar ook over onzichtbare schade die tijdens de ontwikkeling aan weefsel en cellen werd toegebracht - schade die desondanks een levenslange impact kan hebben en het overleven kan ondermijnen.

Het dramatiseerde de gevaren van het verstoren van de delicate balans van hormonen tijdens de ontwikkeling. Het liet zien hoe kwetsbaar de foetus is en hoe het door kritieke stadia gaat waarin het bijzonder kwetsbaar is. Het benadrukte dat een ongeborn baby niet zomaar een kleine volwassene is. Medicijnen en chemicaliën die weinig effect hebben op

volwassenen kunnen ernstige en blijvende schade toebrengen aan een baby tijdens zijn snelle prenatale ontwikkeling.

Keer op keer bracht de DES-ervaring het gemeenschappelijke lot van muizen en mensen aan het licht. Knaagdieren en mensen die in de baarmoeder aan DES werden blootgesteld, liepen identieke schade op aan de genitaliën en het voortplantingskanaal, een parallel die niet alleen geldt voor zoogdieren, maar ook voor veel andere diersoorten. De evolutie heeft in honderden miljoenen jaren in gewervelde dieren een basisstrategie voor embryonale ontwikkeling bewaard die afhankelijk is van hormonen. Ongeacht of het nageslacht een mens is of een hertenmuis, een walvis of een vleermuis, hormonen reguleren de ontwikkeling op fundamenteel dezelfde manier.

“Er zijn zoveel duidelijke verschillen tussen deze soorten,” merkte John McLachlan op. “Toch is de strategie voor seksuele ontwikkeling opmerkelijk gelijk en het effect van oestrogeen opmerkelijk gelijk. Dat klinkt eenvoudig,” bedacht hij, “maar volgens mij is het ingewikkelder.”

[089] De DES-ervaring bood nog een andere belangrijke les die niet alleen relevant is voor degenen die blootgesteld zijn aan DES, maar voor ons allemaal. De ontwikkelingseffecten van DES maakten duidelijk dat het menselijk lichaam een door de mens gemaakte chemische stof kon verwarren met een hormoon. Halverwege de jaren zeventig begonnen onderzoekers te ontdekken dat andere door de mens gemaakte chemicaliën, zoals de pesticiden DDT en kepone, ook hormonale effecten vertoonden. Het zou even duren voordat McLachlan en anderen het potentiële belang van deze waarneming inzagen.

HOOFDSTUK – 05

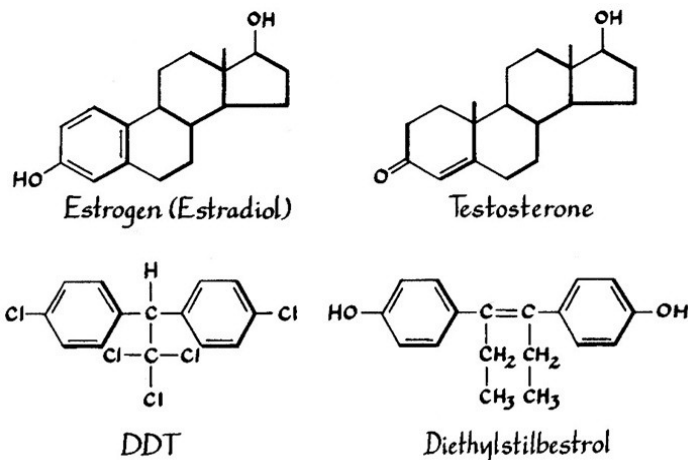
VIJFTIG MANIEREN OM JE VRUCHTBAARHEID TE VERLIEZEN

ONDANKS DE PROBLEMEN die het later zou veroorzaken, voldeed DES in één opzicht aan de belofte: het bootste natuurlijk oestrogeen na. Dit feit alleen al is een intrigerend raadsel, want deze door de mens gemaakte chemische stof lijkt structureel verrassend weinig op natuurlijk oestrogeen. Hoe kon het zich gedragen als een hormoon?

Deze vraag ligt aan de basis van het groeiende mysterie hoe vreemde chemicaliën het lichaam misleiden en zijn eigen chemische boodschappers verstoren. In de afgelopen halve eeuw sinds DES verscheen, hebben wetenschappers geleerd dat DES niet uniek is in zijn hormonale effecten. Eén voor één stuitten ze op vele andere chemische stoffen - zowel door de mens gemaakte als natuurlijke verbindingen - die zich gedragen als hormonen, en langzamerhand dringt het besef door dat de wereld vol zit met hormoonverstoorders. In tegenstelling tot DES zitten de meeste echter niet in kleine pilletjes.

Een interessant toeval is dat in hetzelfde jaar dat Edward Dodds de synthese van DES bekendmaakte, een Zwitserse scheikundige, Paul Muller, een krachtig nieuw pesticide ontdekte en dat beide synthetische chemicaliën hun debuut

maakten in 1938. Net zoals DES werd aangekondigd als een “wondermiddel”, werd DDT geprezen als een “wonderbaarlijk pesticide”. Dodds werd geridderd voor zijn inspanningen om geslachtshormonen te synthetiseren en Muller won de Nobelprijs in 1948.



Afbeelding 091 *Chemische structuren van het natuurlijke vrouwelijke hormoon (estradiol), algemeen “oestrogeen” genoemd, en het natuurlijke mannelijke hormoon testosteron, vergeleken met de structuren van DDT, een insecticide, en diethylstilbestrol (DES), een synthetisch vrouwelijk hormoon met oestrogeenachtige effecten. Verrassend genoeg bleken DDT en DES effectieve nabootsingen van natuurlijke vrouwelijke hormonen te zijn, ondanks hun verschillende uiterlijk.*

Twaalf jaar na de komst van deze stoffen ontdekten onderzoekers van de Universiteit van Syracuse dat de twee chemicaliën een diepere verwantschap deelden. Hoewel DDT was ontwikkeld om insecten te doden en niet voor gebruik als medicijn of synthetisch hormoon, leek het ook het effect van oestrogeen te hebben toen het werd toegediend aan jon-

ge hanen: het vervrouwelijkte ze. De mannetjes die behandeld waren met DDT hadden ernstig onderontwikkelde testikels en slaagden er niet in om de ruime kammen en lellen te laten groeien die hanen laten zien. Bij het bekijken van deze resultaten merkten Verlus Frank Lindeman en zijn promovendus Howard Burlington op dat de chemische structuur van DDT veel lijkt op die van DES.

Hoezeer deze twee synthetische chemicaliën ook op elkaar lijken, deze bedriegers lijken niet erg op oestrogeen of de andere steroïde hormonen die door het lichaam zelf worden gemaakt. De familie van de steroïdhormonen bestaat uit drie hormoengroepen, die over het algemeen worden ingedeeld op basis van hun chemische structuur of functie. De steroïdhormonen die de eindeloze interne conversatie van het lichaam helpen voortzetten, hebben allemaal een gemeenschappelijke architectuur die gebaseerd is op vier ringen. [092] De mannelijke en vrouwelijke hormonen, testosteron en oestrogeen, mogen dan sterk verschillende effecten hebben, maar in schema's van hun chemische structuur zijn ze opmerkelijk vergelijkbaar. De uiteenlopende lotsbestemmingen van man en vrouw hangen af van een atoom hier en daar. DDT en DES hebben daarentegen een configuratie met twee ringen. Het verschil tussen deze opstelling en die van oestrogeen is onmiddellijk duidelijk, zelfs voor iemand die nooit scheikunde heeft gehad. Op basis van hun structuur zou het onmogelijk zijn om deze synthetische chemicaliën te verwarren met leden van de familie van steroïde hormonen.

Maar om redenen die nog steeds niet helemaal duidelijk

zijn, verwacht het lichaam ze toch met het echte hormoon.

Het plastic model dat John McLachlan in zijn hand houdt lijkt op een massa gekleurde kauwgomballen. Het heeft de grootte en algemene vorm van een klein Italiaans brood.

Meer dan twintig jaar nadat hij voor het eerst DES begon te onderzoeken, zit McLachlan op de rand van een tafel in zijn kantoor bij het National Institute of Environmental Health Sciences en geeft hij een les in chemische boodschappers 101 - de basis over hoe het lichaam communiceert via hormonen. Zoals veel natuurleraren heeft hij een theatrale flair en een voorliefde voor metaforen. Hij grijpt automatisch naar een rekvisiet om zijn punt aan te tonen. Dit is niet zomaar wetenschap, het is een fascinerend verhaal - het verhaal van de oestrogeenreceptor, die zo gemakkelijk omgaat met vreemdelingen dat hij een reputatie heeft opgebouwd. Sommige wetenschappers noemen het “promiscue”.

Het plastic model is een reusachtige weergave van oestradiol, een van de drie belangrijkste oestrogeentypes die door de eierstokken worden geproduceerd en in de bloedbaan terecht komen.

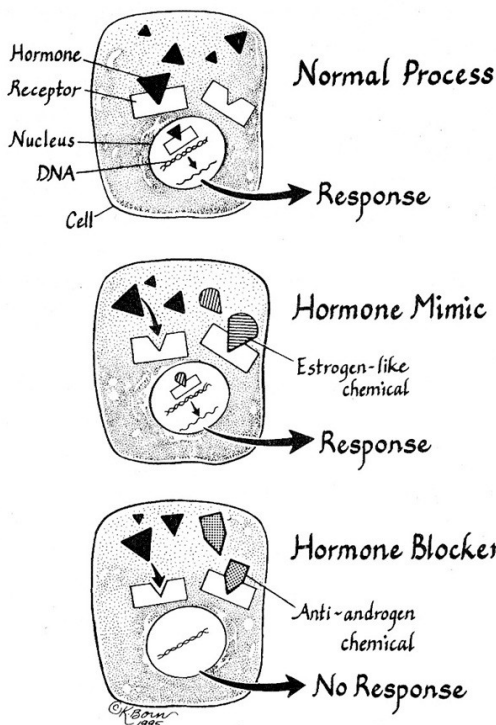
McLachlan, een vijftigjarige man met krullende grijze lokken en vrolijke donkere ogen die glinsteren als onyx, houdt zijn vrije hand schuin. Dit is een oestrogeenreceptor, een speciaal eiwit dat wordt aangetroffen in cellen in vele delen van het lichaam, waaronder de baarmoeder, de borsten, de hersenen en de lever. De receptor ontvangt de chemische boodschap, in dit geval oestrogeen, van de eierstokken en pikt signalen op uit de bloedbaan, net zoals een mobiele te-

lefoon radiosignalen oppikt in de lucht. Een receptor wordt niet verondersteld alle rondvliegende chemische signalen te ontvangen. Net als een mobiele telefoon wordt hij verondersteld alleen die signalen te ontvangen die voor hem bedoeld zijn.

[093] Het lichaam heeft honderden verschillende soorten receptoren, elk ontworpen voor een bepaald soort chemisch signaal. Sommige receptoren ontvangen berichten van de schildklier, die cellen kunnen aanzetten om meer zuurstof te verbruiken en meer warmte te produceren. Andere zijn afgestemd op de bijnieren, die berichten sturen die de bloeddruk en de reactie van het lichaam op stress regelen. De hypothalamus in de hersenen heeft allerlei receptoren om de hormoonspiegels in het bloed in de gaten te houden, zodat de hersenen de hormoonproducerende klieren een seintje kunnen geven als er aanpassingen nodig zijn. En er is een hele klasse van mysterieuze receptoren, bekend als “wees” receptoren, die zijn afgestemd op boodschappen die wetenschappers nog niet hebben geïdentificeerd.

Elk hormoon en zijn specifieke receptor hebben een “voor elkaar gemaakte” aantrekkingskracht, die wetenschappers omschrijven als een “hoge affiniteit”. Wanneer ze elkaar tegenkomen, grijpen ze elkaar vast en gaan ze een moleculaire omhelzing aan die bekend staat als “binding”.

Receptor Effects of Synthetic Chemicals



Figuur 094 Hormonen en hun receptoren passen bij elkaar met een “slot en sleutel” mechanisme. Onder normale omstandigheden (boven) bindt een natuurlijk hormoon zich aan zijn receptor en activeert genen in de kern om de juiste biologische respons te produceren. Hormoonnabootsingen (midden) kunnen ook binden aan de receptor en een reactie opwekken. Hormoonblokkers (onder) veroorzaken geen respons, maar voorkomen dat natuurlijke hormonen zich aan de receptor hechten. Bepaalde synthetische chemicaliën die in het milieu terechtkomen, kunnen zich gedragen als hormoonmitimenten en hormoonblokkers en bijdragen aan de verstoring van de celactiviteit. De stof die de receptorplaatsen in aantal overtreft of overtroeft, bepaalt de reactie van de cel.

McLachlan demonstreert dit door het plastic model door de lucht in de richting van de receptor te bewegen en laat zien hoe het estradiol in de zak van de receptor landt als een Star Trek-voertuig dat terugkeert naar het veel grotere moederschip. Hormoonmoleculen zijn piepklein vergeleken met de uitdijende receptoren.

Ze passen in elkaar, merkt hij op, als een slot en sleutel, en als ze eenmaal samengevoegd zijn, bewegen ze naar de celkern om de biologische activiteit die met het hormoon geassocieerd wordt “aan te zetten”. Dit samengaan van hormoon en receptor richt zich op genen die de productie van bepaalde eiwitten in gang zetten. In het geval van oestrogeen versnellen deze eiwitten de celdeling. Dus als oestrogeen zich verbindt met receptoren in de baarmoeder, zorgt het ervoor dat het slijmvlies van dat orgaan dikker wordt. Oestrogeen produceert zo'n reactie in de eerste helft van de menstruatiecyclus om de baarmoeder voor te bereiden op de bevruchting van een eikel als de eisprong halverwege de cyclus plaatsvindt.

Dit slot-en-sleutel idee heeft de theorie over hoe het lichaam communiceert via hormonen gedomineerd. In leerboeken over endocrinologie vind je nog steeds de stellige bewering dat receptoren zeer selectief zijn wat betreft chemische structuur en zich alleen binden aan het hormoon waarvoor ze bedoeld zijn of een zeer nauw verwante verbinding. [094] Hoewel de theorie in grote lijnen klopt, blijkt de werkelijkheid een stuk rommeliger en onvoorspelbaarder, niet alleen in het geval van de oestrogeenreceptor, maar ook bij andere hormoonreceptoren.

Toen Dodds en zijn collega's aankondigden dat ze een synthetisch oestrogeen hadden ontwikkeld, begrepen ze niet hoe DES in staat was om het hormoon in het lichaam na te bootsen. [095] Ze wisten alleen empirisch dat het werkte. Er ging een kwart eeuw voorbij voordat andere onderzoekers de receptoren ontdekten die de chemische boodschappen ontvangen en eindelijk begrepen wat DES effectief maakte. Het dringt op de een of andere manier door tot deze oestrogeenreceptor. '

Terwijl hij dit uitlegt, manoeuvreert McLachlan een model van een DES-molecuul in de zak van zijn denkbeeldige receptor, die het gemakkelijk accepteert als het echte ding. Verrassend genoeg activeert deze chemische oplichter het systeem effectiever dan estradiol, het lichaamseigen oestrogeen.

Misschien nog belangrijker is dat onderzoek heeft ontdekt dat deze synthetische chemische stof erin slaagt een mechanisme te omzeilen dat een zich ontwikkelende foetus beschermt tegen overmatige blootstelling aan oestrogeen, wat zijn ontwikkeling kan verstoren. Het bloed van de moeder en de zich ontwikkelende foetus bevatten speciale eiwitten die bijna al het oestrogeen dat in het bloed circuleert opnemen en het onbeschikbaar maken voor receptoren. Maar deze eiwitten - sekssteroïdenbindend globuline genaamd - herkennen DES niet en binden er dus ook niet aan. Als gevolg daarvan zal slechts een klein deel van het natuurlijke oestrogeen in de bloedbaan vrij zijn, maar al het DES zal biologisch actief zijn. Of deze beschermende stoffen andere door de mens gemaakte hormoonnabootsingen herkennen en

opzuigen is een belangrijke onbeantwoorde vraag, maar er zijn aanwijzingen dat ook deze om hen heen kunnen werken - een betreurenswaardig feit als dat waar is, want dat maakt het ongeborn kind des te kwetsbaarder voor verstoring. Zonder dit verdedigingsmechanisme om overmatige blootstelling aan oestrogene chemicaliën te voorkomen, kunnen zelfs schijnbaar lage concentraties van hormoonimitaties toch een gevaar vormen.

De relatieve sterkte van hormoonimposters is een andere overweging. De meeste hormoonimitators zijn aanzienlijk minder krachtig dan DES of estradiol omdat ze zich niet zo stevig binden aan de oestrogeenreceptor. Sommige wetenschappers hebben daarom gesuggereerd dat deze “zwakke” oestrogenen waarschijnlijk niet krachtig genoeg zijn om problemen te veroorzaken. Howard Bern, een vooraanstaand onderzoeker die de effecten van zwakke oestrogenen heeft onderzocht, is niet zo optimistisch. Bern is vergelijkend endocrinoloog aan de Universiteit van Californië in Berkeley en een belangrijke figuur in het experimentele DES-onderzoek.

“Het echte probleem is de speciale gevoeligheid van het zich ontwikkelende organisme,” zegt Bern. [096] Het kan bijzonder kwetsbaar zijn, niet alleen omdat het een snelle ontwikkeling doormaakt, maar ook omdat de hormoonreceptoren niet zo goed kunnen onderscheiden als die van een volwassene. “Het ziet misschien het verschil niet tussen zwakke en sterke oestrogenen.

In experimenten met muizen ontdekte Bern dat zogenaamde zwakke oestrogenen een veel krachtiger effect lijken te heb-

ben op ongeborenen dan op blootgestelde volwassenen. Wat er bij volwassenen gebeurt, benadrukt hij, is geen basis om te voorspellen wat deze chemicaliën bij ongeborenen kunnen aanrichten.

Het is ook belangrijk om in gedachten te houden dat natuurlijke oestrogenen werken bij extreem lage concentraties, gemeten in delen per triljoen. Daarentegen zijn deze zogenaamde zwakke oestrogenen aanwezig in menselijk bloed en lichaamsvet in concentraties van delen per miljard of delen per miljoen - niveaus die soms duizenden tot miljoenen keren hoger liggen dan natuurlijke oestrogenen. Dus ook al lijken de verontreinigingsniveaus minuscule, ze zijn niet noodzakelijkerwijs onbeduidend.

Het begrip van hormoonreceptoren, dat snel is gegroeid sinds ze voor het eerst werden geïdentificeerd in het midden van de jaren 1960, werpt ook licht op de vraag waarom DES en andere hormoonverstorende stoffen zulke vergelijkbare effecten hebben bij een verbazingwekkende reeks soorten. Klassieke beschrijvingen van evolutie leggen de nadruk op innovatie en verandering in het verhaal van het leven op aarde, maar er is ook een sterke conservatieve inslag in de evolutie. Veel is door de eeuwen heen grotendeels onveranderd gebleven, vooral elementen van het basisontwerp, zoals het endocriene systeem.

Toen wetenschappers hormoonreceptoren in verschillende dieren onderzochten, verbaasden ze zich over het gebrek aan verandering in miljoenen jaren evolutie. Of het nu in een schildpad, muis of mens is, het endocriene systeem produceert een chemisch identiek oestradiol dat zich bindt aan een

oestrogeenreceptor. De ontdekking van vergelijkbare oestrogeenreceptoren in dieren die zo verschillend zijn als schildpadden en mensen suggereert dat het interne communicatiesysteem gebaseerd op hormonen en receptoren een oeroude aanpassing is die vroeg in de evolutie van gewervelde dieren ontstond, de evolutionaire tak van dieren met een ruggengraat waartoe ook de mens behoort. Wetenschappers geloven dat schildpadden weinig veranderingen hebben ondergaan sinds ze meer dan 200 miljoen jaar geleden ontstonden uit een reptielenvoorouder, lang voordat moderne zoogdieren ten tonele verschenen.

[097] Hoewel receptoronderzoek heeft aangetoond dat bedrieglijke chemische stoffen zoals DDT en DES wel degelijk binden met de oestrogeenreceptor, heeft het niet echt duidelijk gemaakt waarom de receptor ze gemakkelijk accepteert. De gelijkenis tussen DDT en DES deed wetenschappers verwachten dat ze een gemeenschappelijk structureel kenmerk zouden kunnen vinden om het fenomeen te verklaren, maar het mysterie van hormoonnabootsingen zou niet toegeven aan zo'n eenvoudige verklaring. Tot hun verbijstering ontdekten ze dat de oestrogeenreceptor bindt aan chemische stoffen met een verscheidenheid aan opvallend verschillende structuren. Het is een slot dat geopend kan worden met apparaten die net zo weinig gelijkenis vertonen met natuurlijk oestrogeen als een hamer met een sleutel. Nog onbegrijpelijker is dat een moersleutel net zo goed zou kunnen werken als een hamer.

DDT was bovendien slechts de eerste verrassing. Ongeveer op hetzelfde moment dat onderzoekers in de Verenigde Sta-

ten het pesticide aan kippen gaven, stuitten andere wetenschappers van een ver continent en een heel ander vakgebied op een andere oestrogeennabootser op de meest bizarre plek.

Het begin van de jaren 1940 leek een bijzonder veelbelovende tijd voor de schapenboeren in de zacht glooiende heuvels ten zuiden van Perth in West-Australië. Drie ongewoon goede seizoenen volgden elkaar op en met het gunstige weer explodeerden de weiden in een weelderige, groene groei, waardoor de schapen uitzonderlijk lang konden grazen. Volgens de veeboeren in de regio hadden de schapen - knappe, stevige merinos die fijne, luxueuze wol produceren - er nog nooit zo goed uitgezien.

Maar net toen alles nog nooit zo goed was geweest, begonnen de kuddes getroffen te worden door een vreemde epidemie - een epidemie van onvruchtbaarheid. Het eerste teken was een opvallende toename van doodgeboren lammeren. Dan lukte het de ooien die lammeren droegen niet om te bevallen; de lammeren stierven en vaak ook de moeders. Elk jaar verergerde het probleem tot uiteindelijk, zelfs na herhaaldelijk fokken met vruchtbare rammen, de meeste ooien helemaal niet meer zwanger werden. Binnen vijf jaar stopten de fokprogramma's en veeboeren in het Middellandse Zeegebied in Europa. [098] De vroege soort ondergrondse klaver leek even goed geschikt voor het plaatselijke klimaat en zorgde in korte tijd voor een grote toename van de productiviteit op deze boerderijen. Om redenen die de onderzoekers aanvankelijk niet konden achterhalen, veroorzaakte het ook deze vreemde voortplantingsziekte, die ze “klaver-

ziekte” noemden.

Het eerste wetenschappelijke artikel over dit fenomeen verscheen in 1946 in de Australian Veterinary Journal, maar het duurde nog enkele jaren om drie chemicaliën te isoleren die vermoedelijk de steriliteit veroorzaakten. Uiteindelijk stelden onderzoekers echter vast dat slechts één van deze chemische stoffen, formononetin, de boosdoener was. Deze natuurlijke verbinding, die ontsnapt aan afbraak in de maag van het schaap, kan net als DES en DDT de biologische effecten van oestrogeen nabootsen.

Verrassend genoeg had de plantenevolutie al lang voordat Dodds DES synthetiseerde in het laboratorium chemische stoffen geproduceerd die oestrogeen nabootsen, en niet slechts één of twee, maar vele - waarvan er nu twintig bekend zijn bij de wetenschap. Tot nu toe hebben onderzoekers deze oestrogene stoffen gevonden in ten minste driehonderd planten uit meer dan zestien verschillende plantenfamilies. Op de lijst staan veel voedingsmiddelen die de wereld voeden, maar ook een aantal van onze favoriete kruiden en smaakmakers. Hormoonimitaties liggen op de loer in peterselie, salie en knoflook; in tarwe, haver, rogge, gerst, rijst en sojabonen; in aardappelen, wortelen, erwten, bonen en luzernescheuten; in appels, kersen, pruimen en granaatappels; en zelfs in koffie en bourbon whisky. Net als DES en DDT kunnen deze plantaardige stoffen de oestrogeenreceptor voor de gek houden.

Als de klaver in Australië het enige geval was van een natuurlijke hormoonnabootser in de annalen van de wetenschap, zou het misschien worden afgedaan als een evolutio-

naire toevalstreffer, maar de aanwezigheid van een oestrogene stof in zoveel verschillende plantensoorten suggereert dat dit geen toeval is.

Waarom maken planten dan oestrogenen?

“Planten maken orale anticonceptiemiddelen om zichzelf te verdedigen,” zegt Claude Hughes, een onderzoeker die de effecten van hormoonachtige verbindingen op het voortplantingssysteem bestudeert. Het klinkt misschien als een wild idee, maar vanuit evolutionair perspectief is het logisch.

Omdat planten niet aan roofdieren kunnen ontsnappen door weg te rennen, hebben ze een fascinerende verscheidenheid aan verdedigingsmechanismen ontwikkeld. Sommige ruiken slecht, smaken slecht of vergiftigen degenen die ze eten. Andere hebben onsmakelijke doorns, stekels of onverteerbare stoffen in hun bladeren. [099] Als insecten aanvallen, vechten veel planten terug met een chemisch arsenaal dat insecten direct kan doden, ze kan laten stoppen met eten of hun groei kan verstoren door de groeihormonen van insecten na te bootsen. Deze groeiverstoring maakt een insect meestal steriel, waardoor de insectenpopulatie afneemt.

Hoe meer Hughes het idee onderzocht dat planten anticonceptiemiddelen zouden kunnen maken, hoe meer bewijs hij vond dat overeenkwam met de theorie dat dit inderdaad is wat planten doen. Door hun bladeren te doorweven met hormonaal actieve stoffen onderdrukken ze de vruchtbaarheid van de dieren die zich ermee voeden. Volgens Hughes' theorie is klaverziekte niet simpelweg een ongelukkige veeziek-

te, maar een subtiele en voorheen niet erkende vorm van zelfverdediging van planten. De planten die oestrogeen nabootsen, merkt hij op, zijn smakelijk en worden door dieren en mensen gezocht als voedsel, niet de onsmakelijke planten die vies smakende verbindingen bevatten - een alternatieve verdedigingsstrategie.

Hughes is een specialist in reproductieve endocrinologie aan de Bowman Gray School of Medicine van de Wake Forest University in Winston-Salem, North Carolina. Hij heeft zowel een M.D. als een Ph.D. in neuroendocrinologie, de studie van de interactie tussen de hersenen en hormonen. Als student deed hij onderzoek naar plantenfysiologie. Hij is ook de zoon van een boer en fokt nu schapen op zijn eigen boerderij in North Carolina.

De gedachte dat planten chemicaliën maken die de vruchtbaarheid van hun roofdieren ondermijnen, kwam voor het eerst bij Hughes op toen hij als promovendus de effecten van marihuana op de hersenen bestudeerde. Mensen gebruiken marihuana al heel lang als drug omdat de chemicaliën die het bevat in de hersenen werken om de stemming en waarneming te veranderen, waardoor een “high” ontstaat. Maar zoals Hughes en anderen ontdekten, doen deze chemicaliën meer dan een aangename gemoedstoestand opwekken; ze verstoren de voortplanting op verschillende manieren. Dezelfde stof die een wietroker high maakt, werkt ook in op de testikels om de synthese van testosteron te verminderen en op de hersenen om het luteniserend hormoon te onderdrukken, een belangrijk hormoon dat aanzet tot ovulatie bij vrouwen en de productie van testosteron bij mannen.

Studies hebben aangetoond dat marihuana mannen die het zwaar rookten vervrouwelijkte.

Hughes' werk richtte zich op de manier waarop marihuana interfereert met het hormoon prolactine, dat in de hersenen wordt geproduceerd en de borst het signaal geeft om melk te produceren. [100] Moederratten die marihuana kregen, produceerden geen melk en hun pups stierven van de honger. Hughes onderzocht later de effecten van plantaardige oestrogenen op het endocriene systeem en de hormonen die de voortplanting regelen, een gebied dat nog maar weinig wetenschappers onderzocht hadden.

Om zo'n verdedigingsstrategie te laten werken, legt hij uit, zou de plant zich logischerwijs richten op vrouwtjes dan op mannetjes, omdat de voortplanting van een roofdier wordt beperkt door het aantal vruchtbare vrouwtjes. Als een plant er bijvoorbeeld in slaagt om de vruchtbaarheid van alle mannetjes op één na aan te tasten, kan dat ene mannetje toch een hele kudde vrouwtjes bevruchten. Maar als slechts één vrouwtje vruchtbaar is, kan ze slechts één of twee lammeren voortbrengen.

Planten die oestrogeen nabootsen, produceren deze volgens een seizoenspatroon dat perfect past bij deze strategie. Klaver bevat de grootste concentraties oestrogene verbindingen in de nieuwe groei in de lente, en wanneer een konijn of schaap de plant verwondt door op deze tere scheuten te kauwen, reageert de plant door nog meer oestrogeen te produceren op de plek van de verwonding, waardoor een extra dosis wordt afgegeven aan roofdieren die blijven grazen.

Mensen hebben lang geleden al ontdekt dat bepaalde planten contraceptieve krachten hebben, te oordelen naar verwijzingen in de klassieke literatuur. Historicus John M. Riddle van de North Carolina State University rapporteert dat vrouwen in de hele oude wereld verschillende planten gebruikten om zwangerschappen te voorkomen en abortussen te voorkomen, waaronder een nu uitgestorven reuzenvinkel genaamd silphium. Onderzoekers hebben bevestigd dat veel planten in de vinkefamilie oestrogene stoffen of andere hormonaal actieve verbindingen produceren. De Ouden gebruikten ook wilde wortel, het prachtige en heerlijk gewone onkruid dat nu bekend staat als koninginnekant, waarvan de Griekse arts Hippocrates, die leefde in de vierde eeuw voor Christus, beschreef dat het soortgelijke krachten had. Studies hebben aangetoond dat de zaden chemische stoffen bevatten die het hormoon progesteron blokkeren, dat nodig is voor het tot stand brengen en behouden van een zwangerschap.

De granaatappel speelde een centrale rol in zowel de Griekse mythe als in hun pogingen tot geboortebeperving. Volgens de mythe kreeg Persephone, de dochter van de vruchtbaarheidsgodin Demeter, de opdracht om niets te eten tijdens een bezoek aan de onderwereld Hades, maar ze was ongehoorzaam en at een granaatappel. Als straf veroordeelden de goden haar om een deel van het jaar in de onderwereld door te brengen en daarom beleeft de aarde het onvruchtbare winterseizoen totdat Persephone elke lente terugkeert. [101] Riddle zegt dat de Grieken granaatappel gebruikten als voorbehoedsmiddel, en ook hier hebben studies

ontdekt dat het een plantaardig oestrogeen bevat dat werkt zoals de chemicaliën in moderne orale voorbehoedsmiddelen die door de farmaceutische industrie worden gemaakt.

De aanwezigheid van oestrogene stoffen in zoveel voedingsmiddelen roept een belangrijke vraag op. Vormen deze stoffen een gevaar voor de menselijke gezondheid of voor de ontwikkeling van baby's?

Er is geen eenvoudig antwoord op deze vraag. Planten die oestrogeen nabootsen kunnen in sommige gevallen heilzaam zijn en in andere gevallen gevaarlijk, volgens Patricia Whitten, een antropologe die werkt aan het Laboratory of Reproductive Ecology and Environmental Toxicology van de Emory University in Atlanta, Georgia. Wetenschappers zijn nog maar net begonnen met het onderzoeken van plantaardige oestrogenen en hoe deze hormoonnabootsingen in voedsel ons beïnvloeden, dus fundamentele vragen, zoals hoeveel we eigenlijk binnenkrijgen via ons voedsel, zijn nog onbeantwoord. Omdat mensen gevarieerd eten, is het niet duidelijk of we voldoende hoeveelheden binnenkrijgen om ons zorgen over te maken. De doseringskwestie is bovendien inherent lastig als je te maken hebt met hormonen. Afhankelijk van je leeftijd, geslacht en hormonale status kan dezelfde dosis heel verschillende effecten hebben. Het maakt uit of je een man of een vrouw bent; een postmenopauzale vrouw of een vrouw in de voortplantingsfase; een volwassene, een kind of een baby in ontwikkeling in de baarmoeder.

Whitten heeft ontdekt dat blootstelling aan plantaardige oestrogenen vroeg in het leven het vermogen van rattenpups

om zich voort te planten kan ondermijnen wanneer ze opgroeien. In haar experiment kregen de rattenmoeders lage doses coumestrol toegediend, een plantaardig oestrogeen dat voorkomt in zonnebloempitten en -olie en alfalfakiemen. Ratten zijn bij de geboorte aanzienlijk minder ontwikkeld dan mensen, dus in de dagen na de geboorte ondergaan ze ontwikkelingsstadia die bij mensen in de baarmoeder plaatsvinden.

De pups in dit experiment leden niet aan duidelijke genitale afwijkingen of andere fysieke afwijkingen in het voortplantingskanaal zoals gezien in de DES-experimenten, maar ze vertoonden wel bewijs van permanente veranderingen die hun vruchtbaarheid saboteerden.

“We denken dat we de seksuele differentiatie van de hersenen hebben veranderd,” zegt Whitten over de blootstelling. **[102]** De vrouwtjes ovuleren niet en zijn steriel omdat hun hersenen niet reageren op het hormoon dat de ovulatie op gang brengt - een indicatie dat ze vermannelijkt zijn. De mannetjes daarentegen zijn vervrouwelijkt, vertonen minder opstijggedrag en minder zaadlozingen. Voor een rat zijn de eerste tien dagen na de geboorte de kritieke periode voor de ontwikkeling van de hersengebieden die verband houden met seksueel gedrag.

Maar dezelfde voedingsmiddelen die de ontwikkeling voor de geboorte of vroeg in het leven verstoren, kunnen helpen ziekten te voorkomen bij een volwassene. Bewijs dat voedingsmiddelen met veel plantaardige oestrogenen, zoals sojabonen, kunnen beschermen tegen

borst- en prostaatkanker heeft veel wetenschappelijke interesse gewekt en nieuw onderzoek naar plantaardige oestrogenen. Talrijke onderzoeken hebben oestrogenen, zelfs die van nature in het lichaam voorkomen, in verband gebracht met kanker, waarbij werd gesuggereerd dat hoe groter de levenslange blootstelling van een vrouw is, hoe groter het risico. Onderzoekers denken dat plantaardige oestrogenen beschermend kunnen zijn omdat ze zwakker zijn dan de natuurlijke oestrogenen die in het lichaam worden gemaakt. Als ze oestrogeenreceptoren in de borst bezetten en de natuurlijke oestradiol verdringen, zouden ze de levenslange blootstelling van een vrouw aan oestrogeen kunnen verminderen.

Wat je in gedachten moet houden, zegt Hughes, is dat planten en de dieren die ze eten, waaronder mensen, een lange evolutionaire geschiedenis delen. Gedurende vele generaties zijn de meest gevoelige individuen, degenen die steriel werden van het eten van oestrogeenhoudend voedsel, uit de populatie verdwenen. Al diegenen die in staat waren om ten minste enkele nakomelingen te produceren, gaven een bepaalde mate van weerstand door. Dit soort evolutionaire uitdunning vindt plaats vanwege individuele verschillen.

De ontdekking dat DDT kon werken als een oestrogeen moet in 1950 een unieke curiositeit hebben geleden, maar helaas is het verre van uniek gebleken. In de afgelopen halve eeuw hebben dezelfde chemische ‘laboratoria’ die dit “wonderbaarlijke” pesticide produceerden een heleboel andere synthetische chemicaliën gemaakt die ook hormonen kunnen verstoren. We zijn traag geweest om deze bedrei-

ging te herkennen of om ons te realiseren dat de wereld doordrongen is geraakt van hormoonverstorende synthetische chemicaliën.

Toen mannelijke arbeiders in een chemische fabriek extreem lage spermawaarden ontwikkelden na blootstelling aan het pesticide kepone, werd het duidelijk dat DDT niet de enige synthetische chemische stof was die oestrogeenachtige effecten kon veroorzaken. Andere stoffen werden snel aan de lijst toegevoegd. Net als DDT waren deze synthetische chemicaliën niet bedoeld als medicijnen of hormoonnabootsers. **[103]** Ze werden uitgevonden door scheikundigen in laboratoria om insecten te doden die gewassen bedreigden en om fabrikanten nieuwe materialen te geven zoals plastic. Per ongeluk hadden de scheikundig ingenieurs echter ook chemicaliën gemaakt die de vruchtbaarheid en het ongeboren kind in gevaar brengen. Erger nog, we hebben ze onbewust wijd en zijd over de aarde verspreid.

Hoeveel door de mens gemaakte chemicaliën verstoren de chemische boodschappen van het lichaam? Niemand weet het en niemand heeft de tienduizenden synthetische chemicaliën die sinds de Tweede Wereldoorlog zijn gemaakt, systematisch onderzocht op dergelijke effecten. Net als bij kepone, dat nu verboden is, zijn veel van de bekende chemicaliën bij toeval ontdekt.

Tot nu toe hebben onderzoekers minstens eenenvijftig synthetische chemicaliën geïdentificeerd - waarvan er veel alomtegenwoordig zijn in het milieu - die op de een of andere manier het endocriene systeem verstoren. Sommige bootsen oestrogeen na, zoals DES, maar andere verstoren andere de-

len van het systeem, zoals testosteron en de schildklierstofwisseling. Deze lijst van hormoonverstoorders omvat grote chemische families zoals de 209 verbindingen die geclassificeerd zijn als PCB's, de 75 dioxines en de 135 furanen, die een groot aantal gedocumenteerde verstorende effecten hebben.

De meeste discussies over hormoonverstorende chemicaliën richten zich onvermijdelijk op DDT, de PCB's en dioxine, maar niet omdat zij noodzakelijkerwijs de enige of de ernstigste bedreiging vormen. Ze krijgen het leeuwendeel van de aandacht omdat dit toevallig de enige hormoonverstorende chemische stoffen zijn die wetenschappers grondig hebben bestudeerd. Deze bekende gevallen zijn weliswaar verre van het hele verhaal, maar ze dienen wel om een veel breder probleem te illustreren, dus krijgen ze ook veel aandacht in dit boek. De omvang van dit probleem is nog onduidelijk, maar degenen die de lijst met hormoonverstoorders hebben zien groeien, denken dat het tijdperk van ontdekking nog lang niet voorbij is. “Er zijn er waarschijnlijk nog veel meer,” zegt John McLachlan.

Naarmate het aantal hormoonverstorende chemicaliën toeneemt, maakt Claude Hughes zich zorgen. Hij benadrukt dat mensen geen evolutionaire geschiedenis hebben met deze synthetische verbindingen. Deze door de mens gemaakte oestrogeen imitaties verschillen op fundamentele manieren van plantaardige oestrogenen, merkt hij op. Het lichaam is in staat om de natuurlijke oestrogeen nabootsingen af te breken en uit te scheiden, terwijl veel van de door de mens gemaakte verbindingen de normale afbraak weerstaan en zich

ophopen in het lichaam, waardoor mensen en dieren worden blootgesteld aan lage niveaus maar langdurige blootstelling. [104] Dit patroon van chronische hormoonblootstelling is ongekend in onze evolutionaire ervaring en aanpassing aan dit nieuwe gevaar is een kwestie van millennia in plaats van decennia. Hij maakt zich zorgen dat een deel van de bevolking gevoelig zal zijn. Hij maakt zich zorgen over zijn dochter en zoon en de kleinkinderen die hij over een paar jaar verwacht. Wat als zijn kinderen gevoelig zijn? Wat als ze zich niet kunnen voortplanten door het eten van dit spul?

Sommigen zijn misschien geneigd om de conclusie te trekken dat, omdat er al zoveel natuurlijke oestrogenen in de natuur voorkomen, we ons dus geen zorgen hoeven te maken over synthetische chemicaliën die de hormonen verstoren. Dit soort argumenten is opgedoken in de discussie over kankerverwekkende stoffen, sinds sommige onderzoekers hebben ontdekt dat kankerverwekkende stoffen zowel door natuurlijke als door industriële processen kunnen worden geproduceerd, en het heeft de meeste gewone mensen hopeeloos in verwarring gebracht. Velen halen gewoon hun schouders op en zeggen dat ze zich geen zorgen hoeven te maken als alles kanker kan veroorzaken. In dit geval is het echter belangrijk om de cruciale verschillen tussen natuurlijke en synthetische hormoonimitaties te erkennen. Veel van de door de mens gemaakte hormoonimitaties vormen zelfs een groter gevaar dan natuurlijke stoffen omdat ze jarenlang in het lichaam kunnen blijven, terwijl plantaardige oestrogenen binnen een dag kunnen worden geëlimineerd.

Ongeacht of het natuurlijke of door de mens gemaakte stof-

fen zijn, er is reden om voorzichtig te zijn met alle hormoonverstorende chemicaliën. Het is waar dat mensen zich gedurende miljoenen jaren hebben aangepast aan de aanwezigheid van hormoonnabootsende stoffen in veel voedselplanten. Maar hoewel we manieren hebben ontwikkeld om met dergelijke stoffen samen te leven, betekent dit niet dat ze onschadelijk zijn. Je moet nooit uit het oog verliezen waarom planten ze maken: om de vruchtbaarheid te saboteren. Onze voorouders maakten gebruik van deze krachtige chemicaliën door reuzenvenkel, wilde wortel en granaatapfel te gebruiken voor geboortebeperking en abortus. Zelfs natuurlijk voorkomende hormoonnabootsingen kunnen de ontwikkeling van ongeboren of jonge kinderen verstoren. Gebaseerd op dierstudies over de ontwikkelingseffecten van plantaardige oestrogenen vraagt Hughes zich af of het verstandig is om babyvoeding te gebruiken die soja bevat, dat oestrogene verbindingen bevat, totdat er uitgebreidere studies zijn uitgevoerd.

Terwijl sommige wetenschappers proberen hormoonverstorende chemicaliën te identificeren, onderzoeken anderen de gevaren die ze zouden kunnen opleveren.

[105] In het verduisterde laboratorium van het U.S. Environmental Protection Agency's Health Effects Research Laboratory in Research Triangle Park, North Carolina, flitsen dia's met genitaliën van ratten, verwarde geslachtsklieren en allerlei seksuele verwarring op het scherm. De man aan de bedieningsknop is Earl Gray, een reproductietoxicoloog die zijn brood verdient met het bestuderen van hoe chemische stoffen de seksuele ontwikkeling verstoren. Hij beschrijft

alle manieren waarop synthetische chemicaliën een ravage aanrichten in de hormonen en laat de gevolgen zien voor degenen die er in de baarmoeder aan worden blootgesteld. Zijn fascinerende en verontrustende diavoorstelling doet denken aan de titel van het liedje van Paul Simon, maar met een kleine herziening. Er moeten wel vijftig manieren zijn om je vruchtbaarheid te verliezen - of meer.

Hij stopt bij een foto van een rattenbuik, die van een mannetjesrat die eruitziet als een vrouwtje. Gray wijst op de roze tepels die door de witte vacht van de rat steken. Mannelijke ratten van dit ras horen helemaal geen tepels te hebben. De seksuele ontwikkeling van dit mannetje ging mis omdat zijn moeder tijdens de zwangerschap werd blootgesteld aan vinclozolin, een synthetische chemische stof die veel wordt gebruikt om schimmels op fruit te doden. Vinclozolin werd vaak aangetroffen in het voedsel dat kinderen in de Verenigde Staten eten.

Vinclozolin verstoort de ontwikkeling net zo dramatisch als DES of andere oestrogeen imitaties, maar veroorzaakt zijn verwoesting op een andere manier. Ten eerste richt het zich op de androgeenreceptor, die is afgestemd op het mannelijke hormoon testosteron, in plaats van op de oestrogeenreceptor. Net als de mimics, bezet deze chemische stof de receptor, maar in tegenstelling tot de mimics, schakelt het niet de biologische reactie in die normaal gesproken door testosteron wordt uitgelokt. In plaats daarvan blokkeert vinclozolin simpelweg de receptor en laat het de testosteronboodschappen niet door. Dit is net zoals het blokkeren van de lijn van een mobiele telefoon, zodat deze altijd bezet is en de be-

doelde berichten worden geblokkeerd. Zonder deze testosteroonsignalen ontspoord de mannelijke ontwikkeling en worden jongens geen jongens. In plaats daarvan stranden ze

in een ambigue toestand, waarin ze niet als man of vrouw kunnen functioneren. In wetenschappelijke termen zijn dit “intersekse” individuen of hermafrodieten - een term die afkomstig is van de Griekse godheid Hermafrodiet die door klassieke beeldhouwers werd afgebeeld als een figuur met mannelijke genitaliën en vrouwelijke borsten.

Gray en zijn collega William Kelce hebben onlangs ook ontdekt dat DDE, een alomtegenwoordige chemische stof en het afbraakproduct van DDT dat het meest wordt aangetroffen in het menselijk lichaam, werkt als een androgeenblokker. [106] Net als vinclozolin bindt het zich aan de androgeenreceptor en blokkeert het deze, zodat de lichaamseigen signalen niet doorkomen. Gray gelooft dat er meer anti-androgenen te ontdekken zijn en dat er meer in het milieu aanwezig zijn dan iemand ooit vermoedde.

Gray probeert een punt te benadrukken dat vaak over het hoofd wordt gezien: oestrogeen nabootsers zijn slechts één manier van hormoonverstoring, slechts één van de gevaren voor de seksuele ontwikkeling en vruchtbaarheid. Maar al te vaak wordt de dreiging van hormoonverstorende chemicaliën uitsluitend gezien als een probleem van oestrogeen imiterende stoffen. Dit is misschien begrijpelijk. Vanwege de DES-ervaring hebben wetenschappers door de mens gemaakte chemicaliën die zich aan de oestrogeenreceptor kunnen binden al meer dan twintig jaar bestudeerd en alles beschreven van de werking op cellulair niveau tot de levens-

lange gevolgen voor mensen die in de baarmoeder zijn blootgesteld. In elke discussie over het potentiële gevaar zal DES als belangrijkste referentiepunt dienen. Er is zekerheid over hoe het werkt.

De gewillige aard van de oestrogeenreceptor is een andere reden waarom oestrogeen nabootsingen veel aandacht krijgen. Wetenschappers hebben nooit een eenvoudig structureel kenmerk gevonden dat alle vreemde chemische stoffen waar de oestrogeenreceptor mee omgaat gemeen hebben, hoewel ze vaak spreken over het feit dat deze moleculen plat of “vlak zijn”. Feit blijft echter dat de oestrogeenreceptor bindt aan veel chemische stoffen met opvallend verschillende structuren.

De politiek rond borstkanker heeft er ook toe bijgedragen dat oestrogeen in het middelpunt van de belangstelling is komen te staan. Omdat blootstelling aan oestrogeen het risico op borstkanker verhoogt, hebben onderzoekers verbanden onderzocht tussen het aantal gevallen van borstkanker en oestrogene verbindingen die zich ophopen in borstweefsel en andere vette delen van het lichaam. Sommige belangengroepen hebben synthetische chemicaliën aangewezen als de hoofdverdachte voor de gestage toename van borstkanker met één procent per jaar sinds de Tweede Wereldoorlog.

Maar het is gevaarlijk om je zo op oestrogeen te richten, waarschuwt Linda Birnbaum, hoofd van de afdeling milieutoxicologie van het EPA Health Effects Research Laboratory. Oestrogeen is slechts één onderdeel van het gecompliceerde, geïntegreerde endocriene systeem en, zegt ze, syn-

thetische chemicaliën richten zich vaker op andere onderdelen van het systeem dan dat ze processen verstoren waarbij oestrogeen betrokken is.

[107] De bijnieren, die stresshormonen produceren, worden meer dan enig ander orgaan getroffen door synthetische stoffen, gevolgd door de schildklier. Verstoringen in een deel van een systeem hebben de neiging om snel door te werken in andere systemen van het lichaam. Hoewel borstkanker dus in verband kan worden gebracht met pesticiden die oestrogenen bevatten, kan het ook in verband worden gebracht met andere soorten hormoonverstoring. Birnbaum merkt bijvoorbeeld op dat een verminderde schildklierspiegel in verband is gebracht met borstkanker, net als een verhoogde blootstelling aan oestrogeen.

Hoe belangrijk het ook is, oestrogeen en het receptormechanisme zijn verre van het hele verhaal over hormoonontregeling. Door de mens geproduceerde chemicaliën vervormen allerlei hormoonboodschappen en kunnen dit communicatiesysteem verstoren zonder zich ooit aan een receptor te binden. Als mobiele telefoonberichten niet aankomen, ligt het probleem niet noodzakelijkerwijs bij je telefoon. Er kunnen ergens anders in het systeem problemen zijn, zoals in de satelliet die het bericht van continent naar continent doorstuurt of in de zender die het bericht de ruimte in stuurt. Hetzelfde geldt voor het endocriene systeem.

“Als we alleen denken in termen van oestrogeniciteit, missen we de boot,” waarschuwt Earl Gray.

Een andere grote klasse van fungiciden bijvoorbeeld, leden

van de pyrimidine carbinol familie, remmen het vermogen van het lichaam om steroïde hormonen te produceren, zodat vitale boodschappen nooit worden verzonden. Vreemd genoeg verstoren ze de hormoonproductie om precies dezelfde reden waarom ze schimmels verhinderen om te groeien, door de synthese van vetverbindingen, sterolen genaamd, te verhinderen. De schimmel heeft deze vetachtige - stoffen nodig om celmembranen te vormen en zonder deze stoffen komt de groei tot stilstand. Mensen en andere zoogdieren vormen steroïde hormonen uit een veelbesproken lid van deze zelfde chemische familie, cholesterol.

En zelfs binnen de groep verbindingen waarvan bekend is dat ze de oestrogeenspiegel verstoren, kunnen andere mechanismen aan het werk zijn. Hoewel DDT wordt gezien als een klassieke oestrogeen nabootser die de hormoonspiegels verhoogt, is dit slechts één van de effecten in het lichaam. Volgens Gray heeft DDE, de vorm van DDT die het langst in het lichaamsvet van mensen en dieren achterblijft, het tegenovergestelde effect. Het put hormonen uit door hun afbraak en eliminatie te versnellen, waardoor het lichaam niet alleen een tekort heeft aan oestrogeen, maar ook aan testosteron en andere steroïde hormonen. [108] Dit kan leiden tot abnormaal lage hormoonspiegels. Omdat een foetus in ontwikkeling extreem gevoelig is voor hormoonspiegels, kan te weinig net zo verwoestend zijn als te veel.

Aan de andere kant kunnen vreemde chemicaliën die niet fungeren als hormoonnabootsers of -blokkers de hormoonspiegels van het lichaam verhogen door de fysiologische processen te verstoren die hormonen afbreken zodat ze kun-

nen worden uitgescheiden. Sommige chemicaliën deactiveren de enzymen die bij dit proces betrokken zijn, volgens Michael Baker, een enzymspecialist aan de Universiteit van Californië in San Diego. Als een bepaalde chemische stof bijvoorbeeld het enzym verstoort dat helpt bij het afbreken van oestrogeen, dan zou er meer oestrogeen beschikbaar zijn voor de receptoren en zou er indirect een oestrogeen-effect optreden zonder dat het zich bindt aan de receptor. Op basis van de reactie van het lichaam zou je zo'n chemische stof kunnen verwarren met een hormoonnabootser.

Volgens Earl Gray hebben dierstudies naar hormoonverstorende chemicaliën een duidelijke en directe relevantie voor mensen. In het bredere milieudebat hebben sommigen de voorspellende waarde van rattenstudies voor de beoordeling van mogelijke kankerrisico's van synthetische chemicaliën voor mensen in twijfel getrokken op grond van het feit dat dieren en mensen soms verschillend reageren op een chemische stof. Het gebruik van dieren om hormoonverstorende chemicaliën te bestuderen is echter minder onzeker, legt Gray uit, omdat wetenschappers veel meer begrijpen over de rol van hormonen in de ontwikkeling dan over de biologische gebeurtenissen die leiden tot kanker. Bovendien blijkt uit het bewijsmateriaal dat mensen en dieren over het algemeen op dezelfde manier reageren op hormoonverstorende chemicaliën. De beschikbare gegevens over mensen en de effecten die bij proefdieren zijn waargenomen laten "een perfecte correlatie" zien. Earl Gray zet de onderste steen boven met intensiteit en directheid.

"We weten veel over het proces. We weten dat het kan wor-

den veranderd door chemicaliën. Het is belangrijk om de effecten die je ziet in dierstudies serieus te nemen."

HOOFDSTUK – 06

NAAR DE UITEINDEN VAN DE AARDE

Na meer dan drie maanden van duisternis en schemering komt de zon eindelijk boven de horizon en kondigt de lente aan op het eiland Kongsoya, hoog boven de poolcirkel in de Noorse Svalbardarchipel. Terwijl de dagen snel lengen, wagen de ringelrobben zich uit het water en graven ze hun kraamkamers in de sneeuwophopingen op het ijs vlakbij de kust. Eén voor één roeren de ijsberen zich in hun holen onder de diep opgestoven sneeuw. Alleen zwangere vrouwtjes verschuilen zich voor de winter, terwijl niet zwangere vrouwtjes en mannetjes de maanden van duisternis doorbrengen met het zwerven over grote afstanden over het verschuivende pakij dat dit deel van Spitsbergen het grootste deel van het jaar omringt.

Kongsoya, een rotsachtig, boomloos eiland ten oosten van Groenland op negenenzeventig graden noorderbreedte, is een soort kraamkamer voor de grote witte beer. Zwangere vrouwtjes zoeken vaak de Bogen Vallei van het eiland op en graven hun kraamholen op de zuidhellingen als de winter begint. Daar, in winterslaap tijdens de lange winternacht, bevallen ze van een kilo wegende jongen die ze enkele maanden verzorgen voordat ze in de lente weer tevoorschijn komen met jongen van twintig kilo.

[110] Twaalfhonderd mijl naar het zuiden in Oslo houdt Oystein Wiig, een ijsbeeronderzoeker, meer dan een dozijn zwangere beren van Spitsbergen in de gaten vanuit de warmte van zijn kantoor in het Zoölogisch Museum. Veel over deze beren is een mysterie gebleven vanwege de kou, de duisternis en de afgelegenheid van het hoge noordpoolgebied. Maar nu, met behulp van moderne technologie zoals helikopters en satellieten, kunnen wetenschappers zoals Wiig hun voorheen verborgen leven onderzoeken. Tijdens zijn reizen naar Spitsbergen heeft hij de vrouwelijke beren voorzien van radiohalsbanden die signalen uitzenden naar satellieten die de informatie naar Wiig doorsturen. Als de beren in maart hun hol verlaten, gaan Wiig en zijn assistenten naar Spitsbergen om de nieuwe moeders te volgen en meer te leren over de tweeduizend beren die op de archipel rondzwerven.

Op basis van wat de onderzoekers al hadden geleerd, verwachtte Wiig dat minstens twaalf van de vrouwtjes in winterslaap nakomelingen zouden produceren, waarschijnlijk tweelingen. Maar tot zijn verbazing kwamen in 1992 slechts vijf van de zwangere beren met jongen uit hun holen tevoorschijn.

Een enkel slecht jaar zou geen reden tot paniek moeten zijn, want het succes van een vrouwtje in het produceren van nakomelingen kan van veel dingen afhangen, waaronder de ijsomstandigheden, het weer, het aanbod van zeehonden als voedsel en de dichtheid van de berenpopulaties. De leeftijd waarop vrouwelijke ijsberen zich voor het eerst voortplanten in Spitsbergen was de afgelopen tien jaar met een jaar

gestegen. Wiig speculeert dat dit erop wijst dat de berenpopulatie gezien het beschikbare voedselaanbod haar grens bereikt. Maar de mislukte zwangerschappen waren toch zorgwekkend, gezien wat Noorse onderzoekers in het vet van de ijsberen vinden. Hoewel Spitsbergen afgelegen ligt en onge-rept lijkt, zijn de beren daar sterk vervuild met industriële chemicaliën, waaronder PCB's, het pesticide DDT en verschillende andere persistente door de mens gemaakte ver-bindingen waarvan bekend is dat ze de voortplanting van wilde dieren verstoren. Wiig en zijn collega's verzamelen het vet van levende beren door ze neer te schieten met een verdovingspijltje. Als een beer eenmaal geïmmobiliseerd is, kan Wiig hem een radiohalsband omdoen en in zijn vet boren met een apparaat dat lijkt op een appelboor.

Sommige Svalbardberen dragen wel negentig delen per miljoen PCB's in hun vet - een infinitesimale hoeveelheid volgens normale metingen, maar biologisch gezien een krachtige dosis. Onderzoekers die afnemende zeehondenpopulaties bestuderen hebben ontdekt dat zeventig delen per miljoen PCB's genoeg is om ernstige problemen te veroorzaken bij vrouwtjes, waaronder een onderdrukt immuunsysteem en misvormingen van de baarmoeder en van de eileiders die de eitjes van de eierstokken transporteren. [111] Maar die zeehonden leefden in Waddenzee, voor de kust van Nederland, waar al tientallen jaren industrieel afval vanuit Europa binnenstroomt via de Rijn-Maasmonding. Spitsbergen daarentegen ligt aan het einde van de aarde, honderden mijlen verwijderd van steden, chemische fabrieken, landbouwvelden en stortplaatsen.

Waar kwam dit spul vandaan en hoe kwam het in de beren terecht die in de Arctische wildernis rondzwierven?

Het verhaal van PCB's en hoe ze zich over de hele planeet en in het lichaamsvet van bijna elk levend wezen hebben verspreid, is een van de meest fascinerende en leerzame hoofdstukken in de geschiedenis van het tijdperk van de synthetische chemicaliën. Van de eenenvijftig synthetische chemicaliën die nu geïdentificeerd zijn als hormoonverstoorders, is minstens de helft, waaronder PCB's, “persistent” in die zin dat ze bestand zijn tegen natuurlijke afbraakprocessen die ze onschadelijk maken. Deze langlevende chemicaliën zijn een erfenis en een voortdurend gevaar voor ongeborenen gedurende jaren, decennia of, in het geval van sommige PCB's, meerdere eeuwen.

PCB's, geïntroduceerd in 1929, werden het eerste grote commerciële succes voor een nieuwe elite van chemici die uiteindelijk tienduizenden nieuwe chemische stoffen zouden synthetiseren die nergens in de natuur voorkomen. De ingenieurs creëerden PCB's door chlooratomen toe te voegen aan een molecuul met twee verbonden zeshoekige benzeenringen die bekend staan als bifenyl. Het resultaat van hun geknutsel was een familie van 209 chemische stoffen die gezamenlijk bekend staan als polychloorbifenylen, of PCB's, die al snel enorm nuttige verbindingen bleken te zijn.

In vroege beoordelingen leken PCB's veel deugden en geen duidelijke gebreken te hebben. Ze zijn onbrandbaar en extreem stabiel. Toxiciteitstests brachten destijds geen gevaarlijke effecten aan het licht. Overtuigd van zowel hun veiligheid als hun nut, ging de Swann Chemical

Company, die al snel in 1935 onderdeel zou worden van Monsanto Chemical Company, ze snel in productie en op de markt.

Met de uitvaardiging van federale regelgeving die het gebruik van niet-ontvlambare koelverbindingen in transformatoren in gebouwen voorschreef, vonden PCB's al snel een vaste grote markt in de elektrische industrie. Andere industrieën gebruikten PCB's als smeermiddelen, hydraulische vloeistoffen, snijoliën en vloeibare afdichtingen. [112] Na verloop van tijd vonden deze chemicaliën ook hun weg naar een groot aantal consumentenproducten en dus naar het huis. Ze maakten hout en plastic onbrandbaar. Ze conserveerden en beschermden rubber. Ze maakten stucwerk weerbestendig. Ze werden ingrediënten in verf, vernis, inkt en pesticiden. Achteraf gezien is het duidelijk dat de eigenschappen die ze tot een groot commercieel succes maakten, ze ook tot een van onze ernstigste milieuvervuilers hebben gemaakt.

Hoewel er al in 1936 aanwijzingen waren voor toxische effecten bij werknemers, die erop wezen dat PCB's niet zo veilig waren als eerder werd aangenomen, waren PCB's zesendertig jaar lang op de markt voordat er publiekelijk serieuze vragen kwamen over deze wonderchemicaliën. Ondertussen bleven fabrikanten nieuwe toepassingen bedenken. Van 1957 tot 1971 stopten papierfabrikanten PCB's in hun zelfkopiërend kopieerpapier, waardoor typistes, in een tijdperk vóór het wijdverbreide gebruik van de kopieermachine, duplicaten van documenten konden maken zonder zelfkopiërend papier.

De persoon die als eerste erkende dat PCB's een alomtegenwoordige verontreiniging waren geworden was de in Denemarken geboren chemicus Soren Jensen. In 1964 stuitte Jensen, die aan het Instituut voor Analytische Chemie van de Universiteit van Stockholm werkte, steeds weer op mysterieuze chemische verbindingen toen hij DDT-niveaus in menselijk bloed probeerde te meten. Wat het ook was, Jensen vond het overal waar hij keek - in wildspecimens die drie decennia eerder waren verzameld, in het Zweedse milieu, in de omringende zeeën, in haarmonsters van zijn vrouw en dochtertje. De aanwezigheid van de mysterieuze verontreiniging in monsters van wilde dieren uit 1935 gaf aan dat het geen pesticide op basis van chloor kon zijn, dat pas na de Tweede Wereldoorlog op grote schaal werd gebruikt. Het kostte Jensen meer dan twee jaar onderzoek om de synthetische verontreiniging te identificeren als PCB's. Een verslag van Jensen's bevindingen verscheen voor het eerst in 1966 in het Britse tijdschrift New Scientist.

Toen andere wetenschappers naar PCB's begonnen te zoeken, vonden ook zij ze overal - in de bodem, de lucht en het water; in de modder van meren, rivieren en riviermondingen; in de oceaan; in vissen, vogels en andere dieren. Chemici hebben zich lang verbaasd over de ongrijpbare pieken die herhaaldelijk op hun gaschromatograafdiagrammen verschenen wanneer ze monsters uit de omgeving analyseerden. De pieken, die leken op die van DDT, gaven de aanwezigheid van een of andere chemische stof aan, maar totdat Jensen de pieken vergeleek met behulp van een chemisch monster van een Duitse fabrikant, wisten ze niet wat de ver-

ontreiniging was. Uiteindelijk hadden ze het antwoord-PCB's.

[113] Tien jaar later, in 1976, verboden de Verenigde Staten de productie van PCB's en andere industriële landen volgden uiteindelijk. In een halve eeuw productie had de synthetische chemische industrie wereldwijd (de USSR niet meegerekend) echter naar schatting 3,4 miljard kilo PCB's geproduceerd en een groot deel daarvan was al losgekomen in het milieu en niet meer terug te roepen. Bovendien richtte het verbod zich niet op bestaande PCB's, waardoor het gebruik ervan in gesloten toepassingen - zoals transistors, elektrische voorschakelapparaten en kleine apparaten - ook vandaag de dag nog mogelijk is.

Er is geen manier om precies te ontdekken hoe de PCB's in de ijsberen op de Svalbard archipel terecht zijn gekomen of waar ze vandaan kwamen. Maar onderzoek in de afgelopen twintig jaar heeft wetenschappers een goed inzicht gegeven in hoe PCB's zich door ecosystemen verplaatsen en over lange afstanden migreren. Op basis van deze kennis is het mogelijk om de reis van een individuele PCB molecule voor te stellen. Hoewel de specifieke route en gebeurtenissen in de reis die we nu gaan beschrijven hypothetisch zijn, is de plot een plausibel scenario dat is opgebouwd uit historische verslagen en een groot aantal wetenschappelijke studies.

Onze denkbeeldige PCB-molecule - een chemische stof die onder wetenschappers bekend staat als PCB-153 vanwege de rangschikking van de chlooratomen - bestond al een tijdje voordat het op zijn wereldwijde omzwervingen vertrok net na het einde van de Tweede Wereldoorlog. Toen de

markt voor PCB's in de jaren 1930 begon te groeien, breidde Monsanto Chemical Works de productie uit in zijn fabriek in Anniston, Alabama, waar het een mengsel van de chemische stof bifenyl, een bepaalde vorm van chloor, en ijzervijzel verhitte om PCB's te maken. In de lente van 1947 maakten de arbeiders in de fabriek in Anniston een partij PCB's die vierenvijftig procent chloor bevatte. Toen het chloorgas door het verhitte bifenyl borrelde, bonden zes chlooratomen zich aan één van de bifenylen in de tank en ontstond PCB-153. Na een wasbeurt met alkali en wat destillatie om de nieuw gevormde PCB's te zuiveren, verkocht Monsanto de verbinding - die niet alleen PCB-153 maar ook tientallen andere leden van de grote PCB-familie bevatte - vaak onder de merknaam Aroclor-1254.

[114] Bijna een halve eeuw later zijn de PCB's die op die lentedag werden gemaakt vrijwel overal te vinden: in het sperma van een man die getest werd in een vruchtbaarheidskliniek in upstate New York, in de fijnste kaviaar, in het vet van een pasgeboren baby in Michigan, in pinguïns op Antarctica, in de blauwvintonijn die geserveerd wordt in een sushibar in Tokio, in de moessonregens die op Calcutta vallen, in de melk van een zogende moeder in Frankrijk, in het walvisspek van een potvis die in de Stille Zuidzee vaart, in een wiel rijpe brie, in een knappe gestreepte zeebaars die in een zomers weekend voor Martha's Vineyard aan land gaat. Zoals de meeste persistente synthetische chemicaliën zijn PCB's wereldreizigers.

