

Aliens en de Fermiparadox

Inleiding

Dit artikel gaat over de mogelijkheid van het bestaan van buitenaards leven. Het gaat in dit artikel speciaal om intelligent buitenaards leven dat beschikt over geavanceerde technologie. Voor het gemak worden de vertegenwoordigers van dit veronderstelde leven, aliens genoemd. Tot nu toe is er nog geen enkel bewijs gevonden voor het bestaan van aliens. Dit gegeven bevreemdt velen, en zij spreken in dit verband vaak over de Fermiparadox. De Fermiparadox is genoemd naar de Italiaanse natuurkundige Enrico Fermi. Fermi sprak in 1950 tijdens een lunch met collega's die werkzaam waren in het Los Alamos laboratorium (New Mexico), over dit onderwerp. Aangezien het waarneembare heelal zeer groot is, namelijk opgebouwd uit circa $7 \cdot 10^{22}$ sterren, (waarvan 100 à 400 miljard in ons eigen melkwegstelsel) en ook al een behoorlijke leeftijd heeft (13,8 miljard jaar) lijkt het vreemd dat uitgerekend alleen hier intelligente wezens zijn. Misschien is dat ook wel niet zo, maar "Waar zijn ze dan?", vroeg Enrico Fermi zich af. Deze korte vraag suggereert dat we eigenlijk al bewijzen van aliens hadden moeten vinden, zoals sondes, ruimtevaartuigen, nederzettingen, ruimteafval, sporen van mijnbouw, en radiouitzendingen; dit is echter niet het geval. De Fermiparadox wordt meestal omschreven als de schijnbare tegenstelling tussen de enorme grootte en de hoge leeftijd van het waarneembare universum en daarmee het potentieel grote aantal leefbare planeten waarop geavanceerde beschavingen kunnen zijn ontstaan en het gebrek aan bewijs dat daarvoor tot nu toe is. Overigens was Fermi niet de eerste die naar deze paradox verwees. Er zijn anderen die er eerder aan gerefereerd hebben zoals Konstantin Tsiolkovsky. Michael H. Hart was de eerste die (in 1975) er uitgebreid op inging er erover publiceerde. Hoewel de Fermiparadox niet als zodanig door Fermi is geformuleerd wordt in dit artikel toch vastgehouden aan de naam Fermiparadox, omdat deze benaming het meest gebruikt wordt.

In de Fermiparadox wordt ervan uitgegaan dat de aarde een typische planeet is. De omstandigheden die hier tot het ontstaan en de ontwikkeling van leven geleid hebben, zullen statistisch gezien ook op tal van andere aardachtige planeten geheerst hebben. Weliswaar zal de evolutie van het leven een grote variëteit vertonen, maar er hoeft maar op een minuscuul percentage van al die aardachtige planeten een vergelijkbare ontwikkeling van het leven als op de aarde doorlopen te worden, om toch meerdere technologisch geavanceerde beschavingen te geven, mogelijk zelfs binnen ons eigen melkwegstelsel. Bovendien zouden veel van die beschavingen langer de tijd hebben gehad om hun technologie te ontwikkelen dan wij op aarde, want wij zijn daar pas ongeveer twee eeuwen serieus mee bezig. De aanname is voorts dat de meer geavanceerde beschavingen hun sterrenstelsel zullen verkennen of koloniseren, waarbij opgemerkt moet worden dat ook met relatief gewone "langzame" rakettechnologie een typisch sterrenstelsel doorkruisbaar is in 5 tot 50 miljoen jaar, wat op een kosmologische tijdschaal niet heel lang is. Als we interstellaire ruimtereizen binnen ons melkwegstelsel buiten beschouwing laten, zouden we nog signalen vanaf de thuisplaneten van buitenaardse beschavingen kunnen verwachten. Of de aarde een typische planeet is, weten we niet; maar we weten wel dat de zon, een niet heel bijzondere hoofdreeks ster is. Daarmee is ook de chemische samenstelling van ons planetenstelsel niet heel bijzonder. Water, dat beschouwd wordt als een essentiële chemische verbinding voor leven zoals wij het kennen, is verre van zeldzaam en komt in grote hoeveelheden rond tal van sterren voor. De elementen die voorkomen in de moleculen van onze biochemie (voornamelijk koolstof, waterstof, zuurstof, stikstof, fosfor en zwavel) zijn ook niet zeldzaam in ons melkwegstelsel. Metalen (alle elementen zwaarder dan helium), worden hoofdzakelijk verspreid door supernova's. Een supernova is in het algemeen een ontploffing van een ster die minimaal acht keer zo zwaar is als de zon, die daarmee zijn natuurlijke levenseinde bereikt heeft. Hierbij ontstaan bovendien ook elementen met een atoomnummer hoger dan die van ijzer. Door supernova's ontstaat sterrenstof dat verrijkt is met

metalen, waaruit vervolgens nieuwe sterren kunnen ontstaan die rijker zijn aan metalen, dan oudere sterren die vroeg in de geschiedenis van het melkwegstelsel zijn ontstaan, of die ontstaan zijn in een metaalarmere omgeving. Het merendeel van de huidige sterren in ons melkwegstelsel is door voorafgaande supernova's zodanig verrijkt aan zwaardere elementen dat ze in principe rotsachtige planeten zouden kunnen hebben.

Verder weten we dat het voorkomen van planeten op zichzelf, rotsachtig en klein zoals de aarde of groot en gasvormig zoals Jupiter, niet uitzonderlijk is (integendeel). Er is alleen wel een grote variëteit in soorten planetenstelsels. Zoiets als ons zonnestelsel is nog niet gevonden, maar het exoplaneten-onderzoek staat nog maar in kinderschoenen. Er zijn verder geen aanwijzingen dat de aarde toevallig één van de eerste planeten is waarop intelligent leven ontstaan is. In theorie zouden ook planeten die miljarden jaren ouder zijn dan de aarde al hogere vormen van leven ontwikkeld kunnen hebben; de zon en zijn planeten zijn juist relatief jong. Er zit, afgezien van de leeftijd van 13,8 miljard jaar van het universum, wel een limiet aan de maximale ouderdom van een aardachtige planeet die in staat is om leven te herbergen zoals wij het kennen, omdat een dergelijke planeet moet zijn gevormd uit sterrenstof dat verrijkt is met zwaardere elementen. Het gaat dan om de elementen van koolstof t/m ijzer, en o.a. de meer zeldzame zwaardere radioactieve elementen uranium en thorium die nodig zijn voor langdurig vulkanisme; zoals reeds vermeld vereist dit het optreden van voorafgaande supernova's. Anderzijds zou in gebieden met hoge sterddichtheden de frequentie van nabije supernova's zo hoog geweest kunnen zijn dat het evolutieprocessen waarbij complex leven kan ontstaan, heeft verstoord. Het gebied waar het metaalgehalte in sterren hoog genoeg is en de frequentie van nabije supernova's laag genoeg is, voor het ontstaan van complex leven, wordt ook wel de bewoonbare galactische zone genoemd. Het is echter nog maar de vraag of die zone wel duidelijk aan te geven is. Sommige studies duiden er op dat in gebieden met hoge sterddichtheden toch nog wel de meeste aardachtige planeten waar complex leven kan zijn ontstaan, te verwachten zijn, ondanks de hogere frequentie van het optreden van supernova's. Andere studies duiden op een kleine bewoonbare galactische zone verder weg van het centrum van het melkwegstelsel. De zon zelf ligt ongeveer halverwege het centrum van het melkwegstelsel en de periferie op circa 25000 lichtjaar van het centrum; boven de 40000 lichtjaar van het centrum is nog maar een paar procent van de sterren minstens even metaalrijk als de zon. Daarnaast is er onzekerheid over de duur van de Darwinistische evolutie die op aarde tot op heden circa 4 miljard jaar geduurd heeft. Maar we weten niet of dat snel, langzaam, gemiddeld, (of iets unieks dat nooit eerder opgetreden), is.

Een inschatting van het aantal actieve, technologisch geavanceerde beschavingen in ons melkwegstelsel (N) wordt gegeven door de formule van Drake, die luidt: $N = R * f_p * n_e * f_l * f_i * f_c * L$. Waarin R=het aantal sterren dat per jaar geboren wordt in ons melkwegstelsel; f_p =de fractie van die gevormde sterren die planeten hebben; n_e =het gemiddelde aantal aardachtige planeten (in staat om leven te herbergen) van die sterren; f_l =de fractie van die planeten waarop daadwerkelijk leven ontstaan is; f_i =de fractie van die planeten waarop intelligente beschavingen ontstaan zijn; f_c =de fractie van die beschavingen die technologisch geavanceerd geraakt is (radiotechnologie en bijvoorbeeld ruimtevaart tot gevolg hebbend); en tenslotte L=de gemiddelde levensduur van die beschavingen uitgedrukt in jaren. Van de eerste drie factoren kunnen redelijke schattingen gemaakt worden: R is ongeveer 2 à 3, f_p is vrijwel 1 (100%) dat wil zeggen dat het uitzonderlijk is als een ster niet minstens één planeet heeft. n_e wordt geschat op 0,1 tot circa 0,3. Het gaat dan om kleine rotsachtige planeten die op een zodanige afstand van de ster draaien dat vloeibaar water aan het oppervlak mogelijk is. Eventueel zouden manen ter grootte van de aarde die bijvoorbeeld om een jupiterachtige planeet draaien ook in aanmerking kunnen komen. Buitenbeschouwing gelaten zijn planeten of manen die door ijs bedekt zijn maar door interne warmte bijvoorbeeld tengevolge van getijdenwerking daaronder een oceaan hebben (zoals de jupitermaan Europa), ook hier zou zich leven kunnen bevinden.

Men moet zich wel bedenken dat voor complexer lang geëvolueerd leven dat ook op land kan voorkomen, waarschijnlijk aanzienlijk hogere eisen gesteld moeten worden. Bijvoorbeeld dat de planeet dan om een zonachtige ster moet draaien en niet om een rode dwerg (het meest voorkomende type ster), vanwege gebonden rotatie van de planeet (ten gevolge van getijdenwerking), en meer schadelijke uitbarstingen van energierijke straling die rond een dergelijk systeem te verwachten valt. De meer precieze chemische samenstelling van een zonachtige ster beïnvloedt de ontwikkeling en stabiliteit van zijn energie-emissie in de loop van miljarden jaren en is daarmee ook een factor om rekening mee te houden. Vooral een hoog zuurstofgehalte in een zonachtige ster vertraagt de geleidelijke toename van de helderheid van de ster, en verlengt daarmee de duur waarin een planeet in de bewoonbare zone kan blijven. De aarde heeft nog maar een miljard jaar te gaan voordat ze te heet wordt om leefbaar te blijven door toename van de helderheid van de zon; de zon verandert geleidelijk in een rode reus die uiteindelijk de aarde zal opslokken. Ook wordt wel gewezen op het belang van grote gasreuzen in ruime banen om de ster om de kans op inslagen van meteorieten en ander ruimtepuin op een aardachtige planeet in een kleinere baan, lager te houden. Interessant is ook de stabiliserende rol van een grote maan rond de planeet op zijn rotatie-as. Ook is nog niet bekend hoe gevoelig het voorkomen van plaattektoniek is met betrekking tot de chemische samenstelling en de meer precieze grootte van de planeet. Vulkanisme en plaattektoniek spelen waarschijnlijk een essentiële rol in het ontstaan en de evolutie van het leven. Het ontstaan van leven is waarschijnlijk gerelateerd aan hydrothermale bronnen en plaattektoniek brengt voor het leven allerlei nuttige mineralen naar het oppervlak, en heeft daarnaast een klimaatregulerende werking omdat juist in tijden van een warm klimaat veel kooldioxide door naar het oppervlak gebrachte gesteenten opgenomen wordt. Voor vulkanisme en plaattektoniek die miljarden jaren kunnen voortduren moeten in de planeet voldoende radioactieve stoffen aanwezig zijn, die de daarvoor extra benodigde warmte leveren, maar ook weer niet te veel, anders zou het vulkanisme weer te destructief zijn. Water is een essentiële stof voor leven zoals wij het kennen, maar te veel water zou er voor kunnen zorgen dat de gehele planeet bedekt is door diepe oceanen met alleen bij de polen, ijskappen; op zo'n planeet kan zich geen landleven ontwikkelen. Op zich zouden ook wel intelligente levensvormen kunnen ontstaan die alleen in water leven, het is echter onwaarschijnlijk dat zij technologisch geavanceerd raken; in het algemeen wordt aangenomen dat een minimale voorwaarde hiervoor de beheersing van vuur is. Dit is echter voor levensvormen die in water leven niet direct een aannemelijke optie. Andere belangrijke factoren zijn bijvoorbeeld het magnetisme van de planeet, en de atmosfeer waarvan stikstof een hoofdbestanddeel zou moeten zijn. De vraag is eigenlijk hoe aardachtig een planeet moet zijn om meer of minder complex leven te kunnen herbergen, even buiten beschouwing gelaten dat er in theorie ook nog totaal afwijkend leven kan bestaan op niet aardachtige planeten.

De overige factoren in de formule van Drake kunnen we nog niet inschatten, daarmee kan je eigenlijk weinig zinnigs zeggen over het aantal actieve beschavingen (N). Drake zelf kwam tot een schatting van 20 tot 5000000, maar eigenlijk is de vergelijking van Drake een aantal bruggen te ver. In bijlage1 is echter toch een poging gedaan om naar de meest moderne inzichten de bovengrenzen aan het aantal waarneembare geavanceerde beschavingen in ons melkwegstelsel, in te schatten.

Het is al ingewikkeld genoeg om überhaupt leven te vinden buiten de aarde, zodat een poging gedaan kan worden om fl uit de formule van Drake in te schatten. We staan echter aan de vooravond van een project dat een reële kans maakt om hier in te slagen. We konden al exoplaneten ontdekken met de Keplersatelliet. Indien een planeet precies tussen de bijbehorende ster en onze waarnemingspositie heen trekt, leidt dat tot een minuscule dip in de helderheid van de ster die meetbaar is (onder voldoende gunstige omstandigheden). Met de James Webb Space Telescope (JWST) wordt het mogelijk om tijdens de passage van een planeet langs zijn ster de samenstelling van de exoplaneet atmosfeer te bepalen uit spectrometrische gegevens, dit wordt ook mogelijk met de alternatieve 'direct-imaging' techniek (o.a. met de in aanbouw zijnde European Extremely Large Telescope (E-ELT) in Chili). Met name

een sterk zuurstofsignaal (of eigenlijk ozonsignaal, zuurstof zelf is onzichtbaar in het infrarood) zou indicatief zijn voor leven. Hoewel zuurstof ook langs een anorganische manier in een exoplaneet atmosfeer kan komen, is het onwaarschijnlijk dat het zich tot een hoog percentage kan opbouwen, omdat het een reactief gas is. Indien er op een planeet fotosynthetische cellen voorkomen wordt er constant zuurstof aangemaakt en kan de concentratie hoog oplopen.

De Fermiparadox kan langs drie argumentaties opgelost worden. Ten eerste: we zoeken niet goed genoeg en ook nog maar heel kort en we zijn, gerelateerd daaraan, ook nog maar heel kort zichtbaar als technologisch geavanceerde beschaving. Ten tweede: intelligent leven dat over geavanceerde technologie beschikt, is zeldzamer dan we geneigd zijn om aan te nemen. Ten derde: intelligent leven heeft (vooral in een verder stadium van ontwikkeling) de eigenschap dat het geen contact wil, specifiek met ons niet of met geen enkele beschaving buiten het eigen gebied.

1) We zoeken niet goed genoeg en ook nog maar heel kort

Er valt wel wat voor te zeggen dat we nog niet goed gezocht hebben naar tekenen van aliens en ook nog maar ruim een halve eeuw met geavanceerde hulpmiddelen; de eerste operationele radiotelescoop dateert pas van 1937. De voornaamste systematische poging om tekenen van aliens te vinden is het SETI-project (Search for Extra Terrestrial Intelligence). Met radiotelescopen wordt geprobeerd communicatiesignalen van buitenaardse beschavingen te detecteren, tot nu toe zonder succes. Hoewel het project redelijk bekend is, is het tamelijk bescheiden van opzet. Wel kan geconcludeerd worden dat het niet wemelt van buitenaards radioverkeer dat voor ons detecteerbaar is. Voor ons eigen radioverkeer valt de tendens op, voor een waarnemer ver weg, dat het lastiger is te detecteren en te herkennen dan enkele decennia geleden. Het gebruik van schotelantennes en ontvangers, heeft het mogelijk gemaakt om met bescheiden signaalvermogen meer gericht tussen twee locaties te communiceren. Ook is een deel van de communicatie die voorheen draadloos plaatsvond, vervangen door glasvezelnetwerken waarmee meer informatie per eenheid van tijd verzonden kan worden. Met de huidige modulatietechniek die digitaal van aard is geworden, is bovendien het decoderen van het signaal en daarmee de herkenning van het signaal als intelligente communicatie, alleen mogelijk met een compatibele ontvanger. Daarom is het zo dat SETI zich alleen richt op herkenbare radiocommunicatie namelijk AM en FM. Het is aannemelijk dat buitenaardse beschavingen (voor zover die er zijn) een soortgelijke evolutie in radiotechnologie door gemaakt hebben, zodat er maar een korte periode is (zeg maar een eeuw) waarin detectie niet zeer problematisch is. Eventuele signalen van planeten waar zich aliens bevinden, zullen sowieso erg zwak zijn, door de grote afstand tussen zender en ontvanger, tenzij (opzettelijk) gericht en met heel grote vermogens uitgezonden wordt. Het kan ook zijn dat ze in alle richtingen uitzenden (omnidirectioneel) maar dan zijn relatief nog grotere vermogens nodig. We kunnen dit enigszins ondervangen door veel en grote radiotelescopen te gebruiken, en door te luisteren in een zeer nauwe frequentieband, dit laatste beperkt overigens dan weer de mogelijkheid om informatie uit het signaal te halen. Een reusachtige radiotelescoop op de achterkant van de Maan (weg van aardse stoorzenders) zou helpen, maar ligt buiten de financiële mogelijkheden van SETI. Al met al mag van SETI voorlopig niet verwacht worden dat ze normale radiocommunicatie in andere sterrenstelsels (minimaal miljoenen lichtjaren ver) kan vinden, hooguit alleen op gunstige locaties binnen ons eigen melkwegstelsel; een radio of televisie uitzending van de aarde zou met een typische aardse radiotelescoop slechts tot circa 0,3 lichtjaar afstand detecteerbaar zijn. Sterke signalen die niet op communicatie gericht zijn, maar die wel over grotere afstanden redelijk detecteerbaar zijn, zijn sterke gebundelde planetaire radarsignalen zoals die met de Arecibo radiotelescoop verzonden zijn. Zo'n planetair radarsysteem is echter geen essentiële technologie, er bestaan alternatieven voor. Bovendien zou men zo'n radarsysteem zo kunnen ontwerpen dat de radarsignalen niet gericht zijn op

het galactische vlak, maar onder een hoek daarvan afwijkend, zodat eventuele aliens in het melkwegstelsel ze waarschijnlijk niet kunnen ontvangen.

Er wordt ook wel met de gedachte gespeeld om zelf opzettelijk sterke radiosignalen de ruimte in te sturen om zo onze aanwezigheid aan eventuele aliens kenbaar te maken. Dit toekomstige project staat bekend onder de naam METI (De 'Searching for' uit SETI is vervangen door 'Messages to'). Er zijn redenen om aan te nemen dat het een onverstandige actie zou zijn (waarover later meer). De kritiek op METI is o.a. dat de initiatiefnemers de rest van de mensheid niet om hun mening of goedkeuring gevraagd hebben. Overigens zijn er al eens opzettelijk berichten de ruimte ingestuurd als een poging tot communicatie met aliens, bijvoorbeeld de Areciboboodschap. Dit gebeurde in 1974 vanaf de Arecibo radiotelescoop in Puerto Rico, en omvatte een frequentie gemoduleerd bericht (2380 Mhz) gestuurd in de richting van de grote Herculesbolhoopcluster (M13) die op een afstand van circa 25000 lichtjaar van de aarde ligt. In het bericht waren gegevens over ons getalstelsel, chemische elementen, DNA, en een grafische voorstelling van de mens, het zonnestelsel en de radiotelescoop, gecodeerd. De Areciboboodschap was meer bedoeld om te laten zien waar men toen technisch toe in staat was, dan een serieuze poging tot communicatie.