Onze denkbeeldige molecule van PCB-153 die in een ijsbeer op de hoge Noordpool terecht zou komen, zou zijn eer-

ste reis per trein gemaakt kunnen hebben. Een paar weken na de productie van deze molecule denderde de goederentrein met een lading Aroclor-1254 over de rails in de staat New York op weg naar een fabriek in het westen van Massachusetts waar General Electric elektrische transformatoren maakte.

Deze alomtegenwoordige metalen blikken die aan elektriciteitspalen waren bevestigd, vormden een essentieel onderdeel van het groeiende elektriciteitsnet dat elektriciteit van opwekkingsinstallaties via hoogspanningsleidingen naar huizen stuurde om verlichting, radio's, stofzuigers en koelkasten van stroom te voorzien - de prachtige nieuwe elektrische gemakken van de twintigste eeuw. De transformatoren die in de fabriek van GE in Pittsfield, Massachusetts, werden gemaakt, verlaagden de hoogspanningsstroom van de transmissielijnen tot de lagere spanning die nodig was voor lampen en apparaten.

Vanuit het perspectief van General Electric waren de PCB's een ideaal isolerend koelmiddel voor hun condensatoren en voor transformatoren die gebruikt werden in situaties waar ontvlambaarheid een probleem was. Omdat PCB's niet vlam vatten en verbranden, boden ze een veiliger alternatief voor de ontvlambare olie die in transformatoren werd gebruikt voordat dit nieuwe synthetische product werd ontwikkeld. Het bedrijf had zijn eigen aangepaste formule voor transformatoren ontwikkeld, Pyranol genaamd, dat Aroclor en oliën bevatte die het mengde in de fabriek in Pittsfield.

Met de naoorlogse economische boom leek de vraag naar transformatoren en andere elektrische apparatuur onverza-

digbaar. Amerika bouwde zo snel als het kon nieuwe huizen voor de teruggekeerde GI's, huizen die nieuwe apparaten en meer elektrische voorzieningen nodig hadden. Hoewel het erg moeilijk zou zijn om de precieze volgorde van gebeurtenissen die leidden tot de ontsnapping van onze PCB molecule in het milieu te achterhalen, kunnen we ons voorstellen dat de volgende stap in de reis plaatsvond in Pittsfield en op basis van interviews met een voormalige fabrieksmedewerker en openbare documenten kunnen we reconstrueren wat er op een typische zomerdag zou kunnen hebben plaatsgevonden. [115] Die zomer draaide de productielijn in Pittsfield op volle toeren en de pyranol in de opslagtanks van de fabriek bleef niet lang staan. Op een stomende dag in juni greep een arbeider naar een slang op zijn werkplek die via ondergrondse leidingen verbonden was met de opslagtanks. Na een laatste controle van de transformator die hij aan het afwerken was, opende hij de kraan en vulde deze tot de nok met pyranol. Binnen een paar dagen ging onze molecule PCB-153, stevig afgesloten in die nieuwe transformator, per trein terug naar het zuiden.

De olieraffinaderijen in Big Spring, een stad in het westen van Texas, waren die zomer ook druk bezig om de naoorlogse economische boom bij te benen, want de explosieve groei van de voorsteden creëerde een nieuwe klasse forenzen die nieuwe auto's en benzine nodig hadden om ze aan te drijven. Een van de kleinere olie- en chemiebedrijven van de stad, nu niet meer in bedrijf, werkte zo snel mogelijk aan de bouw van een nieuw raffinaderijcomplex, maar het project lag al enkele maanden stil terwijl de aannemers wachtten op

de komst van elektrische apparatuur die nabesteld moest worden. De zending transformatoren van GE naar de raffinaderij arriveerde eindelijk in juli. Binnen een week was de distributietransformator die de molecule van PCB-153 bevatte geïnstalleerd en in gebruik genomen in een gebouw dat de controlekamer voor de nieuwe installatie huisvestte.

Er was nog geen maand verstreken voordat een hevig onweer in augustus Big Spring teisterde en de lucht vulde met exploderende donder en bliksemschichten die tijdens de korte, hevige storm op verschillende plaatsen insloegen, waaronder de hoogspanningskabels die de raffinaderij van stroom voorzagen. Toen de stroompiek de transformator bij de controlekamer raakte, reageerde deze met een metalen dreun en het gebouw werd donker.

De volgende ochtend tilde de onderhoudssupervisor van de raffinaderij het deksel van de transformator op om de schade te inspecteren. Hij zag verwrongen, afgebrokkelde spoelen en besloot dat het apparaat niet meer te repareren was, dus vroeg hij een van zijn mannen om het apparaat leeg te maken en naar de stortplaats te brengen. De onderhoudsmedewerker voldeed en bracht de transformator naar de parkeerplaats. Toen hij de transformator kantelde, gutste de olieachtige inhoud op het rode vuil van de parkeerplaats en PCB-153 gleed in de vettige plas. De arbeider dacht dat de olie zou helpen om het ondraaglijke stof te verminderen. Omdat PCB's een affiniteit hebben voor organisch materiaal, hechte de molecule zich snel aan een stofdeeltje.

[116] Maar met de bulderende winden van West-Texas blijft stof nooit lang liggen. Vier maanden later stak er een winter-

storm op die de molecule de lucht in blies. Gordijnen van stof dreven naar de stad Tarzan, waar ze tegen schuren en huizen sloegen terwijl de wind hilde. Het stofdeeltje met PCB-153 bereed de wervelwind en stuiterde met de turbulentie mee als een cowboy op een bronco. De wilde rit eindigde toen het stofdeeltje door de fijne spleten rond een deurdrempel naar beneden dwarrelde op de keukenvloer.

Toen de windstorm voorbij was, overzag de vrouw des huizes haar keuken met een zucht. Het fijne rode stof bedekte de vensterbanken en lag twee inches diep voor de deur. Met een vermoeide efficiëntie pakte ze haar bezem en veegde het stofdeeltje met onze rondtrekkende mol in een stoffer. Terwijl het in de prullenbak viel, zeefde het stofdeeltje naar beneden in een verfrommelde, met vet besmeurde krantenpagina die de huisvrouw die ochtend had gebruikt om haar spek uit te lekken.

Tegen het einde van de week was PCB-153 begraven onder afval op een plaatselijke vuilnisbelt, een informele aangelegenheid in een ravijn met een uitgedroogde beekbedding. Ondanks de beekjes die tijdens zomerse onweersbuien door de groeiende berg afval naar beneden stroomden, bleef de molecule meer dan twee jaar liggen, want in tegenstelling tot veel chemicaliën lossen PCB's niet gemakkelijk op in water.

De late winter van 1948 bracht zware regenval naar het westen van Texas. Na stortbuien met tussenpozen kwam de beek begin maart tot leven en bulderde naar het afval dat langs de kant van het ravijn naar beneden tuimelde. Het kolkende water nam een hap uit één rand van de afvalberg, leg-

de een dwarsdoorsnede van de recente geschiedenis van de stad bloot en veegde de vettige krant en de molecuul van de transformator die was weggelekt stroomafwaarts mee. De volgende ochtend zakte het water en bleef de doorweekte krant achter op een zandbank vijf mijl verderop. PCB-153 hield zich vast aan een vettige vlek op de pagina, afgeschermd van het licht maar blootgesteld aan de warme lentelucht.

Terwijl de zon hoger kwam en de winter overging in de lente, droogde de klomp papier op en warmde langzaam op. Toen de zon begin april op het papier stond, begonnen de PCB's zich plotseling los te maken van het stofdeeltje dat naar boven bewoog en als een damp in de lucht zweefde. De PCB-153 was plots vrij. De reis die zou eindigen in het vet van een Noorse ijsbeer was begonnen.

[117] De molecule ving een warme zachte bries uit het zuidwesten, die naar het noorden en oosten waaide over de met struiken begroeide uitgestrektheid van Oost-Texas naar de geurige dennenbossen van Arkansas. Toen het briesje stijf werd, zeilde het ongehinderd verder naar Missouri. Een stijgende stroom lentelucht duwde het hoger de atmosfeer in en de molecule steeg omhoog, hoger en hoger op de thermiek. Toen de luchtmassa in botsing kwam met een koufront uit het noorden, eindigde de reis abrupt. De wolken lieten hun vocht los in een harde, koude regen en PCB-153 spoelde terug naar de aarde en landde op een klif met uitzicht op de Mississippi ten noorden van St.

Gedurende drie weken van ongewoon koel en bewolkt weer klampte de molecule zich vast aan een rottend blad in een

holte op een rotpunt, maar zodra de zon weer opkwam en de temperatuur steeg, zweefde de molecule weer weg. Hij bleef enkele dagen boven St. Louis hangen en klotste rond in een stilstaande luchtmasa. Toen zich voor de zuidelijke Atlantische kust een Bermudahoog ontwikkelde, stroomde er een luchtstroom vanuit het zuiden doorheen die de PCB-molecule noordwaarts over de stralend groene korenvelden van zuidelijk Illinois naar de Grote Meren voerde.

De luchtstroom die door het Bermudahoog werd gegenereerd, stuwde naar het noorden met de snelheid van een goederentrein. De molecule tuimelde verder in een grote witte bank van cumuluswolken. Maar toen de warme winden door Chicago en over Lake Michigan raasden, kwamen ze een muur van koelere lucht tegen omdat de Grote Meren, zoals elk groot waterlichaam, in de lente langzamer opwarmde dan het omringende land. In de nachtelijke kilte condenseerde PCB-153 plots terug in vloeibare toestand voor de eerste keer sinds het Missouri had verlaten.

De bries ging net voor middernacht liggen en de molecule sloeg neer op het donkere water nabij de aan het meer gelegen stad Racine, Wisconsin. Zoals alle PCB's had de molecule een voorliefde voor oppervlakken, dus bleef hij rondhangen op de grens tussen lucht en water, waar hij af en toe andere rondzwerfende leden van zijn uitgebreide familie tegen het lijf liep. De molecule vond het echter moeilijk om lang ongebonden te blijven. Zijn sterke aantrekkingskracht op organisch materiaal trok hem naar een groep algen, wortelloze planten die als een wollige groene sluier rond het wateroppervlak zweefden. [118] Toen de kans zich voor-

deed, greep de molecuul zich vast aan een van de kleine plantjes en, zich vastklampend aan het wasachtige oppervlak, spoelde hij heen en weer langs de kustlijn bij de monding van de Wortelrivier, meebewegend met de grillen van de wind en de golven.

Planteneters, zoals de watervlo, knabbelden aan de randen van de groene sluier en sommige planten eindigden als hun maaltijdsalade, maar het kleine plantje waar PCB-153 op zat slaagde erin te ontsnappen en zijn volledige levensduur te leven - die drie weken duurde. De alg begon te vergelen en raakte beschadigd aan de randen. De dode plant raakte verzadigd en zonk, PCB-153 met zich meevoerend.

De dode alg kwam op de bodem terecht en werd snel bedekt door aarde die in het meer spoelde vanaf een vuilstortplaats aan de waterkant. Ophopend sediment begroef de molecule steeds dieper in de modder van het meer en met elk jaar dat verstreek, leken de kansen om terug in circulatie te komen kleiner te worden. PCB-153 mag dan ongevoelig zijn voor de aanval van de bacteriën die de meeste chemicaliën afbreken, maar het kan wel begraven worden.

Persistentie wordt gezien als een deugd bij mensen. Bij chemicaliën is het het teken van een onruststoker. De synthetische chemische industrie hielp om gemak en comfort in Amerikaanse huizen te brengen, maar tegelijkertijd ontke- tende het tientallen chemicaliën, waaronder PCB's, die be- rucht werden vanwege hun combinatie van de duivelse ei- genschappen van extreme stabiliteit, vluchtigheid en een bij- zondere affiniteit voor vet.

Naast PCB's gaat het om de pesticiden DDT, chloordaan, lindaan, aldrin, dieldrin, endrin, toxafeen, heptachloor en de alomtegenwoordige verontreiniging dioxine, die wordt geproduceerd in veel chemische processen en bij de verbranding van fossiele brandstoffen en afval. Ze zweven door het voedselweb op vetdeeltjes of verdwijnen in dampen die door de wind naar verre landen galopperen. In Silent Spring plaatste Rachel Carson de persistente pesticiden bovenaan haar meest gewilde lijst. Het kwam niet bij haar op om ook verbindingen zoals PCB's op te nemen, die misschien niet bijzonder giftig zijn (in de gebruikelijke zin van het veroorzaken van onmiddellijke dood of kanker) maar wel persistent - een feit dat wetenschappers pas in 1966 erkenden, vier jaar nadat Silent Spring werd gepubliceerd.

[119] De leden van de PCB-familie die minder chlooratomen bevatten hebben wel een paar vijanden, waaronder twee bacteriën uit het *Achromobacter* geslacht. Maar zware chloorverbindingen zoals PCB-153 zijn ongevoelig voor bijna alles behalve ultraviolette B straling van de zon. Door de manier waarop PCB's zich door het milieu verplaatsen, verborgen in de bodem, sedimenten, dierlijk weefsel en andere plaatsen, komen deze dodelijke stralen er maar zelden mee in aanraking.

Met de welvaart die volgde op het einde van de Tweede Wereldoorlog begon de waterkant in Racine te veranderen. Een halve eeuw lang had de gasfabriek met zijn enorme zwarte opslagcilinders en bergen steenkool boven het centrum van Racine en de waterkant uitgestegen. Met de komst in Wisconsin van een lang geplande aardgaspijpleiding uit het

zuidwesten in 1949 werd de oude fabriek, die kook- en verwarmingsgas maakte van steenkool, geschiedenis.

Een paar jaar later zette Racine de eerste stap in de richting van het terugwinnen van de waterkant voor plezier - een visie die pas in de jaren 1980 volledig gerealiseerd zou worden. Toch was het eerste park aan het water van de stad een belangrijk begin, want de plannen waren om de nu verlaten vuilstortplaats om te vormen tot een recreatiegebied van zevenentwintig acres met bomen, grasvelden, een boothelling en een schilderachtige oeververbinding. Op verzoek van American Legion Post 76 stemde de stad ermee in om het Pershing Park te dopen naar een held uit de Eerste Wereldoorlog, generaal John J. Pershing.

Tijdens de bouw van Pershing Park, die in 1954 begon, begonnen de arbeiders de nieuwe oever aan te leggen waar de schilderachtige oprijlaan zou komen. Kiepwagens volgeladen met enorme brokken steen reden in een mopperende karavaan heen en weer naar de waterkant. Lading na lading stenen tuimelde in het water. Op een lentedag in 1956 stortte een monsterlijke rots naar beneden in het stuk sediment waar de PCB-153 begraven lag. Toen de schok door de begraven modder gierde, kwam de molecule vrij in een uitbarsting van waterstofsulfidegas dat het water vulde met belletjes. De molecule bereed een van de kleine glinsterende bolletjes omhoog naar het licht en de lucht.

Binnen enkele uren zat de PCB-153 vast in het vet van een watervlo die hem had opgegeten terwijl hij langs het oppervlak graasde. Dit was de droom van een vetminnende molecule, een ticket om mee te liften en het zou PCB-153 naar

de top van de voedselketen brengen.

De watervlo werkte als een filter, zeefde kleine plantjes en de PCB's die zich daaraan vasthiielden uit het water terwijl hij zich voedde, dus naarmate de dagen verstreken hoopten zich steeds meer PCB's op in het lichaamsvet van het kleine diertje. [120] Minder persistente vervuilende stoffen hopen zich niet op deze manier op omdat dieren ze kunnen afbreken tot in water oplosbare stoffen en ze uitscheiden. Veel PCB's daarentegen zijn niet afbreekbaar en eenmaal opgenomen worden ze door hun chemische structuur naar het vet van het dier getrokken, waar ze voor onbepaalde tijd blijven. Tijdens zijn korte leven van tien dagen groeide de PCB-concentratie van de vlo tot vierhonderd keer het niveau in het water. Toen hij uiteindelijk werd opgegeten door een kleine garnaal genaamd een mysid, gaf de watervlo deze erfenis van vetminnende persistente chemicaliën door aan zijn roofdier en de PCB-153 schoof een sport hoger op in het voedselweb van Lake Michigan.

In zijn leven zou de mysid honderden watervlooien eten en bij elke hap een bundel persistente chemicaliën erven. De PCB's in zijn vet, zoals PCB-153, bevonden zich in een groeiend gezelschap dat niet alleen hun eigen chemische familie omvatte, maar ook andere persistente verbindingen, zoals DDT en toxafeen, een pesticide dat toen veel werd gebruikt in katoenvelden in het zuiden. Een tijd lang dachten landbouwspecialisten dat toxafeen een verbetering was ten opzichte van DDT omdat het snel verdween van de velden waar het werd gespoten. Het duurde even voordat iemand zich realiseerde dat het helemaal niet verdween; het ver-

dampste en verplaatste zich. Veel ervan kwam met de wind mee naar de Grote Meren.

De mysid werd uiteindelijk een maaltijd voor een spiering - een kleine, smakelijke vis die in flitsende zilveren scholen ronddartelt in offshore-wateren. Terwijl de spiering zich te goed deed aan mysiden en andere kleinere dieren, vermenvulldigden de aanhoudende chemische concentraties zich nog eens zeventien keer.

De spiering was vooral favoriet bij de gezinnen die zich verdrongen in de plaatselijke eetgelegenheden in Racine voor de vrijdagavondvis. Na verloop van tijd getuigde hun lichaamsvet ook van de avonden waarop ze tientallen van deze sappige visjes naar binnen slobberden met een bijbestelling van aardappelpannenkoeken of uitgebreid dineerden met meerforel of cohozalm.

De spiering die onze PCB-153 molecule bevatte, zwom twee jaar door het Michiganmeer voordat hij in een hinderlaag van een meerforel liep. Nu verhuisde de molecule naar de forel en rustte uit in zijn vet voor nog eens vijf jaar totdat een visser de vis van trofeeformaat aan de haak sloeg op de laatste vakantiedag in een familiehuisje in Door County, Wisconsin.

[121] De volgende ochtend ging de forel, verpakt in ijs in een koelbox achterin een stationwagon, oostwaarts over de snelweg richting New York. De molecule begaf zich op deze denkbeeldige reis op nieuw terrein. De visser kon haast niet wachten om thuis te komen en zijn vangst van zijn leven aan zijn visvrienden te laten zien. Het water liep hem in de

mond bij de gedachte aan een onvergetelijk visdiner met zijn gezin.

Drie dagen later belandde de vis echter in de vuilnisbak van de familie in plaats van op een schotel aan tafel. Op het hoogtepunt van een hittegolf in augustus had de stationwagen het begeven, waardoor de familie bij een benzinestation op het platteland van Michigan strandde zonder vervoer en zonder ijs voor de koelbox. Toen het gezin thuiskwam en de koelbox opende, rook de vis naar oud kattenvoer.

Een sneeuwstorm van meeuwen zwierf rond de vuilniswaggen toen die aankwam op een stortplaats buiten Rochester. Toen de ranke vis met de molecuul op de groeiende afvalberg tuimelde, stortten de meeuwen zich erop als shoppers in de uitverkoop, krijsend en elkaar verdringend om een hap te kunnen nemen. Binnen een paar minuten hadden ze het karkas schoongeplukt.

PCB-153 kwam terecht in het vet van een meeuwvrouwkje dat zich al meer dan een dozijn jaar voedt met de vis in Lake Ontario, dus de molecule voegde zich gewoon toe aan haar toch al aanzienlijke voorraad verontreinigende stoffen. In de voedselketen van de Grote Meren nemen de zilvermeeuwen een plek in net onder de zeearenden, die soms een of twee zilvermeeuwen vangen. Tegen de tijd dat PCB's zo hoog in de voedselketen terecht zijn gekomen, zijn de concentraties vermenigvuldigd tot 25 miljoen keer het niveau in het water.

De volgende lente trok het vrouwkje van de zilvermeeuw naar Scotch Bonnet Island, ongeveer honderd mijl ten oos-

ten van Toronto aan de Canadese oever van Lake Ontario. De meeuw en haar partner vestigden zich snel op een goed stuk zand in het midden van de meeuwenkolonie, een locatie die te verkiezen was boven de randen, waar de kuikens kwetsbaarder zouden zijn voor roofdieren. Het paar maakte elkaar het hof en paarde. Daarna schraapte het vrouwtje een holte in het zand en legde twee grote, licht gespikkelde eieren die ze plichtsgetrouw begon uit te broeden.

Een klein snaveltje brak zes weken later door één eierschaal, maar het kuiken kon slechts zwakke pikken geven en stierf, schijnbaar van uitputting. Het andere ei vertoonde geen enkel teken van leven, maar het paartje bleef nog een week op het nest. De moeder verliet uiteindelijk het nest zonder ook maar één nakomeling te hebben.

[122] PCB-153 en zijn verwanten waren van de moeder meeuw overgegaan in de dooier van het levenloze ei en hadden bijgedragen aan de dood ervan, samen met DDT, dioxine en andere verontreinigende stoffen. Een stinkdier nam het rottende ei vijf dagen later mee, maar dacht er toen beter over om het op te eten en liet het vallen op een rots bij de kust, waar het kapot sloeg. Een deel van de dooier spatte in het water en PCB-153 ging op een andere reis door de voedselketen, dit keer via een rivierkreeft - een klein aaseter die zich op de bodem voedt en de stukjes vette dooier opzuigt die in het ondiepe water langs de kust slingeren.

Het duurde niet lang voordat de rivierkreeft die zich tegoed had gedaan aan de eierdooier het avondeten werd van een Amerikaanse paling die 's nachts op jacht ging in het ondiepe ondiepe water. De paling is een tegendraadse soort als

het op paaien aankomt. Veel soorten, zoals zalm en haring, brengen hun volwassenheid door op zee en keren dan stroomopwaarts terug naar hun geboorteplaats om te paaien. Amerikaanse palingen daarentegen komen het grootste deel van hun leven in zoetwaterrivieren en meren voor ze uiteindelijk een lange pelgrimstocht maken naar de Sargassozee - een gebied in de Atlantische Oceaan tussen West-Indië en de Azoren - om daar te paaien voordat ze sterven. Vreemd genoeg zijn de alen die uit de Grote Meren en andere noordelijke wateren migreren allemaal vrouwtjes, terwijl de alen die uit zuidelijke rivieren migreren meestal mannetjes zijn.

Met het naderen van de zomer begonnen de oudste alen in Lake Ontario, waaronder het zestien jaar oude dier dat de PCB-153 molecule bij zich droeg, veranderingen te ondergaan die duiden op geslachtsrijpheid en voorbereiding op de drieduizend mijl lange reis naar de paaigronden. Hun grijs-groene rug begon donkerder te worden in de richting van zilverzwart, hun gele buik werd witter en hun ogen werden groter en veranderden om beter te kunnen zien in diepere oceaanwateren. Onrustig door de migratiedrang bewogen groepen schieralen zich naar de ingang van de St. Lawrence River, blijkbaar wachtend op een teken dat de tijd rijp was. Toen, op een stormachtige nacht toen de regen in dichte zilveren platen uit een zwarte hemel stroomde, vertrok plotseling een glibberige menigte de grote rivier af richting de Noord-Atlantische Oceaan. De aal die PCB-153 vervoerde zwom meer dan zes maanden met een mystificerende urgentie verder voordat hij uiteindelijk de drijvende vlotten van sargasso zeewier bereikte die deze regio van warme, zoute

wateren zijn naam geven. [123] Daar, onder de heldere tropische wateren ten oosten van de Bahama's en ten zuiden van Bermuda, kwam een kolkende menigte alen, verzameld van de Golfkust tot Newfoundland, tot paaïen en stierf toen van uitputting - hun lange reis eindigde, hun meeslepende missie volbracht.

Het vlees van de paling viel snel uiteen in het warme tropische water en PCB-153 werd afgescheiden in een vetspaander die naar het oppervlak van de Sargasso Zee dreef onder de intense tropische zon. In de hitte verdampte de molecule plotseling weer en, meegevoerd door de heersende winden, begon het naar het noorden te hoppen. Op elke koude plek die het tegenkwam, condenseerde de molecule en vestigde zich op elk beschikbaar oppervlak, om er weer vandoor te gaan zodra de zomerzon het oppervlak opwarmde. Afwisselend vloeibaar en gas, reed het met de wind steeds verder naar het noorden. Het water werd kouder, waardoor het steeds moeilijker werd voor de molecule om in de lucht te komen. In plaats daarvan lifte het mee op een van de kleine drijvende planten op de bodem van het Noord-Atlantische voedselweb, zweefde de Golfstroom in en van daaruit noordwaarts en oostwaarts richting IJsland.

Tweehonderd mijl ten oosten van IJsland greep een klein garnaalachtig diertje, een roeipootkreeftje genaamd, uiteindelijk de plant en PCB-153 toen het een maaltijd uit de rijke wateren van de Noord-Atlantische Oceaan filterde. Vijf dagen later werd een wolk roeipootkreeftjes meegesleurd in een snelle stroming die het snel naar het noorden en oosten voerde als een gigantische transportband naar de rand van

het vaste pakijis in de Groenlandse Zee, waar een grote school Noordpoolkabeljauw zich had verzameld om zich te goed te doen aan de binnenkomende overvloed.

Het grijsgroene water kookte van de etende kabeljauw, een van de meest voorkomende soort in de hoge Arctische wateren. Terwijl één van de kleine vissen zijn maag vol roeipootkreeftjes verteerde, migreerde PCB-153 naar het vetweefsel vetweefsel in de buurt van zijn staart, die al een aanzienlijke voorraad persistente chemicaliën bevatte. Het Arctische voedselweb, waar de kabeljauw deel van uitmaakt, is vrij eenvoudig, maar het bevat veel langlevende dieren die gedurende hun hele leven aanzienlijke hoeveelheden verontreiniging opstapelen. Daarom concentreert en vergroot het Arctische voedselweb persistente chemische stoffen in een nog grotere mate dan dat van de Grote Meren. [124] Hoewel deze kabeljauw verre van een toppredator is, droeg hij PCB's met zich mee in een concentratie die 48 miljoen keer hoger was dan de concentratie in de omringende wateren. Toch is de kabeljauw nog steeds minder besmet dan de zalm uit de Grote Meren, omdat de oceaanwateren waarin ze leven veel schoner zijn.

Arctische kabeljauwen voeden zich het grootste deel van hun leven onder de stevige ijslaag die zich het grootste deel van het jaar over hooggelegen Arctische wateren sluit. Dat seizoen volgde de kabeljauw die PCB-153 bij zich droeg het verschuivende voedselaanbod en in het spoor van een bijzonder overvloedige oogst roeipootkreeftjes zwom hij geleidelijk naar het oostelijke deel van de Groenlandse Zee. Tijdens de ijsperiode zijn ringelrobben uitsluitend afhankelijk

van de scholen kabeljauw die onder het ijs ronddwalen.

Het was slechts een kwestie van tijd voordat de kabeljauw met PCB-153 een maaltijd werd voor een hongerige adolescente zeehond die door het water schoot, voortgestuwd door zijn krachtige achterflippers. Zoals veel zeehonden op zoek naar voedsel, was het jong afgedwaald langs een breuk in het zee-ijs ten westen van de Svalbard Eilanden. Er was die winter goed gejaagd en de zeehond had zijn blubber, dat ondanks zijn korte leven niet alleen PCB-153 bevatte, maar ook een hoge concentratie chloordaan, DDT, toxafeen en andere persistente chemicaliën die vanuit de hele wereld hun weg naar het Noordpoolgebied vonden, aanzienlijk uitgebreid. Een zeehond eet honderden vissen, waarbij hij alle PCB's die zich in de vissen hadden opgehoopt, binnenkrijgt en opslaat. Daarom zijn de PCB-niveaus in de zeehonden acht keer hoger dan in de kabeljauw, of 384 miljoen keer de concentraties in het oceaanwater.

Zodra de zee zich met ijs afsluit, ademen de zeehonden door gaten die ze openhouden door er op regelmatige afstanden met hun neus doorheen te prikken. De grote witte beren kunnen deze gaten van een opmerkelijke afstand ruiken en ze jagen vaak door in een hinderlaag te wachten.

De jonge zeehond was net boven water om adem te halen toen een beer die op zijn buik bij het ademhalingsgat had gewacht, naar voren sprong en het 150 kilo zware dier in één vloeiende beweging uit het water en op het ijs wierp. De ringelrob was op slag dood door de aanval van de vijf jaar oude vrouwtjesbeer, die de jachttechniek van haar moeder had geleerd voordat ze tweeënhalf jaar eerder alleen op pad

ging.

In dertig minuten had ze de beste delen van de zeehond, zoals de huid en de sappige blubber, opgegeten en PCB-1S3 en een aanzienlijke erfenis van synthetische chemicaliën binnengekregen. De beer kwam snel aan in gewicht door de goede jacht, dus toen ze meer vet kreeg, verplaatste de molecule zich naar haar goed geïsoleerde stuit.

[125] Naarmate de lente vorderde, zocht het jonge vrouwtje geleidelijk haar weg naar het landvastе ijs rond Spitsbergen, dat de beste jacht van het jaar biedt. De zeehonden zijn bijzonder kwetsbaar als ze het ijs op gaan om hun jongen te krijgen, dus voor de beren is het leven gemakkelijk. Velen verzamelen zich in deze ijsberenvetstad, waar ze zich dagenlang tegoed doen aan enorme hoeveelheden zeehondenblubber. Sommige dieren worden zichtbaar dik en verdrievoudigen hun lichaamsgewicht.

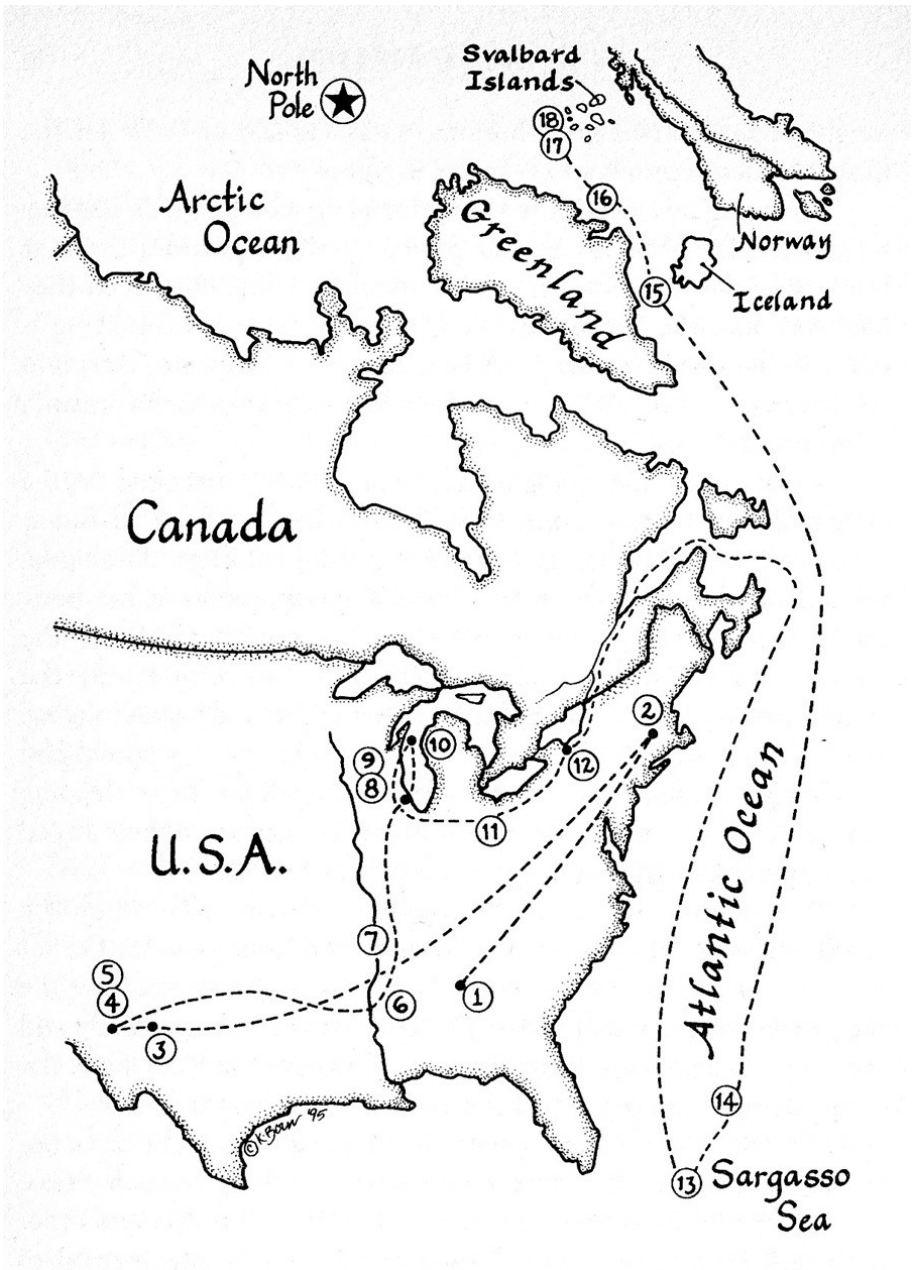
Eind april paart het jonge vrouwtje voor het eerst met een groot mannetje dat ook naar Spitsbergen is gekomen om zich met zeehonden te voeden. Maar zoals bij alle beren, begonnen de bevruchte eitjes zich niet meteen te ontwikkelen. In plaats daarvan droeg het vrouwtje ze rond in haar lichaam tot de volgende maand november, toen ze een hol uitgroef in de groeiende sneeuwbanken op het eiland Kongsoya. Terwijl ze zich installeerde voor de winter, nestelden de bevruchte eitjes zich in haar baarmoeder en begonnen te groeien. In het holst van de winter glipten twee kleine roze welpjes, die elk slechts anderhalf pond wogen, ongemerkt de wereld binnen bij hun slapende moeder. Ze kropen over haar romige oppervlak, vonden hun weg naar haar tepels en be-

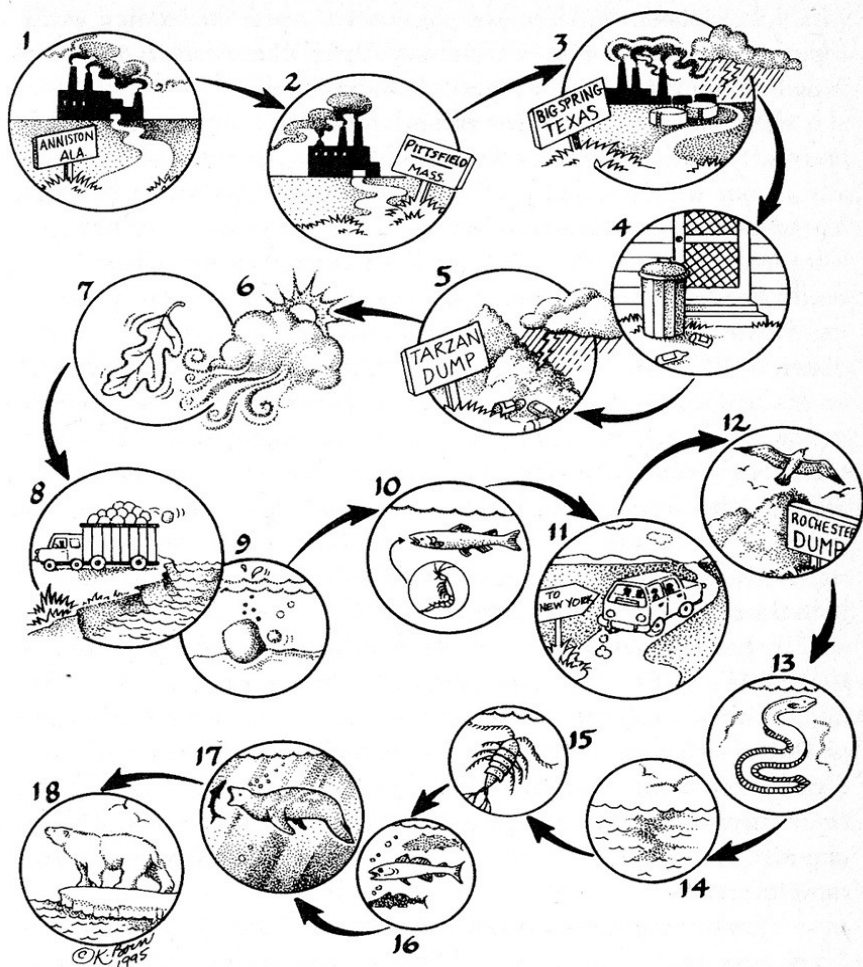
gonnen haar rijke, vette melk te drinken.

De hele winter lang leefden de moeder en de welpen van de ruime vetlagen die ze het jaar ervoor had neergelegd. Toen het vet wegsmolt, was PCB-153 weer in beweging, deze keer in de moedermelk van de vrouwtjesbeer. De jongen gaven gulzig borstvoeding en groeiden snel. Toen een van de vrouwtjes aan de tepel trok, schoot de molecule met een straal warme, dikke melk haar mond in.

Niemand weet nog hoe persistente chemicaliën zoals PCB's ijsberen schaden of hoeveel er nodig is om schade te veroorzaken. Maar gezien de ervaringen met andere diersoorten lijkt het zeker dat PCB-153 en andere persistente hormoonverstorende chemicaliën een groter gevaar vormen voor de zich ontwikkelende welpen dan voor de moeder die de chemicaliën uit de zeehondenblubber binnenkreeg.

De ijsbeertweeling woog meer dan twintig pond tegen de tijd dat de nieuwe moeder uit haar hol tevoorschijn kwam in het honinglicht van de Arctische lente. Ze zouden meer dan twee jaar lang borstvoeding blijven geven en uitgroeien tot ongeveer vierhonderd pond elk op het rijke dieet van ijsbeermelk. Met elke maaltijd kregen ze meer van de persistente chemicaliën binnen die duizenden mijlen naar het afgelegen Noordpoolgebied hadden gereisd. [126] De concentraties PCB's waren 3 miljard keer vermenigvuldigd toen ze zich omhoog bewogen in de voedselketen van het Noordpoolgebied naar de ijsbeer, het roofdier en de grootste carni-voor op het land.





Afbeelding 127 Chemische stoffen die op één continent worden gemaakt, kunnen duizenden mijlen ver weg reizen.,Dit pad volgt de reis van een PCB-molecuul van zijn oorsprong in een fabriek in Alabama naar een raffinaderij in Texas en omhoog via het voedselweb in de regio's van de Grote Meren en de Noord-Atlantische Oceaan. De concentratie van persistente chemicaliën kan miljoenen keren worden vergroot terwijl ze naar de uiteinden van de aarde reizen.

Een decennium later was één van de tweelingen mogelijk één van de zwangere vrouwtjes die uit een hol in Spitsbergen tevoorschijn kwam zonder haar eigen jongen.

[128] Net als ijsberen delen mensen de gevaren van het zich voeden aan de top van het voedselweb. De persistente synthetische chemicaliën die de wereld van de ijsbeer zijn binnengedrongen, dringen ook onze wereld binnen.

Mensen dragen ook PCB's en andere persistente chemicaliën in hun lichaamsvet en ze geven deze chemische erfenis door aan hun baby's. Vrijwel iedereen die bereid is om 2000 dollar neer te tellen voor de tests zal minstens 250 chemische verontreinigingen in zijn of haar lichaamsvet vinden, of hij of zij nu in Gary, Indiana woont of op een afgelegen eiland in de Stille Zuidzee. Je kunt er niet aan ontsnappen. Ironisch genoeg hebben sommige mensen die het verst van industriële centra en vervuilingsbronnen wonen de grootste vervuiling opgelopen: deze chemische stoffen leggen lange afstanden af en bouwen zich onderweg op tot hoge concentraties, vooral in het Noordpoolgebied, dat een laatste rustplaats aan het worden is. Deze synthetische chemicaliën verplaatsen zich overal naartoe, zelfs door de placentabarrière en in de baarmoeder, waardoor de ongeborenen worden blootgesteld tijdens de meest kwetsbare stadia van hun ontwikkeling. Wanneer een nieuwe moeder haar baby borstvoeding geeft, geeft ze hem meer dan alleen liefde en voeding: ze geeft ook hoge doses persistente chemische stoffen door.

Het is al drie decennia geleden dat gezondheidsonderzoekers ontdekten dat DDT, PCB's en andere persistente chemische stoffen zich ophoopten in het lichaamsvet en de moe-

dermelk van mensen en in elk ander deel van het milieu. De metingen waren het makkelijke deel. Sindsdien proberen bezorgde wetenschappers de betekenis ervan te begrijpen. Als we allemaal een alfabetsoep van nieuwe chemische stoffen in ons lichaamsvet meedragen, wat voor invloed heeft dit dan op ons? Hoe beïnvloedt het onze kinderen?

Hoewel onderzoekers niet alle antwoorden op deze vragen hebben, zijn ze ervan overtuigd dat mensen voldoende synthetische chemicaliën bij zich dragen om hun kinderen in gevaar te brengen. Zonder precies te weten hoe al deze chemicaliën werken, afzonderlijk of samen, hebben de re

onderzoekers ze niet alleen in verband gebracht met schade aan nakomelingen van wilde dieren, maar ook met schade aan mensen. We onderzoeken deze verbanden in latere hoofdstukken.

Hoewel prenatale blootstelling het grootste gevaar lijkt op te leveren, maken gezondheidsspecialisten zich ook zorgen over de chemische stoffen die via de moedermelk worden doorgegeven, omdat sommige gevoelige ontwikkelingsprocessen doorgaan in de weken direct na de geboorte. [129] Tijdens het geven van borstvoeding worden zuigelingen blootgesteld aan hogere concentraties van deze chemische stoffen dan op enig ander moment in hun leven. In slechts zes maanden borstvoeding krijgt een baby in de Verenigde Staten en Europa de maximaal aanbevolen levenslange dosis dioxine binnen, die net als PCB's en DDT door het voedselweb zweeft. Dezelfde baby die borstvoeding krijgt, krijgt vijf keer het toegestane dagelijkse niveau van PCB's binnen dat door internationale gezondheidsnormen is vastgesteld

voor een volwassene van 150 pond.

De verontreiniging van moedermelk is vooral ernstig onder de inheemse bevolking in het hoge Noordpoolgebied, waar veel mensen nog steeds het wilde voedsel eten dat het land en de zee bieden. Onderzoekers hebben daar ontdekt dat baby's zeven keer meer PCB's binnenkrijgen dan de gemiddelde zuigeling in het zuiden van Canada of de Verenigde Staten. De PCB's en andere chemicaliën die de baby's besmetten zijn bijna allemaal via wind en waterstromen aangekomen.

Canadese gezondheidsfunctionarissen hebben opgemerkt dat veel kinderen in Inuit-dorpen worden geplaagd door chronische oorinfecties. Recente studies hebben afwijkingen gevonden in het immuunsysteem van deze kinderen, waaronder de ontdekking dat hun lichaam niet de nodige antilichamen aanmaakt wanneer ze worden ingeënt tegen pokken, mazelen, polio en andere ziekten. Het falen van vaccinaties zou deze kinderen veel kwetsbaarder kunnen maken voor ziekten.

De taal Inuktitut die gesproken wordt op Broughton Island in het Canadese Noordpoolgebied bevat geen woord voor besmetting. Dit heeft het voor de Inuit die daar wonen des te moeilijker gemaakt om het nieuws te begrijpen dat Canadese gezondheidsambtenaren hebben gebracht, namelijk dat hardnekkige synthetische chemicaliën het hoge Noordpoolgebied en het voedsel dat ze eten vervuilen. Misschien, suggereerden sommige dorpelingen, vertelden de overheidsfunctionarissen hen dat de dieren PCB's bevatten om hen bang te maken, zodat ze geen walvissen of ijsberen meer

zouden doden. Misschien waren ze in met de dierenrechtenbeweging.

Broughton Island, met een dorp van 450 mensen, ligt voor Baffin Island, ten westen van Groenland, meer dan zestienhonderd mijl van de schoorstenen van Zuid-Ontario en vierentwintighonderd

mijl van de industriële centra in Europa, maar die verre wereld heeft zijn lange schaduw geworpen over het leven van de dorpelingen en vervult hen met onzekerheid en angst. Het bedreigt hun cultuur, die al duizenden jaren standhoudt.

[130] Net als hun voorouders vissen en jagen de mannen van Broughton Island om voedsel op tafel te krijgen. Hoewel ze tegenwoordig misschien met een sneeuwscooter en een motorboot jagen in plaats van met een hondenslee of kajak, jagen ze nog steeds op zeehonden, ijsberen, kariboes en narwallen, kleine walvissen met een spiraalslagtand op hun kop zoals de legendarische unicom. Het eiland heeft wel een winkel die geïmporteerd voedsel verkoopt, maar het dieet van de meeste eilandbewoners bestaat nog steeds grotendeels uit wilde vis en wild.

Omdat het Noordpoolgebied een rustplaats is geworden voor vluchtige, persistente chemicaliën, is de verontreiniging via het voedselweb bij de mens terechtgekomen. Canadese gezondheidsonderzoeken hebben aangetoond dat de mensen op Broughton Island de hoogste PCB-concentraties hebben die in welke menselijke populatie dan ook zijn aangetroffen, met uitzondering van de mensen die bij industriële ongelukken besmet zijn geraakt.

De provinciale gezondheidsambtenaren hebben de dorpe-lingen verteld over de verontreiniging die in hun lichaam is aangetroffen, maar ze hebben hen niet kunnen vertellen wat deze hoge PCB-niveaus betekenen voor hun gezondheid of die van hun kinderen. Ondertussen hebben ze de dorpe-lingen aangeraden om het traditionele Inuit dieet te blijven eten, dat overigens veel voedzamer is dan het voedsel dat per bushvliegtuig wordt geïmporteerd en tegen een hoge prijs in de dorpswinkel wordt verkocht. Hoe dan ook, met melk voor \$4 per fles en kleine kalkoenen voor \$40 per stuk, hebben de meeste dorpe-lingen weinig keus.

. Wat de gevolgen voor de gezondheid ook mogen zijn, het rapport over de hoge PCB-niveaus, dat breed werd uitgeme-ten in de Canadese pers, heeft economische, sociale en psy-chologische beroering veroorzaakt bij de inwoners van Broughton Island. Schijnbaar onbewust van het feit dat zij waarschijnlijk ook hoge PCB-niveaus hebben, zijn andere Inuit gemeenschappen op Baffin Island begonnen de dorpe-lingen te mijden als de “PCB-mensen” en huwelijken met hen te ontmoedigen. Een vishandelaar in het zuiden, die de Arctische zalmforel die door de mannen van Broughton Is-land werd gevangen als specialiteit voor fijnproevers kocht en verkocht, heeft zijn contract opgezegd en daarmee een van de belangrijkste bronnen van inkomsten voor de eiland-bewoners afgesneden.

Het nieuws dat hun moedermelk chemische stoffen bevat, heeft sommige vrouwen bang en wanhopig gemaakt. Eén moeder besloot te stoppen met borstvoeding in een poging haar nieuwe baby te beschermen. Na enkele weken flesvoe-

ding met een mengsel van water en koffiemelk werd de baby opgenomen in het ziekenhuis.

[131] De mensen van Broughton Island zijn geen uniek geval, alleen het meest extreme voorbeeld dat tot nu toe is ontdekt van menselijke besmetting met persistente chemicaliën. Het maakt niet uit waar we wonen, we delen tot op zekere hoogte hun lot. Veel chemicaliën die een bedreiging vormen voor de volgende generatie zijn in ons lichaam terechtgekomen. Er is geen veilige, onbezoedelde plek.

HOOFDSTUK – 07

EEN ENKELE HIT

In de natuur, zo ontdekte Theo Colborn al snel, doken persistente chemicaliën op de meest onverwachte plaatsen op. Begin 1990 wist ze dat het probleem zich veel verder uitstrekte dan de Grote Meren. Haar archiefkasten bevatten tientallen documenten die aantoonde dat wetenschappers dezelfde persistente chemicaliën overal hadden gevonden waar ze ook maar de moeite hadden genomen om te kijken. De vervuiling was echt wereldwijd en goed gedocumenteerd.

Er was ook weinig twijfel dat een verrassend aantal van deze persistente synthetische chemicaliën hormonen kunnen verstoren en de ontwikkeling kunnen verstoren. Er leken steeds nieuwe bij te komen. En als er al enige twijfel bestond over de kwetsbaarheid van de mens, dan had het werk van Howard Bern, John McLachlan, Earl Gray en anderen duidelijk aangetoond dat DES en andere oestrogeen-bedrivers dezelfde soort schade veroorzaken bij de meeste zoogdieren. Gezien de opmerkelijke overeenkomsten in het endocriene systeem bij verschillende soorten, was het waarschijnlijk dat hetzelfde gold voor andere soorten hormoonverstoorders. Het zou verstandig zijn om aan te nemen dat wat bij dieren gebeurde, ook bij mensen kon gebeuren.

[133] Alles bij elkaar overtuigde het bewijs Colborn ervan dat de hormoonverstorende chemicaliën die nu in het milieu aanwezig waren, een potentieel gevaar vormden voor mensen. Maar vormden deze alomtegenwoordige chemicaliën daadwerkelijk een bedreiging? Waren mensen er genoeg aan blootgesteld om schade te veroorzaken?

Toxicologen zijn dol op het axioma dat het de dosis is die het gif maakt. Alleen al de aanwezigheid van een stof veroorzaakt niet noodzakelijkerwijs schade. Hoewel ons lichaamsvet en bloed getuigen van onze blootstelling aan PCB's, DDT, dioxine, chloordaan en een litanie van andere persistente chemische stoffen, worden de hoeveelheden die we bij ons dragen geteld in delen per miljard of zelfs delen per triljoen. Onvoorstelbaar kleine hoeveelheden.

Toch wist Colborn dat het werk van Fred vonn Saal aantoonde dat zelfs kleine verschuivingen in de hormoonspiegels voor de geboorte grote gevolgen hadden voor muizenjongen. Op basis van zijn experimenten zijn tien of twintig delen per biljoen natuurlijk oestrogeen niet onbelangrijk.

Maar oestrogeen is een natuurlijk hormoon en een extreem krachtig hormoon. Hoeveel van een synthetische chemische stof is er nodig om de hormoonspiegels te verstoren en levenslang schade aan te richten? Hoeveel? De vraag achtervolgde Colborn. Ze bleef zoeken in de wetenschappelijke literatuur, van het ene artikel naar het andere, op zoek naar aanwijzingen. Met de passie van een pelsrat verzamelde ze elk relevant bewijs en sloeg zelfs het kleinste beetje op in een steeds groter wordende database over hormoonverstoring. Ze was al drie jaar bezig om de verre studies van hon-

derden onderzoekers in tientallen disciplines samen te voegen tot een samenhangend geheel. Het was het soort werk dat bijna nooit gedaan wordt door de overheid of de universiteiten omdat er geen steun en geen beloning voor is; niemand heeft ooit een aanstelling gekregen voor het analyseren en beoordelen van andermans werk. Maar hoe absurd is het om miljarden uit te geven aan individuele wetenschappelijke studies, maar vrijwel niets om erachter te komen wat ze collectief zeggen over de toestand van de aarde.

Colborn was zelf alleen op het spoor van de hormoonverstoorers gekomen dankzij een gelukstreffer. Als ecologisch wetenschapper was John Peterson Myers gefascineerd door Michael Fry's werk over DDE en meeuwen toen het eind jaren 70 uitkwam en hij besepte toen dat de implicaties waarschijnlijk veel verder zouden reiken dan vogels. [134] Een toevallige ontmoeting met Colborn in 1988 had deze interesse hernieuwd en zette Myers en Colborn aan tot samenwerking. In 1990 werd hij directeur van de W. Alton Jones Foundation en overtuigde hij het bestuur van de particuliere filantropische stichting om een senior beurs voor Colborn in te stellen, zodat zij al haar energie op het onderwerp kon richten.

Terwijl ze op de hoogte probeerde te blijven van de nieuwste wetenschappelijke ontwikkelingen op een half dozijn fronten, had ze meestal weinig tijd om na te denken over de implicaties van wat ze aan het doen was. Maar af en toe zat ze 's avonds laat, alleen, bij het raam van haar appartement met uitzicht op de verlichte koepel van het Capitool in Washington en dacht na over wat alle stukjes bij elkaar zouden

kunnen optellen. De vooruitzichten waren beangstigend. Wat waren de langetermijneffecten van deze hormoonverstorende chemicaliën? Waren we onze eigen vruchtbaarheid en die van wilde dieren aan het saboteren? Was het mogelijk dat we onbewust en onzichtbaar de reproductieve toekomst van onze kinderen ondermijnden? De gedachte leek op het eerste gezicht absurd. Hoe kon de vruchtbaarheid van de mens in gevaar zijn als de wereldbevolking van vijf miljard naar tien steeg? Misschien was ze spoken aan het najagen.

Een paar maanden later was alle twijfel verdwenen. Op een bijeenkomst in Ottawa in de zomer van 1990 hoorde Colborn Richard Peterson van de Universiteit van Wisconsin praten over de verrassende resultaten die zijn laboratorium had gevonden in nieuwe chemische onderzoeken. Het team van de School of Pharmacy had dioxine, een stof die nog beruchter is dan DDT, aan zwangere ratten gegeven om te zien hoe het de ontwikkeling van hun mannelijke nakomelingen zou beïnvloeden. Zoals ze hadden verwacht, veroorzaakte de dioxine schade aan het mannelijke voortplantingssysteem als de pups werden blootgesteld tijdens een kritieke periode in hun prenatale ontwikkeling. Wat de wetenschappers verbaasde was hoe weinig dioxine er nodig was om de schade aan te richten. Ze hadden geen grote dosis of herhaalde doses toegediend, maar ze zagen langetermijneffecten op mannelijke pups, zelfs toen de moederratten slechts één dosis van een verbazingwekkend kleine hoeveelheid dioxine hadden binnengekregen op een kritiek moment. Er was maar één enkele treffer nodig.

In tegenstelling tot veel laboratoriumexperimenten waarbij

dieren doses binnenkrijgen die veel hoger zijn dan de doses die in het milieu voorkomen, hadden deze bevindingen directe en onmiddellijke relevantie voor de echte wereld. De laagste doses die aan de moederratten werden gegeven lagen heel dicht bij de niveaus van dioxine en verwante verbindingen die werden vastgesteld bij mensen in geïndustrialiseerde landen zoals de Verenigde Staten, Japan en Europa.

[135] In de wereld van synthetische chemicaliën heeft dioxine de reputatie van de ergste onruststoker - de meest dodelijke, de meest gevreesde en de meest ongrijpbare voor wetenschappers die de geheimen van zijn toxiciteit proberen te ontrafelen. Laboratoriumproeven hadden aangetoond dat dioxine duizenden keren dodelijker was dan arsenicum voor cavia's, die stierven na het inslikken van slechts een miljoenste gram per kilogram lichaamsgewicht, en het krachtigste carcinogeen ooit getest in een aantal diersoorten.

In tegenstelling tot de meeste andere hormoonverstorende synthetische chemicaliën werd dioxine echter niet opzettelijk gecreëerd. Hoewel er wat dioxine vrijkomt bij vulkanen en bosbranden, is de chemische stof - bij wetenschappers bekend als 2,3,7,8-TCDD en bij het publiek als “de giftigste chemische stof op aarde” - voor het grootste deel een onbedoeld bijproduct van het leven in de twintigste eeuw, een verontreinigende stof die ontstaat bij de productie van bepaalde chloorhoudende chemicaliën zoals pesticiden en houtconserveringsmiddelen, maar ook door het bleken van papier met chloor, het verbranden van afval dat plastic en papier bevat en het verbranden van fossiele brandstoffen. Net als DDT en PCB's is dioxine een vetminnende persis-

tente verbinding die zich ophoopt in het lichaam. En net als andere persistente chemicaliën is het vrijwel overal aangetroffen - in lucht, water, bodem, sediment en voedsel.

Hoewel de discussie zich meestal richt op 2,3,7,8-TCDD, is het belangrijk om te onthouden dat dit slechts het meest giftige en beruchte lid van de dioxinefamilie is, die 74 andere problematische chemische stoffen bevat. Bovendien wordt dioxine vaker wel dan niet aangetroffen in gezelschap van furanen - een verwante familie van contaminanten die 135 chemische stoffen bevat met een structuur die lijkt op die van dioxines en met vergelijkbare toxische en biologische effecten op dieren.

De nog steeds voortdurende Agent Orange controverse draait om deze krachtige chemische stof. Van 1962 tot 1971 dumpte het Amerikaanse leger meer dan 19 miljoen gallons synthetische onkruidverdelgers over 3,6 miljoen acres in Vietnam in een poging om het regenwoud weg te vagen waar de Amerikaanse legerleiding dacht dat vijandelijke troepen zich schuilhielden.

[136] Een van de belangrijkste wapens in deze operatie was Agent Orange, de militaire naam voor een mengsel dat de herbiciden 2,4-D en 2,4,5-T bevatte, de laatste een chemische stof die tijdens de productie gemakkelijk met dioxine werd besmet. Op het hoogtepunt van de campagne tegen het Vietnamese regenwoud sproeiden soldaten Agent Orange niet alleen vanuit vliegtuigen en helikopters, maar ook vanuit boten, jeeps, vrachtwagens en te voet met rugzakspuiten.

In de jaren na hun terugkeer uit Vietnam meldden veteranen

een verscheidenheid aan persoonlijke en familiale medische problemen, gaande van kanker tot handicaps bij hun kinderen. Toen ze ontdekten dat Agent Orange besmet was met dioxine, raakten velen ervan overtuigd dat hun eigen gezondheidsproblemen en die van hun kinderen verband hielden met deze blootstelling tijdens de oorlog.

Na jaren van discussie over de vraag of dioxine verantwoordelijk was voor de gerapporteerde ziektes, ondernam een panel van de National Academy of Sciences op verzoek van het Congres een uitgebreid onderzoek naar het wetenschappelijke bewijs. In het rapport van 1993 vond de groep voldoende bewijs om een verband te leggen tussen blootstelling aan met dioxine verontreinigde herbiciden en drie vormen van kanker: sarcoom van weke delen, non-Hodgkin-lymfoom en de ziekte van Hodgkin.

In 1979 schortte het Amerikaanse Environmental Protection Agency het gebruik van 2,4,5-T op voor de meeste doeleinden, maar pas nadat het herbicide ook op grote schaal was gebruikt op het thuisfront om onkruid en kreupelhout tegen te houden in gazons, rijstvelden, weilanden en naaldbossen, langs bermen van snelwegen en spoorrails en onder hoogspanningsleidingen. De belangrijkste niet-huishoudelijke toepassingen waren goed voor bijna 7 miljoen kilo 2,4,5-T in 1974, volgens federale cijfers. Talloze andere landen hebben ook 2,4,5-T verboden of de wettelijke registratie ervan ingetrokken, waardoor het niet legaal verkocht of gebruikt kan worden, maar sommige landen, zoals Australië, hebben geen actie ondernomen om het gebruik ervan te beperken.

Dioxine kreeg nog meer bekendheid tijdens twee dramati-

sche verontreinigingsincidenten in de Verenigde Staten en Europa.

Een explosie in een chemische fabriek in Noord-Italië in juli 1976 verspreidde een dioxinewolk over de stad Seveso ten noorden van Milaan, waardoor bijna negenhonderd acres land en duizenden omwonenden besmet raakten. Twee weken na het ongeluk besloten ambtenaren uiteindelijk om 724 mensen uit het zwaarst besmette gebied te evacueren.

[137] De dioxineconcentraties die bij sommige inwoners van Seveso werden gemeten - tot 56.000 deeltjes per triljoen - zijn de hoogste die ooit bij mensen zijn gemeten.

Hoewel het ongeluk geen dodelijke slachtoffers eiste, discussiëren wetenschappers nog steeds over de mate van schadelijkheid voor de blootgestelden. Kort na het incident werden minstens 183 gevallen van chloracne bevestigd, een huidziekte die specifiek in verband wordt gebracht met een hoge blootstelling aan dioxine.

Of de blootstelling aan dioxine tot meer miskramen en geboortefwijkingen leidde, is onduidelijk. Veel zwangere vrouwen vroegen na de explosie om een abortus en onder alle omstandigheden is het uiterst moeilijk om veranderingen in het aantal miskramen vast te stellen, omdat veel miskramen vroeg in de zwangerschap plaatsvinden, vaak zonder dat de vrouw weet dat ze zwanger is geweest. Gezondheidsfunctionarissen konden niet bevestigen dat sommige geboortefwijkingen na het ongeluk waren toegenomen, omdat Seveso vóór het incident geen register voor geboortefwijkingen had.

Hoewel veel van het vervolgonderzoek zich heeft gericht op het mogelijk verhoogde risico op kanker bij degenen die bij het Seveso-ongeval werden blootgesteld, is er nog onvoldoende tijd verstreken om dergelijke effecten volledig te kunnen beoordelen. De voorlopige studies die tot nu toe de incidentie van kanker onderzochten, meldden verhoogde percentages voor sommige kankers, maar deze waren controversieel, deels vanwege de moeilijkheden om de blootstelling van mensen die op verschillende afstanden benedenwinds van de centrale woonden, nauwkeurig te bepalen.

Tot voor kort had niemand eraan gedacht om de kinderen van vrouwen die tijdens het Seveso-ongeval aan hoge dioxineniveaus waren blootgesteld, te onderzoeken op eventuele effecten behalve duidelijke geboortefwijkingen. Er worden nu studies uitgevoerd om vast te stellen of er vertraagde effecten zijn op hun seksuele ontwikkeling en vruchtbaarheid.

In 1982 en begin 1983 werd Times Beach, Missouri, een spookstad nadat de federale overheid 112.240 inwoners had geëvacueerd vanwege dioxinevervuiling. Een bedrijf dat betaald werd om de zandwegen te besproeien om het stof laag te houden, had een afvalolie gebruikt die besmet was met dioxine.

Bijna tien jaar eerder had dit bedrijf, dat afgewerkte olie vervoerde, een soortgelijk incident meegemaakt toen het de vloer van een overdekte paardenarena had besproeid met verontreinigde afgewerkte olie. Kort daarna begonnen volgens de rapporten paarden ziek te worden en te sterven, en vogels die in de dakspanten leefden begonnen op de grond te vallen. [138] De eigenaars van de arena en twee jonge

kinderen werden ook ziek met een opvliegende ziekte, maar terwijl 62 paarden uiteindelijk stierven, overleefden de getroffen mensen de besmetting.

In de zaak Times Beach hebben twee kleine onderzoeken gekeken naar de effecten op kinderen van blootgestelde moeders, waarbij aanwijzingen werden gevonden voor afwijkingen aan het immuunsysteem en hersendisfunctie, met name in de bilaterale frontale kwabben. De tweede studie die zich richtte op de gevolgen voor de hersenen, waaraan zeven jongens en meisjes deelnamen, vond een grotere disfunctie bij de meisjes dan bij de jongens, wat suggereert dat de hormoonachtige activiteiten van dioxine een grotere invloed kunnen hebben op zich ontwikkelende vrouwen. Onderzoekers geloven dat een abnormale functie in dit deel van de hersenen indirect van invloed kan zijn op het denkproces door de aandacht, emotionele toestand en motivatie te veranderen.

Er zijn maar weinig synthetische chemicaliën die meer aandacht hebben gekregen dan dioxine, deels vanwege de legendarische giftigheid ervan. De afgelopen twintig jaar hebben de overheid en de privé-industrie honderden miljoenen dollars aan onderzoek gefinancierd om te kijken hoe dioxine in cellen werkt en of werknemers die op het werk aan hoge concentraties worden blootgesteld meer kanker krijgen. De vele onderzoeken hebben interessante en soms zorgwekkende resultaten opgeleverd die aantonen dat dioxine een breed scala aan effecten op het lichaam heeft, zoals het verlagen van het aantal zaadcellen bij blootgestelde mannen en het onderdrukken van het immuunsysteem. Desondanks spitste

het verhitte publieke debat in de Verenigde Staten over de gevaren van dioxine zich bijna uitsluitend toe op de vraag of dioxine inderdaad een krachtig kankerverwekkende stof was. Voor een groot deel gebaseerd op een heranalyse van een veertien jaar oude studie naar door dioxine veroorzaakte levertumoren bij ratten en creatieve interpretaties van nieuwe wetenschappelijke en epidemiologische bevindingen, bleef de papierindustrie eind jaren tachtig beweren dat dioxine minder gevaarlijk was dan eerder werd aangenomen. In 1991 herzag het Amerikaanse Environmental Protection Agency zijn standpunt over dioxine.

De herbeoordeling van de risico's van dioxine door de EPA was al aan de gang toen de studie van Richard Peterson in Wisconsin insloeg met de schok van een onverwachte asteroïde. Hier was het bewijs dat dioxine dramatische effecten kon hebben bij zeer lage doses - bij niveaus die dicht lagen bij de niveaus die routinematig bij mensen worden aangetroffen. In een paar maanden tijd keerde het tij en verschoof het dioxinedebat van de potentiële kankerverwekkende werking van dioxine naar de ontwikkelings- en voortplantingstoxiciteit. Kort daarna herhaalden EPA-wetenschappers de studies waarbij dioxine werd toegediend aan zwangere ratten en vonden vergelijkbare effecten bij vrouwelijke nakomelingen.

[139] Deze ommekeer in het wetenschappelijk denken was verbluffend. De studies suggereerden dat de ergste angsten voor dioxine wel eens gerechtvaardigd zouden kunnen zijn. Dioxine zou wel eens gevaarlijker kunnen zijn dan iedereen had vermoed, maar in tegenstelling tot wat velen hadden ge-

dacht, was de grootste bedreiging niet kanker. Het nieuwe gevaar was zijn vermogen om natuurlijke hormonen te verstoren.

De slechte reputatie van dioxine zorgde voor een gestage stroom van financiering naar een groot aantal onderzoekers die onderzochten wat deze chemische stof met het lichaam deed en hoe het dat deed, maar het laboratorium van de Universiteit van Wisconsin onder leiding van Peterson was een van de weinige plaatsen waar de effecten op het endocriene systeem werden onderzocht. Robert Moore, een van Peterson's collega's aan de School of Pharmacy en het Environmental Toxicology Center, was deze onderzoekslijn begonnen omdat hij geloofde dat deze het grootste potentieel had om de toxische effecten van het beruchte 2,3,7,8-TCDD te verklaren.

Dioxine vormde een fascinerende uitdaging voor toxicologen als Moore en Peterson omdat het geen gewoon gif is. Dieren die een dodelijke dosis dioxine toegediend krijgen, vallen niet snel om; ze verliezen hun eetlust en ondergaan een mysterieuze weggwijning voordat ze weken later daadwerkelijk sterven. Dioxine veroorzaakt ook een aantal andere niet-dodelijke reacties die soms tegenstrijdig lijken. Het verstoort op de een of andere manier de oestrogenreacties, waarbij het soms lijkt alsof het een oestrogenimitator is en soms alsof het oestrogen blokkeert, maar studies hebben aangetoond dat dioxine niet eenvoudigweg een oestrogenimitator is zoals DES. Het produceert blijkbaar oestrogene of antiestrogene effecten zonder samen te werken met de oestrogenreceptor. Ondanks al het jarenlange onderzoek is het

nog steeds onduidelijk hoe dioxine precies zijn kwaad doet. Peterson en Moore dachten dat het endocriene systeem de sleutel tot dit mysterie zou kunnen zijn.

Zoals ze al vermoedden, bevestigden hun experimenten met volwassen mannelijke ratten dat dioxine de hormoonspiegels kon verstoren. Wanneer volwassen ratten dioxine toegediend kregen, zorgde dit ervoor dat hun testosteronniveau daalde en dat hun testikels en andere geslachtsorganen gewicht verloren. Maar er was veel dioxine nodig om zulke reacties te veroorzaken - bijna genoeg om sommige ratten die in de experimenten werden gebruikt te doden.

[140] Hoewel Moore en Peterson van mening waren dat het gemakkelijker was om het mechanisme van toxiciteit te onderzoeken als men hoge doses gebruikte, begon deze aanpak halverwege de jaren tachtig in ongenade te vallen. Critici vielen experimenten met hoge doses aan en zeiden dat ze geen directe relevantie hadden voor de echte wereld, waar mensen en dieren worden blootgesteld aan veel kleinere hoeveelheden dioxine.

Uiteindelijk hadden Moore en Peterson weinig keus. Het National Institutes of Health, dat hun werk financierde, dwarde hen in de richting van het werken met lagere doses die het federale agentschap als meer direct relevant voor de menselijke gezondheidsrisico's beschouwde. "We kregen de boodschap dat we moesten stoppen met onderzoek naar hoge doses als we gefinancierd wilden blijven," zei Moore.

Lang voordat hun TCDD-experimenten met hoge doseringen waren afgelopen, las Moore in 1983 een artikel van

Dorothea Sager, een onderzoeker aan de Green Bay campus van de Universiteit van Wisconsin, waarin ze een aantal veranderingen aantrof, waaronder verminderde vruchtbaarheid, bij mannelijke ratten die via de moedermelk aan PCB's waren blootgesteld. Het werk van Sager toonde het cruciale belang van timing aan, niet alleen wat betreft de ernst van de gevolgen, maar ook wat betreft de aard ervan. Haar bevindingen inspireerden Moore en Peterson om te zoeken naar vergelijkbare patronen als gevolg van blootstelling aan TCDD. Ze haalden een afgestudeerde student, Tom Mably, erbij om de eigenlijke experimenten uit te voeren.

Dit team keek verder dan de simpele vraag of ratten die blootgesteld waren aan dioxine later wel of geen nakomelingen konden krijgen. Deze alles-of-niets-benadering was volstrekt ontoereikend. In plaats daarvan wilden ze kijken naar gevoeliger aspecten van reproductieve gezondheid, zoals het aantal zaadcellen en paringsgedrag.

zoals het aantal zaadcellen en paringsgedrag, die niet vaak gemeten worden in toxiciteitsonderzoek. Zoals Moore het zegt: "We zochten op verschillende manieren naar antwoorden. We hebben verschillende stenen omgedraaid." Moore denkt zelfs dat als ze niet meer hadden gedaan dan de gebruikelijke vruchtbaarheidstests, het werk zonder enige rimpeling in de vergetelheid zou zijn geraakt.

De resultaten van Mably overtroffen hun verwachtingen ruimschoots. Hoewel er een bijna dodelijke dosis voor nodig was om het voortplantingssysteem van volwassen ratten aan te tasten, ontdekten ze dat zelfs kleine doses langetermijnschade aanrichtten aan het voortplantingssysteem van

mannetjes die in de baarmoeder en via de moedermelk werden blootgesteld. In deze studie hadden de moederratten slechts een enkele dosis dioxine geslikt op de vijftiende dag van hun zwangerschap, een kritieke periode in het proces van seksuele differentiatie dat ervoor zorgt dat mannetjes mannelijk worden en geen vrouwtjes. [141] Toen ze volwassen werden, vertoonden de mannelijke pups van moeders die dioxine hadden geslikt een afname van het aantal zaadcellen van wel zesenvijftig procent in vergelijking met de pups van moeders die geen dioxine hadden geslikt. Bovendien vertoonden de mannelijke pups zelfs bij de laagste dosis een daling van het aantal zaadcellen met wel veertig procent.

“Het is een dramatische illustratie van hoe gevoelig het mannelijke voortplantingssysteem kan zijn in een kritieke fase van de ontwikkeling,” zei Moore. “Als we dezelfde dosis aan een geslachtsrijp mannetje zouden geven, zouden we niets kunnen ontdekken in termen van voortplantingseffecten.” De onderzoekers ontdekten dat het mannelijke voortplantingssysteem ongeveer honderd keer gevoeliger is voor dioxine tijdens de vroege ontwikkeling dan op volwassen leeftijd.

Dioxine bleek ook invloed te hebben op het seksuele gedrag van mannelijke pups die vroeg in hun leven blootgesteld waren, wat suggereert dat het de seksuele differentiatie van de hersenen verstoord had. Op volwassen leeftijd vertoonden deze mannetjes verminderd mannelijk seksueel gedrag bij paringsontmoetingen en een verhoogde neiging tot het vertonen van vrouwelijk seksueel gedrag, zoals het buigen

van de rug in een typisch vrouwelijke lordose reactie, wanneer ze behandeld werden met hormonen en vervolgens bedreven werden door een ander mannetje.

Earl Gray herhaalde dit dioxine-experiment in het voortplantingstoxicologisch laboratorium van het Environmental Protection Agency in Research Triangle Park, North Carolina, met behulp van een andere rattenstam en hamsters, de diersoort die als het minst gevoelig voor dioxine wordt beschouwd. In toxiciteitstesten hebben toxicologen ontdekt dat de dodelijke dosis voor volwassen hamsters honderd keer hoger is dan de dosis die de meeste andere dieren doodt. Net als Peterson vond het EPA-laboratorium sterke verminderingen in het aantal mannelijke spermacellen bij ratten en hamsters, en in soortgelijke onderzoeken bij vrouwelijke ratten werden misvormingen van het voortplantingskanaal gevonden. De resultaten bij hamsters waren bijzonder interessant voor Gray, omdat sommigen

hebben beweerd dat dioxine geen gevaar oplevert omdat er nog nooit mensen zijn gestorven door blootstelling aan dioxine. Hoewel het misschien moeilijk is om een volwassen hamster te doden met dioxine, bleek de soort net zo gevoelig als de andere voor prenatale blootstelling.

Net als Peterson's lab vond Gray ook veranderingen in het seksuele gedrag van mannelijke ratten, maar hij is er niet volledig van overtuigd dat de verminderde paringsdrang te wijten is aan een veranderde hersenontwikkeling. Er is ook een mogelijkheid dat dioxine de ontwikkeling van de geslachtsorganen van het mannetje verstoort, zodat zijn uitrusting niet goed werkt, waardoor hij minder goed kan paren.

[142] De vraag of dioxine de ontwikkeling van de hersenen verstoort en daardoor seksueel gedrag verstoort, blijft vooralsnog onopgelost.

Wetenschappers begrijpen minder van dioxine dan van de meer voor de hand liggende hormoonnabootsers of -blokkers, zoals methoxychlor en vinclozolin, die verstoring veroorzaken door binding met oestrogeen- of androgeenreceptoren. Daarom, legt Gray uit, zou hij op basis van dierproeven minder goed kunnen voorspellen wat er bij mensen zou kunnen gebeuren. Recente ontdekkingen geven wetenschappers echter steeds meer vertrouwen dat de reacties bij mensen en dieren waarschijnlijk ongeveer hetzelfde zijn. Onderzoekers hebben ontdekt dat dioxine bijna uitsluitend via een receptor werkt - een van de “weesreceptoren” waarvan de normale chemische boodschapper onbekend blijft. Hoewel deze receptor voor het eerst werd geïdentificeerd bij dieren, hebben studies aangetoond dat mensen ook een volledig functionele arylkoolwaterstof of Ah receptor hebben die bindt aan dioxine. Zodra dioxine de receptor in een menselijke cel bezet, hebben onderzoekers ontdekt dat het zich bindt aan DNA in de celkern, waardoor veel van dezelfde veranderingen in genexpressie optreden als bij dierproeven. Mensen lijken niet minder gevoelig voor dit effect. Maar wat er daarna gebeurt om alle verschillende biologische effecten van dioxine te veroorzaken, waaronder verstoring van de ontwikkeling, blijft een mysterie.

Hoe het ook gebeurt, dioxine gedraagt zich als een krachtig en hardnekkig hormoon dat in staat is blijvende effecten te veroorzaken bij zeer lage doses - doses die vergelijkbaar

zijn met de niveaus die in de menselijke populatie worden aangetroffen.

De opvallende ironie is dat de ratten in Moore's experimenten met vlag en wimpel slaagden voor de standaard vruchtbaarheidstests - tests die gewoonlijk door de chemische industrie worden gebruikt om chemische stoffen te screenen op veiligheid. Bijna alle ratten waren in staat om vrouwtjes te bevruchten en het normale aantal pups te produceren. De reden, legt Moore uit, is dat ratten ongelooflijk robuuste fokkers zijn, die tien keer meer sperma produceren dan ze echt nodig hebben om zich voort te planten. Tests hebben uitgewezen dat een giftige chemische stof 99 procent van het sperma van een rat kan uitschakelen en nog steeds geen effect heeft op zijn voortplantingsvermogen.

Mensen, in vergelijking, zijn inefficiënte fokkers, die de neiging hebben om nauwelijks het aantal zaadcellen te produceren dat nodig is voor een succesvolle bevruchting. [143] Moore beschrijft het aantal mannelijke zaadcellen als “borderline pathologisch” voor veel individuen, zelfs zonder de aanval van hormoonverstorende chemicaliën. Als Moore gelijk heeft en als de langetermijndaling van het aantal zaadcellen bij de mens doorzet, dan staat onze soort voor een verontrustend vooruitzicht. Zo'n daling zou een verwoestende invloed kunnen hebben op de vruchtbaarheid van de mens.

HOOFDSTUK – 08

HIER, DAAR EN OVERAL

De dreiging van hormoonverstorende chemicaliën is grotendeels aan het licht gekomen door een reeks toevallige ontdekkingen en verrassingen, maar geen enkele was zo bizar als het incident dat net na Kerstmis in 1987 begon op de Tufts Medical School in Boston.

Op de zesde verdieping van een oud bakstenen gebouw aan de rand van Chinatown trok Dr. Ana Soto haar witte jas aan en liep naar haar lab om de celculturen van de laatste ronde experimenten te controleren, in de verwachting dat de dag volgens de gebruikelijke gestage, zorgvuldige routine zou verlopen. Al meer dan twintig jaar onderzoeken zij en haar collega-arts Carlos Sonnenschein waarom cellen zich vermenigvuldigen - een fundamentele vraag in de basisbiologie en een centrale vraag in het mysterie van kanker, waar celvermenigvuldiging amok maakt.

Het tweetal, dat in 1973 voor het eerst samenwerkte toen Soto bij Sonnenscheins laboratorium in Tufts kwam werken, werkte aan een theorie die de conventionele wijsheid over celvermeerdering in twijfel trok. De heersende theorie is dat iets in het lichaam, dat wetenschappers “groeifactoren” hebben genoemd, cellen aanzet om zich te vermenigvuldigen, een opvatting die ervan uitgaat dat non-proliferatie de nor-

male toestand is.

[145] Aanvankelijk waren Sonnenschein en Soto ook op zoek naar groeifactoren, maar de raadselachtige resultaten van hun experimenten leidden ertoe dat ze hun aannames opnieuw onder de loep namen. Door de vraag vanuit een evolutionair perspectief te benaderen, waren Sonnenschein en Soto tot de conclusie gekomen dat waarschijnlijk het tegenovergestelde waar was. Immers, zo redeneerden ze, de eencellige organismen die het eerst evolueerden, zoals bacteriën, hebben niets nodig om hen te vertellen dat ze moeten groeien; ze planten zich eindeloos voort als het voedsel en de omstandigheden goed zijn. Goed gevoede cellen stoppen pas met voortdurende proliferatie als ze onderdeel worden van een meercellig organisme, wat suggereert dat een of andere remmende stof ze in toom houdt.

De vraag was waarschijnlijk niet waardoor cellen zich vermenigvuldigen, maar waardoor ze stoppen. De complexe organismen die later in de geschiedenis van het leven verschenen, kunnen niet overleven tenzij hun cellen een bepaalde discipline handhaven. Als deze cellen zich continu gaan vermenigvuldigen zoals bacteriën dat doen, zal het organisme snel veranderen in niet veel meer dan één grote ongeorganiseerde tumor. Het doel van Soto en Sonnenschein was om zo'n remmer te vinden.

Ze zochten deze remmer door middel van experimenten met menselijke borstkankercellen - een stam die zich vermenigvuldigt in aanwezigheid van oestrogeen. Onder normale omstandigheden stimuleert oestrogeen weefselgroei in de borst en baarmoeder - iets waarvan Soto en Sonnenschein denken

dat het hormoon dit doet door de remmer te overstemmen. Het hormoon heeft een vergelijkbaar effect op de oestrogenresponsieve cellijn die het tweetal voor hun onderzoek gebruikt. Wanneer oestrogeen wordt toegevoegd aan deze levende cellen in een laboratoriumschaaltje, gaan de cellen zich vermenigvuldigen. Het tweetal was ervan overtuigd dat dit celkweekonderzoek hen zou kunnen helpen bij het opsporen van de remmer.

Tegen 1985 hadden Sonnenschein en Soto bewijs gevonden dat hun voorgestelde remmer echt bestond. Als ze het oestrogeen uit het bloedserum verwijderden door een speciaal filterproces met houtskool en het serum vervolgens toevoegden aan oestrogeengevoelige borstkankercellen, stopten de cellen met vermenigvuldigen. Twee jaar later hadden ze moeite met het isoleren en zuiveren van de specifieke stof in het serum die het stopsignaal had gegeven.

Werken met cellen in weefselkweek kan lastig zijn. Er is maar één manier om dingen onberispelijk te doen. Elk gebrek aan discipline, de minste slordigheid, kan weken, maanden of zelfs jaren werk ruïneren. [146] Om mogelijke problemen te elimineren, runden Sonnenschein en Soto het lab met heel weinig mensen en volgden ze nauwkeurig gedefinieerde procedures om maximale controle te behouden. Ze hielden de hormonen die in de experimenten werden gebruikt achter slot en grendel in een kist in een ander lab. Al het werk met de cellen deden ze zelf. Hun systeem van uitgebreide voorzorgsmaatregelen die grensden aan paranoia had zijn vruchten afgeworpen. Ze hadden nog nooit een probleem gehad, tot die laatste week in 1987.

Vier dagen eerder had Sonnenschein een serie plastic platen met meerdere wanden gemaakt, borstkankercellen in de twaalf kleine bekertjes geplaatst en vervolgens verschillende hoeveelheden oestrogeen en oestrogeenvrij serum aan elk van de kleine celkolonies toegevoegd. Nu kwamen Sonnenschein en Soto terug om te zien hoe het de cellen verging. In de loop der jaren hadden ze honderden variaties van dit experiment gedaan. Volgens de routine onderzochten ze de cellen onder de microscoop voordat ze de cellen van de platen naar speciale telflesjes brachten, zodat de cellen konden worden geteld door een elektronische deeltjesteller.

Op de een of andere manier zag de plaat er niet goed uit, dus Sonnenschein stelde de microscoop bij en keek opnieuw. Zijn ogen speelden geen parten. De hele plaat - elke kolonie die in een speciaal gemodificeerd bloedserum groeide - was net zo druk als een metrotrein tijdens het spitsuur. Of ze nu oestrogeen hadden toegevoegd of niet, de borstkankercellen hadden zich als een gek vermenigvuldigd.

In al hun jaren van celonderzoek hadden ze nog nooit zoiets gezien. Eerst waren ze stomverbaasd. Ze wisten niet wat ze moesten denken, behalve dat er iets ernstig mis was gegaan.

Het moest een soort oestrogeenvervuiling zijn, veronderstelden ze. Dat konden ze meteen zien, want Carlos werkte ook met andere cellen en die gedroegen zich zoals verwacht. De enige cellen die zich wild vermenigvuldigden waren de oestrogeengevoelige borstkankercellen.

Ze prepareerden zorgvuldig nog een partij platen met borstkankercellen en opnieuw zagen ze dezelfde galopperende

proliferatie. Het was geen vluchtige gebeurtenis. De mysterieuze verontreiniging was nog steeds ergens in het lab.

Soto en Sonnenschein brachten de nieuwjaarsvakantie door met het bestrijden van depressies en het opnieuw en opnieuw doornemen van hun laboratoriumprocedures, op zoek naar veranderingen of mogelijke vergissingen die de op hol geslagen proliferatie zouden kunnen verklaren. Omdat ze al het celwerk zelf deden, kon niemand anders de schuld krijgen. Maar wat hadden ze dan fout kunnen doen? En als ze geen fout hadden gemaakt, wat had er dan nog meer kunnen gebeuren?

[147] Misschien waren de borstkankercellen op de een of andere manier veranderd of besmet geraakt met vreemde cellen.

Nee, dat sloten ze snel uit door de cellen te vergelijken met ingevroren monsters van dezelfde cellijn en met andere oestrogeengevoelige cellen. Bij het testen vertoonden ze allemaal dezelfde mysterieuze proliferatie zonder blootstelling aan oestrogeen.

Ze overwogen elke mogelijke verklaring, van slordigheid tot sabotage. Was iemand onbedachtzaam het lab binnengegaan met een open fles oestradiol, de vorm van oestrogeen die in hun experimenten werd gebruikt? Het hormoon is zo krachtig dat ze maar één gram bij de hand hebben voor hun onderzoek - minder dan een theelepel. Een verdwaald spikkeltje kan een laboratorium besmetten. Daarom werd het opgesloten in een ander lab. Gezien de strenge controles leek zo'n ongeluk hoogst onwaarschijnlijk.

Zou iemand hun experimenten opzettelijk hebben kunnen laten ontsporen? Die gedachte kwam bij hen op toen ze er niet in slaagden om meer alledaagse verklaringen te bedenken. Sabotage van experimenten door jaloerse collega's was niet ongehoord in de wetenschap. Hun werk was baanbrekend en bracht lang gekoesterde opvattingen aan het wankelen. Maar er moest een redelijkere verklaring zijn.

Uiteindelijk bleek de oorzaak hun stoutste verwachtingen te overtreffen, iets dat nog vreemder en verontrustender was dan menselijke sabotage. Het zou vier lange, frustrerende maanden duren voordat ze eindelijk het “fantoomoestrogeen” hadden opgespoord en twee hele jaren voordat ze een naam konden plakken op de chemische stof die het hormoon nabootste.

Hun ontdekking schokte zelfs veteraan-onderzoekers van hormoonverstorende chemicaliën. Jarenlang was de discussie over mogelijke gezondheidsrisico's van synthetische chemicaliën gebaseerd op de veronderstelling dat de meeste blootstelling van mensen afkomstig was van chemische residuen, voornamelijk pesticiden, in voedsel en water. Nu hadden Soto en Sonnenschein hormoonverstorende chemicaliën ontdekt waar je ze het minst zou verwachten, in alomtegenwoordige producten die als goedaardig en inert werden beschouwd. Dit was het overduidelijke bewijs van onze enorme onwetendheid over hormoonverstorende chemicaliën in het milieu en hoe we eraan kunnen worden blootgesteld.

[148] Met het nieuwe jaar begonnen Sonnenschein en Soto

serieus met hun speurwerk. Totdat ze de besmetting hadden opgespoord, werd hun onderzoek stopgezet.

Omdat ze geen enkele aanwijzing hadden, besloten ze uiteindelijk om het mysterie aan te pakken via een vervelend proces van eliminatie. Ze begonnen met het maken van een uitputtende lijst met details van elke stap in hun experimenten en elk onderdeel van de gebruikte apparatuur. Daarna begonnen ze het experiment te herhalen, waarbij ze bij elke stap één onderdeel vervingen. Misschien had een technicus de glazen pipetten niet goed met zuur gewassen om alle sporen van oestrogeen te verwijderen. Ze gebruikten een gloednieuwe pipet om te zien of dat verschil maakte. Hoe zit het met de houtskool? Zou het gebruik van houtskool uit een nieuw flesje om het oestrogeen uit het serum te verwijderen het resultaat veranderen? Hoe zit het met de plastic buisjes waarin het serum wordt bewaard? Ze probeerden een nieuwe batch.

Ondanks hun voorzorgsmaatregelen maakte niets wat ze probeerden enig verschil. Keer op keer zonk hun hart als ze dichte massa's cellen door de microscoop zagen. Met elke dag en elke mislukking raakten ze verder en verder achterop in hun onderzoeksschema. De besmetting achtervolgde hen. Het ging zover dat ze niets anders deden dan de cellen in de gaten houden om te zien of ze eindelijk de bron van het probleem hadden gevonden.

Sonnenschein begon te vermoeden dat het probleem in het lab zelf moest zitten. Op de een of andere manier moet de atmosfeer zelf besmet zijn. Om dit laatste vermoeden te testen, regelde hij dat hij het laboratorium van een collega met

al zijn apparatuur mocht gebruiken. Het enige wat hij meenam naar dit lab waren de borstkankercellen en de buisjes met met houtskool behandeld serum. Opnieuw geflest. De objectglasjes vertoonden nog steeds tekenen van onstuimige celgroei.

Dat betekende dat ze besmet waren - de houtskool of de buisjes. Maar hoe kon dat, want ze hadden de houtskool gecontroleerd en ze gebruikten al jaren dezelfde labbuisjes?

Moeizaam bereidden ze zich voor om het experiment nog een keer uit te voeren, maar in dit geval zouden ze een ander merk labbuis proberen, een van Falcon in plaats van Corning. Het was nu eind april. Ze waren al vier lange, gekmakende, deprimerende maanden op jacht naar de contaminant. De spanning was bijna ondraaglijk geworden.

[149] Toen Sonnenschein zich een paar dagen later voorbereidde om de platen te onderzoeken, verzamelden Soto en anderen zich om hem heen en keken zwijgend toe hoe hij er een onder de microscoop legde.

“Ze zijn geremd,” kondigde hij triomfantelijk aan.

Eindelijk. Soto voelde hoe de spanning die haar in haar greep had, wegebde.

Dit moest het zijn. De oranje bedekte Coming tubes. Er moest iets uit de buisjes lekken in het bloedserum dat ze voor hun experimenten gebruikten, iets dat werkte als oestrogeen. Het plastic, dat ze altijd als een goedaardige, inerte stof hadden beschouwd, moest chemische stoffen bevatten die significante, zorgwekkende veranderingen in menselijke cellen kunnen veroorzaken. Het plastic bleek verre van inert

en biologisch actief.

Hun blijdschap over het oplossen van de puzzel bleek echter van korte duur, want ze werden al snel ingehaald door een groeiend gevoel van ongerustheid. Als dit met hun reageerbuizen gebeurde, dan moest het ook met andere plastic producten gebeuren. Dit probleem reikte bijna zeker veel verder dan hun laboratorium.

Binnen enkele dagen nam Sonnenschein contact op met Jean Mayer, de toenmalige directeur van Tufts, die voedingsdeskundige van opleiding was. Hij begreep de implicaties ook meteen. Ambtenaren van de universiteit waarschuwden vervolgens de afdeling wetenschappelijke producten van Corning over het probleem. Het bedrijf reageerde door een set gecodeerde reageerbuizen te leveren voor een nieuwe ronde experimenten. De resultaten waren inderdaad merkwaardig. Toen ze het hormoonvrije bloedserum in sommige buisjes bewaarden, vertoonden hun borstkankercellen een oestrogeenachtige reactie. Maar de cellen vertoonden geen reactie op serum dat in andere, identiek uitziende buisjes werd bewaard. De bevindingen brachten Corning ambtenaren ertoe om Sonnenschein en Soto en andere Tufts vertegenwoordigers te ontmoeten op 12 juli 1988.

Tijdens die vergadering in het Hilton in Boston's Logan Airport hoorden Soto en Sonnenschein dat het bedrijf onlangs de plastic hars had veranderd om de buisjes minder broos te maken, maar niet de moeite had genomen om het catalogusnummer te veranderen. Hoewel het laboratorium van de medische school het buisnummer bleef bestellen dat ze jarenlang hadden gebruikt, leverde Corning nu een labbuis met

een andere chemische samenstelling. Toen Soto vroeg naar de chemische inhoud van de nieuwe hars, weigerde Coming de informatie vrij te geven op grond van het feit dat het een “bedrijfsgeheim” was.

[150] Soto en Sonnenschein waren woedend. Wat moesten ze doen? Gewoon overstappen op een ander merk buis en doorgaan met hun eigen onderzoek? Konden ze met een goed geweten de implicaties van hun toevallige ontdekking negeren?

Opgeven zou niet alleen onverantwoordelijk zijn, maar ook niet bij hun karakter passen. Als vrouw uit een Latijns land in een beroep dat gedomineerd wordt door mannen, was Soto niet zo ver gekomen door nee als antwoord te accepteren. Zo'n weigering bracht alleen maar haar terriërrachtige vasthoudendheid naar boven. Carlos zag er misschien wat gemoedelijker uit, maar hij had dezelfde koppigheid. Het was duidelijk te zien in hun onderzoek. Het opnemen tegen de gevestigde orde in je vakgebied vereist een zekere onafhankelijkheid en vastberadenheid.

Hoewel ze celbiologen van opleiding waren en geen organisch scheikundigen, en geen geld hadden voor dit soort onderzoek, waren ze het er toch over eens dat ze er op de een of andere manier achter zouden komen wat de chemische stof was die uit het plastic lekte en een welig tierende woekering in hun borstkankercellen veroorzaakte.

Soto vroeg zich af welk effect buisjes met dezelfde samenstelling zouden hebben als ze in laboratoria voor diagnostische tests werden gebruikt. Sonnenschein dacht na over al

het plastic dat gebruikt wordt om voedsel te verpakken, zelfs in babyflesjes. Sonnenschein maakte zich zorgen dat kinderen met hun melk oestrogene stoffen binnenkregen. Als artsen en onderzoekers die tientallen jaren hadden besteed aan het bestuderen van de effecten van hormonen, hadden ze de sterke overtuiging dat het verhogen van de blootstelling aan oestrogenen riskant en onverstandig is.

Het duurde maanden om de verbinding in het plastic te zuiveren die het oestrogeenachtige effect in hun experimenten veroorzaakte en om een voorlopige identificatie uit te voeren met behulp van massaspectrometrie-analyse. Uiteindelijk waren ze klaar om een monster van de stof over de rivier te sturen naar scheikundigen aan het Massachusetts Institute of Technology voor een definitieve identificatie.

Eind 1989, twee jaar nadat hun speurwerk was begonnen, hadden ze een definitief antwoord: p-nonylfenol.

Door verder onderzoek ontdekten Soto en Sonnenschein dat p-nonylfenol deel uitmaakt van een familie synthetische chemicaliën die bekend staan als alkylfenolen. Fabrikanten voegen nonylfenolen toe aan polystyreen en polyvinylchloride, beter bekend als PVC, als antioxidant om deze kunststoffen stabiel en minder breekbaar te maken. De plastic centrifugebuizen waarin ze bloedserum bewaarden waren van polystyreen - een kunststof die, afhankelijk van de fabrikant, wel of geen nonylfenolen bevat.

[151] Bij het doorzoeken van de wetenschappelijke literatuur vonden ze stukjes en beetjes informatie die hun bezorgdheid alleen maar groter maakten. Eén studie had ont-

dekt dat de voedselverwerkende en verpakkingsindustrie PVC's gebruikte die alkylfenolen bevatten. In een ander onderzoek werd nonylfenolverontreiniging gevonden in water dat door PVC-buizen was geleid. Soto en Sonnenschein ontdekten zelfs dat nonylfenol wordt gebruikt om een verbinding te synthetiseren die wordt aangetroffen in anticonceptiecrèmes: nonoxynol-9. In studies met ratten hadden onderzoekers ontdekt dat nonoxynol-9 afbreekt als het eenmaal in het lichaam van het dier zit, waardoor nonylfenol ontstaat.

Ze ontdekten ook dat bij de afbraak van chemische stoffen in industriële wasmiddelen, pesticiden en producten voor persoonlijke verzorging ook nonylfenol kan ontstaan. De Verenigde Staten en andere landen gebruiken enorme hoeveelheden van deze chemicaliën, alkylfenol polyethoxylaten genaamd - 450 miljoen pond in 1990 in de Verenigde Staten alleen en meer dan 600 miljoen pond wereldwijd. Hoewel de producten die de consument koopt, zoals wasmiddelen, zelf niet oestrogeenhoudend zijn, hebben onderzoeken aangetoond dat bacteriën in het lichaam van dieren, in het milieu of in rioolwaterzuiveringsinstallaties deze alkylfenol polyethoxylaten afbreken, waardoor nonylfenol en andere chemicaliën ontstaan die oestrogenen nabootsen.

In vervolgonderzoeken namen Soto en Sonnenschein de chemische stof die ze in hun laboratoriumbuizen hadden gevonden en injecteerden deze in ratten om te controleren of het zich gedroeg als oestrogeen in levende dieren en in cellen in een laboratoriumschaaltje. In tests met vrouwelijke ratten zonder eierstokken ontdekten ze dat p-nonylfenol het baarmoederslijmvlies deed woekeren alsof de ratten oestro-

geen hadden gekregen. Omdat de synthetische chemische stof minder krachtig is dan natuurlijk oestrogeen, waren er hogere doses nodig om een effect te veroorzaken.

Alkylfenol polyethoxylaten worden al veel gebruikt sinds de jaren 1940, maar in de afgelopen tien jaar zijn ze steeds meer onder de loep genomen vanwege hun toxiciteit voor waterleven, vooral als ze worden afgebroken. Aan het eind van de jaren 1980 hadden verschillende Europese landen het gebruik van nonylfenoethoxylaten in huishoudelijke schoonmaakmiddelen al verboden. Hoewel veel landen het gebruik ervan nog steeds toestaan in reinigingsmiddelen voor industriële doeleinden, zijn veertien Europese en Scandinavische landen in 1992 overeengekomen om dit gebruik geleidelijk uit te bannen voor 2000.

[152] Toen Soto en Sonnenschein in 1991 hun bevindingen publiceerden, voegden ze een nieuw punt van zorg toe aan de groeiende lijst. Dit was het eerste rapport dat deze veelgebruikte en redelijk goed bestudeerde chemicaliën ook hormoonverstorend zouden kunnen werken.

Door een vreemd toeval, terwijl Soto en Sonnenschein in hun laboratorium achter de vervuiling aanzaten, speelde zich aan de andere kant van het land een soortgelijk drama af in de Stanford University School of Medicine in Palo Alto, Californië. Ook in dit geval werd het mysterieuze oestrogeen getraceerd naar plastic laboratoriumapparatuur, maar niet naar polystyreenproducten of nonylfenol. Het team van Stanford vond een andere imitatie van oestrogeen, bisfenol-A, dat uit een heel ander soort plastic, polycarbonaat, lekte. Dit plastic wordt gebruikt voor laboratoriumfles-

jes en voor veel consumentenproducten, zoals de gigantische kannen waarmee drinkwater in flessen wordt gedaan.

Ook hier ging het om een toevallige ontdekking die alleen plaatsvond omdat de wetenschappers onderzoek deden met oestrogeengevoelige cellen. David Feldman, een professor in de geneeskunde, en zijn collega's van de afdeling endocrinologie hadden aanvankelijk een eiwit in gist ontdekt dat bindt met oestrogeen, waarvan ze dachten dat het een primitieve oestrogeenreceptor zou kunnen zijn, en als gist zo'n oestrogeenreceptor had, dan moest er ook een gisthormoon zijn. Het team was op zoek naar zo'n hormoon toen ze zagen dat een of andere stof inderdaad aan de gistreceptor bond. Maar de onderzoekers realiseerden zich al snel dat het oestrogene effect te wijten was aan een verontreiniging in plaats van een hormoon. Ze stelden vast dat de verontreiniging bisfenol-A was en dat de bron van de verontreiniging de polycarbonaat laboratoriumflessen waren die werden gebruikt om het water dat in de experimenten werd gebruikt te steriliseren.

In een artikel uit 1993 deed het team van Stanford verslag van hun ontdekking en hun besprekingen met de fabrikant van polycarbonaat, GE Plastics Company. Het bedrijf was zich er blijkbaar van bewust dat polycarbonaat uitlooft, vooral als het wordt blootgesteld aan hoge temperaturen en bijtende reinigingsmiddelen, en had een speciaal wasregime ontwikkeld waarvan ze dachten dat het het probleem had opgelost. In samenwerking met het bedrijf ontdekten de onderzoekers echter dat GE bisfenol-A niet kon detecteren in monsters die door het Stanford laboratorium waren opge-

stuurd - monsters die proliferatie veroorzaakten in oestrogen-gevoelige borstkankercellen. [153] Het probleem bleek de detectielimiet in de chemische test van GE te zijn - een limiet van tien delen per miljard. Het team van Stanford ontdekte dat twee tot vijf delen per miljard bisfenol-A genoeg was om een oestrogene reactie op te wekken in cellen in het lab.

Hoewel bisfenol-A tweeduizend keer minder krachtig is dan oestrogeen, merkt Feldman op, “is het nog steeds actief in het bereik van delen per miljard”. Feldman is echter voorzichtig om mensen ongerust te maken over plastic. “We weten nog niet genoeg om er een volksgezondheids crisis van te maken.” Hij voegt er wel aan toe dat de toevallige ontdekking over polycarbonaat een heleboel vragen oproept die beantwoord moeten worden. Het artikel in Stanford laat zien dat bisfenol-A een oestrogenreactie opwekt in cellen in een laboratorium. De volgende logische vraag, zegt hij, is of het dezelfde reactie uitlokt wanneer het in water aan een dier wordt toegediend.

Helaas blijven zulke vragen op dit moment onbeantwoord, omdat onderzoekers als Sonnenschein en Soto niet in staat zijn geweest om de financiering rond te krijgen voor verder onderzoek naar biologisch actieve kunststoffen en andere hormoonverstorende synthetische chemicaliën. Het probleem lijkt grotendeels voort te komen uit de inertie van instellingen en ideeën. Degenen die dit onderzoek willen doen, klagen dat subsidiebeoordelaars de neiging hebben om vast te zitten aan oudere ideeën, die zich richten op de schade die giftige chemicaliën toebrengen aan DNA. Als ge-

volg daarvan begrijpen of waarderen ze vaak niet het belang van deze nieuwe onderzoekslijn en hebben ze een beperkte kijk op de soorten studies die federale fondsen zouden moeten krijgen. Tot overmaat van ramp zijn er weinig of geen subsidieverstrekkende instellingen die ontvankelijk of bereid zijn om voorstellen te beoordelen voor het soort interdisciplinair onderzoek dat nodig is om deze vragen te onderzoeken.

In dezelfde periode werd John Sumpter, een wetenschapper op een heel ander gebied, gevraagd om te helpen bij het oplossen van een ander mysterie aan de andere kant van de Atlantische Oceaan: het geval van de seksueel verwarde vis. Sumpter is bioloog aan de Brunel Universiteit in Uxbridge, die de rol van hormonen bij de voortplanting van vissen heeft bestudeerd.

Sportvissers die in Engelse rivieren vissen meldden dat er iets vreemds gebeurde met de vissen, vooral in de lagunes net onder de lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Het probleem was niet de gebruikelijke vissterfte die kan optreden door pesticiden of een laag zuurstofgehalte. De vissen leken ook geen duidelijke ziekte te hebben. [154] Maar velen zagen er bizar uit. Zelfs ervaren vissers konden vaak niet zien of een vis een mannetje of een vrouwtje was, want ze vertoonden tegelijkertijd mannelijke en vrouwelijke geslachtskenmerken. Het leken perfecte voorbeelden van de aandoening die wetenschappers “interseks” noemen, waarbij een individu vastzit tussen twee geslachten.

Het visserijpersoneel van de overheid benaderde Sumpter omdat ze vermoedden dat iets in het water - hormonen of

een stof die hormonen nabootst - de seksuele verwarring veroorzaakte. Dus stelden ze hem de volgende vraag: is er iets in een vis te meten dat aangeeft of hij is blootgesteld aan hormonen?

Dat hangt af van het hormoon, antwoordde Sumpter. Als het water iets bevatte dat op oestrogeen leek, wist hij zeker dat de mannetjes daar iets van zouden merken. Ze zouden op het oestrogeen reageren door een speciaal eiwit aan te maken dat normaal alleen door vrouwtjes wordt aangemaakt. Bij de vrouwtjes produceert de lever dit eiwit, vitellogenine, als reactie op een oestrogeensignaal van de eierstokken. Zodra de lever vitellogenine heeft aangemaakt, wordt het door het bloed teruggevoerd naar de eierstokken, waar het wordt opgenomen en verwerkt in de eitjes terwijl het vrouwtje zich voorbereidt op de voortplanting. Hoewel mannetjes geen eicellen produceren, zal hun lever toch vitellogenine produceren als ze worden blootgesteld aan verhoogde oestrogeengehaltes. Omdat deze reactie extreem afhankelijk is van oestrogeen, geven de vitellogeninegehalten die in mannelijke vissen worden gevonden een goede indicatie van de blootstelling aan oestrogeen.

De eerste vraag - of de rioolwaterzuiveringsinstallaties iets vrijgaven dat op oestrogeen leek - bleek het gemakkelijkst te beantwoorden. De vissen getuigden ondubbelzinnig dat dit het geval was.

Binnen een week nadat het onderzoeksteam kooien met in gevangenschap gekweekte regenboogforellen in het water had geplaatst dat uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie op de rivier de Lea stroomde, vijftig mijl ten noorden van Lon-

den, stegen de vitellogenineniveaus die in het bloed van de vissen werden gemeten. De gekooide vissen

produceerden vijfhonderd keer meer vitellogenine dan forellen die elders in schoon water werden gehouden. In drie weken tijd klommen de niveaus van Sumpter's veelbetekenende oestrogeenmarker zelfs nog hoger, tot meer dan het duizendvoudige.

In de zomer van 1988 volgde een landelijk onderzoek op achtentwintig locaties in Engeland en Wales. [155] Hoewel lage zuurstofniveaus en fabrieksstoringen sommige van de gekooide vissen doodden, verkregen de onderzoekers toch resultaten van vijftien van deze locaties, waarbij ze in alle gevallen dramatische toenames in vitellogenine-niveaus vonden. Sommige stijgingen waren werkelijk verbijsterend: bij één vis was het vitellogeninegehalte honderdduizend keer hoger dan normaal. Wat deze oestrogene stof ook was, het onderzoek toonde aan dat het een nationaal en geen lokaal probleem was.

De bevindingen riepen verontrustende vragen op over mogelijke blootstelling van mensen via drinkwater, dat voor het grootste deel uit deze rivieren wordt gehaald. In de zomer kan tot vijftig procent van het water in rivieren afvalwater van rioolwaterzuiveringsinstallaties zijn en in een droge zomer kan het aandeel afvalwater oplopen tot negentig procent. Tests met gekooide vissen bij acht waterreservoirs aan rivieren vonden echter geen effecten van vitellogenine bij vissen. Hoewel dit enigszins geruststellend is, toont het alleen aan dat er niet genoeg van de oestrogene stof aanwezig is om een reactie bij volwassen vissen te veroorzaken. Ze

testten de vissen niet tijdens gevoelige ontwikkelingsstadia en keken ook niet naar andere, niet op oestrogeen gebaseerde hormoonverstoring. Dit sluit de aanwezigheid van oestrogene chemicaliën in drinkwater niet uit. Britse waterbedrijven zijn wettelijk niet verplicht om routinematig op deze chemicaliën te testen. Zelfs als ze testen uitvoeren, zijn ze niet verplicht om de resultaten openbaar te maken.

Maar waar de oestrogene stof vandaan kwam, bleek moeilijker te beantwoorden. De eerste gedachte was anticonceptiepillen. Sumpter en zijn collega's theoretiseerden dat vrouwen die orale anticonceptiemiddelen gebruikten, die een vorm van oestrogeen bevatten die ethynylestradiol wordt genoemd, dit uitscheidde in hun urine, zodat het hormoon uiteindelijk in de zuiveringsinstallatie en uiteindelijk in de rivieren terecht zou komen. In laboratoriumexperimenten stelden ze vast dat deze vorm van oestrogeen effecten heeft op vissen bij concentraties van een miljardste gram per liter water. Maar hoe hard ze ook zochten, de Britse wetenschappers konden deze chemische stof niet detecteren in het water dat vrijkwam uit rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Sumpter en zijn collega's keken vervolgens naar andere oestrogene stoffen, zoals plantenoestrogenen en pesticiden. Hoewel deze zeker zouden kunnen bijdragen aan een algeheel oestrogeen effect, vonden ze het onwaarschijnlijk dat er genoeg uit zuiveringsinstallaties kwam om een groot deel van het oestrogene fenomeen dat ze zagen te verklaren.

[156] Toen, tijdens een zoektocht in de wetenschappelijke literatuur over oestrogene chemicaliën, stuitte Sumpter op het artikel van Soto en Sonnenschein over hun ontdekking

van nonylfenol in polystyreen plastic en andere producten. Hij leerde daaruit dat wasmiddelen ingrediënten kunnen bevatten die worden afgebroken tot oestrogene chemicaliën. Hier was een nieuwe verdachte.

De onderzoekers ontwikkelden een nieuwe testronde om te zien of deze theorie inderdaad aannemelijk was. Ten eerste, waren de alkylfenolen zowel oestrogeen voor vissen als voor de menselijke borstkankercellen die de Tufts-onderzoekers gebruikten? En ten tweede, is er genoeg van de stof in het milieu om een effect bij vissen te veroorzaken? Het antwoord op beide vragen bleek ja te zijn. De vissen reageerden en de niveaus die in het rivierwater werden aangetroffen waren hoog genoeg om ervoor te zorgen dat mannelijke vissen aanzienlijke hoeveelheden vitellogenine gingen produceren. Onderzoeken waarin volwassen mannelijke vissen werden blootgesteld aan concentraties nonylfenol toonden aan dat de bescheiden concentraties die in het milieu kunnen worden aangetroffen voldoende zijn om de groei van hun testikels te remmen.

Sumpter en zijn collega's hadden nu een sterke verdachte - de alkylfenolen die ontstaan bij de afbraak van wasmiddelen die alkylfenol polyethoxylaten bevatten, maar ze zijn er nog niet zeker van of deze familie van chemische stoffen de boosdoener is. Ze proberen dit nu vast te stellen door middel van chemische analyse. Voorlopige gegevens laten al zien dat het oestrogeenprobleem niet het gevolg is van één chemische stof, maar van een mengsel. "We weten niet of het mengsel gerelateerd is aan alkylfenol polyethoxylaten," zegt Sumpter. "Het zou een enkele familie van chemicaliën kun-

nen zijn of een mengsel van wasmiddelen, pesticiden en weekmakers.” Zelf gokt Sumpter erop dat het “een reeks chemicaliën is die allemaal bijdragen aan het effect”.

De eerste ontdekkingen van hormoonverstorende chemicaliën op sommige onverwachte plaatsen heeft onvermijdelijk tot andere geleid.

Aangespoord door het rapport van de Tufts-onderzoekers over biologisch actieve kunststoffen, besloten Spaanse wetenschappers van de Universiteit van Granada om de plastic coatings te onderzoeken die fabrikanten gebruiken om metalen blikjes te bekleden. Deze vaak onopvallende coatings werden toegevoegd omdat men bang was dat metalen het voedsel zouden verontreinigen of een metaalsmaak zouden geven. Dergelijke plastic coatings worden naar verluidt aangetroffen in vijftientig procent van de conservenblikken in de Verenigde Staten en ongeveer veertig procent van de conservenblikken die in Spanje worden verkocht.

[157] Het broer en zus team van Fatima Olea, een voedsel toxicoloog, en Nicolas Olea, een arts gespecialiseerd in endocriene kankers, hadden de Verenigde Staten bezocht en gewerkt in het Tufts Medical School lab met Soto en Sonnenschein. Hun tijd in Boston had hen geattendeerd op de mogelijke gevaren van kunststoffen.

Hun vermoedens bleken gegrond. In een onderzoek waarin twintig merken ingeblikt voedsel uit de Verenigde Staten en Spanje werden geanalyseerd, ontdekten ze niet alleen bisfenol-A, dezelfde chemische stof die Stanford-onderzoekers hadden aangetroffen in polycarbonaat laboratoriumflessen,

maar ze vonden ook verbluffend hoge concentraties in producten als maïs, artisjokken en erwten. Bisfenol-A besmetting werd ontdekt in ongeveer de helft van de ingeblikte voedingsmiddelen die ze analyseerden. In sommige gevallen bevatten de blikken wel tachtig delen per miljard zevenentwintig keer meer dan de hoeveelheid die volgens het Stanford-team genoeg is om borstkankercellen te laten werken. Op zulke niveaus kan een synthetische oestrogeen nabootser aanzienlijk bijdragen aan iemands blootstelling, ongeacht of het een “zwak” oestrogeen is of niet.

Biologisch actieve kunststoffen logen uit blikjes, verpakkingen waarvan je helemaal niet zou verwachten dat ze plastic bevatten.

Bij alle incidenten die in dit hoofdstuk zijn besproken, zijn synthetische chemicaliën betrokken die oestrogeen nabootsen, maar de synthetische chemicaliën die hormonen verstoren, gedragen zich niet allemaal als oestrogenen. Andere hormonen in het lichaam zijn ook kwetsbaar. Bedenk bijvoorbeeld dat sommige fungiciden de werking van mannelijke hormonen verstoren. Bovendien heeft Earl Gray in lopende onderzoeken in het laboratorium van het U.S. Environmental Protection Agency in Research Triangle Park, North Carolina, ontdekt dat zelfs de klassieke oestrogenen veel bredere effecten hebben dan wetenschappers op dit gebied tot nu toe hadden erkend. Sommige van deze “oestrogene” synthetische chemicaliën blijken ook een directe tol te eisen bij mannen door het blokkeren van de androgeenreceptoren die reageren op mannelijke hormonen.

De kwestie van blootstelling ligt aan de basis van het debat

over de vraag of hormoonverstorende chemicaliën al dan niet een gevaar vormen.

Sommige sceptici verwerpen deze bezorgdheid met het argument dat de hormonale effecten van synthetische chemicaliën veel zwakker zijn dan die van natuurlijke hormonen en dat mensen er niet genoeg aan worden blootgesteld om een gevaar te vormen.

[158] Dergelijke beweringen worden niet ondersteund door het bewijs. Als je de beschikbare informatie en wetenschappelijke literatuur bekijkt, ontdek je al snel dat er veel te veel lege plekken en ontbrekende stukken zijn om zelfs maar een ruw beeld te geven van de hoeveelheid die mensen binnenkrijgen of om definitieve conclusies te kunnen trekken. Vaak bestaat de benodigde informatie gewoon niet of is deze niet beschikbaar. Fabrikanten houden vaak informatie achter over de ingrediënten in hun producten onder het mom van eigendomsinformatie of handelsgeheimen - een principe dat veel strenger beschermd wordt door juridische precedentes en rechtbanken dan het recht van het publiek om het te weten. Zelfs de federale Freedom of Information Act, die bedoeld is om Amerikaanse burgers toegang te geven tot informatie die in het bezit is van de overheid, bevat een uitzondering voor handelsgeheimen of vertrouwelijke bedrijfsinformatie. Het is voor iedereen een raadsel hoeveel van de plastic consumptiegoederen op de markt hormoonverstorende chemicaliën bevatten. Zelfs in het geval van pesticiden, waar overheden nauwlettender toezicht houden, is het onmogelijk om samenhangende gegevens te verkrijgen over de productie van specifieke pesticiden. De beschikbare over-

heidscijfers in de Verenigde Staten en elders zijn op zijn best beperkt en onsaamenhangend.

De informatie in de wetenschappelijke literatuur over de biologische activiteit van en menselijke blootstelling aan zorgwekkende chemicaliën is al even fragmentarisch en onbevredigend. In sommige gevallen zijn er geïsoleerde studies die rapporteren over concentraties van een of andere chemische stof in menselijk bloed of lichaamsvet, die verschillende bronnen van blootstelling beschrijven, of die in detail beschrijven hoe een hormoonverstorende chemische stof de lever, de cellen, het zenuwstelsel, de hersenen of een ander deel van het lichaam beïnvloedt.

Vaak laten de onderzoeken trends zien die verschillen van plaats tot plaats of tussen chemicaliën. Dit is niet verrassend. De geïndustrialiseerde landen die persistente chemische stoffen zoals DDT onder controle hadden, zagen de DDT-concentraties aan het eind van de jaren zeventig dramatisch dalen. Hoewel de afname van DDT in menselijk weefsel sindsdien aanzienlijk is vertraagd, is dit toch een beemoedigend teken dat overheidsmaatregelen het blootstellingsniveau kunnen verlagen. In ontwikkelingslanden in Latijns-Amerika, Afrika en tropisch Azië, waar DDT en lindaan nog steeds intensief gebruikt worden, vertoont het menselijk weefsel nog steeds aanzienlijke concentraties van deze persistente chemische stoffen.

[159] PCB's zijn een heel ander verhaal. De concentraties in menselijk weefsel zijn de afgelopen jaren stabiel gebleven, ook al hebben de meeste industriële landen de productie van PCB's meer dan tien jaar geleden stopgezet. Dit is ongetwij-

feld een weerspiegeling van het feit dat de blootstelling ondanks het verbod doorgaat, omdat tweederde van de PCB's die ooit zijn geproduceerd nog steeds in transformatoren of andere elektrische apparatuur worden gebruikt en dus per ongeluk kunnen vrijkomen.

Men blijft achter met geïsoleerde momentopnamen van het ene of het andere aspect van het probleem. Maar uiteindelijk weten we niet hoe we deze los van elkaar staande feiten met elkaar in verband moeten brengen. We weten niet wat ze samen betekenen. Het wordt zelfs nog moeilijker om de blootstelling vast te stellen, omdat persistente chemicaliën in industriële landen geleidelijk worden afgeschaft en vervangen door minder persistente verbindingen zoals methoxychloor. Net als DDT verstoort methoxychloor de hormonen, maar in tegenstelling tot zijn voorgangers laat het geen sporen van blootstelling achter in het lichaamswefsel. En de verontrustende vraag doemt op hoeveel hormoonverstorende chemicaliën er nog ontdekt moeten worden.

Hoewel synthetische chemicaliën nu onlosmakelijk deel lijken uit te maken van het moderne leven, zijn ze relatief recent in gebruik genomen. De synthetische chemische industrie ontwikkelde zich voor het eerst in de tweede helft van de negentiende eeuw, nadat scheikundigen in het laboratorium textielkleurstoffen leerden synthetiseren en de productie van deze door de mens gemaakte kleurstoffen op grote schaal begon. Maar het “chemische tijdperk” dat het dagelijks leven heeft veranderd, brak pas aan rond de Tweede Wereldoorlog, toen nieuwe ontdekkingen en nieuwe technieken een revolutie in de industrie veroorzaakten en leid-

den tot een tijdperk van explosieve groei in de productie van synthetische chemicaliën. Tussen 1940 en 1982 nam de productie van synthetische materialen met ongeveer 350 keer toe en miljarden kilo's door de mens gemaakte chemicaliën kwamen in het milieu terecht, waardoor mensen, dieren en het planetenstelsel werden blootgesteld aan talloze verbindingen die nog nooit eerder waren aangetroffen.

Kijk eens naar een paar cijfers die de omvang van dit wereldwijde experiment schetsen dat nu al een halve eeuw aan de gang is.

De Amerikaanse productie van synthetische chemicaliën op basis van koolstof, die het leeuwendeel van de synthetische chemicaliën uitmaken, bedroeg in 1992 meer dan 435 miljard pond, oftewel 1600 pond per hoofd van de bevolking. De wereldwijde productie is naar schatting ongeveer vier keer zo hoog, maar het is onmogelijk om aan actuele cijfers te komen.

[160] Wereldwijd zijn er nu honderdduizend synthetische chemicaliën op de markt. Elk jaar worden er duizend nieuwe stoffen geïntroduceerd, de meeste zonder adequate testen en beoordeling. In het beste geval kunnen de bestaande testfaciliteiten wereldwijd slechts vijfhonderd stoffen per jaar testen. In werkelijkheid wordt slechts een fractie van dit aantal getest.

De wereldmarkt voor pesticiden bedroeg in 1989 5 miljard pond en omvatte zestienhonderd chemicaliën. Het wereldwijde gebruik neemt nog steeds toe. Pesticiden zijn een speciale klasse chemicaliën omdat ze biologisch actief zijn en

opzettelijk in het milieu worden verspreid.

Vandaag de dag gebruiken de Verenigde Staten dertig keer zoveel synthetische pesticiden als in 1945. In dezelfde periode is de dodelijke kracht per pond van de chemicaliën die worden gebruikt door 900.000 boerderijen en 69 miljoen huishoudens vertienvoudigd. Het gebruik van pesticiden in de Verenigde Staten alleen al bedraagt 2,2 miljard pond per jaar, ruwweg 8,8 pond per hoofd van de bevolking.

Vijfendertig procent van het voedsel dat in de Verenigde Staten wordt geconsumeerd, bevat detecteerbare residuen van pesticiden. Amerikaanse analysemethoden detecteren echter slechts een derde van de meer dan zeshonderd pesticiden die in gebruik zijn. In ontwikkelingslanden is de verontreiniging van voedsel met pesticiden vaak veel groter. In Egypte bevatten de meeste onderzochte melkmonsters in één onderzoek hoge residugehaltes van vijftien pesticiden.

De wereldhandel in chemicaliën omvat vijftienduizend synthetische gechloreerde verbindingen - een categorie chemicaliën die onder vuur ligt vanwege hun hardnekkigheid en het feit dat ze gezondheids- en milieuproblemen veroorzaken. Hoewel de meeste geïndustrialiseerde landen in de jaren zeventig beperkingen oplegden aan de meest beruchte chemicaliën in deze klasse, worden ze in ontwikkelingslanden, waar ze worden gebruikt om plagen te bestrijden die de volksgezondheid en gewassen bedreigen, neemt het gebruik toe.

In 1991 exporteerden de Verenigde Staten minstens 4,1 miljoen pond pesticiden die verboden, geannuleerd of vrijwillig

opgeschoort waren voor gebruik in de Verenigde Staten, waaronder 96 ton DDT. Deze export omvatte 40 miljoen pond verbindingen waarvan bekend is dat ze hormoonontregelaars zijn.

[161] De hoeveelheden potentieel schadelijke chemische verbindingen die elk jaar worden geproduceerd zijn werkelijk duizelingwekkend - duizenden en duizenden chemicaliën en miljarden kilo's. Alleen al van pesticiden wordt vijf miljard kilo geproduceerd. Alleen al vijf miljard kilo pesticiden worden wijd en zijd verspreid, niet alleen over landbouwvelden, maar ook in parken, scholen, restaurants, supermarkten, huizen en tuinen.

Op zijn best zijn een paar honderd van deze chemicaliën diepgaand of gedetailleerd bestudeerd, waaronder de persistente verbindingen zoals DDT, PCB's, dioxine en lindaan. Maar zelfs hier blijkt dat onze onwetendheid veel groter is dan onze kennis. Ondanks de miljarden dollars die in dioxineonderzoek zijn geïnvesteerd, waren de meesten verrast, inclusief de wetenschappers die het experiment uitvoerden, door de recente bevindingen van de Universiteit van Wisconsin, waaruit bleek dat zeer lage doses diepgaande langetermijneffecten kunnen hebben op het voortplantingssysteem van degenen die in de baarmoeder zijn blootgesteld.

Voor veel van deze chemicaliën bestaan weinig of geen veiligheidsgegevens. De veiligheidsgegevens die er wel zijn, beperken zich meestal tot de vraag of de chemische stof kanker of ernstige geboortefwijkingen kan veroorzaken. Mogelijke effecten op het endocriene systeem of transgenerationale effecten worden zelden of nooit onderzocht.

De bestaande informatie maakt het misschien niet mogelijk om betrouwbare schattingen te maken over de blootstelling van mensen aan hormoonverstorende chemicaliën en de omvang van het gevaar, maar er is genoeg bewijs om diepgaande en verontrustende vragen op te roepen. Terwijl wetenschappers de mogelijke dreiging begonnen te onderzoeken, hebben nieuwe ontdekkingen de bezorgdheid alleen maar vergroot. Net zoals vooraanstaande onderzoekers hadden voorspeld, zijn er meer hormoonverstorende chemische stoffen ontdekt toen de eerste systematische onderzoeken van start gingen. En er worden er nog meer verwacht.

In tegenstelling tot wat critici beweren, is de hormonale activiteit van synthetische chemicaliën niet altijd “zwak”. In recente onderzoeken heeft Earl Gray ontdekt dat p'p-DDE, een afgebroken vorm van DDT die alom aanwezig is in menselijk lichaamsvet, een krachtige androgeenblokker is en even krachtig is als flutamide, een medicijn dat is ontwikkeld om de receptoren voor mannelijke hormonen te blokkeren en dat wordt gebruikt bij de behandeling van prostaatkanker.

De ontdekking dat hormoonverstorende chemicaliën op de loer kunnen liggen op onverwachte plaatsen, waaronder producten die als biologisch inert worden beschouwd zoals plastic, heeft traditionele opvattingen over blootstelling op losse schroeven gezet en suggereert dat mensen aan veel meer worden blootgesteld dan eerder werd aangenomen.

[162] Nog zorgwekkender is dat wetenschappers nu bewijs vinden dat hormoonverstorende chemicaliën samen kunnen werken en dat kleine, schijnbaar onbeduidende hoeveelheden

den van afzonderlijke chemicaliën een groot cumulatief effect kunnen hebben. Ana Soto en Carlos Sonnenschein hebben dit nu aangetoond met borstkankercellen in een kweek. Toen ze de oestrogeengevoelige borstkankercellen afzonderlijk blootstelden aan kleine hoeveelheden van tien chemische stoffen waarvan bekend was dat ze oestrogeen nabootsten, vonden ze geen significante groei in de cellen. Maar de cellen vertoonden een uitgesproken proliferatie toen dezelfde kleine hoeveelheden van dezelfde tien chemicaliën samen werden toegediend. Sumpter vindt ook aanwijzingen voor additieve effecten.

Wetenschappers hebben ook onderzocht of speciale bloedproteïnen zich op dezelfde manier binden aan synthetische oestrogeen imitaties als aan oestrogeen. Bij zwangere vrouwen zorgt deze binding ervoor dat het grootste deel van het oestrogeen dat in het bloed circuleert wordt gebonden en dat foetussen worden beschermd tegen overmatige blootstelling aan hormonen in de baarmoeder. Naarmate het onderzoek vordert, vinden wetenschappers steeds meer bewijs dat de bloedproteïnen zich niet binden aan synthetische chemicaliën, net zoals ze zich niet binden aan DES. Als een synthetische nabootser volledig vrij en ongehinderd is, zou dit de potentiële verstoring enorm vergroten en de bezorgdheid over relatief kleine doses van zogenaamde zwakke oestrogenen of andere hormoonverstoorders doen toenemen.

Elke ontdekking die in dit hoofdstuk is besproken, heeft bijgedragen aan de wetenschappelijke kennis over hormoonverstorende chemicaliën, maar ironisch genoeg hebben deze ontdekkingen ook onze verbazingwekkende onwetendheid

onderstreept over de door de mens gemaakte chemicaliën die we rijkelijk over de aarde hebben verspreid en in elk deel van ons dagelijks leven hebben opgenomen.

In werkelijkheid weet nog niemand hoeveel er van deze synthetische hormoonverstorende chemicaliën nodig is om een gevaar voor mensen te vormen. Alles wijst erop dat er heel weinig voor nodig is als de blootstelling voor de geboorte plaatsvindt. In het geval van dioxine hebben de recente onderzoeken in ieder geval aangetoond dat de blootstelling van mensen voldoende is om zorgwekkend te zijn.

Ondanks onze enorme onwetendheid moeten we een aantal belangrijke dingen die we wel weten niet uit het oog verliezen.

De meesten van ons dragen enkele honderden persistente chemische stoffen in ons lichaam, waaronder vele die geïdentificeerd zijn als hormoonverstoorders. [163] Bovendien dragen we ze met ons mee in concentraties die duizenden keren hoger zijn dan de natuurlijke niveaus van vrij oestrogeen - oestrogeen dat niet gebonden is aan bloedproteïnen en daarom biologisch actief is.

Zoals Fred vom Saal heeft ontdekt, kunnen minuscule kleine hoeveelheden vrij oestrogeen het verloop van de ontwikkeling in de baarmoeder veranderen - slechts een tiende deel per triljoen. Gezien deze exquisite gevoeligheid kunnen zelfs kleine hoeveelheden van een zwakke oestrogeen imitatie - een chemische stof die duizend keer minder krachtig is dan het oestradiol dat door het lichaam zelf wordt gemaakt - toch grote problemen veroorzaken.

HOOFDSTUK – 09

KRONIEK VAN VERLIES

De hydraulische kraan kreunde toen hij zijn bleke last uit het water hees. Heel even leek de beluga walvis van een ton door de lucht te zwemmen toen de kraan naar de lange, dunne trailer zwaaide die op het dok in Mont-Joli, op de zuidelijke oever van de St. Lawrence rivier in Quebec, stond te wachten. Hij deponeerde de walvis met een doffe plof.

Eerder die dag, op 31 mei 1989, had een visser het dier met de buik omhoog voor de kust gevonden en naar de steiger in Pointeaux-Cenelles gesleept. Op de rivier zijn beluga's oogverblindende wezens - een en al magie en gratie als je ze ziet glijden door de golven als waterige engelen. Uit hun element gerukt, zien ze er inderdaad anders uit. Als het erens op leek, dan was het walviskarkas dat op de trailer geparkeerd stond een enorme opgeblazen worst, behalve dat het opvallend wit was. Als porselein.

“Weer een vermelding voor het Boek der Doden,” dacht Pierre Beland terwijl hij zich omdraaide en in de cabine van de krachtige diesel Ford pick-up klom om aan de lange rit terug naar Montreal te beginnen. [165] De afgelopen zeven jaar had Beland, wetenschapper en oprichter van het St. Lawrence National Institute of Ecotoxicology, duizenden kilometers afgelegd om langs beide oevers van de St. Lawrence

heen en weer te rijden om dode beluga's op te halen en ze terug te brengen naar de diergeneeskundige school van de Universiteit van Montreal. Over een uur of zes zou hij terug zijn in de autopsiekamer met zijn collega's, dierenarts Sylvain De Guise en technicus Richard Plante, om midden in de nacht in de ingewanden van een andere walvis te graven. De bevindingen zouden worden toegevoegd aan hun groeiende dossier over belugas. Beland's Book of the Dead, een kroniek van verlies en waardevolle wetenschappelijke gegevens.

Beland en zijn collega's waren er inmiddels van overtuigd dat ze zowat alle soorten afwijkingen hadden gezien, maar de walvis die achter hem over de snelweg raasde zou geen routinezaak blijken te zijn. Deze beluga herbergde een vreemd geheim dat hem een speciale plaats in de annalen van de wetenschap zou opleveren.

Jarenlang hadden wetenschappers theorieën geopperd over de reden waarom de populatie beluga's in de St. Lawrence was blijven afnemen, zelfs nadat de grootschalige commerciële walvisvangst in de jaren 1950 was gestaakt. Als de vervuiling van de St. Lawrence al werd genoemd, dan werd dat als een minder belangrijke factor gezien. De walvisvangst had zonder twijfel een verwoestende tol geëist. De populatie was gekelderd van naar schatting vijfduizend rond de eeuwwisseling tot twaalfhonderd aan het begin van de jaren 1960. Maar in de drie decennia daarna was het aantal beluga's verder gedaald tot een huidige populatie van ongeveer vijfhonderd.