Indien men het toch zinvol acht om signalen uit te zenden die relatief gemakkelijk herkenbaar zijn als tekenen van een buitenaardse beschaving, is de keuze van de frequentie belangrijk. Microgolfstraling met een frequentie van 1 tot 10 Gigahertz is dan een eerste goede keuze. Deze radiostraling dringt makkelijk door de atmosfeer van de aarde (en daarmee vermoedelijk ook door de atmosfeer van andere bewoonbare planeten) en in dit frequentiegebied is weinig ruis van andere radiobronnen in de kosmos. Een algemeen voordeel van radiostraling is verder dat het vrijwel ongestoord door kosmische gas- en stofwolken gaat. Binnen het frequentiegebied van 1 tot 10 Ghz ligt de opvallende 21 cm (1,42 Ghz) emissielijn van atomair waterstof en rond 1,7 Ghz de emissielijnen van hydroxylmoleculen. Iedere beschaving die iets afweet van radioastronomie zal deze frequenties kennen en er speciale belangstelling voor hebben. Daarom zou 1,42 Ghz of een frequentie tussen 1,4 en 1,7 Ghz geschikt zijn om de aandacht van een buitenaardse beschaving te trekken. Een kunstmatig signaal in dit frequentiegebied zal zich in het algemeen onderscheiden van natuurlijke signalen, door een geringe frequentiespreiding ofwel een scherpe piek. Nog beter zou het zijn om systematisch af te wijken van de 21 cm lijn met een factor pi of e of een veelvoud daarvan, zodat de kunstmatigheid van het signaal nog duidelijker zou zijn.

Andersom is het ook mogelijk om radiocommunicatie zo goed als ondetecteerbaar te maken d.m.v. frequentiespreiding. Het signaal is dan voor degenen die onbekend zijn met de manier waarop het signaal is verspreid over meerdere frequenties, niet uit de ruis te halen. Daarnaast valt er over te speculeren of aliens misschien sterke bronnen van natuurlijke radio- of andere elektromagnetische straling, zoals pulsars, gebruiken voor communicatie. De boodschappen van aliens staan dan als het ware in de sterren geschreven. Mogelijk worden signalen gecamoufleerd door het bericht over een relatief lange periode uit te smeren, alleen na langdurige observatie is dat bericht zichtbaar als je tenminste weet waar je moet kijken. Er is ook wel eens gesuggereerd dat aliens met neutrino's zouden communiceren; die gaan ook met de lichtsnelheid maar hebben veel minder last van obstakels en van de detectie hebben mensen nog niet veel kennis. Ook met (gepuleerde) lasersignalen zou over grote afstanden gecommuniceerd kunnen worden. Het nadeel van elektromagnetische straling (en neutrino's) blijft, ondanks dat het het snelste middel is om te communiceren voor zover wij weten, dat het voor het overbruggen van interstellaire afstanden toch traag is. Via kwantumverstreming is het mogelijk om deeltjes instantaan te beïnvloeden onafhankelijk van hun onderlinge afstand, dus sneller dan het licht. Het is volgens onze inzichten echter niet mogelijk om op deze manier informatie te verzenden.

Gerelateerd aan het gegeven dat de mensheid zelf nog maar heel kort radiotelescopische waarnemingen doet, is de slechts zeer recente zichtbaarheid van radiostraling vanaf de aarde, voor anderen. Pas vanaf 1895 zijn we bezig met het uitzenden van radioberichten; deze berichten zijn nu pas

in een straal van 122 lichtjaar van de aarde terecht gekomen, wat kosmologisch gezien een haarbreedte is. Het is daarom goed denkbaar dat aliens nog niet de kans hebben gekregen om te weten dat op de aarde een technologisch geavanceerde beschaving is ontstaan, laat staan dat ze al actie ondernomen hebben om die beschaving nader te onderzoeken. Het is meer aannemelijk dat het aliens al veel eerder opgevallen is dat de aarde waarschijnlijk een planeet is met hoger ontwikkeld leven. Via telescopische waarneming aan onze atmosfeer is namelijk al honderden miljoenen jaren zichtbaar dat er veel zuurstof in onze atmosfeer zit. Het kan zijn dat aliens nooit een missie naar de aarde hebben gestuurd omdat ze dergelijke planeten ook dicht bij huis kunnen vinden. Of ze hebben het wel bijzonder genoeg gevonden voor een missie, laten we zeggen 100 miljoen jaar geleden. Zij hebben dan de aarde bezocht in het tijdperk van de dinosauriërs, en zijn ooit met interessant onderzoeksmateriaal huiswaarts gekeerd. Anderzijds als planeten met een hoog zuurstofgehalte in de atmosfeer erg zeldzaam zijn, zullen zij gemiddeld zo ver van elkaar verwijderd zijn dat zelfs aliens met de meest geavanceerde technologie ze niet telescopisch vanaf hun thuisplaneet kunnen identificeren als planeten met hoger ontwikkeld leven. De aarde zou dan door aliens waarschijnlijk alleen gevonden kunnen worden door systematische verkenning met ruimtevaartuigen van ons melkwegstelsel.

Het is daarnaast niet erg plausibel dat aliens zichzelf op een presenteerblaadje aan ons bekend maken. Maar zelfs al zou een stel aliens bij een willekeurige aardbewoner aanbellen voor een bezoekje (na een verder onopvallende landing op de aarde gevolgd door een onopvallend vertrek), dan zal die willekeurige aardbewoner niet snel geloofd worden dat ie inderdaad een stel aliens op bezoek heeft gehad. Overigens is het wel mogelijk dat aliens gebruik maken van Bracewell-sondes. Bracewell-sondes zijn veronderstelde ruimtevaartuigen (uitgerust met kunstmatige intelligentie) die de ruimte verkennen met als doel radiocontact te leggen met andere beschavingen als zij deze op kleine afstand zijn genaderd. Het voordeel van deze aanpak is dat er geen grote vertragingen zijn in de radiocommunicatie omdat de signalen dan geen astronomisch grote afstanden tussen zender en ontvanger, hoeven af te leggen. Andere hypothetische ruimtevaartuigen die we al dicht bij de aarde zouden kunnen verwachten zijn Von Neumann sondes. Von Neumann sondes zijn bedoeld om de ruimte te verkennen, en zij doen dat door zichzelf tijdens de reis te repliceren, gebruikmakend van onderweg gevonden grondstoffen. Door dit proces van replicatie is ons gehele melkwegstelsel doorkruisbaar al in circa 5 miljoen jaar. Het is potentieel een gevaarlijke technologie omdat de replicatie uit de hand zou kunnen lopen en dan moeilijk is om te repareren; de sondes zouden dan een soort ratten van het universum worden. Aliens zouden daarom terughoudend kunnen zijn om dit soort technologie te gebruiken, anderzijds is er maar één geniale gek voor nodig om het wel te doen, als het tenminste technisch mogelijk is.

Wat hebben we verder gedaan om aliens te vinden? Af en toe zijn er UFO meldingen geweest waarvan de meest serieuze nader zijn onderzocht. Er zijn toch geen overtuigende bewijzen gevonden dat aliens te maken hadden met deze UFO's. Er is daarnaast hier en daar wat gekeken in ons zonnestelsel, bijvoorbeeld op de Maan en op Mars als onderdeel van missies die niet specifiek tot doel hadden om aliens te vinden. Maar er zijn tot nu toe geen nederzettingen, ruimteafval, sondes of iets anders van aliens gevonden (laat staan de aliens zelf). Het zou dan gaan om zaken zoals ze volgens onze verbeelding over aliens, zouden moeten zijn (en dat is vooral geïnspireerd op ons zelf). Het kan best zijn dat op slechts 500 miljoen km van de aarde een snelweg ligt van aliens. Met grote regelmaat schieten daar ruimtevaartuigen ter grootte van een personenauto met 10% van de lichtsnelheid voorbij. We zouden er waarschijnlijk niets van merken, tenzij we toevallig in de buurt gaan observeren of de gebruikte rakettechnologie zichzelf verradt (bijvoorbeeld door de emissie van cyclotronstraling van een magnetisch zeil).

Hoe zouden we dan wel buitenaardse beschavingen kunnen vinden? Met superkrachtige ruimtetelescopen die de zon als gravitatielens gebruiken zouden exoplaneten tot op enkele honderden lichtjaren hier vandaan rechtstreeks in beeld gebracht kunnen worden als een klein schijfje. Als we nu aan de nachtzijde van zo'n schijfje lichtjes zien, dan is dat waarschijnlijk de verlichting van aliens, hoewel

misschien zijn het wel zwermen vuurvliegjes. Als het licht spectrometrisch onderzocht wordt, kan mogelijk wel de conclusie getrokken worden of het de verlichting van aliens is; bijvoorbeeld LED-verlichting heeft kenmerken die afwijken van natuurlijk licht. Behalve ozon, zouden ook moleculen zoals CFK's in exoplaneet atmosferen gedetecteerd kunnen worden. Dit soort kunstmatige chemische stoffen zijn vrijwel zeker tekenen van een beschaving (maar waarschijnlijk wel een onverstandige beschaving die snel van die CFK's af zou moeten raken). Er is ook wel gesuggereerd dat geavanceerde beschavingen in hun groeiende behoefte aan energie, megaconstructies rond een ster zullen maken om zoveel mogelijk stralingsenergie van de ster op te vangen. Dit worden ook wel Dysonzwermen genoemd. Dergelijke Dysonzwermen zouden fluctuaties in de helderheid van de ster kunnen veroorzaken die we vanaf de aarde met bijvoorbeeld de Keplersatelliet kunnen detecteren. De ster KIC8462852 is een ster op circa 1280 lichtjaar van de aarde die sterke fluctuaties in helderheid vertoont. Natuurlijke processen kunnen daar een verklaring voor zijn, maar men is er nog niet uit wat dan precies; een Dysonzwerm kan niet helemaal uitgesloten worden. In het algemeen kan gesteld worden dat het buitengewoon moeilijk is om ondubbelzinnige tekenen van aliens te vinden ook al zijn zij niet zeldzaam in ons melkwegstelsel, tenzij aliens bepaalde slordigheden begaan zoals het achterlaten van afval, de gebruikte raket- en communicatietechnologie duidelijke sporen achterlaat of aliens (opzettelijk) hun aanwezigheid kenbaar maken.

Als we naar aliens zoeken, dan zoeken we in de eerste plaats naar wezens die op ons lijken, dat wil zeggen die ongeveer of precies dezelfde biochemie hebben; daarom is de zoektocht naar aliens vooral eerst een zoektocht naar aardachtige planeten waar die biochemie mogelijk is. Andere aliens met een geheel andere biochemie of interne orde, kunnen niet uitgesloten worden, maar zullen in hun voorkomen voor ons als levensvorm onherkenbaar kunnen zijn. We zouden die aliens wel indirect kunnen herkennen aan hun (superieure) technologie, tenzij we die door zijn vreemde aard ook voor ons verborgen blijft. Onder aliens kun je ook bepaalde kunstmatige intelligentie die ze zelf gemaakt hebben verstaan. Het is goed mogelijk dat dat de slimste aliens zijn. Nu al zie je in onze maatschappij voorbeelden van kunstmatige intelligentie die ons in een bepaald opzicht overtroffen heeft (bijvoorbeeld schaakcomputers en navigatieapparatuur). Het is overigens nog lastig om leven goed te definiëren. We herkennen het leven zoals we het zelf gewend zijn gemakkelijk zowel macroscopisch als microscopisch; maar zouden bijvoorbeeld een zich voortplantende storm of een lopend vuurtje niet ook al levensvormen kunnen zijn, en zo nee waarom dan niet?

De aliens die in sciencefiction films te zien zijn, lijken vaak op mensen of dieren zoals ze hier op aarde voorkomen, dit uit gemakzucht, gebrek aan fantasie of om de kijkers toch iets herkenbaars te bieden. Het is ook wel goed denkbaar dat in de evolutie van het leven de zelfde oplossingen gekozen worden, zodat buitenaards leven met ongeveer de zelfde biochemische basis als hier, opmerkelijk veel overeenkomsten in uiterlijk zal vertonen. Bijvoorbeeld een mens uitgerust met drie benen lijkt niet handig, er zit een zekere ratio achter dat de mens 2 benen heeft. Maar misschien schiet onze verbeelding wel te kort en is er een veel grotere rijkdom aan levensvormen. Een wat meer vreemde levensvorm zou een intelligente zwerm van vliegende cellen die draadloos communiceren, kunnen zijn. Zo'n zwerm zou motorisch heel vaardig kunnen zijn en iedere gewenste vorm kunnen aannemen. Er valt ook te denken aan een in zee levende soort die technologisch geavanceerd is geraakt, laten we zeggen een octopusachtige. Deze veroverd dan het land in rijdende aquaria. En op een gegeven moment kunnen ze in hun rijdende aquaria, met raketten de thuisplaneet verlaten.

Tot nu toe is er wel enigszins gezocht naar aliens, vooral via het SETI-project maar heel groots is het nog niet aangepakt, misschien wel terecht. Want waarom zouden we eigenlijk gaan zoeken naar aliens? Als we gaan zoeken naar aliens op hun thuisplaneten, dan kunnen we met onze huidige technologie niet naar ze toe en ook niet met ze communiceren, binnen de levensduur van één of zelfs meerdere generaties onderzoekers, vanwege de astronomisch grote afstanden die dan overbrugd moeten worden. Als de aliens al bij ons in de buurt zijn (op de aarde zelf of er vlak bij), dan lopen ze kennelijk

niet met hun aanwezigheid te koop. Gezien de technologische voorsprong die ze vermoedelijk zullen hebben, zouden ze het makkelijk moeten hebben om voor ons verborgen te blijven. En als er helemaal geen aliens zijn, of alleen miljoenen lichtjaren ver weg, dan valt er aan de zoektocht ook weinig eer te behalen. De mensen die naar aliens zoeken, zouden misschien beter eens contact kunnen zoeken met andere wezens dan aliens, zoals hun buren één deur verder, mochten ze die niet eens kennen. Maar uit nieuwsgierigheid willen we natuurlijk toch weten of er aliens zijn, en er zit ook een veiligheidsaspect aan. Als wij begluurd worden door aliens die daarvoor voor ons onbekende motieven hebben, dan moeten we daar eigenlijk meer van weten.

2) Aliens zijn zeldzamer dan we geneigd zijn aan te nemen

Een tweede oplossingsrichting voor de Fermiparadox is de veronderstelling dat aliens veel zeldzamer zijn dan we geneigd zijn aan te nemen. In de inleiding werd al een aantal mogelijke verklaringen hiervoor gegeven. De eerste is de zogenaamde zeldzame-aarde-theorie. Het ontstaan van complex leven dat ook op land kan voorkomen, vereist een planeet die o.a. qua grootte, positie ten opzichte van de bijbehorende ster, chemische samenstelling en geologie, sterke overeenkomsten met de aarde vertoont. Deze eisen zijn misschien zo hoog dat maar een zeer gering percentage van alle planeten in het universum daaraan voldoet. Een tweede verklaring is dat kosmische rampen zoals nabije supernova's en gammaflitsen het evolutieproces dat tot complex leven leidt, voor een aanzienlijk deel van alle geschikte planeten op fatale wijze heeft verstoord. Je zou deze verklaring ook tot de zeldzame-aarde-theorie kunnen rekenen, maar ik noem het hier apart omdat het om rampen gaat die van buiten het planetenstelsel zelf komen. Een derde verklaring voor een hoge zeldzaamheid in het ontstaan van geavanceerde civilisaties, is dat daarnaast het ontstaan van leven zelf zeldzaam of veel meer divers is en dat het daarop volgende evolutieproces minder convergent is dan was aangenomen in modellen waarin het Copernicaanse principe is toegepast. Volgens het Copernicaanse principe is onze positie in het universum niet speciaal of uniek en zal op planeten met de juiste begincondities en voldoende stabiliteit in de daarop volgende miljarden jaren een evolutieproces optreden dat globaal de zelfde uitkomsten oplevert zoals dat op de aarde is gebeurd. Of dit principe in dit geval geldt is echter omstreden. Het is mogelijk dat het ontstaan en de evolutie van leven door allerlei toevalligheden wordt beïnvloed of dat kleine verschillen in de beginomstandigheden of externe factoren, tot grote verschillen in de uitkomsten van evolutieprocessen aanleiding geven. Deze benadering sluit deels aan bij de zogenaamde grote-filter-theorie. Volgens de grote-filter-theorie wordt het voorkomen van technologisch geavanceerde beschavingen sterk gelimiteerd door tenminste één (maar waarschijnlijk eerder meerdere) van een reeks van daartoe benodigde opeenvolgende min of meer zeldzame stappen in het ontstaan en de evolutie van leven.

Die reeks van min of meer zeldzame stappen kan in theorie zelfs zo'n lage waarschijnlijkheid hebben dat aliens in het waarneembare universum niet bestaan en dat de aarde met al zijn complexe levensvormen en de mens als intelligent en zelfbewust wezen, uniek is. Maar meestal wordt aangenomen dat er toch tenminste enkele geavanceerde buitenaardse beschavingen in het waarneembare universum bestaan of bestaan hebben. Er is wel een meer filosofische of religieuze benadering, die stelt dat de aarde met al zijn levensvormen uniek is, omdat de aarde speciaal voor ons is gecreëerd; hier zal ik verder niet op ingaan maar ik wilde het toch wel even genoemd hebben. Aan aardachtige planeten is mogelijk geen gebrek, maar we weten om te beginnen al niet of het vanzelfsprekend is dat daar altijd of meestal, leven op ontstaat. Het is nog altijd niet begrepen hoe het leven op aarde kon ontstaan. Het proces waarbij op een planeet (of maan) leven uit anorganische en eenvoudige organische verbindingen ontstaat heet abiogenesis. In theorie kan microscopisch leven op aarde ook ooit kant en klaar zijn komen aanwaaien (waarbij het probleem waar het dan wel is ontstaan naar elders verschoven is); deze theorie wordt de panspermia-theorie genoemd. Maar abiogenesis is de meest voor de hand liggende theorie over het

ontstaan van het leven. De oudste ééncellige levensvormen die nu nog bestaan, namelijk de bacteriën en de archaea, die op één of andere manier een gemeenschappelijke voorouder gehad moeten hebben, zijn al complexe biochemische fabriekjes. Een eenvoudige cel bevat al verschillende soorten complexe organische moleculen. Er is het zelf-replicerende DNA (of RNA) dat een polymeer is van nucleotiden, hiermee bewaart de cel informatie over zijn eigen constructie. Een nucleotide bestaat uit een suiker (desoxyribose in DNA en ribose in RNA) met fosfaatgroep(en) en een nucleobase. DNA is een dubbele spiraal die bijeengehouden wordt door waterstofbruggen tussen specifieke paren van (een viertal) nucleobasen, en is robuuster (en daarmee veiliger als vorm van informatieopslag) dan het enkelstrengs RNA dat meer complexe structuren vormt. RNA komt in diverse varianten in een cel voor, en speelt bijvoorbeeld als mRNA een rol bij het overbrengen van genetische informatie uit DNA die de eiwitsynthese regelt. Eiwitten (ook wel polypeptiden genoemd), zijn polymeren die zijn opgebouwd uit aminozuren. Een belangrijke rol van eiwitten, die complexe driedimensionale structuren vormen, is het katalyseren van tal van chemische reacties. De celmembranen worden gevormd door (fosfo)lipiden die de cel ook zelf maakt. De benodigde energie komt van energierijke chemische verbindingen in de omgeving van de cellen. De eerste bacteriën en archaea gebruikten geen zuurstof, dat was zelfs giftig voor ze, bovendien was er toen nauwelijks zuurstof. Circa 1 miljard jaar na het ontstaan van de eerste levensvormen hebben de bacteriën (zoals de cyanobacteriën) een manier gevonden om de energie uit het zonlicht te halen om daarmee zelf energierijk waterstof te maken uit water (fotosynthese) met zuurstof als restproduct. Later ontwikkelde de zuurstofproducerende micro-organismen een resistentie tegen het giftige zuurstof en kon de concentratie van dit gas hoger oplopen. Toen er eenmaal meer zuurstof beschikbaar werd, ontwikkelde andere micro organismen een manier om het zuurstof te gebruiken voor de verbranding van koolhydraten. Al het tot nu toe bekende leven is zoals hierboven geschetst, waarbij de eiwitten allemaal gevormd zijn uit (een twintigtal) linksdraaiende aminozuren, en DNA/RNA uit rechtsdraaiende suikers. Er zijn geen aanwijzingen dat het leven op meerdere plaatsen op aarde onafhankelijk van elkaar ontstond waarbij afwijkende bouwstenen werden gebruikt. Maar dit kan wel gebeurd zijn, alleen zijn daar geen sporen meer van als al dit andere minder succesvolle leven, netjes is opgegeten door het overheersende leven met volledig overeenkomstige biochemie. Het moet dan wel over de mechanismen hebben beschikt om vreemde onverteerbare moleculen te transformeren tot wel bruikbare voedingsstoffen.