Beland kwam bij toeval in het debat en het walvisonderzoek

terecht. Hoewel hij was opgeleid als bioloog, had hij meer tijd doorgebracht met computers dan met dieren in het veld. Hij behaalde zijn Ph.D. in mathematische ecologie, wat de dynamiek van een ecosysteem probeert te onderzoeken door middel van wiskundige modellen en vergelijkingen. In september 1982 werkte hij in de afdeling mariene ecosystemen van een nieuw federaal onderzoekscentrum voor visserij en oceanen in Rimouski aan de zuidkust van de St Lawrence toen er vlakbij een beluga aanspoelde. Uit nieuwsgierigheid was hij samen met een jonge dierenarts, Daniel Martineau, een kijkje gaan nemen bij de beluga, een dier dat hij alleen van een afstand had gezien als een dansende witte flits in het uitgestrekte blauwgrijze water. Terwijl de twee mannen daar op het strand stonden, stelde Martineau, die veel meer geïnteresseerd was in de walvissen die hij op de rivier zag dan in de koeien die hij routinematig behandelde, plotseling voor om het dier open te snijden om te proberen uit te vinden waarom het was gestorven.

[166] Zelfs die eerste ontmoeting suggereerde al dat synthetische chemicaliën wel eens een grotere factor zouden kunnen zijn in de achteruitgang van de beluga dan iemand had gedacht. Het Fisheries and Oceans lab in Montreal, waar B6land een monster van het weefsel van de walvis naartoe had gestuurd, rapporteerde dat het dier sterk vervuild was met giftige chemicaliën, waaronder DDT, PCB's en kwik. Toen er die herfst nog twee beluga's aanspoelden, onderzochten B6land en Martineau hen ook en vonden ze een verscheidenheid aan afwijkingen en letsels die nog nooit eerder bij walvissen waren gerapporteerd.

In de tussenliggende jaren had Beland, in samenwerking met Martineau en De Guise, deelgenomen aan tientallen autopsies van walvissen en een verbazingwekkende lijst van aandoeningen samengesteld, waarvan de meeste nooit eerder waren gezien bij belugapopulaties die in minder vervuilde wateren leefden. De St. Lawrence walvissen hadden kwaadaardige tumoren, goedaardige tumoren, borsttumoren en abdominale massa's. Eén van hen had blaaskanker zoals veel andere walvissen. Eén van hen had blaaskanker, net als veel van de werknemers van de aluminiumfabriek aan de Saguenay River, een zijrivier waar sommige walvissen veel tijd doorbrengen. Ze leden aan zweren in de mond, slokdarm, maag en darmen. De meesten hadden ernstige tandvleesproblemen en ontbraken tanden. Velen hadden longontsteking of wijdverspreide virale of bacteriële infecties. Een groot aantal had ook endocriene stoornissen, waaronder vergroting van en cysten in de schildklier. Meer dan de helft van de onderzochte vrouwtjes vertoonde tekenen van ernstige borstinfecties die het moeilijk, zo niet onmogelijk, maakten om goed te voeden, en zogende moeders hadden pus vermengd met hun melk. Sommigen hadden verdraaide rugengraat en andere skeletaandoeningen. Het was een litanie die een walvisbaan waardig was.

Kort nadat B61and de dierenartsschool binnenreed met het laatste slachtoffer, begonnen ze het dier te onderzoeken - een normaal uitziend volwassen mannetje met een genezen litteken op zijn linkerzijde dat eruitzag als vijf ronde inkepingen. Het kenmerkende merkteken identificeerde hem onmiskenbaar als DL-26 (voor de beluga's Latijnse naam

Delphinapterus leucas), een van de eerder geïdentificeerde en gefotografeerde individuen in de dossiers van het instituut.

[167] Béland kreeg een zinkend gevoel toen hij zich realiseerde dat dit Booly was, een van de eerste walvissen die een sponsor vond in het nieuwe Adopt-A-Beluga programma van het instituut, dat was opgezet om geld in te zamelen voor het onderzoeksprogramma. Slechts zes maanden eerder had de vader van een walvisliefhebbende jongen in Toronto een cheque van \$5.000 gestuurd; de jongen had ervoor gekozen om zijn geadopteerde beluga Booly te dopen.

De autopsie ging door tot in de vroege uurtjes van de ochtend en verliep volgens de gebruikelijke routine - ontbrekende tanden, emfyseem, uitgebreide maagzweren - tot ze bij de buikholte kwamen. Binnenin vonden ze twee kleine testikels en normaal uitziende mannelijke leidingen zoals de bijbal en de zaadleider. Maar tot hun verbazing had Booly ook een baarmoeder en eierstokken, een compleet vrouwelijk voortplantingskanaal op een vagina na. Alle primeurs die ze al gemeld hadden in de St. Lawrence beluga populatie verbleekten bij deze vondst. Ze hadden de zeldzaamste biologische rariteit ontdekt: een echte hermafrodit. Dit is een fenomeen dat zelden voorkomt bij wilde dieren en nog nooit eerder bij een walvis is gerapporteerd. Nog ongebruikelijker was dat Booly twee testikels en twee eierstokken had, wat eerder alleen wetenschappelijk was gerapporteerd bij twee konijnen en een varken. Er was iets met Booly gebeurd in de baarmoeder om het normale verloop van de seksuele ontwikkeling te verstoren.

Was Booly een ongelukje van de natuur of was hij het slachtoffer van een hormonale ravage door vervuiling? Er is geen manier om deze vraag tientallen jaren na Booly's geboorte te beantwoorden, maar het autopsierapport merkte op: “Men kan niet uitsluiten dat vervuilende stoffen in het dieet van de moeder hormonale processen hebben verstoord” die de “normale evolutie van de geslachtsorganen van haar foetus” begeleiden. Op basis van de ringen van glazuur in zijn tanden, die wetenschappers tellen zoals boomringen om de leeftijd van een walvis te schatten, concludeerde het team dat Booly zesentwintig jaar oud was toen hij stierf. Hij was geboren in het begin van de jaren zestig - een tijd waarin de vervuiling van de St. Lawrence waarschijnlijk op zijn hoogtepunt was.

Hoewel de vervuilingsniveaus in de rivier sindsdien duidelijk zijn gedaald, vertonen de beluga's nog steeds hoge besmettingsniveaus, vooral de jongen. Sommige van de meest vervuilde dieren waren nog geen twee jaar oud, en zelfs bij te vroeg geboren dieren die niet overleefden werden hoge concentraties gevonden, wat erop wijst dat de vervuiling door de placenta van de moeder is overgedragen. Na de geboorte gaat de overdracht van verontreinigende stoffen naar het nageslacht door via de rijke, vette moedermelk. [168] Tijdens het zogen onttrekt de moeder van een zoogdier (inclusief de mens) haar vetreserves en dumpst niet alleen het vet, maar ook de hardnekkige giftige chemicaliën die ze in de loop der jaren in haar lichaamsvet heeft verzameld, in haar melk. Op deze manier wordt een lading verontreinigende stoffen die de moeder tientallen jaren in beslag heeft ge-

nomen om op te hopen, in zeer korte tijd doorgegeven aan haar baby. Tegen de tijd dat een babybeluga stopt met zogen als hij twee jaar oud is, heeft hij een giftige belasting opgelopen die, in verhouding tot zijn grootte, veel groter is dan die van zijn moeder.

Beland en zijn medewerkers vonden een jonge walvis die meer dan vijfhonderd delen per miljoen PCB's in zijn lichaam had - tien keer meer dan het niveau dat volgens de Canadese wet nodig is om als gevaarlijk afval beschouwd te worden. Schepen op de St. Lawrence die afval met meer dan vijftig delen per miljoen aan boord hadden, hadden een speciale vergunning nodig.

Wat ook de oorzaak is van Booly's unieke afwijking, de studies van Beland en zijn medewerkers suggereren dat er een wijdverspreide hormoonverstoring kan zijn onder de St. Lawrence beluga's, die hun voortplanting ondermijnt en het herstel van de populatie verhindert. De vrouwtjes in de St. Lawrence hebben nu onderactieve eierstokken en een lagere zwangerschapsgraad dan Arctische beluga's. En op basis van onderzoeken onder jongere dieren, die een grijze huid hebben tot ze op zesjarige leeftijd de sneeuw witte mantel van volwassenheid aannemen, produceren ze minder jongen dan hun noordelijke verwanten. In het noordpoolgebied maken jonge dieren meer dan veertig procent van de populatie uit, terwijl het percentage jonge dieren in de St. Lawrence rond de dertig schommelt.

Dergelijke voortplantingsproblemen zijn niet verrassend. De St. Lawrence beluga's dragen aanzienlijke hoeveelheden synthetische chemicaliën met zich mee waarvan bekend is

dat ze hormonen verstoren en normale reproductiecycli verstoren. In een onderzoek dat in Nederland werd uitgevoerd, vonden Nederlandse onderzoekers verminderde voortplanting bij zeehonden die besmette vis uit de Oostzee te eten kregen, maar geen problemen in een tweede groep die schonere Noord-Atlantische vis te eten kreeg. De synthetische chemische verontreinigingen in de vis uit de Oostzee zijn vergelijkbaar met die in de St. Lawrence vis die de beluga's eten.

[169] Naast een lage voortplanting heeft de St. Lawrence beluga populatie ook te maken met een hoger dan verwachte sterfte onder volwassen dieren in de bloeitijd - sterfgevallen die volgens de onderzoekers in Quebec deels te wijten zijn aan de tol die giftige chemicaliën eisen van hun immuunsysteem. Er zijn steeds meer aanwijzingen in de wetenschappelijke literatuur dat zowel prenatale blootstelling aan hormoonverstorende chemicaliën als directe blootstelling van volwassenen aan giftige stoffen de immuniteit kan verzwakken. Net als bij mensen die aan AIDS lijden, maken de gebrekkige immuunsystemen de walvissen kwetsbaarder voor longontsteking, huidziekten, verschillende infecties en kanker. Het team onderzoekt nu het immuunsysteem van beluga's en voert een vergelijkende studie uit tussen de populaties van de St. Lawrence en de Arctische populaties in een poging om de aard van de schade aan het immuunsysteem te karakteriseren.

Hoe dan ook, zegt Beland, vervuiling doodt de walvissen. Maar het is niet de acute vergiftiging die vaak geassocieerd wordt met lozingen van giftige chemicaliën, die de snelle

dood veroorzaakt van vissen en dieren die in het kielzog gevangen worden. Deze dood is langzaam, onzichtbaar en indirect.

De ontdekkingen van Beland, Martineau en De Guise tijdens hun onderzoek van de St. Lawrence beluga's roepen bredere vragen op die relevant zijn voor dierenpopulaties overall.

Zoals het geval was in de St. Lawrence, hebben onderzoekers de achteruitgang en verdwijning van populaties van wilde dieren vaak toegeschreven aan menselijke verstoring van hun habitat, overmatig jagen, vissen en vangen, of aan de introductie van agressieve vreemde soorten die inheemse concurrenten overweldigen. Al deze krachten spelen ongetwijfeld een rol bij het wereldwijde verlies van diersoorten, maar biologen merken dat ze niet alle achteruitgang verklaren.

In het licht van het groeiende bewijs dat veel synthetische chemicaliën hormonen verstoren, de voortplanting belemmeren, de ontwikkeling verstoren en het immuunsysteem ondermijnen, moeten we ons nu afvragen in welke mate verontreinigende stoffen verantwoordelijk zijn voor de afname van dierpopulaties. Zouden hormoonverstorende stoffen geheel of gedeeltelijk verantwoordelijk kunnen zijn voor sommige verliezen die worden toegeschreven aan klassiek ingeroepen factoren zoals habitatverlies of overexploitatie? Zijn overgeëxploiteerde soorten er niet in geslaagd om weer op te veren na bescherming omdat synthetische chemicaliën de voortplanting belemmeren?

[170] Het stellen van deze vragen heeft al geleid tot verrassende herbeoordelingen, zelfs met betrekking tot een van de meest nauwlettend in de gaten gehouden dierenpopulaties in de Verenigde Staten, de ernstig bedreigde Florida panter. De achteruitgang van de grote kat, die symbool is komen te staan voor de inspanningen om de veel misbruikte Everglades te herstellen, werd geweten aan voortplantingsproblemen veroorzaakt door inteelt, menselijke invasie, verkeersdoden en kwikvervuiling. In een poging om het afglijden van de panthers naar uitsterven te stoppen, bouwden staats- en federale ambtenaren een reeks speciaal ontworpen onderdoorgangen langs Alligator Alley, een snelweg die dwars door de Everglades loopt en waar een aantal panthers zijn gedood.

Het verspreidingsgebied van de panthers in het zuiden van Florida, waaronder het Everglades National Park en het Big Cypress moeras, ligt stroomafwaarts van grote landbouwgebieden en heeft daardoor te lijden onder de vervuiling door pesticiden en kunstmest. Maar tot voor kort dacht niemand dat synthetische chemicaliën een rol speelden bij het uitsterven van de panthers.

De eerste aanwijzing kwam in 1989. Aangespoord door de dood van een ogenschijnlijk gezond vrouwtje in het Everglades National Park, begonnen federale en staatsagentschappen voor natuurbeheer een onderzoek naar de overgebleven panthers, die niet meer dan vijftig in aantal waren. Wildlife specialisten concludeerden dat het vrouwtje gestorven was door kwikvergiftiging, wat zij toeschreven aan het feit dat Florida panthers veel op wasberen jagen en daardoor

via de wasbeer in contact komen met het aquatische voedselweb waar kwik en andere verontreinigingen zich ophopen. Maar het onderzoek toonde aan dat de panter ook een heleboel andere problemen hadden. Deze omvatten schijnbare steriliteit bij sommige mannetjes en vrouwtjes, een buitengewoon hoog aantal afwijkingen aan het sperma, een laag aantal zaadcellen, bewijs van een verminderde immunrespons en slecht functionerende schildklieren. Dertien van de zeventien mannetjes hadden niet ingedaalde testikels en uit gegevens over de populatie bleek dat dit probleem sinds 1975 dramatisch was toegenomen bij mannelijke welpen. Degenen die de panter onderzochten, schreven hun slechte voortplanting en verwante symptomen toe aan een gebrek aan genetische diversiteit als gevolg van inteelt in de kleine populatie.

Maar toen Charles Facemire, specialist in vervuilde chemicaliën bij de U.S. Fish and Wildlife Service, zich bewust werd van de opkomende informatie over hormoonverstorende synthetische chemicaliën, begon hij zich af te vragen of slechte genen echt het probleem waren. [171] In zijn onderzoek had hij ontdekt dat de panter niet bijzonder inteeltrijk zijn in vergelijking met andere grote katachtigen en dat hun genetische diversiteit in feite iets boven het gemiddelde ligt. Tegelijkertijd leerde hij dat achtergebleven testikels een bekend gevolg zijn van prenatale hormoonverstoring.

Als de panter in de baarmoeder hormoonverstoord waren geweest, zo leerde hij, dan zou dat te zien zijn in de hormoonverhoudingen in hun bloed, met name in de relatieve niveaus van testosteron, het typisch mannelijke hormoon, en

oestrogeen, het typisch vrouwelijke hormoon. Je zou verwachten dat mannetjes veel hogere testosteronniveaus hebben, maar een analyse van het bloed van de panthers vond verhoudingen die inderdaad eigenaardig leken en suggereerden dat veel van de mannetjes “vervrouwelijkt” waren. Twee mannetjes hadden veel meer oestradiol, een vorm van oestrogeen, in hun bloed dan testosteron. Bij verschillende anderen was het oestradiolgehalte bijna gelijk aan dat van testosteron. Hoewel dergelijke verhoudingen zeer abnormaal lijken, is er geen definitieve conclusie mogelijk totdat verder onderzoek de normale hormoonverhoudingen in andere populaties van deze katten heeft vastgesteld.

De hormoonverstoringstheorie kreeg nog meer kracht toen Facemire gearchiveerde gegevens over vervuilende stoffen in de dieren bekeek, want uit deze gegevens bleek dat de panthers hoge concentraties van verschillende synthetische chemicaliën bij zich dragen waarvan bekend is dat ze hormonen verstoren. Naast dodelijke hoeveelheden kwik bevatte het vet van het vrouwtje dat in 1989 dood werd aangetroffen 57,6 delen per miljoen van DDE, een afbraakproduct van het pesticide DDT, en 27 delen per miljoen van PCB's, een persistente industriële chemische stof. Tegelijkertijd gaven nieuwe bevindingen van Earl Gray, reproductietoxicoloog bij het Environmental Protection Agency, aan waarom DDE mogelijk de ontwikkeling van mannelijke panterwelpen beïnvloedt. DDE is lange tijd beschreven als een zwak oestrogeen, maar Gray's studies hebben aangetoond dat het ook een krachtige blokker van mannelijke hormonen is. Facemire merkt op dat als iets de testosteronboodschappen

blokkeert terwijl een mannetje zich in de baarmoeder ontwikkelt, dit een van de gevolgen kan zijn, omdat testosteron laat in de dracht de indaling van de buik naar het scrotum veroorzaakt.

Ondanks de onzekerheid over de oorzaak van het probleem van de panthers, gaan wildbeheerders door met een duur translocatieprogramma dat panthers van gezondere populaties buiten de staat naar Florida zal brengen. [172] De hoop is dat deze geïmporteerde katten zullen paren met de lokale panthers en de voortplantingsproblemen zullen verminderen die sommigen nog steeds toeschrijven aan inteelt.

Het kan nog jaren duren voordat de vraag is beantwoord wat de Florida panther aan de rand van uitsterven heeft gebracht, maar met dit voorbereidende werk is hormoonverstoring door vervuilende stoffen plotseling naar voren gekomen als de meest overtuigende theorie om hun voortplantingsproblemen te verklaren. Bij een aantal andere soorten hebben wetenschappers echter al overtuigend bewijs gevonden dat hormoonverstorende chemicaliën linkt aan voortplantingsproblemen, en in veel van deze gevallen werden de verliezen aanvankelijk geweten aan andere factoren.

Een van de beste voorbeelden is het werk van biologen van de Universiteit van Florida, de U.S. Fish and Wildlife Service en de Florida Game and Freshwater Fish Commission aan de alligatorpopulatie in Lake Apopka. Het 12.500 hectare grote meer, het op drie na grootste zoetwaterlichaam in de staat, ligt ver ten noorden van de Everglades, niet ver van Orlando en Disney World. Hoewel reproductiebioloog Lou Guillette van de Universiteit van Florida wist dat het falen

van de voortplanting te maken had met de lekkage van Tower Chemical Company aan de oever van Lake Apopka meer dan tien jaar eerder, werden de symptomen bij de wilde dieren pas duidelijk toen hij ontdekte dat synthetische chemicaliën als hormonen konden werken.

Die openbaring kwam, herinnert Guillette zich, op een luie vrijdagmiddag in het voorjaar van 1992, toen zijn oude mentor, Howard Bern, een vergelijkend endocrinoloog en professor emeritus van de Universiteit van Californië in Berkeley, een informele lezing gaf tijdens een bezoek aan de campus van Gainesville. In die lezing vertelde Bern over zijn pionierswerk op het gebied van DES en over de ontdekking dat soortgelijke verstoringen in de ontwikkeling zijn opgetreden bij vogels die zijn blootgesteld aan synthetische chemicaliën. Bern had zelf net gehoord van de opvallende en verontrustende parallellen toen hij in juli daarvoor een interdisciplinaire conferentie had bijgewoond in het Wingspread Conference Center in Racine, Wisconsin. Tot Guillettes verbazing bleken de problemen die Bern beschreef dezelfde te zijn als die bij de alligators die hij had bestudeerd.

Vanwege de heersende veronderstellingen over vervuilende stoffen hadden Guillette en zijn collega's verwacht dat de chemische lozing kanker of de dood zou veroorzaken. Berns lezing gaf hen een geheel nieuwe manier om na te denken over hoe verontreinigende stoffen alligators en andere organismen zouden kunnen beïnvloeden en een geheel nieuwe reeks vragen. [173] “We wisten dat het vervuiling was,” zegt hij, “maar we realiseerden ons niet dat het een hormoneffect was.”

Met dit inzicht kon Guillette zich nu voorstellen hoe de ongewone problemen bij de alligators in verband konden worden gebracht met de lekkage van chemicaliën in 1980, een gebeurtenis die het gebied op de federale Superfund-lijst van de ernstigste gevaarlijke afvallocaties van het land plaatste. De chemische stof die bij de lekkage vrijkwam was dicofol, een nauw verwante pesticide van DDT en een verbinding die ook hormonen verstoort. Sindsdien heeft Guillette, samen met Timothy Gross van de Universiteit van Florida, Franklin Percival van de U.S. Fish and Wildlife Service en Allan Woodward van de Florida Game and Freshwater Fish Commission, gegevens verzameld die een dergelijk verband ondersteunen.

Nadat de kwestie voor het eerst in het nieuws kwam in het begin van 1994, begon een stoet journalisten naar Lake Apopka te trekken om de benarde toestand van de alligators vast te leggen en hun kleine leden te fotograferen, die slechts een derde tot de helft van hun normale grootte hebben. Guillette en zijn collega's hebben ontdekt dat het probleem ernstiger is bij mensen die vlakbij de plek van de lekkage wonen dan bij mensen die vijf tot tien mijl verderop in het noordelijke deel van het meer wonen. Maar ongeacht waar ze in het meer wonen, hebben de Apopka mannetjes als geheel kleinere penissen dan mannetjes die in een relatief schoon meer zijn uitgebroed. Recentere onderzoeken tonen ook aan dat dit probleem zich verder uitstrekt dan het Apopka-meer, hoewel de symptomen minder ernstig zijn in meren waar geen industriële chemicaliën zijn geloosd. Onderzoekers onderzoeken nu de mogelijkheid dat verontreini-

ging door de landbouw verantwoordelijk is.

Zelfs als deze mannetjes penis van normale grootte zouden hebben, zouden de Apopka alligators nog steeds voortplantingsproblemen hebben, omdat beide geslachten lijden aan een diepgaande maar minder zichtbare verstoring van hun interne voortplantingsorganen. De eierstokken van de vrouwelijke alligators vertonen afwijkingen in hun eitjes en in de follikels, waar de eitjes rijpen voor de ovulatie, die opmerkelijk veel lijken op afwijkingen die gerapporteerd zijn bij mensen en proefdieren die vroeg in hun ontwikkeling blootgesteld zijn aan DES. De testikels van de mannetjes vertoonden ook structurele afwijkingen.

De Apopka alligators hebben ook scheve hormoonverhoudingen, waarbij de mannetjes een profiel vertonen dat typisch lijkt voor een normaal vrouwtje. [174] Deze mannetjes hebben verhoogde oestrogeenspiegels en sterk verlaagde testosteronniveaus in hun bloed - slechts een vierde van het niveau dat gevonden werd bij mannetjes uit het relatief niet-verontreinigde Lake Woodruff. De vrouwtjes uit Apopka hebben ook verhoogde oestrogeenspiegels en een verhouding oestrogeen-testosteron die twee keer zo hoog is als normaal: deze significant afwijkende hormoonspiegels bij mannen en vrouwen suggereren dat hun geslachtsorganen slecht of helemaal niet functioneren.

Tot Guillette's verbazing heeft de vervuiling van Apopka ook een verwoestende tol geëist van de populatie roodorschildpadden. In tegenstelling tot de vleesetende alligators, die toppredatoren zijn en daarom worden blootgesteld aan hogere concentraties vervuilende stoffen in de journey van

het voedselweb, eten de roodoorschildpadden ook planten - een voedingsgewoonte die hen aan minder vervuiling zou moeten blootstellen. Toch hebben ook zij voortplantingsproblemen. In hun geval is het probleem echter niet de niet-uitgekomen eieren, maar de afwezigheid van mannetjes. Onderzoekers vinden vrouwtjes in het meer en veel schildpadden die noch man, noch vrouw zijn. Door hormoonverstoring tijdens de seksuele ontwikkeling stranden de dieren die mannetjes zouden zijn geworden in een geslachtsveranderende toestand die intersekse wordt genoemd. Er zijn maar weinig normale mannetjes te vinden.

Bij schildpadden wordt het geslacht bepaald door de temperatuur in plaats van door een gen, waardoor sommigen suggereerden dat deze intersekseconditie een natuurlijke afwijking zou kunnen zijn die veroorzaakt wordt door temperatuurschommelingen tijdens het uitbroeden van de eieren. Maar later onderzoek door David Crewes van de Universiteit van Texas in Austin heeft aangetoond dat dergelijke afwijkingen niet voorkomen, zelfs niet wanneer schildpadeieren worden uitgebreed bij een temperatuur die op het randje ligt van de productie van het ene of het andere geslacht. Er is iets meer nodig dan temperatuurschommelingen om seksueel verwarde dieren te produceren. In laboratoriumexperimenten zijn onderzoekers erin geslaagd om intersekse dieren te produceren door schildpadeieren uit te broeden bij een mannelijke temperatuur en ze tegelijkertijd bloot te stellen aan oestrogeen of oestrogene synthetische chemicaliën zoals sommige PCB's.

Hoewel de effecten van de vervuilende stoffen op de alliga-

tors en schildpadden duidelijk zijn, heeft het team nog niet vastgesteld welke chemische stof of stoffen verantwoordelijk zijn. De belangrijkste verdachte is het DDT-afbraakproduct DDE, de verontreiniging die in de hoogste concentraties werd aangetroffen in de alligator-eieren en die afkomstig zou kunnen zijn van het geloosde dicofol, maar er zijn ook andere hormoonverstorende verontreinigingen aanwezig, waaronder dieldrin en chloordaan. [175] In tests waarbij onderzoekers alligator-eieren met DDE beschilderden, was slechts één deeltje per miljoen genoeg om een hoger dan verwachte mate van onduidelijke ontwikkeling in de geslachtsorganen te veroorzaken - afwijkingen die lijken op de afwijkingen die zijn gemeld bij besmette vogels door Michael Fry, onderzoeker aan de Universiteit van Californië. Chemische analyses van kuikens van de Apopka alligator hebben aangetoond dat ze vier tot vijf delen per miljoen DDE bevatten.

Gezien deze ernstige voortplantingsproblemen zou je verwachten dat er weinig of geen alligators zouden zijn, maar dat is verre van het geval. Onderzoekers denken dat de immigratie van gezonde alligators uit schonere meren naar Apopka hun verdwijning heeft voorkomen. Het is niet ongebruikelijk dat Florida alligators zich verplaatsen van het ene meer naar het andere op zoek naar een betere habitat en een betere jacht, dus een meer als Apopka met een uitstekende habitat en een uitgeputte inheemse alligatorpopulatie zal zeker migranten aantrekken. Deze constante aanvulling van buitenaf heeft de ernstige problemen van het meer volledig gemaskeerd. De erbarmelijke toestand van Apopka zou zelfs

onontdekt zijn gebleven als wildlife officials niet geïnteresseerd waren geraakt in het leveren van wilde alligator-eieren voor commerciële alligatorfokkerijen. Geconfronteerd met de vraag hoeveel eieren er in het wild verzameld konden worden zonder de eens bedreigde soort in gevaar te brengen, onderzochten Guillette's collega's verschillende meren in Florida, waaronder Apopka. Op deze manier ontdekten ze dat de meeste eieren in Apopka-nesten niet uitkwamen.

Het Apopka-meer illustreert levendig hoe de schijn volledig kan afwijken van de werkelijkheid. Het meer lijkt een gezonde, relatief onbedorven plek en de omringende moerasen lijken rijk aan wilde dieren, waaronder schildpadden en alligators. Volgens de gebruikelijke maatstaven voor waterkwaliteit is de lekkage in 1980 geschiedenis en is het meer weer schoon. Maar zelfs jaren later is het gif van het ongeluk nog niet echt verdwenen. Hoewel ze niet meer in het water voorkomen, circuleren ze nog steeds in Apopka's voedselweb en veroorzaken ze ravage. Pas bij nadere bestudering wordt de diepgaande verstoring van de flora en fauna duidelijk.

Dit soort immigratie - waarbij dieren die geboren zijn in relatief schone gebieden voortdurend verhuizen naar vervuilde habitats en zich daar vestigen - verbergt ook voortdurende problemen bij andere diersoorten in de Verenigde Staten, waaronder de zeearend. [176] Nadat de federale overheid het gebruik van DDT en dieldrin in het begin van de jaren 1970 aan banden legde, verminderde het dunner worden van de eierschalen en in de jaren 1980 begon de vogel zich opmerkelijk te herstellen in het hele land. In 1994 stelde de

U.S. Fish and Wildlife Service voor om de vogel te schrappen van de federale lijst van bedreigde diersoorten. Desondanks blijven sommige populaties van de zeearend in het land problematisch.

In de Grote Meren steeg het aantal zeearenden tussen 1977 en 1993 van 26 naar 134 paren, maar dit herstel is misschien meer schijn dan werkelijkheid. Biologen van de U.S. Fish and Wildlife Service geloven dat de groei van de populatie in de Grote Meren grotendeels afhangt van de immigratie van arenden die in schonere gebieden zijn uitgebroed. Deze nieuwkomers uit het binnenland van Michigan, Minnesota en Wisconsin broeden in het begin vaak goed, maar worden minder succesvol naarmate verontreinigingen uit de meren zich ophopen in hun lichaam en hun vruchtbaarheid aantasten. Studies hebben aangetoond dat de vogels de verontreinigingen via hun prooiën binnenkrijgen en dat hoe hoger het gehalte aan DDE en PCB's, hoe lager hun broedsucces.

Het dieet van een arend bepaalt hoe snel hij voldoende verontreinigende stoffen binnenkrijgt om de voortplanting te schaden. Hoewel Lake Superior minder vervuild is dan de andere Grote Meren, stapelen arenden er een aanzienlijke hoeveelheid vervuiling op door hun eetgewoonten. In plaats van direct op vis te azen, azen zeearenden vaak op visetende vogels zoals meeuwen - een stap hoger in het voedselweb. Door hun voorliefde voor meeuwen accumuleren ze concentraties van verontreinigende stoffen die twintig keer zo hoog zijn als wanneer ze alleen vis hadden gegeten.

Slechte voortplanting onder zeearenden blijft ook een probleem in verschillende andere gebieden van het land, met

gevolgen voor populaties in de Columbia River in het noordwesten van de Stille Oceaan, in een gebied bij Yellowstone National Park en in de kustgebieden van Maine, waar arendenpopulaties mogelijk meer op vogels jagen.

Slechte voortplanting bij volwassen dieren was slechts één van de problemen die naar voren kwamen in de Grote Meren. Bij arenden en andere visetende vogels begonnen veldbiologen ernstige geboortefwijkingen te zien, zoals ontbrekende ogen, knotsvoeten en gekruiste snavels, en een bizar wasting syndrome dat een ogenschijnlijk gezond kuiken plotseling kon treffen, waardoor het verdorde en stierf. [177] Ook hier werd aanvankelijk een lage genetische diversiteit aangehaald om de problemen te verklaren. Degenen die deze verklaring aanvoerden, redeneerden dat DDT sommige soorten in de regio bijna volledig had uitgeroeid, zodat de dieren in de terugkerende populaties waarschijnlijk allemaal afstammelingen waren van het kleine aantal dieren dat de crash had overleefd en dus inteelt vertoonden.

Op basis van milieudetectiewerk en geavanceerde toxicologie hebben wetenschappers nu bewijs dat ook dit een geval van besmetting is in plaats van inteelt. Onderzoekers denken dat gedurende tientallen jaren het dunner worden van de eierschaal door DDT de effecten van andere vervuilende stoffen maskeerde door het embryo te doden. Met een verminderd gebruik van DDT nam het dunner worden van de eierschaal af en begonnen de kuikens te overleven, waardoor andere fysieke en gedragsmatige afwijkingen aan het licht kwamen. Sommige van deze problemen zijn in verband gebracht met dioxines, samen met furanen, en bepaalde PCB's

die via hetzelfde mechanisme werken. Zoals beschreven in hoofdstuk 7 gedragen al deze chemische stoffen zich op een dioxineachtige manier en binden ze zich aan een weesreceptor, waarvan de normale functie in het lichaam onbekend blijft.

In 1993 brachten de zeearenden die langs de Grote Meren nestelden vier misvormde kuikens voort - drie met gekruiste snavels en één met misvormde poten - maar dergelijke problemen zijn niet beperkt tot de Grote Meren. In de zomer van 1994 begon de U.S. Fish and Wildlife Service met een onderzoek naar een cluster van soortgelijke misvormingen bij vogels in Oregon, waar negen vogels in de Rogue Valley, waaronder roodstaarthaviken, torenvalken, een visarend, een Brewer's merel en een roodborstje, werden gevonden met gekruiste snavels, ontbrekende ogen of beide. Wildlife specialisten zeggen dat een gekruiste snavel een misvorming in de ontwikkeling is, analoog aan een gespleten gehemelte bij zoogdieren.

Zoals veel van deze gevallen aangeven, kunnen volwassen dieren vervuilingsniveaus verdragen die hun nakomelingen verwoesten. Maar bij de meest gevoelige soorten, zoals de nerts, lijken de verontreinigingsniveaus in de Grote Meren nog steeds te hoog te zijn, zelfs voor volwassen dieren om te overleven. Hoewel de gegevens schaars zijn, lijkt het erop dat nertsen halverwege de jaren vijftig van de vorige eeuw van de oevers van de Grote Meren begonnen te verdwijnen en zelfs met de beperkingen op DDT, PCB's en andere persistente chemicaliën zijn ze nog niet teruggekeerd. [177] Sommigen wijten hun verdwijning aan de vernietiging van

habitats en menselijke verstoring, maar specialisten in wilde dieren betwijfelen of dit een afdoende verklaring is, deels vanwege de overvloed aan muskusratten aan de waterkant. Nertsen en muskusratten hebben een voorkeur voor vergelijkbare habitats, dus omstandigheden die geschikt zijn voor de één zouden ook geschikt moeten zijn voor de ander. De reden dat muskusratten goed gedijen en nertsen afwezig zijn heeft waarschijnlijk te maken met hun dieet. Muskusratten eten planten; nertsen, die carnivoren zijn, eten hoger in het voedselweb en de nertsen die aan de kust leven eten veel besmette vis.

Na de sterfte en het falen van de voortplanting in de jaren '60 onder ranchnertsen die zich voedden met vis uit de Grote Meren, voerden biologen Richard Aulerich en Robert Ringer van de Michigan State University een reeks onderzoeken uit om te ontdekken wat de dieren doodde - een onderzoek dat ook licht wierp op het lot van hun wilde neven. Het tweetal ontdekte dat DDT en pesticiden niet het probleem waren; de nertsen stierven omdat ze zeer gevoelig zijn voor PCB's. Vrouwtjes plantten zich niet voort toen ze gevoerd werden met voedsel dat 0,3 tot 5 delen per miljoen PCB's bevatte - niveaus die tegenwoordig voorkomen in vis uit de Grote Meren en in het vet van moedermelk. Volwassen dieren stierven bij doses van 3,6 tot 20 delen per miljoen.

In Groot-Brittannië en Europa vond in de jaren 1950 een parallelle afname plaats onder otters, een sympathieke verwant van de nerts die zich voornamelijk voedt met vis. Hoewel otters in een groot deel van Europa voortdurend bedreigd worden door de vernietiging van hun leefgebied, hebben

twee Britse specialisten, Sheila Macdonald en Chris Mason, sterke aanwijzingen gevonden dat plaatselijke vervuiling en vervuiling door de wind even belangrijke factoren zijn bij het verdwijnen van de otter uit gebieden zoals Oost-Engeland, waar de inheemse populatie lijkt te zijn uitgestorven.

Bij het analyseren van veldonderzoeken in Groot-Brittannië in de jaren 1970 en in een aantal Europese landen in de jaren 1980 ontdekten Macdonald en Mason dat otterpopulaties alleen floreren aan de Atlantische kust in landen als Noorwegen, Schotland en Ierland; in het zuidwesten van Frankrijk en het westen van Spanje, waar de heersende winden van de oceaan af waaien; en in Zuidoost-Europa, met name Griekenland. Maar otters bevinden zich in een gevaarlijke situatie in sterk geïndustrialiseerde landen en in regio's benedenwinds van grote industriële gebieden. De otters lijken, net als hun familielid de nerts, gevoelig te zijn voor PCB's en alles wijst erop dat PCB's, alleen of in combinatie met andere vervuilende stoffen zoals kwik, een belangrijke rol hebben gespeeld bij hun verdwijning. Onderzoeken naar de bedreigde otterpopulaties in Oregon en Zweden hebben een vergelijkbaar verband met PCB's gevonden.

[178] Sommige vissoorten blijken ook extreem gevoelig te zijn voor bepaalde synthetische chemicaliën, hoewel visserijspecialisten hun rol in de instortende visserij maar langzaam onderkennen. De meerforel was aan het begin van de jaren 1950 uitgestorven in Lake Ontario en stortte in dezelfde periode ook elders in de andere Grote Meren in. Tegenwoordig plant deze inheemse toppredator zich alleen nog op natuurlijke wijze voort in Lake Superior en delen van Lake

Huron, dus de aanwezigheid van de soort wordt grotendeels in stand gehouden door kunstmatige uitzetprogramma's.

De ondergang van de inheemse meerforel werd toegeschreven aan een combinatie van overbevissing, vernietiging van habitats en predatie door de zeeprik, een exotische parasiet die zich vasthecht aan andere vissen en hun lichaamsvloei-stoffen opzuigt, maar recente studies betwisten nu deze verklaring. Hoewel de verontreinigingsniveaus die in de meren worden aangetroffen geen volwassen vissen doden, hebben experimenten aangetoond dat foreleitjes extreem gevoelig zijn voor dioxine en andere chemicaliën, zoals sommige PCB's, die hetzelfde toxische mechanisme hebben. Ze blijken de meest seristente soort te zijn die ooit getest is. Bij blootstelling aan doses van slechts veertig delen per triljoen dioxine of 2,3,7,8-TCDD (of het toxische equivalent daarvan), beginnen eitjes van forellen of pas uitgekomen vissen een aanzienlijke sterfte te vertonen. Bij honderd delen per triljoen sterven alle eitjes. Op basis van monsters van het sediment in het meer reconstrueren toxicologen van het EPA met behulp van computermodellen de geschiedenis van de blootstelling aan dioxine in het meer. Dit werk geeft aan dat dioxine in de jaren 40 van de vorige eeuw in het Ontario-meer voldoende concentraties bereikte om de eitjes van forel te doden en hun voortplanting te ondermijnen.

Toenemend bewijs dat dioxine en dioxineachtige PCB's geheel of gedeeltelijk verantwoordelijk zijn voor het verlies van de meerforel roept extra vragen op over de vraag of de verontreiniging ook andere soorten heeft getroffen. De meerforel voedde zich met de diepzeeschulp, een soort die

nooit commercieel werd geoogst, maar ook deze soort is verdwenen. DDT, dioxine en PCB's binden zich het meest effectief aan de kleinste organische deeltjes, die voortdurend worden gesorteerd en verplaatst door stromingen in de meren totdat ze uiteindelijk worden afgezet in de modder van het diepste water, waar de diepzeescharper leefde. Als gevolg daarvan werd die soort blootgesteld aan veel hogere niveaus dan andere vissen.

[180] Eiersterfte is niet de enige factor die de overleving van vissen in de Grote Meren ondermijnt. In de jaren zestig introduceerden vis- en wildbeheerders verschillende soorten zalm uit het noordwesten van de Stille Oceaan, die nu jaarlijks worden uitgezet vanuit viskwekerijen en de basis vormen voor een miljarden dollar kostende sportvisindustrie in de regio. Tegenwoordig hebben alle zalmen in de Grote Meren ernstig vergrote schildklieren, een symptoom van onvoldoende schildklierhormoon, een chemische boodschapper die een rol speelt bij de voortplanting en de ontwikkeling van gezonde nakomelingen. Zalmeieren bevatten normaal gesproken een hoog gehalte aan schildklierhormoon, maar studies hebben aangetoond dat zalmeieren uit de Grote Meren een lager schildklierhormoongehalte hebben dan eieren van Pacifische zalm uit minder vervuilde gebieden. Hoewel een tekort aan jodium dergelijke symptomen kan veroorzaken, hebben onderzoekers dit als oorzaak uitgesloten. Onderzoekers hebben ontdekt dat zilvermeeuwen in de Grote Meren, die op vis jagen, ook last hebben van schildkliervergroting. Alles wijst erop dat deze schildklierproblemen het gevolg zijn van vervuiling en onderzoekers hebben aange-

toond dat veel van de chemische stoffen die in de meren worden aangetroffen de werking van schildklierhormonen kunnen blokkeren, maar de specifieke chemische stoffen die hiervoor verantwoordelijk zijn, zijn niet geïdentificeerd.

De zalm in het Eriemeer vertoont ook een verscheidenheid aan voortplantings- en ontwikkelingsproblemen, met name vroegtijdige seksuele ontwikkeling en een verlies van typisch mannelijke secundaire geslachtskenmerken zoals zware vooruitstekende kaken en rode kleur op de flanken. Hoewel bekend is dat secundaire en geslachtskenmerken verminderen bij broedvissen door de afwezigheid van natuurlijke selectie, gelooft John Leatherland, visspecialist aan de Universiteit van Guelph in Ontario, Canada, niet dat het evolutionaire fenomeen dat bekend staat als “genetische drift” voldoende is om het significante verlies van zichtbare geslachtsverschillen bij deze vissen te verklaren, zoals sommigen hebben gesuggereerd. Genetische drift is een evolutionair proces dat optreedt in zeer kleine populaties waar toeval een veel grotere rol begint te spelen bij het bepalen welke genetische kenmerken verschijnen in de volgende generatie. In dit geval wordt het een alternatief voor natuurlijke selectie, het evolutionaire proces dat aan het werk is in grote populaties. [181] Maar pogingen om te onderzoeken of hormoonverstorende chemicaliën verantwoordelijk zijn voor de veranderingen bij de zalm, worden gedwarsboomd door onwetendheid over de basisfysiologie van deze vissenfamilie en over de processen die de expressie van secundaire geslachtskenmerken bepalen.

Veel dieren vertonen voortplantingsproblemen die in ver-

band worden gebracht met vervuilende stoffen, maar zeezoogdieren zoals walvissen, dolfijnen, zeehonden en ijsberen lopen misschien wel het grootste gevaar, vooral op de lange termijn. Zoals wordt geïllustreerd door de reis van de PCB-molecule in hoofdstuk 6, accumuleren en concentreren persistente chemicaliën zich sterk in het mariene voedselweb, waardoor de langlevende roofdieren worden blootgesteld aan hoge niveaus van verontreiniging. Deze zeedieren zijn extra kwetsbaar voor persistente chemicaliën omdat ze zware vetlagen bij zich dragen die dienen als isolatie tegen koud water en als reservebrandstof voor tijden dat er weinig voedsel is. Na verloop van tijd zullen de enorme hoeveelheden persistente chemicaliën die de afgelopen halve eeuw op het land zijn vrijgekomen, zoals PCB's, geleidelijk hun weg vinden naar de oceanen en de toch al bedreigende verontreinigingsniveaus verhogen.

In Europa en Scandinavië hebben onderzoekers vanaf het begin van de jaren zeventig een reeks onderzoeken gedaan naar afnemende populaties gewone zeehonden, geringde zeehonden en grijze zeehonden in de Oostzee en naar gewone zeehonden in de Waddenzee, een groot deel van de Noordzee voor de kust van Nederland, Duitsland en Denemarken. Net als de beluga's in de St. Lawrence, daalde de populatie gewone zeehonden voor de Nederlandse kust tussen 1965 en 1975 van ongeveer 1.540 naar 550, ook al was de jacht gestopt.

Alles bij elkaar laten deze studies een significant verminderde voortplanting zien bij zeehonden die in verontreinigde gebieden leven, wat sterk gecorreleerd is met hun PCB-ni-

veaus. In de Oostzee wordt een hoge PCB-concentratie in het lichaam in verband gebracht met een hogere incidentie van afwijkingen bij vrouwelijke ringelrobber, waaronder tumoren en andere obstructies in de baarmoeder die kunnen leiden tot de dood van hun nakomelingen. Studies bij Nederlandse gewone zeehonden hebben ook een sterke correlatie gevonden tussen de afname van het voortplantingssucces en hoge PCB-niveaus in hun weefsel. In de follow-up experimentele studies die eerder in dit hoofdstuk zijn genoemd, voerde de Nederlandse onderzoeker Peter J.,H. Reijnders twee groepen vrouwelijke gewone zeehonden vis gevoerd uit twee bronnen - de vervuilde Nederlandse Waddenzee en de schonere noordoostelijke Atlantische Oceaan. [182] In het broedseizoen gingen de vrouwtjes van beide groepen om met drie mannetjes die niet-verontreinigde Atlantische vis hadden gegeten. Het verschil in zwangerschapspercentage tussen de twee groepen was opmerkelijk. Tien van de twaalf vrouwtjes die schonere Atlantische vis aten werden zwanger, maar slechts vier in de tweede groep die Waddenzeevis had gegeten.

Aan het eind van de jaren '80 begon een reeks dramatische zee-epidemieën duizenden zeehonden, dolfijnen en bruinvissen uit te roeien. Ze troffen populaties in de Baltische Zee en de Noordzee, de Middellandse Zee, de Golf van Mexico, de Noord-Atlantische Oceaan, de oostkust van Australië en zelfs zeehonden in het Baikalmeer in Siberië. De verliezen verwoestten verschillende populaties:

- In 1987 eiste een distempervirus naar schatting tien-duizend zeehonden in het Baikalmeer.

- Datzelfde jaar was de Atlantische kust van New Jersey tot Florida getuige van een afsterven van tuimelaars dat zich uitstreckte tot 1988 en meer dan 700 slachtoffers eiste - een verlies van meer dan de helft van die migrerende kustpopulatie.
- In 1988 stierven in een paar maanden tijd twintigduizend gewone zeehonden in de Noordzee, tot 60 procent van sommige lokale populaties.
- Tussen 1990 en 1993 spoelden meer dan duizend gestreepte dolfinen aan op de kusten van de Middellandse Zee.

Zijn al deze sterfgevallen een bizar toeval of een bewijs van een ernstig en wijdverbreid probleem onder zeezoogdieren?

In drie gevallen waren de dieren bezweken aan infecties veroorzaakt door distemperachtige virussen. In andere gevallen werden bacteriën of schimmels als “veroorzakers” aangewezen. Maar zelfs als de directe doodsoorzaak duidelijk leek, geeft dit geen antwoord op de diepere vraag waarom zoveel dieren op verschillende plaatsen zo kwetsbaar zijn geworden. De autopsies op de slachtoffers leverden echter wel een aantal suggestieve aanwijzingen op. De dode dieren vertoonden een verzwakt immuunsysteem en de onderzochte dieren hadden een hoog gehalte aan verontreinigende stoffen zoals PCB's, synthetische chemicaliën waarvan is aangetoond dat ze de immuunrespons onderdrukken in tal van dierstudies.

[183] Het distempervirus zelf heeft zeker bijgedragen aan de onderdrukking van het immuunsysteem onder de slachtoffers van deze virusuitbraken. Maar twee recente studies hebben gesuggereerd dat door besmetting veroorzaakte immuunsuppressie er ook bij betrokken kan zijn geweest.

Viroloog Albert Osterhaus en een team van Nederlandse onderzoekers van het National Institute of Public Health and Environmental Protection deden nog een voedingsstudie met twee groepen zeehonden om te zien of het eten van besmette vis enig effect had op de immuunrespons van de dieren. Net als in het eerdere onderzoek naar voortplanting at de helft van de 22 zeehonden in het onderzoek relatief schone Noord-Atlantische vis; de andere helft at vis uit de zwaar vervuilde Oostzee, die ruwweg tien keer meer dioxineachtige organochloorverbindingen en verbindingen met vergelijkbare werking bevatte dan de Atlantische haring. Osterhaus merkte in persinterviews op dat alle vis die aan beide groepen werd gevoerd afkomstig was van commerciële vangsten bestemd voor menselijke consumptie.

De zeehonden die bijna twee jaar lang Oostzeeharing aten, vertoonden al snel verschillende tekenen van een verminderde immuunfunctie en een verzwakt vermogen om virusinfecties te bestrijden. De werking van hun natural killer cellen, die fungeren als eerste verdedigingslinie tegen virale infecties, was twintig tot vijftig procent lager dan normaal en de respons van T-cellen, die de immuunafweer aansturen, daalde met vijftientwintig tot zestig procent. T-lymfocyten spelen een cruciale rol bij het opruimen van virusinfecties, vooral in het geval van distemperachtige virussen.

Een tweede studie, uitgevoerd in de Verenigde Staten door immunoloog Garet Lahvis, keek naar de relatie tussen immuunrespons en 'verontreinigingsniveaus bij relatief gezonde dolfijnen, van wie het bloed werd afgenomen nadat ze waren ingesloten door netten in ondiep water voor de kust van Florida. Door gebruik te maken van lymfocytentests die vergelijkbaar zijn met tests die gebruikt worden om vroege tekenen van immuunverstoring te detecteren bij mensen die besmet zijn met het AIDS-virus, vond Lahvis bewijs dat de immuunrespons bij dolfijnen afnam naarmate het PCB- en DDT-gehalte in hun bloed toenam. Dit levert extra bewijs dat hoog besmette dieren waarschijnlijk al leden aan een verzwakt immuunsysteem voordat ze werden aangevallen door de distemperachtige virussen die betrokken waren bij sommige zee-epidemieën.

[184] Net als het voortplantingssysteem is het immuunsysteem bijzonder kwetsbaar voor schade door hormoonverstorende chemicaliën tijdens de prenatale ontwikkeling. Zoals we hebben gezien, tonen dierstudies en bewijzen van mensen die aan DES zijn blootgesteld aan dat een dergelijke blootstelling de ontwikkeling van het immuunsysteem kan veranderen en een levenslange impact kan hebben. Het groeiende bewijs van het verband tussen synthetische chemicaliën en aantasting van het immuunsysteem heeft vooral ernstige gevolgen voor zeezoogdieren. Deze soorten dragen hoge besmettingsniveaus met zich mee, waardoor het waarschijnlijk is dat hun nakomelingen de wereld binnenkomen met een reeds aangetast immuunsysteem. De chronische blootstelling aan giftige chemicaliën tijdens een leven in

vervuild water maakt het alleen maar erger. Door hun prenatale blootstelling zijn de nakomelingen mogelijk minder goed in staat om ziektes te bestrijden dan hun ouders, die pas op volwassen leeftijd aan chemicaliën werden blootgesteld.

Als synthetische chemicaliën het immuunsysteem van zeezoogdieren hebben verzwakt en hebben bijgedragen aan de epidemieën, dan kun je je afvragen waarom de uitbraken niet eerder plaatsvonden. Een deel van de reden kan zijn dat dit langlevende soorten zijn, dus het zou enige tijd duren voordat deze dubbele whammy van de tweede generatie zich zou openbaren. Er zit ook een tijd tussen het vrijkomen van verontreinigende stoffen op het land en hun accumulatie in de zee. Deze twee factoren kunnen deels verklaren waarom deze grote zee-epidemieën tot voor kort uitbleven.

Er is nog minder bekend over de oorzaak van de dramatische en mysterieuze afname van kikkers die in veel delen van de wereld is gerapporteerd. Het verlies van kikkers in stedelijke gebieden in de Verenigde Staten, waar de ontwikkeling wetlands heeft opgeslokt, lijkt geen mysterie, maar waarom verdwijnen kikkers in ongestoorde bossen in Costa Rica en in afgelegen gebieden van Australië? Een van 's werelds meest vooraanstaande amfibie-experts, Robert Stebbins, is van mening dat hormoonverstorende chemicaliën waarschijnlijk de oorzaak zijn van een afname die geen voor de hand liggende oorzaken heeft, zoals verstoring van de habitat of droogte. In een toespraak tijdens een internationale bijeenkomst van herpetologen in Australië in december 1993 drong Stebbins, emeritus hoogleraar zoölogie aan de

Universiteit van Californië in Berkeley, er bij zijn collega's op aan om de mogelijke rol van hormoonverstorende chemicaliën een hoge prioriteit te geven in hun zoektocht naar een oorzaak.

Tijdens zijn onderzoek naar amfibieën heeft Stebbins de rapporten over de achteruitgang van kikkers bekeken en in veel gevallen een synchroon patroon gevonden dat wijst op een wijdverspreide oorzaak, zoals door de wind verspreide verontreinigende stoffen.

[185] Gebaseerd op zijn onderzoek lijkt het erop dat veel populaties snel achteruit gingen of helemaal verdwenen tussen het midden van de jaren 1970 en het begin van de jaren 1980. Populaties die op grote hoogte leven zijn bijzonder hard getroffen, waardoor sommigen suggereren dat de dunner wordende ozonlaag een rol zou kunnen spelen door hen bloot te stellen aan verhoogde niveaus van schadelijke ultraviolet-B straling. Hoewel de verminderde ozonlaag sommige kikkerpopulaties kan ondermijnen, vindt Stebbins deze theorie niet afdoende om verliezen te verklaren zoals bij de gouden pad van Costa Rica, een soort die diep in het regenwoud leeft en door de bomen goed beschermd wordt tegen UVB-straling.

Hooggelegen gebieden zijn niet alleen kwetsbaarder voor ozonverlies, ze zijn ook kwetsbaarder voor vervuiling die door de wind wordt aangevoerd. Zoals onze hypothetische reis van de PCB-molecule illustreerde, verdampen veel persistente synthetische chemicaliën en reizen ze rond tot ze een koelere plek bereiken, zoals een berg, waar ze opnieuw condenseren en tot rust komen. Wetenschappers hebben de

rol van langeafstandsvervuiling in zure regen bestudeerd en hebben allerlei soorten vervuiling gevonden op schijnbaar afgelegen berghellingen.

Stebbins ziet ook andere symptomen die lijken te wijzen op chemische vervuiling. Net als de dolfijnen lijken sommige verdwijnende kikkers tekenen te vertonen van een verzwakt immuunsysteem, zoals blijkt uit uitbraken van “rode poot”. Deze soms dodelijke infectie, die ontstekingen aan de onderkant van de poten veroorzaakt, wordt veroorzaakt door een veel voorkomende bacterie die overal ter wereld in zoet water voorkomt.

“Als een populatie gezond is,” zegt Stebbins, “kunnen de kikkers deze bacterie vrij goed aan. Maar op veel plaatsen waar de populatie afneemt, komen de dieren tevoorschijn met rode poten.” Vanwege de duidelijke relatie met een verzwakt immuunsysteem heeft Stebbins het fenomeen omschreven als “AIDS-achtig”.

Tot slot merkt Stebbins op dat de unieke fysiologie en levensgeschiedenis van de kikker hem zeer kwetsbaar maakt voor de aanval van hormoonverstorende chemicaliën. Met hun doorlaatbare huid die kan ademen en water kan opnemen, absorberen kikkers de chemicaliën die ze tegenkomen sneller dan de meeste andere dieren. Ze maken ook een dramatische overgang door die metamorfose wordt genoemd en die hen verandert van wezens die in water ademen in wezens die in lucht ademen. Als kikkervisjes kikkers worden, vindt er een ingrijpende reorganisatie van hun structuur en fysiologie plaats - een proces dat wordt aangestuurd door hormonen en daarom kwetsbaar is voor synthetische chemi-

caliën die hormoonboodschappen verstoren. Door hun aard zijn kikkers uitstekende kandidaten voor hormoonverstoring.

[186] En dat geldt misschien ook wel voor veel andere wezens. Wetenschappers zijn nog maar net begonnen met het onderzoeken van de mogelijke effecten van pesticiden en andere synthetische chemicaliën op de migratie van vogels, een complex en ontzagwekkend fenomeen dat nog steeds niet volledig wordt begrepen. Sommige kleine vogels vliegen zo hoog als vliegtuigen; sommige maken non-stop vluchten van negentig uur van Massachusetts naar Zuid-Amerika. Tweederde van de vogelsoorten in Noord-Amerika zijn trekvogels en veel van de langeafstandstrekkingen vertonen een alarmerende afname.

Halverwege de jaren tachtig begon Pete Myers, toen nog een jonge wetenschapper die kustvogels bestudeerde, zich af te vragen wat de invloed van pesticiden zou kunnen zijn toen hij de kelderende aantallen kustvogels zag, een familie waartoe soorten als zandplevieren en plevieren behoren. Sommige soorten leggen in één jaar meer dan 15.000 mijl af, van broedgebieden in het noordpoolgebied tot overwinteringsgebieden in het verre zuiden van Zuid-Amerika. Gegevens van het Manomet Bird Observatory in Plymouth, Massachusetts, suggereerden dat de populatie drieteenstrandlopers die in de herfst langs de oostkust van de Verenigde Staten naar het zuiden trok met tachtig procent was afgenomen over een periode van vijftien jaar. Een groot deel van deze populatie, zo had Myers onlangs in zijn onderzoek ontdekt, overwinterde aan de westkust van Zuid-Amerika in Peru en

Chili, waar hij werkte.

Wat gebeurde er met hen en waarom? De vogels leggen in de loop van een jaar zo veel grond af, hinkelend heen en weer over de evenaar, waarbij ze niet alleen afhankelijk zijn van broed- en overwinteringsgebieden, maar ook van belangrijke stopplaatsen onderweg waar ze zich voeden en energie opbouwen voor de volgende etappe van hun reis. De vernietiging van slechts één van deze belangrijke voedselgebieden onderweg kan hun marathontrek doen ontsporen en de vogels de das omdoen.

De achteruitgang van de drieteenstrandloper leek niet te worden veroorzaakt door een verlies aan winterhabitat, want er was een overvloed aan zandstranden waar de vogels konden eten en rusten. Misschien was er iets misgegaan in de broedgebieden in het noordpoolgebied in Alaska en Canada of in een van de belangrijkste voedselgebieden zoals Delaware Bay of de kust van Massachusetts. [187] Myers en zijn collega's begonnen zich met deze habitatvragen bezig te houden en probeerden de precieze trekroutes van de vogels en de kritieke tussenstations tijdens hun reis te identificeren.

Maar Myers vermoedde dat er misschien nog een andere factor was om rekening mee te houden. Elke dag zag hij de vogels samenkomen om zich te voeden en te baden aan de mondingen van de rivieren en beken die uitmondde in intensief gecultiveerde riviervalleien in de anders zo barre Peruaanse woestijn. Vrijwel elk beekje en stroompje, hoe klein ook, stonk naar de pesticiden die werden gebruikt in de katoen- en rijstvelden die dicht opeengepakt lagen in de groene riviervalleien. Terwijl de vogels in gewicht toenamen ter

voorbereiding op hun reis naar het noorden, leek het waarschijnlijk dat ze een lading verontreinigende stoffen binnenkregen via hun voedsel. Waar zijn die pesticiden gebleven toen de vogels plotseling dat vet verbrandden tijdens een marathonvlucht van Zuid-Amerika naar Cape Cod? Als het opgeslagen vet wordt omgezet in energie voor hun vlucht, komen de verontreinigende stoffen vrij in het bloed en verplaatsen ze zich waarschijnlijk naar de geslachtsorganen of de hersenen, die beide veel vet bevatten. Als dat gebeurt, kunnen de pesticiden de migratie verstoren, de voortplanting verstoren of zelfs de vogels doden. Zouden besmette hersenen een vogel uit koers kunnen brengen? Als ze hun broedgebied zouden bereiken, zouden ze zich dan kunnen voortplanten? En wat zou er gebeuren met de jongen van besmette volwassenen? Zou hun gedrag en oriëntatievermogen tijdens de migratie aangetast worden? De wetenschap was niet voorbereid op een antwoord en zelfs vandaag de dag is het onbekend of pesticiden een rol hebben gespeeld bij de achteruitgang van drieteenstrandlopers en andere trekvogels in de afgelopen vier decennia.

Met de groeiende hoeveelheid bewijs en theorieën die problemen met in het wild levende dieren in verband brengen met hormoonverstoring, is er nu een goede reden om hormoonverstorende chemicaliën te beschouwen als een grote bedreiging op lange termijn voor de biodiversiteit in de wereld en misschien wel als een onmiddellijke bedreiging voor bepaalde bedreigde soorten, zoals de St. Lawrence beluga's en de Florida panthers. Bij het zoeken naar de oorzaken van het verlies moeten wetenschappers kijken naar functionele

veranderingen, zoals verminderde voortplanting en veranderd gedrag, naast meer voor de hand liggende verstoringen, zoals verdwijnende habitats en een veranderend klimaat. Zoals veel van de in dit hoofdstuk besproken gevallen laten zien, is het belangrijk om verder te kijken dan het uiterlijk: **[188]** Dieren die er normaal en gezond uitzien, kunnen in feite scheve hormoonverhoudingen, verwarde geslachtsorganen of fysieke veranderingen in hun hersenen vertonen als je beter kijkt. Verminderd en verzwakt door onzichtbare schade, verliezen zulke dieren de voorsprong die door miljoenen jaren van natuurlijke selectie is opgebouwd. Ze kunnen hun vermogen verliezen om stress te weerstaan die anders wel te verdragen zou zijn of om op te veren na een natuurramp. Zonder aanwijsbare reden kunnen ze plotseling verdwijnen of langzaam, onmerkbaar uitsterven.

HOOFDSTUK – 10

VERANDERDE LOTSBESTEMMINGEN

“Ons lot is verbonden met dat van de dieren”, schreef Rachel Carson meer dan drie decennia geleden in *Silent Spring*, een nu klassieke aanklacht tegen synthetische pesticiden en menselijke overmoed, die mede aan de wieg stond van de moderne milieubeweging. Dit is al lang een leidende overtuiging onder milieuactivisten, wildbiologen en anderen die twee fundamentele realiteiten erkennen - onze gedeelde evolutionaire erfenis en onze gedeelde omgeving. Wat er gebeurt met de dieren in F'lorida, Engelse rivieren, de Oostzee, het hoge noordpoolgebied, de Grote Meren en het Baikalmeer in Siberië is direct relevant voor mensen. De schade die is waargenomen bij proefdieren en in het wild levende dieren is een onheilspellende voorbode van symptomen die lijken toe te nemen bij de menselijke bevolking.

Zoals in eerdere hoofdstukken is opgemerkt, zijn fysiologische basisprocessen, zoals die van het endocriene systeem, relatief onveranderd gebleven gedurende honderden miljoenen jaren evolutie. Evolutionaire verhalen hebben de neiging om de innovaties van natuurlijke selectie te benadrukken en negeren de hardnekkige conservatieve streken die de geschiedenis van het leven op aarde hebben gekenmerkt. [190] Op hetzelfde moment dat evolutie veel experimenteer-

de met vorm, en de vaten op verschillende en wonderbaarlijke manieren vorm gaf, is het verrassend weinig afgeweken van een oeroud recept voor het biochemische brouwsel van het leven. Bij het onderzoeken van onze plaats in de evolutionaire lijn hebben mensen de neiging om zich overmatig te richten op die kenmerken die ons uniek maken. Maar deze verschillen zijn inderdaad klein in vergelijking met hoeveel we niet alleen delen met andere primaten zoals chimpansees en gorilla's, maar ook met muizen, alligators, schildpadden en andere gewervelde dieren. Hoewel schildpadden en mensen fysiek weinig op elkaar lijken, is onze verwantschap onmiskenbaar. Het oestrogeen dat circuleert in de schildpad die op luie zomermiddagen op boomstammen ligt te zonnen, is precies hetzelfde als het oestrogeen dat door de menselijke bloedsomloop stroomt.

Mensen en dieren delen een gemeenschappelijke omgeving en een gemeenschappelijke evolutionaire erfenis. Omdat we in een door de mens gemaakt landschap leven, vergeten we gemakkelijk dat ons welzijn geworteld is in natuurlijke systemen. Toch rust de hele menselijke onderneming op het fundament van natuurlijke systemen die een groot aantal onzichtbare levensondersteunende diensten leveren. Onze connecties met deze natuurlijke systemen zijn misschien minder direct en duidelijk dan die van een arend of een otter, maar we zijn niet minder diep betrokken bij het levensweb. Niemand heeft dit fundamentele ecologische principe eenvoudiger geformuleerd dan de Amerikaanse milieufilosoof John Muir uit het begin van de twintigste eeuw. “Als we iets op zichzelf proberen uit te zoeken, ontdekken we dat het met

duizend onzichtbare koorden is verbonden ... met alles in het universum.”

Onze betreuwenswaardige ervaring met persistente chemicaliën in de afgelopen halve eeuw heeft de realiteit van deze diepe en complexe onderlinge verbondenheid aangetoond. Of we nu in Tokio, New York of in een afgelegen Inuit-dorp op de Noordpool wonen, duizenden mijlen verwijderd van landbouvvelden of bronnen van industriële vervuiling, we hebben allemaal een voorraad persistente synthetische chemicaliën in ons lichaamsvet opgeslagen. Door dit web van onontkoombare verbindingen hebben deze chemische stoffen hun weg gevonden naar ieder van ons, net zoals ze hun weg hebben gevonden naar de vogels, zeehonden, alligators, panthers, walvissen en ijsberen. Met deze gedeelde biologie en gedeelde vervuiling is er weinig reden om te verwachten dat de mens op de lange termijn een apart lot beschoren zal zijn.

Toch betwifelen sommige sceptici of dierstudies een nuttig hulpmiddel zijn om bedreigingen voor mensen te voorspellen. [191] Het refrein dat “muizen geen kleine mensen zijn” is vaak gehoord in het voortdurende debat over de vraag of dierproeven nauwkeurig voorspellen of een chemische stof een kankerrisico vormt voor mensen. Critici hebben ook de testprocedures aangevallen voor het gebruik van onrealistisch hoge doses, bijvoorbeeld met het argument dat muizen die getest werden om te ontdekken of DDT kanker veroorzaakte, meer dan achthonderd keer de gemiddelde hoeveelheid binnenkregen die mensen binnenkrijgen bij het eten van een normaal dieet.

Wat ook de verdiensten mogen zijn van deze kritiek met betrekking tot kankertests, ze hebben weinig relevantie voor het gebruik van dieren om de effecten van hormoonverstorende chemicaliën te voorspellen. Omdat wetenschappers slechts een onvolledig inzicht hebben in de basismechanismen die kanker veroorzaken, is het extrapoleren van de ene soort naar de andere met onzekerheden omgeven. Wetenschappers hebben daarentegen een goed begrip van de mechanismen en werkingen van hormonen. Ze begrijpen hoe chemische boodschappen worden verzonden en ontvangen en hoe sommige synthetische chemicaliën deze communicatie verstoren. Ze weten dat hormonen de ontwikkeling bij alle zoogdieren in principe op dezelfde manier sturen, en als er nog enige twijfel bestond, heeft de DES-ervaring de gelijkens van de verstoring bij veel soorten, waaronder mensen, geverifieerd. Keer op keer doken de afwijkingen die voor het eerst gezien werden in laboratoriumexperimenten met DES later op bij de kinderen van vrouwen die dit medicijn tijdens de zwangerschap hadden gebruikt.

De relevantie van de DES-ervaring voor de dreiging van hormoonontregelaars in het milieu is ook in twijfel getrokken vanwege de zeer hoge doses die aan zwangere vrouwen en proefdieren werden gegeven. Hoewel de meeste vroege experimenten inderdaad hoge doses gebruikten, hebben recente onderzoeken met veel lagere doses niet minder alarmerende resultaten opgeleverd. In sommige gevallen kan een hoge dosis paradoxaal genoeg zelfs minder schade veroorzaken dan een lagere dosis. Bij het onderzoeken van de effecten van veel lagere doses DES heeft Fred vom Saal

ontdekt dat de respons een tijdlang toeneemt met de dosis en dan, bij nog hogere doses, begint af te nemen.

De dosis-responscurve van Vom Saal ziet eruit als een omgekeerde U. De vorm is van groot belang voor de interactie tussen het endocriene systeem en synthetische vervuilende stoffen. De omgekeerde U is niet lineair en beweegt niet altijd in dezelfde richting, maar lijkt karakteristiek voor hormoonsystemen en betekent dat ze niet voldoen aan de aannames die ten grondslag liggen aan de klassieke toxicologie, namelijk dat een biologische respons altijd toeneemt met de dosis. [192] Het betekent dat testen met zeer hoge doses effecten missen die wel zichtbaar zouden zijn als de dieren lagere doses kregen. De omgekeerde U is een ander voorbeeld van hoe de werking van hormoonontregelaars de heersende opvattingen over giftige chemicaliën op de proef stelt. Extrapolatie van testen met hoge doses naar lagere doses kan in sommige gevallen de risico's ernstig onderschatten in plaats van ze te overdrijven.

Omdat de kwestie van hormoonontregeling zo recent is opgedoken, is de wetenschappelijke onderbouwing van de omvang van de bedreiging nog verre van compleet. Niettemin, als je breed kijkt naar een breed scala aan bestaande onderzoeken vanuit verschillende takken van wetenschap en geneeskunde, geeft het gewicht van het bewijs aan dat mensen in gevaar zijn en misschien al op belangrijke manieren worden beïnvloed. Samen hebben de stukjes van deze wetenschappelijke lappendeken, ondanks de toegegeven hiaten, een cumulatieve kracht die dwingend en urgent is.

Dit was de les van de historische bijeenkomst over hor-

moonontregeling die in juli 1991 plaatsvond in het Wingspread Conference Center in Racine, Wisconsin. In de loop der jaren hebben tientallen wetenschappers geïsoleerde stukjes van de puzzel van hormoonverstoring onderzocht, maar het grotere plaatje ontstond pas toen Theo Colborn en Pete Myers uiteindelijk eenentwintig van de belangrijkste onderzoekers bij elkaar brachten. Op deze unieke bijeenkomst deelden specialisten uit verschillende disciplines, van antropologie tot zoölogie, wat ze wisten over de rol van hormonen in de normale ontwikkeling en over de verwoestende effecten van hormoonverstorende chemicaliën op wilde dieren, proefdieren en mensen. Voor het eerst verkenden Ana Soto, Frederick vom Saal, Michael Fry, Howard Bern, John McLachlan, Earl Gray, Richard Peterson, Peter Reijnders, Pat Whitten, Melissa Hines en anderen de opwindende verbanden tussen hun werk en de onheilspellende implicaties die uit deze oefening voortkwamen. Toen het bewijsmateriaal werd uiteengezet, bleken de parallellen opmerkelijk en diep verontrustend. De conclusie leek onontkoombaar: de hormoonverstoorders die het voortbestaan van dierenpopulaties bedreigen, brengen ook de toekomst van de mens in gevaar.

Aan het einde van de sessie gaven de wetenschappers de Wingspread Statement uit, een dringende waarschuwing dat mensen in vele delen van de wereld worden blootgesteld aan chemicaliën die de ontwikkeling van wilde dieren en proefdieren hebben verstoord, en dat als deze chemicaliën niet onder controle worden gehouden, we het gevaar lopen van wijdverspreide verstoring in de menselijke embryonale

ontwikkeling en het vooruitzicht van schade die een leven lang zal duren.

[193] De prangende vraag is of mensen al schade ondervinden van een halve eeuw blootstelling aan hormoonontregende synthetische chemicaliën. Hebben deze door de mens gemaakte chemicaliën het lot van individuen al veranderd door de chemische boodschappen die de ontwikkeling sturen te verstoren?

Velen die bekend zijn met de wetenschappelijke zaak geloven dat het antwoord ja is. Gezien de blootstelling van mensen aan dioxineachtige chemicaliën, bijvoorbeeld, is het waarschijnlijk dat sommige mensen, vooral de meest gevoelige personen, bepaalde effecten ondervinden. Maar of hormoonverstorende chemicaliën nu een breed effect hebben op de hele menselijke bevolking is moeilijk te beoordelen en nog moeilijker te bewijzen. Dit is onvermijdelijk gezien de aard van de vervuiling, de transgenerationele effecten, de vaak lange tijd die verstrijkt voordat de schade zichtbaar wordt en de onzichtbare aard van veel van deze schade. Degenen die proberen te documenteren of de waargenomen toename van specifieke problemen echte trends in de menselijke gezondheid weerspiegelen, worden gedwarsboomd door een gebrek aan betrouwbare medische gegevens. Er bestaan maar weinig ziekteregisters voor iets anders dan kanker. Een aantal kinderartsen uit verschillende delen van de Verenigde Staten hebben hun bezorgdheid geuit over een toenemende frequentie van genitale afwijkingen bij kinderen zoals achtergebleven testikels, extreem kleine penissen en hypospadias, een afwijking waarbij de urinebuis die de

urine transporteert niet tot het uiteinde van de penis reikt, maar het is vrijwel onmogelijk om deze anekdotische meldingen te documenteren. Helaas moeten de problemen die worden veroorzaakt door hormoonontregeling misschien eerst een crisissituatie bereiken voordat we een duidelijk teken krijgen dat er iets ernstigs aan de hand is.

In het licht van deze moeilijkheden bieden dierstudies een toetssteen voor het identificeren en onderzoeken van wat er bij mensen zou kunnen gebeuren. Ze kunnen ons waarschuwen voor de waarschijnlijke soorten verstoringen en helpen de onderzoeksinspanningen te richten. Ze kunnen ook vroegtijdige waarschuwingen geven over de gevaren van de huidige besmettingsniveaus. Door de diversiteit van het leven worden sommige dieren sneller blootgesteld aan verontreinigende stoffen dan mensen. Transgenerationele effecten, zoals gedragsveranderingen en verminderde vruchtbaarheid, zullen zich waarschijnlijk ook sneller voordoen bij wilde dieren omdat de meeste dieren sneller volwassen worden en zich sneller voortplanten dan mensen. [194] Experimenteel werk met dieren voegt een andere, even onschatbare dimensie toe. Zoals de geschiedenis van DES laat zien, voorspelde laboratoriumexperimenten met ratten en muizen nauwkeurig schade die later bij mensen zichtbaar werd. De tragedie is dat we de waarschuwingen negeerden.

Op basis van de waarschuwingen van wilde dieren en proefdieren, wat voor problemen moeten we dan verwachten? In eerdere hoofdstukken is beschreven hoe hormonaal actieve synthetische chemicaliën het voortplantingssysteem kunnen beschadigen, het zenuwstelsel en de hersenen kunnen veran-

deren en het immuunsysteem kunnen aantasten. Dieren die besmet zijn met deze chemicaliën vertonen verschillende gedragseffecten, waaronder afwijkend paringsgedrag en verhoogde ouderlijke verwaarlozing van nesten. Synthetische chemicaliën kunnen de normale expressie van geslachtskenmerken van dieren verstoren, in sommige gevallen worden vrouwtjes vermannelijkt en mannetjes vervrouwelijkt. Sommige dierstudies geven aan dat blootstelling aan hormonaal actieve chemicaliën prenataal of op volwassen leeftijd de kwetsbaarheid voor hormoongevoelige kankers verhoogt, zoals maligniteiten in de borst, prostaat, eierstok en baarmoeder.

Is er bewijs voor dergelijke problemen bij mensen? Nemen deze problemen toe? In sommige gevallen lijkt dit inderdaad het geval te zijn.

Laboratoriumexperimenten, onderzoeken met wilde dieren en de ervaring met DES bij mensen brengen hormoonverstoring in verband met een verscheidenheid aan voortplantingsproblemen bij mannen en vrouwen die lijken toe te nemen onder de algemene menselijke bevolking - problemen die variëren van teelbalkanker tot endometriose, een aandoening waarbij weefsel dat normaal gesproken de baarmoeder bedekt op mysterieuze wijze migreert naar de buik, eierstokken, blaas of darmen, wat resulteert in gezwollen die pijn, ernstige bloedingen, onvruchtbaarheid en andere problemen veroorzaken.

Het meest dramatische en verontrustende teken dat hormoonverstorende stoffen al een grote tol hebben geëist, komt van rapporten dat het aantal mannelijke zaadcellen in

de afgelopen halve eeuw is gekelderd, een oogwenk in de geschiedenis van de menselijke soort. De eerste studie, uitgevoerd door een Deens team onder leiding van Dr. Niels Skakkebaek en gepubliceerd in het British Medical Journal in september 1992, bekeek systematisch de internationale wetenschappelijke literatuur over spermaanalyse uitgevoerd op normale mannen sinds 1938 en baseerde haar bevindingen op eenenzestig studies waarbij bijna vijftienduizend mannen uit twintig landen in Noord-Amerika, Europa, Zuid-Amerika, Azië, Afrika en Australië betrokken waren. [195] De studie sloot mannen uit die bemonsterd waren in vruchtbaarheidsklinieken, die een bijzonder laag aantal zaadcellen zouden kunnen hebben, of mannen die ziek waren, en gebruikte alleen die studies die op dezelfde manier zaadcellen telden met behulp van lichtmicroscopen.

De Deense onderzoekers ontdekten dat het gemiddelde aantal zaadcellen bij mannen met vijfenveertig procent was gedaald, van gemiddeld 113 miljoen per milliliter sperma in 1940 tot slechts 66 miljoen per milliliter in 1990. Tegelijkertijd was het volume van het geëjaculeerde sperma met vijftientwintig procent afgenomen, waardoor de effectieve afname van het aantal zaadcellen gelijk was aan vijftig procent. In deze periode verdrievoudigde het aantal mannen met een extreem laag aantal zaadcellen van 20 miljoen per milliliter van zes procent naar achttien procent, terwijl het percentage mannen met een hoog aantal zaadcellen van meer dan 100 miljoen per milliliter daalde.

Het onderzoek wordt nog steeds sceptisch ontvangen door delen van de medische gemeenschap. Dit scepticisme herin-

nert aan het eerste nieuws in 1985 dat er een dramatisch gat was ontstaan in de beschermende ozonlaag boven Antarctica. Sommige wetenschappers twijfelden toen aan de berichten en waren zelfs nog sceptischer dat door de mens geproduceerde chloorfluorkoolwaterstoffen, bekend als CFK's, verantwoordelijk zouden kunnen zijn. Het satellietbewakingsnetwerk van de NASA had het verlies aan ozon, dat werd ontdekt door Britse onderzoekers die metingen vanaf de grond deden, niet opgemerkt omdat degenen die de computers hadden geprogrammeerd die de satellietgegevens ontvingen, ervan uitgingen dat een dergelijk groot verlies aan ozon onmogelijk was. Op dezelfde manier waren veel medische onderzoekers ongelovig bij de eerste berichten over de afname van het aantal zaadcellen, omdat ze dachten dat zo'n grote afname van het aantal zaadcellen bij de menselijke bevolking vrijwel onmogelijk was.

Skakkebaek, een specialist in mannelijke voortplanting en hoofd van de afdeling Groei en Voortplanting van het Universitair Ziekenhuis in Kopenhagen, was zelf sceptisch. Hoewel hij steeds meer afwijkingen in het mannelijk voortplantingssysteem had gezien, waaronder een stijgend aantal gevallen van zaadbalkanker bij jonge mannen, twijfelde hij aan eerdere berichten over de afname van het aantal menselijke zaadcellen in de afgelopen twintig jaar. Hij vermoedde dat deze grotendeels voortkwamen uit een vooroordeel in de monsters, zoals het opnemen van mannen uit vruchtbaarheidsklinieken, en daarom geen echte afspiegeling waren van het aantal zaadcellen bij normale mannen.

[196] Het eigen onderzoek van zijn team van tientallen on-

derzoeken naar het aantal zaadcellen van over de hele wereld overtuigde hem ervan dat er inderdaad een scherpe daling in het aantal zaadcellen had plaatsgevonden in slechts twee generaties - een significante verandering die volgens hem waarschijnlijk een “negatieve invloed heeft op de vruchtbaarheid van mannen”. Omdat zo'n snelle daling geen gevolg kon zijn van genetische veranderingen, moest de oorzaak liggen in veranderde leefgewoonten of omgevingsfactoren.

Toen deze bevindingen over het aantal zaadcellen onder de loep werden genomen, beweerden critici dat er fouten in de gegevens zaten waardoor het onmogelijk was om definitieve conclusies te trekken. Ze bekritiseerden het team van Skakkebaek bijvoorbeeld ten onrechte voor het uitsluiten van mannen met een abnormaal laag aantal zaadcellen en maakten verder bezwaar tegen het feit dat de definitie van “abnormaal” in de loop der tijd was veranderd. In feite hadden Skakkebaek en zijn collega's een dergelijke uitsluiting niet gemaakt, behalve dat ze alle gegevens van vruchtbaarheidsklinieken hadden uitgesloten. Tegelijkertijd boden critici geen gegevens om de conclusie van Skakkebaek te weerleggen; ze hielden simpelweg vol dat hij zijn zaak niet onomstotelijk had bewezen.

Dit debat stimuleerde andere onderzoeken en vervolgens hebben ten minste drie onafhankelijke analyses, in één geval uitgevoerd door een andere scepticus, bevestigd dat het aantal zaadcellen is gedaald. Deze nieuwe onderzoeken, uitgevoerd in Frankrijk, België en Schotland op basis van spermamonsters van 5.440 mannen, leveren aanvullend bewijs

dat de oorzaak waarschijnlijk in de omgeving ligt.

De nieuwe resultaten onthullen een opvallende omgekeerde correlatie tussen het geboortjaar en de gezondheid van het sperma van mannen. Hoe recenter een man geboren is, hoe lager het gemiddelde aantal zaadcellen en hoe groter het aantal afwijkingen. De Schotse studie, uitgevoerd door de Reproductive Biology Unit van de Medical Research Council in Edinburgh op een steekproef van 3.729 mannen, vond bijvoorbeeld een mediaan aantal zaadcellen van 128 miljoen per milliliter bij spermadonoren geboren in 1940, maar een mediaan aantal van slechts 75 miljoen bij degenen die geboren waren in 1969.

Belgische onderzoekers vergeleken spermamonsters van 360 mannen die tussen 1990 en 1993 waren gedoneerd met eerdere monsters van 1977 tot 1980 en ontdekten een alarmerende toename van ongezond sperma over deze periode van zestien jaar. Het percentage goed gevormde zaadcellen was gedaald van 39,6 procent naar 27,8 procent, terwijl het percentage zaadcellen met een normaal zwemvermogen, of motiliteit, daalde van 53,4 procent naar 32,8 procent. De conclusie van de auteurs was ongewoon direct voor wetenschappers, die neigen naar kwalificatie en understatement: de afname, zo waarschuwden ze, “bedreigt het bevruchtend vermogen van de man.”

[197] Onlangs publiceerde een team van Franse wetenschappers onder leiding van Jacques Auger een studie waarin de trends in het aantal zaadcellen in Parijs van 1973 tot 1992 werden onderzocht. Auger begon aan de analyse omdat hij de Deense studie gewoon niet geloofde. Tot Auger's

verbazing bleek uit de analyse van zijn team dat de conclusie dat het aantal zaadcellen bij mannen over de periode van twintig jaar gestaag was gedaald, sterk werd ondersteund.

De Franse bevindingen zijn vooral overtuigend omdat de onderzoekers op basis van de gegevens konden corrigeren voor twee belangrijke variabelen die de resultaten van het aantal zaadcellen in twijfel zouden kunnen trekken: leeftijd en onthouding. Het aantal zaadcellen van een man neemt over het algemeen af naarmate hij ouder wordt, en het aantal zaadcellen daalt onmiddellijk na seks en herstelt zich binnen een paar dagen.

Het Franse team was daarom in staat om het gemiddelde aantal zaadcellen van dertigjarige mannen die in 1945 waren geboren te vergelijken met dertigjarigen die zeventien jaar later, in 1962, waren geboren. Bij de mannen die in 1945 waren geboren en in 1975 werden gemeten, was het aantal zaadcellen gemiddeld 102 miljoen per milliliter sperma. Bij de mannen die in 1962 waren geboren en in 1992 werden gemeten, was het aantal spermacellen gemiddeld nog maar de helft van dat aantal - 51 miljoen spermacellen per milliliter.

Als deze neerwaartse trend zich voortzet, zou de dertigjarige man in 2005, geboren in 1975, een spermatelling hebben van ongeveer 32 miljoen zaadcellen per milliliter - ongeveer een vierde van de telling van de gemiddelde man geboren in 1925.

Het afnemende aantal zaadcellen is slechts een van de vele tekenen van problemen. In de afgelopen halve eeuw, merkte

Skakkebaek op, is de incidentie van zaadbalkanker en andere reproductieve afwijkingen bij mannen sterk gestegen. In Denemarken is teelbalkanker, een ziekte bij jonge mannen, verdrievoudigd en in andere industrielanden zijn vergelijkbare trends waargenomen. “Het beangstigende is”, merkt Skakkebaek op, “dat de incidentie in Denemarken nog steeds toeneemt.

Britse onderzoekers melden een verdubbeling van het aantal gevallen van achtergebleven testikels in Engeland en Wales tussen 1962 en 1981, en vergelijkbare stijgingen zijn gemeld in Zweden en Hongarije. Mannen met achtergebleven testikels hebben een hoger risico op zaadbalkanker en hebben meestal een lager aantal zaadcellen en meer abnormaal sperma. Er lijkt ook een toenemende incidentie te zijn van de genitale afwijking hypospadie.

[198] In zijn eerdere werk had Skakkebaek langzaam bewijs verzameld dat al deze afwijkingen voortkomen uit ontwikkelingsfouten die plaatsvinden in de baarmoeder, waardoor hij vermoedde dat ze een gemeenschappelijke oorzaak zouden kunnen hebben. Hij vond voor het eerst aanwijzingen dat prenatale gebeurtenissen een rol zouden kunnen spelen bij zaadbalkanker toen hij de oorzaken van onvruchtbaarheid bij mannen onderzocht. Bij het onderzoeken van weefselmonsters uit de testikels van onvruchtbare mannen zag hij vreemd uitziende cellen die leken op de foetale kiemcellen die zich tijdens de normale ontwikkeling ontwikkelen tot de testiculaire cellen die bij volwassen mannen zaadcellen produceren en verzorgen. De volgende aanwijzing kwam toen enkele van de onvruchtbare mannen met afwijkende

cellen later zaadbalkanker ontwikkelden. Toen vond hij dezelfde afwijkende cellen bij een jongen met achtergebleven testikels, die tien jaar later ook kanker ontwikkelde. Het bleek dat de abnormale cellen aanleiding hadden gegeven tot de zaadbalkanker en dat mannen met onvruchtbaarheid of bepaalde genitale afwijkingen een groter risico liepen op het hebben van dergelijke cellen.

Op hetzelfde moment dat Skakkebaek bezig was met zijn onderzoek naar het aantal zaadcellen, was een andere onderzoeker in Edinburgh, Schotland, ook aan het puzzelen over de toename van voortplantingsproblemen bij mannen. Richard Sharpe van de afdeling voortplantingsbiologie van de Medical Research Council onderzocht mogelijke verklaringen voor de toename van het aantal achtergebleven testikels en de daling van het aantal mannelijke zaadcellen. Ook hij begon te vermoeden dat prenatale gebeurtenissen hiervoor verantwoordelijk zouden kunnen zijn.

Toen Sharpe en Skakkebaek elkaar op een conferentie ontmoetten en ontdekten dat ze op dezelfde manier dachten, begonnen ze samen te werken. In mei 1993 publiceerden ze een artikel in het gerenommeerde Britse medische tijdschrift *The Lancet*, waarin ze voorstelden dat de oorzaak van het dalende aantal zaadcellen en de toegenomen reproductieve afwijkingen bij mannen een verhoogde blootstelling aan oestrogenen in de baarmoeder was. Ze haalden de DES-ervaring en laboratoriumstudies aan als ondersteuning voor deze hypothese, waarbij ze opmerkten dat prenatale blootstelling aan verhoogde niveaus van synthetische of natuurlijke oestrogenen resulteerde in een verminderd aantal zaad-

cellen en een toename in de incidentie van achtergebleven testikels, hypospadias en mogelijk testiculaire tumoren bij mannelijke nakomelingen.

[199] Dierstudies hebben ook inzicht gegeven in hoe verhoogde oestrogeenspiegels in de baarmoeder het aantal zaadcellen kunnen beperken dat een man op volwassen leeftijd produceert door de vermenigvuldiging te remmen van belangrijke cellen in de testikels, de zogenaamde Sertoli-cellen, die de productie van zaadcellen regelen. Omdat elke Sertoli-cel slechts een vast aantal zaadcellen kan ondersteunen, zal het aantal dat een man op jonge leeftijd krijgt uiteindelijk het aantal zaadcellen beperken dat hij als volwassene kan produceren. Tijdens de ontwikkeling van de man scheidt de hypofyse een follikelstimulerend hormoon af dat de proliferatie van de Sertoli-cellen stimuleert. Sharpe en Skakkebaek merken op dat studies hebben aangetoond dat verhoogde oestrogeenspiegels de afscheiding van follikelstimulerend hormoon onderdrukken en daardoor de groei van het aantal Sertoli-cellen beperken.

Natuurlijk moet men in gedachten houden dat veel chemische stoffen de vruchtbaarheid van de man kunnen ondermijnen, niet alleen voor de geboorte, maar ook tijdens de kindertijd en op volwassen leeftijd. Prenatale blootstelling aan synthetische oestrogenen is slechts één van de vele aanvallen op het mannelijke voortplantingspotentieel. Zoals we hebben gezien, heeft Earl Gray, toxicoloog voor de voortplanting bij het Amerikaanse Environmental Protection Agency, ontdekt dat sommige synthetische chemicaliën werken als krachtige androgeenblokkers en zelfs een grotere bedrei-

ging vormen voor mannen dan oestrogene chemicaliën. Desondanks biedt de theorie van Sharpe en Skakkebaek een zeer plausibele verklaring voor hoe oestrogenen een grote invloed kunnen hebben op de vruchtbaarheid van mannen door de ontwikkeling te verstoren.

Sommige voortplantingsonderzoekers hebben het afnemende aantal zaadcellen toegeschreven aan veranderende levensstijlen, waarbij ze opmerkten dat rook- en drinkgewoonten en seksueel gedrag de afgelopen halve eeuw drastisch zijn veranderd. Onderzoeken hebben aangetoond dat zwaar drinken en roken de spermaproductie kunnen schaden, en een groter aantal seksuele partners zou mannen blootstellen aan seksueel overdraagbare aandoeningen en genitale infecties die ook het aantal zaadcellen kunnen verminderen.

De nieuwste onderzoeken naar het aantal zaadcellen geven echter extra gewicht aan de theorie dat de oorzaak van de scherpe daling van het aantal zaadcellen een prenatale gebeurtenis is en niet latere schade door chemische verontreinigingen of slechte gewoonten. Als het aantal zaadcellen zou dalen door blootstelling van volwassenen aan meer vervuiling, roken of alcohol of door geslachtsziekten, dan zou het aantal spermacellen zowel bij oudere als bij jongere mannen dalen. Het feit dat het aantal zaadcellen lager is bij jongere mannen en omgekeerd evenredig is met de geboortedatum, wijst erop dat de schade werd aangericht in de baarmoeder.

[200] Hoewel de dierstudies en de DES-ervaring precies voorspellen dat problemen zoals dalende spermatellingen en

toenemende afwijkingen aan het sperma zullen optreden, is er helaas geen manier om te bewijzen dat prenatale blootstelling aan hormonaal actieve synthetische chemicaliën daadwerkelijk deze alarmerende verslechtering bij mensen heeft veroorzaakt. Om dat te kunnen doen, legt Sharpe uit, zou men de verontreinigingsniveaus moeten kennen die aanwezig waren in de moeders van de aangetaste mannen tijdens hun zwangerschappen tientallen jaren eerder. Zelfs als het toevallig mogelijk zou zijn om bloed- of vetstalen te verkrijgen die genomen zijn toen deze vrouwen zwanger waren, zouden onderzoekers nog steeds met grote onzekerheid worden geconfronteerd over welke chemicaliën ze moeten meten. Eventuele verstorende effecten kunnen het resultaat zijn van de samenwerking van vele chemische stoffen, zoals het werk van Ana Soto suggereert, en de bestaande lijst van synthetische oestrogeen nabootsers in het milieu is vrijwel zeker onvolledig. Totdat alle hormoonverstoorders geïdentificeerd zijn, is er geen manier om de blootstelling van een individu nauwkeurig vast te stellen.

Het is aangetoond dat synthetische chemicaliën de vruchtbaarheid van mannen ondermijnen, zelfs zonder duidelijke tekenen van schade zoals een daling van het aantal zaadcellen of afwijkingen aan het sperma, vooral als mannen op jonge leeftijd worden blootgesteld. In studies met ratten stelde Dorothea Sager van de Universiteit van Wisconsin in Green Bay de dieren al vroeg in hun leven bloot aan PCB's via de moedermelk. Toen de mannelijke ratten volwassen werden, vertoonde hun sperma geen duidelijke tekortkomingen, maar als ze gepaard werden, lukte het over het alge-

meen niet om eieren te bevruchten, of als ze bevrucht werden, ontwikkelden de eieren zich niet normaal. Net als andere dieren krijgen menselijke zuigelingen zware doses PCB's en andere verontreinigende stoffen binnen via de moedermelk, waardoor ze worden blootgesteld aan niveaus die tien tot veertig keer hoger liggen dan de dagelijkse blootstelling voor een volwassene. Verschillende onderzoeken melden dat onvruchtbare mannen hogere niveaus van PCB's en andere synthetische chemicaliën in hun bloed of sperma hebben.

Eén analyse vond een verband tussen het zwemvermogen van het sperma van een man en de concentraties van specifieke leden van de PCB-familie in zijn sperma.

Voordat biologisch onderzoek ons inzicht gaf in de complexe gebeurtenissen bij de voortplanting, werd onvruchtbaarheid stevast “toegeschreven” aan de vrouw die er niet in slaagde zwanger te worden. Tegenwoordig melden onvruchtbaarheidsspecialisten van de American Fertility Society dat het mislukken in ongeveer veertig procent van de gevallen te wijten is aan problemen bij de man, met name een laag aantal zaadcellen of een slechte beweeglijkheid. [201] In de Verenigde Staten lijden naar schatting 5,3 miljoen mensen aan onvruchtbaarheid en velen nemen hun toevlucht tot een reeks invasieve en gecompliceerde hoogtechnologische medische procedures in een poging om een kind te krijgen. In die gevallen waarin het sperma van de man te zwak is om een eikel te penetreren, gebruiken sommige specialisten nu een experimentele techniek waarbij het sperma wordt ingebracht om bevruchting mogelijk te maken. Omdat de kwaliteit van sperma achteruit is gegaan, heeft de medische

wereld gereageerd met dure technologische oplossingen. Volgens de laatste officiële schatting in 1987 gaven de Verenigde Staten jaarlijks 1 miljard dollar uit aan de behandeling van onvruchtbaarheid. Volgens mensen die op dit gebied werkzaam zijn, zijn de kosten sindsdien aanzienlijk gestegen en bedragen ze nu misschien wel \$2 miljard.

Prenatale blootstelling aan stoffen die hormonen nabootsen kan ook het meest voorkomende medische probleem van ouder wordende mannen verergeren: pijnlijk vergrote prostaatklieren die het plassen bemoeilijken en vaak een operatie vereisen. Blootstelling aan verhoogde oestrogeenspiegels voor de geboorte lijkt mannen kwetsbaarder te maken voor prostaatvergroting op latere leeftijd. In Westerse landen vertoont tachtig procent van de mannen tekenen van deze kwaal tegen de tijd dat ze zeventig zijn, en veertig tot vijftig procent van de mannen lijdt aan een ernstige vergroting van de klier.

In lopende studies bij muizen over hoe hormoonniveaus de ontwikkeling van de prostaatklier beïnvloeden, heeft Frederick vom Saal ontdekt dat mannen die prenataal worden blootgesteld aan verhoogde oestrogeengehaltes meer androgeenreceptoren in hun prostaat ontwikkelen en permanent gevoelig worden voor testosteron. Met slechts een kleine toename in oestrogeenblootstelling op volwassen leeftijd, zal het aantal androgeenreceptoren in hun prostaat met nog eens 50 procent toenemen. Dit teveel aan receptoren veroorzaakt door een teveel aan oestrogeen maakt de prostaat van deze mannen permanent overgevoelig voor mannelijke hormonen en kwetsbaar voor prostaatvergroting. De behande-

ling van deze goedaardige maar slopende aandoening met medicijnen en chirurgie kost in de Verenigde Staten naar schatting 6 miljard dollar per jaar.

Zelfs bij mannen die alleen als volwassene zijn blootgesteld, kunnen chronische lage doses oestrogeen ernstige gevolgen hebben voor de gezondheid van de prostaat. Onderzoeker Shuk Mei Ho van Tufts University heeft in studies met ratten ontdekt dat langdurige blootstelling aan oestrogeen prostaatkanker kan veroorzaken.

[202] In de afgelopen twintig jaar is er een dramatische toename geweest van deze ziekte, de meest voorkomende vorm van kanker bij Amerikaanse mannen, die 27 procent van alle gevallen van kanker bij mannen uitmaakt. Het National Cancer Institute rapporteert een stijging van 126 procent in prostaatkanker van 1973 tot 1991-een jaarlijkse stijging van 3,9 procent. Dergelijke incidentiecijfers worden aangepast om het effect van demografische veranderingen, zoals een steeds grotere populatie oudere mannen, te elimineren. Hoewel betere opsporingsmethoden gedeeltelijk hebben bijgedragen aan deze explosief stijgende prostaatkankercijfers, geloven specialisten op dit gebied dat ze niettemin een echte en alarmerende toename van deze vorm van kanker zien.

Ondanks geavanceerdere methoden voor vroegtijdige opsporing blijft het sterftecijfer door prostaatkanker stijgen. Van 1980 tot 1988 steeg het aantal gerapporteerde sterfgevallen in de Verenigde Staten met 2,5% bij blanke mannen en met 5,7% bij zwarte mannen. Gezondheidsambtenaren schrijven de alarmerende toename bij zwarte mannen toe aan ongelijkheden in de gezondheidszorg en zeggen dat zij

minder toegang hebben tot screening en tot de meer geavanceerde en dure behandelingen voor de ziekte.

De naakte feiten zijn overtuigend. De dierstudies tonen verbanden aan tussen verhoogde oestrogeenspiegels en prostaataandoeningen. Naarmate de blootstelling van mensen aan synthetische oestrogenen in de afgelopen halve eeuw is toegenomen, is ook de incidentie van prostaataandoeningen toegenomen. Het onderzoeken van de rol van hormonaal actieve synthetische chemicaliën in deze hormonaal gedreven ziekten zou een topprioriteit van onderzoek moeten zijn.

De DES-ervaring en dierstudies suggereren ook verbanden tussen hormoonverstorende chemicaliën en een aantal reproductieve problemen bij vrouwen, met name miskramen, eileiderzwangerschappen en endometriose.

Bij een tuba- of buitenbaarmoederlijke zwangerschap begint de bevruchte eicel zich te ontwikkelen in de eileiders in plaats van in de baarmoeder, een gevaarlijke gebeurtenis die levensbedreigend kan zijn of kan leiden tot het verlies van de eileider. Herhaalde buiszwangerschappen kunnen leiden tot onvruchtbaarheid. Hoewel sommige medische specialisten deze toename wijten aan hogere percentages seksueel overdraagbare aandoeningen die de eileiders en andere delen van het voortplantingskanaal permanent kunnen beschadigen, suggereert de DES-geschiedenis dat hormoonverstorende chemicaliën ook een belangrijke factor kunnen zijn. DES-dochters hebben drie tot vijf keer meer last van eileiderzwangerschappen dan vrouwen die niet aan DES zijn blootgesteld, en er zijn aanwijzingen dat het percentage in de algemene bevolking ook stijgt. [203] Een onderzoek uit

1990 in Wisconsin ontdekte dat het aantal buitenbaarmoederlijke zwangerschappen tussen 1970 en 1987 met 400 procent toenam.

Endometriose, een slecht begrepen ziekte die naar schatting 5,5 miljoen vrouwen in de Verenigde Staten en Canada treft en een belangrijke oorzaak van onvruchtbaarheid is, lijkt ook toe te nemen en komt meer dan ooit voor bij zeer jonge vrouwen.

Het is echter moeilijk om langetermijntrends te documenteren of het precieze aantal vrouwen met de ziekte vast te stellen. Veel gevallen worden niet gediagnosticeerd en voor een nauwkeurige diagnose is een invasieve procedure nodig die laparoscopie wordt genoemd. Specialisten op dit gebied geloven dat de prevalentie van de ziekte sinds de Tweede Wereldoorlog sterk is toegenomen. Het National Institute of Child Health and Human Development schat dat tien tot twintig procent van de vrouwen in de vruchtbare leeftijd in de Verenigde Staten endometriose heeft. Vóór 1921 waren er slechts twintig meldingen van de ziekte in de wereldwijde medische literatuur.

Na jaren van discussie over de oorzaak van de ziekte, die geassocieerd lijkt te zijn met een verandering van het immuunsysteem, heeft een recent onderzoek met resusaapjes de eerste solide aanwijzing opgeleverd. Uit een onderzoek bij een kolonie resusaapjes bleek dat de dieren spontaan endometriose ontwikkelden tien jaar na hun eerste blootstelling aan de vervuilende stof dioxine. Hoe groter de blootstelling van een vrouwtjesaap aan dioxine, hoe ernstiger de ziekte. Duitse onderzoekers rapporteerden in een recente

studie dat vrouwen met endometriose hogere PCB-niveaus in hun bloed hebben dan vrouwen die niet aan de ziekte lijden. Van dioxine en dioxineachtige PCB's is bekend dat ze het immuunsysteem en veel onderdelen van het endocriene systeem aantasten. Naar aanleiding van deze bevindingen worden er aanvullende onderzoeken uitgevoerd, waaronder een onderzoek door het National Institute of Environmental Health Sciences naar de bloedconcentraties van dioxine, furanen en PCB's bij vrouwen met endometriose.

Dierstudies geven ook duidelijk aan dat blootstelling aan bepaalde synthetische chemicaliën, zoals PCB's, het risico op een miskraam verhoogt, een verband dat ook in studies bij mensen is gerapporteerd. De concentraties van het hormoon progesteron, dat nodig is om een zwangerschap in stand te houden, moeten gedurende de hele zwangerschap hoog blijven om verlies van het zich ontwikkelende embryo te voorkomen. [204] Onderzoekers die vrouwen met een miskraam bestuderen, melden dat hun PCB-niveaus in het lichaam hoger zijn dan gemiddeld in vergelijking met vrouwen met een normale zwangerschap. De studies bij ratten en muizen geven aan dat PCB's een vermindering van progesteron veroorzaken door de afbraak ervan door de lever te versnellen.

Maar verreweg de meest alarmerende gezondheidstrend voor vrouwen is de toename van borstkanker, de meest voorkomende vorm van kanker bij vrouwen. Ondanks de vele recente publiciteit over een “borstkankergen” schatten onderzoekers dat slechts ongeveer vijf procent van de borstkankers het gevolg is van erfelijke genetische aanleg. Een groot deel is dus het gevolg van andere, niet-erfelijke facto-

ren. In het algemeen is het risico op borstkanker gekoppeld aan de totale levenslange blootstelling van een vrouw aan oestrogeen. Vroege menstruatie en late menopauze verhogen bijvoorbeeld het risico van een vrouw.

Omdat de totale blootstelling aan oestrogeen de belangrijkste risicofactor voor borstkanker is, zijn oestrogene chemicaliën, die aan deze levenslange blootstelling worden toegevoegd, een voor de hand liggende verdachte bij het zoeken naar de oorzaak van de stijgende percentages in de afgelopen halve eeuw. Sinds 1940, toen het tijdperk van de chemische stoffen aanbrak, is het aantal sterfgevallen door borstkanker in de Verenigde Staten gestaag gestegen met één procent per jaar en in andere industrielanden zijn vergelijkbare stijgingen gerapporteerd. Dergelijke incidentiecijfers zijn gecorrigeerd voor leeftijd en weerspiegelen dus eerder echte trends dan demografische veranderingen zoals een groeiende oudere bevolking. Onder Amerikaanse vrouwen van veertig tot vijfenvijftig jaar is borstkanker nu de belangrijkste doodsoorzaak.

Tussen 1980 en 1987 steeg het aantal gemelde gevallen van borstkanker in de Verenigde Staten met tweeëndertig procent, wat het schrikbeeld oproept van een borstkankerepidemie, hoewel één onderzoek concludeerde dat een groot deel van deze stijging te wijten kan zijn aan het toenemende gebruik van mammogrammen voor het opsporen van borstkanker. Of deze dramatische stijging nu echt is of deels een gevolg van verbeterde opsporing, de gestage toename van het aantal sterfgevallen door borstkanker in de afgelopen twee generaties is op zichzelf al een reden tot zorg.

bezorgdheid. Vijftig jaar geleden liep een vrouw een kans van één op twintig om borstkanker te krijgen. Vandaag de dag zal één op de acht vrouwen in de Verenigde Staten in haar leven borstkanker krijgen.

De meest opmerkelijke toename van borstkanker heeft zich voorgedaan bij postmenopauzale vrouwen met oestrogeengevoelige tumoren - tumoren die rijk zijn aan oestrogeenreceptoren en zich vermenigvuldigen als ze worden blootgesteld aan oestrogeen. [205] Bij patiënten boven de vijftig melden onderzoekers zowel een toenemend aantal gevallen van oestrogeengevoelige borstkanker als een toenemende dichtheid van oestrogeenreceptoren in deze tumoren. Deze bevinding is gebaseerd op een analyse van meer dan elfduizend borsttumorspecimens die vanuit ziekenhuizen in de Verenigde Staten naar het University of Texas Health Science Center zijn gestuurd. Bij het rapporteren van hun resultaten in het tijdschrift *Cancer*, suggereerde het team dat deze toename een weerspiegeling kan zijn van een verandering in de hormonale gebeurtenissen die de ontwikkeling van borstkanker bevorderen, zoals het begin van de menstruatie of zwangerschap, of blootstelling aan andere oestrogenen dan die welke in het lichaam worden geproduceerd.

In 1993 stelde een groep onderzoekers die zich bezighield met het raadsel van het stijgende aantal gevallen van borstkanker de theorie voor dat hormonaal actieve synthetische chemicaliën de stijging van het aantal gevallen van borstkanker en het aantal sterfgevallen onder oudere vrouwen veroorzaken door hun totale blootstelling aan oestrogenen te verhogen. De groep, die bestaat uit verschillende onderzoe-

kers van verschillende instellingen in de Verenigde Staten, veronderstelt dat synthetische chemicaliën dit direct kunnen doen door oestrogeen na te bootsen of indirect door de manier waarop het lichaam oestrogeen aanmaakt of metaboliseert te veranderen. Ze veronderstellen ook dat prenatale blootstelling aan oestrogenen een vrouw later in haar leven vatbaar kan maken voor borstkanker door een “inprentingsproces” dat haar gevoelig maakt voor blootstelling aan oestrogenen. Zo'n inprenting zou vergelijkbaar zijn met het prenatale sensibilisatieproces dat 'vom Saal heeft ontdekt in de mannelijke prostaatklier.

Studies van H. Leon Bradlow en zijn collega's van het Strang Cornell Cancer Research Laboratory hebben bewijs gevonden voor één manier waarop synthetische chemicaliën het risico op borstkanker kunnen verhogen-door de manier waarop het lichaam zijn eigen oestrogeen verwerkt te veranderen.

Bradlow, die onderzoek heeft gedaan naar verbanden tussen oestrogeenmetabolisme en kanker, heeft ontdekt dat het lichaam de vorm van oestrogeen die bekend staat als oestradiol op twee chemisch verschillende manieren kan verwerken - de ene manier zou je een “goede” oestrogeenroute kunnen noemen, die een zwakke vorm van oestrogeen produceert, en de andere “slechte”, omdat deze een krachtig oestrogeen produceert dat het risico op kanker kan verhogen. In experimentele studies heeft hij ontdekt dat verschillende factoren van invloed kunnen zijn op welke van deze twee elkaar uitsluitende routes het lichaam gebruikt. Onderzoeken van Bradlow en zijn collega's hebben bijvoorbeeld aangetoond

dat een stof die voorkomt in broccoli, bloemkool, spruitjes en andere leden van de koolfamilie, indool-3-carbinol, "het risico op kanker vermindert door het oestrogeenmetabolisme in de goede richting te duwen.

[206] In recente studies rapporteren de Cornell-onderzoekers echter dat hormonaal actieve chemicaliën het tegenovergestelde effect hebben - ze duwen het oestrogeenmetabolisme in de richting van de slechte weg en verhogen het kankerrisico. De experimenten, waarbij borstkankercellen in reageerbuizen werden blootgesteld aan synthetische chemicaliën waaronder DDT, PCB's, endosulfan, kepone en atrazine, toonden aan dat al deze chemicaliën een "diepgaand effect" hebben en de productie van een slechte vorm van oestrogeen sterk verhogen.

"Onze gegevens laten zien dat een grote verscheidenheid aan pesticiden en aanverwante verbindingen duidelijk effecten hebben op het oestrogeenmetabolisme die leiden tot een verhoogd risico op borstkanker en endometriumkanker", aldus Bradlow.

Onderzoekers hebben mogelijke verbanden ook op andere manieren onderzocht, waaronder het analyseren van lichaamsconcentraties van synthetische chemicaliën bij vrouwen die borstkanker ontwikkelen. Een Canadees onderzoek met een klein aantal vrouwen vond significant hogere niveaus van DDE, een afbraakproduct van DDT, bij vrouwen met oestrogeengevoelige tumoren, wat de hypothese ondersteunt dat blootstelling aan hormonaal actieve chemicaliën de incidentie van hormoongevoelige borstkanker kan beïnvloeden.

Twee andere onderzoeken verzamelden en bewaarden bloedmonsters van grote aantallen gezonde vrouwen zonder tekenen van kanker. Toen een aantal van deze vrouwen later kanker kreeg, analyseerden onderzoekers het bloed op verschillen in blootstelling aan DDT en PCB's tussen degenen die wel en degenen die geen kanker kregen. De New York University Women's Health Study, waarvan de onderzoeksgroep voornamelijk uit blanke vrouwen bestond, ontdekte dat degenen met de hoogste DDE-niveaus een vier keer zo hoog risico hadden als degenen met de laagste niveaus. Maar het tweede onderzoek in Californië met een grotere groep vrouwen, waaronder Kaukasische, Afro-Amerikaanse en Aziatische vrouwen, vond geen verband tussen borstkanker en DDE-niveaus in het algemeen.

Wat de opzet ook is, de onderzoeken tot nu toe hebben verschillende tekortkomingen waardoor zulke inconsistente resultaten helemaal niet verrassend zijn. De bijdrage van synthetische chemicaliën aan oestrogeenblootstelling kan afkomstig zijn van veel verschillende chemicaliën, waarvan sommige zeer persistent zijn, zoals PCB's, en andere niet persistent zijn en geen sporen van blootstelling achterlaten in bloed of lichaamsvet. De studies tot nu toe hebben alleen gekeken naar een handvol bekende persistente verbindingen zoals DDE en PCB's.

[207] Ook hebben studies meestal alle 209 chemische stoffen in de PCB-familie als één behandeld, ook al hebben verschillende leden van deze chemische familie totaal verschillende en in sommige gevallen tegengestelde biologische effecten. Sommige zijn oestrogeen nabootsend, terwijl de di-

oxineachtige verbindingen kunnen fungeren als oestrogeen-blokkers. Bovendien varieert de mix van PCB's die in mensen wordt aangetroffen van individu tot individu, afhankelijk van hun dieet en andere blootstellingen. Om een verband tussen PCB's en borstkanker te ontdekken, moeten PCB's als afzonderlijke chemische stoffen worden behandeld.

De ontdekking dat oestrogene chemicaliën op de loer liggen in plastic, conserven en afbraakproducten van wasmiddelen suggereert ook dat een significante blootstelling het gevolg kan zijn van andere chemicaliën dan de gebruikelijke verdachten. Studies hebben menselijk weefsel niet gescreend op minder bekende oestrogeen nabootsingen zoals bisfenol-A of nonylfenol, ook al is het denkbaar dat deze op een belangrijke manier bijdragen aan de blootstelling aan oestrogeen van synthetische chemicaliën. Sommige onderzoekers, waaronder Ana Soto en Carlos Sonnenschein, onderzoeken nu manieren om de natuurlijke oestrogenen in het bloed van vrouwen te scheiden van vreemde oestrogenen in een poging om te bepalen hoeveel van de totale blootstelling aan oestrogenen afkomstig is van synthetische chemicaliën.

Omdat we nog maar weinig weten over de oorzaken van borstkanker en er grote onzekerheden zijn over de blootstelling, kan het nog wel even duren voordat we de hypothese afdoende kunnen testen en kunnen ontdekken of synthetische chemicaliën bijdragen aan de stijging van het aantal gevallen van borstkanker. Gedeeltelijk als gevolg van politieke druk van belangengroepen voor borstkanker op het Amerikaanse Congres, besteden federale financieringsinstanties nu meer geld aan het onderzoeken van deze belang-

rijke vraag. Het National Cancer Institute financiert momenteel een vierjarig onderzoek van 6 miljoen dollar om het verband tussen borstkanker en blootstelling aan verschillende hormonaal actieve synthetische chemicaliën in het milieu te onderzoeken. Dit onderzoek, dat bekend staat als de Northeast/Mid-Atlantic Study, richt zich met name op het mogelijke verband tussen synthetische verontreinigende stoffen en het verhoogde risico op borstkanker waarmee vrouwen in deze regio te maken hebben.

Onder de kankerslachtoffers in de Verenigde Staten zijn borst- en prostaatkanker twee van de vier grootste doodsoorzaken. [208] Hormonen spelen een belangrijke rol bij deze twee vormen van kanker en de incidentie van beide blijft stijgen, niet alleen in de Verenigde Staten maar ook in de meeste andere landen. Het sterftecijfer voor borstkanker is het hoogst in West-Europa, gevolgd door de Verenigde Staten, maar de snelste toename van sterfgevallen door deze ziekte vindt nu plaats in Oost-Europa en Oost-Azië. Bij prostaatkanker vinden de hoogste sterftecijfers plaats in de Scandinavische landen, terwijl Oost-Azië, waar de incidentie zeer laag is, de grootste toename ziet. De zoektocht naar de rol van hormoonverstorende chemicaliën bij deze kankers verdient een hogere prioriteit dan de zoektocht naar erfelijke genen voor borst- en prostaatkanker, omdat onderzoek gericht op omgevingsfactoren de hoop biedt manieren te vinden om deze verwoestende ziekten bij de overgrote meerderheid van de slachtoffers te voorkomen.

Onze angsten voor giftige chemicaliën hebben zich meestal geconcentreerd rond kanker en andere lichamelijke ziekten.

Maar als je de wetenschappelijke literatuur bestudeert, wordt het snel duidelijk dat lichamelijke ziekten of zichtbare geboortefwijkingen niet het meest directe gevaar vormen. Lang voordat de concentraties van synthetische chemicaliën voldoende hoog zijn om duidelijke lichamelijke ziekten of afwijkingen te veroorzaken, kunnen ze het leervermogen aantasten en dramatische, permanente gedragsveranderingen veroorzaken, zoals hyperactiviteit. Op een paar verbindingen na, zoals PCB's, weten we vrijwel niets over de gevaren van de duizenden synthetische chemicaliën die in de handel zijn voor het denken en het gedrag.

Het weinige dat we weten over de weinige chemische stoffen die zijn onderzocht, heeft alarmerende implicaties. Zowel dierproeven als onderzoeken bij mensen maken melding van gedragsstoornissen en leerstoornissen die vergelijkbaar zijn met de stoornissen en leerstoornissen die steeds vaker worden gerapporteerd onder schoolkinderen in het hele land. In de Verenigde Staten lijdt naar schatting vijf tot tien procent van de schoolgaande kinderen aan een reeks symptomen die te maken hebben met hyperactiviteit en aandachtstekort, waardoor ze moeite hebben met opletten en leren. Talloze anderen hebben leerproblemen, variërend van problemen met het geheugen tot een verminderde fijne motoriek, waardoor het moeilijker is om een pen vast te houden en te leren schrijven.

Wetenschappers hebben nog steeds geen volledig inzicht in de manier waarop PCB's de neurologische ontwikkeling in de baarmoeder en vroeg in het leven schaden, maar er zijn aanwijzingen dat het vermogen van PCB's om schade aan de

hersenen te veroorzaken deels voortkomt uit de verstoring van een ander onderdeel van het endocriene systeem, de schildklierhormonen.

[209] Uitgebreid onderzoek naar de zich ontwikkelende hersenen en het zenuwstelsel heeft aangetoond dat schildklierhormonen helpen bij het orkestreren van het uitgebreide stapsgewijze proces dat nodig is voor de normale ontwikkeling van de hersenen. Zoals aangestipt in Hoofdstuk 3, stimuleren deze hormonen de proliferatie van zenuwcellen en leiden ze later de ordelijke migratie van zenuwcellen naar de juiste gebieden van de hersenen. De hersenen en het zenuwstelsel gaan, net als andere delen van het lichaam, door kritieke periodes tijdens hun ontwikkeling, zowel in de baarmoeder als in de eerste twee levensjaren. Wanneer de schildklierspiegels te hoog of te laag zijn, gaat dit ontwikkelingsproces mis en ontstaat er permanente schade, die kan variëren van mentale achterstand tot subtielere gedragsstoornissen en leerstoornissen. De precieze aard van de schade door abnormale schildklierwaarden zal afhangen van het tijdstip en de omvang van de verstoring.

Het is al lang bekend dat een acuut schildkliergebrek tijdens de zwangerschap een ernstige mentale achterstand kan veroorzaken, maar schildklieronderzoeker Susan Porterfield, een endocrinoloog aan het Medical College of Georgia, merkt op dat weinigen rekening hebben gehouden met de subtielere effecten van een minder ernstige verstoring van de schildklier tijdens de ontwikkeling van de hersenen en het zenuwstelsel - een verstoring die van nature kan optreden of het gevolg kan zijn van hormoonverstorende chemi-

caliën in het milieu.

PCB's en dioxine beïnvloeden de schildklier op verschillende, complexe en nog onvolledig begrepen manieren. Sommige analyses wijzen erop dat ze de normale werking van hormonen kunnen nabootsen of blokkeren, misschien door binding aan de schildklierreceptor. Andere gegevens suggereren dat ze zelfs het aantal aanwezige receptoren kunnen verhogen om de hormoonsignalen te ontvangen. Ze lijken ook vooral in te werken op T4, de vorm van schildklierhormoon die cruciaal is voor de prenatale ontwikkeling van de hersenen. Onderzoekers Daniel Ness en Susan Schantz van de Universiteit van Illinois hebben vastgesteld dat twee PCB's die veel voorkomen in menselijk weefsel en moedermelk - PCB-118 en PCB-153 - de T4-niveaus verlagen bij ratten die prenataal zijn blootgesteld. Deze verbindingen concurreren ook krachtiger dan natuurlijke hormonen bij het binden aan een transporteiwit genaamd transthyretine, dat T4 naar hersencellen transporteert.

In een artikel uit juni 1994 in het tijdschrift *Environmental Health Perspectives* schetste Porterfield haar theorie dat “zeer lage niveaus” van PCB's en dioxinen - ver onder de niveaus die algemeen als giftig worden beschouwd - de schildklierfunctie in de moeder en de ongeboren baby kunnen veranderen en daardoor de neurologische ontwikkeling kunnen schaden. [210] Net als Sharpe en Skakkebaek haalt Porterfield bewijs aan waaruit blijkt dat scheve hormoonspiegels in de baarmoeder blijvende schade kunnen veroorzaken - in dit geval leerproblemen, aandachtsproblemen en hyperactiviteit.

Het nieuwe bewijs dat PCB's in verband brengt met verstoring van de schildklier en neurologische schade is vooral zorgwekkend omdat PCB's een persistente, alomtegenwoordige vervuilende stof zijn waarvan de niveaus aanvankelijk waren gedaald in menselijk weefsel maar de laatste jaren stabiel zijn gebleven, ook al zijn de meeste industriële landen meer dan tien jaar geleden gestopt met de productie ervan. In de voormalige Sovjet-Unie is de productie van PCB's pas in 1990 gestopt.

Op basis van de concentraties PCB's in moedermelkvet schatten sommigen dat ten minste vijf procent van de baby's in de Verenigde Staten is blootgesteld aan voldoende verontreinigende stoffen om neurologische schade te veroorzaken. Hoewel de meest uitgebreide gegevens over neurologische effecten betrekking hebben op PCB's, is het belangrijk om te benadrukken dat PCB's zeker niet de enige boosdoener zijn. Veel andere synthetische chemicaliën werken ook in op schildklierhormonen, waardoor de bezorgdheid nog groter wordt. Volgens Linda Birnbaum, hoofd van de afdeling milieutoxicologie van het Health Effects Research Laboratory van het U.S. Environmental Protection Agency, is de schildklier een van de meest voorkomende doelwitten van synthetische chemicaliën. Met de mogelijkheid van meerdere aanvallen op het schildklierstelsel, kunnen de gevaren voor de zich ontwikkelende hersenen aanzienlijk zijn.

Laboratoriumdieren die in de baarmoeder en op jonge leeftijd aan PCB's zijn blootgesteld, vertonen op volwassen leeftijd vaak gedragsafwijkingen. De nakomelingen van sommige muizen die relatief lage doses PCB's kregen, ont-

wikkelden een “spinsyndroom” waarbij ze constant in hun kooi rondcirkelden. Andere blootgestelde muizen vertonen geen openlijke gedragsafwijkingen, maar hebben wel verminderde reflexen en leerproblemen. Ratten die in de baarmoeder werden blootgesteld, maken meer fouten bij het lopen van een doolhof en hebben meer moeite met leren zwemmen, wat misschien duidt op een motorische stoornis. Bij resusaapjes ontdekten onderzoekers ook dat blootstelling aan PCB's in de baarmoeder en via de moedermelk motorische stoornissen en stoornissen in het geheugen en het leervermogen veroorzaakt. Hoe groter de blootstelling aan PCB's, hoe meer fouten de apen maakten in leertaken die ontworpen waren om hun cognitieve vaardigheden te testen.

[211] Maar het meest voor de hand liggende en dus meest gerapporteerde gedragsmatige teken van neurologische schade bij laboratoriumdieren die in de baarmoeder en op jonge leeftijd aan PCB's zijn blootgesteld, is hyperactiviteit. Hoewel je zou verwachten dat extrapolatie van dierstudies naar mensen minder betrouwbaar zou zijn als het gaat om gedrag en cognitie, zijn er ook in deze neurologische studies enkele opvallende parallellen te zien tussen de effecten op dieren en mensen. In haar artikel merkt Porterfield op dat dit probleem zich vaker voordoet bij kinderen van vrouwen die abnormaal lage schildklierhormoonspiegels hadden tijdens de zwangerschap.

Veel van onze kennis over de impact op mensen komt van het bestuderen van mensen die blootgesteld zijn aan ongelukken. Een belangrijke langetermijnstudie betreft de kinderen van vrouwen in Taiwan die in 1979 bakolie aten die per

ongeluk verontreinigd was met hoge concentraties PCB's en furanen. Sommige van de 128 bestudeerde kinderen zaten in de baarmoeder toen hun moeders de verontreinigde olie consumeerden. Anderen werden verwekt en geboren nadat de verontreinigingsperiode was afgelopen, zodat hun blootstelling afkomstig was van restverontreiniging in hun moeders. In een reeks onderzoeken en tests die tussen 1985 en 1992 op deze kinderen werden uitgevoerd, ontdekte een team onder leiding van Yue-Liang L. Guo van het Taiwanese Departement voor Beroeps- en Milieugezondheid dat de kinderen leden aan een reeks problemen - fysiek en neurologisch - die voorspeld waren op basis van dierstudies.

Toen sommige van deze kinderen de puberteit naderden, stelden de onderzoekers een abnormale seksuele ontwikkeling vast bij de mannetjes, wat overeenkomt met een van de meest opvallende effecten die in de literatuur over wilde dieren is opgetekend. Net als de alligators in Lake Apopka hebben deze jongens aanzienlijk kortere penissen dan niet-blootgestelde jongens van dezelfde leeftijd.

Deze Taiwanese kinderen vertonen ook permanente aantasting van hun motorische en mentale vaardigheden en gedragsproblemen, waaronder een hoger dan normaal activiteitsniveau. Tests hebben herhaaldelijk tekenen van een vertraagde ontwikkeling gevonden en de kinderen scoorden vijf punten lager op intelligentietests dan vergelijkbare niet-blootgestelde kinderen. Guo en

zijn collega's geloven dat deze kinderen lager scoren in IQ-tests omdat ze lijden aan aandachtstekort en niet zo snel kunnen denken als hun niet-blootgestelde leeftijdsgenoten.

[212] Gelukkig worden maar weinig mensen blootgesteld aan de intense besmetting die de slachtoffers van dit ongelukkige ongeval in Taiwan hebben ondergaan. Twee onderzoeken in de Verenigde Staten hebben geprobeerd te ontdekken of kinderen neurologische schade oplopen als ze via hun moeder worden blootgesteld aan de normale hoeveelheid vervuiling in het milieu. Beide studies maakten melding van tekenen van een verminderde neurologische ontwikkeling, die misschien niet duidelijk waren voor de ouders maar wel konden worden opgespoord met gespecialiseerde tests.

Het eerste onderzoek, uitgevoerd in het begin van de jaren 1980 door de psychologen Sandra en Joseph Jacobson van de Wayne State University, betrof nieuwe moeders in Michigan die vis uit de Grote Meren hadden gegeten, die aanzienlijke hoeveelheden PCB's en talloze andere chemische verontreinigingen bevat. Ondanks de verontreinigingsniveaus blijven de vis- en wildbeheerders van de staten in het gebied rond de Grote Meren zalm, meerforel en andere wildvissen uitzetten en blijft sportvissen een industrie van 3 tot 4 miljard dollar. Staatsgezondheidsambtenaren waarschuwen op sommige visgebieden met borden dat het eten van zalm en meerforel gevaarlijk kan zijn voor de gezondheid, maar veel vissers en hun gezinnen blijven eten wat ze vangen. De vrouwen in de visetende groep in dit onderzoek hadden allemaal twee of drie keer per maand vis gegeten in de zes jaar voordat ze zwanger werden, hoewel sommigen tijdens de zwangerschap geen vis hadden gegeten. Omdat PCB's persistent zijn, stapelden deze vrouwen ze op in hun lichaams-

vet en gaven ze de PCB's door aan hun baby's via de placenta en de moedermelk.

Verschillen tussen de kinderen van viseters en niet-viseters waren direct bij de geboorte zichtbaar. Hoe meer vis uit het Michiganmeer de moeder at, hoe lager het geboortegewicht en hoe kleiner de hoofdomtrek van de baby. Een reeks tests die bij de geboorte en daarna op regelmatige tijdstippen werden uitgevoerd, toonde ook aanhoudende aanwijzingen voor neurologische stoornissen. De Jacobsons kunnen er echter niet zeker van zijn dat PCB's alleen verantwoordelijk zijn voor de effecten bij de kinderen van deze vrouwen omdat hun moeders ook aan zoveel andere chemicaliën werden blootgesteld.

Van de meer dan driehonderd kinderen die in deze studie werden getest, vertoonden degenen van wie de moeders grotere hoeveelheden vis hadden gegeten subtiele tekenen van schade, waaronder zwakke reflexen en meer schokkerige, onevenwichtige bewegingen als pasgeborenen. [213] Bij latere tests op de leeftijd van zeven maanden vonden de Jacobsons tekenen van een verminderde cognitieve functie op basis van een test waarbij een kind twee identieke afbeeldingen van menselijke gezichten te zien krijgt die op een bord zijn geplakt. Na een bepaalde tijd verwijdt de onderzoeker het bord, vervangt een van de afbeeldingen door een nieuw gezicht en toont het scherm opnieuw aan het kind. Een kind herkent normaal gesproken het nieuwe gezicht en besteedt er meer tijd aan om ernaar te kijken dan naar het gezicht dat het kind eerder had gezien. Hoe hoger het PCB-niveau bij de moeder, hoe minder tijd een kind besteedde aan het kij-

ken naar het nieuwe plaatje. Kinderen met lagere scores op deze test hebben de neiging om slechter te presteren op intelligentietests tijdens hun kindertijd. Toen de kinderen op vierjarige leeftijd opnieuw werden getest, hadden de kinderen van vrouwen met de hoogste PCB-niveaus lagere scores op verbale en geheugentests.

Het tweede onderzoek in North Carolina bestond uit neurologische tests op 866 baby's en vergeleek hun prestaties met de niveaus van PCB's die werden aangetroffen in de moedermelk - een indicatie van hun prenatale blootstelling en hun blootstelling na de geboorte. De zwaarder blootgestelde baby's vertoonden zwakkere reflexen en in vervolgonderzoeken op de leeftijd van zes en twaalf maanden bleken ze nog steeds slecht te presteren op tests voor grove en fijne motorische coördinatie. Deze studie bevatte geen testen om het denkvermogen en het geheugen te beoordelen.

Aan de State University of New York in Oswego, dat aan het Ontariomeer ligt, is een team van psychologen en een arts nu bezig om het baanbrekende onderzoek van de Jacobsons uit te breiden naar de verschillen tussen kinderen van mensen die wel en geen vis uit het Ontariomeer eten. Het onderzoek omvat een studie naar de kinderen van visetende vrouwen en parallel laboratoriumonderzoek met ratten die vis uit het Ontariomeer te eten kregen. Als de onderzoeken bij mensen en ratten dezelfde veranderingen in gedrag vinden, dan zal dat erop wijzen dat de resultaten van de rattenstudies generaliseerbaar zijn naar mensen. Omdat de rattenstudies van psychologe Helen Daly bewijs laten zien van gedragsveranderingen bij volwassen ratten, test het onder-

zoeksteam, waar ook Edward Lonky, Thomas Darvill, Jacqueline Reihman en Joseph Mather Sr. deel van uitmaken, zowel de ouders in het menselijke onderzoek als de kinderen. Een soortgelijke epidemiologische inspanning is ook aan de gang in Nederland, waar onderzoekers het verband onderzoeken tussen blootstelling aan PCB's, schildklier niveaus bij de geboorte en latere gedrags- en cognitieve problemen bij de kinderen van moeders met hoge PCB-niveaus.

[214] Daly's studies met ratten die zalm uit Lake Ontario te eten kregen, hebben een nieuwe dimensie toegevoegd aan de groeiende literatuur over de invloed van synthetische chemicaliën op denken en gedrag en nieuwe vragen over mogelijke effecten op mensen. Haar vroege werk was gericht op leren bij normale ratten, met name de rol van frustratie in het leerproces. Maar begin jaren '80 begonnen zij en haar collega's zich af te vragen wat het mogelijke effect was van het eten van besmette vis. De vraag was letterlijk onontkoombaar in Oswego, want toen de staat begon met het uitzetten van wildvis, werd de stad aan de monding van de Oswego rivier aan Lake Ontario een bloeiend sportviscentrum. In de herfst staan vissers, die vaak van ver komen, schouder aan schouder langs de oever te vissen op een van de enorme zalmen die de rivier opgaan om te paaien. De stad heeft zelfs speciale schoonmaakstations gebouwd waar vissers tegen een kleine vergoeding hun vis kunnen laten schoonmaken. In gesprekken met vissers en hun vrouwen ontdekten Daly en haar collega's dat veel gezinnen hun vriezers met vis vulden en de hele winter door aanzienlijke hoeveelheden aten.