Verondersteld wordt dat aan de Darwinistische evolutie van het leven een chemische evolutie van moleculen vooraf is gegaan. Aan het molecuul RNA wordt een belangrijke rol toegeschreven omdat dit molecuul zelfreplicerend is en ook nog eens als katalysator kan dienen voor zichzelf. Naast zelfreplicatie speelt ook zelforganisatie van moleculen een cruciale rol. De zelforganisatie leidt tot de specifieke driedimensionale structuur van eiwitten, (fosfo)lipiden en RNA/DNA die van essentieel belang zijn voor hun biochemische functie. Het is interessant om te speculeren over andere moleculen die ongeveer het zelfde kunnen als die van onze biochemie. Van biochemische moleculen die precies het spiegelbeeld zijn van de onze (rechtsdraaiende aminozuren en linksdraaiende suikers) valt te verwachten dat die het net zo goed doen. Maar er zijn misschien ook wel alternatieve polymeren die ook zelfreplicerend kunnen zijn en alternatieve moleculen voor katalyse en membraanconstructie. Dit alternatieve leven kan het best gezocht worden op de aarde, namelijk in de laboratoria van chemici die zich met dit onderzoek bezig houden. Het is voorstelbaar dat er alternatief leven kan bestaan dat krachtig genoeg is om ander ontluikend leven in de kiem te smoren, maar zelf toch chemisch niet geraffineerd genoeg is om door te kunnen groeien tot hogere meercellige organismen; dit zou slecht zijn voor de kans op het ontstaan van aliens.

Sommige biologen denken dat de eerste levensvormen op aarde zijn ontstaan in hydrothermale bronnen circa 4 miljard geleden op een geologische tijdschaal niet lang nadat zich de oceanen op aarde gevormd hadden. In deze bronnen waren kooldioxide en waterstof als uitgangsstoffen voor handen. Bovendien was er door de botsing van alkalisch water met het neutrale oceaانwater, een natuurlijke

gradiënt van protonen. Iets wat de vroegste levensvormen al tussen de binnen en buitenkant van hun celmembraan creëerde, als drijvende kracht achter tal van biochemische reacties. Hoe de eerste levensvormen dan precies zijn ontstaan blijft onduidelijk, en er zijn ook wel andere theorieën over. Het is al met al niet vanzelfsprekend dat zulke complexe chemie zomaar ontstaat op een willekeurige aardachtige planeet.

Een volgende belangrijke stap in de evolutie van het leven, was het ontstaan van eukaryoten pas ongeveer een miljard jaar na opkomst van de eerste fotosynthetische bacteriën. Eukaryoten bevatten organellen, dat zijn kleine subcellen met specifieke functies binnen een grotere omhullende cel. Zij zouden zijn ontstaan door een fusie van bacteriën en archaea, die door sommige biologen wordt gezien als een zeer onwaarschijnlijke speling van de natuur. Vooral het ontstaan van het organel dat bekend staat als de mitochondriën was een grote doorbraak. De mitochondriën zijn de energiecentrales van een cel die het mogelijk maakten dat de cel groter werd, en die ook de weg opende naar meercellige organismen, die overigens pas honderden miljoenen jaren later ontstonden. Maar ook een organel als de chloroplast (bladgroenkorrel) was een grote doorbraak, hiermee werd de weg geopend naar het ontstaan van algen en planten. Met de meercelligen ontstonden bovendien langzamerhand gespecialiseerde groepen cellen, en daarmee organen, zintuigen en later zoiets als het centraal zenuwstelsel. Een andere belangrijke ontwikkeling was het ontstaan van seksuele voortplanting, waarmee op een meer gecontroleerde manier genetische variatie gecreëerd kon worden zonder de noodzaak van enkel mutaties in het DNA van individuen. Hierna volgden nog een aantal belangrijke revoluties zoals de Cambriëse explosie van circa 542 tot 488 miljoen jaar geleden (van bijna alle stammen van de meercellige dieren zijn de vroegste fossielen uit deze periode afkomstig), de opkomst van landleven vanaf circa 400 miljoen jaar geleden (mogelijk gemaakt door de toegenomen atmosferische zuurstofconcentratie die het ontstaan van een UV-beschermende ozonlaag tot gevolg had), gevolgd door een aantal massa-extincties zoals de bekende massaextinctie waarbij de grote dinosauriërs circa 66 miljoen jaar geleden uitstierven. Het voert te ver om hier op in te gaan, maar het is duidelijk dat al deze met elkaar samenhangende stappen gezamenlijk wel eens een erg lage waarschijnlijkheid zouden kunnen hebben.

Daar valt tegen in te brengen dat er wel meer wegen naar Rome zouden kunnen zijn, namelijk alternatieve evolutionaire routes die ook tot intelligente wezens zouden hebben geleid. Die intelligente wezens hoeven niet noodzakelijk aapachtige zoogdieren te zijn, misschien had een boomslingerende dino ook ooit wel kunnen doorevolueren tot een intelligente soort, vanzelfsprekend is dat echter niet. En dan is er nog de merkwaardige opkomst van de mens. Pas een paar miljoen jaar geleden ontstonden de eerste mensachtigen. De moderne mens (*Homo sapiens*) dateert slechts van de laatste tweehonderdduizend jaar. Het grootste deel van zijn bestaan was *Homo sapiens* een onopvallende jager/verzamelaar. Pas de laatste tienduizend jaar is de mensheid zich met landbouw gaan bezighouden en ontstonden de eerste steden. En de opkomst van geavanceerde technologie is pas van de laatste twee eeuwen. Op de aarde hebben miljarden diersoorten geleefd maar slecht één daarvan heeft (voor zo ver wij weten) deze opmerkelijke transitie ondergaan. Er zijn wel meerdere diersoorten die je redelijk intelligent zou kunnen noemen, zoals chimpansees, dolfijnen, olifanten, en kraaiachtigen. Maar zij staan toch nog wel redelijk ver af van instrumentgebruik, beheersing van vuur en steen en metaal bewerking, (hoewel een chimp al wel met een stokje termieten uit een nest kan pullikken). Zij lijken vooral de fijne motoriek te missen voor dit soort technieken. Voor complexere samenlevingen waarin mensen aan landbouw doen en steden ontwikkelen, zijn daarnaast bij voorkeur geschreven taal en wetgeving nodig. Het is voorstelbaar dat er aardig wat aliens zijn die jagers/verzamelaars zijn, zoals mensen ook begonnen zijn, en dat zij zelfs aan landbouw zijn gaan doen en steden en zelfs complete rijken hebben opgericht zoals de Romeinen en de Inca's, maar dat zij niet de laatste stap hebben gezet naar geavanceerde technologie. Voor die laatste stap is een nog meer abstracte manier van denken nodig zodat zich filosofie en wetenschap kunnen ontwikkelen. Geleerden die zich daar mee bezighouden

zouden dan ook nog eens ondersteund moeten worden door de maatschappij waarin ze leven. Dit alles overziend hoeft het niet verbazingwekkend te zijn als de kans op het ontstaan van geavanceerde beschavingen kleiner is dan 1 gedeeld door het aantal aardachtige planeten in ons melkwegstelsel.

Anderzijds zou die kans ook wel wat groter kunnen zijn. Misschien ontstaat leven wel makkelijk op aardachtige planeten met oceanen en vulkanische activiteit, en is het in grote lijnen identiek aan onze biochemie. De daarop volgende Darwinistische evolutie verloopt weliswaar langzaam, maar het is voorstelbaar dat op voldoende stabiele planeten na vier miljard jaar redelijk gegarandeerd complexe meercellige organismen ontwikkeld zijn. Dat vervolgens ook technologisch geavanceerde beschavingen ontstaan, zal mogelijk aanzienlijk zeldzamer zijn, maar het zou binnen ons melkwegstelsel toch nog wel eens kunnen gebeuren. Het is echter goed mogelijk dat het typisch is voor technologisch geavanceerde beschavingen dat ze maar kort (bv slechts enkele eeuwen) bestaan. Zij zouden wel eens met grote waarschijnlijkheid aan hun eigen succes ten onder kunnen gaan, ofwel zelfvernietigend zijn, waarbij een terugval tot pre-industriële samenlevingen plaatsvindt of zelfs uiteindelijk het uitsterven van de intelligente soort. Als dit zo is, dan is het aantal actieve technologisch geavanceerde beschavingen juist vanwege hun geringe gemiddelde levensduur klein (zie de formule van Drake) en is de kans op contact met andere beschavingen gering, ook omdat die beschavingen maar weinig tijd hebben om het universum met hun geavanceerde technologie te verkennen. In bijlage 1 is nader toegelicht hoe door een korte beschavingsduur, het aantal waarneembare geavanceerde beschavingen in ons melkwegstelsel klein of zelfs verwaarloosbaar klein kan zijn, terwijl het aantal geavanceerde beschavingen dat er ooit in het melkwegstelsel is geweest dan nog best groot kan zijn. Overigens kunnen ook natuurlijke rampen de duur van een beschaving beperken. Te denken valt aan rampen zoals een uitbarsting van supervulkanisme, het inslaan van een grote meteoriet, een uithaal van een extreme zonnevlam of de vernietigende straling van een supernova of gammaflits. De tijdschaal waarop dit soort rampen plaatsvinden ligt echter in de orde van miljoenen jaren, terwijl de opkomst van technologisch geavanceerde beschavingen waarschijnlijk eerder ligt in de orde van duizenden jaren. Een mogelijke uitzondering daarop is een extreme uitbarsting van zonneactiviteit die krachtig genoeg is om alle elektronica op een planeet plat te leggen, maar het grootste gevaar lijkt toch zelfvernietiging te zijn. Mocht een technologisch geavanceerde samenleving niet zelfvernietigend zijn, dan is die waarschijnlijk doorgroeid tot een hyperontwikkelde samenleving die een heel ander karakter heeft gekregen (waar ik in het volgende hoofdstuk op terug kom). Maar een samenleving die eeuwen/millennia lang blijft voortmodderen op het huidige niveau, is moeilijk voorstelbaar. Het lijkt wel een wetmatigheid dat hoe verder een samenleving ontwikkeld is, hoe korter die kan bestaan in zijn huidige vorm. Wat je in onze samenleving ziet is dat met de opkomst van geavanceerde technologie, een enorme groei in menselijke populatie en energieconsumptie, optreedt. We noemen onszelf intelligent, maar we lossen de problemen die met de groei samenhangen zoals de uitstoot van het broeikasgas kooldioxide, andere vervuiling, de opbouw van massavernietigingswapens, en in de nabije toekomst misschien slecht ontworpen (onveilige) computercode en kunstmatige intelligentie, mogelijk niet snel genoeg op. Eerder nog dan onze eigen teloorgang gaat de explosieve groei van de mensheid voorlopig vooral ten koste van ons natuurlijk habitat, dat we in rap tempo aan het transformeren zijn tot een gecultiveerde dierentuin met teruglopende biodiversiteit. Wat dat betreft lijkt wat wij aan het doen zijn op een massaextinctie die in de evolutie van het leven op de aarde al een paar keer eerder plaatsvond. Paradoxaal genoeg is het economische groeimodel dat hoogwaardige technologie, veel welvaart (hoewel niet voor iedereen) en een miljarden tellende bevolking opleverden, een teken van primitiviteit. Planten en dieren die wij primitief noemen, doen het zelfde, namelijk opportunistisch zelf zo talrijk en wijd verbreid worden als maar mogelijk is (alleen bij 'primitieve' planten en dieren was altijd sprake van een min of meer subtiel evenwicht). De nadelen van groei in menselijke populatie, energie- en grondstofgebruik zijn ten eerste dat het extra gevaar oplevert voor het ontstaan van conflicten en ten tweede dat het leidt tot

onaangename drukte-verschijnselen (bijvoorbeeld in het verkeer of in gebieden die de mensen juist bezoeken voor de rust) en ten derde dat het kan leiden tot stressverschijnselen die samen hangen met de gigantische productie- en afvalstromen (vervuiling, erosie, uitputting, ziektes etc.). De stressverschijnselen kunnen weliswaar met technologie grotendeels opgelost worden, maar zolang de groei doorgaat, komen nieuwe problemen voor de oude in de plaats. Een ramp dreigt als er een keer voor een bepaald probleem geen technische oplossing gevonden kan worden. Maar het gaat niet alleen om het vinden van technische oplossingen, er moet ook voldoende politieke wil zijn. Tegenwoordig bestaat de mensheid nog steeds uit concurrerende groepen (samenhangend met de aard van de jagers/verzamelaars uit de oertijd, die nog altijd in ons brein huist). Hierdoor is het moeilijk om tot een gezamenlijk beleid te komen waarin niet telkens de ene groep het bord van de andere groep leeg probeert te eten. Anderzijds is een keten van telkens nieuwe technologische uitdagingen, een goede stimulans voor steeds verdere kennisontwikkeling. Maar een echt intelligente beschaving zou zo'n stok achter de deur niet nodig moeten hebben. Zo'n beschaving zou eerder kiezen voor een stabiele en bescheiden populatie te midden van rijke ecosystemen van andere levensvormen.

Maar, om terug te komen op het onderwerp van dit hoofdstuk, als geavanceerde beschavingen maar op een zeer gering percentage van alle planeten ontstaan, dan zouden zij toch minder zeldzaam kunnen zijn als zij zich succesvol verspreiden en uitbreiden over hun sterrenstelsel en mogelijk zelfs naar andere sterrenstelsels. Hiervoor is echter wel geavanceerde ruimtevaart nodig. Het is echter goed mogelijk dat zelfs de meer technologisch geavanceerde aliens toch gestuit zijn op bepaalde fysische limieten zoals de snelheid van het licht. In SF boeken wordt wel eens gespeculeerd over reizen via wormgaten, Alcubierre warpdrive of rakettechnologie waarbij de lichtsnelheid heel dicht benaderd wordt, maar dit zou wel eens in de praktijk onmogelijk kunnen zijn. De meest realistische van deze methoden lijkt het dicht benaderen van de lichtsnelheid. Dit vereist heel veel energie en als deze energie uit meegenomen brandstof bestaat, moet die brandstof ook nog eens een extreem hoge energiedichtheid hebben. Daarmee is een rakettechnologie nodig zoals materie-antimaterie aandrijving die nu bijvoorbeeld voor ons nog lang niet haalbaar is (wij zitten nog in het stadium van rakettechnologie door middel van chemische verbranding en hebben kernfusie nog niet eens onder de knie). Maar er zitten daarnaast wel een paar nadelen aan deze methode. Ten eerste werkt de tijddilatatie waardoor relatief snel gereisd kan worden alleen voor de inzittenden van de raket en niet voor de achterblijvers (die asymmetrie ontstaat omdat de ruimtereizigers in tegenstelling tot de thuisblijvers een versnelling ondergaan hebben). Ten tweede veroorzaakt een ruimteschip dat dicht tegen de lichtsnelheid vliegt, behoorlijk veel wrijving en extreme straling door interactie met de kosmische achtergrondstraling, interstellair waterstof en stofdeeltjes, die schadelijk (zeg maar gerust dodelijk) is voor mensen en elektronica. Er wordt wel gesuggereerd dat de interstellaire materie met een gigantische trechter zou moeten worden opgevangen om vervolgens als energie voor de voortstuwing te dienen (zoals een Bussard-ramjet), maar hoe die materie, die aanvankelijk de voortstuwing juist zou moeten remmen, zo kan worden gemanipuleerd dat die het omgekeerde gaat doen, is technisch nog niet te onderbouwen. Overigens zou een raket die tegen de lichtsnelheid vliegt voor waarnemers op de aarde, o.a. een karakteristieke lokale verstoring van de kosmische achtergrondstraling te zien geven in het terahertz tot infrarode frequentiegebied (iets wat nog niet door astronomen is waargenomen). Als slechts met een laag percentage van de lichtsnelheid gereisd kan worden, dan duurt het al eeuwen tot duizenden jaren om de dichterbij gelegen sterren uit het eigen sterrenstelsel te bereiken. Er bestaat echter een aantal technieken waarmee ondanks een niet al te hoge snelheid, toch interstellaire bemande ruimtevaart mogelijk is. Als de reisduur naar een andere ster waar zich een bewoonbare planeet zou bevinden, meerdere eeuwen is (zoals haalbaar lijkt met snelheden tussen ongeveer 10% en 30% van de lichtsnelheid) en de levensverwachting van de bemanning aanzienlijk korter is dan deze tijdsduur, dan zouden kunstmatige slaap (hibernatie) of cryonisme en medische technieken waarmee

verouderingsprocessen vertraagd worden, toegepast kunnen worden. Op deze manier zou de extreem lange reisduur voor de bemanning aanvaardbaar kunnen zijn. Om de tijd te doden waarin de kosmonauten tijdens de reis bij bewustzijn zijn, zouden ze een heleboel goede (of slechte) films kunnen bekijken afgewisseld door gymsessies, virtuele realiteit en af en toe toch eens even uit het raam kijken. Een andere manier van bemand interstellair reizen is met een generatieschip. Een generatieschip zal in het algemeen een snelheid hebben van minder dan een paar procent van de lichtsnelheid, maar biedt wel relatief veel levensruimte aan een grote bemanning van mogelijk tienduizenden mensen of aliens. Deze bemanning zal dan meerdere generaties (voor de huidige levensverwachting van mensen al gauw honderden generaties) in het ruimteschip moeten zien te overleven. Dit soort ruimteschepen zouden gebaseerd kunnen zijn op een O'Neill-cilinder waarin kunstmatige zwaartekracht en een bewoonbaar oppervlak van honderden vierkante kilometers of meer beschikbaar kunnen zijn.

Op die manieren zouden aliens hun eigen sterrenstelsel (en mogelijk zelfs hun buur-sterrenstelsels) kunnen koloniseren, al zou het, gegeven de zojuist beschreven beperkingen, behoorlijk wat tijd en inspanningen vereisen. Bovendien zou ook het kolonisatieproces van een exoplaneet zelf heel lastig kunnen zijn. Het zou bijvoorbeeld kunnen zijn dat het primitieve leven dat er op zo'n planeet al is, eerst moet worden vervangen door het eigen microscopische leven. Je kunt je daarnaast afvragen of het wel zo vanzelfsprekend is dat, indien de beschikbare ruimtevaarttechnologie het toelaat, aliens de bewoonbare planeten van hun sterrenstelsel of althans een groot percentage van die planeten, zullen koloniseren. Want waarom zou je dat eigenlijk doen? Ten eerste is het aannemelijk dat interstellaire kolonisatie niet de eventuele problemen (zoals overbevolking) op de thuisplaneet of in het eigen planetenstelsel, oplost. Interstellaire kolonisatie zal per mens (of alien met grote biologische overeenkomsten) zoveel energie kosten dat het waarschijnlijk voorbehouden zal zijn aan een kleine elite. Een evacuatie van alle mensen op de aarde naar een exoplaneet zou in theorie mogelijk zijn in duizenden tot tienduizenden jaren, als de natuurlijke bevolkingsgroei op de aarde op nul gehouden wordt, mensen de aarde kunnen verlaten met een ruimtelift, en van te voren honderdduizend generatieschepen zijn geprepareerd en voorzien zijn van nucleaire brandstof in de vorm van deuterium en helium-3 uit de gasreuzen. Maar die voorbereiding zou waarschijnlijk langer duren dan de evacuatie zelf. Bovendien zou het in de meeste scenario's volstaan om mensen vanaf de aarde te evacueren naar ruimtehabitats die in het zonnestelsel blijven en die dan relatief eenvoudig een betere (meer omvangrijke) leefomgeving bieden dan een generatieschip. Ten tweede is er ook geen duidelijk economisch of militair-strategisch voordeel te halen uit interstellaire kolonisatie. Want als de lichtsnelheid een beperkende factor blijft in transport en communicatie, zal het ook moeilijk zijn om een echt interstellair imperium te vormen. Koloniën op verschillende exoplaneten zullen namelijk al snel het contact met de thuisplaneet kunnen verliezen of niet erg gemotiveerd zijn om het te behouden, en vervolgens van elkaar vervreemden. Uiteindelijk kunnen de koloniën zich zelfs tegen het imperium keren, en met elkaar in conflict komen. Ook vergroot interstellair koloniseren de kans dat het territorium van andere intelligente wezens geschonden wordt, met opnieuw conflict tot gevolg. Dan is er nog de overweging dat aliens misschien een aantal reserveplaneten willen hebben, om hun voortbestaan niet in gevaar te laten komen door een ramp die de maatschappij in hun eigen planetenstelsel uiteindelijk een keer zou kunnen treffen (bijvoorbeeld in het geval dat hun thuisster aan het einde van zijn hoofdreeksfase komt en dan te onstabiel wordt). Het probleem dat zich dan voordoet is dat de reserveplaneten die bewoonbaar gemaakt zijn, waarschijnlijk al snel eigen beschavingen zullen vormen die niet in dienst willen blijven als toevluchtsoord voor de oorspronkelijke beschaving. Toch zou er wel interstellaire kolonisatie kunnen optreden, bijvoorbeeld als bepaalde elites toch wel in staat zijn gesteld om het eigen planetenstelsel te verlaten met een generatieschip. Een koloniatiegolf die aldus vanuit één enkele planeet is ontstaan zou kunnen leiden tot een gehele kolonisatie van bewoonbare planeten in een sterrenstelsel in minder dan 100 miljoen jaar, terwijl geavanceerde beschavingen al miljarden jaren eerder kunnen zijn ontstaan. De potentieel meest interessante planeten

bevinden zich waarschijnlijk in de meeste gevallen in de middelste zone van het galactische vlak. Planeten dicht bij het galactische centrum lopen meer risico op kosmische rampen door de hogere waarschijnlijkheid van hoog energetische verschijnselen zoals gammaflitsen en supernova's; planeten ver van het galactische centrum zijn gemiddeld armer aan zwaardere elementen en daarom minder geschikt voor complex leven. Dit betekent dat kolonisatie vanuit één enkele thuisplaneet globaal in twee tegenovergestelde richtingen (linksom en rechtsom) langs de galactische schijf door de middelste zone zal lopen, waarbij de kolonisten die linksom gaan uiteindelijk in de buurt van de rechtsomgaande kolonisten kunnen komen aan de andere kant van het sterrenstelsel. In het geval van ons melkwegstelsel gezien vanaf de aarde, zal de ene exploitatierichting aanvankelijk liggen in het sterrenbeeld Cassiopeia en de andere tegenovergesteld ongeveer in het sterrenbeeld Carina (Kiel). Een dergelijke kolonisatie hoeft niet erg intensief te zijn. Als de links- en rechtsomgaande kolonisten gezamenlijk éénmaal (of mogelijk zelfs meerdere keren) de gehele galactische schijf rond gegaan zijn, zouden zij er de voorkeur aan kunnen geven om planeten te koloniseren die al een keer eerder zijn gekoloniseerd omdat dat eenvoudiger zou zijn om uit te voeren. Uiteraard wordt deze uitleg een stuk complexer als aangenomen wordt dat er meerdere kolonisatieprocessen vanaf verschillende oorspronkelijke thuisplaneten zijn opgetreden. Maar er zijn ook allerlei andere scenario's denkbaar waarin interstellair kolonisatie erg traag of onregelmatig verloopt waardoor nog altijd maar een gering percentage van alle bewoonbare planeten, is gekoloniseerd.