Een aantal onderzoekers aan de universiteit begon laboratoriumratten te voeren met vis uit Lake Ontario om te zien of dit enig effect op hen had. Eén van Daly's collega's, David Hertzler, vond tekenen van veranderd gedrag bij ratten na twintig dagen op een dieet dat voor dertig procent uit zalm bestond. Bij een standaard test vertoonden de ratten verminderde activiteit. De bevinding was intrigerend, maar omdat veel factoren een verminderde activiteit kunnen veroorzaken, gaf het niet veel inzicht in hoe de besmetting de dieren beïnvloedde. Daly begon toen aan een serie leerexperimenten om te proberen te ontdekken waarom ze minder actief werden.

“We dachten dat giftige chemicaliën ze dummies zouden moeten maken,” herinnert ze zich. “Dat is wat je zou verwachten.”

Wat ze vond was totaal tegengesteld aan haar verwachtingen. Er was geen bewijs van ernstige leerstoornissen, maar er was wel een dramatische verandering in hun gedrag. In de jaren daarna heeft Daly een reeks verschillende experimenten uitgevoerd om de aard van deze verandering vast te stellen en te karakteriseren. De onderzoeken vergelijken allemaal het gedrag van ratten die gevoerd werden met zalm uit Lake Ontario met ratten die gevoerd werden met zalm uit de Stille Oceaan die veel minder vervuiling bevat of met een tweede controlegroep die geen zalm te eten kreeg. Keer op keer zag ze een consistent patroon in de resultaten.

[215] De twee groepen ratten vertonen geen verschil in gedrag zolang het leven aangenaam en rustig is, maar zodra ze geconfronteerd worden met een negatieve gebeurtenis, zijn

er grote verschillen zichtbaar. In alle gevallen vertonen de ratten die zalm uit Lake Ontario hebben gegeten een veel grotere reactie dan de ratten die Pacifische zalm of rattenvoer hebben gegeten. Daly beschrijft ze als “hyperreactief”, zelfs op licht negatieve situaties.

Als de vervuilende stoffen dezelfde effecten hebben op mensen als op ratten, zegt Daly, dan “zal elke kleine stress worden uitvergroot”. Ze denkt dat sommige kinderen in het onderzoek van de Jacobsons reacties vertoonden die vergelijkbaar zijn met de reacties die ze bij ratten heeft gezien. Toen de kinderen op vierjarige leeftijd werden getest, weigerden zeventien van hen mee te werken tijdens ten minste één test, allemaal kinderen van moeders met de hoogste PCB-niveaus in hun melk. Ze denkt dat dit waarschijnlijk een overreactie is op de licht frustrerende ervaring van het doen van zulke testen.

Daly's bevindingen zijn in andere opzichten ongebruikelijk, want ze zag deze gedragsverandering niet alleen bij degenen die werden blootgesteld tijdens kritieke ontwikkelingsstadia in de baarmoeder, maar ook bij volwassen ratten die zalm uit Lake Ontario te eten kregen. Ze vond dergelijke veranderingen ook bij de nakomelingen van deze volwassenen en bij de tweede generatie. Bij het bestuderen van deze transgenerationele effecten voerde Daly de vis alleen aan de grootmoeders voor en tijdens hun zwangerschap en terwijl ze hun pups voedden. De nakomelingen kregen de verontreinigende stoffen alleen binnen via de placenta van de moeder en via de moedermelk. Daly voerde geen van de vrouwelijke nakomelingen op enig moment in hun leven vis, maar toch

zag ze gedragsveranderingen bij de pups die ze voortbrachten. Haar onderzoek suggereert dat vervuilende stoffen die een moeder binnenkrijgt op de een of andere manier effecten kunnen hebben die twee generaties overstijgen en zowel kleinkinderen als directe nakomelingen kunnen beïnvloeden. Andere onderzoekers beginnen Daly's experimenten te herhalen en volgen zorgvuldig dezelfde procedures om te zien of ze dezelfde resultaten krijgen.

In mei 1995 kondigde het team uit Oswego de eerste resultaten aan van hun lopende studie bij mensen, waarin ze gedrags- en neurologische verschillen rapporteerden bij de kinderen van vrouwen die vis uit het Ontariomeer hadden gegeten. In dit nieuwe onderzoek vertoonden baby's van moeders die verrassend bescheiden hoeveelheden Lake Ontario vis hadden gegeten - het equivalent van veertig pond of meer zalm gedurende hun hele leven, niet alleen tijdens de zwangerschap - een groter aantal abnormale reflexen, een grotere onrijpheid in een lagere autonome responscore en een slechte gewenning aan herhaalde verstoringen.

[216] De gewenningsbeoordeling, die geen deel uitmaakte van de studie van Jacobson, keek naar de reactie van een slapende baby op het ontwaken door een bel, een rammelaar of een licht dat in zijn ogen schijnt. Dergelijke stimulatie laat de baby aanvankelijk schrikken, maar als hij of zij herhaaldelijk wordt gewekt, zou de schrikreactie moeten afnemen en uiteindelijk verdwijnen. De baby's van vrouwen die geen vis uit Ontario hadden gegeten, raakten het snelst gewend aan de verstoring. Kinderen van zware viseters daarentegen raakten slecht gewend en reageerden veel negatie-

ver op herhaalde verstoringen.

“Dit volgt mooi uit elkaar,” zei Daly, sprekend over de overeenkomsten die naar voren komen tussen de menselijke studies en haar eerdere werk met ratten. Net als de menselijke baby's, merkt ze op, “zijn mijn ratten [gevoed met zalm uit Lake Ontario] ook reactiever op onplezierige gebeurtenissen.” De bevindingen van deze eerste grootschalige replicatie van het onderzoek van de Jacobsons zijn ook consistent met gedragsverschillen die in dat eerdere onderzoek werden opgemerkt, hoewel dit onderzoek niet de fysieke verschillen vond die door de Jacobsons werden gerapporteerd, zoals een kleinere hoofdomtrek en een lichter geboortegewicht bij baby's van zware viseters. Daly en haar collega's geloven dat dit het bewijs is dat vervuilende stoffen het gedrag beïnvloeden voordat ze niveaus bereiken die hoog genoeg zijn om een meetbare fysieke impact te hebben op een baby. Daly wordt aangemoedigd door het bewijs dat knaagdierstudies een vroege waarschuwing kunnen geven over mogelijke gedragseffecten bij mensen.

Hoewel de studie van Jacobson correlaties vond tussen neurologische symptomen en PCB's, betwijfelt Daly of PCB's de enige chemische stof zijn die betrokken is bij de veranderingen die het Oswego-team ziet. Schattingen van het aantal giftige chemicaliën dat vrijkomt in het bekken van de Grote Meren lopen uiteen van wel achtentwintighonderd. Hoeveel daarvan hun weg vinden naar de zalm en de mensen die ze eten is voor iedereen een raadsel. In zo'n giftige stoofpot, zegt ze, zou het niet verrassend zijn als een aantal chemicaliën op een additieve of synergetische manier werken.

Rapporten die vervuiling van wilde dieren in verband brengen met onverwacht gedrag zoals vrouwtjes die nesten delen en vervrouwelijkte mannetjes roepen onvermijdelijk vragen op over menselijk ouderschap en seksuele keuze. [217] Zou hormoonverstoring deze menselijke eigenschappen kunnen veranderen? De wetenschap hierover is inderdaad mager. Hoewel er steeds meer aanwijzingen komen dat variaties in seksuele voorkeur het gevolg kunnen zijn van verschillen in biologie, hebben wetenschappers slechts een vaag begrip van de factoren die hierbij een rol spelen.

In 1991 publiceerde Dr. Simon LeVay gegevens in *Science* over zijn ontdekking van verschillen in de hersenstructuur van homoseksuele en heteroseksuele mannen. Het werk van LeVay, waaronder zijn recente boek *The Sexual Brain*, ondersteunt de theorie dat seksueel gedrag een biologische basis heeft en sterk beïnvloed wordt door blootstelling aan hormonen in de periode dat het foetale brein seksuele differentiatie ondergaat.

Het werk van andere wetenschappers ondersteunt deze interpretatie. Sommige onderzoeken bij DES-dochters laten bijvoorbeeld zien dat ze vaker homoseksueel en biseksueel zijn dan hun zussen die voor hun geboorte niet werden blootgesteld aan dit synthetische oestrogeen. Helaas bestaan er geen geloofwaardige onderzoeken naar de effecten van deze synthetische oestrogeen op DES-zonen.

Dit werk zou er in principe op wijzen dat chemische stoffen die op cruciale momenten in de foetale ontwikkeling ingrijpen op hormonale boodschappen, de seksuele keuze zouden kunnen veranderen. De huidige wetenschap vertelt ons wei-

nig meer. Studies hebben aangetoond dat verstoring van de hormoonspiegels soms mannelijk en soms vrouwelijk maakt. Dus als hormoonverstoring de seksuele keuze beïnvloedt, dan zou het twee kanten op kunnen gaan, waardoor iemand die van nature homoseksueel zou zijn geweest, zich als heteroseksueel ontwikkelt, of waardoor iemand die voorbestemd was om heteroseksueel te zijn, homoseksueel wordt. Je moet je ook bedenken dat diversiteit in seksuele keuze al duizenden jaren deel uitmaakt van de menselijke ervaring, lang voordat chemische contaminanten wijdverspreid werden. Er zijn geen aanwijzingen dat patronen van menselijke seksuele keuze zijn veranderd sinds synthetische hormoonversturende chemicaliën in de handel kwamen. Hoewel homo's en lesbiennes zichtbaarder zijn geworden dankzij sociale trends die hen in staat hebben gesteld om als volwaardige leden van de samenleving te participeren, geven de beste beschikbare onderzoeken aan dat de verhouding tussen homoseksuelen en heteroseksuelen in de bevolking constant is gebleven.

De menselijke seksuele geaardheid is ongetwijfeld een complex fenomeen, net als het meeste menselijke gedrag. We betwijfelen of één enkel feit - natuur, hormoonverstoring of opvoeding - de enige bepalende factor zal blijken te zijn.

[218] Op dit moment zijn er meer vragen dan antwoorden over de invloed van hormoonversturende chemicaliën op mensen.

Maar zelfs als er schade zichtbaar en gedocumenteerd is, zal het nooit mogelijk zijn om een definitief oorzakelijk verband vast te stellen met verontreinigende stoffen in het mili-

eu. Hoewel we weten dat elke moeder in de afgelopen halve eeuw een lading synthetische chemicaliën met zich meedroeg en haar kinderen in de baarmoeder blootstelde, weten we niet aan welke combinatie van chemicaliën een individueel kind werd blootgesteld, of in welke hoeveelheden, en of hij of zij werd getroffen tijdens kritieke periodes in hun ontwikkeling, wanneer relatief lage hoeveelheden significante levenslange effecten kunnen hebben. Dit is een veel voorkomend en onontkoombaar dilemma wanneer we de vertraagde effecten van milieuvervuiling proberen te beoordelen. We worden ook geconfronteerd met het probleem dat we geen echte controlegroep van niet-blootgestelde individuen hebben voor vergelijkende wetenschappelijke studies. De vervuiling is alomtegenwoordig. Iedereen is tot op zekere hoogte blootgesteld. Een van de trieste ironieën is dat onderzoekers de hoge besmettingsniveaus ontdekten bij mensen in afgelegen Inuit-dorpen terwijl ze op zoek waren naar een minder blootgestelde controlegroep.

Om deze redenen zullen degenen die zo'n definitief “bewijs” eisen voordat ze tot een oordeel komen, zeker een eeuwigheid moeten wachten. In de echte wereld, waar mensen en dieren worden blootgesteld aan verontreiniging door tientallen chemicaliën die samen of soms tegengesteld aan elkaar kunnen werken en waar timing net zo belangrijk kan zijn als dosis, zullen duidelijke oorzaak-gevolgrelaties moeilijk te vinden blijven.

De tabaksindustrie gebruikte onoprechte argumenten over het ontbreken van een bewezen oorzakelijk verband tussen roken en longkanker bij mensen, terwijl ze heel goed wist

dat het onmogelijk is om dergelijk bewijs bij mensen te verkrijgen zonder ze te onderwerpen aan gecontroleerde laboratoriumexperimenten. Maar na vertragingen zijn gezondheidsfunctionarissen verder gegaan met waarschuwingen op sigaretten, beperkingen op sigarettenreclame en pogingen om blootstelling aan sigarettenrook op openbare plaatsen te stoppen. Ze hebben dit gedaan op basis van bewijs van een correlatie tussen roken en longkanker bij mensen, ondersteund door gecontroleerde laboratoriumexperimenten met dieren die een dergelijke oorzaak-en-gevolgrelatie kunnen aantonen.

[219] Er is een vergelijkbare aanpak nodig om het probleem van hormoonverstoorders aan te pakken, maar het zal veel moeilijker zijn dan het ontwarren van het web van oorzaak en gevolg voor tabak. Gezien de aard van de vervuiling is het belangrijk om van meet af aan te erkennen dat degenen die verantwoordelijk zijn voor het beschermen van de menselijke gezondheid zullen moeten handelen op basis van informatie die niet perfect is.

Terwijl we worstelen met de vraag in hoeverre chemische verontreinigingen bijdragen aan de trends en maatschappelijke patronen die we zien - borstkanker, prostaatziekten, onvruchtbaarheid en leerproblemen - is het belangrijk om één ding in gedachten te houden. Wetenschappers blijven significante, vaak blijvende effecten vinden bij verrassend lage doses. Het gevaar waarmee we geconfronteerd worden is niet alleen dood en ziekte. Door hormonen en ontwikkeling te verstoren, veranderen deze synthetische chemicaliën misschien wie we worden. Ze kunnen ons lot veranderen.

HOOFDSTUK – 11

VOORBIJ KANKER

Al vroeg in haar speurwerk stuitte Theo Colborn op een lang vergeten studie die gepubliceerd werd in de *Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine* in 1950 - de eerste waarschuwing in de wetenschappelijke literatuur dat synthetische chemicaliën het onbedoelde effect kunnen hebben dat ze hormonen verstoren. Het artikel van twee zoölogen van de Syracuse University, Verlus Frank Lindeman en zijn afgestudeerde student Howard Burlington, beschreef hoe doses DDT verhinderden dat jonge hanen zich tot normale mannetjes ontwikkelden en suggereerde zelfs dat het pesticide als hormoon werkte. Het eerste bizarre, angstaanjagende bewijs van hormonale verwoesting dook dus op kort nadat het chemische tijdperk het Amerikaanse leven aan het einde van de Tweede Wereldoorlog als een tsunami overspoelde. Colborn hing het artikel van Burlington en Lindeman boven haar bureau - een herinnering aan de trage acceptatie van nieuwe ideeën.

Hoe hebben we zoveel waarschuwingssignalen zo lang kunnen missen?

Colborns eigen ervaring met de Grote Meren geeft een deel van het antwoord. Onze obsessie met kanker verblindt ons voor andere gevaren. Er is een sterke neiging, die steeds

weer in dit verhaal naar voren komt, om belangrijk nieuw bewijs over het hoofd te zien of te negeren dat niet past in de heersende opvattingen over hoe dingen werken en wat belangrijk is - een sterke neiging om doof te blijven.

[221] Als de studie van Burlington en Lindeman in de vergetelheid raakte, dan was dat zeker niet omdat hun bevindingen subtiel of moeilijk te begrijpen waren. Het team uit Syracuse besloot de effecten van langdurige vergiftiging met DDT te onderzoeken door veertig jonge hanen gedurende twee tot drie maanden met het pesticide te injecteren. Terwijl ze toekeken wat er met de witte leghorns gebeurde, moeten ze zich wel verbaasd hebben over dit hoogst merkwaardige gif. De dagelijkse doses DDT doodden de hanen niet en maakten ze zelfs niet ziek. Maar ze werden er wel vreemd van. De behandelde vogels leken helemaal niet op hanen, maar op hennen.

Als jonge hanen volwassen worden, bloeien er lange rode kammen op hun kop en weelderige kersenkleurige huidplooien, die lellen worden genoemd, barsten uit in hun nek - haanmannelijkheid. De vogels die DDT toegediend kregen, ontwikkelden zich echter niet op de verwachte manier. Zelfs als volwassen dieren bleven hun kammen en halskwabben bleek en onvolgroeid. Ze waren slechts een derde zo groot als die van onbehandelde hanen die ter vergelijking in het zoölogielab waren grootgebracht. Toen de onderzoekers de testikels van de vogels onderzochten, waren de bevindingen nog opzienbarender. De geslachtsorganen waren gegroeid tot slechts achttien procent van de normale grootte. Zo te zien hadden de vogels een chemische castratie ondergaan.

Het zou tientallen jaren duren voordat wetenschappers precies begonnen te begrijpen hoe DDT het seksuele lot van de jonge hanen had veranderd. Maar bij het bespreken van de “interessante effecten” van hun experiment, pluisde het team uit Syracuse de onheilspellende implicaties uit met een opmerkelijke voorkennis. Ze suggereerden in 1950 dat DDT mogelijk een “oestrogeenachtige werking” had, dat het werkte als een hormoon.

De studie leverde alarmerend bewijs van de kracht van een synthetische chemische stof om de seksuele ontwikkeling te verstoren, maar deze waarschuwing werd niet opgevolgd. Dergelijke bevindingen pasten simpelweg niet in de heersende opvattingen over de gevaren van pesticiden, die gevormd waren door de vorige generatie giffen, waaronder veel acuut giftige verbindingen op basis van arseen die gevaarlijke residuen achterlieten op fruit en groenten die soms zelfs dodelijk waren. Gebaseerd op deze vooroorlogse ervaring dachten volksgezondheidsfunctionarissen in 1950 in termen van klassieke vergiftiging en beoordeelden ze chemische stoffen als veilig als ze geen dood of duidelijke ziekte veroorzaakten bij mensen die aan hoge concentraties werden blootgesteld, zoals boeren.

[222] Volgens deze maatstaf was DDT, dat in 1946 op de civiele Amerikaanse markt kwam, een opmerkelijk veilig product. Binnen een jaar werd dit “wonder” pesticide op grote schaal gebruikt in de landbouw in de Verenigde Staten. Tussen 1947 en 1949 hadden chemische bedrijven 3,8 miljard dollar gestoken in productiefaciliteiten gericht op een enorme nieuwe markt voor synthetische pesticiden. De verkoop

van DDT alleen al, die in 1944 \$10 miljoen bedroeg, steeg tot meer dan \$110 miljoen in 1951. Op boerderijen, in huizen en tuinen en langs straten in voorsteden als onderdeel van de strijd tegen muggen werd DDT verspreid en gespoten met een nonchalante overgave die nu moeilijk voor te stellen is.

Tegen de jaren 1960 kwam er een nieuwe angst over de gezondheidseffecten van pesticiden op de voorgrond - angst voor kanker die het publieke debat over giftige chemicaliën, wetenschappelijk onderzoek en overheidsregulering de volgende drie decennia zou domineren. Als weerspiegeling van deze verschuiving in het publieke bewustzijn richtte Rachel Carson zich op kanker in haar hoofdstuk over pesticiden en de menselijke gezondheid in *Silent Spring*, ook al had ze in haar onderzoek van de wetenschappelijke literatuur overvloedig bewijs gevonden van andere gevaren. De "Fabel voor morgen" waarmee het boek opent, schetst een huiveringwekkend beeld van mislukte voortplanting. "Op de boerderijen broedden de kippen, maar er kwamen geen kuikens uit. De boeren klaagden dat ze geen varkens konden fokken - de nesten waren klein en de jongen overleefden maar een paar dagen."

Carson heeft duidelijk de studie van Burlington en Lindeman gelezen, want ze verwijst naar hun resultaten, maar zonder hun namen te noemen. Hoewel het nu duidelijk is dat hun hypothese over de hormonale werking van DDT licht werpt op sommige van de symptomen bij wilde dieren die in de openingshoofdstukken van *Silent Spring* beschreven worden, heeft Carson nooit de aanwijzingen onderzocht

dat pesticiden de voortplanting zouden kunnen schaden door hormonen te verstoren. Dit is vooral intrigerend omdat ze duidelijk inzag dat er “iets sinisterders” aan de hand was dan regelrechte vergiftiging - “de feitelijke vernietiging van het vermogen van de vogel om zich voort te planten”. Op de een of andere manier is deze rode draad verloren gegaan, misschien door de stand van de wetenschap over het endocriene systeem in die tijd, misschien omdat Carson, die zelf aan borstkanker leed, net zo met die gevreesde ziekte bezig was als haar lezers. In de latere hoofdstukken van *Silent Spring* verdwijnt het voortplantingsthema, dat zo prominent aanwezig was aan het begin van het boek, en richt Carson haar aandacht volledig op de bezorgdheid dat synthetische pesticiden genetische mutaties en kanker veroorzaken.

[223] Het is pas in deze context dat Carson het idee aansnijdt dat pesticiden op de een of andere manier de hormoonspiegels zouden kunnen verstoren en zo kankers van het voortplantingssysteem in de hand zouden kunnen werken. Dit zou indirect kunnen gebeuren, stelt ze, door schade aan de lever, die gemakkelijk wordt aangetast door synthetische gechloreerde verbindingen. De lever speelt een sleutelrol in het handhaven van de hormoonbalans door oestrogeen en andere steroïdhormonen af te breken zodat ze kunnen worden uitgescheiden. Ze speculeerde dat als een verminderde leverfunctie dit afbraakproces zou vertragen, dit zou kunnen leiden tot “abnormaal hoge oestrogeenspiegels”. Carson had gelijk, erkent de geneeskunde nu, door een verband te leggen tussen algehele blootstelling aan oestrogenen en deze kankers en door te erkennen dat synthetische chemi-

caliën hormonen kunnen verstoren door normale leverprocessen te belemmeren. Nu, dertig jaar later, is het onderzoek naar de rol van DDT en andere synthetische chemicaliën bij borstkanker vernieuwd na de ontdekking in borsttumoren van DDT, van het afbraakproduct DDE, van PCB's en van andere synthetische chemicaliën en de erkenning dat sommige synthetische chemicaliën inderdaad hormonaal actief zijn, zoals Burlington en Lindeman meer dan vier decennia geleden voor het eerst suggereerden.

Kanker heeft een speciale angst in onze cultuur. Rachel Carson hielp bij het bekendmaken van vermoede verbanden tussen het stijgende aantal kankergevallen en het toenemende gebruik van synthetische pesticiden, maar andere krachten versterkten het opkomende kankerparadigma. In juni 1969 voltooide het National Cancer Institute dierproeven waartoe Silent Spring de aanzet had gegeven en ontdekte een hoger aantal levertumoren bij muizen die langdurig aan lage concentraties DDT waren blootgesteld. Binnen een week ontving president Richard Nixon een petitie van zeventien congresleden die vroegen om een verbod op DDT omdat het kanker zou veroorzaken. In 1971 riep president Nixon de oorlog tegen kanker uit. Gezien het humeur van die tijd en het nieuwe bewijs dat pesticiden zoals DDT kanker zouden kunnen veroorzaken, begonnen milieuactivisten die DDT wilden verbieden de strijd te richten op de risico's voor de menselijke gezondheid in plaats van op de zorgen over de natuur en het milieu die in eerdere zinnen van de lange campagne naar voren waren gebracht. In zijn beslissing uit 1972 om de meeste toepassingen van DDT te beperken, gaf de

Amerikaanse Environmental Protection Agency Administrator William Ruckelshaus evenveel aandacht aan mogelijke risico's op kanker bij mensen als aan de nadelige effecten op vissen en in het wild levende dieren.

[224] Net zoals kanker een speciale plaats inneemt in onze angsten, eist het ook een speciale plaats op in de federale regelgeving. Het heeft het regelgevend proces van de EPA voor giftige chemicaliën gedurende meer dan twee decennia bepaald en gestuurd, voornamelijk omdat het agentschap andere veronderstellingen gebruikt voor het beoordelen van het risico op kanker dan het doet wanneer het andere risico's overweegt. Voor andere risico's dan kanker, zoals schade aan de voortplanting en ontwikkeling, gaat het agentschap ervan uit dat een chemische stof geen gevaar oplevert in lage concentraties onder een bepaalde drempelwaarde. Maar als het om kanker gaat, gebruikt de EPA een lineair model, dat ervan uitgaat dat geen enkel niveau veilig is. Zelfs de kleinste dosis van een chemische stof wordt verondersteld kanker te kunnen veroorzaken.

Het federale hof van beroep had een dergelijke regelgevende vooringenomenheid versterkt door een reeks uitspraken over pesticiden in het begin van de jaren 1970, te beginnen met een zaak uit 1970 over federale tolerantieniveaus voor DDT-residuen op voedsel. Het Environmental Defense Fund, dat de zaak had aangespannen, baseerde zijn zaak op de Delaney-clausule, een amendement uit 1958 op de Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, dat het gebruik verbiedt van elk levensmiddelenadditief waarvan is aangetoond dat het kanker veroorzaakt bij proefdieren. In haar advies be-

sloot de rechtbank dat deze wet ook van toepassing is op residuen van bestrijdingsmiddelen en dat de kankerverwekkendheid van deze residuen in aanmerking moet worden genomen bij het vaststellen van tolerantiegrenzen. De rechtbank eiste ook van de verantwoordelijke kabinetssecretaris dat hij uitlegde op welke basis hij DDT-residuen veilig achtte als hij voorstelde om residuen in voedingsmiddelen te blijven toestaan. De uitspraak onderschreef in feite de strikte aandacht voor kankerverwekkende stoffen die de Delaney clause voorschrijft. Halverwege de jaren zeventig was “kankerverwekkend” in de populaire cultuur onlosmakelijk verbonden geraakt met de woorden “giftige chemische stof”.

Met kanker als ultieme maatstaf voor onze angsten, werd algemeen aangenomen dat het vaststellen van niveaus gebaseerd op kankerrisico's zowel mensen als vissen en wilde dieren ook tegen alle andere gevaren zou beschermen. De afgelopen twintig jaar keken fabrikanten van pesticiden en federale regelgevende instanties bij het screenen van chemische stoffen op veiligheid dan ook vooral naar kanker en voor de hand liggende gevaren zoals dodelijke toxiciteit en ernstige geboortefwijkingen. Kanker heeft ook het wetenschappelijk onderzoeksprogramma gedomineerd dat de mogelijke gezondheidseffecten van chemische verontreinigingen in het milieu onderzoekt. Deze vooringenomenheid met kanker heeft ons blind gemaakt voor bewijs dat andere gevaren signaleert. Het heeft onderzoek naar andere risico's gedwarsboomd die even belangrijk kunnen blijken te zijn, niet alleen voor de gezondheid van individuen, maar ook

voor het welzijn van de samenleving.

[225] Als dit boek één boodschap bevat, dan is het deze: we moeten het kankerparadigma achter ons laten. Zolang we dat niet doen, zal het onmogelijk zijn om de uitdagingen van hormoonverstorende chemicaliën en de bedreiging die ze vormen voor het menselijk vooruitzicht het hoofd te bieden. Dit is niet alleen een argument om onze horizon te verbreden om meer risico's te herkennen. We moeten nieuwe concepten introduceren in onze beschouwing van giftige chemicaliën. De aannames over toxiciteit en ziekte die ons denken de afgelopen drie decennia hebben bepaald, zijn ongepast en vormen een belemmering om een ander soort schade te begrijpen.

Hormoonverstorende chemicaliën zijn geen klassieke vergiften of typische carcinogenen. Ze spelen volgens andere regels. Ze tarten de lineaire logica van de huidige testprotocollen die gebaseerd zijn op de aanname dat hogere doses meer schade aanrichten. Om deze reden, en in tegenstelling tot wat we lang dachten, heeft het screenen van chemische stoffen op kankerrisico ons niet altijd beschermd tegen andere soorten schade. Sommige hormonaal actieve chemicaliën lijken weinig of geen risico op kanker op te leveren. En zoals Lindeman en Burlington ontdekten, zijn zulke chemicaliën meestal geen vergif in de normale zin van het woord. Totdat we dit erkennen, zoeken we op de verkeerde plaatsen, stellen we de verkeerde vragen en praten we langs elkaar heen.

Tot nu toe heeft ons concept van schade door giftige chemicaliën zich voornamelijk gericht op twee dingen: of een che-

misce stof cellen beschadigt en doodt zoals bij vergif, of dat het DNA, onze genetische blauwdruk, wordt aangetast en permanent wordt gewijzigd door een mutatie te veroorzaken zoals bij kankerverwekkende stoffen. Bij vergiftiging kunnen de gevolgen ziekte of dood zijn voor de getroffen mens of het getroffen dier. Mutaties kunnen uiteindelijk leiden tot kanker.

In de concentraties die normaal gesproken in het milieu voorkomen, doden hormoonverstorende chemicaliën geen cellen en vallen ze het DNA niet aan. Hun doelwit zijn hormonen, de chemische boodschappers die constant bewegen binnen het communicatienetwerk van het lichaam. Hormonaal actieve synthetische chemicaliën zijn boeven op de biologische informatiesnelweg die vitale communicatie saboteren. Ze overvallen de boodschappers of doen zich voor als boodschappers. Ze verstoren signalen. Ze vervormen berichten. Ze zaaien desinformatie. Ze richten allerlei verwoestingen aan. [226] Omdat hormoonboodschappen veel kritieke aspecten van de ontwikkeling orkestreren, van seksuele differentiatie tot de organisatie van de hersenen, vormen hormoonverstorende chemicaliën een bijzonder gevaar voor de geboorte en vroeg in het leven. Zoals eerdere hoofdstukken hebben verteld, kunnen relatief lage niveaus van vervuillende stoffen die geen waarneembaar effect hebben op volwassenen, verwoestende gevolgen hebben voor ongeborenen. Het proces dat zich in de baarmoeder ontplooft en een normale, gezonde baby creëert, is afhankelijk van het op het juiste moment doorgeven van de juiste hormoonboodschap aan de foetus. Het sleutelbegrip bij dit soort toxische aanval-

len zijn chemische boodschappen. Geen gif, geen kanker-verwekkende stoffen, maar chemische boodschappen.

De wetenschappelijke preoccupatie met het in kaart brengen van het menselijk genoom en het opsporen van de genen die verantwoordelijk zijn voor erfelijke ziekten zoals taaislijm-ziekte heeft de populaire indruk gewekt dat de wortel van bijna alles wat ons mankeert in onze genen te vinden zal zijn. Maar zoals duidelijk wordt uit het wetenschappelijk werk dat in dit boek wordt onderzocht, is de geërfde genetische blauwdruk slechts één factor die een baby al voor de geboorte vormt. Stel je voor wat er zou gebeuren als iemand de communicatie zou verstoren tijdens de bouw van een groot gebouw, zodat de loodgieters niet de boodschap kregen om de leidingen in de helft van de badkamers te installeren voordat de timmerlieden de muren dichttimmerden. Stel je voor dat de verkeerde instructies binnenkwamen toen het programma voor het klimaatbeheersingssysteem werd ingesteld en de thermostaat van het gebouw werd vastgezet op vijftientig graden in plaats van achtenzestig. Stel je voor wat het zou betekenen als de hoogbouw door een communicatiestoornis maar één lift zou hebben in plaats van acht.

De constructie van een gebouw is net zo belangrijk als de blauwdruk. De intelligentie van een baby hangt evenveel af van de hoeveelheid schildklierhormoon die de hersenen bereikt tijdens kritieke periodes van de ontwikkeling als van het erven van slimme genen. Een jonge man kan teelbalkanker ontwikkelen door abnormale hormoonspiegels in de baarmoeder van zijn moeder in plaats van door een geërfd

kankergen. Zoals het wetenschappelijk bewijs in dit boek laat zien, kunnen synthetische chemicaliën de hormoonboodschappen tijdens de prenatale ontwikkeling verstoren en de uitkomst permanent veranderen.

Omdat hormoonverstorende chemicaliën zich niet aan dezelfde regels houden als klassieke vergiften en kankerverwekkende stoffen, hebben pogingen om conventionele toxicologische en epidemiologische benaderingen op dit probleem toe te passen, meestal tot meer verwarring dan verlichting geleid.

[227] Sommige critici van EPA-regulering hebben bijvoorbeeld betoogd dat het lichaam lage niveaus van verontreinigingen kan verdragen omdat het mechanismen heeft ontwikkeld die een verdediging bieden tegen aanvallen vanuit het milieu. Vanuit het kankerparadigma noemen ze het vermogen van het lichaam om beschadigd DNA te repareren. Voor zover we weten heeft het lichaam echter geen analoge reparatiemechanismen om de hormoonverstorende effecten van chemicaliën op te vangen. Waarom? Cellen zijn voorbereid om hormoonboodschappen te ontvangen en zoals we hebben gezien, accepteren ze gemakkelijk synthetische bedriegers die natuurlijke hormonen nabootsen. Het lichaam reageert op de bedriegers als legitieme boodschappers en staat toe dat ze zich binden aan hormoonreceptoren; het herkent hun werking niet als schade die gerepareerd moet worden.

Hormoonssystemen gedragen zich niet volgens het klassieke dosis-respons model dat ons denken over biologische reacties op verstoringen informeert. De praktijk van toxicologie en epidemiologie berust op het principe dat in de zestiende

eeuw voor het eerst werd verwoord door Paracelsus, een Zwitserse arts die door sommigen wordt beschouwd als de vader van de toxicologie. Hij merkte op dat dingen die niet giftig zijn in kleine hoeveelheden dodelijk kunnen zijn in grotere doses, vandaar zijn axioma: de dosis maakt het gif. Impliciet in dit axioma is het begrip van de klassieke dosis-respons curve, waarbij de biologische respons op een vreemde stof toeneemt naarmate de dosis groter wordt. Dit is het uitgangspunt bij epidemiologische studies die de toxische effecten van synthetische chemicaliën proberen vast te stellen door fabrieksarbeiders te bestuderen, die zijn blootgesteld aan meer dan gemiddelde verontreinigingsniveaus.

Een dergelijke aanpak kan vruchtbaar zijn voor toxische stoffen die werken als klassieke vergiften of als kankerverwekkende stoffen, hoewel het ook controversieel is of de aanname van lineariteit zelfs voor kankerverwekkende stoffen geldt. In het geval van hormonaal actieve chemische stoffen zal elk onderzoek dat uitgaat van lineariteit wel verwarrende resultaten opleveren, omdat de respons niet noodzakelijkerwijs blijft toenemen als de dosering toeneemt. Zoals beschreven in hoofdstuk 10, kunnen hoge doses in feite minder effect hebben dan lagere doses. Zulke dosis-respons curven zijn niet ongebruikelijk in hormoonssystemen, waar de respons in het begin toeneemt met toenemende doses, maar dan typisch een piek vertoont en afneemt als de doses nog hoger worden.

[228] Degenen die het endocriene systeem bestuderen begrijpen niet helemaal waarom dit gebeurt. De reden zou kunnen liggen in de basismanieren waarop hormonen via re-

ceptoren werken en in de complexiteit van terugkoppellussen die het endocriene systeem als geheel karakteriseren. Zo kan een natuurlijk hormoon of een chemische bedrieger effecten veroorzaken bij lage niveaus, omdat er maar heel weinig receptoren nodig zijn om een reactie teweeg te brengen. In het geval van oestrogeen hoeft het hormoon zich maar aan één procent van de receptoren in een cel te binden om de celdeling te stimuleren. Maar naarmate het niveau van hormonen of hormoonnabootsingen hoger en hoger wordt, reageert het systeem uiteindelijk als op een overbelasting door zich af te sluiten en weinig of geen reactie te vertonen. Bij hoge doses verliezen de cellen zelfs receptoren, zodat de cellen niet meer kunnen reageren totdat de hormoonspiegels weer dalen tot lage niveaus die lang genoeg zijn voor het receptorsysteem om te herstellen.

Zoals EPA toxicoloog Linda Bimbaum heeft opgemerkt, hebben de meeste epidemiologische studies zich gericht op volwassenen, meestal volwassen mannen. Deze vooringegenomenheid is vooral problematisch bij hormoonontregelende chemicaliën. In gezondheidsstudies wordt vaak gezocht naar schadelijke effecten bij werknemers die worden blootgesteld aan hoge concentraties giftige chemicaliën in fabrieken en chemische fabrieken, maar deze hoge concentraties veroorzaken mogelijk minder schade bij volwassenen dan veel lagere concentraties bij personen die in de baarmoeder uit de tweede hand worden blootgesteld. Timing kan, zoals we hebben gezien, belangrijker zijn dan dosis, en men kan meer veelzeggende resultaten vinden door de tweede generatie te bestuderen die in de baarmoeder werd blootgesteld dan door

diegenen te bestuderen die pas als volwassene werden blootgesteld. Een belangrijk onderzoek na het ongeluk in de chemische fabriek in Seveso, Italië, richtte zich voornamelijk op de vraag of de blootstelling aan dioxine op hoog niveau het aantal kankergevallen onder de slachtoffers van het ongeluk heeft verhoogd. Hoewel in één studie werd gekeken naar duidelijke geboorteafwijkingen, werd in dit onderzoek geen rekening gehouden met schade die bij de geboorte onzichtbaar was, zoals vertraagde effecten op het endocriene, immuun- en zenuwstelsel. Nu er bewijs is over de krachtige invloed van dioxine op de unbom, kijken onderzoekers opnieuw naar de Seveso populatie en onderzoeken ze andere mogelijke gevolgen van het ongeluk dat bijna twee decennia geleden plaatsvond.

Het kankerparadigma belemmert ook de erkenning van de effecten van hormoonontregeling omdat het de bedreiging karakteriseert als ziekte. Hormoonverstorende chemicaliën kunnen individuen verzwakken zonder ze ziek te maken. Daarom is het dringend nodig om zowel naar “verminderde functie” te kijken als naar stoornissen die passen bij de klassieke noties van ziekte. Een slecht kortetermijngeheugen of moeite met opletten door blootstelling aan PCB's is bijvoorbeeld iets heel anders dan een hersentumor. [229] De eerste zijn tekorten, geen ziekten, maar ze kunnen niettemin ernstige gevolgen hebben gedurende een heel leven en voor een samenleving. Ze tasten het menselijk potentieel aan en ondermijnen de kwaliteit van het menselijk leven. Ze ondermijnen de manier waarop mensen met elkaar omgaan en bedreigen daardoor de sociale orde van de moderne bescha-

ving.

Blootstelling aan een hormoonverstorende chemische stof voor de geboorte heeft niet slechts één duidelijk effect, en ook op deze manier tarten de resultaten onze gangbare opvattingen over chemisch geïnduceerde ziekten. Afhankelijk van de dosis en de timing kan een vreemde chemische stof de ontwikkeling op verschillende manieren verstoren, wat op verschillende momenten duidelijk wordt. Een jongen die bijvoorbeeld voor zijn geboorte wordt blootgesteld aan chemische stoffen die oestrogeen nabootsen, kan bij zijn geboorte ongegroeide testikels hebben, in zijn puberteit weinig zaadcellen hebben of op middelbare leeftijd zaadbalkanker krijgen als gevolg van deze prenatale hormoonverstoring. Dit zijn effecten die zich manifesteren in vele tinten grijs in plaats van in het zwart-wit onderscheid tussen gezondheid en ziekte.

Om te screenen op chemicaliën die het menselijk potentieel al voor de geboorte kunnen aantasten, zal het nodig zijn om te kijken naar de effecten op de ontwikkeling over drie generaties heen - de individuen die alleen als volwassenen worden blootgesteld en hun kinderen en kleinkinderen die het gif erven. Hoewel dit boek zich voornamelijk richt op bedreigingen voor de middelste generatie - de eerste generatie die in de baarmoeder wordt blootgesteld - kan de hormoonverstoring die deze mensen ervaren mogelijk ook de volgende generatie beïnvloeden. Mensen die prenataal zijn blootgesteld aan hormoonverstorende chemicaliën kunnen als volwassene abnormale hormoonspiegels hebben en ze kunnen ook persistente chemicaliën doorgeven die ze zelf

hebben geërfd - beide factoren die de ontwikkeling van hun eigen kinderen kunnen beïnvloeden. Er zal geïnvesteerd moeten worden in meer multidisciplinaire studies om de effecten van hormoonverstoring beter te kunnen diagnosticeren en begrijpen. Ondanks alarmerende signalen, zoals het rapport over dalende spermatellingen bij mannen, gaat het leeuwendeel van het onderzoeksgeld voor het onderzoeken van de effecten van milieuvervuiling op de menselijke gezondheid nog steeds naar kankeronderzoek. Onderzoekers die hormoonverstorende chemicaliën onderzoeken, vinden het vaak onmogelijk om financiering te krijgen om hun werk voort te zetten, ook al hebben ze al baanbrekende studies geproduceerd die wijzen op grote risico's voor in het wild levende dieren en mensen.

[230] Als we greep willen krijgen op deze bedreiging, moeten we ook overschakelen op een andere manier van oordelen over milieuverontreinigende stoffen. Er is weinig kans dat we een eenvoudig oorzakelijk verband kunnen aantonen tussen één of enkele groepen hormoonverstorende synthetische chemicaliën en problemen zoals de daling van het aantal zaadcellen bij mensen, waarvan we al getuige zijn geweest. Risicobeoordeling in de echte wereld moet reageren op echte problemen in real time.

Om aan deze behoefte te voldoen, zijn sommigen op milieugebied begonnen met het ontwikkelen van een beoordelingsmethode die bekend staat als eco-epidemiologie. Deze methode, die werd ontwikkeld door Glen Fox van de Canadese Wildlife Service en Michael Gilbertson van de International Joint Commission, het adviesorgaan van de regerin-

gen van de Verenigde Staten en Canada over het beleid voor de Grote Meren, verzamelt informatie uit verschillende bronnen, waaronder gegevens over wilde dieren, laboratoriumstudies en onderzoek naar de mechanismen van hormoonwerking of toxiciteit, en velt pragmatische oordelen op basis van al het bewijsmateriaal. In deze benadering beoordeelt men het geheel van de informatie in het licht van epidemiologische criteria voor causaliteit, zoals of de blootstelling voorafgaat aan het effect, of er een consistent verband is tussen een vervuilende stof en schade, en of het verband plausibel is in het licht van het huidige begrip van biologische mechanismen. Maar dit milieudetectiewerk in de echte wereld komt tot een oordeel op basis van “het gewicht van het bewijs” in plaats van op wetenschappelijke bewijsidealen die meer geschikt zijn voor gecontroleerde laboratoriumexperimenten en de praktijk van de wetenschap dan voor het oplossen van problemen en het beschermen van de volksgezondheid in de echte wereld. Zoals sommigen hebben opgemerkt, is het verwant aan het besluitvormingsproces dat een arts gebruikt om een blindedarmontsteking te diagnosticeren, waarbij nalaten ernstige gevolgen heeft. Op dezelfde manier als de opeenstapeling van bewijsmateriaal en de gevolgtrekkingen van gezond verstand leidden tot de conclusie dat roken longkanker veroorzaakt, is het misschien binnenkort mogelijk om te concluderen, zo niet te bewijzen, op basis van het gewicht van het bewijsmateriaal, dat hormoonverstorende chemicaliën in verband worden gebracht met teelbalkanker, dalend aantal zaadcellen en leerstoornissen en aandachtstekort bij kinderen.

Kanker is een dramatische ziekte met verwoestende gevolgen voor de slachtoffers en hun families. Kanker vormt echter geen bedreiging voor het overleven van de dieren- en mensenpopulaties als geheel. [231] Hoewel kanker tragisch is op persoonlijk niveau, kunnen gezonde populaties snel individuen vervangen die aan de ziekte zijn verloren.

Omdat hormoonverstorende chemicaliën op een brede en verraderlijke manier de vruchtbaarheid en ontwikkeling saboteren, kunnen ze het voortbestaan van hele soorten in gevaar brengen - op de lange termijn misschien zelfs van mensen. Dit is misschien moeilijk voor te stellen in een wereld waarin het aantal mensen enorm toeneemt, maar de onderzoeken naar het aantal zaadcellen suggereren dat vervuilende stoffen in het milieu al invloed hebben op de menselijke populatie als geheel, niet alleen op individuen. Door hun aanval op de ontwikkeling hebben deze chemicaliën het vermogen om het menselijk potentieel uit te hollen. In hun aanval op de voortplanting ondermijnen ze niet alleen de gezondheid en het geluk van mensen die lijden aan onvruchtbaarheid, ze vallen ook een fragiel biologisch systeem aan dat gedurende miljarden jaren evolutie het leven in staat heeft gesteld om op wonderbaarlijke wijze opnieuw leven te creëren.

HOOFDSTUK – 12

ONSZELF VERDEDIGEN

De dreiging die in dit boek wordt onderzocht kan overwelgend lijken, vooral voor degenen die er voor het eerst mee te maken krijgen. Gevoelens van angst en hulpeloosheid zijn, in onze ervaring, niet ongewoon. Dit is inderdaad een beangstigend probleem. Niemand mag de ernst ervan onderschatten, ook al is de omvang van deze bedreiging voor de gezondheid en het welzijn van de mens nog onduidelijk. Het zou ook gevaarlijk zijn om in ontkenning te vervallen, wat een sterke verleiding kan zijn bij grote, verraderlijke problemen die mensen een gevoel van hulpeloosheid en hopeloosheid geven.

Maar hoe grimmig en verontrustend de feiten in dit geval ook lijken, feiten zijn niet het lot. Trends zijn geen lot. Drie decennia geleden leidden Rachel Carson's voorspellingen over de effecten van synthetische pesticiden tot grote veranderingen in het gebruik ervan en zo voorkwam ze veel van de apocalyptische “stille lente” die ze voor ogen had. Vandaag de dag geeft de groeiende wetenschappelijke kennis over hormoonverstorende chemicaliën ons vergelijkbare mogelijkheden om de gevaren die in de voorgaande hoofdstukken zijn beschreven af te wenden. Dit zou reden moeten zijn voor hoop in plaats van wanhoop.

Helaas zullen oplossingen voor dit probleem echter niet snel of gemakkelijk zijn. [233] Veel van de bezorgdheid over hormonaal actieve synthetische chemicaliën komt voort uit de hardnekkigheid van veel van deze stoffen in het milieu. Velen worden niet gemakkelijk afgebroken tot goedaardige bestanddelen. Een generatie nadat industriële landen zijn gestopt met de productie van de meest beruchte van deze persistente chemicaliën, blijft hun erfenis voortleven in voedsel en in het lichaam van mensen en dieren. Sommige zullen nog tientallen jaren in het milieu aanwezig zijn en in sommige gevallen zelfs eeuwen. Tegelijkertijd blijven andere hormonaal actieve chemicaliën in productie en komen er onverwachte nieuwe bronnen van blootstelling aan het licht. Het meest verontrustende is dat velen van ons al vervuilingsniveaus hebben die ons en onze kinderen in gevaar kunnen brengen.

Om onszelf tegen dit gevaar te beschermen, moeten we op verschillende fronten actie ondernemen, gericht op het elimineren van nieuwe bronnen van hormoonverstoring en het minimaliseren van de blootstelling aan hormonaal actieve verontreinigende stoffen die al in het milieu aanwezig zijn. Dit vereist wetenschappelijk onderzoek, herontwerp van chemicaliën, productieprocessen en producten door bedrijven, nieuw overheidsbeleid en inspanningen van individuen om zichzelf en hun gezinnen te beschermen. Tragisch genoeg is er geen manier om de schade te herstellen die is toegebracht aan individuen die nu lijden aan beperkingen die het gevolg zijn van chemisch veroorzaakte verstoring tijdens hun vroege ontwikkeling. Zulke schade kan niet onge-

daan worden gemaakt. Maar met ijverig werk van overheden, wetenschappers, bedrijven en individuen kunnen we de bedreiging voor de volgende generatie verminderen. Na verloop van tijd kunnen de schadelijke effecten die nu zichtbaar zijn bij wilde dieren en mensen afnemen en geleidelijk verdwijnen.

Dat is het goede nieuws in dit verontrustende plaatje. Hoewel hormoonverstorende chemicaliën ernstige en blijvende schade kunnen toebrengen aan degenen die er in de baarmoeder aan worden blootgesteld, tasten ze geen genen aan en veroorzaken ze geen mutaties die generaties lang blijven bestaan. Ze hebben de genetische basisblauwdruk die ten grondslag ligt aan onze menselijkheid niet veranderd. Verwijder de verstoorders uit de moeder en de baarmoeder en de chemische boodschappen die de ontwikkeling sturen kunnen weer ongehinderd aankomen.

Tot nu toe gingen vrouwen er meestal van uit dat ze de gezondheid van hun kinderen konden helpen verzekeren door tijdens de zwangerschap waakzaam te zijn over wat ze eten en drinken en over blootstelling aan röntgenstralen, pesticiden en andere giftige chemicaliën. Zulke voorzichtigheid op korte termijn zal het ongeboren kind zeker beschermen tegen vele soorten blijvende schade, waaronder de verwoestende neurologische effecten van alcohol. [234] Maar om de volgende generatie te beschermen tegen hormoonverstoring is een veel langere waakzaamheid nodig - jaren en decennia - omdat de dosis die de baarmoeder bereikt niet alleen afhangt van wat de moeder tijdens de zwangerschap binnenkrijgt, maar ook van de hardnekkige verontreinigende stof-

fen die zich tot op dat moment in haar leven in het lichaamsvet hebben opgehoopt. Zoals eerder besproken, dragen vrouwen deze decennialang opgebouwde chemische voorraad over aan hun kinderen tijdens de zwangerschap en tijdens het geven van borstvoeding.

Het is dus van cruciaal belang dat we als individuen en als samenleving keuzes maken die deze chemische erfenis die van de ene generatie op de volgende wordt doorgegeven, verminderen. In het belang van de komende generatie en de generaties die volgen, moeten we de blootstelling van kinderen tijdens het opgroeien beperken en de toxische belasting die vrouwen tijdens hun leven vóór de zwangerschap oplopen, zo laag mogelijk houden. Kinderen hebben het recht om vrij van chemische stoffen geboren te worden.

Onze dagelijkse keuzes als consumenten zullen een dramatisch effect hebben op deze blootstelling en mogelijk een effect dat generaties overspoelt. Het voedsel dat we zelf eten kan helpen om onze kinderen te beschermen. De manier waarop we onze dochters opvoeden en voeden kan onze kleinkinderen helpen beschermen.

Er zijn weliswaar veel onbekenden en onzekerheden, maar totdat er definitieve antwoorden zijn, kunnen een paar eenvoudige richtlijnen onnodige risico's helpen voorkomen.

Ken uw water

Je hebt het recht om te weten wat er in je water zit. Houd rekening met de integriteit van je watervoorziening en laat je

niet verleiden tot valse veronderstellingen over de veiligheid ervan. Als je bronwater drinkt, maak je dan zorgen over grondwaterverontreiniging, vooral als je in het Midwesten of andere landbouwgebieden woont. Het risico voor drinkwatervoorraden kan het grootst zijn tijdens en onmiddellijk na de piekseizoenen voor de toepassing van pesticiden.

Als je water uit een gemeenschappelijke bron komt, informeer dan naar het testprogramma van je waterschap en wat er is gevonden. Dring er bij hen op aan om minstens maandelijks te testen en de resultaten openbaar te maken. Ze hebben een fundamentele verantwoordelijkheid om je te vertellen wat er in je water zit en je in staat te stellen zelf te beslissen welke risico's je neemt. [235] Vertel je waterambtenaren dat je geïnteresseerd bent of ze getest hebben op hormoonverstorende chemicaliën, vooral de herbiciden atrazine en dacthal. Deze chemicaliën zijn vaak verklikkers. Als één van deze stoffen wordt aangetroffen, zijn er waarschijnlijk ook andere pesticiden aanwezig en is wekelijks testen tijdens het groeiseizoen gerechtvaardigd, wanneer boeren pesticiden op hun velden toepassen.

Je eigen water testen is duur en er zijn maar weinig laboratoria die de consumentenmarkt bedienen die een grondige beoordeling van hormoonverstorende chemicaliën kunnen maken. Maar een nieuwe generatie testen die nu ontwikkeld wordt, kan binnenkort de praktische opties voor individuele huiseigenaren veranderen. Tot die tijd moeten consumenten ervoor zorgen dat hun waterbedrijf voldoende tests uitvoert om de veiligheid van het drinkwater te controleren. Hoewel veel hormoonverstorende chemicaliën chloorverbindingen

bevatten, is het onwaarschijnlijk dat de behandeling van drinkwater met chloor bijdraagt aan de gevaren van hormoonverstoring.

Reken niet op filters die voornamelijk ontworpen zijn om bacteriën, micro-organismen en onaangename smaken en geuren te verwijderen. Ze verwijderen mogelijk niet de hormonaal actieve synthetische chemicaliën.

Ga er niet van uit dat gebotteld bronwater goed is gereguleerd of niet verontreinigd is, vooral niet als het in plastic is gebotteld.

Mensen die in gebieden wonen met een twijfelachtige watervoorziening willen misschien hun drinkwater destilleren om de kwaliteit van hun openbare watervoorziening te verbeteren. Er zijn distilleerapparaten voor thuisgebruik verkrijgbaar. Maar distillatie is slechts een radicale stap op korte termijn. Het is volstrekt onpraktisch als een wijdverspreide oplossing voor waterverontreiniging.

Kies je voedsel op een intelligente manier

Schone vis is een van de meest gezonde bronnen van dierlijke eiwitten. Maar zoals we hebben gezien, kan vis ook een bron van vervuiling zijn. Daarom moeten consumenten alle waarschuwingen over visverontreiniging nauwgezet opvolgen. Omdat ze zich zorgen maken over het verlies van inkomsten uit vergunningen en toeristen, zijn overheidsfunctionarissen zelden haastig met het opleggen van waarschuwingen over verontreiniging in vis en zelden of nooit doen

ze dat zonder een zeer goede reden. In de Verenigde Staten zijn vis- en wildafdelingen van staten meestal de instanties die dergelijke visadviezen uitgeven in samenwerking met gezondheidsfunctionarissen. [236] Deze publieke berichten adviseren meestal dat zwangere vrouwen het eten van vis uit bepaalde gebieden moeten vermijden en dat anderen hun inname moeten beperken tot een aanbevolen aantal vismaaltijden per maand.

Deze waarschuwingen zijn vaak niet voorzichtig genoeg. Kinderen en vrouwen die de vruchtbare leeftijd nog niet voorbij zijn, moeten vis vermijden die vervuild is met persistente hormoonverstorende chemicaliën zoals dioxine, PCB's en DDE. En het is waarschijnlijk verstandig voor alle anderen om ze ook te mijden. Elke visser die in de verleiding komt om de hormonen te negeren, zou zich de eerder genoemde onderzoeken moeten herinneren voordat hij zijn vangst naar de eettafel van zijn gezin brengt. Menselijke studies uitgevoerd door de Jacobsons hebben aangetoond dat kinderen van moeders die besmette vis uit de Grote Meren aten bij de geboorte een vertraagde neurologische ontwikkeling doormaakten en een kleinere hoofdomtrek hadden. Helen Daly ontdekte dat de nakomelingen van vrouwelijke ratten die Lake Ontario zalm te eten kregen minder goed tegen stress konden en parallelle onderzoeken bij mensen door haar collega's toonden bewijs van verminderde stresstolerantie bij kinderen van vrouwen die Lake Ontario vis aten.

Vermijd dierlijk vet zoveel mogelijk. Zoals de reis van de PCB molecule in hoofdstuk 6 liet zien, reizen veel van deze

chemicaliën door het voedselweb in vet en worden ze geconcentreerder naarmate ze zich omhoog verplaatsen naar de toppredatoren zoals ijsberen en mensen. In een rapport uit 1994 ontdekte het Amerikaanse Environmental Protection Agency dat vlees en kaas tegenwoordig een belangrijke bron van dioxineblootstelling in de Verenigde Staten zijn. Door minder dierlijk vet te eten, zoals boter, kaas, lamsvlees, rundvlees en ander vlees, verminder je de blootstelling aan hormoonverstorende chemicaliën aanzienlijk. Nogmaals, het is vooral belangrijk dat vrouwen de consumptie van dierlijke vetten minimaliseren vanaf hun geboorte tot het einde van hun vruchtbare jaren. Zij dragen de volgende generatie en de verantwoordelijkheid om hun kinderen te beschermen tegen besmetting. Bovendien heeft een gezinsdieet dat rijk is aan groenten, granen en fruit een voordeel voor meerdere generaties, want het vermindert het risico op hartaandoeningen en kanker voor volwassenen en kan je kinderen en kleinkinderen helpen beschermen tegen prenatale hormoonverstoring.

Koop of kweek je eigen biologisch geteelde groenten en fruit. Als ze niet verkrijgbaar zijn in je supermarkt of te duur zijn, kijk dan of je kruidenier producten aanbiedt die getest zijn en “geen detecteerbare residuen” bevatten. Vraag je kruidenier of hij zijn voedsel screent op verontreinigingen of dat hij inkoopt bij leveranciers die dat doen. [237] Je hebt het recht om te weten wat er in het voedsel zit dat je koopt. Moedig je kruideniers aan om biologische producten op voorraad te hebben en te promoten. Geef ze een exemplaar van dit boek. Het steunen van biologische landbouw kan

helpen om de watervoorraden te beschermen en de blootstelling van je gezin aan residuen van pesticiden te verminderen.

Beperk het contact tussen plastic en voedsel tot een minimum en vermijd het verwarmen of in de magnetron verhitten van voedsel in plastic bakjes of met plasticfolie. Gebruik glas of porselein voor het koken in de magnetron. Het is heel goed mogelijk dat sommige kunststoffen onschadelijk blijken te zijn. Maar met de ontdekking dat hormoonverstorende chemicaliën uit sommige plastics lekken, is voorzichtigheid geboden, tenminste totdat het onderzoek is afgerond of totdat de verkopers van plastic producten kunnen garanderen dat hun producten geen chemicaliën afgeven aan voedsel en dranken.

Onderzoekers beginnen nu pas de talloze voordelen van borstvoeding te waarderen. Borstvoeding helpt niet alleen bij de hechting tussen moeder en kind, maar biedt baby's ook een belangrijke bescherming van het immuunsysteem en een heleboel stoffen die de ontwikkeling bevorderen. Tegelijkertijd worden zuigelingen door het geven van borstvoeding blootgesteld aan verontrustende hoeveelheden chemische stoffen, waaronder een aantal bekende hormoonverstorende stoffen. Volgens verschillende onderzoeken naar de vervuiling van moedermelk krijgen baby's die borstvoeding geven de hoogste doses vervuilende stoffen binnen die ze in hun hele leven zullen ervaren - tien tot veertig keer meer dan de dagelijkse blootstelling van een volwassene. Het is inderdaad tragisch dat borstvoeding de enige efficiënte manier is om deze hardnekkige chemische stoffen uit het men-

selijk lichaam te verwijderen.

We weten te weinig om te kunnen beoordelen hoe de onbetwistbare voordelen van borstvoeding opwegen tegen de risico's van de overdracht van hormonaal actieve vervuilende stoffen. Hoewel we ons grote zorgen maken, is het voorbarig om vrouwen te adviseren geen borstvoeding te geven. Bovendien suggereren sommige onderzoeken dat de overdracht van verontreinigingen in de baarmoeder voor de geboorte een veel grotere impact kan hebben dan de overdracht tijdens het zogen. Tegen de tijd dat er borstvoeding wordt gegeven, kan een groot deel van de mogelijke gevolgen al hebben plaatsgevonden. Er is dringend behoefte aan onderzoek om te bepalen of de concentraties hormoonverstorende chemicaliën in moedermelk voldoende gevaarlijk zijn om borstvoeding af te raden voor sommige vrouwen, bijvoorbeeld vrouwen die op latere leeftijd hun eerste kind krijgen. [238] Deze oudere vrouwen zullen over het algemeen een veel hogere belasting hebben van persistente chemische stoffen dan moeders die voor het eerst borstvoeding geven en twintig zijn. Hoewel koemelk een aantal van de specifieke voordelen van menselijke melk mist, bevat het slechts een vijfde van de concentratie aan persistente verontreinigende stoffen omdat koeien korter levende dieren zijn, vegetariërs, en voortdurend verontreinigende stoffen uit hun lichaam verwijderen terwijl ze dagelijks worden gemolken. We kunnen het ons niet veroorloven om de dringende kwestie van persistente verontreinigende stoffen te negeren wanneer we de voordelen van borstvoeding afwegen tegen alternatieven zoals flesvoeding met een formule op basis van

koemelk.

Vermijd onnodig gebruik en blootstelling

Was je handen regelmatig. Studies tonen aan dat veel synthetische chemicaliën verdampen en zich vervolgens vastzetten op oppervlakken binnenshuis - werkbladen, tafels, meubels, kleding - waar ze gemakkelijk kunnen worden opgepikt door degenen die ze aanraken. Het is zelfs zo dat deskundigen op het gebied van binnenlucht tegenwoordig monsters nemen van verontreinigende stoffen in gebouwen door oppervlakken af te vegen met speciale apparatuur. De gewoonte ontwikkelen om de handen te wassen, vooral in het geval van kinderen die vaak op de vloer zitten of spelen, is een eenvoudige, effectieve manier om blootstelling te verminderen.

Ga er nooit van uit dat een pesticide veilig is. Alles wat ontworpen is om levende organismen te verstoren - plant of dier - kan ook op onverwachte manieren schadelijk zijn voor mensen of andere dieren. Denk aan de ontdekking van EPA-onderzoeker Earl Gray dat producten die zijn ontwikkeld om schimmels op fruit en groenten te doden, de synthese van steroïde hormonen bij dieren en waarschijnlijk ook bij mensen kunnen verstoren. Het toevallige gebruik van pesticiden rond huizen en tuinen voor frivole, cosmetische doeleinden is riskant en onverantwoord. In de Verenigde Staten worden in de buitenwijken per acre grotere hoeveelheden pesticiden gebruikt dan op landbouwgrond, grotendeels ter ondersteuning van de nationale obsessie met groe-

ne, onkruidvrije gazons. Studies hebben hogere percentages kanker gevonden bij kinderen en honden die in huishoudens wonen waar pesticiden in huis en tuin worden gebruikt. In de epidemiologische studies die tot nu toe zijn gedaan, is niet gekeken naar het soort functionele en ontwikkelingsproblemen die in dit boek worden beschreven.

Maak je eigen gazon pesticide-vrij en moedig je burens aan dit ook te doen. Als zij pesticiden blijven gebruiken, sta er dan op dat ze hun gazons beplakken op het moment van de behandeling. Houd kinderen en huisdieren uit de buurt. **[239]** Organiseer binnen je buurt strenge normen voor de chemische behandeling van gazons. Gazononderhoudsdiensten proberen soms ongemakkelijke klanten gerust te stellen door hen te vertellen dat de gebruikte pesticiden “EPA goedgekeurd” zijn. Het Environmental Protection Agency heeft de meeste pesticiden die nu op de markt zijn nooit gescreend op hormoonverstorende activiteit en de registratie van het U.S. Environmental Protection Agency is geen maatstaf voor veiligheid. In feite registreren chemische bedrijven zich juist bij de EPA omdat een product mogelijk schadelijk is. Etikettering vermindert de wettelijke aansprakelijkheid van de fabrikant in rechtszaken die worden aangespannen door mensen die schade hebben geleden door het gebruik van de pesticide. Stop indien nodig met het kweken van planten of struiken die dergelijke chemische ondersteuning nodig hebben om er toonbaar uit te zien en vervang ze door insecten- en ziekteresistente alternatieven. Pesticiden mogen alleen in echte noodgevallen worden gebruikt.

Wees niet blind voor de risico's die gepaard gaan met onge-

diertebestrijding in huis, of je het nu zelf doet of een professionele verdelger inhuurt. Het volgen van het etiket zal de risico's voor jou en je kinderen niet wegnemen, maar wel verminderen. Gebruik alleen pesticiden in huis als het absoluut noodzakelijk is en als je dat doet, volg dan nauwkeurig de instructies op het etiket. Het is ook belangrijk om in gedachten te houden dat de meeste pesticiden mengsels zijn van actieve en “inerte” ingrediënten en dat sommige verbindingen die als “inert” worden gebruikt, zoals de nonylfenolen en bisfenol-A, erkende hormoonontregelaars zijn. De wet op de etikettering van pesticiden verplicht fabrikanten helaas niet om inerte ingrediënten te vermelden en wettelijke bepalingen over “handelsgeheimen” stellen hen in staat om informatieverstrekking aan consumenten te vermijden. Je kunt dus niet op het etiket van een product zien of een pesticide een hormoonverstoring ingrediënt bevat.

Doe je best om vlooiën op huisdieren te bestrijden zonder insecticiden. Dit is veiliger voor je huisdier en je gezin. Bovendien zijn veel vlooiënbestrijdingsmiddelen steeds minder effectief geworden omdat veelvuldig gebruik de ontwikkeling van pesticideresistente supervlooiën heeft versneld. Regelmatige verzorging, het gebruik van een vlooiënkam en regelmatige baden met een niet-insectendodende shampoo kunnen helpen om vlooiën van je hond of kat te houden. Je kunt voorkomen dat vlooiën voet aan de grond krijgen in huis door regelmatig en grondig te stofzuigen, vooral rond kieren en plinten, en door het beddengoed van je huisdier vaak te wassen. Sommigen raden aan om diatomeeënaarde, een natuurlijk inert product dat je in tuinwinkels kunt vin-

den, op de favoriete plekken van je huisdier te strooien om vlooiën te ontmoedigen.

[240] Zoek uit hoe je plaatselijke winkeliers hun winkels of faciliteiten behandelen tegen ongedierte. Het is aan het licht gekomen dat sommige supermarkten in de Verenigde Staten hun producten besproeien met pesticiden. Weinig staten geven effectieve richtlijnen voor het gebruik van pesticiden in winkels of hotelkamers. Pesticidevrije hotelkamers zouden een normale optie moeten zijn voor gezondheidsbewuste consumenten, net zoals rookvrije kamers dat nu zijn. Hierom vragen laat zien dat er vraag naar is bij de consument.

Wees je ervan bewust dat golfbanen een groot blootstellingspotentieel hebben. Volgens een voorzichtige schatting, gebaseerd op een rapport over het gebruik van pesticiden op golfbanen op Long Island, gebruiken beheerders van golfbanen minstens vier keer zoveel pesticide per acre als boeren gebruiken voor voedselgewassen. Zeven van de tweeënvijftig pesticiden die op de onderzochte golfbanen op Long Island worden gebruikt, verstoren het endocriene systeem en de hormonen. Andere pesticiden die daar worden gebruikt zijn geclassificeerd als waarschijnlijk of mogelijk kanker-verwekkend. Zoek uit welke pesticiden je plaatselijke golfbaan gebruikt en wanneer, zodat je op andere tijden kunt spelen. Houd je handen uit de buurt van je mond tijdens het golfen, kauw niet op tees en was je handen na het verlaten van de baan. Vis niet op golfbanen of stroomafwaarts van golfbanen.

Geef baby's ongeverfd, ongelakt speelgoed van hout of natuurlijke vezels. Als je jonge kinderen plastic speelgoed

moeten hebben, zorg er dan voor dat ze er niet op kauwen.

Bescherming verbeteren

Hoewel individuen veel kunnen doen om zichzelf te beschermen, moeten deze inspanningen gepaard gaan met brede overheidsactie om synthetische chemicaliën die hormonen verstoren te elimineren.

Het valt buiten het bestek van dit boek om een gedetailleerde kritiek te geven van de wetten en regels die relevant zijn voor dit probleem. Toch is het mogelijk om een aantal basisprincipes te identificeren die als informatie kunnen dienen voor toekomstige inspanningen om de wetten die mensen en ecosystemen beschermen te verbeteren.

Naar het voorbeeld van het Montreal Protocol uit 1987, een internationaal verdrag dat de geleidelijke eliminatie van chloorfluorkoolwaterstoffen en andere ozonafbrekende chemicaliën verplicht stelt, zouden de Verenigde Staten en andere landen snel moeten overgaan tot de implementatie van uitgebreide internationale verdragen om het gebruik en de ecologische verspreiding van biologisch actieve persistente verbindingen zoals PCB's, DDT en lindaan een halt toe te roepen. [241] Hoewel het onderhandelen over dergelijke internationale milieuverdragen een uitdaging is, heeft ervaring uit het verleden aangetoond dat regeringen kunnen samenkomen en handelen in het aangezicht van een echte bedreiging voor het welzijn van de mens. Deze protocollen over persistente hormoonverstorende chemicaliën moeten de productie en het gebruik van deze stoffen wereldwijd uitfasen

en institutionele en financiële steun bieden voor het indammen, terugvinden en opruimen ervan.

Als eerste stap zouden deze protocollen de voorafgaande geïnformeerde toestemming moeten vereisen van landen die chemicaliën importeren die persistente verontreinigende stoffen worden. Het exporterende bedrijf of agentschap zou verplicht moeten zijn om een internationaal controleorgaan op de hoogte te stellen van elke handel en om het importerende land te informeren over de aard van de verbindingen en het bijbehorende risico.

Tegelijkertijd zouden individuele landen moeten overgaan tot een herziening van de nationale wetten met betrekking tot milieugezondheidsnormen om ervoor te zorgen dat ze bescherming bieden tegen chemische stoffen die hormonen verstoren. Dergelijke herzieningen zouden de volgende belangrijke punten moeten omvatten:

- *Verleg de bewijslast naar de fabrikanten van chemische stoffen.* Chemische stoffen worden nog steeds gereguleerd op basis van zeer ontoereikende en onvolledige informatie. Het huidige systeem gaat er in verontrustende mate van uit dat chemische stoffen onschuldig zijn totdat het tegendeel is bewezen. Dit is verkeerd. De bewijslast zou omgekeerd moeten werken, want de huidige aanpak, een vermoeden van onschuld, heeft keer op keer mensen ziek gemaakt en ecosystemen beschadigd. Wij zijn ervan overtuigd dat nieuw bewijs over hormonaal actieve chemische stoffen gebruikt moet worden om de stoffen te identificeren die het grootste risico vormen en om ze van de markt te halen en uit ons voedsel en water te houden totdat studies kunnen aantonen dat hun impact onbeduidend is.

Elke nieuwe verbinding zou aan deze test onderworpen moeten worden voordat ze in de handel komt. Het instrument van risicobeoordeling wordt nu gebruikt om twijfelachtige stoffen op de markt te houden totdat hun schuld bewezen is. Het zou gherdefinieerd moeten worden als een middel om ongeteste chemische stoffen van de markt te houden en de meest zorgwekkende stoffen op een ordelijke, tijdige manier te elimineren. [242]

- *Leg de nadruk op preventie van blootstelling.* Veel hormoonverstorende chemicaliën veranderen de normale ontwikkelingsprocessen en veroorzaken permanente gevolgen die niet ongedaan gemaakt of zelfs verzacht kunnen worden door latere behandeling. Omdat deze effecten meestal onomkeerbaar zijn, is behandeling achteraf een onbevredigende oplossing. Het doel moet zijn om blootstelling aan zulke chemicaliën te voorkomen door het gebruik en het vrijkomen van gevaarlijke stoffen uit te bannen.
- Normen opstellen die de meest kwetsbaren beschermen, namelijk kinderen en ongeborenen. De huidige normen zijn ontwikkeld op basis van het risico op kanker en ernstige geboortefwijkingen en berekenen deze risico's voor een volwassen man van 150 pond. Ze houden geen rekening met de speciale kwetsbaarheid van kinderen voor de geboorte en vroeg in het leven.
- *Houd rekening met de interacties tussen stoffen, niet alleen met de effecten van elke chemische stof afzonderlijk.* Overheidsvoorschriften en toxiciteitstestmethoden beoordelen momenteel elke chemische stof afzonderlijk. In de echte wereld komen we complexe mengsels van chemische stoffen tegen. Er is er nooit maar één op zichzelf.

Wetenschappelijke studies maken duidelijk dat chemische stoffen op elkaar kunnen inwerken of samen kunnen werken om een effect te veroorzaken dat geen van hen afzonderlijk zou kunnen veroorzaken. De huidige wetgeving negeert deze additieve of interactieve effecten. Reguleren alsof chemische stoffen alleen individueel werken is net zo onrealistisch als aannemen dat een slagman in een honkbalwedstrijd alleen een punt kan scoren voor zijn team als hij een homerun slaat. In het echte leven en bij honkbal kunnen de honken al vol zijn en zou een honkslag al genoeg kunnen zijn.

- *Houd rekening met cumulatieve blootstelling via lucht, water, voedsel en andere bronnen.* De huidige wettelijke structuur, met een aantal wetten voor bestrijdingsmiddelen, voedselveiligheid, waterveiligheid en luchtverontreiniging, moedigt regelgevers aan om zich te richten op één blootstellingsroute tegelijk, zoals de verontreinigingsniveaus in drinkwater of de residuen van pesticiden op voedsel. Bij een dergelijke aanpak wordt vaak geen rekening gehouden met hoe de blootstelling uit alle verschillende bronnen - lucht, water, voedsel, stof, enz. Hoewel de blootstelling van één bron acceptabel kan zijn, kan het totaal van alle bronnen onveilig zijn. Daarom moeten verontreinigingsniveaus van elke afzonderlijke bron worden beoordeeld in de context van de totale cumulatieve blootstelling.[243]
- *De wetten op bedrijfsgeheimen aanpassen zodat mensen zichzelf kunnen beschermen tegen ongewenste blootstelling, zonder dat dit ten koste gaat van de vertrouwelijkheid.* Wetten op bedrijfsgeheimen zijn opgesteld om te voorkomen dat concurrenten van bedrijven een oneerlijk

economisch voordeel krijgen door de methodes van een bedrijf over te nemen zonder de kosten van productonderzoek en -ontwikkeling te hebben gedragen. In de praktijk worden deze wetten routinematig gebruikt door fabrikanten om het publiek de toegang tot informatie over de samenstelling van hun producten te ontzeggen. Aangezien een bekwame chemicus kan ontdekken wat een product bevat, zijn we sceptisch dat de wetten op bedrijfsgeheimen zulke informatie afschermen voor concurrenten van bedrijven die vastbesloten zijn om erachter te komen. Je moet je afvragen wie er in het duister wordt gehouden door bepalingen over bedrijfsgeheimen, behalve consumenten, die het geld niet hebben om chemische analyses uit te voeren. Totdat fabrikanten eerlijke en volledige etiketten op hun producten zetten, zullen consumenten niet de informatie hebben die ze nodig hebben om zichzelf en hun gezinnen te beschermen tegen hormonaal actieve stoffen.

- *Eis van bedrijven die producten verkopen, vooral voedingsmiddelen maar ook consumptiegoederen en andere potentiële bronnen van blootstelling, dat ze hun producten controleren op verontreiniging.* Dit zou al in de supermarkt moeten beginnen. Kruideniers zouden je moeten kunnen vertellen, wanneer je dat wilt, of je voedsel vrij is van verontreinigingen. Het huidige testsysteem, geïmplementeerd door de Food and Drug Administration, is gewoonweg ontoereikend. Het heeft niet het geld of de mankracht om het werk op een verantwoorde manier uit te voeren. De last van het testen moet worden verlegd naar de fabrikant en distributeur, waarbij de FDA moet toezien op naleving.

- *Verbreed het concept van de Toxic Release Inventory.* Deze wet, aangenomen in 1986, vereist nu van bedrijven in de Verenigde Staten dat ze de hoeveelheid giftige vervuilende stoffen bekendmaken die tijdens normale werkzaamheden uit hun fabrieken in het milieu terechtkomen. Zoals de gevaren die in dit boek worden onderzocht duidelijk maken, komen veel hormoonverstorende chemicaliën in het milieu terecht doordat ze “opzettelijk” vrijkomen in pesticiden voor de landbouw, in wasmiddelen en in plastic. De rapportage in het kader van de Toxic Release Inventory zou deze doelbewuste uitstoot via producten moeten omvatten, evenals onbedoelde uitstoot tijdens de fabricage. [244] Bedrijven zouden daarom verplicht moeten worden om de hoeveelheid bekende hormoonverstorende stoffen te rapporteren die verwerkt zijn in producten die verkocht of overgedragen worden vanuit elke fabriek.
- *Informeren en volledige openbaarmaking eisen wanneer pesticiden worden gebruikt in omgevingen waar het publiek ermee in aanraking kan komen.* Hieronder vallen meergezinswoningen, gazons, gebedshuizen, motels en hotels, plaatsen waar voedsel wordt opgeslagen, verkocht of bereid en kinderdagverblijven, scholen, hogescholen en andere onderwijsinstellingen.
- *Hervorm systemen voor gezondheidsgegevens zodat ze de informatie verschaffen die nodig is voor een gezond en beschermend beleid.* Een gebrek aan cruciale gegevens op nationaal en internationaal niveau verlamt ons vermogen om tijdig intelligente beslissingen te nemen. Onze onwetendheid over trends op veel gebieden van de menselijke gezondheid is werkelijk ontstellend. We moeten ons gezamenlijk inspannen om betere gegevens te verzamelen over

geboorteafwijkingen en symptomen van verminderd functioneren, met speciale aandacht voor reproductieve en neurologische aandoeningen. Dit kan gedaan worden op een manier die de vertrouwelijkheid van patiënten beschermt en tegelijkertijd tegemoet komt aan de behoefte van de onderzoeksgemeenschap aan betere, uitgebreidere gegevens. Totdat dit soort wetenschappelijke gegevens beschikbaar zijn, zal het onmogelijk zijn om te bepalen of er belangrijke veranderingen plaatsvinden en om adequaat te reageren op nieuwe gevaren.

Richtingen voor onderzoek

Veranderingen in wet- en regelgeving moeten hand in hand gaan met doorlopend wetenschappelijk onderzoek om meer te weten te komen over de invloed van hormoonverstorende chemicaliën, hoe ze schade aanrichten en hoe schade voorkomen kan worden. Het onderzoek moet gedreven worden door de noodzaak om een klein aantal cruciale vragen te beantwoorden:

- Hoeveel worden we blootgesteld?
- Hoe reageert het menselijk lichaam werkelijk op deze chemicaliën?
- Wat is de impact op ecosystemen?
- Wanneer en hoe moet de overheid optreden?

FORENSISCH ONDERZOEK

[245] Er is een uitgebreid onderzoeksprogramma nodig om de effecten van hormonaal actieve synthetische chemicaliën op de gezondheid en het welzijn van de mens vast te stellen. Zien we inderdaad meer genitale afwijkingen, toegenomen onvruchtbaarheid en meer kinderen met leerproblemen zoals hyperactiviteit en aandachtstekort, zoals rapporten suggereren? Het onderzoeken van dergelijke vragen vereist een verfijnde integratie van epidemiologie van menselijke populaties, dierstudies en laboratoriumonderzoek naar de werking van deze chemicaliën op cellulair en moleculair niveau.

Epidemiologische studies, die nooit gemakkelijk zijn, zullen in dit geval bijzonder moeilijk zijn. Ten eerste worden onderzoekers geconfronteerd met het gebrek aan een niet-verontreinigde populatie om mee te vergelijken. Geen enkele jongere die vandaag leeft is geboren zonder enige blootstelling in utero aan synthetische chemicaliën die de ontwikkeling kunnen verstoren. Er zijn alleen de minder blootgestelden en de meer blootgestelden. Daarnaast is er nog het probleem van de lange tijd die verstrijkt tussen de blootstelling aan deze chemicaliën en het optreden van schadelijke effecten. Als problemen zich pas jaren of decennia na de geboorte openbaren, zal het in het beste geval moeilijk zijn om blootstellingspatronen te reconstrueren. Epidemiologen zullen tot de conclusie komen dat de beste mogelijkheden om de effecten op de menselijke gezondheid te achterhalen in ontwikkelingslanden liggen, waar de blootstelling aan pesticiden in de landbouw over het algemeen veel groter is dan in de Verenigde Staten. Anekdotische rapporten uit sommige

van deze landen suggereren dat hormoonverstorende chemicaliën mogelijk alomtegenwoordige, transgeneratiele schade veroorzaken, maar het gebrek aan basisgezondheidsgegevens maakt het op dit moment onmogelijk om deze rapporten te documenteren.

Een systematische beoordeling van plastic en de mogelijke verontreiniging ervan van voedsel zou een hoge prioriteit moeten hebben. In de afgelopen dertig jaar is plastic een centrale plaats gaan innemen in ons voedselsysteem, waardoor vrijwel al ons voedsel - van bronwater tot pindakaas - op de een of andere manier verpakt is in plastic. In welke mate en onder welke omstandigheden komen biologisch actieve verbindingen uit plastic in voedsel en dranken terecht? Is deze verontreiniging voldoende om een gevaar voor de gezondheid te vormen? Zijn er veilige, inerte vormen van plastic die geen synthetische chemicaliën uitlogen wanneer voedsel erin wordt verpakt of bewaard?

[245] Recente studies hebben veelgebruikte synthetische verbindingen zoals ftalaten, een ingrediënt in plastic, en alkylfenol polyethoxylaten, die voorkomen in plastic, wasmiddelen en veel andere producten, in verband gebracht met hormoonverstoring. We moeten beter begrijpen wat er met dergelijke verbindingen in het milieu gebeurt. Hoe breken ze af en wat zijn de mogelijke gevolgen voor ecosystemen van de oorspronkelijke verbinding of van de chemische stoffen die ontstaan als ze worden afgebroken door licht, bacteriën en andere natuurlijke processen?

Er moeten serieuze en gedetailleerde onderzoeken worden gedaan naar de rol van hormoonverstorende stoffen in ver-

schillende verontrustende ecologische trends, vooral de dramatische afname en het verlies van kikkerpopulaties over de hele wereld, de reeks epidemieën die zeezoogdieren hebben getroffen en andere opmerkelijke biologische verstoringen. Sommige klassieke ongelukken met wilde dieren zouden opnieuw bekeken moeten worden om te zien of hormoonverstorende stoffen hebben bijgedragen aan de achteruitgang of misschien het herstel belemmeren. De dramatische afname van negentig procent van de watervogelpopulatie in Florida's Everglades viel samen met een diepgaande verstoring van de natuurlijke waterstroom, maar ook met het toenemend gebruik van landbouwchemicaliën in Zuid-Florida. De watervogels langs de belangrijkste Amerikaanse vliegroutes, die al decennia lang achteruitgaan, brengen hun winters door in habitats zoals landbouwgrond en wetlands die vervuild zijn met pesticiden.

ONDERZOEK NAAR BIOLOGISCHE MECHANISMEN EN BLOOTSTELLING

We moeten beter begrijpen hoe het ongestoorde fysiologische systeem bij mensen werkt, inclusief de normale hormoonspiegels en hoe zelfs natuurlijke variaties bijdragen aan verschillen tussen individuen. Er is dringend behoefte aan meer informatie over de blootstelling van mensen aan synthetische hormoonverstoorders. Hoe vertaalt de blootstelling van de moeder zich in wat de foetus bereikt en wat betekent deze prenatale blootstelling voor de ontwikkeling van dat individu?

ONDERZOEK VOOR REGULERING EN PREVENTIE

Er moet een onderzoeksprogramma komen om normen op te stellen die de gezondheid van mens en milieu beschermen tegen hormoonverstorende chemicaliën. Zijn er toelaatbare blootstellingen? Verschillen ze van samenstelling tot samenstelling?

[247] Elke poging om synthetische chemicaliën die hormonen verstoren te reguleren zal afhangen van het verbeteren van ons vermogen om hormonaal actieve verbindingen te detecteren. Welke soorten screeningmethoden maken een snelle, efficiënte en kosteneffectieve identificatie van dergelijke chemische stoffen mogelijk? Hoe snel kunnen onderzoekers deze ontwikkelen voor breed gebruik?

Het lichaam reageert niet op bedriegers van hormonen zoals het op gewone vergiften reageert, zoals we in hoofdstuk 11 hebben opgemerkt. Een hoge dosis heeft in sommige gevallen minder effect dan een lage dosis - een fenomeen dat wetenschappers een niet-monotone respons noemen. Is dit een algemeen verschijnsel bij hormoonsystemen? Als dat zo is, dan zal deze bevinding ingrijpende gevolgen hebben voor toxicologische testen en regelgeving. Vertegenwoordigers van de industrie klagen vaak dat testen met hoge doses de risico's bij lage niveaus overschatten, maar zulke testen zouden juist schadelijke effecten volledig kunnen missen.

Het belang van blootstelling van zuigelingen aan hormoonverstorende chemicaliën via de moedermelk zou een topprioriteit voor onderzoek moeten zijn. Moeders die borstvoe-

ding geven, dragen aanzienlijke hoeveelheden chemische verontreinigende stoffen over aan hun baby's, maar hoeveel maakt dit uit? Kinderen van moeders met besmette moedermelk zijn al blootgesteld in de baarmoeder. Zal de extra blootstelling via de moedermelk het risico dat ze lopen sterk verhogen? Zijn er borstvoedingsschema's die de overdracht van verontreinigende stoffen van moeder op baby kunnen verminderen terwijl de voordelen behouden blijven?

Productie en gebruik van chemicaliën herontwerpen

Hormoonverstorende synthetische chemicaliën zijn vandaag de dag niet meer weg te denken uit ons leven. Ze zitten in ons voedsel en water. Ze bereiken ons via de lucht en via consumptiegoederen die we in huis halen. Ze hebben zich over de aarde verspreid en zijn in vrijwel alle hoeken en gaten van het voedselweb terechtgekomen. Er is geen manier om ze terug te roepen. Dat is het dilemma waar we voor staan. We kunnen wel, zoals hierboven gesuggereerd, de risico's van blootstelling verminderen door persoonlijke keuzes en door maatregelen van de overheid, maar zulke oplossingen achteraf zijn onvermijdelijk verstorend, moeilijk en niet in staat om het probleem te elimineren. [248] Als problematische chemische stoffen eenmaal op grote schaal aanwezig zijn, is er maar één optie: beheren en ermee omgaan.

Uiteindelijk komt men uit bij de vraag hoe we dergelijke gevaren überhaupt kunnen voorkomen. Hoe kunnen we genieten van de voordelen van synthetische chemicaliën zonder

onszelf en onze kinderen in gevaar te brengen? Wat kunnen we doen om ervoor te zorgen dat we dit soort fouten in de toekomst niet herhalen? Traditionele regelgeving en praktijken om vervuiling te voorkomen zijn slechts gedeeltelijke oplossingen.

Om de vraag te beantwoorden hoe we bescherming kunnen bereiken, moeten we opnieuw nadenken over hoe we synthetische chemicaliën maken en gebruiken. We moeten de praktijken, processen en producten die het probleem veroorzaken opnieuw ontwerpen. Hier en daar wordt al gewerkt in deze richting. Twee voorstanders van een fundamentele heroverweging en herontwerp - Dr. Michael Braungart, een Duitse chemicus, en William McDonough, een Amerikaanse architect - hebben ook gewerkt aan een reeks algemene criteria om dergelijke inspanningen te sturen, criteria voor de synthetische chemicaliën zelf en voor de processen en producten die ze bevatten. Hoewel deze beweging nog in de kinderschoenen staat, geeft ze de richting aan voor veranderingen die de gevaren zullen verminderen door de hoeveelheid afval en verontreinigende stoffen die in het milieu terecht komen te verminderen.

Braungart identificeert verschillende richtlijnen voor de productie van chemicaliën die het gemakkelijker zullen maken om ze op te sporen en te recyclen:

- *Verminder het aantal chemicaliën op de markt aanzienlijk.* Met honderdduizend synthetische chemicaliën in de handel wereldwijd en duizend nieuwe stoffen die elk jaar op de markt komen, is er weinig hoop om hun lot in eco-systemen of hun schade aan mensen en andere levende

wezens te ontdekken voordat de schade is aangericht.

- *Verminder het aantal chemische stoffen dat in een bepaald product wordt gebruikt; maak ze eenvoudiger.*
- *Maak en verkoop alleen chemicaliën die gemakkelijk kunnen worden gedetecteerd op relevante niveaus in de echte wereld met de huidige technologie.* Sommige verbindingen die momenteel op grote schaal worden gebruikt, zijn zeer moeilijk te meten in de hele wereld, waardoor het economisch en praktisch moeilijk is om de blootstelling van mensen of hun lot in het milieu te bestuderen.[249]
- *Beperk de productie tot alleen producten die een volledig gedefinieerde chemische samenstelling hebben en stop de productie van producten die onvoorspelbare mengsels van chemische stoffen bevatten.* Dergelijke mengsels - bijvoorbeeld de 209 PCB's - zijn moeilijk te testen op veiligheid en op te sporen wanneer ze in het milieu terechtkomen.
- *Produceer geen chemische stof tenzij de afbraak ervan in het milieu goed bekend is.* In sommige gevallen kunnen chemische stoffen die in het milieu terechtkomen, afbreken in stoffen die een groter gevaar vormen dan de oorspronkelijke chemische stof.

Braungart en McDonough pleiten ook voor een grote verandering in de manier waarop we synthetische chemicaliën gebruiken in producten en industriële processen, geleid door het axioma dat “afval niet bestaat”. Dit begrip is ontleend aan natuurlijke systemen, waar chemicaliën, voedingsstoffen en organisch materiaal voortdurend worden gerecycled. Het afval van het ene wezen of proces wordt grondstoffen of

voedsel voor een ander. Je kunt dit principe aan het werk zien in de composthoop in de achtertuin, waar wormen, insecten en bacteriën bladeren, gemaaid gras, wortelschillen en verlepte sla omzetten in kruimelige, rijke zwarte aarde die nieuwe bomen, gras en groenten voedt.

Afval van het ene proces kan ook een ander industrieel proces voeden, stellen McDonough en Braungart. Maar of het nu in de composthoop of de fabriek is, zo'n recycling wordt alleen mogelijk als “afval” niet wordt vervuild door stoffen die het onbruikbaar maken voor levende wezens of voor latere industriële activiteiten. McDonough en Braungart geloven dat door een goed ontwerp van het productieproces en de producten, het meeste afgedankte materiaal het volgende proces kan “voeden”. In een goed ontworpen systeem moeten oplosmiddelen steeds opnieuw reinigen, niet slechts één keer. Afgedankte televisies en andere apparaten zouden teruggebracht kunnen worden naar de fabrikant, waar de onderdelen gedemonteerd zouden worden en de materialen gerecycled en opnieuw gebruikt in onderdelen voor nieuwe televisies.

Hoewel systemen die volgens dit principe zijn ontworpen sterk verschillen van de huidige benaderingen, zijn ze zelfs nu niet onhaalbaar of onpraktisch. Dit concept heeft wereldwijd al een grote invloed op de auto-industrie. Gedeeltelijk aangespoord door voorstellen in Europa om fabrikanten te verplichten alles wat ze maken terug te nemen, neemt een nieuwe trend - producten die ontworpen zijn voor demontage, of DFD - een hoge vlucht. [250] Buiten Detroit werken de grote drie autofabrikanten samen om auto's te ontwerpen

die aan het einde van hun levensduur gemakkelijk uit elkaar gehaald kunnen worden en echt gerecycled kunnen worden tot nieuwe auto-onderdelen. Producten die zijn ontworpen zonder rekening te houden met recycling bevatten vaak een assortiment van verschillende synthetische materialen die echte recycling onmogelijk maken. Gemengde kunststoffen in een autodashboard, bijvoorbeeld, kunnen worden “ge-downcycled” tot een bankje in het park, maar ze kunnen niet opnieuw worden gebruikt in een nieuw dashboard. De kringloop sluiten en materialen steeds opnieuw gebruiken elimineert de vraag naar nieuwe grondstoffen en vermindert de hoeveelheid vervuild afval dat in het milieu terechtkomt. De sleutel tot zo'n gesloten kringloop is een intelligent ontwerp.

In een soortgelijk pionierswerk in de textielindustrie hebben McDonough en Braungart geholpen bij het ontwerpen van een lijn meubelstoffen, zodat het fabricageproces en het eindproduct vrij zijn van gevaarlijke chemicaliën. De inspanning, die werd ondernomen in samenwerking met Design Tex, textielontwerpers en -distributeurs uit New York, begon met een onderzoek naar de 7.500 chemicaliën die worden gebruikt voor het verven of verwerken van stoffen, met als doel de chemicaliën te elimineren die gevaar opleveren omdat ze persistent, mutageen of kankerverwekkend zijn, of waarvan bekend is dat ze interfereren met hormoon-systemen. Slechts 34 chemicaliën overleefden deze screening. De stof, die nu in Zwitserland wordt geproduceerd, is een mengsel van wol en de plantaardige vezel ramee dat wordt geleverd in een normale reeks kleuren en wordt ver-

kocht voor een prijs die kan concurreren met die van vergelijkbare stoffen die met conventionele methoden en een conventioneel ontwerp zijn gemaakt.

Ons gebruik van pesticiden is ook rijp voor benaderingen die gebaseerd zijn op heroverweging en herontwerp in plaats van het voortdurende gebruik van steeds meer nieuwe chemicaliën.

- In de afgelopen veertig jaar zijn de oogstverliezen constant gebleven ondanks het sterk toegenomen gebruik van pesticiden.
- het opmerkelijke aanpassingsvermogen van plaagdieren. Gewapend met een chemisch arsenaal hebben boeren de verstandige landbouwpraktijken losgelaten die al duizenden jaren gebruikt worden om plagen te ontmoedigen, zoals vruchtwisseling, zorgvuldig getimed beplanting, diversiteit van gewassen en veldsanering. In deze periode zijn landbouwbedrijven zich gaan vestigen in gebieden waar de problemen met plagen het boeren onmogelijk hadden gemaakt.[251]
- ■ Consumenten, voedselverwerkers, groothandelaren en supermarkten vragen steeds vaker om producten die er perfect uitzien en die vrij zijn van cosmetische onvolkomenheden veroorzaakt door insecten, schimmels of ziekten. Zulke gebreken zijn niet schadelijk en maken een vrucht of groente ook niet minder voedzaam, maar de verwachting van een perfect product verhoogt het gebruik van pesticiden aanzienlijk. Bij sinaasappels bijvoorbeeld wordt zestig tot tachtig procent van de pesticiden gebruikt om het cosmetische uiterlijk van de schil te verbeteren. In dit of andere soortgelijke gevallen kan niet worden be-

weerd dat het gebruik van pesticiden nodig is om meer of beter voedsel te krijgen.

- Tuinontwerpers, tuinschrijvers en huiseigenaren moeten de uitdaging aangaan om een nieuwe standaard te creëren voor schoonheid in de voorsteden, een standaard die afstapt van de esthetiek van het groene tapijt en die zich verheugt in een diversiteit aan planten die zijn aangepast aan de plaatselijke omstandigheden. Omdat dit ideaal van een homogeen, onberispelijk groen de natuurlijke neiging tot diversiteit bestrijdt, is het van nature veeleisend en vereist het kunstmest en pesticiden, veel water geven en veel tijd en moeite. Net als smetteloos fruit hebben smetteloze gazons een hoge prijs. Het is tijd om onze houding te veranderen en onze tuinen opnieuw in te richten met planten die comfortabel groeien op de plek waar we wonen en met gemaaide speelplekken die floreren zonder voortdurende chemische ondersteuning. Een pioniersteam van de universiteit van Yale heeft onlangs een manifest gepubliceerd voor deze revolutie in de voorsteden, getiteld *Redesigning the American Lawn: A Search for Environmental Harmony*, dat praktische richtlijnen bevat voor niet-specialisten die hun tuin veiliger en gezonder willen maken.

De synthetische pesticiden die in de afgelopen halve eeuw zijn ontwikkeld, zijn krachtige wapens die spaarzaam moeten worden gebruikt en alleen als het echt nodig is. De andere tragedie van het gebruik van pesticiden - een die verschilt van het onderwerp van dit boek - betreft het groeiende probleem van resistentie van insecten en ziekteverwekkende or-

ganismen tegen pesticiden en antibiotica. Door nonchalant en overmatig gebruik van pesticiden en medicijnen heeft de mens de evolutie van insecten, onkruid en bacteriën versneld die steeds immuunder worden voor onze wonderpesticiden en wondermedicijnen. De insecten vechten niet alleen terug, ze winnen deze evolutionaire strijd. [252] Binnen een paar jaar na de introductie van DDT verschenen er nieuwe superbacteriën die onkwetsbaar waren voor het gif. Twee decennia later waarschuwde Rachel Carson in *Silent Spring* voor de toenemende resistentie onder plaagdieren en de onheilspellende gevolgen voor de menselijke gezondheid. Nu, in een tijd waarin sommige volksgezondheidswetenschappers vrezen voor een toenemende dreiging van tropische ziekten in de Verenigde Staten, zijn de pesticiden die we nodig hebben om ziektedragende insecten te bestrijden misschien niet meer effectief. Resistentie is zo wijdverspreid geworden dat we binnenkort misschien net zo weerloos zijn tegen ziektes en gezondheidsbedreigende plagen als een halve eeuw geleden. Wat we dachten dat een verbluffende technologische verovering van de natuur was, blijkt slechts een tijdelijke overwinning te zijn. Door overmatig gebruik van onze wondermedicijnen en pesticiden hebben we de voordelen ervan verkwanseld.

HOOFDSTUK – 13

LOOMEN

Elke lezer die tot nu toe met ons is meegegaan, die de weg heeft gevolgd van de meeuwenkolonies aan het Ontariomeer en de moerassen van Florida naar de universiteitslaboratoria en vervolgens naar de dokterspraktijk, moet zich op een bepaald moment hebben afgevraagd of deze symptomen iets te maken hebben met de kwalen van de moderne menselijke samenleving. Zulke vragen komen onvermijdelijk bij je op als je hoort dat meeuwen in besmette kolonies hun nesten verwaarlozen, of dat mannelijke muizen die geboren zijn uit moeders die met pesticiden gevoed zijn, als volwassene veel territorialer en mogelijk agressiever zijn dan muizen die niet prenataal zijn blootgesteld. Op dit moment zijn er veel provocerende vragen en weinig definitieve antwoorden, maar de potentiële verstoring voor individuen en de samenleving is zo ernstig dat deze vragen het onderzoeken waard zijn.

Het afnemende aantal zaadcellen doemt onheilspellend op in deze discussie, want deze rapporten hebben implicaties die verder reiken dan de kwestie van de mannelijke vruchtbaarheid. Dierexperimenten geven aan dat verontreinigingsniveaus die voldoende zijn om de spermaproductie te schaden, ook de ontwikkeling van de hersenen en het gedrag kunnen beïnvloeden. Het is dus waarschijnlijk dat het aantal

zaadcellen slechts één concreet, meetbaar signaal is van veel bredere effecten op aspecten van de menselijke gezondheid en welzijn die niet zo gemakkelijk te kwantificeren zijn. [254] Wat er op het spel staat is niet simpelweg een kwestie van enkele individuele lotsbestemmingen of gevolgen voor de meest gevoelige personen onder ons, maar een wijdverspreide erosie van het menselijk potentieel in de afgelopen halve eeuw. Het bewijsmateriaal in zijn geheel maakt het moeilijk om vragen over de betekenis van deze chemische aanval voor de samenleving als geheel te vermijden.

Gegevens van wilde dieren, laboratoriumexperimenten, de DES-ervaring en een handvol onderzoeken bij mensen ondersteunen de mogelijkheid van lichamelijke, geestelijke en gedragsstoornissen bij mensen die invloed kunnen hebben op vruchtbaarheid, leervermogen, agressie en mogelijk zelfs op ouderschap en paringsgedrag. In hoeverre hebben vervormde boodschappen bijgedragen aan wat we om ons heen zien gebeuren - voortplantingsproblemen bij familie en vrienden, de toename van leerproblemen op onze scholen, het uiteenvallen van het gezin en de verwaarlozing en mishandeling van kinderen, en het toenemende geweld in onze samenleving? Als hormoonverstorende chemicaliën het immuunsysteem ondermijnen, kunnen ze dan onze kwetsbaarheid voor ziekten vergroten en zo bijdragen aan de stijgende kosten van de gezondheidszorg? En nog belangrijker, wat betekent dit voor het menselijk vooruitzicht?

Als deze effecten zich in het algemeen voordoen, zou hormoonverstoring wel eens kunnen bijdragen aan afwijkende en ongezonde tendensen in onze samenleving. Aan de ande-

re kant is het twijfelachtig of deze chemicaliën de oorzaak zijn van al het sociale disfunctioneren dat we om ons heen zien. Wie één eenvoudige verklaring zoekt voor zulke ingewikkelde verschijnselen, zal gefrustreerd en teleurgesteld raken.

Zelfs in het geval van relatief eenvoudige lichamelijke problemen, zoals een afname van het aantal zaadcellen, begrijpen we veel te weinig over de hormoonverstorende chemicaliën die in het milieu vrijkomen om de vooruitzichten met vertrouwen in te schatten. De vier tot nu toe gerapporteerde onderzoeken laten een scherpe daling zien in het aantal zaadcellen bij de mens in de afgelopen decennia - een verlies van gemiddeld een miljoen zaadcellen per milliliter sperma per jaar. Zo'n sterk dalende trend is echt alarmerend. Nog alarmerender is het feit dat deze daling bijna een halve eeuw aanhield voordat medische onderzoekers doorhadden wat er aan de hand was. Zal dit verbazingwekkende verlies zich voortzetten? Waar zal het eindigen?

Als de momenteel gereguleerde persistente chemicaliën grotendeels verantwoordelijk zijn voor de afname, dan zou het aantal zaadcellen rond 2030 weer kunnen beginnen te stijgen. [255] Zoals opgemerkt in hoofdstuk 10, vinden de onderzoeken een correlatie tussen de hoeveelheid en de kwaliteit van het sperma en de geboortedatum van de man, waarbij de jongste mannen het laagste aantal zaadcellen en het grootste aantal misvormde zaadcellen hebben - een patroon dat de theorie dat de afname het gevolg is van schade vóór de geboorte of vroeg in het leven, sterk ondersteunt. Het is echter onvermijdelijk dat er een lange periode verstrijkt

voordat schade duidelijk wordt bij een analyse van het aantal zaadcellen. De jongste mannen in de onlangs gerapporteerde onderzoeken naar het aantal zaadcellen werden geboren in het begin van de jaren zeventig, net op het moment dat de Verenigde Staten en andere geïndustrialiseerde landen het gebruik van zeer persistente organochloorchemicaliën zoals DDT, dieldrin, lindaan en PCB's begonnen te beperken. Hun lage aantal zaadcellen zou dus een weerspiegeling kunnen zijn van de hoge blootstelling van hun moeders aan persistente chemicaliën in de jaren 1960 en 1970, voordat regeringen beperkingen oplegden. Sindsdien zijn de concentraties in menselijk weefsel van bijvoorbeeld DDT, het afbraakproduct van DDT, DDE en lindaan aanzienlijk gedaald in landen waar het gebruik ervan aan banden is gelegd. Als prenatale blootstelling aan hormoonverstorende pesticiden een belangrijke rol heeft gespeeld bij de afname van het aantal zaadcellen, dan zou je verwachten dat het aantal zaadcellen de komende tien jaar weer zal toenemen, in ieder geval in de ontwikkelde landen, naarmate mannen die in de jaren tachtig zijn geboren volwassen worden. In landen als India vormen echter slechts twee persistente pesticiden, DDT en lindaan, minstens zestig procent van de pesticiden en het gebruik ervan neemt volgens pesticide-experts nog steeds toe.

Het dalende aantal zaadcellen zou een ongelukkige historische episode kunnen zijn - een onvoorzien gevolg van het experiment met persistente chemicaliën halverwege de vorige eeuw, waar veel landen nu wijselijk mee zijn gestopt. De dreiging zou nu in essentie achter ons kunnen liggen, ook al

kan het tientallen jaren duren voordat de effecten merkbaar zijn. Helaas geven de zorgwekkende nieuwe ontdekkingen die in eerdere hoofdstukken zijn beschreven aan dat het gevaar van synthetische chemicaliën waarschijnlijk niet is geweken. Terwijl de blootstelling van mensen aan DDT en andere persistente stoffen in landen als de Verenigde Staten is afgenomen, is de blootstelling aan andere hormoonverstorende chemicaliën snel toegenomen. Denk aan de mate waarin plastic de afgelopen twintig jaar glas en papier heeft vervangen in verpakkingen. Een reeks toevallige ontdekkingen heeft aangetoond dat plastic niet inert is, zoals algemeen werd aangenomen, en dat sommige chemicaliën die uit plastic lekken hormonaal actief zijn. [256] Kunststoffen hebben hun weg gevonden naar elke hoek van ons leven, waardoor er een potentieel is ontstaan voor aanzienlijke chronische blootstelling aan hormoonverstorende stoffen. Er zit van alles in, van frisdrank tot bakolie, metalen blikjes worden ermee bekleed en kinderspeelgoed wordt bij voorkeur van plastic gemaakt. Het is onwaarschijnlijk dat alle kunststoffen gevaarlijk zijn, maar omdat fabrikanten handelsgeheimen claimen, is er geen manier om de chemische samenstelling van een bepaalde plastic verpakking te kennen of om te beoordelen hoeveel van het gebruikte plastic hormoonverstorende chemicaliën afgeeft. Wetenschappers waarschuwen ook dat hormoonverstorende chemicaliën op de loer kunnen liggen in zalven, cosmetica, shampoos en andere veelgebruikte producten.

Het zou geruststellend zijn om te weten dat hormoonverstorende chemicaliën geen schaduw werpen op de volgende ge-

neratie, maar het bewijs biedt die zekerheid niet. Terwijl de lijst met hormoonverstorende chemicaliën zich blijft uitbreiden, pleit elke nieuwe toevoeging tegen de waarschijnlijkheid dat het aantal zaadcellen van mannen zich de komende jaren volledig zal herstellen.

We bevinden ons dus in een verontrustende situatie - we weten niet zeker of de trieste trend in het aantal zaadcellen bij de mens snel zal uitbodemen of dat het zal blijven dalen. Het is bemoedigend dat sommige van de meest beruchte persistente chemicaliën in ontwikkelingslanden aan banden zijn gelegd en dat de belasting van het menselijk lichaam in tenminste enkele van deze landen daardoor is afgenomen. Tegelijkertijd leiden verrassende ontdekkingen van hormonaal actieve chemicaliën op onverwachte plaatsen zoals plastic tot nieuwe zorgen over chronische wijdverspreide blootstelling.

Het is altijd verleidelijk om zorgwekkende trends te extrapoleren naar apocalyptische, slechtst denkbare scenario's, maar het is moeilijk voor te stellen dat het aantal zaadcellen onverbiddelijk zal dalen en een punt zal bereiken dat een onmiddellijke bedreiging vormt voor het voortbestaan van de mens. Toch lijkt het erop dat mensen gokken met hun vermogen om zich op de lange termijn voort te planten, wat ons grote zorgen zou moeten baren.

Wat we op dit moment het meest vrezen is niet uitsterven, maar de verraderlijke erosie van de menselijke soort. We maken ons zorgen over een onzichtbaar verlies van menselijk potentieel. We maken ons zorgen over het vermogen van hormoonverstorende chemicaliën om de eigenschappen die

ons uniek menselijk maken - ons gedrag, onze intelligentie en ons vermogen tot sociale organisatie - te ondermijnen en te veranderen. Het wetenschappelijk bewijs over de invloed van hormoonverstorende stoffen op de ontwikkeling van de hersenen en gedrag kan nieuw licht werpen op enkele van de verontrustende trends waarvan we getuige zijn.

[257] Waarom begonnen de scores van de Scholastic Aptitude Test van middelbare scholieren die toegelaten wilden worden tot de universiteit sterk te dalen vanaf het hoogtepunt in 1963 en bleven ze bijna twee decennia lang dalen? Is dit alleen het resultaat van demografische en sociale factoren, zoals veranderingen in de groep van studenten die willen studeren of een verminderde motivatie van de studenten, zoals studies hebben gesuggereerd? Hoe zit het met de problemen op onze scholen? Waarom kunnen veel kinderen niet lezen? Is het omdat ze te veel TV kijken of al hun tijd besteden aan het spelen van videospelletjes, door een gebrek aan steun van de familie voor scholen, of omdat ze voor hun geboorte werden blootgesteld aan PCB's of andere chemische stoffen die de schildklier verstoren?

Hoewel elk verband nog steeds speculatief is, suggereren de onderzoeken bij mensen en dieren die leerproblemen en hyperactiviteit rapporteren bij mensen die voor de geboorte aan PCB's zijn blootgesteld, dat synthetische chemicaliën inderdaad de belasting van onze scholen kunnen verhogen. Dit lijkt met name waarschijnlijk in het licht van eerder besproken gegevens waaruit blijkt dat vijf procent van de baby's in de Verenigde Staten via de moedermelk aan voldoende hoeveelheden PCB's is blootgesteld om hun neurologi-

sche ontwikkeling te beïnvloeden. Bovendien houdt dit cijfer geen rekening met het grote aantal andere synthetische chemicaliën die ook de schildklierhormonen kunnen verstoren die van vitaal belang zijn voor de ontwikkeling van de hersenen. Het is moeilijk om deze vervuilingsfactor los te zien van alle andere spanningen waar kinderen in onze samenleving mee te maken hebben - uiteenvallende gezinnen, verwaarlozing, misbruik en toenemend geweld op straat en zelfs op school. Maar behalve voor lood en kwik, hebben opvoeders, artsen en anderen langzaam erkend dat de chemische omgeving de onderwijsinspanningen kan ondermijnen, net als de sociale omgeving. De tot nu toe nog niet erkende gevaren van hormoonverstorende stoffen moeten serieus onderzocht worden, omdat een dergelijke verstoring een belangrijke factor zou kunnen zijn bij leer- en gedragsproblemen en een factor die in de toekomst verminderd zou kunnen worden door preventieve maatregelen.

Als dergelijke onzichtbare verliezen al plaatsvinden, zullen ze een grotere impact hebben op de samenleving als geheel dan op individuele personen. Sommige onderzoeken bij mensen hebben gesuggereerd dat verontreinigende stoffen op niveaus

die momenteel in de menselijke populatie worden aangetroffen de geestelijke ontwikkeling voldoende kunnen schaden om een verlies van vijf punten in het meetbare IQ te veroorzaken. [258] Als dit zou gebeuren met een typisch kind, zouden de gevolgen ongelukkig zijn, maar niet catastrofaal. Hoewel het kind zijn ware potentieel niet zou waarmaken, zou het nog steeds binnen het normale bereik van intelligen-

tie vallen en, met discipline, het misschien goed genoeg doen op school en toegelaten worden tot een universiteit. Maar het IQ-verschil van vijf punten zou kunnen betekenen dat hij het concurrentievoordeel mist om toegelaten te worden tot een topuniversiteit.

Bedenk echter eens wat het voor onze samenleving zou kunnen betekenen als synthetische chemicaliën op subtiele wijze de menselijke intelligentie ondermijnen in de hele bevolking, op dezelfde manier waarop ze blijkbaar het aantal zaadcellen van mannelijke mensen hebben ondermijnd. Met de huidige gemiddelde IQ-score van 100, zal een bevolking van 100 miljoen 2,3 miljoen intellectueel begaafde mensen hebben die boven de 130 scoren. Hoewel het misschien niet veel lijkt, zou het “duizelingwekkende” gevolgen hebben als het gemiddelde maar vijf punten zou dalen tot 95, volgens Bernard Weiss, een gedragstoxicoloog aan de Universiteit van Rochester die de maatschappelijke impact van ogenschijnlijk kleine verliezen heeft onderzocht. In plaats van 2,3 miljoen zouden er slechts 990.000 boven de 130 scoren, dus deze maatschappij zou meer dan de helft van haar krachtige geesten kwijtraken die de capaciteit hebben om de meest begaafde artsen, wetenschappers, professoren, uitvinders of schrijvers te worden. Tegelijkertijd zou deze neerwaartse verschuiving resulteren in een groter aantal trage leerlingen, met IQ-scores rond de 70, die speciaal remediërend onderwijs nodig zouden hebben, een toch al dure onderwijslast, en die misschien niet in staat zouden zijn om veel van de meer hooggekwalficeerde banen in een technologische samenleving te vervullen. Gezien de ontzagwek-

kende reeks problemen waar we voor staan als naties en als wereldgemeenschap, is het laatste wat we ons kunnen veroorloven het verlies van menselijke intelligentie en probleemoplossend vermogen.

De dierstudies roepen nog meer verontrustende vragen op over de mogelijke invloed van synthetische chemicaliën op het gedrag, dat bijzonder gevoelig lijkt te zijn voor verstoring door hormonaal actieve vervuilende stoffen. Onderzoekers vinden bewijzen van veranderd gedrag lang voordat ze tekenen van verminderde intelligentie of verminderde vruchtbaarheid vinden. De rattenstudies van Helen Daly inachtig, leken de pups van moeders die vervuilde vis aten net zo intelligent, gezond en reproductief fit als de controle-ratten, maar ze vertoonden grote gedragsveranderingen, vooral in hun extreme reacties op negatieve gebeurtenissen. Zou prenatale blootstelling aan milieuverontreinigende stoffen soortgelijke effecten kunnen hebben op mensen? Zouden ze ons vermogen om met stress om te gaan ook kunnen verminderen? [259] De eerste resultaten van de menselijke studies die door Daly's collega's zijn gedaan, laten een vergelijkbare intolerantie voor stress zien bij de kinderen van vrouwen die vervuilde vis uit het Ontariomeer hadden gegeten.

Andere onderzoeken suggereren dat blootstelling aan synthetische chemicaliën dieren vatbaarder kan maken voor agressie. In studies waarbij zwangere muizen werden blootgesteld aan relatief lage concentraties van de pesticiden DDT en methoxychlor, rapporteerden Frederick vom Saal en zijn team een veel hoger aantal territoriale urinemarke-

ringen bij hun mannelijke nakomelingen dan bij mannetjes van niet-blootgestelde moeders, een gedrag dat wijst op een verhoogde kans op agressie tussen mannetjes. Volgens vom Saal tonen de studies aan dat hormonaal actieve chemicaliën belangrijke effecten kunnen hebben op sociaal-seksueel gedrag. “Als dieren binnen een populatie allemaal veranderingen vertonen in sociaal-seksueel gedrag, kan er een duidelijke verstoring van de sociale structuur optreden.” Andere onderzoekers hebben laboratoriumratten en muizen water gegeven met dezelfde hoeveelheden chemische verontreinigingen die gevonden zijn in de waterputten op het platteland van Wisconsin en ontdekten dat de dieren die verontreinigd water dronken onvoorspelbare uitbarstingen van agressie vertoonden. Hoewel intrigerend, is een verband tussen dergelijke onderzoeken en het toenemende geweld in de Amerikaanse samenleving op dit moment puur speculatief. Maar zonder twijfel wijzen deze bevindingen op een dringende noodzaak om mogelijke verbanden tussen chemische verontreinigingen, gedrag en agressie bij zowel dieren als mensen te onderzoeken.

Hoe zit het met het uiteenvallen van het gezin en de frequente meldingen van kindermishandeling en verwaarlozing? Als wetenschappers bewijs hebben gevonden van onzorgvuldig ouderschap in besmette vogelkolonies, spelen deze chemicaliën dan een rol in soortgelijke fenomenen bij menselijke ouders? In reactie op berichten over toenemende verwaarlozing van en geweld tegen kinderen door hun ouders, hebben sommige commentatoren beweerd dat er iets mis moet zijn met deze mensen; sommige basisinstincten

lijken te ontbreken. Hormonen bepalen ons gedrag niet, maar het is waarschijnlijk dat ze het parings- en oudergedrag bij mensen beïnvloeden, net als bij andere zoogdieren. Recente dierstudies hebben de biologische mechanismen geïdentificeerd die betrokken zijn bij de hechting tussen zoogdiermoeders en hun nakomelingen en tussen mannetjes en hun partners - mechanismen die afhankelijk zijn van hormonen. De effecten van vervuilende stoffen op gedrag zullen aanzienlijk verschillen tussen soorten, waardoor het onmogelijk is om specifieke effecten op mensen te voorspellen. [260] Maar we zijn ervan overtuigd dat lopend onderzoek zal bevestigen dat de hormonale ervaring van het zich ontwikkelende embryo in cruciale stadia van zijn ontwikkeling een impact heeft op volwassen gedrag bij mensen, en de keuze van partners, ouderschap, sociaal gedrag en andere belangrijke dimensies van onze menselijkheid beïnvloedt.

Toch is het op dit moment onmogelijk om te weten of hormoonverstorende chemicaliën bijdragen aan de verontrustende sociale en gedragsproblemen die onze samenleving teisteren en zo ja, in welke mate. Elk van deze problemen is immens complex en het resultaat van verschillende krachten die samenwerken. Tegelijkertijd tonen studies met dieren duidelijk aan dat het verstoren van chemische boodschappen tijdens de ontwikkeling een levenslange impact kan hebben op leervermogen en gedrag. Verstoring van hormonen kan de neiging tot een bepaald soort gedrag, zoals territorialiteit, vergroten of normaal sociaal gedrag, zoals ouderlijke waakzaamheid en beschermendheid, afzwakken. Gezien dit provocerende bewijs, zouden we chemische vervuiling ook

moeten beschouwen als een factor die bijdraagt aan de toenemende prevalentie van disfunctioneel gedrag in de menselijke samenleving.

Sommigen vinden het misschien ironisch dat mensen in hun rusteloze zoektocht naar dominantie over de natuur onbedoeld hun eigen vermogen om zich voort te planten, te leren en te denken ondermijnen. Ze zien misschien poëtische rechtvaardigheid in de mogelijkheid dat we ongewild proefkonijnen zijn geworden in ons eigen uitgebreide experiment met synthetische chemicaliën. Maar uiteindelijk is het moeilijk om zo'n chemische aanval op onze kinderen en hun mogelijkheden voor een volwaardig leven als iets anders dan diep triest te beschouwen. Chemicaliën die hormoonboodschappen verstoren hebben de macht om ons te beroven van de rijke mogelijkheden die de erfenis zijn van onze soort en, inderdaad, de essentie van onze menselijkheid. Er kan een lot zijn dat erger is dan uitsterven.

HOOFDSTUK – 14

BLIND VLIEGEN

Elk schepsel verandert onvermijdelijk zijn omgeving terwijl het zich in leven probeert te houden. Dit hoort bij het leven en is al zo sinds micro-organismen zo'n twee miljard jaar geleden voor het eerst de chemische samenstelling van de aardatmosfeer begonnen te veranderen.

Mensen zijn niet anders. We hebben op wild gejaagd, fruit verzameld, bossen gekapt, moerasgebieden drooggelegd, akkers beplant, rivieren afgedamd, steden gebouwd, stromen bevuild, fabrieken gebouwd en spoorlijnen over verlaten vlaktes getrokken. Maar gedurende het grootste deel van de paar miljoen jaar dat de mens op deze planeet rondloopt, is onze impact discreet geweest. We hebben de ene vallei veranderd maar niet de volgende; een stroomgebied maar niet zijn buur; een provincie maar niet een continent. De schaal van menselijke veranderingen leek altijd klein vergeleken met die van de natuurlijke krachten die de planeet vormgeven.

Vandaag de dag is dit allemaal veranderd. De twintigste eeuw markeert een waar keerpunt in de relatie tussen de mens en de aarde. De ongekende en ontzagwekkende kracht van wetenschap en technologie, gecombineerd met het grote aantal mensen dat op de planeet leeft, hebben de schaal van

onze invloed getransformeerd van lokaal en regionaal naar mondiaal. [262] Met die transformatie hebben we de fundamentele systemen die het leven ondersteunen veranderd. Deze veranderingen komen neer op een groot wereldwijd experiment - met de mensheid en al het leven op aarde als onwetende proefpersonen.

Synthetische chemicaliën zijn een belangrijke kracht geweest in deze veranderingen. Door het creëren en vrijgeven van miljarden kilo's door de mens gemaakte chemicaliën in de afgelopen halve eeuw, hebben we op grote schaal veranderingen aangebracht in de atmosfeer van de aarde en zelfs in de chemie van ons eigen lichaam. Nu, bijvoorbeeld, met het verbluffende gat in de beschermende ozonlaag van de aarde en, naar het schijnt, de dramatische afname van het aantal zaadcellen bij mensen, komen de resultaten van dit experiment hard aan. Vanuit elk perspectief zijn dit twee enorme signalen van problemen. De ondermijnde systemen behoren tot de systemen die het leven mogelijk maken. De omvang van de schade die al is aangericht zou ieder weldenkend mens diep geschokt moeten achterlaten.

Het is net zo verontrustend dat de wereldwijde schaal van het experiment het extreem moeilijk maakt om de effecten in te schatten. In de afgelopen vijftig jaar zijn synthetische chemicaliën zo alomtegenwoordig geworden in het milieu en in ons lichaam dat het niet langer mogelijk is om een normale, onveranderde menselijke fysiologie te definiëren. Er is geen schone, onbezoedelde plek, noch een mens die niet een aanzienlijke lading hardnekkige hormoonverstorende chemicaliën heeft opgelopen. In dit experiment zijn we alle-

maal proefkonijnen en, om het nog erger te maken, we hebben geen controles om ons te helpen begrijpen wat deze chemicaliën doen. Geconfronteerd met de vraag of synthetische chemicaliën bijvoorbeeld bijdragen aan leerproblemen, hebben onderzoekers meestal onderzoeken opgezet waarin besmette kinderen worden vergeleken met een niet-besmette controlegroep. Het is tragisch dat geen enkel kind vandaag de dag bommenvrij is. In de zoektocht naar relatief niet-verontreinigde controlepopulaties hebben onderzoekers ironisch genoeg de ontstellende universaliteit van deze verontreiniging ontdekt. Zelfs Inuits die een traditionele levensstijl hebben in afgelegen gebieden op de Noordpool zijn er niet aan ontsnapt. De vervuiling is naar hen toe gekomen.

De eerste resultaten van dit onbedoelde experiment roepen netelige en diepgaande vragen op die veel verder reiken dan de onmiddellijke uitdaging van het beheren en elimineren van de chemicaliën die deze problemen hebben veroorzaakt. [263] Het is niet langer voldoende om te zoeken naar de volgende ronde vervangers voor bestaande chemicaliën, naar een nieuwe generatie van zogenaamd minder schadelijke synthetische verbindingen. Het is tijd om de discussie te verleggen naar het wereldwijde experiment zelf.

Wat heeft deze adembenemende sprong in de richting van nieuwe technologieën opgeleverd? Het heeft ongeëvenaarde gezondheid, luxe en comfort opgeleverd voor tenminste een significante minderheid van de menselijke bevolking, maar de technologieën zelf hebben vaak een schaduwzijde die pas decennia later duidelijk wordt, als het te laat is om ze terug te roepen. Toen hem werd gevraagd naar de risico's van het

vrijlaten van genetisch gemanipuleerde organismen in het milieu, zag een van 's werelds meest vooraanstaande moleculair biologen geen reden om te aarzelen. Hij vertelde een groep journalisten dat onze samenleving “moedig moet zijn” en ondanks de onzekerheden door moet gaan met nieuwe technologieën. Maar wat voor sommigen dapper lijkt, lijkt voor anderen dwaas.

Als het gat in de ozonlaag en het dalende aantal zaadcellen duidelijke waarschuwingen zijn voor de gevaren van doorgaan zoals we gewend zijn, hoe moeten we dan verder? Is er een manier om te anticiperen op de gevolgen van onze technologie? Als we hormoonverstorende chemicaliën van de markt halen, hoe kunnen we er dan zeker van zijn dat hun vervangers over dertig jaar niet voor andere onaangename verrassingen zullen zorgen? Is er een manier om het experiment met onze kinderen en het milieu te stoppen, een experiment dat in de twintigste eeuw een geaccepteerde manier van leven is geweest? Of is het vooruitzicht van zulke hui-veringwekkende verrassingen een onderdeel van de Faustiaanse afspraak die we hebben gemaakt in ruil voor gezondheid, comfort en gemak?

Wanneer een van deze onaangename verrassingen, zoals het gat in de ozonlaag, een halt toeroept, gaan we meestal op zoek naar “veilige” vervangingsmiddelen - een zoektocht die gebaseerd is op de ongeclausuleerde aanname dat synthetische chemicaliën ongestraft in het milieu kunnen worden gebracht als chemische bedrijven en overheidsinstanties ze goed screenen op veiligheid. Maar voorgestelde vervangers die “veilig” zijn voor de ozonlaag, brengen andere ge-

varen met zich mee, zo blijkt, door hun vermogen om warmte vast te houden en de opwarming van de aarde te versnellen.

Een soortgelijk patroon komt naar voren in de geschiedenis van het toezicht op pesticiden. Net als generaals vechten pesticide toezichthouders altijd en misschien wel onvermijdelijk de laatste oorlog. Keer op keer hebben ze chemische stoffen doorgelicht op het meest recent erkende gevaar om vervolgens verblind te worden door gevaren die ze nooit hadden verwacht. [264] Ze beoordeelden DDT op basis van de gevaren van de vorige generatie pesticiden - de acuut giftige arseenverbindingen die de dood konden veroorzaken voor boeren of mensen die de pech hadden met residuen besmet voedsel te eten. Pas nadat DDT zo rijkelijk als talkpoeder over de aarde was verspreid, realiseerden we ons dat DDT ook dood bracht, maar op een andere manier. Toen er bezorgdheid ontstond over de hardnekkigheid van DDT en de invloed ervan op in het wild levende dieren, legden regelgevende instanties controles op en kwamen er minder hardnekkige verbindingen zoals methoxychlor op de markt. Nu weten we dat methoxychlor, dat nog steeds op grote schaal wordt gebruikt, de hormonen verstoort.

Het is nodig om de duizenden chemische stoffen die in de handel zijn te screenen en de hormoonverstorende stoffen te elimineren. Als we echter doorgaan zoals we in het verleden hebben gedaan, zullen we simpelweg een nieuwe generatie vervangende chemicaliën over de aarde verspreiden. Het zal het zoveelste hoofdstuk zijn in dit roekeloze experiment. Hoewel deze nieuwe chemicaliën misschien veiliger zijn

vanuit het perspectief van hormoonverstoring, zullen ze waarschijnlijk andere onvoorziene gevolgen hebben - sommige relatief triviaal en sommige misschien net zo ernstig als het gat in de ozonlaag.

Afgaande op ervaringen uit het verleden kan het wel een generatie duren voordat de volgende onaangename verrassing zich aandient. Als het zover is, zal het opduiken waar we het het minst verwachten. Over dertig jaar zullen onze kinderen misschien worstelen om een nieuwe ernstige aanval op de systemen die het leven ondersteunen tegen te houden. Misschien duikt de volgende verrassing wel op in de bodem, een van de minst gewaardeerde onderdelen van ons levensondersteunende systeem. De gevolgen zouden inderdaad ernstig zijn als menselijke activiteiten het vermogen van de bodem om voedingsstoffen te recyclen ernstig zouden ondermijnen - een proces van recycling en vernieuwing dat afhankelijk is van een groot aantal bacteriën, schimmels en insecten. Het is echter veiliger om te wedden dat de verrassing iets zal zijn waar zelfs nooit over is nagedacht. Als er iets zeker is, dan is het wel dat we weer verrast zullen worden.

Deze voorzichtigheid komt niet voort uit pessimisme of een afkeer van technologie. Het komt voort uit de aard van ons wereldwijde experiment en uit onze onontkoombare onwetendheid, die het onmogelijk maakt om gevolgen te voorzien of veiligheid te garanderen. [265] Het dilemma is eenvoudig gesteld: de aarde is niet geleverd met een blauwdruk of een handleiding. Wanneer we op wereldschaal experimenten uitvoeren door miljarden kilo's synthetische chemicaliën vrij te laten, sleutelen we aan immens complexe sys-

temen die we nooit volledig zullen begrijpen. Als we iets kunnen leren van het ozongat en onze ervaring met hormoonverstorende chemicaliën, dan is het wel dat we blind op de toekomst afvliegen.

We kunnen chemische stoffen screenen op gevaren waarmee we al geconfronteerd zijn, zoals hormoonverstoring en aantasting van de ozonlaag, maar de volgende onaangename verrassing zal zich voordoen omdat we niet eens weten welke vragen we moeten stellen. Niets illustreert dit punt beter dan onze ervaring met twee inmiddels beruchte chemische stoffen, CFK's en DDT.

Net als DDT werden chloorfluorkoolwaterstoffen (of CFK's), die de ozonlaag aantasten, aangeprezen als een van de veiligste stoffen ooit uitgevonden en net als DDT leken ze een van de zegeningen van de vooruitgang toen ze in 1928 voor het eerst werden gesynthetiseerd door Thomas Midgley jr. Midgley, een van de pioniers op het gebied van industriële uitvindingen, ontwikkelde CFK's als antwoord op de vraag naar een veiliger alternatief voor de giftige en brandbare chemicaliën die als koelvloeistof in koelkasten werden gebruikt. In 1941 ontving hij de hoogste onderscheiding van de scheikunde voor zijn werk, de Priestley Prize. Bij zijn aanvaarding kon Midgley, een man met een onverbeterlijke theatrale inslag die graag Mr. Wizard speelde, de gelegenheid niet voorbij laten gaan om het publiek te trakteren op een van zijn favoriete demonstraties. Hij goot CFK's in een ondiepe schaal, inhaleerde toen het koelmiddel verdampte en hield zijn adem in terwijl hij een kaars aanstak. Toen ademde hij uit en doofde de kaars triomfantelijk - opnieuw

om aan te tonen dat de chemische stof niet ontvlambaar of giftig was voor mensen en daarom onbetwistbaar veilig.

CFK's waren al meer dan veertig jaar op de markt voordat de eerste verdenking op hen viel. In 1970 begon James Lovelock, de wetenschapper en uitvinder was een buitenbeentje die later bekend zou worden vanwege de Gala-hypothese, metingen van de atmosfeer te verrichten met zijn nieuwe uitvinding, een elektronenvangstdetector die de gevoeligheid van de gaschromatograaf verduizendvoudigde. Met dit krachtige nieuwe instrument was het nu mogelijk om minuscule sporen van synthetische chemicaliën in de atmosfeer te detecteren die aanwezig zijn in concentraties van delen per triljoen. [266] Lovelock begon al snel overal waar hij keek CFK's te vinden, zelfs in monsters genomen van een schip dat naar het zuidelijke puntje van Zuid-Amerika voer - een teken dat CFK's nu alomtegenwoordig waren in de atmosfeer van de aarde.

In 1972 had Lovelock zijn bevindingen doorgegeven aan Raymond McCarthy, een functionaris bij Du Pont, 's werelds grootste fabrikant van CFK's. Hij maakte zich zorgen over het nieuws dat CFK's overal op aarde voorkwamen. Kennelijk bezorgd door het nieuws dat CFK's zich ophoopen in de atmosfeer van de aarde, belegde McCarthy een vergadering met de CFK-fabrikanten in de chemische industrie om “de ecologie van CFK's in het milieu” te bespreken. Tegelijkertijd gaf hij opdracht tot verschillende onderzoeken naar de reactiviteit van CFK's.