Het is ook mogelijk dat aliens besluiten niet zelf fysiek naar andere bewoonbare planeten (waar nog geen tekenen van leven zijn) te reizen, maar slechts de sporen van hun eigen biochemie te transporteren naar die planeten en de rest over te laten aan de daarop volgende Darwinistische evolutie. Zo'n onderneming is (met uitzondering van enkelvoudige experimenten) echter weinig aannemelijk, omdat de resultaten vele miljarden jaren op zich zullen laten wachten, wat zelfs voor ver ontwikkelde aliens langdurig is, waarbij ook de uitkomst onzeker is want de evolutie zou wel eens tegenvallende levensvormen kunnen opleveren. Bovendien zullen aliens mogelijk juist extra geïnteresseerd zijn in leven dat zelfstandig op exoplaneten ontstaat; hun eigen biochemie kennen ze wel. Als het gaat om overleven zal het daarnaast vooral gaan om het overleven van hun civilisatie. De aantrekkingskracht van interstellair kolonisatie (of ruimtereizen in het algemeen), zal toch vooral liggen in de daadwerkelijke beleving van verse nieuwe planeten met schitterende natuur en landschappen. Maar mogelijk hebben aliens zelfs dat niet nodig omdat ze dat (deels) met virtuele realiteit veel goedkoper thuis, op een dichtbij gelegen dode planeet, of in een speciaal ruimteschip (ook wel een ruimtehabitat genoemd), kunnen creëren. Je zou aliens die met een ruimtehabitat waarin ze van alle gemakken voorzien zijn, tussen de sterren reizen ook nog wel als toeristen kunnen voorstellen die misschien af en toe een planeet bezoeken. Maar als zij zich zo thuis voelen in een ruimtehabitat hoeven ze eigenlijk misschien niet eens meer te reizen. Dit is vergelijkbaar met sommige toeristen op de aarde, namelijk mensen die op hun vakantiebestemming nauwelijks uit hun caravan of camper komen, zodat je je afvraagt waarom ze niet gewoon thuis zijn gebleven.

Volgens de schaal van Kardasjov wordt de mate waarin een beschaving zich technologisch ontwikkeld heeft, afgelezen aan de hoeveelheid energie die ze aan haar omgeving onttrekt (onder het motto hoe meer hoe beter). Volgens de schaal van Kardasjov zou een technologische maatschappij van het type-1, die zoveel mogelijk energie benut op de planeet die het bewoont, kunnen doorgroeien naar een type-2 maatschappij die zoveel mogelijk energie benut in het gehele planetenstelsel waarin het woont. Vervolgens zou een type-2 maatschappij zelfs kunnen doorgroeien naar een type-3 beschaving die zoveel mogelijk energie onttrekt aan het gehele sterrenstelsel waarin het woont. Dit soort sterrenstelsels zou te detecteren zijn, omdat hierin relatief veel warmtestraling ontstaat. Astronomen hebben wel eens geprobeerd dergelijke sterrenstelsels te vinden, maar zij zijn daar niet in geslaagd. Dit betekent dat aliens die Kardasjov type-3 maatschappijen hebben opgericht niet bestaan of althans extreem zeldzaam zijn. Het kan zijn dat er toch wel aardig wat buitenaardse technologisch

geavanceerde beschavingen bestaan maar dat zij een dergelijke extreme exploitatie van een sterrenstelsel niet kunnen of willen uitvoeren. Dat aliens geen Kardasjov type-3 maatschappij kunnen of willen oprichten kan er mee te maken hebben dat geavanceerde civilisaties zich kenmerken door een niet extreem hoge bevolkingsgrootte en energiegebruik, omdat die ooit in hun geschiedenis gestabiliseerd zijn geraakt (of al relatief snel door een proces van verval, zijn afgenomen). Het kan ook zijn dat sommige buitenaardse civilisaties wel zeer veel energie nodig hebben maar dat die verzameld wordt rond zwarte gaten, waar veel hogere energiedichtheden beschikbaar zijn. Sterren zijn geen super efficiënte energiebronnen omdat zij maar ongeveer 1% van hun massa in energie omzetten en daar in het algemeen zeer lang over doen. De energie die onttrokken wordt aan zwarte gaten zou overigens ook omgezet worden in warmtestraling, maar het zou kunnen dat die voor ons minder goed zichtbaar is dan de warmtestraling van een Kardasjov type-3 maatschappij. Het kan ook zijn dat geavanceerde aliens niet extreem veel energie nodig hebben omdat zij gebruik maken van zeer energie-efficiënte processen. Bijvoorbeeld als geavanceerde aliens zich bezighouden met het verwerken van grote datastromen, dan loont het om die uit te voeren in de koele randgebieden van een sterrenstelsel. Volgens de Landauer-Brillouin limiet is immers de maximale hoeveelheid informatie die voor een gegeven beschikbare energie verwerkt kan worden omgekeerd evenredig met de absolute temperatuur van de werkomgeving.

Als sommige aliens wel over de technologie beschikken om bijvoorbeeld via wormgaten, warpdrive of dicht tegen de lichtsnelheid, te reizen, dan zouden ze ook snel hier kunnen komen. Maar zeker als dit soort technologisch geavanceerde beschavingen zeldzaam is, kun je je afvragen of de kans dat ze uitgerekend hier komen, wel zo groot is. Het aantal bestemmingen dat deze aliens kunnen kiezen is immers duizelingwekkend groot. Het argument dat het grote aantal mogelijke bestemmingen de kans op een ontmoeting laag houdt, geldt vooral als de betreffende aliens incidentele reizigers zijn en geen systematische kolonisten. Als aliens wel interstellaire kolonisten zijn en zij kunnen sneller dan het licht reizen, dan versterkt dat in het algemeen juist de Fermiparadox. Aliens die door extreme verbuiging van de ruimte/tijd (zoals in wormgaten) snelle ruimtereizen maken, zijn ook tijdreizigers. Dit geldt ook voor klassieke ruimtereizigers die met een hoog percentage van de lichtsnelheid reizen. Zij reizen naar de toekomst omdat hun tijd aanzienlijk trager loopt dan op de achtergelaten of te bezoeken planeten, volgens de speciale relativiteitstheorie van Einstein. Reizen naar het verleden is op basis van de algemene relativiteitstheorie niet uit te sluiten, (het zou o.a. exotische negatieve energie vereisen), maar lijkt nog minder haalbaar dan reizen naar de toekomst. Omdat deze aliens naar de toekomst reizen, kunnen ze er voor kiezen om planeten waarvan de beschaving in hun ogen in een oninteressante of onaantrekkelijke fase verkeert, maar even niet te bezoeken. Hierdoor kunnen aliens niet alleen in ruimte maar ook in tijd zeldzaam zijn.

3) Aliens willen geen contact met ons

Een derde oplossingsrichting voor de Fermiparadox is de veronderstelling dat aliens niet noodzakelijk zeldzaam zijn maar geen contact met ons willen. De aliens die contact met ons zouden kunnen leggen, zullen waarschijnlijk technologisch en maatschappelijk verder ontwikkeld zijn dan wij. Weliswaar is het met ouderwetse technologie al mogelijk om een radioboodschap naar een exoplaneet te sturen, maar heel serieus wordt deze methode door ons ook niet genomen, o.a. omdat je zo lang moet wachten op een eventueel antwoord. Bovendien geef je met het verzenden van zo'n radiobericht informatie over jezelf weg zonder enige garantie te hebben dat de (eventuele) ander waarvoor het bericht bedoeld is, net zo vrijgevig (en eerlijk) is om het zelfde te doen. Ook geldt dat behoorlijk wat moeite gedaan moet worden om de kans op de onderschepping van het radiobericht door buitenaardse beschavingen redelijk groot te maken. Er zal dan gedurende lange tijd met grote regelmaat en in diverse richtingen van het galactische vlak uitgezonden moeten worden; een enkel bericht dat een keer in een bevestiging

wordt uitgezonden heeft in het algemeen weinig kans om onderschept te worden. Het is wel zo dat geavanceerde beschavingen die zijn doorgroeid richting een Kardasjov-2 maatschappij, over zo veel energie beschikken dat ze makkelijk sterke radiobakens kunnen oprichten die over zeer grote afstanden waarneembaar zijn. Maar het is ook wel aannemelijk dat een dergelijke poging tot communicatie dan al lang een gepasseerd station is voor zo'n ver ontwikkelde maatschappij. Om wel serieus contact te kunnen leggen zouden de aliens zelf naar ons toe moeten komen met ruimteschepen, of ze zouden het kunnen uitbesteden aan sondes die uitgerust zijn met kunstmatige intelligentie. Dit vereist een technologisch niveau dat wij nog niet bereikt hebben. Een nadeel van verkenning met sondes of ruimteschepen is wel dat het bereiken van de bestemming nog (aanzienlijk) trager gaat dan een radiosignaal, tenzij hypersnelle verplaatsingen gerealiseerd worden waarbij ruimte/tijd gemanipuleerd wordt. Traditionele (langzame) sondes en ruimteschepen kunnen echter onderweg al data verzamelen bijvoorbeeld in planetenstelsels waar geen of slechts primitief leven is. Zij kunnen in de loop der tijden daarom toch met een redelijke frequentie wetenschappelijke data terugsturen naar de thuisplaneet, vooral als ze groot in aantal zijn. Ook kan het zo zijn dat een interstellaire missie niet gericht is op terugcommunicatie met de thuisplaneet bijvoorbeeld omdat de aliens die deze missie ondernemen, hun thuisplaneet ontvluchten. Er is een aantal redenen te bedenken waarom aliens sondes of ruimteschepen naar de aarde zouden sturen, voor zover ze überhaupt de aarde van te voren al als een interessante bestemming hebben kunnen bestempelen (zo niet dan kan de aarde gaande weg de verkenning van het melkwegstelsel alsnog als een bestemming aangemerkt worden). Ten eerste zouden ze dat kunnen doen om de aarde te koloniseren of als toeristen, wetenschappers of medewerkers van geheime diensten tijdelijk te bewonen of te verkennen. Voor zo ver wij weten is dit nog niet gebeurd. Het kan wel dat aliens hier al zijn of in het verleden geweest zijn, maar zij zijn er dan goed in geslaagd om niet op te vallen (of dit was niet eens nodig omdat de mensheid nog niet bestond). Het is zelfs mogelijk dat wij de afstammelingen van die aliens zijn, maar dan waarschijnlijk wel via hun microben die ze dan al vroeg in de geschiedenis van de aarde (miljarden jaren geleden) bijvoorbeeld via hun afvalwater hier gedumpt zouden hebben (een variant op de Panspermia theorie). Aliens die de aarde in een meer recent verleden bezocht hebben zouden er voor gekozen kunnen hebben om niet op te vallen door zich te vermommen als mensen. Een collega van Fermi, de Hongaar Leó Szilárd maakte daarover de opmerking dat de mensheid deze aliens inderdaad al kende, namelijk als Hongaren. Een reden om zich te vermommen of verborgen te houden, kan zijn dat ze ons geen schrik willen aanjagen of omdat ze onze cultuur niet willen beïnvloeden voor een authentieke ervaring van het leven hier op aarde. Dit kun je vergelijken met menselijke onderzoekers die bijvoorbeeld in het amazonewoud een natuurfilm maken, waarbij ze camouflagetechnieken gebruiken om de dieren zo min mogelijk te verstoren en hun gedrag zo natuurgetrouw mogelijk, vast te leggen. Het is ook goed voorstelbaar dat aliens niet met veel minder ontwikkelde wezens, wat mensen in hun beleving waarschijnlijk zijn, willen communiceren, omdat ze er het nut niet van inzien. Net zo als wij bijvoorbeeld niet proberen te communiceren met mieren. Het kan ook zijn dat ze niet met ons willen communiceren uit minachting over ons gedrag en onze maatschappij in het algemeen. Bovendien, als ze wel met ons gaan communiceren, dan hebben aliens daar waarschijnlijk geen baat bij, sterker nog, het is een risico. Zodra wij weten dat er aliens op aarde zijn, is de kans groot dat wij ze gaan lastig vallen, bijvoorbeeld dat we ze gaan bevragen over hun technologie. Zij zullen uit veiligheidsoverwegingen hun superieure technologie waarschijnlijk liever voor zichzelf houden. Als je van plan bent die technologie geheim te houden, kun je maar beter ook je hele aanwezigheid geheim houden. Met hun technologische voorsprong zal het voor aliens ook niet zo moeilijk zijn, om daar in te slagen. Een andere reden voor aliens om zich niet bekend te maken kan zijn dat zij vijandige of ongastvrije reacties in het algemeen, vrezen. Daar valt tegen in te brengen dat aliens met een superieure technologie waarschijnlijk niets van ons te vrezen hebben, waarom zouden zij zich dan verbergen? Het kan zijn dat als aliens (of hun kunstmatige intelligentie) zich fysiek op de aarde begeven, zij toch, ondanks hun technologische voorsprong, bepaalde kwetsbaarheden hebben, die zij

willen beperken door incognito te opereren. In de ruimte zijn zij mogelijk voor ons moeilijk te zien omdat hun raket- en communicatietechnologie voor ons geen of slecht waarneembare sporen achterlaat. Een ander punt is, dat wat ze over ons willen weten ze niet aan ons hoeven te vragen, daar zijn ze uit observatie en onderzoek waarschijnlijk al lang achter. Een vrijblijvend gesprek tussen een mens en een bezoekende alien die zichzelf niet verhuult, zou wel eens een onaangenaam karakter kunnen hebben. De mens zal denken dat de alien niet duizenden lichtjaren heeft afgelegd om over koetjes en kalfjes te praten en dat er achter de ontmoeting wel een verborgen agenda zal zitten. De alien moet toezien dat zijn boodschap en eventuele cadeaus met een terecht wantrouwen tegemoet getreden worden. Het is wel mogelijk dat een open kaart spelende alien en een mens een leuk gesprek hebben, een alien hoeft namelijk niet altijd geheel rationeel te handelen. De kans op zo'n gesprek is echter het groots als beide partijen het gesprek voor zichzelf houden, de alien moet dan het psychologisch inzicht hebben om een mens met het daarvoor juiste karakter, aan te spreken.

Als aliens bewoonbare planeten in ons melkwegstelsel willen koloniseren, kan het zijn dat ze de aarde daarvoor niet geschikt vinden. Het kan zijn dat zij de aarde niet geschikt vinden omdat zij zich liever vestigen rondom langer levende M of K sterren, waarvan er bovendien veel meer zijn dan G-sterren zoals de zon. Het kan ook zijn dat ze de aarde niet geschikt vinden om zich op te vestigen omdat die al bewoond wordt door zeer veel hogere levensvormen. Er kunnen ethische bezwaren zijn om die levensvormen in gevaar te brengen door er zelf te gaan wonen, maar er kunnen ook praktische bezwaren zijn. Het kan bijvoorbeeld eenvoudiger zijn om een planeet te koloniseren waar nog geen leven is, of waar slechts microscopisch leven is. Deze overwegingen sluiten aan op de zogenaamde diertuinhypothese. De diertuinhypothese stelt dat de aarde deel uitmaakt van een reservaat in ons melkwegstelsel dat door aliens bewust met rust gelaten wordt, net zoals dat geldt voor natuurreservaten zoals die door mensen op aarde zijn opgericht. Er is wel handhaving nodig om zo'n reservaat te kunnen afdwingen; dit zou nog wel eens lastig kunnen zijn zeker als er ter plekke verschillende soorten aliens actief zijn. Er hoeft er maar één lak te hebben aan de regels en over de middelen te beschikken om de handhaving te omzeilen, om er voor te zorgen dat het reservaat geschonden wordt. Misschien is het ook wel meer plausibel als aliens voor zichzelf goede redenen hebben om hun aanwezigheid niet aan ons kenbaar te maken.

Een tweede reden voor aliens om naar de aarde te komen kan zijn dat ze iets van ons gedaan willen krijgen, bijvoorbeeld dat ze handel met ons willen drijven. Het is echter moeilijk voorstelbaar wat dat kan zijn. Grondstoffen en dergelijke kunnen aliens eenvoudig dichterbij huis vinden. Kunstwerken die ze als souvenir naar huis willen meenemen of mensen die ze als huisdier willen houden, hoeven ze niet van ons te kopen of te stelen, die kunnen ze met hun superieure technologie kopiëren. Als het echt iets bijzonders is, kan het inderdaad gekocht of gestolen worden; om het te kopen kunnen aliens als truc weer de menselijke vermommening inzetten. Het kan ook zijn dat ze ons willen helpen met problemen in onze samenleving. Dit kan ook weer zonder zichzelf bekend te maken. Maar misschien is het wel naïef om te denken dat ze ons willen helpen, omdat het wel begrijpelijk is als aliens van mening zijn dat we onze problemen zelf moeten oplossen of dat ze ons zelfs zien als potentiële toekomstige concurrenten. Verder zou je kunnen zeggen, dat het nogal onbeleefd is van aliens om hier wel aanwezig te zijn, maar zich niet bekend te maken. Als aliens zich al iets van onze opvattingen over beleefdheid zouden aantrekken, kunnen er hogere belangen zijn. Zo zal een welopgevoede spion ook niet uit beleefdheid zeggen dat ie een spion is.

De mogelijkheid dat aliens wel op of nabij de aarde vertoeven maar zichzelf verborgen houden, geeft voeding aan de theorie dat sommige UFO-waarnemingen toch te maken hadden met de aanwezigheid van aliens. Aliens kunnen af en toe foutjes gemaakt hebben waardoor hun ruimtevaartuigen wel zichtbaar zijn geweest voor aardbewoners. Het kan ook zijn dat ze een keer expres de camouflage hebben uitgezet om ons te laten schrikken. 's Avonds zitten ze dan met chips en bier lachend voor de TV naar onze nieuwsuitzending over die UFO-melding te kijken. Dit sluit ook aan bij de complottheorie dat

overheden bewijzen over de aanwezigheid van aliens geheim houden bijvoorbeeld om maatschappelijke onrust te voorkomen.

Een andere mogelijkheid is dat aliens de aarde bewust niet bezoeken hoewel ze misschien wel vermoeden dat er leven is (via telescopische waarneming van onze atmosfeer-samenstelling, vanaf hun thuisplaneet). Dit kan te maken hebben met een negatief uitgevallen kosten/baten analyse van lange interstellaire reizen. Sommige aliens mogen dan technologisch verder ontwikkeld zijn dan wij, het is goed voorstelbaar dat zij toch stuiten op bepaalde technische problemen in de ontwikkeling van hun ruimtevaart. In hoofdstuk 2 kwam de mogelijk onoplosbare beperking van de lichtsnelheid al aan de orde, waardoor alleen relatief langzame ruimtevaart met slechts een fractie van de lichtsnelheid voor handen is. In combinatie met andere beperkingen, vooral met betrekking tot allerlei gevaren van het ruimtereizen en eventueel het koloniseren van exoplaneten, kan het zijn dat bemande ruimtereizen naar andere sterren zeer kostbare en moeizame ondernemingen blijven. Misschien blijft bemande ruimtevaart daarom wel beperkt tot hun eigen planetenstelsel. Bovendien kan het zijn dat men in het eigen planetenstelsel ruim voldoende leefruimte en grondstoffen heeft, eventueel ook op andere planeten en manen of in ruimtehabitats, zodat er geen noodzaak is om naar planeten rond andere sterren te verhuizen. Mogelijk is men nog wel voldoende gemotiveerd om met onbemande missies uitgerust met kunstmatige intelligentie ons melkwegstelsel te verkennen, dat zou echter te weinig kunnen zijn om de aarde in ons huidige tijdperk te bezoeken. Als ruimtesondes niet sneller kunnen gaan dan 1 tot circa 10% van de lichtsnelheid, en daarnaast rekening gehouden wordt met een beperkte levensduur van deze sondes, dan zou het al heel wat zijn als de actieradius van werkzame ruimtesondes opgeschroefd kan worden tot enkele honderden lichtjaren. Als ruimtesondes zichzelf zouden kunnen vervangen, zoals Von Neumann sondes, dan zou de actieradius van werkzame ruimtesondes veel groter kunnen zijn. Als zo'n techniek al ontwikkeld kan worden, zou deze echter te risicovol geacht kunnen worden omdat men er de controle er over zou kunnen verliezen; daarom is het goed denkbaar dat men zo'n techniek niet zomaar wil toepassen. Daarnaast kan de veelheid aan vergelijkbare ontdekkingen op de planeten die wel uitgebreid onderzocht zijn, of het gebrek aan belangwekkende ontdekkingen op exoplaneten in het algemeen, er toe bijdragen dat de motivatie om verder te zoeken verdwijnt. Ook kan het zijn dat via mind-uploading relatief goedkoop en veilig tussen een aantal vaste locaties gereisd kan worden, terwijl het ontdekken en exploiteren van nieuwe locaties daarmee vergeleken duur en risicovol is. Nieuwe exploitatie kan daarom mogelijk op een gegeven moment helemaal tot stilstand komen.

In hoofdstuk 2 kwam al aan de orde dat het aannemelijk is dat een technologisch geavanceerde beschaving of vrij snel aan zijn eigen succes ten onder gaat (omdat het de problemen samenhangend met de enorme groei in energie, grondstofgebruik en bevolkingsaantal niet tijdig kan oplossen) of doorgroeit tot een hyperontwikkelde samenleving die een heel ander karakter heeft dan onze huidige samenleving. Dit heeft er mee te maken dat technologie voorbij een bepaald stadium van ontwikkeling steeds meer invloed krijgt op allerlei facetten van de maatschappij maar ook op de bewoners zelf; het gaat dan o.a. om bepaalde medische doorbraken, de exponentiële groei van de rekenkracht van computers en de ontwikkeling van kunstmatige intelligentie. Mensen (of aliens) zouden hierdoor een enorme levensduur kunnen krijgen en voorzien kunnen zijn van implantaten die ze een ongekend geheugen en intelligentie geven. Het zou van mensen behalve cyborgs ook een soort goden maken, die zelf gaan bepalen wat ze willen gaan willen. Dit zou tot een technologische singulariteit kunnen leiden. Een technologische singulariteit is het eindpunt van een stroomversnelling in technologische ontwikkeling die een zodanig ingrijpende invloed heeft op degenen die het ondergaan, dat wij niet kunnen bevatten waartoe het zal leiden. Dit is misschien wel een verontrustend vooruitzicht, want wij zouden wel eens iets kunnen worden waar we nu totaal niet achterstaan. Als een maatschappij eenmaal in een technologische singulariteit is beland, zou zij wel eens (om voor ons onbekende redenen) voor ons onzichtbaar geworden kunnen zijn. Dit zou verklaren waarom we zo weinig van aliens merken; zij

zijn of vrij pril in hun ontwikkeling (net als wij) en nog maar kort bezig met ruimtevaart en andere verkenning van het heelal, of hun maatschappij is in verval geraakt waardoor zij hun geavanceerde technologie zijn kwijtgeraakt, of zij zijn doorgegroeid tot een hyperontwikkelde samenleving die mogelijk zelfs in een technologische singulariteit is beland, die voor ons onzichtbaar is. Het is nogal speculatief om aan te nemen dat mensen of aliens in een technologische singulariteit zullen belanden, maar er is wel wat te zeggen over de manier waarop een hyperontwikkelde samenleving voor ons onzichtbaar zou kunnen worden. Indien een samenleving zich steeds verder technologisch ontwikkelt en ze ook de problemen van de bevolkingsgroei weet op te lossen, krijgt ze steeds meer controle over haar omgeving en hoeft ze zich ook niet uit te breiden. De technologische ontwikkeling leidt er ook toe dat er steeds betere amusementstechnieken en mogelijkheden tot het beleven van virtuele realiteiten ontstaan. De aantrekkingskracht hiervan kan zo groot worden, dat zo'n samenleving in zichzelf gekeerd raakt, en haar belangstelling voor exploitatie van de ruimte verliest. Waar wij eerst af en toe een bordspelletje speelden en met niet al te veel passie een pionnetje verplaatsten, worden wij misschien zelf wel de pionnetjes die met vurige passie in een spannend spel zijn terecht gekomen dat qua echtheid niet van onze huidige werkelijkheid is te onderscheiden. Achter dit spel zit een kunstmatige intelligentie die de touwtjes in handen heeft. Dit is een scenario dat enigszins doet denken aan de film de Matrix. Maar ook als we niet opgezogen worden door aantrekkelijke virtuele realiteiten, is het aannemelijk dat kunstmatige intelligentie steeds meer invloed krijgt. Eerst zal computerkracht nog vooral gebruikt worden voor productieprocessen en informatieverwerking. Later als kunstmatige intelligentie in opkomst gekomen is, zal het ook meer beleidsmatige en zelfs politieke beslissingen, kunnen gaan nemen. Wij zullen nu misschien zeggen dat we dat niet moeten toestaan, maar het vertrouwen in het vermogen van kunstmatige intelligentie kan sterk groeien, en men kan het overdragen van de macht aan kunstmatige intelligentie gaan zien als een noodzakelijke stap om te overleven. Als het eenmaal zo ver is, zal het ook wel eens gedaan kunnen zijn met de imperialistische neigingen van de mensheid (of aliens) en zal zij voorzichtiger en meer in zichzelf gekeerd zijn. Dit soort beschavingen zouden miljoenen jaren of misschien zelfs wel miljarden jaren lang kunnen bestaan. De vraag is waar de bewoners hun dagen (of liever gezegd hun millennia) mee slijten. Zouden ze niet eens levensmoe worden van hun spelletjes (als dat is waar ze hun heil in hebben gezocht) ? Of willen ze misschien wel niet eens onsterfelijk zijn, omdat ze beseffen dat sterven noodzakelijk is om het leven spannend te houden? Beschreven werd al het argument dat hoog ontwikkelde wezens niet met laag ontwikkelde wezens communiceren, net als mensen niet communiceren met mieren. Toch is dit niet helemaal waar als je bijvoorbeeld oorlogshandelingen ook rekent tot communicatie. De houding van mensen ten opzichte van mieren is in het vriendelijke geval die van een geïnteresseerde onderzoeker en in het onvriendelijke geval die van een pestende verstoorder of zelfs een verdelger. Het is niet ondenkbaar dat we moeten vrezen dat we van aliens juist de laatste soort communicatie mogen verwachten. Aliens kunnen makkelijk in ons een potentiële bedreiging zien, gezien onze gewelddadige staat van dienst in termen van oorlogen, mishandeling en ook slechte behandeling van andere diersoorten. Aliens die zelf ook agressief zijn, kunnen tot de conclusie komen dat het maar het beste is als de mensheid vernietigd wordt voordat ze ook een probleem wordt buiten haar eigen thuisplaneet. Deze aliens hebben zelf mogelijk een gewelddadige geschiedenis gehad met tal van oorlogen. Uiteindelijk hebben ze een maatschappijvorm gevonden waarin oorlog is uitgebannen (of alleen maar gevoerd hoeft te worden tegen veel zwakkere tegenstanders) en het laatste dat ze willen, zijn hernieuwde oorlogen maar dan met aliens. Iedere kans op zo'n oorlog zouden ze in de kiem kunnen smoren door in een stadium dat de aliens nog niet echt gevaarlijk zijn, ze te vernietigen. De vraag is dan waarom de vernietiging van de mensheid nog niet plaats gevonden heeft. Mogelijk hebben de agressieve en op vernietiging beluste aliens ons nog niet gevonden, we zijn tenslotte pas vanaf het einde van de 19^{de} eeuw bezig met het uitzenden van radioberichten; deze berichten zijn nu pas in een straal van ruim 100 lichtjaar van de aarde terecht gekomen, wat kosmologisch een minuscule afstand is. Het kan ook zijn dat er zoiets

bestaat als de rechten van de aliens, analoog aan mensenrechten. De dominante beschaving van aliens kan afgesproken hebben dat andere agressieve aliens pas vernietigd mogen worden als hun samenleving een zodanig hoog technologisch niveau heeft, dat zij op het punt staat een concrete bedreiging te vormen; tot die tijd wordt zij uit alien-lievendheid met rust gelaten. Het kan ook zijn dat ze ons niet willen vernietigen maar assimileren tot hun eigen soort, ook dat is een manier om ons uit te schakelen. Deze gedachte komt o.a. terug in de startrek SF serie. Bekend is de quote: "We are the Borg. Your biological and technological distinctiveness will be added to our own. Resistance is futile." Hun motieven om ons te assimileren kunnen ook nobeler zijn. Zij willen mogelijk uit een soort zendingsdrang dat wij deel uitgaan maken van iets groters, dat zij vertegenwoordigen. Mogelijk zijn er ook aliens die meer vredelievend en terughoudend zijn; zij zouden geen contact met andere aliens willen uit angst voor ongewenste vijandigheden, besmetting met onbekende ziektekiemen, computervirussen of gewoon omdat ze er niet in geïnteresseerd zijn. Vanuit dit perspectief bezien, is het begrijpelijk dat zij terughoudend zijn met het versturen van radioboodschappen, om de eigen aanwezigheid in het heelal rond te bazuinen. In het algemeen gesproken is het sowieso al moeilijk uit te leggen waar dat goed voor zou kunnen zijn. Angst voor aliens kan er ook toe leiden dat afgezien wordt van uitgebreide verkenning van het eigen sterrenstelsel met sondes, omdat men vreest dat aliens uit de communicatiesignalen van die sondes, de ligging van de thuisplaneet kunnen achterhalen. Angst voor aliens is begrijpelijk en deze angst wordt vreemd genoeg gevoed door de Fermiparadox zelf. Als er buitenaardse beschavingen zijn, zal waarschijnlijk voor een deel van die beschavingen of misschien wel voor al die beschavingen, gelden dat ze ook zoiets kennen als de Fermiparadox. Al die aliens zitten dan met de vraag waarom andere aliens nog geen contact gelegd hebben met hen en waarom zij dan het initiatief zouden moeten nemen om wel als eerste contact te maken. Zij zullen net als in dit artikel verschillende hypothetische verklaringen bedenken, en één daarvan is de gedachte dat het contact leggen met andere aliens kennelijk een niet erg succesvolle onderneming is. Zij die het geprobeerd hebben zijn er niet in geslaagd of het is ze in eerste instantie wel gelukt maar het heeft geleid tot een confrontatie die de motivatie om er mee door te gaan volledig de kop heeft ingedrukt. Het is deze hypothetische verklaring die de angst voor aliens vergroot.

Tenslotte is er nog een andere verklaring waaruit de onwil van aliens om met ons contact op te nemen zou blijken, namelijk de planetariumhypothese (zoals voorgesteld door Stephen Baxter). De planetariumhypothese is in eerste instantie een tamelijk vergezochte variant op de dierentuin-hypothese. Aliens zouden ons in de waan laten dat we alleen in het universum zijn door vanaf een zekere straal rondom het zonnestelsel ons op te schepen met een gesimuleerde realiteit die ons het beeld geeft van een universum zonder ander leven. Achter deze gesimuleerde realiteit zou eigenlijk een bruisend universum vol met leven, schuilgaan. Dit scenario doet enigszins denken aan de film 'the Truman show', waarin de hoofdpersoon aanvankelijk zonder het zelf te weten, leeft in een nauw geregisseerde realitysoap en uiteindelijk de confrontatie zal aangaan met de werkelijkheid achter de decorstukken. Misschien is het meer plausibel als aliens er voor gezorgd hebben dat ons hele universum een gesimuleerde realiteit is (zoals voorgesteld in de simulatiehypothese van Nick Bostrom). Ook hier kan weer gelden dat er opzettelijk voor gekozen is om ons alleen in het universum te plaatsen. Of mogelijk moet de fase waarin daar een einde aan komt nog aanbreken. Het leven is begonnen met zelfreplicerende moleculen en cellen. Daaruit zijn zelfreplicerende meercellige organismen ontstaan die op een gegeven moment zelfbewust en intelligent zijn geworden. De mensheid is vervolgens ook nog eens creatief geworden, door zijn eigen verzinsels te maken. Later is daar nog eens natuurkundige kennis, en geavanceerde technologie bij gekomen. De cirkel zou rond zijn als de mensheid uiteindelijk zorgt voor zelfrepliatie van het gehele universum. Misschien is het ontbreken van tekenen van aliens, juist hun ultieme boodschap, namelijk dat we ze zelf moeten creëren in een zelf te maken universum. Dit is allemaal erg speculatief, en staat eigenlijk ook dicht bij traditionele religie.

Aanbevelingen voor de mensheid

Voorlopig is de mens nog een nietig verschijnsel dat net toe is aan de vraag of het wel of niet naar Mars zou moeten gaan. Er zijn mensen die zeggen dat we een multiplanetaire soort zouden moeten worden. Dat lijkt nu hoog van de toren geblazen, als je ziet hoe matig we de zaken op onze eigen planeet op orde hebben. Dat we extra planeten nodig hebben om te overleven, is nu ook nog lang niet actueel. Als de aarde getroffen wordt door een ramp is het waarschijnlijk altijd nog een betere plaats om te overleven dan bijvoorbeeld Mars met enkele aardse nederzettingen, dat niet getroffen is door een ramp. Naar Mars gaan om de zelfde reden als we destijds naar de Maan gingen (voor de eer), is misschien wel een spannende expeditie, maar liever geen enkeltje. Waar de mensheid op langere termijn nog wel eens iets aan zou kunnen hebben, zijn ruimtehabitats op basis van een roterende cilinder voor kunstmatige zwaartekracht (zoals een O'Neill-cilinder) die eventueel als ruimteschip gebruikt kunnen worden (als een soort nooduitgang in ons zonnestelsel). Indien deze habitats voorzien zijn van een beschermhuls zou men daarin beschermd zijn tegen kosmische straling. Deze habitats zouden het zonnestelsel kunnen verlaten maar ook wel rondjes om de zon kunnen blijven draaien zolang het niet nodig is om te vertrekken.

Een andere vraag is of de ontdekking van aliens wel iets is om toe te juichen. De ontdekking van aliens, zeker op of in de buurt van de aarde, zou spectaculair zijn. Maar het zou beter zijn als we in ons melkwegstelsel geen aliens aantreffen. Als we aliens vinden, dan zullen we daar toch op 1 of andere manier rekening mee moeten gaan houden. De kans is vrij klein dat we aliens vinden die in ongeveer de zelfde fase van ontwikkeling zitten als wij; ze zullen waarschijnlijk of aanzienlijk minder geavanceerd zijn (of eigenlijk nog tot het dierenrijk behoren) of juist veel verder doorontwikkeld. Die eerste groep zal ons voorlopig met rust laten en ons ook niet kunnen ontdekken, die zouden we in de toekomst bijvoorbeeld met sondes kunnen observeren om meer te leren over hun samenleving, als we tenminste de daarvoor benodigde technologie kunnen ontwikkelen. De tweede groep is er één die op het gebied van ruimtevaart en astronomie veel verder is dan wij; de kans is groot dat zij ons eerder vinden dan wij hun (of dat ze ons al gevonden hebben), hoewel wij het voordeel hebben dat we nog maar kort zichtbaar zijn. Of zij hebben hun belangstelling voor ruimtevaart verloren en hebben zich gestort op heel andere geavanceerde technieken. Maar zij zullen dan toch slim genoeg zijn om zichzelf moeilijk vindbaar te maken voor aliens die nog wel aan ruimtevaart doen, al zullen zij er waarschijnlijk rekening mee moeten houden dat zij toch een keer gevonden worden door verkenningssondes van andere aliens.

We hebben al ruim een eeuw een mengelmoes van huishoudelijke radiosignalen uitgezonden waaruit onze aanwezigheid blijkt, zodat aliens ons wel kunnen vinden als ze deze hoek van het melkwegstelsel nader gaan onderzoeken met sondes, of (toevallig) al in de buurt zijn. De mengelmoes van aardse radiosignalen is echter op grotere afstand lastig detecteerbaar. Het best detecteerbaar in deze mengelmoes van radiostraling zijn televisie-draaggolven en in de radioastronomie gebruikte sterke gebundelde planetaire radarsignalen. Met een radiotelescoop ter grootte van de Arecibo-telescoop zouden de TV-draaggolven tot 16 lichtjaar zichtbaar zijn, en de met hoog vermogen verzonden gebundelde radarsignalen wel tot tienduizenden tot honderdduizenden lichtjaren. Daarmee zou vooral de laatste categorie radiostraling onze aanwezigheid in het melkwegstelsel (in een verre toekomst) kunnen verraden. Het gaat echter om niet in de diepe ruimte gerichte signalen, zodat ons zonnestelsel dan wel specifiek en met lange observatietijd in de gaten zou moeten worden gehouden. Bovendien zit in die signalen geen informatie; er kan alleen vastgesteld worden dat het waarschijnlijk om artificiële radiobronnen gaat. De opzettelijke signalen die METI wil uitzenden, zijn wel specifiek gericht op geselecteerde sterren, en zouden bovendien voorzien zijn van informatie over de mensheid. Aliens zouden zich hier aan kunnen gaan storen omdat ze kunnen denken dat wij onszelf kennelijk erg belangrijk vinden. Misschien zouden zij zich nog het minst aan die signalen storen, als er alleen maar goede muziek in gecodeerd zit. Het gaat natuurlijk wel om een probleem dat pas op lange termijn zou

kunnen gaan spelen. Een hypothetische buitenaardse beschaving 500 lichtjaar van ons verwijderd, moet nog een kleine 400 jaar wachten voordat de eerste radoruis van de aarde aankomt. Het is mede daarom misschien wel overdreven om de straatverlichting 's nachts uit te doen, de gordijnen te sluiten en radiostilte af te kondigen, omdat sommige aliens met snode plannen ons dan in een verre toekomst niet met (radio)telescopen en gravitatielenzen kunnen vinden (hoewel dit wel de prettige bijkomstigheid zou hebben dat de sterrenhemel weer eens zonder lichtvervuiling aanschouwd kan worden).

Iets anders wat we kunnen doen als we ons melkwegstelsel gaan verkennen, is voorkomen dat we onnodige sporen achterlaten. Want sporen van ruimte-exploitatie en opdringerige sondes in de achtertuin van aliens, zouden ook wel eens hun ergernis kunnen opwekken. Dat betekent dat Bracewell-sondes en vooral von Neumannsondes af te raden zijn. Als we verkenningssondes sturen, dan kunnen deze het best na het veilig terugzenden van de missieresultaten, zichzelf vernietigen of met de opgeslagen missieresultaten terugkeren naar de aarde. Het zou bijvoorbeeld ook een slecht idee zijn om met weinig voorkennis sondes met monsters van aards leven de ruimte in te sturen. Als deze door aliens gevonden worden, zou dat uitgelegd kunnen worden als een vijandige actie en je geeft dan bovendien gevoelige informatie over jezelf weg. Als er geen aliens blijken te zijn in het melkwegstelsel (of alleen maar heel aardige), dan is de voorzichtigheid voor niets geweest, maar dan is het toch goed dat we netjes zijn omgesprongen met de kosmos.

Bijlage 1.

Bovengrenzen aan het aantal (waarneembare) technologisch geavanceerde buitenaardse beschavingen in ons melkwegstelsel.