Du Pont was ongetwijfeld gerustgesteld door de uitkomsten van deze onderzoeken, waarin werd geconcludeerd dat CF-

K's niet leken af te breken in giftige of reactieve verbindingen die schadelijk zouden kunnen zijn voor mensen of milieuproblemen zouden kunnen veroorzaken. Helaas waren de ogen van de onderzoekers echter alleen gericht op de lagere atmosfeer. Het lijkt erop dat niemand zelfs maar rekening hield met mogelijke bedreigingen voor de ozonlaag hoog in de stratosfeer. Die vraag zou twee jaar later, in juni 1974, aan de orde komen, toen de chemici Sherwood Rowland en Mario Molina hun nu beroemde artikel in het tijdschrift *Nature* publiceerden, waarin ze beschreven hoe CFK's uiteindelijk hun weg naar de stratosfeer zouden vinden en de ozonlaag zouden aantasten. Uiteindelijk zou Du Pont geleidelijk stoppen met de productie en distributie van CFK's. En in 1995 kregen Rowland en Molina de Nobelprijs voor dit onderzoek.

De geschiedenis van DDT bevat een soortgelijke paradox. Het pesticide werd beschouwd als zo'n mijlpaal op de weg naar menselijke vooruitgang dat de ontwikkelaar ervan, Paul Muller, werd geprezen als een redder en in 1948 de Nobelprijs kreeg. Op de korte termijn leek de chemische stof wonderbaarlijk. Het doodde insecten terwijl het weinig directe bedreiging voor mensen vormde en door de muggen te verdelgen die malaria overbrengen, redde het talloze levens. Maar net als CFK's tastte DDT tegelijkertijd onzichtbaar het fundament van het leven aan.

Uiteindelijk bleek wat we niet wisten belangrijker dan wat we wel wisten. Wat we dachten dat de veiligste chemicaliën waren, bleek uiteindelijk een van de gevaarlijkste te zijn. En toen de door Rowland en Molina voorspelde afbraak van de

ozonlaag zich aandienende, overtrof deze veruit het ergste scenario dat atmosferische wetenschappers hadden voorspeld.

[267] De situatie waarmee we geconfronteerd worden leent zich niet voor eenvoudige recepten of simpele antwoorden. Onze huidige economie en beschaving zijn gebouwd op een fundament van fossiele brandstoffen en synthetische chemicaliën. Volgens een schatting van de chemische industrie vormen gechloreerde synthetische chemicaliën en de producten die daarvan gemaakt worden vijfenveertig procent van het BNP van de wereld. Als het vijftig jaar heeft geduurd om ons in dit dilemma te werken, dan zal het bijna zeker net zo lang of langer duren om er weer uit te komen.

Als we naar de toekomst kijken en nadenken over het uitzetten van een nieuwe koers, is het cruciaal om te beginnen met een heldere kijk op onze situatie. Zoals de ervaring van de afgelopen halve eeuw heeft aangetoond, is er geen manier om grote hoeveelheden door de mens gemaakte chemicaliën in het milieu te brengen zonder onze kinderen en onszelf bloot te stellen aan onbekende risico's. Veel van deze synthetische verbindingen kunnen wel eens gevaarlijk blijken te zijn. Veel van deze synthetische verbindingen kunnen onschadelijk blijken, maar andere misschien niet. We moeten onder ogen zien dat er geen manier is om de veiligheid van synthetische chemicaliën te garanderen, zelfs niet die chemicaliën die al tientallen jaren op de markt zijn. CFK's werden al vijftig jaar op grote schaal gebruikt voordat het gat in de ozonlaag boven Antarctica werd ontdekt. De tijd die verstrijkt voordat effecten optreden in grote, complexe

systemen kan een vals gevoel van veiligheid geven en de kans op een ramp vergroten.

We moeten ons blijven realiseren dat we ondanks alle vooruitgang in de wetenschap nog steeds slechts een zeer algemeen begrip hebben van de levenssystemen waarmee we experimenteren - of dat nu ons eigen lichaam is of de atmosfeer van de aarde. Toen de CFK's werden uitgevonden, begrepen wetenschappers nog niets van de ozonlaag of het belang ervan voor de bescherming van de aarde tegen ultraviolette straling. Dat kwam drie jaar later door het werk van een Britse wetenschapper, Sydney Chapman. DDT en andere hormoonversturende chemicaliën waren al twee decennia op de markt voordat onderzoekers de mysteries van de hormoonreceptoren begonnen te doorgronden en zelfs nog langer voordat ze ontdekten dat synthetische chemicaliën hormonen konden nabootsen en die receptoren konden activeren.

Uiteindelijk komen de risico's waarmee we geconfronteerd worden voort uit deze kloof tussen onze technologische bekwaamheid en ons begrip van de systemen die het leven ondersteunen. We ontwerpen nieuwe technologieën in een duizelingwekkend tempo en zetten ze op ongekennde schaal in over de hele wereld, lang voordat we de mogelijke impact ervan op het wereldwijde systeem of onszelf kunnen bevatten. [268] We zijn stoutmoedig vooruit gegaan, zonder ooit de gevaarlijke onwetendheid in het hart van de onderneming te erkennen.

Zulke arrogante aanmatiging is misschien een onuitroeibaar deel van de menselijke natuur. De oude Grieken noemden

het hubris. Doorheen de geschiedenis van de mensheid hebben mensen het onbekende geriskeerd en zowel succes als catastrofe op de koop toe genomen. Wat nu anders is, is de inzet, de omvang van mogelijke fouten. Onze activiteiten betreffen niet langer slechts één dorp en zijn buurman, één vallei of de volgende. De schaal van menselijke activiteiten betekent dat deze experimenten de hele planeet aangaan.

Terwijl we naar de toekomst racen, mogen we nooit de fundamentele realiteit van onze situatie vergeten: we vliegen blind. Ons dilemma is als dat van een vliegtuig dat door de mist raast zonder kaart of instrumenten. In plaats van een betrouwbaar radarsysteem, turen wetenschappers door het raampje van de cockpit om ons te waarschuwen voor obstakels. En meestal is het enige wat ze kunnen zeggen dat de donkere massa die in zicht komt misschien een wolkenbank is. Maar het kan ook een berg zijn.

Dus wat doen we? Het vliegtuig zo snel mogelijk landen, vertragen, of op volle snelheid verder gaan omdat het ongelooftijd duur en verstorend zou zijn om deze reis te annuleren?

Dit soort vragen stelt zich vandaag de dag als we worstelen met de gevolgen van ons experiment van een halve eeuw met synthetische chemicaliën. Wanneer we geconfronteerd worden met een verontrustend milieuprobleem, is de eerste impuls om een panel van experts samen te stellen in de hoop dat zij ons het juiste antwoord kunnen geven. Wetenschappers kunnen zeker begeleiding van onschatbare waarde bieden, zoals het werk dat in dit boek wordt beschreven ruimschoots aantoon. Maar wetenschap alleen heeft niet altijd

het antwoord.

Beslissen over een verstandige koers houdt een heleboel overwegingen en vooral waardeoordelen in. Het is niet alleen een kwestie van de kwaliteit van de wetenschap die het probleem beschrijft, maar ook van hoe we de risico's zien en hoeveel risico we bereid zijn te nemen. Zet het gemak dat hormoonverstorende kunststoffen in het menselijk leven brengen af tegen de risico's die ze met zich meebrengen. Als het alleen gaat om de overleving van een enkele meeuwenkolonie, kan het verstandig zijn om verder wetenschappelijk onderzoek af te wachten voordat we ons gaan inspannen om de blootstelling te verminderen. Als het aan de andere kant gaat om een afname van het aantal zaadcellen bij mensen, kan het verstandig zijn om onmiddellijk te handelen in plaats van af te wachten of de neerwaartse trend zich voortzet.

[269] Het uitfaseren van hormoonverstorende chemicaliën zou volgens ons slechts de eerste stap moeten zijn. Vervolgens moeten we het grotere experiment met synthetische chemicaliën afremmen. Dit betekent eerst de introductie van duizenden nieuwe synthetische chemicaliën per jaar inperken. Het betekent ook dat we het gebruik van pesticiden zoveel mogelijk moeten terugdringen, want deze stoffen zijn van nature biologisch actief en elk jaar worden miljarden kilo's opzettelijk in het milieu geloosd.

Maar deze stappen hebben alleen betrekking op de problemen waarvan we een flauw vermoeden hebben. Ze helpen helemaal niet bij de volgende generatie verrassingen, de volgende onverwachte resultaten van onze massale verande-

ringen van het planetenstelsel. In dit licht werpen de eroderende ozonlaag en het dalende aantal zaadcellen donkere schaduwen over de menselijke toekomst. Ze confronteren ons met de onvermijdelijke vraag of we helemaal moeten stoppen met het produceren en vrijgeven van synthetische chemicaliën. Er is geen pasklaar antwoord of aanbeveling. De tijd is echter gekomen om stil te staan en eindelijk de ethische vragen te stellen die over het hoofd zijn gezien in de haast van de twintigste eeuw. Is het juist om de atmosfeer van de aarde te veranderen? Is het juist om de chemische omgeving in de baarmoeder voor elk ongebooren kind te veranderen?

Het is noodzakelijk dat mensen als wereldgemeenschap serieus nadenken over deze vraag en een brede discussie beginnen die veel verder reikt dan de gebruikelijke deelnemers - chemische bedrijven, overheidsinstanties, boeren, economen, wetenschappers en milieugroeperingen. Bij deze discussie moeten leraren en ouders betrokken worden, artsen en filosofen, kunstenaars en historici, spirituele leiders zoals de paus en de Dalai Lama, en anderen die de rijkdom en diversiteit van de menselijke ervaring en wijsheid weerspiegelen.

Op een meer praktisch front moeten we onderzoeken of het mogelijk is om het wereldwijde experiment te beëindigen zonder af te zien van synthetische chemicaliën. Zijn er principes voor het ontwerp en gebruik van chemische stoffen die ons het voordeel van innovatieve materialen zouden geven zonder onnodige blootstelling en risico's? Gezien de torenhoge menselijke bevolking en een ontmoedigende agenda

van wereldwijde milieuproblemen, lijkt het onmogelijk om de klok een halve eeuw terug te zetten en terug te keren naar een materiaalhorizon die begrensd wordt door hout, staal en glas. [270] Tegelijkertijd moet zo'n verkenning altijd in gedachten houden dat het onmogelijk is om vervelende verrassingen te voorzien. Het doel moet daarom zijn om de blootstelling van mens en milieu tot een absoluut minimum te beperken. Hoe synthetische chemicaliën passen in een duurzame, gezonde toekomst is nog onduidelijk.

Het is nog te vroeg om de precieze weg te beschrijven, maar het is wel mogelijk om de richting van deze reis aan te geven. De afgelopen halve eeuw heeft de handel in goedkope, overvloedige synthetische chemicaliën de landbouw, industriële processen, economieën en samenlevingen gevormd. De grote volksverhuizing van Amerikanen naar de broeierige zonstreek is ondenkbaar zonder de CFK's die het mogelijk maakten om huizen, auto's en openbare gebouwen van airconditioning te voorzien. Op dezelfde manier heeft de nieuwe generatie synthetische pesticiden die na de Tweede Wereldoorlog op de markt kwam, geholpen en bijgedragen aan de groei van gespecialiseerde industriële landbouw die uitsluitend afhankelijk was van een chemisch arsenaal voor ongediertebestrijding en landbouwpraktijken zoals vruchtwisseling, zorgvuldig getimede beplanting of andere methoden om insecten in bedwang te houden, overboord gooide. Het chemische tijdperk heeft producten, instellingen en culturele houdingen gecreëerd die synthetische chemicaliën nodig hebben om in stand te blijven.

De reis naar een andere toekomst moet beginnen met het an-

ders definiëren van het probleem dan we tot nu toe hebben gedaan. In het algemeen beperkt de manier waarop een probleem wordt gedefinieerd de oplossingen meer dan een gebrek aan vindingrijkheid of technologie. De taak is niet om vervangers te vinden voor chemicaliën die hormonen verstoren, de ozonlaag aantasten of nog onontdekte problemen veroorzaken, hoewel het nodig kan zijn om vervangers te gebruiken als tijdelijke maatregel. De taak waar we de komende halve eeuw voor staan is er een van herontwerp. Toen we door de uitbanning van CFK's gedwongen werden om het gebruik van oplosmiddelen bij de productie van elektronische schakelingen te heroverwegen, vond een onderzoek in de Verenigde Staten een manier om CFK's of andere oplosmiddelen overbodig te maken door het soldeerproces opnieuw te ontwerpen. In navolging van dergelijke voorbeelden moeten we niet alleen gazons, voedselverpakkingen en wasmiddelen herontwerpen, maar ook de landbouw, industrie en andere institutionele regelingen die zijn voortgekomen uit het chemische tijdperk. We moeten betere, veiligere, slimmere manieren vinden om te voorzien in de menselijke basisbehoeften en, waar mogelijk, in de menselijke verlangens. Dit is de enige manier om uit het experiment te stappen.

[271] Terwijl we werken aan een toekomst waarin kinderen geboren kunnen worden zonder chemische besmetting, zullen onze wetenschappelijke kennis en technologische expertise van cruciaal belang zijn. Niets zal echter belangrijker zijn voor het welzijn en de overleving van de mens dan de wijsheid om te beseffen dat hoe groot onze kennis ook is,

onze onwetendheid ook enorm is. In deze onwetendheid hebben we enorme risico's genomen en onbedoeld gegokt met overleven. Nu we beter weten, moeten we de moed hebben om voorzichtig te zijn, want er staat veel op het spel. Dat, en nog veel meer, zijn we onze kinderen verschuldigd.

EPILOOG

VOOR PAPERBACK EDITIE

Het wetenschappelijke detectiveverhaal dat in onze gestolen toekomst wordt verteld, ontvouwt zich steeds sneller. Met zijn toenemende bekendheid heeft de hypothese van hormoonontregeling een groot aantal studies, rapporten en wetenschappelijke evaluaties geïnspireerd, die verschillende aspecten van deze complexe kwestie onderzoeken. Elke maand verschijnen er nieuwe wetenschappelijke artikelen en sinds de voltooiing van dit boek heeft een aantal belangrijke bijdragen geleverd aan de wetenschappelijke zaak. Deze studies hebben sommige vragen beantwoord en nieuwe opgeworpen, maar in hun gezamenlijke gewicht ondersteunen ze de bezorgdheid dat relatief lage niveaus van basislijnbesmetting die door grote delen van de menselijke bevolking worden ervaren, de prenatale ontwikkeling kunnen ondermijnen en schadelijk kunnen zijn voor kinderen.

Niets in het nieuwe bewijsmateriaal tot nu toe heeft het argument dat op deze pagina's naar voren is gebracht fundamenteel veranderd of in twijfel getrokken. Naarmate wetenschappers de beschikbare gegevens over de menselijke gezondheid nauwkeuriger bestuderen, ontdekken ze meer tekenen van schade bij kinderen die parallel lopen met de effecten die in laboratoriumexperimenten en bij in het wild le-

vende dieren zijn gerapporteerd. Dit recente werk heeft de kwetsbaarheid van de hersenen en het immuunsysteem benadrukt, die minstens zo gevoelig als het voortplantingssysteem lijken te zijn voor prenatale verstoring door verontreinigende stoffen, zo niet nog gevoeliger.

In mei 1996 waarschuwde een groep internationale experts dat hormoonverstorende chemicaliën - op het niveau dat in het milieu en bij mensen wordt aangetroffen - een bedreiging vormen voor de ontwikkeling van de hersenen en riep op tot een internationale onderzoeksinspanning om dit gevaar te onderzoeken. [273] Deze waarschuwing kwam voort uit een wetenschappelijke evaluatie in Erice, Sicilië, waaraan achttien vooraanstaande wetenschappers deelnamen uit verschillende disciplines met betrekking tot het zenuwstelsel, de ontwikkeling van de hersenen en gedrag. In een consensusverklaring, gemodelleerd naar de Wingspread Statement uit 1991, benadrukten de deelnemende wetenschappers de extreme gevoeligheid van de zich ontwikkelende hersenen voor chemische verstoring en het gevaar van permanente schade bij kinderen die zich kan uiten als verminderde intelligentie, leerstoornissen, aandachtstekortproblemen en een intolerantie voor stress.

De groep, die bestond uit wetenschappers van zowel federale agentschappen als academische onderzoekers, uitte nog meer zorgen over de bredere maatschappelijke implicaties van een dergelijke verstoring. "Wijdverspreid verlies van deze aard kan het karakter van menselijke samenlevingen veranderen of populaties van wilde dieren destabiliseren. Omdat kleine verschuivingen in het functionele potentieel

op populatieniveau verstreckende economische en sociale gevolgen hebben, is het noodzakelijk om de niveaus van verontreinigende stoffen in mensen, dieren en het milieu die in verband worden gebracht met de verstoring van het zenuwstelsel en het endocriene systeem te controleren en de productie en afgifte ervan te verminderen.

Volgens deze experts is de lijst van chemische stoffen die de chemische boodschappen kunnen verstoren die van vitaal belang zijn voor de normale ontwikkeling van de hersenen en het zenuwstelsel, onvolledig, maar hij bevat bekende verstoorders als dioxines, PCB's, sommige weekmakers en veel pesticiden. Omdat dioxines en PCB's de normale werking van de schildklier aantasten, die een sleutelrol speelt in de ontwikkeling van de hersenen, verklaarde de groep dat ze vermoedden dat deze vervuilende stoffen “bijdragen aan leerstoornissen, inclusief aandachtstekortstoornis met hyperactiviteit en misschien andere neurologische afwijkingen”.

Vier maanden later, in september 1996, voegde een nieuw artikel in het New England Journal of Medicine nog meer urgentie toe aan deze waarschuwing, omdat het blijvende intellectuele stoornissen documenteerde bij kinderen die in de baarmoeder aan PCB's waren blootgesteld. Meer dan tien jaar geleden begonnen Joseph en Sandra Jacobson met een onderzoek waarin ze onderzochten of de consumptie van vis uit Lake Michigan door een moeder, die hoge concentraties PCB's en andere door de mens gemaakte verontreinigingen bevat, enig effect had op haar kinderen. Zoals we in hoofdstuk 9 hebben besproken, vonden ze meetbare verliezen in motorische coördinatie, kortetermijngeheugen en verbale

vaardigheden toen ze de ontwikkeling volgden van de kinderen van vrouwen die twee of drie keer per maand vis hadden gegeten in de zes jaar voorafgaand aan de zwangerschap. Recentelijk, toen 212 kinderen in het onderzoek elf jaar oud waren, gaven de Jacobsons hen een reeks IQ- en prestatietests en vergeleken de resultaten met de niveaus van PCB's die werden aangetroffen in het bloed en de melk van de moeder ten tijde van de geboorte van het kind. [274] De resultaten, gepubliceerd in de New England Journal, tonen het bewijs van een hardnekkige, meetbare intellectuele beperking, die niet is verholpen door omgeving of opvoeding. Degenen die blootgesteld waren aan hogere PCB-niveaus vertoonden “tekorten in algemeen intellectueel vermogen, kortetermijn- en langetermijngeheugen, en gerichte en volgehouden aandacht”. De meest blootgestelde groep had een verlies van 6,2 punten in IQ. Ze hadden drie keer zoveel kans op lage gemiddelde IQ-scores en twee keer zoveel kans op een achterstand van minstens twee jaar in begrip en lezen.

Zoals de Jacobsons opmerken, waren de PCB-niveaus die deze vrouwen droegen “vergelijkbaar met of iets boven het algemene populatieniveau in de Verenigde Staten.” Ze benadrukken ook dat de implicaties van hun bevindingen niet beperkt zijn tot kinderen van vrouwen die vis uit het Michiganmeer eten. “Vrouwen die geen vis eten, kunnen deze stoffen ook via andere voedselbronnen binnenkrijgen, waaronder zuivelproducten, zoals kaas en boter, en vet vlees, met name rund- en varkensvlees.

Een ander moeder-kind onderzoek in Nederland heeft verder

aangetoond dat typische achtergrondniveaus van PCB's bij vrouwen een klein maar meetbaar negatief effect hebben op de ontwikkeling van kinderen. In dit onderzoek vergeleken de onderzoekers de scores van een kind op psychomotorische ontwikkelingstests met de PCB-niveaus in het bloed van de moeder tijdens de laatste maand van de zwangerschap en ontdekten dat de kinderen van vrouwen met hogere PCB-niveaus achterbleven in tests die op de leeftijd van drie maanden werden afgenomen.

Nederlandse kinderonderzoekers voerden ook een verkennende studie uit naar een andere vorm van onzichtbare schade - veranderingen in het immuunsysteem die verband houden met blootstelling aan PCB's en dioxine voor en rond de geboorte. Ook hier richtte de studie zich op kinderen die gebombardeerd werden door vrouwen met typische achtergrondniveaus van deze verontreinigende stoffen. De onderzoekers vonden kleine afwijkingen in het zich ontwikkelende immuunsysteem van de baby's die, hoewel ze niet groot genoeg zijn om meer ziekte te veroorzaken tijdens de kindertijd, kunnen blijven bestaan en een voorbode zijn van latere problemen, zoals immuunsuppressie, allergieën en auto-immuunziekten.

In het afgelopen jaar hebben twee afzonderlijke beoordelingsinspanningen ook uitdrukking gegeven aan de groeiende bezorgdheid over de gevaren voor het immuunsysteem die weinig aandacht krijgen in chemische testen en regulering. Een in augustus 1996 gepubliceerde consensusverklaring van een wetenschappelijke vergadering over de chemische bedreigingen voor het immuunsysteem, gehouden in

Wingspread, concludeerde: [275] “Er bestaat een potentieel voor wijdverspreide immunotoxiciteit bij mensen en in het wild levende diersoorten door het wereldwijde gebrek aan geschikte beschermende normen....”. Het risico van blootstelling aan bekende immunomodulators is voldoende om een regelgevende aanpak te rechtvaardigen die de blootstelling zou beperken.” In een rapport van maart 1996 van het World Resources Institute beoordelen Robert Repetto en Sanjay Baliga talrijke studies die aantonen dat veel pesticiden het immuunsysteem beschadigen en concluderen “bestaande bewijzen van een aanzienlijk wereldwijd risico voor de volksgezondheid rechtvaardigen zowel grotere inspanningen om de blootstelling aan pesticiden te verminderen als veel uitgebreider onderzoek naar door pesticiden veroorzaakte immunosuppressie en de gevolgen daarvan voor de gezondheid”.

Geen enkel aspect van het uitgebreide wetenschappelijke bewijs dat in *Our Stolen Future* wordt besproken, heeft meer media-aandacht gekregen dan de controversiële berichten van de afgelopen vier jaar over afnemende spermatellingen. De kwestie van de trends in het aantal zaadcellen is inderdaad verontrustend en fascinerend, maar de intense aandacht voor deze ene kwestie heeft helaas het uitgebreide wetenschappelijke bewijsmateriaal dat in dit boek is verzameld en de grotere bezorgdheid over diverse gevaren die voortkomen uit veranderde hormoonspiegels tijdens de vroege ontwikkeling, verdoezeld. Verminderde spermacellen zijn slechts één soort voortplantingseffecten die zijn gedocumenteerd in proefdierstudies en één mogelijk gevaar voor men-

sen. Bovendien is het voortplantingssysteem één van de vele doelwitten van ontwikkelingsstoornissen. Binnen dit bredere beeld zijn meldingen van afnemende spermatellingen bij mensen slechts één element in een complex en cumulatief patroon van bewijs dat de hypothese van hormoonontregeling ondersteunt.

Het is dan ook niet verrassend dat met de publicatie van nieuwe onderzoeken, de kwestie van trends in het aantal zaadcellen complexer is geworden. In de tijd sinds dit boek klaar is, is er nog een grote studie verschenen die dalende spermatellingen rapporteerde, deze van Schotse onderzoekers, terwijl twee Amerikaanse studies meldden dat de spermatellingen in vier steden aan de westkant van de Atlantische Oceaan stabiel leken te blijven.

De Schotse studie, gepubliceerd in het *British Medical Journal* in februari 1996, rapporteerde een sterke afname van het aantal zaadcellen over een periode van twintig jaar. Er werd ook vastgesteld dat het verlies hetzelfde opvallende patroon volgt dat in drie eerdere onderzoeken werd gerapporteerd - mannen die later in de eeuw zijn geboren hebben een lager aantal zaadcellen en hun sperma is van slechtere kwaliteit. Schotse mannen geboren in de jaren 1970 hadden 24 procent minder beweeglijk (actief zwemmend) sperma in hun spermamonsters dan mannen geboren in de jaren 1950. [276] In dezelfde periode daalde de spermaconcentratie met 2,1 procent per jaar met een later geboortejahr.

De twee Amerikaanse onderzoeken vonden daarentegen geen afname van het aantal zaadcellen in New York, Minneapolis, Los Angeles en Seattle. Er werden echter wel opval-

lende verschillen tussen deze steden gevonden, waarbij de waarden in New York meer dan twee keer zo hoog waren als in Los Angeles.

Alles bij elkaar geven deze nieuwe onderzoeken aan dat geografische variatie een belangrijk onderdeel van dit verhaal is. Waarom hebben mannen in Los Angeles minder dan de helft van het sperma van mannen in New York? Waarom daalt het aantal zaadcellen in Edinburgh, Parijs en Brussel, maar niet in Minneapolis of op het platteland van Finland?

Helaas werden deze en aanverwante vragen slecht behandeld in veel mediaverslagen over het grote spermateldebat. Om de een of andere reden suggereerden Amerikaanse nieuwsberichten dat er geen probleem en geen reden tot zorg was, omdat het aantal zaadcellen in de paar onderzochte Amerikaanse steden naar verluidt niet daalde - een conclusie die voorbijgaat aan de uitgebreide Europese gegevens. In feite zijn de resultaten van de Amerikaanse steden niet in tegenspraak met het Europese onderzoek, omdat het geen tegenstrijdige bevindingen zijn over mannen die wonen in de plaatsen die in de Europese studies worden genoemd. Ze laten hooguit een inconsistentie zien in spermatrends op verschillende plaatsen. De blootstelling van mensen aan vervuilende stoffen verschilt aanzienlijk van plaats tot plaats, afhankelijk van luchtstromingen, watertoevoer, de nabijheid van landbouwgebieden of industriële centra en een groot aantal andere factoren. Men zou dus enige geografische variatie verwachten als synthetische chemicaliën het aantal zaadcellen beïnvloeden. De geografische patronen kunnen aanwijzingen geven voor epidemiologen die probe-

ren te achterhalen waarom het aantal zaadcellen op sommige plaatsen lijkt af te nemen en op andere niet. De Deense voortplantingsonderzoeker Niels Skakkebaek merkte op dat het aantal gevallen van zaadbalkanker en genitale afwijkingen toenam terwijl het aantal zaadcellen daalde, wat hem tot de theorie bracht dat dit alles het gevolg zou kunnen zijn van prenatale hormoonverstoring. Samen met de resultaten van het aantal zaadcellen kunnen deze patronen belangrijke aanwijzingen geven over wat er verantwoordelijk is voor de uitgesproken regionale verschillen en voor de zorgwekkende neerwaartse trends die zijn gemeld.

De berichtgeving in de pers negeerde ook belangrijke methodologische verschillen tussen de onderzoeken, waarbij een fundamentele zwakte van de Amerikaanse onderzoeken in New York, Minneapolis en Los Angeles niet werd opgemerkt. Deze studie was gebaseerd op mannen die vrijwillig een vasectomie hadden ondergaan - een groep waarvan uit andere studies bekend is dat ze een hoger dan gemiddeld aantal zaadcellen hebben en niet representatief zijn voor de bevolking in het algemeen. [277] De Schotse studie daarentegen vermeed deze vooringenomenheid door mannen uit de algemene bevolking te rekruteren.

Om de kwestie van de afname van sperma op een andere manier aan te pakken, biedt een recente laboratoriumstudie op ratten nieuwe feitelijke ondersteuning voor verbanden tussen prenatale blootstelling aan oestrogene verbindingen en het aantal zaadcellen op volwassen leeftijd. In dit experiment gaf een team van Britse onderzoekers, waaronder bekende figuren op dit gebied als Richard Sharpe en John

Sumpter, zwangere ratten water met het synthetische oestrogeen DES en twee veelvoorkomende oestrogene chemicaliën die in het milieu worden aangetroffen -octylfenol, een afbraakproduct van wasmiddelen, en butylbenzylftalaat, een weekmaker die veel in het milieu wordt aangetroffen. Om de mogelijke relevantie voor mensen te onderzoeken, dienden de onderzoekers lage doses toe aan de ratten tijdens hun zwangerschap en gedurende de eenentwintig dagen dat ze borstvoeding gaven aan hun pups. Octylfenol en butylbenzylftalaat produceerden effecten die vergelijkbaar waren met DES, en mannetjes die op jonge leeftijd aan deze oestrogene chemicaliën werden blootgesteld hadden kleinere testikels en een verminderde spermaproductie van maar liefst 21 procent toen ze volwassen waren. Dit is een belangrijke bevinding, maar deze is nog niet bevestigd in een herhaling van het experiment.

Onderzoeken naar de menselijke gezondheid vergroten ook de bezorgdheid dat de verontreinigingsniveaus in het milieu voldoende zijn om schade aan te richten. Een onderzoek in Minnesota vond een aantal sterke aanwijzingen voor een verband tussen blootstelling aan pesticiden en geboortefwijkingen in de landbouwgebieden van die staat en wees specifiek verschillende hormoonontregelende verbindingen, waaronder het herbicide 2.4-D, aan op hogere percentages afwijkingen zoals urogenitale afwijkingen. Volgens de gegevens die verzameld en geanalyseerd zijn door het team onder leiding van Vincent Garry van het laboratorium voor milieugeneeskunde en pathologie van de Universiteit van Minnesota, komen hogere percentages aangeboren afwijkingen

niet alleen voor bij kinderen van boeren, die pesticiden toepassen en op het werk direct aan de chemicaliën worden blootgesteld, maar ook bij kinderen van gezinnen die in overwegend agrarische regio's in de staat wonen waar fungiciden en herbiciden met chloorfenoxy het meest worden gebruikt. Kinderen die in de lente worden verwekt, wanneer routinematig herbiciden worden toegepast, lopen een bijzonder risico op geboortefwijkingen, zo bleek uit het onderzoek. Een andere intrigerende bevinding van de onderzoekers is dat geboortefwijkingen veel vaker voorkomen bij mannelijke nakomelingen van mensen die pesticiden gebruiken dan bij de bevolking in het algemeen. [278] Een van de meest opmerkelijke aspecten van deze studie is de hoge frequentie van de geboortefwijkingen die wordt gerapporteerd. Bij kankereffecten is een frequentie van één op een miljoen aanleiding voor regulering. Gany's studie toont aan dat geboortefwijkingen bij kinderen van mensen die pesticiden gebruikten in gebieden waar veel pesticiden werden gebruikt, toenamen met ten minste één per honderd - een percentage dat tienduizend keer hoger ligt dan de federale drempel voor kankerverwekkende effecten.

Er duiken ook alarmerende misvormingen op bij kikkers in heel Minnesota, maar ook in Wisconsin, South Dakota, Californië, Vermont, Kansas, Missouri en de vallei van de St. Lawrence rivier in Quebec. Sinds de eerste melding in augustus 1995 hebben onderzoekers in Minnesota op meer dan honderd plaatsen grotesk misvormde kikkers gevonden. Bij één dier sprongen er vier poten uit de maag; bij een ander dier groeide er een poot uit de nek. De meest bizarre was

misschien wel een kikker met een oog in zijn bek. De dieren lijken het slachtoffer te zijn van iets dat de normale ontwikkeling ernstig heeft verstoord. Hoewel wetenschappers een aantal theorieën onderzoeken, waaronder verstoring door parasieten of een bacteriële of virale ziekte, blijven pesticiden en synthetische chemicaliën de belangrijkste verdachten. Zoals we in hoofdstuk 9 hebben besproken, lopen kikkers vanwege hun waterleven en doorlaatbare huid een bijzonder risico.

Nieuw onderzoek heeft ook de controversiële argumenten onderzocht die door de industrie gefinancierde voorstanders en wetenschappers na de publicatie van het boek naar voren brachten, namelijk dat de invloed van synthetische hormoonverstoorders triviaal is vergeleken met de veel grotere hoeveelheden oestrogene verbindingen die mensen tegenkomen in voedingsmiddelen zoals sojabonen, zonnebloempitten en luzernescheuten. Het belang van plantaardige oestrogenen in de totale blootstelling van mensen aan hormoonverstorende stoffen is een legitieme vraag, die we in hoofdstuk 5 in detail hebben onderzocht. Maar eenvoudige vergelijkingen tussen tofu en DDT doen geen recht aan de complexe wetenschap die aan deze kwestie ten grondslag ligt, of zelfs aan de relatief eenvoudige constatering dat door de mens gemaakte verbindingen zoals DDT, dioxine en PCB's veel persistenter zijn in het menselijk lichaam dan plantaardige oestrogenen.

Een nieuwe studie van onderzoekers van Tulane University en de Universiteit van Florida levert extra bewijs dat sommige natuurlijke en synthetische oestrogenen verschillen in

een ander uiterst belangrijk opzicht - hun vermogen om het natuurlijke afweersysteem van het lichaam te omzeilen. Bij een zwangere vrouw zorgt de bindende werking tussen speciale bloedproteïnen en oestrogenen ervoor dat het grootste deel van het hormoon dat in het bloed circuleert wordt vastgehouden, waardoor foetussen worden beschermd tegen overmatige blootstelling aan oestrogenen in de baarmoeder. [279] Zoals we in hoofdstuk 5 hebben opgemerkt, vermoeden sommige onderzoekers dat mensen een bepaalde verdediging tegen plantaardige oestrogenen hebben verworven door hun lange evolutionaire ervaring met dergelijke stoffen in voedsel. Tegelijkertijd toonden onderzoeken naar DES aan dat deze beschermende eiwitten zich niet binden aan dit synthetische oestrogeen, waardoor de vrees ontstond dat het lichaam ook weerloos zou zijn tegen andere door de mens gemaakte oestrogene verbindingen.

Met behulp van een genetisch gemanipuleerde screeningmethode waarbij menselijke oestrogeenreceptoren in gistcellen worden geïmplanteerd, onderzochten de onderzoekers onder leiding van John McLachlan van Tulane en Louis Guillette van de Universiteit van Florida de belangrijke vraag of de natuurlijke afweer van het lichaam ook plantaardige oestrogenen en door de mens gemaakte oestrogenen herkent. Een verminderde oestrogeenrespons zou erop wijzen dat de beschermende eiwitten zich binden met de oestrogene verbindingen en ze inactiveren.

Het team van McLachlan ontdekte dat de bloedproteïnen wel bescherming bieden tegen de plantaardige oestrogenen die ze testten, maar geen bescherming lijken te bieden tegen

de door de mens gemaakte oestrogenen die in het experiment werden gebruikt. Als commentaar op deze specifieke resultaten merkte het team op dat "fyto-oestrogenen binden ... met een hogere affiniteit dan synthetische oestrogenen, wat suggereert dat mensen een mechanisme hebben ontwikkeld om zichzelf te beschermen tegen voortdurende blootstelling aan fyto-oestrogenen. Aan de andere kant wijst het relatieve onvermogen van synthetische oestrogenen om te binden ... op een mogelijk fundamenteel verschil in de interactie van oestrogenen van verschillende bronnen met deze eiwitten."

Deze experimenten hebben geenszins de algemene vraag opgelost of evolutionaire ervaring bescherming biedt tegen alle plantaardige oestrogenen. De gevolgen voor de voortplanting van blootstelling van de foetus aan sommige plantaardige stoffen zijn welbekend, zoals besproken in hoofdstuk 5, dus het lijkt onwaarschijnlijk dat het zal neerkomen op een eenvoudige zaak dat alle plantaardige oestrogenen worden geblokkeerd en alle synthetische oestrogenen niet. Voortdurend onderzoek naar deze kwestie zal ongetwijfeld een veel complexer beeld aan het licht brengen met betrekking tot natuurlijke afweerstoffen en gevaren. Een belangrijk deel van het lopende onderzoek zal onderzoeken waarom bloedproteïnen effectief zijn tegen sommige stoffen, maar niet tegen alle. Hoewel deze nieuwe resultaten nog lang niet het laatste woord hebben, weerleggen ze wel de bewering dat de aanwezigheid van plantaardige oestrogenen in de menselijke voeding voldoende reden is om de bezorgdheid over synthetische verbindingen weg te nemen.

Dat is het duidelijk niet.

[280] Met een artikel gepubliceerd in Science in juni 1996, benadrukten McLachlan en zijn team ook de mogelijkheid van zeer onvoorspelbare interacties tussen synthetische chemicaliën. Zoals opgemerkt in hoofdstuk 8, bestaat er solide wetenschappelijk bewijs dat kleine, schijnbaar onbeduidende hoeveelheden van individuele oestrogene chemicaliën samen kunnen werken en additieve effecten kunnen veroorzaken. Wetenschappers hebben ook verschillende soorten synergie gerapporteerd waarbij een mengsel van twee chemische stoffen veel krachtiger is dan de individuele verbindingen.

Het opvallende aan deze nieuwe bevindingen met dezelfde gistscreeningmethode is niet het bestaan van synergetische effecten, maar de gerapporteerde omvang ervan. Tests met individuele kleine doses van de oestrogene pesticiden dieldrin, toxafeen, endosulfan en chloordaan leverden weinig of geen effect op, maar wanneer twee chemicaliën werden gecombineerd, werd de reactie krachtig versterkt. Als verdere experimenten deze bevindingen bevestigen, zal deze studie ongetwijfeld diepgaande implicaties hebben voor de regulatie van chemische stoffen, die nu afzonderlijk worden besproken.

Terwijl nieuwe onderzoeken zich opstapelen over synergie, plantaardige oestrogenen, het aantal zaadcellen, urogenitale geboortefwijkingen, effecten op het immuunsysteem en neurologische gevaren, getuigen ze van het feit dat hormoonontregeling geen vluchtige angst is. Dit is een blijvend probleem en het is belangrijk voor het menselijk vooruit-

zicht.

In *Our Stolen Future* stelden we een aantal ontmoedigende vragen, wetende dat het nog niet mogelijk is om ze allemaal te beantwoorden. We zijn blij dat het boek en de controverse eromheen het onderzoek hebben gestimuleerd. We verwachten dat de nieuwe wetenschap die zich aandient, het scala aan aannemelijke gevolgen zal verbreden en het begrip zal verdiepen van wanneer, waarom en hoe sommige synthetische vervuilende stoffen de ontwikkeling van de foetus verstoren. Het zal waarschijnlijk aantonen dat sommige zorgen minder belangrijk zijn dan andere. Er zullen nog openstaande vragen worden beantwoord: Hoe wijdverspreid is de blootstelling? Wanneer en waarom hebben lage doses onverwacht sterke effecten? Welke factoren bevorderen synergetische interacties? Zijn andere onverwachte bronnen van blootstelling waarschijnlijk? Kan de traditionele risicobeoordeling hormoonverstoring verwerken en zo niet, wat kan deze dan vervangen?

Deze en vele andere vragen blijven voorlopig onbeantwoord. Ook al is de zaak nog niet tot ieders tevredenheid bewezen, toch roepen we op tot voorzichtigheid. De mogelijke gevolgen van wijdverspreide hormoonverstoring zijn immens en onomkeerbaar.

BIJLAGE

DE WINGSPREAD CONSENSUSVERKLARING

Noot van de auteurs: In juli 1991 kwam een groep wetenschappers, waaronder Theo Colborn en Pete Myers, voor het eerst samen om hun bezorgdheid te bespreken over de prevalentie en het effect van hormoonontregelende chemische stoffen in het milieu. Het is opmerkelijk dat wetenschappers uit zoveel verschillende disciplines bij elkaar werden gebracht, maar in de hoop dat hun bijeenkomst een blijvend effect zou hebben, bereikten ze een consensus over de volgende verklaring. We hebben deze hier opgenomen, niet alleen omdat het een beknopt overzicht geeft van het probleem waarmee we te maken hebben, maar ook als uitgangspunt voor wetenschappers, beleidsmakers en betrokken individuen over de richting die onderzoek en overheidsbeleid zouden kunnen inslaan met betrekking tot deze belangrijke kwestie. De wetenschappers die deze consensus hebben ondertekend, staan vermeld aan het eind van de verklaring die volgt. Door deze lijst op te nemen, impliceren we niet dat degenen op de lijst (behalve de huidige auteurs) noodzakelijkerwijs de argumenten of conclusies onderschrijven die elders in dit boek worden gepresenteerd.

Chemisch geïnduceerde veranderingen

in seksuele ontwikkeling: De Wildlife/Menselijke Verbinding

HET PROBLEEM

[282] Veel verbindingen die door menselijke activiteiten in het milieu terecht zijn gekomen, kunnen het endocriene systeem van dieren, waaronder vissen, wilde dieren en mensen, verstoren. De gevolgen van een dergelijke verstoring kunnen ingrijpend zijn vanwege de cruciale rol die hormonen spelen bij het regelen van de ontwikkeling. Vanwege de toenemende en alomtegenwoordige vervuiling van het milieu door verbindingen die een dergelijke werking kunnen hebben, kwam een multidisciplinaire groep deskundigen op 26-28 juli 1991 bijeen in Wingspread, Racine, Wisconsin om te beoordelen wat er over dit onderwerp bekend is: Onder de deelnemers bevonden zich deskundigen op het gebied van antropologie, ecologie, vergelijkende endocrinologie, histopathologie, immunologie, mammalogie, geneeskunde, recht, psychiatrie, psychoneuroendocrinologie, reproductiefysiologie, toxicologie, wildbeheer, tumorbiologie en zoölogie.

De doelen van de bijeenkomst waren

1. het integreren en evalueren van de bevindingen van de verschillende onderzoeksdisciplines met betrekking tot de omvang van het probleem van hormoonontregelaars in het milieu;
2. het identificeren van de conclusies die met vertrouwen uit

- de bestaande gegevens kunnen worden getrokken; en
3. een onderzoeksagenda op te stellen die de resterende onzekerheden in het veld zou verduidelijken.

CONSENSUSVERKLARING

De deelnemers aan de workshop hebben de volgende consensus bereikt.

1). *We zijn zeker van het volgende:*

- Een groot aantal door de mens geproduceerde chemische stoffen die in het milieu zijn terechtgekomen, evenals enkele natuurlijke stoffen, kunnen het endocriene systeem van dieren, waaronder mensen, verstoren. [283] Hiertoe behoren de persistente, bioaccumulerende, organohalogeenvormingen waaronder sommige pesticiden (fungiciden, herbiciden en insecticiden) en industriële chemicaliën, andere synthetische producten en sommige metalen.^Q

*-einde bijlage

- Veel populaties in het wild worden al aangetast door deze verbindingen. De invloeden omvatten schildklierafwijkingen bij vogels en vissen; verminderde vruchtbaarheid bij vogels, vissen, schelpdieren en zoogdieren; verminderd broedsucces bij vogels, vissen en schildpadden; grove misvormingen bij de geboorte bij vogels, vissen en schildpadden; metabole afwijkingen bij vogels, vissen en zoogdieren; gedragsafwijkingen bij vogels; demasculinisatie en feminisatie van mannelijke vissen, vogels en zoogdieren; defeminisatie en masculinisatie van vrouwelijke vissen en vogels; en aangetaste immuunsystemen bij vogels en zoogdieren.

- De effectpatronen variëren naargelang de soort en de samenstelling. Vier algemene punten kunnen niettemin naar voren worden gebracht: (1) de chemische stoffen die aanleiding geven tot bezorgdheid kunnen heel andere effecten hebben op het embryo, de foetus of het perinatale organisme dan op de volwassene; (2) de effecten manifesteren zich meestal bij de nakomelingen, niet bij de blootgestelde ouder; (3) het tijdstip van blootstelling in het zich ontwikkelende organisme is cruciaal voor het bepalen van het karakter en het toekomstig potentieel; en (4) hoewel een kritieke blootstelling plaatsvindt tijdens de embryonale ontwikkeling, kunnen duidelijke manifestaties zich pas voordoen wanneer het organisme volwassen is.
- Laboratoriumstudies bevestigen de abnormale seksuele ontwikkeling die in het veld werd waargenomen en bieden biologische mechanismen om de waarnemingen bij in het wild levende dieren te verklaren.
- Mensen zijn ook beïnvloed door dit soort verbindingen. Het effect van DES (diethylstilbestrol), een synthetisch therapeutisch middel, is net als veel van de hierboven genoemde stoffen oestrogeen. Dochters van moeders die DES gebruikten, hebben nu een verhoogd aantal vaginale adenocarcinomen, verschillende afwijkingen aan de genitaliën, abnormale zwangerschappen en sommige veranderingen in de immuunrespons. Zowel zonen als dochters die in utero werden blootgesteld, ervaren aangeboren afwijkingen van hun voortplantingssysteem en verminderde vruchtbaarheid. De effecten die gezien zijn bij aan DES blootgestelde mensen in utero komen overeen met de effecten die gevonden zijn bij besmette wilde dieren en laboratoriumdieren, wat suggereert dat mensen risico lopen

op dezelfde milieugevaren als wilde dieren.

2). *We schatten met vertrouwen dat:*

- Sommige van de ontwikkelingsstoornissen die tegenwoordig bij mensen worden gerapporteerd, worden gezien bij volwassen nakomelingen van ouders die zijn blootgesteld aan synthetische hormoonverstoorders (agonisten en antagonist) die in het milieu zijn vrijgekomen. De concentraties van een aantal synthetische geslachtshormoonagonisten en -antagonisten die tegenwoordig in de Amerikaanse bevolking worden gemeten, liggen ruim binnen het bereik en de doseringen waarbij effecten worden waargenomen in populaties van in het wild levende dieren. Experimentele resultaten worden zelfs al waargenomen aan de lage kant van de huidige milieuconcentraties.
- Tenzij de belasting van het milieu met synthetische hormoonverstorende stoffen wordt verminderd en beheerst, is grootschalig disfunctioneren op populatieniveau mogelijk. De reikwijdte en het potentiële gevaar voor in het wild levende dieren en mensen zijn groot vanwege de waarschijnlijkheid van herhaalde en/of constante blootstelling aan talloze synthetische chemische stoffen waarvan bekend is dat ze hormoonontregelaars zijn.
- Naarmate er meer aandacht komt voor dit probleem, zullen er meer parallellen aan het licht komen tussen onderzoek bij in het wild levende dieren, laboratoriumonderzoek en onderzoek bij de mens.

3). *De huidige modellen voorspellen dat:*

- De mechanismen waardoor deze verbindingen hun effect hebben variëren, maar ze delen de algemene eigenschappen van (1) het nabootsen van de effecten van natuurlijke hormonen door hun bindingsplaatsen te herkennen; (2) het effect van deze hormonen antagoneren door hun interactie met hun fysiologische bindingsplaatsen te blokkeren; (3) direct en indirect reageren met het hormoon in kwestie; (4) door het natuurlijke patroon van de synthese van hormonen te veranderen; of (5) de hormoonreceptorniveaus te veranderen.
- Zowel exogene (externe bron) als endogene (interne bron) androgenen (mannelijke hormonen) en oestrogenen (vrouwelijke hormonen) kunnen de ontwikkeling van de hersenfunctie veranderen.
- Elke verstoring van het endocriene systeem van een zich ontwikkelend organisme kan de ontwikkeling van dat organisme veranderen: meestal zijn deze effecten onomkeerbaar. Veel geslachtsgerelateerde kenmerken worden bijvoorbeeld hormonaal bepaald gedurende een bepaalde periode in de vroege stadia van de ontwikkeling en kunnen worden beïnvloed door kleine veranderingen in de hormoonhuishouding. Er zijn aanwijzingen dat geslachtsgerelateerde kenmerken, eenmaal ingeprent, onomkeerbaar kunnen zijn.
- Effecten op de voortplanting die bij in het wild levende dieren worden gerapporteerd, zouden ook zorgwekkend moeten zijn voor mensen die afhankelijk zijn van dezelfde bronnen, bijvoorbeeld besmette vis. Voedselvis is een belangrijke blootstellingsroute voor vogels. Het vogelmodel voor hormoonontregeling door organochloorverbindingen is tot nu toe het best beschreven model. Het biedt ook on-

dersteuning voor het verband tussen wilde dieren en mensen vanwege overeenkomsten in de ontwikkeling van het endocriene systeem van vogels en zoogdieren.

4). *Er zijn veel onzekerheden in onze voorspellingen omdat:*

- De aard en omvang van de effecten van blootstelling op mensen zijn niet goed vastgesteld. Er is beperkte informatie over de dispositie van deze verontreinigende stoffen binnen de mens, met name gegevens over concentraties van verontreinigende stoffen in embryo's. Dit wordt nog verergerd door het gebrek aan gegevens over de concentratie van verontreinigende stoffen in embryo's. Dit wordt nog verergerd door het gebrek aan meetbare eindpunten (biologische markers van blootstelling en effect) en het gebrek aan multi-generatiele blootstellingsstudies die omgevingsconcentraties simuleren.
- Terwijl er voldoende kwantitatieve gegevens zijn over de vermindering van het voortplantingssucces bij in het wild levende dieren, zijn de gegevens over gedragsveranderingen minder robuust. Het bewijs is echter voldoende om onmiddellijke inspanningen te vragen om deze hiaten in de kennis op te vullen.
- De potentie van veel synthetische oestrogene verbindingen ten opzichte van natuurlijke oestrogenen is niet vastgesteld. Dit is belangrijk omdat de huidige bloedconcentraties van sommige van de stoffen die zorgen baren, hoger zijn dan die van intern geproduceerde oestrogenen. [286].

5). *Ons oordeel is dat:*

- Het testen van producten voor regelgevende doeleinden moet worden uitgebreid met hormonale activiteit in vivo. Er is geen substituuut voor dierstudies voor dit aspect van testen.
- Er zijn screeningtests voor androgeniteit en oestrogeniteit beschikbaar voor verbindingen met directe hormonale effecten. Regelgeving zou moeten vereisen dat alle nieuwe producten en bijproducten worden gescreend op hormonale activiteit. Als het materiaal positief reageert, moeten verdere tests op functionele teratogeniteit (functieverlies in plaats van duidelijke, grove geboortefwijkingen) met behulp van multigenerationele studies verplicht worden gesteld. Dit zou ook moeten gelden voor alle persistente, bioaccumulatieve producten die in het verleden zijn vrijgekomen.
- Het is dringend noodzakelijk om reproductieve effecten en functionele teratogeniteit op de voorgrond te plaatsen bij het evalueren van gezondheidsrisico's. Het kankerparadigma is ontoereikend omdat chemische stoffen ook andere ernstige gezondheidseffecten dan kanker kunnen veroorzaken.
- Er is behoefte aan een uitgebreidere inventarisatie van deze stoffen op het moment dat ze door de handel gaan en uiteindelijk in het milieu terechtkomen. Deze informatie moet toegankelijker worden gemaakt. Dergelijke informatie biedt de mogelijkheid om blootstelling te verminderen door inperking en manipulatie van voedselketens. In plaats van verontreinigende stoffen in water, lucht en land afzonderlijk te reguleren, zouden regelgevende instanties zich moeten richten op het ecosysteem als geheel.

- Het verbieden van de productie en het gebruik van persistente chemicaliën heeft het blootstellingsprobleem niet opgelost. Er zijn nieuwe benaderingen nodig om de blootstelling aan synthetische chemicaliën die zich al in het milieu bevinden te verminderen en het vrijkomen van nieuwe producten met vergelijkbare eigenschappen te voorkomen.
- De gevolgen van blootstelling aan deze verontreinigende stoffen voor in het wild levende dieren en proefdieren zijn zo ingrijpend en verraderlijk dat er een grootschalig onderzoeksinitiatief naar mensen moet worden ondernomen.
- Het algemene gebrek aan bewustzijn van de wetenschappelijke en volksgezondheidsgemeenschappen over de aanwezigheid van hormonaal actieve chemische stoffen in het milieu, functionele teratogeniciteit en het concept van transgenerationele blootstelling moet worden aangepakt. [287] Omdat functiestoornissen bij de geboorte niet zichtbaar zijn en zich mogelijk pas op volwassen leeftijd volledig manifesteren, worden ze vaak gemist door artsen, ouders en de regelgevende instanties en wordt het oorzakelijke agens nooit geïdentificeerd.

6). *Ons voorspellend vermogen verbeteren:*

- Er is meer fundamenteel onderzoek nodig op het gebied van ontwikkelingsbiologie van hormoongevoelige organen. Zo moet bijvoorbeeld worden vastgesteld hoeveel specifieke endogene hormonen nodig zijn om een normale respons op te roepen. Er is behoefte aan specifieke biologische markers van normale ontwikkeling per soort, orgaan en ontwikkelingsstadium. Met deze informatie kunnen niveaus worden vastgesteld die pathologische veranderingen uitlokken.

- Geïntegreerd onderzoek in samenwerkingsverband is nodig om zowel modellen voor wilde dieren als laboratoriummodellen te ontwikkelen voor het extrapoleren van risico's naar mensen.
- De selectie van een verklikkersoort op elk trofisch niveau in een ecosysteem is nodig om functionele tekorten te observeren en tegelijkertijd de dynamiek te beschrijven van een verbinding die zich door het systeem beweegt.
- Er is behoefte aan meetbare eindpunten (biologische markers) als gevolg van blootstelling aan exogene hormoonontregelaars die een reeks effecten op moleculair, cellulair, organisme- en populatieniveau omvatten. Moleculaire en cellulaire markers zijn belangrijk voor het vroegtijdig monitoren van disfunctie. Normale niveaus en patronen van iso-enzymen en hormonen moeten worden vastgesteld.
- Bij zoogdieren zijn blootstellingsbeoordelingen nodig die gebaseerd zijn op de lichaamsbelasting van een chemische stof die de concentratie van een chemische stof in een eicel (ovum) beschrijft die geëxtrapoleerd kan worden naar een dosis van de chemische stof voor het embryo, de foetus, de pasgeborene en de volwassene. Er zijn gevaarsevaluaties nodig die in het laboratorium herhalen wat in het veld wordt waargenomen. Vervolgens moet er in het laboratorium een gradiënt van doses voor bepaalde reacties worden bepaald en vervolgens vergeleken worden met blootstellingsniveaus in populaties in het wild.
- Er is meer beschrijvend veldonderzoek nodig om de jaarlijkse instroom te verklaren van migrerende soorten in gebieden waarvan bekend is dat ze vervuild zijn en die sta-

biele populaties lijken te handhaven ondanks de relatieve kwetsbaarheid van hun nakomelingen.

- Een herevaluatie van de aan DES blootgestelde populatie in utero is om een aantal redenen nodig. Ten eerste, omdat het ongereguleerd vrijkomen van grote hoeveelheden synthetische chemicaliën samenvalt met het gebruik van DES, kunnen de resultaten van de oorspronkelijke DES-studies in de war zijn gebracht door wijdverspreide blootstelling aan andere synthetische hormoonverstorende stoffen. Ten tweede kan blootstelling aan een hormoon tijdens de foetus de respons op het hormoon op latere leeftijd verhogen. Als gevolg hiervan bereikt de eerste groep mensen die in utero aan DES is blootgesteld net de leeftijd waarop verschillende vormen van kanker (vaginale, endometriale, borst- en prostaatkanker) kunnen beginnen als de mensen een groter risico lopen door perinatale blootstelling aan oestrogeenachtige verbindingen. Er is een drempelwaarde nodig voor de schadelijke effecten van DES. Zelfs de laagst geregistreerde dosis heeft geleid tot vaginaal adenocarcinoom. Blootstelling van foetale mensen aan DES kan het model met de ernstigste effecten zijn bij het onderzoek naar de minder krachtige effecten van oestrogenen in het milieu. De biologische eindpunten die zijn bepaald bij in utero aan DES blootgestelde nakomelingen zullen dus leidend zijn voor het onderzoek bij mensen na mogelijke blootstelling aan omgevingsstoffen.
- De effecten van hormoonontregelaars op mensen met een langer leven zijn misschien niet zo gemakkelijk vast te stellen als op laboratoriumsoorten of diersoorten met een korter leven. Daarom zijn er vroegtijdige detectiemethoden nodig om te bepalen of het voortplantingsvermogen van de mens afneemt. Dit is belangrijk op individueel ni-

veau, maar ook op populatieniveau, omdat onvruchtbaarheid een onderwerp van grote zorg is en psychologische en economische gevolgen heeft. Er zijn nu methoden beschikbaar om de vruchtbaarheid bij mensen te bepalen. Nieuwe methoden zouden meer gebruik moeten maken van screening van leverenzymactiviteit, spermatellingen, analyses van ontwikkelingsafwijkingen en onderzoek van histopathologische laesies. Deze zouden vergezeld moeten gaan van meer en betere biomarkers van sociale en gedragsontwikkeling, het gebruik van multigenerationele geschiedenissen van individuen en hun nakomelingen en congener specifieke chemische analyses van reproductieve weefsels en producten, inclusief moedermelk.

Q*Chemicaliën waarvan bekend is dat ze het endocriene systeem verstoren zijn onder andere: DDT en de afbraakproducten daarvan, DEHP (di(2-ethylhexyl)ftalaat), dicofol, HCB (hexachloorbenzeen), kelthaan, kepon, lindaan en andere hexachloorcyclohexaancongeneren, methoxychloor, octachloorstyreen, synthetische pyrethroïden, triazineherbiciden, EBDC-fungiciden, bepaalde PCB-congeneren, 2,3,7,8-TCDD en andere dioxinecongeneren, 8-TCDD en andere dioxinen, 2,3,7,8-TCDF en andere furanen, cadmium, lood, kwik, tributyltin en andere organische tinverbindingen, alkylfenolen (niet biologisch afbreekbare detergenten en antioxidanten in gemodificeerd polystyreen en PVC), styreen dimeren en trimeren, sojaproducten en voedingsproducten voor laboratoriumdieren en huisdieren.

Deelnemers aan de werksessie waren onder andere:

Work Session participants included:

Dr. Howard A. Bern
Prof. of Integrative Biology
(Emeritus) and Research
Endocrinologist
Dept. of Integrative Biology and
Cancer Research Lab
University of California
Berkeley, CA

Dr. Phyllis Blair
Prof. of Immunology
Dept. of Molecular and Cell Biology
University of California
Berkeley, CA

Sophie Brasseur
Marine Biologist
Dept. of Estuarine Ecology,
Research
Institute for Nature Management
Texel, The Netherlands

Dr. Theo Colborn
Senior Fellow
World Wildlife Fund, Inc., and
W. Alton Jones Foundation, Inc.
Washington, DC

Dr. Gerald R. Cunha
Developmental Biologist
Dept. of Anatomy
University of California
San Francisco, CA

Dr. William Davis*
Research Ecologist
U.S. EPA
Environmental Research Lab
Sabine Island, FL

Dr. Klaus D. Döhler
Director Research
Development and Production
Pharma Bissendorf Peptide GmbH
Hannover, Germany

Mr. Glen Fox
Contaminants Evaluator
National Wildlife Research Center
Environment Canada
Quebec, Canada

Dr. Michael Fry
Research Faculty
Dept. of Avian Science
University of California
Davis, CA

Dr. Earl Gray*
Section Chief
Developmental and Reproductive
Toxicology Section
Reproductive Toxicology Branch
Developmental Biology Division
Health Effects Research Laboratory
U.S. EPA
Research Triangle Park, NC

Dr. Richard Green
Prof. of Psychiatry in Residence
Dept. of Psychiatry/NPI
School of Medicine
University of California
Los Angeles, CA

Dr. Melissa Hines
Asst. Prof. in Residence
Dept. of Psychiatry/NPI
School of Medicine
University of California
Los Angeles, CA

*Although the research described in this article has been supported by the USEPA, it does not necessarily reflect the views of the Agency and no official endorsement should be inferred. Mention of trade names or commercial products does not constitute endorsement or recommendation for use.

Mr. Timothy J. Kubiak
Environmental Contaminants
Specialist
Dept. of Interior
U.S. Fish and Wildlife Service
East Lansing, MI

Dr. John McLachlan
Director, Div. of Intramural
Research
Chief, Laboratory of Reproductive
and Developmental Toxicology
National Institute of
Environmental
Health Sciences
National Institutes of Health
Research Triangle Park, NC

Dr. J. P. Myers
Director
W. Alton Jones Foundation, Inc.
Charlottesville, VA

Dr. Richard E. Peterson
Prof. of Toxicology and
Pharmacology
School of Pharmacy
University of Wisconsin
Madison, WI

Dr. P. J. H. Reijnders
Head, Section of Marine
Mammalogy
Dept. of Estuarine Ecology
Research Institute for Nature
Management
Texel, The Netherlands

Dr. Ana Soto
Associate Prof.
Dept. of Anatomy and Cellular
Biology
Tufts University School of
Medicine
Boston, MA

Dr. Glen Van Der Kraak
Asst. Prof.
College of Biological Sciences
Dept. of Zoology
University of Guelph
Ontario, Canada

Dr. Frederick vom Saal
Prof.
College of Arts and Sciences
Division of Biological Sciences
University of Missouri
Columbia, MO

Dr. Pat Whitten
Asst. Prof.
Dept. of Anthropology
Emory University
Atlanta, GA

ONZE STOLEN FUTUREHOE WIJ ZIJN Dwalen met ONZE FERTILITEIT, EN SURVIVAL--A SCIENTIFIC DETECTIVE STORY

Door te gaan met Theo Colborn van Byzandbaks & & aan de John Peterson Myers van Frankrijk & & aan de Dianne Dumanoski (zangeres) "" , é RELEASE DATE: 18 maart 1996

Een nieuwe expos wijst op de dreiging van chemische verontreinigende stoffen die de hormonen in ons lichaam nabootsen en de natuurlijke cycli van groeiende organismen ondermijnen. Dumanoski is een wetenschappelijk verslaggever voor de Boston Globe; Colborn en Myers zijn twee van de milieuwetenschappers die een pionier hebben opgedaan met de studie van de biologische effecten van vervuiling. In de late jaren tachtig, tijdens de studie van de gevolgen van vervuiling op de Grote Meren, begon Colborn een patroon te herkennen: de aantasting van de voortplantings- of groeicycli in verschillende organismen. Het bewijs omvat meeuwpopulaties waarin mannetjes zo schaars zijn dat vrouwen zich bij elkaar hebben nestelen, adelaars die hun interesse in paring hebben verloren en alligators met misvormde geslachtsorganen. De boosdoeners waren PCB's, dioxine, DDE (een afbraakproduct van DDT) - aanhoudende chemicaliën die zich in het lichaamsvet van dieren concentreren op de bovenkant van de voedselketen en uiteindelijk in mensen. Ondanks pogingen om het gebruik van de chemicaliën te verbieden, zijn ze alomtegenwoordig in de omgeving - in alles van arcaal ijs tot moedermelk - en sommige zullen niet eeuwenlang kapot gaan. Verschillende studies wijzen op verlaagde spermatellingen bij menselijke mannen in de afgelopen 50 jaar, mogelijk een effect van het toegenomen gebruik van de vermoedelijke chemicaliën. Dumanoski dramatiseert effectief het verhaal van de bevindingen van Colborn en legt zowel de biochemische reacties als het milieubelang uit. Wat betreft de moeilijke vraag hoe de alomtegenwoordige dreiging te

bestrijden, hebben de auteurs verschillende suggesties: het monitoren van de kwaliteit van drinkwater, het niet eten van vis uit wateren waarvan bekend is dat ze besmet zijn, het vermijden van dierlijk vet in het dieet, het eten van biologische producten, het vermijden van contact tussen voedsel en plastic. Op regeringsniveau is het vergroten van de waakzaamheid en regulering een stap in de goede richting. De waarschuwing van de auteurs lijkt voor velen misschien alarmerend, maar gezien de potentiële bedreiging voor de mensheid als geheel, zou het dwaas zijn om het te negeren. (Tijdschrift voor de rechter)

Pubdatum: 18 maart 1996

ISBN: 0-525-93982-2

Aantal pagina's: 272

Uitgever: Dutton, **Uitgever:** Dutton

Recensie Posted Online: 19 mei 2010

Kirkus Reviews Issue: Jan. 1, 1996

OUR STOLEN FUTURE

'An extraordinary and deeply disturbing book'

Jonathon Porritt

'Has an important role to play in setting the terms of the informed debate society must now hold on the use of these chemicals'

Financial Times

'Remarkable ... theirs will be as dire as virtually any other environmental warning of the past decades'

Times Higher Education Supplement

'Urgent, provocative and tantalising. A rarity among environmental books - it is racy, well structured and readable - it hits us where it hurts most - in the reproductive system'

George Monbiot

Thirty years after Rachel Carson's **Silent Spring** first warned how man-made chemicals were threatening life on earth, **Our Stolen Future** is a shocking revelation of the full horror of this grimly growing menace, which we ignore at our peril.

For years, researchers have noticed serious abnormalities in animal breeding cycles and sexual development. **Our Stolen Future** assimilates the massive body of evidence, tracing these aberrations to synthetic chemicals that mimic natural hormones and trick

the body into a radical disruption of the reproductive system.

These chemicals may be making a potentially devastating impact on the future of the human race. Riveting, terrifying and immeasurably important, **Our Stolen Future** is also an impassioned clarion call for concerted and serious action by governments, industrialists and individuals alike.

ABACUS NONFICTION/SCIENCE

ISBN 0-349-10878-1

U.K. £7.99*

AUS \$16.95*

*Recommended only



9 780349 108780

Images: G. W. Mills & Neil Harding/Tony Stone