Om de Fermiparadox beter te doorgronden, is het goed om na te gaan wat, naar de meest recente inzichten, eigenlijk de bovengrenzen zijn aan het aantal (waarneembare) buitenaardse technologisch geavanceerde beschavingen in ons melkwegstelsel. In de inleiding van dit artikel is al toegelicht dat precieze of zelfs globale schattingen van het aantal buitenaardse beschavingen niet gemaakt kunnen worden, door ontbrekende kennis; kennis die bovendien niet zomaar op korte termijn te verkrijgen is. Wat je wel kunt doen, is een redelijke schatting maken van de bovengrenzen aan dat aantal buitenaardse beschavingen. Vervolgens kun je dan nagaan hoeveel marge er in theorie is om buitenaardse beschavingen te kunnen waarnemen, mocht om uiteenlopende redenen de kans op het ontstaan en voorkomen van die buitenaardse beschavingen lager zijn dan aangenomen was bij de berekening van de bovengrenzen. Het bepalen van bovengrenzen aan het aantal waarneembare buitenaardse beschavingen richt zich op ons melkwegstelsel, omdat van waarneming daarbuiten in andere sterrenstelsels (die op afstanden liggen boven een miljoen lichtjaar) sowieso weinig verwacht mag worden. Om de bovengrenzen aan het aantal buitenaardse beschavingen in ons melkwegstelsel te berekenen kan gebruik gemaakt worden van de formule van Drake. Deze formule is echter te grof om de best mogelijke schattingen te maken van het aantal sterren dat geschikt is om omgeven te zijn door een aardachtige planeet waar complex leven kan zijn ontstaan. Daarom wordt gekozen voor een meer moderne aanpak die onlangs in een wetenschappelijk artikel is gepubliceerd, zie <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2004/2004.03968.pdf>.

Deze moderne benadering benut onder meer de toegenomen kennis over de leeftijd- en massadistributie van de circa 250 miljard sterren in ons melkwegstelsel en de snelheid van stervorming als functie van de tijd, daar waar in de formule van Drake enkel wordt uitgegaan van een constante snelheid van stervorming gedurende de gehele geschiedenis van het melkwegstelsel. Centraal in deze moderne aanpak om de bovengrenzen aan het aantal waarneembare buitenaardse beschavingen te bepalen, staat het zogenaamde Astrobiologische Copernicaanse principe dat in een aantal verschillende gradaties van streng tot zwak kan worden toegepast. Dit Astrobiologische Copernicaanse principe stelt

dat de aarde een typische of middelmatige planeet kan worden genoemd. Dat wil zeggen dat de technologische geavanceerde beschaving die hier ontstaan is, het gevolg is van een proces dat net zo goed op een andere geschikte planeet kan plaats vinden. Het enige dat daartoe vereist is, is een geschikte planeet waar gedurende circa 4 à 5 miljard jaar (redelijk ongestoord) een Darwinistische evolutie heeft kunnen plaatsvinden. Aangenomen wordt dat een dergelijke evolutie, convergent is. Dat wil zeggen dat details en timing in die evolutie kunnen verschillen maar uiteindelijk wel dezelfde globale uitkomsten op een vergelijkbare tijdschaal tevoorschijn komen. Zo zal circa 5 miljard jaar nadat zo'n geschikte planeet ontstaan is uit de protoplanetaire schijf, gegarandeerd complex meercellig leven zijn ontstaan, en uiteindelijk zal vroeg of laat na die circa 5 miljard jaar ook een intelligente vorm van leven verschijnen die op een gegeven moment ooit een keer geavanceerde technologie ontwikkelt. Eigenlijk zeg je daarmee dat $f_l \cdot f_i \cdot f_c$ uit de formule van Drake 1 is. Of dit principe werkelijk zo geldt, is zeer omstreven, maar de toepassing ervan geeft je in ieder geval wel bovengrenzen aan het aantal (waarneembare) buitenaardse beschavingen in ons melkwegstelsel. De toepassing van het Astrobiologische Copernicaanse principe kan in een strenge of in een zwakke variant worden toegepast. In de strenge variant wordt niet alleen een ondergrens gesteld aan de leeftijd van een planeet waarop een technologisch geavanceerde beschaving kan ontstaan maar ook een bovengrens. In dit geval wordt aangenomen dat in de strenge variant de geavanceerde beschaving alleen kan ontstaan bij een leeftijd van de ster (en daarmee de bijbehorende geschikte planeet) die tussen 4,5 en 5,5 miljard jaar ligt. In een periode van maar 1 miljard jaar heeft een planeet een grotere kans om voldoende stabiel te blijven voor de ontwikkeling van hogere vormen van leven, bovendien is deze tijdsperiode gemodelleerd aan wat op de aarde gebeurd is, het enige voorbeeld waarvan bekend is, dat inderdaad een geavanceerde beschaving is ontstaan. Behalve de leeftijd van een ster is ook zijn metaalgehalte van invloed op de mogelijkheid van het voorkomen van hogere levensvormen op een planeet rondom die ster. Aangenomen wordt dat voor het ontstaan van rotsachtige planeten zoals de aarde, het metaalgehalte van de bijbehorende ster hoger dan 10% van het metaalgehalte van de zon moet zijn. Deze ondergrens van het metaalgehalte wordt toegepast in de zwakke variant van het model om het aantal geavanceerde beschavingen in te schatten. Voor de strenge variant wordt een metaalgehalte gehanteerd dat ongeveer minstens even groot is als die van de zon.

Op grond van al deze uitgangspunten kan nu het aantal geschikte sterren (om omgeven te zijn door een planeet waarop een geavanceerde beschaving kan ontstaan) in ons sterrenstelsel berekend worden in de zwakke en strenge variant (dit alles op basis van data die gegeven zijn in het artikel waarnaar verwezen is). Het blijkt dat maar liefst ruim 96% van alle sterren ouder is dan 5 miljard jaar en dat vrijwel alle sterren in het melkwegstelsel die voldoen aan dit leeftijds criterium nu nog bestaan. Overigens als dit leeftijds criterium wat wordt versoepeld tot bijvoorbeeld 4,5 miljard jaar of ouder, heeft dit weinig invloed op de uitkomsten van de berekeningen, omdat het percentage sterren dat voldoet dan maar met ongeveer een procent toeneemt. Vrijwel al deze sterren zijn hoofdreeks sterren van de spectrale types M, K en G waarvan het overgrote deel van het type M (rode dwergen). De massa's van deze sterren liggen tussen 0,08 en 1,04 maal de massa van de zon. De K en G sterren alleen, liggen tussen een massa van 0,45 en 1,04 maal die van de zon. Geschat wordt dat zij ongeveer 6,5% van de hele sterren-populatie die ouder is dan 4,5 à 5 miljard jaar, vormen. F sterren met een massa tussen 1,04 en 1,26 maal die van de zon, zouden ook nog wel meer dan 5 miljard jaar oud kunnen worden, zij vormen echter minder dan 1% van de hele populatie, en zullen verder verwaarloosd worden of niet expliciet meer genoemd worden in deze analyse. K en G sterren komen minder voor dan M sterren maar lijken wel meer op de zon. M en K sterren kunnen ouder worden dan de huidige leeftijd van het universum, terwijl G sterren ongeveer 10 miljard jaar oud kunnen worden. Over bewoonbare planeten rond M sterren bestaan twijfels of daar wel een vergelijkbare ontwikkeling van hogere levensvormen kan plaatsvinden als op de aarde; deze planeten kunnen namelijk last hebben van gebonden rotatie en

zonnevlammen of andere onregelmatigheden van hun ster. Het percentage sterren dat tussen de 4,5 en 5,5 miljard jaar oud is bedraagt 1,5% en mag ook toegepast worden op alleen de sterren die nu nog bestaan. Het is overigens opvallend dat de zon een relatief jonge ster is. In dat opzicht lijkt de zon alvast atypisch. De stervormingssnelheid was circa 10 miljard jaar geleden het hoogst. Met een hoofdreeksfase van ongeveer 10 miljard jaar lopen daarmee relatief veel G-sterren tegen het einde van die fase aan. De relatief jonge leeftijd van de zon hangt weer samen met zijn relatief hoge metaalgehalte. Mogelijk is daarom die relatief jonge leeftijd van de zon niet helemaal toevallig. Jonge sterren hebben een grotere kans om metaalrijk te zijn, omdat het sterrenstof waaruit zij zijn opgebouwd in hogere mate verrijkt kan zijn met zwaardere elementen door het grotere aantal voorafgaande supernova's dat dan opgetreden is in het melkwegstelsel. De percentages van de sterren die voldoen aan het vereiste metaalgehalte bedragen respectievelijk 97% en 50% voor de zwakke en de strenge variant. Het aantal geschikte sterren N_{gs} kan nu voor de zwakke en strenge variant als volgt uitgedrukt worden :

$$N_{gs} = N * f_L * f_m$$

met N het aantal sterren in het melkwegstelsel (250 miljard), f_L de fractie van die sterren die ouder is dan 5 miljard jaar of in de strenge variant die tussen 4,5 en 5,5 miljard jaar oud zijn en f_m het percentage sterren dat voldoende rijk aan metalen is in de zwakke of strenge variant. In de strenge variant maakt het uit als je een onderscheid maakt tussen de sterren die ooit geschikt waren om omgeven te zijn geweest met een planeet waarop een geavanceerde beschaving is ontstaan en sterren waarvoor geldt dat dat nu nog steeds zo is, deze laatste worden aangeduid met het symbool $N_{gs}(nu)$. In het laatste geval moet $f_L = 0,015$ gekozen worden in het eerste geval mag $f_L = 0,96$ gebruikt worden omdat dan de bovengrens van de leeftijd van de ster niet relevant is. Eén en ander leidt tot de volgende uitkomsten:

N_{gs} voor de zwakke variant van het model = 234 miljard sterren (M,K en G), $N_{gs} = N_{gs}(nu)$

N_{gs} voor de strenge variant van het model = 120 miljard sterren (M,K en G)

$N_{gs}(nu)$ voor de strenge variant van het model = 1,87 miljard sterren (M,K en G)

N_{gs} voor de strenge variant van het model = 7,8 miljard sterren (alleen K en G)

$N_{gs}(nu)$ voor de strenge variant van het model = 121 miljoen sterren (alleen K en G)

Het aantal geavanceerde beschavingen dat ooit bestaan heeft in het melkwegstelsel kan nu ingeschat worden door het aantal geschikte sterren in de zwakke en strenge varianten te vermenigvuldigen met de fractie van die sterren die omgeven is door een planeet waar een geavanceerde beschaving is ontstaan; deze fractie zal C genoemd worden. De technologisch geavanceerde beschavingen die ooit bestaan hebben in het melkwegstelsel, en die alleen in bijzondere of uitzonderlijke gevallen nu nog zouden kunnen bestaan, worden vanaf nu ETI's genoemd (ExtraTerrestriale Intelligente beschavingen). De fractie C wordt omschreven als de fractie van de geschikte sterren die een aardachtige planeet in de bewoonbare zone heeft (vanaf nu f_{hb} genoemd), vermenigvuldigd met het eerder genoemde product van $f_l * f_i * f_c$ uit de formule van Drake, dat een grote onbekende is, maar volgens het Astrobiologische Copernicaanse principe 1 bedraagt. De fractie f_{hb} is tegenwoordig redelijk goed in te schatten voornamelijk dankzij data afkomstig van de Kepler-satelliet, en bedraagt ongeveer 0,19; dus grofweg 1 op de 5 geschikte sterren heeft een aardachtige planeet in de bewoonbare zone.

$C = f_{hz} * f_l * f_i * f_c$ ($\approx 0,19$ in modelvarianten volgens het Astrobiologische Copernicaanse principe)

Het aantal ETI's (geavanceerde beschavingen die ooit bestaan hebben in het melkwegstelsel), vanaf nu $N(\text{ETI})$ genoemd bedraagt aldus:

$$N(\text{ETI}) = N_{\text{gs}} * C$$

Toegepast op de zwakke en strenge modelvarianten volgens het Astrobiologische Coperincaanse principe die de bovengrenzen geven voor het aantal geavanceerde beschavingen die ooit bestaan hebben in het melkwegstelsel (het aantal ETI's), levert dat de volgende uitkomsten op:

$N(\text{ETI})$ voor de zwakke variant van het model = 44,5 miljard ETI's (rond M,K en G sterren)

$N(\text{ETI})$ voor de strenge variant van het model = 22,8 miljard ETI's (rond M,K en G sterren)

$N(\text{ETI})$ voor de strenge variant van het model = 1,48 miljard ETI's (rond alleen K en G sterren)

Dit zijn grote aantallen, maar meer interessant zijn geavanceerde beschavingen die wij in principe kunnen waarnemen dankzij signalen die zij als onderdeel van hun technologie de ruimte in zouden kunnen sturen. Om dit aantal waarneembare geavanceerde beschavingen in te schatten zal ik wat meer afwijken van de aanpak die gekozen is in het Westby/Conselice artikel waarnaar verwezen is. In het Westby/Conselice artikel wordt net als met de formule van Drake het aantal actieve geavanceerde beschavingen ingeschat. Vervolgens worden deze beschavingen denkbeeldig evenredig verdeeld (alsof het geladen deeltjes zijn die elkaar afstoten) over het melkwegstelsel dat gemodelleerd is als een schijf met een straal van circa 50000 lichtjaar en een dikte van 1000 lichtjaar. Hieruit volgt dan een schatting van de (maximale) afstand tussen twee naast elkaar gelegen actieve geavanceerde beschavingen. Als nu de afstand in lichtjaren tussen die buur-beschavingen kleiner is dan de duur van die beschavingen in jaren, dan kunnen die beschavingen in principe signalen van elkaar ontvangen, en dus van elkaars bestaan op de hoogte zijn. Als die afstand meer dan 2 keer zo klein is, kunnen zij zelfs een antwoord van elkaar ontvangen nog voordat hun beschavingen teneinde komen. Hoewel het aardig zou zijn om van elkaars bestaan op de hoogte te zijn of zelfs een antwoord te krijgen van een andere buitenaardse beschaving, zou het al heel wat zijn om alleen éézijdig een teken van leven te ontvangen van een buitenaardse beschaving. Indien de beschavingsduur niet heel lang is, zullen dit soort tekenen van leven vooral te verwachten zijn van beschavingen in ons melkwegstelsel die juist niet meer actief zijn. Van een buitenaardse beschaving die geheerst heeft tussen 35000 en 33000 jaar geleden, rond een ster op een afstand van 34000 lichtjaar van de zon, kunnen wij nu de signalen ontvangen, terwijl die beschaving al lang niet meer bestaat. Het is echter niet moeilijk om in te zien dat het aantal op deze manier waarneembare geavanceerde beschavingen, *wel* ongeveer gelijk is aan het aantal actieve beschavingen. Omdat de afstanden die zich bevinden tussen eventueel waarneembare beschavingen in het melkwegstelsel en de zon gemiddeld eerder in de tienduizenden dan in de duizenden lichtjaren, zullen liggen, moeten de signalen wel krachtig en het liefst gebundeld uitgezonden zijn. Die krachtige gebundelde signalen zouden bijvoorbeeld uitgezonden kunnen worden met een opstelling vergelijkbaar met de Arecibo radiotelescoop. Dit kunnen opzettelijke communicatiesignalen zijn maar ook wel niet opzettelijke communicatiesignalen, die bijvoorbeeld onderdeel zijn van een planetair radarsysteem. Zwakkere, niet gerichte huishoudelijke communicatiesignalen hebben een grotere waarschijnlijkheid van voorkomen, maar zijn over een afstand van 100 lichtjaar al een hele prestatie, om waar te nemen. De afstanden die Westby en Conselice berekenen tussen actieve buur-beschavingen liggen echter al snel in de duizenden lichtjaren. Wil de detectie niet extreem problematisch zijn, dan zou men ook voor communicatie tussen actieve buur-beschavingen aangewezen zijn op sterke gebundelde radiosignalen. Het is natuurlijk nog maar de vraag of die signalen met grote regelmaat en gedurende de gehele duur van de betreffende beschavingen, in diverse richtingen van het galactische vlak zijn uitgezonden, maar het gaat bij deze berekeningen in de eerste plaats om geavanceerde beschavingen die in theorie

waarneembaar zijn. Deze theoretisch waarneembare technologisch geavanceerde beschavingen zullen vanaf nu WETI's genoemd worden (Waarneembare ExtraTerrestriale Intelligente beschavingen). Het aantal WETI's, $N(\text{WETI})$, is ongeveer gelijk aan het aantal actieve geavanceerde beschavingen conform de rekenmethode van het Westby/Conselice artikel. Omdat aangenomen mag worden dat sterke gebundelde radiosignalen of andere sterke elektromagnetische signalen niet continu op de zon gericht zullen zijn, is wel een minimale observatieperiode van 25 jaar gesteld waarin een WETI gedetecteerd zou kunnen worden. Met deze aanname kan het aantal WETI's als volgt uitgedrukt worden:

$$N(\text{WETI}) = N_{\text{gs}}(\text{nu}) * C * \frac{(L-25)}{\tau}$$

met L = de gemiddelde levensduur van de geavanceerde beschaving en τ de tijdsperiode waarbinnen een geavanceerde beschaving heeft kunnen ontstaan. De tijdsperiode waarbinnen een geavanceerde beschaving heeft kunnen ontstaan is in de strenge modelvariant 1 miljard jaar. Voor de zwakke modelvariant is die tijdsperiode 4,8 miljard jaar. Dit is het verschil tussen de gemiddelde leeftijd van alle huidige geschikte sterren (deze bedraagt 9,8 miljard jaar) minus de minimale leeftijd van een ster waarop een geavanceerde beschaving kan ontstaan (deze bedraagt 5 miljard jaar voor de zwakke modelvariant). In tabel 1 is voor een aantal levensduren van geavanceerde beschavingen in ons melkwegstelsel (van 100 jaar tot maximaal 100000 jaar) het aantal ETI's en WETI's ingeschat, met de zojuist beschreven methode, voor drie modelvarianten van zwak tot streng volgens het Astrobiologische Copernicaanse principe (die de bovengrenzen aangeven) en voor een aantal varianten waarbij C (veel) kleiner is gekozen dan 0,19. In de inleiding en in hoofdstuk 2 zijn de diverse factoren die voor een kleinere waarde van C kunnen zorgen, beschreven. Samenvattend zijn deze factoren:

- Het ontstaan van hogere levensvormen (vooral als die ook op land kunnen voorkomen) vereist dat een planeet in een aantal opzichten (o.a. qua geologie, grootte en meer precieze samenstelling) meer op de aarde moet lijken dan was aangenomen (dit wordt ook wel de zeldzame-aarde-theorie genoemd).
- Kosmische rampen zoals het optreden van nabije supernova's hebben voor een niet te verwaarlozen percentage van de geschikte planeten het evolutieproces dat nodig is voor de totstandkoming van complexe levensvormen en uiteindelijk geavanceerde beschavingen, verhinderd.
- De evolutie van het leven is niet convergent of althans minder convergent dan was aangenomen in modellen waarin het Astrobiologische Copernicaanse principe is toegepast. Ook het ontstaan van leven zelf op een geschikte planeet zou minder vanzelfsprekend kunnen zijn, of veel meer divers kunnen zijn dan was aangenomen. Deze factor sluit deels aan bij de grote-filter-theorie. Volgens de grote-filter-theorie wordt het voorkomen van technologisch geavanceerde beschavingen sterk gelimiteerd door tenminste één van een reeks van de daartoe benodigde opeenvolgende min of meer zeldzame stappen in het ontstaan en de evolutie van leven.

Dan zijn er ook nog factoren die er toe kunnen bijdragen dat het aantal geschikte sterren nog kleiner is dan is aangenomen in de strengste modelvariant; deze zullen hier nu buiten beschouwing blijven.

Model	Aantal ETI's	Aantal WETI's L=100000 jaar	Aantal WETI's L=1000 jaar	Aantal WETI's L=250 jaar	Aantal WETI's L=100 jaar
C=0,19					
Zwak, M,K en G	44,5 miljard	927769	9048	2088	696
Streng, M,K en G	22,8 miljard	35488	346	80	27
Streng, K en G	1,48 miljard	2307	22	5	2
C=0,01					
Zwak, M,K en G	2,34 miljard	48830	476	110	37
Streng, M,K en G	1,2 miljard	1868	18	4	1
Streng, K en G	78 miljoen	121	1	-	-
C=10 ⁻⁴					
Zwak, M,K en G	23,4 miljoen	488	5	1	-
Streng, M,K en G	12 miljoen	19	-	-	-
Streng, K en G	780000	1	-	-	-
C=10 ⁻⁷					
Zwak, M,K en G	23400	-	-	-	-
Streng, M,K en G	12000	-	-	-	-
Streng, K en G	780	-	-	-	-

Tabel 1. Het aantal geavanceerde beschavingen ooit in het melkwegstelsel (ETI's) en het aantal in principe voor ons waarneembare geavanceerde beschavingen (WETI's) bij verschillende gemiddelde beschavingsduren L, voor een aantal modellen met C=0,19 als bovengrens.

De foutenmarges in de gegeven aantallen zijn vergelijkbaar met de marges die gegeven zijn in het Westby/Conselice artikel. Uit tabel 1 valt af te lezen dat indien rode dwergen (M-sterren) ook omgeven kunnen zijn door geavanceerde beschavingen (ETI's), er ook bij korte beschavingsduren, nog wel waarneembare geavanceerde beschavingen (WETI's) in het melkwegstelsel te verwachten zijn, zolang C ongeveer 0,01 of groter is; dat wil zeggen dat bij minimaal 1 op de 100 geschikte sterren dan een geavanceerde beschaving moet zijn ontstaan. Voor het strenge model dat M-sterren niet meetelt, moet dan de beschavingsduur al 1000 jaar of langer zijn om 1 of meer waarneembare geavanceerde beschavingen over te houden. Ontwikkelt slechts 1 op de 10000 geschikte sterren een geavanceerde beschaving (C=10⁻⁴), dan moet voor de strenge modelvarianten, de beschavingsduur al 100000 jaar of langer zijn, om ze nu in principe nog met een redelijke waarschijnlijkheid te kunnen waarnemen. Bij C=10⁻⁷ (rond 1 op de 10 miljoen geschikte sterren is een ETI ontstaan) geldt voor alle gegeven modelvarianten dat de kans op 1 of meer waarneembare geavanceerde beschavingen gering of verwaarloosbaar klein is. Het aantal ETI's is dan nog wel groot. Zelfs bij C=10⁻⁹ hou je enkele tot een paar honderd technologisch geavanceerde beschavingen over, die er ooit in het melkwegstelsel zijn geweest. Het kan dus goed dat door korte beschavingsduren er geen waarneembare geavanceerde beschavingen in het melkwegstelsel zijn, maar dat er wel veel geavanceerde beschavingen waren die wij niet kunnen waarnemen. De oudste geavanceerde beschavingen die wij kunnen waarnemen zijn L + S jaar oud, met L de levensduur van de beschaving en S de maximale afstand van een WETI tot de zon in lichtjaren. S is ongeveer 75000 lichtjaar voor ons melkwegstelsel. Indien de maximale beschavingsduur 100000 jaar is, zou de oudst mogelijk waarneembare technologisch geavanceerde beschaving in ons melkwegstelsel 175000 jaar geleden ontstaan zijn. De meest nabije WETI's zouden minder dan 10000 lichtjaar van de

zon kunnen liggen, vooral als het aantal WETI's in het melkwegstelsel groter dan 100 is; deze beschavingen zouden afhankelijk van hun beschavingsduur bijvoorbeeld millennia of tientallen millennia eerder ontstaan zijn dan onze geavanceerde maatschappij op de aarde.

Het is ook mogelijk dat er wel WETI's zijn maar dat wij die toch niet waarnemen omdat het helemaal niet zo makkelijk is om ze waar te nemen met de huidige inzet en middelen, zoals beschreven in hoofdstuk 1, of omdat de betreffende aliens om diverse redenen zichzelf niet bekend willen maken, of omdat ze onvoldoende gemotiveerd zijn om daar moeite voor te doen, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Een complicerende factor die in deze bijlage nog niet is genoemd, is de invloed van interstellair ruimtevaart en kolonisatie op de waarneembaarheid van buitenaardse beschavingen. Door deze activiteiten zou niet alleen de thuisplaneet waarneembaar kunnen zijn, maar ook sommige plaatsen daarbuiten en mogelijk ook gedurende een relatief lange tijd. Wederom geldt dat we deze geëxpandeerde beschavingen nog steeds niet waarnemen omdat we niet goed genoeg zoeken of omdat aliens het ook niet makkelijk voor ons maken om hun interstellair activiteiten te detecteren. Of de interstellair activiteiten van aliens blijven zeer beperkt door een geringe motivatie ze te ondernemen, technologische beperkingen van hun ruimtevaart en misschien ook wel door een korte beschavingsduur.

Discussie, Samenvatting + enkele aanvullende argumenten.

Omdat nog niet echt een oordeel gegeven is over wat nu de meest plausibele oplossing voor de Fermiparadox is (voor zover mogelijk), volgt hier tenslotte nog een discussie. De meest eenvoudige oplossing voor de Fermiparadox is de aanname dat sprake is van een extreem kleine waarde voor C (de fractie van alle geschikte sterren rondom welke een geavanceerde beschaving is ontstaan). Bij $C = 10^{-11}$ of kleiner is de kans op een geavanceerde buitenaardse beschaving in ons melkwegstelsel heel klein. Die kans is dan zo klein dat het niet kunnen waarnemen van zo'n beschaving niet meer te maken hoeft te hebben met de duur van die beschaving. Bij $C = 10^{-16}$ of kleiner is de kans op een technologisch geavanceerde buitenaardse beschaving heel klein in ons eigen melkwegstelsel en ook in honderdduizend nabije sterrenstelsels. Dat zou verklaren dat in deze nabije sterrenstelsels geen Kardasjov-3 beschavingen (die zich zouden verraden door sterk opvallende warmtestraling van sterrenstelsels als geheel), zijn waargenomen, zie eventueel <https://www.scientificamerican.com/article/alien-supercivilizations-absent-from-100-000-nearby-galaxies/>. Maar het feit dat het een eenvoudige verklaring is, wil niet zeggen dat deze ook klopt. Dan is er nog de verklaring dat het ontstaan van geavanceerde beschavingen de afgelopen paar miljard jaar tamelijk zeldzaam maar niet extreem zeldzaam is geweest zodat er tenminste enkele ook in ons melkwegstelsel zijn ontstaan (bijvoorbeeld $C > 10^{-9}$ en $C < 10^{-4}$) maar dat door een gelimiteerde gemiddelde duur van die beschavingen zij toch niet voor ons waarneembaar zijn, zoals uit tabel 1 afgelezen kan worden. De gemiddelde levensduur van de civilisaties (L) is dan voor de strengste modelvariant ongeveer honderdduizend jaar of minder bij de hoogste waarde voor C binnen dit bereik. Voor een meer typische waarde binnen dit bereik van $C=10^{-6}$ à 10^{-7} bedraagt deze waarde voor L al ongeveer 10 miljoen jaar of minder. De vraag is dan echter hoe het kan dat geavanceerde beschavingen binnen het gegeven bereik veelal een sterk gelimiteerde gemiddelde bestaansduur hebben. Het is nog lastig om rampen te bedenken die aliens over zich zelf afgeroepen hebben, waar ze niet na eeuwen of millennia van kunnen herstellen, zodat ze hun geavanceerde technieken opnieuw kunnen introduceren. Je zou bijvoorbeeld wel kunnen denken aan cyclische rampen, zoals oorlogen met massavernietigingswapens die iedere keer opnieuw voor een terugslag zorgen. Na een paar cycli zou uitputting van makkelijk winbare grondstoffen een rol kunnen gaan spelen, waardoor bijvoorbeeld geen nieuwe industriële revolutie meer mogelijk is. In dit proces zou ook mee kunnen spelen dat massavernietigingswapens in ver ontwikkelde technologische maatschappijen mogelijk eenvoudiger in

handen van een kleine groep of zelfs een enkele kwaadaardige gek kunnen komen, dit zou in het bijzonder kunnen gelden voor biologische/biotechnologische massavernietigingswapens. Overigens is honderdduizend jaar voor menselijke begrippen een lange duur voor een beschaving, omdat in onze geschiedenis een beschaving tot nu toe hooguit ongeveer een millennium heeft geduurd (zoals het Romeinse rijk). Honderdduizend jaar is ook ongeveer de tijdsduur waarin de moderne mens tot nu toe buiten Afrika heeft geleefd. Maar dat was hoofdzakelijk in kleine groepen, als jagers/verzamelaars, waarin zij fit en scherp bleven door natuurlijke selectie. Eén van de kenmerken van een technologisch geavanceerde maatschappij is dat de bewoners dankzij de moderne techniek een comfortabel en luxe leven kunnen leiden. Dit kan vooral als gemechaniseerde en geautomatiseerde systemen steeds meer taken van mensen hebben overgenomen op langere termijn door een veel mindere natuurlijke selectie tot een fysieke en mentale achteruitgang van de bewoners van een technologische geavanceerde samenleving, aanleiding geven. Zo'n achteruitgang zou wel bestreden kunnen worden met kunstmatige methoden, maar dat is niet eenvoudig en het zou ook onvoldoende kunnen zijn. Een gevolg van deze achteruitgang kan zijn dat de bevolking kiest voor een makkelijke weg en zich verliest in allerlei vormen van amusement en daardoor in zichzelf gekeerd raakt. Een ander gevolg kan zijn dat de samenleving steeds minder probleemoplossend vermogen overhoudt, en daardoor steeds minder goed kan omgaan met crisissituaties. Als kunstmatige intelligentie dan ook geen oplossingen meer kan bieden, zou dat de ondergang van de civilisatie kunnen inluiden. Een ander scenario is dat de bewoners van een geavanceerde civilisatie overmeesterd worden door wat oorspronkelijk hun eigen technologische innovaties waren zoals bepaalde kunstmatige intelligentie of uit de hand gelopen zelfreplicerende nanotechnologie (gray goo) zonder dat deze technologieën een volwaardig alternatief opleveren voor een technologische geavanceerde maatschappij van biologische oorsprong. De hier gegeven combinatie van waarden voor C en L als oplossing voor de Fermiparadox wordt echter problematischer als je aanneemt dat sommige van de geavanceerde beschavingen die ooit ontstaan zijn rondom een aantal sterren in het melkwegstelsel zich succesvol hebben verspreid over het gehele melkwegstelsel; ik zal hier later op terugkomen.

Dan is er nog de mogelijkheid dat er wel in principe waarneembare geavanceerde beschavingen zijn in ons melkwegstelsel maar dat we die toch niet opmerken. Dit kan omdat we niet goed genoeg zoeken en ook nog maar relatief kort, zoals beschreven in hoofdstuk 1. Huishoudelijke communicatie signalen en een aantal andere technosignalen van aliens op hun thuisplaneten indien deze minimaal ongeveer een paar honderd lichtjaar van ons verwijderd zijn, zullen waarschijnlijk pas gevonden kunnen worden als we veel betere telescopen tot onze beschikking hebben. Daarnaast zouden aliens zeer zwakke communicatiesignalen van hun interstellaire verkenningssondes kunnen opvangen met radiotelescopie die hun thuisster als gravitatielens gebruiken. Als wij niet ook zo'n geavanceerde techniek hebben, kunnen wij die signalen waarschijnlijk niet onderscheppen. Eén van de best detecteerbare vormen van straling die afkomstig kunnen zijn van interstellaire ruimtevaartuigen, is langgolvlige radiostraling van magnetische zeilen die gebruikt zouden kunnen worden om een ruimtevaartuig mee af te remmen zonder gebruik te hoeven maken van reactiemassa. Om deze straling te kunnen detecteren hebben we echter een kilometers grote antenne nodig die buiten de dampkring van de aarde geplaatst is, maar dat is nog niet het geval. Onze bescheiden capaciteit om buitenaardse signalen van aliens te detecteren, verklaart echter minder goed waarom we nog geen opzettelijke communicatiesignalen of andere opzettelijke of niet te missen tekenen van aliens waargenomen hebben (hoewel nog lang niet het gehele frequentiegebied in de gehele sterrenhemel is onderzocht waarin zich sterke communicatiesignalen kunnen bevinden, en wat wel onderzocht is, is maar uitgevoerd gedurende een korte periode).

Dit wordt wel verklaard als aangenomen wordt dat vooral de wat meer geavanceerde aliens om een aantal redenen helemaal niet zo bereidwillig zijn om zichzelf aan ons (en eventueel andere aliens) bekend te maken. Dit is het onderwerp van hoofdstuk 3 van dit artikel en vormt één van de meer interessante aspecten van de Fermiparadox. Het bezwaar tegen veel van de verklaringen in hoofdstuk 3, is wel dat een volledige uniformiteit aangenomen moet worden in het gedrag van aliens inzake het vermijden van contact met beschavingen buiten hun eigen planeet of gebied. Van aliens die sterk van ons verschillen, mogen ook andere motieven en gedragingen verwacht worden. Van geavanceerde aliens mag echter wel verwacht worden dat ze rationeel handelen als het gaat om de inzet van hun hoogwaardige technologie. Mensen of aliens die overwegen om vanaf hun thuisplaneet sterke communicatiesignalen naar eventuele andere aliens in het melkwegstelsel te sturen, krijgen te maken met een soort prisoners-dilemma. Als alle aliens gedurende lange tijd een tv-serie uitzenden die te ontvangen is over het hele melkwegstelsel, dan is dat een leuk aardigheidje voor iedereen die in een geschikt tijdperk leeft om die uitzendingen te ontvangen. Maar als de anderen alleen maar ontvangen en zelf niets uitzenden heb je er niets aan.

Het is daarnaast goed voorstelbaar dat aliens niet gemotiveerd zijn sterke communicatiesignalen uit te zenden als het aannemelijk is dat ze pas na minimaal duizenden jaren een antwoord kunnen krijgen; van nabije exoplaneten kan met behulp van sterk verbeterde telescopen al eerder duidelijk zijn geworden dat ze geen technosignaturen hebben. Bovendien maak je met het versturen van sterke communicatiesignalen, het erg makkelijk voor eventuele aliens om de ligging van je thuisplaneet te achterhalen. Terughoudendheid om de ligging van je thuisplaneet bekend te maken, zou er wel op kunnen duiden dat je een vijandige houding van andere aliens niet uitsluit, maar dit is niet zo'n vreemde aanname als je van die eventuele aliens niets afweet. (Een aardige optie zou nog wel kunnen zijn, om een miljoen afleveringen van een tv-serie galactisch uit te zenden vanaf een onbewoonde planeet 1000 lichtjaar van de thuisplaneet, en dan kijken wie reageert of er op af komt, maar dat is wel een dure grap.) Een reden die je verder wel eens hoort voor het uitzenden van dit soort signalen, is territoriumafbakening. Maar territoriumafbakening met signalen die door het hele melkwegstelsel waarneembaar zijn, is weinig subtiel en zou bovendien averechts kunnen werken omdat de boodschap ervan wel eens niet begrepen zou kunnen worden, en het signaal juist de aanleiding vormt om verkenningssondes naar de bron ervan, toe te sturen.

Als aliens verkenningssondes naar ons sturen, is het ook weer de vraag of ze, als ze eenmaal in de buurt van de aarde zijn, wel contact met ons zullen opnemen; er zijn verschillende redenen te bedenken waarom ze dit niet zouden doen. Het hangt er misschien ook wel vanaf met welke aliens je te maken hebt, want ze hoeven niet allemaal het zelfde gedrag te vertonen. Er zou overigens wel uniformiteit in gedrag van geavanceerde aliens kunnen zijn als zij onderworpen zijn aan de heerschappij van een dominante soort aliens, die het vermijden van contact met andere laag ontwikkelde aliens, afdwingt (overeenkomstig de dierentuinhypothese of de prime-directive uit star-trek). Het bezwaar van deze verklaring is dat de handhaving van zo'n beleid op een galactische schaal lastig uitvoerbaar is, vooral indien de dominante soort van aliens geen beschikking heeft over ruimtevaart sneller dan het licht. Ruimtevaart sneller dan het licht zal in deze discussie echter beschouwd worden als onrealistisch.

Er is vervolgens nog de mogelijkheid dat aliens beschikken over bemande interstellaire ruimtevaart waarmee ze het melkwegstelsel hebben gekoloniseerd. Ook met langzame generatieschepen die zich maar voortbewegen met 1000 km/s en intervallen van tienduizenden jaren tussen kolonisatiemissies, valt het gehele melkwegstelsel te koloniseren in minder dan 100 miljoen jaar. 100 Miljoen jaar is niet veel als je dat afzet tegen de miljarden voorafgaande jaren waarin een geavanceerde beschaving kan zijn ontstaan. Als zo'n snelle kolonisatie al heeft plaatsgevonden, betekent dat echter niet noodzakelijk dat wij daar nu op de aarde iets van zouden moeten merken. Het is wel aannemelijk dat als aliens zich verspreid hebben over het gehele melkwegstelsel de aarde is opgevallen als een planeet waar al leven is

(tijdens verkenningmissies met sondes of via telescopische waarneming). Maar het kan zijn dat aliens de aarde minder geschikt hebben gevonden om zich op te vestigen dan andere planeten (bijvoorbeeld omdat er op de aarde al lang (circa 500 miljoen jaar) veel hogere vormen van leven aanwezig zijn of omdat aliens zich liever vestigen rondom M of K sterren die een langere levensduur hebben), aangenomen dat aliens zich bij voorkeur op planeten vestigen en bijvoorbeeld niet in ruimtehabitats of ruimteschepen waarmee ze zwerven tussen de sterren. Daarnaast zal dan wel na verloop van tijd de exponentiële groei in het aantal gekoloniseerde planeten gestopt moeten zijn (of de aarde zou zich in een reservaat moeten bevinden of op één of andere manier totaal ongeschikt zijn voor aliens). Die groei kan onder meer gestopt zijn omdat aliens steeds minder behoefte hebben gekregen aan nieuwe kolonisatie omdat herkolonisatie van exoplaneten voor nieuwe kolonisatie in de plaats is gekomen. Dit zou zo kunnen zijn omdat deze kolonisatie eenvoudiger uit te voeren zou zijn. Herkolonisatie van exoplaneten kan bijvoorbeeld plaatsvinden op planeten waar een geavanceerde beschaving van verwante aliens in verval is geraakt tot een pre-industrieel niveau maar waar de biosfeer nog wel geschikt is. Als de beschaving van verwante aliens niet in verval is geraakt zouden de interstellaire reizigers onder bepaalde voorwaarden misschien als immigranten verwelkomd kunnen worden, hoewel de term herkolonisatie dan niet meer de lading dekt.

Wel zou je kunnen aannemen dat aliens de aarde toch gekoloniseerd hebben, en dat wij de afstammelingen van hen zijn, zonder dat we dat zelf weten, een theorie die nogal eens opduikt in SF. Het bezwaar dat hier tegen kan worden aangevoerd is dat mensen biologisch juist goed passen in een al veel langer opgetreden evolutieproces op de aarde (zoals dat kan worden afgelezen uit ons DNA). Als je daar rekening mee houdt, zou de invloed van de aliens wel erg ver terug in de tijd liggen en meer gaan lijken op de panspermia-theorie, of zou je moeten aannemen dat buitenaardse kolonisten hier wel geweest zijn en dat zij zich afzijdig hebben gehouden van het leven dat hier al was, en dat wij daarnaast nog geen sporen van deze aliens hebben teruggevonden. Bovendien hebben deze opties als nadeel dat de Fermi-vraag zich herhaalt. Want waar zijn dan de (andere) afstammelingen van deze aliens die zich ooit zo succesvol verspreid hebben over het melkwegstelsel?

Waarschijnlijk pas als snel koloniserende aliens al in een ver verleden verworpen zijn tot een monster dat zonder zelfopgelegde beperkingen alle leefbare planeten infiltreert omdat het niet kan stoppen met groeien, zou de aarde al ontegenzeggelijk met aliens te maken gehad moeten hebben (aangenomen dat deze aliens ongeveer dezelfde biologische basis hebben als wij). Het is bovendien niet vanzelfsprekend dat een interstellaire expansieve civilisatie voortdurend exponentieel groeit. Een civilisatie moet dan tijdens haar bestaan rondom meer dan één nieuwe ster een succesvolle kolonie oprichten en die koloniën moeten dat dan ook weer doen enzovoort. Dit is enigszins te vergelijken met een virusuitbraak. Zolang het reproductiegetal boven de 1 blijft, gaat de exponentiële groei door, maar zodra het reproductiegetal onder de 1 komt, kan de uitbraak ook weer snel uitdoven. Een uitdoving van een expansiegolf kan bijvoorbeeld ontstaan door culturele veranderingen waardoor civilisaties na aankomst in een nieuw planetenstelsel de kennis en vaardigheden (en mogelijk ook de motivatie) om interstellair bemand te reizen verliezen nog voordat ze er gebruik van hebben gemaakt om naar een volgend planetenstelsel te reizen. Volgens de percolatie-theorie van Geoffrey Landis zou interstellaire kolonisatie onregelmatig kunnen verlopen en tot niet gekoloniseerde leemtes in het melkwegstelsel (ongeveer zoals in gatenkaas) aanleiding geven, als deze onderworpen is aan een aantal redelijk aannemelijke regels (een maximale stapgrootte van een kolonisatie-missie, culturele onafhankelijkheid van interstellaire koloniën, geen herkolonisatie en een zekere kans dat een kolonie definitief stopt met verdere interstellaire kolonisatie). Als de aarde nu net in zo'n leemte zit, zou dat verklaren waarom we nog niets met aliens te maken hebben gehad. Overigens zou het in theorie mogelijk zijn dat ooit een snelle exponentiële expansie van aliens in het melkwegstelsel heeft plaats gevonden en dat zij op een kosmologische tijdschaal snel zijn uitgestorven door uitputting van natuurlijke hulpbronnen die het gevolg is geweest van de snelle (exponentiële) exploitatie van die hulpbronnen. Van die uitputting

zouden wij weinig merken omdat op de lange duur allerlei natuurlijke herstelprocessen plaatsvinden die de sporen van de uitputting uitwissen. Het is echter moeilijk voorstelbaar hoe aliens het melkwegstelsel succesvol hebben kunnen koloniseren en tegelijker tijd zo efficiënt en volledig hun geavanceerde civilisaties te gronde hebben kunnen richten; het zal toch niet zo moeilijk zijn om met hun succesvolle interstellaire ruimtevaart via kleine afsplitsingen ergens in de uitgestrektheid van het melkwegstelsel te overleven. Ook lijkt de situatie in ons zonnestelsel niet te kloppen met een bezoek van snel en intensief exploiterende aliens. Op de aarde is het goed mogelijk dat door geologische processen geen sporen meer zichtbaar zijn van mijnbouw die bijvoorbeeld een miljard jaar geleden heeft plaatsgevonden maar op andere plekken in het zonnestelsel ligt dat minder voor de hand. De planetoïdengordel zit bijvoorbeeld nog altijd vol met makkelijk te exploiteren grondstoffen en er zijn geen aanwijzingen dat deze in hoofdzaak de laatste 1 of 2 miljard jaar zijn aangevuld.

Een andere mogelijkheid is dat interstellaire kolonisatie veel langzamer en extensief optreedt, zodat aliens nooit in de buurt van de aarde zijn geweest. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn als bemand interstellair reizen gezien wordt als een noodzakelijk kwaad dat tot een minimum beperkt wordt. Als je een beetje zuinig bent met een vers planetenstelsel zou je er waarschijnlijk minimaal 100 miljoen jaar goed moeten kunnen leven. Ook zou interstellaire kolonisatie eerder het karakter van een verplaatsing dan een uitbreiding kunnen hebben. Omdat interstellaire communicatie en transport zijn gelimiteerd door de lichtsnelheid, zal het niet of nauwelijks mogelijk zijn om een interstellair imperium, tot stand te brengen. Daarom hebben aliens er eigenlijk ook geen belang bij om zich uit te breiden over een groot aantal planetenstelsels; kolonisten die vertrokken zijn naar exoplaneten zullen waarschijnlijk al snel het contact verliezen met de bewoners van de thuisplaneet en vervolgens van hen vervreemden. Je zou in dit verband nog kunnen denken aan geavanceerde civilisaties die een politiek voeren om interstellaire bemande ruimtevaart tegen te gaan uit angst voor toekomstige interstellaire conflicten (deze politiek wordt ook wel aangeduid met de term zelfquarantaine). Het beeld van een paranoïde totalitaire staat doemt dan al snel op. Het is echter niet zo aannemelijk dat er binnen de diverse veronderstelde civilisaties in het melkwegstelsel uniformiteit is van zo'n politiek systeem dat dan ook nog eens lang in stand kan blijven. Ook is het niet aannemelijk dat een galactische club van aliens snelle expansie tegenhoudt door regels en handhaving. Daarom is het tenslotte meer aannemelijk dat interstellaire bemande ruimtevaart zeer beperkt is gebleven, vanwege onoverkomelijke technologische problemen in de ontwikkeling van die ruimtevaart en de daarop volgende kolonisatie van exoplaneten, en eventueel ook door gebrek aan motivatie of een te geringe duur van de geavanceerde beschaving. Als aliens zichzelf niet exponentieel verspreiden over het melkwegstelsel zou dat nog wel kunnen gelden voor hun kunstmatige intelligentie. Het zou dan kunnen gaan om Von Neumann sondes. Deze sondes zouden zich in tientallen miljoenen jaren kunnen verspreiden over het gehele melkwegstelsel en bedoeld of waarschijnlijk eerder onbedoeld zo talrijk kunnen worden dat wij ze inmiddels ook al waargenomen zouden moeten hebben ondanks dat we nog niet veel tijd en middelen hebben ingezet om die dingen in de ruimte of bijvoorbeeld op planetoïden, te vinden. Maar het is bijvoorbeeld ook goed mogelijk dat Von Neumann sondes als ze überhaupt al veilig genoeg bevonden worden om in te zetten, zo ontworpen zijn dat hun verspreiding maar moeilijk uit de hand kan lopen, of dat (afvallige) Von Neumann sondes zich voeden met materialen die ze slopen van andere Von Neumann sondes waardoor de groei in aantallen geremd wordt, of dat het technologisch sowieso niet mogelijk blijkt (of geambieerd wordt) om Von Neumann sondes in de interstellaire ruimte over langere tijd replicerend te houden zodat ze alleen actief zijn binnen een zekere actieradius van de thuisplaneet, die veel kleiner is dan de straal van het melkwegstelsel. Een andere mogelijkheid is dat de meest succesvolle Von Neumann sondes heel klein uitgevoerd zijn dankzij nanotechnologie en daarnaast maar langzaam repliceren, zodat wij ze maar moeilijk kunnen detecteren.

Het argument dat aliens en eventueel hun kunstmatig intelligente sondes of andere varianten niet bestaan omdat we ze anders wel op of nabij de aarde hadden moeten waarnemen wordt ook wel het

Hart-Tipler argument genoemd. Zoals toegelicht in deze paragraaf schiet dit argument tekort. Het is bovendien begin jaren 80 als een oneigenlijk argument gebruikt om de overheidsfinanciering van het SETI-project stop te zetten. Het Hart-Tipler argument is geen paradox, de paradox is eerder de schijnbare tegenstelling tussen de enorme grootte en hoge leeftijd van het waarneembare universum (en daarmee het potentieel enorme aantal leefbare planeten waarop geavanceerde beschavingen kunnen zijn ontstaan) en het gebrek aan bewijs voor het bestaan van buitenaardse geavanceerde beschavingen. Maar dat is niet wat Fermi formuleerde, Fermi vroeg alleen maar "Where is everybody?" in de context van de vraag of interstellair bemande ruimtevaart haalbaar is, zie <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1605/1605.09187.pdf>.

Een oplossing voor de Fermiparadox of althans een factor die de oplossing ervan zou vergemakkelijken, zou zijn dat interstellair bemande ruimtevaart niet haalbaar is. Hier valt wel wat voor te zeggen. Op basis van de huidige kennis lijken maar enkele vormen van interstellair bemande ruimtevaart technologisch uitvoerbaar (dat is niet op basis van de huidige technologie maar op basis van een positieve inschatting van technologische vooruitgang die reëel lijkt). Namelijk relatief snelle ruimtevaart maximaal zo tussen de 25 en 50 procent van de lichtsnelheid met een lading van 10^4 à 10^5 ton en een kleine bemanning van 10 à 100 man (vooral met laser-voortgestuwde ruimtevaartuigen), of langzame ruimtevaart met een groot generatieschip met een droge massa van bijvoorbeeld 200 miljard ton en een bemanning van 10^4 à 10^5 mensen met een snelheid rond de 0,5% van de lichtsnelheid. Voor nu zal aangenomen worden dat de bestemming een voldoende op de aarde lijkende planeet is die op een afstand van minimaal 100 lichtjaar van de thuisplaneet ligt, wat in het geval van de aarde nog redelijk positief lijkt. Dit betekent dat dan voor snelle bemande ruimtevaart toch nog minimaal meerdere eeuwen nodig zijn om de bestemmingsplaneet te bereiken. Bij de huidige levensverwachting zou de maximaal aanvaardbare reistijd ongeveer een halve eeuw zijn. Nu is niet gezegd dat aliens de zelfde levensverwachting als mensen hebben, maar als aliens dezelfde biochemische basis hebben als mensen, zou het wel aannemelijk zijn als dit ongeveer gelijkwaardig is. Omdat de maximale reistijd die aanvaardbaar is, flink korter is dan de benodigde reistijd, is een aanvullende techniek nodig zoals een aanzienlijke verlenging van de levensverwachting of hibernatie / cryonisme waarbij tevens verouderingsprocessen sterk verminderd worden. Maar het is twijfelachtig of dit wel haalbaar is. Daar komt nog bij dat de benodigde energie voor zo'n snelle ruimtereis relatief hoog is namelijk ongeveer 10^{23} à 10^{24} Joule per persoon, een paar honderd tot een paar duizend keer meer dan het huidige jaarlijkse wereldwijde energieverbruik.

Dan blijft langzame ruimtevaart met een generatieschip nog over. In een generatieschip is een kunstmatige leefomgeving aanwezig waarin meerdere generaties comfortabel kunnen leven. Zij zouden gebaseerd kunnen zijn op een O'Neill cilinder of meer geavanceerd een McKendree cilinder en de voorgestelde voortstuwingstechniek is meestal nucleaire-puls-propulsie. De benodigde energie per persoon is dan waarschijnlijk een orde lager dan voor een snel relativistisch ruimteschip. Zo'n generatieschip vereist misschien een minder hoog technologisch niveau om te realiseren dan een snel ruimteschip dat dezelfde reis in 1 generatie kan uitvoeren (met een veel kleinere bemanning), maar geavanceerde robotarbeid zou bijvoorbeeld wel nodig zijn zowel voor constructie als onderhoud. Maar nu is ongeveer 20000 jaar nodig om de bestemmingsplaneet te bereiken in ongeveer 600 generaties. Maar als dit de reistijd is, is het sterk de vraag of aliens wel gemotiveerd zijn om zo'n reis te ondernemen. Zowel de achterblijvers als degenen die vertrekken hebben eigenlijk geen belang bij zo'n reis (tenzij in het eigen planetenstelsel echt niet meer redelijk te leven valt). De bestemmingsplaneet blijft dan immers slechts een vage belofte voor toekomstige generaties. Het is dan eerder aannemelijk dat aliens besluiten om er het beste van te maken in het eigen planetenstelsel. Met een fractie van de inspanning die nodig is om een functionerend generatieschip te maken kan waarschijnlijk ook een ruimtehabitat gemaakt worden met een veelvoud aan bewoonbaar oppervlak. Overigens als aliens geen

koloniën op exoplaneten ambiëren maar slechts in ruimtehabitats rondom andere sterren willen wonen, is (vooral snelle) interstellaire ruimtevaart iets eenvoudiger. Er hoeft dan maar ongeveer 10 lichtjaar afgelegd te worden omdat alleen maar een geschikte ster en wat ruimtepuin als constructiemateriaal nodig is; dit zou met een snel ruimteschip nog wel net binnen 1 generatie bereikt kunnen worden zonder hibernatie etc. De vraag is echter dan nog steeds of aliens wel decennia lang in een raket willen zitten als ze een nieuwe ruimtehabitat net zo goed rondom hun thuisster kunnen bouwen.

Tenslotte is er nog een andere vorm van ruimtevaart mogelijk waarbij aliens toch op exoplaneten terecht kunnen komen namelijk onbemande interstellaire ruimtevaart waarin alleen genetisch materiaal van aliens of mogelijk zelfs alleen de digitale code hiervoor wordt meegenomen. Pas vlak bij de bestemming laat men op basis van deze informatie aliens geboren worden uit een kunstmatige baarmoeder (of een ei?), waarna ze opgevoed worden door sterk op de aliens gelijkende cyborgs. Deze vorm van kolonisatie vereist dan wel een heel hoog niveau van kunstmatige intelligentie. Tegen deze vorm van kolonisatie bestaat ook het bezwaar dat degenen die het ondernemen er zelf geen belang bij hebben maar mogelijk alleen hun veronderstelde nakomelingen (die ze dan eigenlijk in de steek laten en aan een onbekend lot overlaten). Dit bezwaar zou mogelijk niet gelden indien mind-uploading gebruikt kan worden, maar dit is nog weer een stap verder in speculatieve geavanceerde technologie, net als bemande ruimtevaart die de lichtsnelheid heel dicht benadert of die zelfs sneller dan het licht is (bijvoorbeeld Alcubierre warp drive).

Een andere complicatie is dat het waarschijnlijk lastig is om de bestemmingsplaneet geschikt te maken voor bewoning. Als er op die planeet al leven is, zou dat leven waarschijnlijk eerst vervangen moeten worden door het eigen te introduceren leven met de juiste biochemie. Als er op de bestemmingsplaneet geen leven is, dan is het de vraag of die planeet überhaupt wel geschikt is voor leven. In beide gevallen zou veel en langdurig voorbereidend werk van onbemande missies nodig zijn om de planeet alsnog bewoonbaar te maken. Als het de regel is dat kolonisatie van exoplaneten niet plaatsvindt omdat bemande interstellaire ruimtevaart niet haalbaar is, zouden er toch nog wel uitzonderingen kunnen zijn. Interstellaire bemande ruimtevaart hoeft niet echt onmogelijk te zijn. Als deze ruimtevaart buiten gewoon moeilijk is en op allerlei bezwaren zal stuiten, zal er alleen in uitzonderlijke en extreme omstandigheden voor gekozen worden. Stel dat er 1000 geavanceerde beschavingen in het melkwegstelsel waren, waarvan een paar toch wel gekozen hebben voor interstellaire kolonisatie en er ook in geslaagd zijn, dan is er toch interstellaire kolonisatie opgetreden. Maar gegeven de hoge moeilijkheidsgraad van interstellaire bemande ruimtevaart zal dit eerder incidentele kolonisatie met een lage frequentie zijn, dan snelle kolonisatie over het hele melkwegstelsel. Voor meer informatie over de achterliggende aannames die gedaan zijn met betrekking tot ruimtevaart die technologisch haalbaar lijkt, zie eventueel <http://markcopijn.nl/Megaconstructiesopenbuitendeaarde.pdf>.

Verder is er nog een variant op het Hart-Tipler argument, die op het eerste gezicht sterker lijkt en die bekend staat onder de naam Dysondilemma, zie <https://www.youtube.com/watch?v=QfuK8la0y6s>. Het uitgangspunt van dit argument is dat geavanceerde aliens hun aanwezigheid en activiteiten niet beperken tot hoofdzakelijk hun thuisplaneet, maar dat zij vroeg of laat een Dysonzwerm van zonnecollectoren en habitats in hun planetenstelsel zullen construeren met behulp van autonoom werkende ruimterobots, waarmee ze een veelvoud van de stralingsenergie van hun ster kunnen opvangen vergeleken met het kleine beetje dat rechtstreeks op hun thuisplaneet valt. Zij transformeren dan langzaam van een Kardasjov-1 naar een Kardasjov-2 maatschappij. Als zo'n transformatie (gedeeltelijk) heeft plaatsgevonden wordt het merendeel of althans een hoog percentage van al het zichtbare licht van de ster omgezet in warmtestraling die met een infrarood-telescoop waargenomen kan worden. Dit zou astronomisch een opvallend verschijnsel zijn dat al op grote afstand te detecteren is. Als de meeste stralingsenergie van de ster wordt opgevangen of als de grondstoffen uitgeput raken om de Dysonzwerm uit te breiden, zouden vervolgens nabij gelegen sterren gekoloniseerd kunnen

worden waar opnieuw Dysonzwermen gebouwd worden. Op deze wijze zou het gehele melkwegstelsel gekoloniseerd kunnen worden.

Het is overdreven om te stellen dat hierdoor de nachtelijke sterrenhemel aardedonker zou zijn, omdat Dysonzwermen al het zichtbare licht van de sterren afvangen, maar de sterrenhemel zou wel een stuk minder licht zijn dan wij die nu waarnemen, en in het infrarood juist veel lichter. Wij nemen dit echter niet waar, daarom kunnen we zeggen dat deze kolonisatie niet heeft plaatsgevonden. Dit kunnen we ook zeggen van andere sterrenstelsels die wij dan als Kardasjov-3 maatschappijen zouden moeten herkennen aan de dan heersende dominante warmtestraling. De verklaring daarvoor is net als bij het Hart-Tipler argument dat technologisch geavanceerde beschavingen niet bestaan of althans extreem zeldzaam zijn ($C=10^{-16}$ of kleiner). Wel wordt een aantal voorwaarden gesteld waaraan voldaan moet worden maar deze worden beschouwd als plausibel. Ik zal drie van de zes voorwaarden hier doornemen, en aangeven waarom ze misschien niet zo plausibel zijn (een vierde voorwaarde, namelijk dat interstellaire kolonisatie mogelijk is, is al behandeld en de overige 2 voorwaarden zijn m.i. inderdaad plausibel).

- a) Dysonzwermen die het licht van een ster grotendeels afvangen, zijn technologisch goed mogelijk en het is begrijpelijk en voor de hand liggend dat ze vroeg of laat een keer gemaakt worden.

Het is inderdaad goed mogelijk om grote zonnecollectoren in een baan om de zon (of een andere ster) te brengen om zo te profiteren van zonnestraling die anders onbenut zou blijven. Op deze wijze zou je een Dysonzwerm kunnen bouwen. Een Dysonbol is in tegenstelling tot een Dysonzwerm een gesloten structuur rondom een ster, die tamelijk onrealistisch of onpraktisch is omdat bestaande materialen al snel onvoldoende compressiesterke hebben om de druk te weerstaan die de centrale ster op zo'n constructie zou uitoefenen, bovendien zal de gravitatieversnelling op de bol dan in het algemeen maar erg klein zijn. Om een Dysonzwerm te bouwen zijn wel autonoom werkende ruimterobots nodig die mijnbouw en constructiewerkzaamheden kunnen verrichten. In het geval van ons zonnestelsel zou Mercurius een goede mijnbouw locatie zijn, en ook bijvoorbeeld de planetoïdengordel. De zonnecollectoren die gebouwd worden zullen hoogst waarschijnlijk wel in verhouding staan tot de vraag naar de zonne-energie die er mee opgewekt wordt. Zolang mensen of aliens alleen maar wonen op een aardachtige planeet hoeft er hooguit maar een bescheiden oppervlak aan zonne-energiecentrales in de ruimte aangelegd te worden (en misschien wel helemaal niet omdat genoeg zonne-energie op de planeet zelf beschikbaar is), en wordt deze ook begrensd door de warmte-afvoercapaciteit van de aardachtige planeet. Misschien hebben ze nog wat extra nodig voor ruimtevaart met behulp van lasers of voor een reusachtige supercomputer die buiten de planeet staat opgesteld. Maar dan nog zal het oppervlak aan benodigde zonne-energiecentrales maar een minuscule fractie zijn van het oppervlak van een Dysonbol, hoewel er enkele meer exotische toepassingen bestaan die de energie van een grotere Dysonzwerm goed kunnen gebruiken. Een voorbeeld van zo'n exotische toepassing is een Shkadov-stuwmotor. Een Shkadov-stuwmotor gebruikt de straling van een ster als voorstuwing door deze aan één kant van de ster te reflecteren; de koerswijziging die hiermee bereikt kan worden zou in het geval van de zon overigens niet erg spectaculair zijn, namelijk een paar honderd lichtjaar in honderd miljoen jaar bij optimistische aannames.

Pas als aliens ook buiten de planeet in ruimtehabitats gaan wonen, ligt het voor de hand dat het benodigde oppervlak aan zonnecollectoren aanzienlijk groter wordt. Als je aliens voorstelt als biologische wezens zoals mensen, zullen ze alleen in ruimtehabitats kunnen wonen als ze daar beschikken over een atmosfeer, kunstmatige zwaartekracht en bescherming tegen kosmische straling. Ruimtehabitats die daaraan zouden kunnen voldoen zijn O'Neill-cilinders. Maar klassieke O'Neill-cilinders zijn gemaakt van staal of titanium. De treksterkte van deze materialen is niet zo groot dat heel grote rotatiediameters mogelijk zijn, ook de belasting van de cilinder kan niet heel groot zijn. De

grootste habitats die O'Neill voorstelde hadden een oppervlak van nog geen 1000 vierkante kilometer per cilinder, waarvan de verlichtingsvelden de helft in beslag namen. Nu kan het bewoonbaar oppervlak misschien nog wel iets opgerekt worden, toch is het niet aannemelijk dat aliens genoeg nemen met zulke beperkte habitats als een ultiem alternatief voor een planeet.

Ruimtehabitats kunnen aanzienlijk groter zijn als ze gemaakt zijn van MNT-materiaal op basis van koolstof, een grondstof waarvan bovendien meer beschikbaar is dan de grondstoffen voor constructies van staal of titanium. Ze kunnen dan makkelijk honderdduizend vierkante kilometer groot zijn per cilinder en veel minder kokerachtig, of eventueel zelfs nog groter. Een flink aantal van dit soort habitats zou een redelijk alternatief kunnen zijn voor een planeet. Maar dit is nog niet gebaseerd op bewezen technologie; er zouden allerlei productie-, onderhouds- en duurzaamheidsproblemen kunnen optreden die grootschalige toepassing in de weg staan. Maar zelfs al zou deze technologie een succes worden, dan nog zal het totale bewoonbare oppervlak dat op deze manier gemaakt kan worden met het relatief makkelijk winbare koolstof in het zonnestelsel en waarschijnlijk ook in andere planetenstelsels, niet heel erg groot zijn. Het meeste koolstof in het zonnestelsel zit in de zon zelf en in de mantels van de gasreuzen, waar je er moeilijk bij kunt. Met het makkelijk winbare koolstof in de planetoïdengordel en in de kuipergordel kan maar ongeveer duizend keer het oppervlak van de aarde aan habitats gemaakt worden, als de dikte van de MNT-materiaal laag 10 meter is. Een dikte van ongeveer 10 meter is nodig om een enigszins aantrekkelijk landschap te kunnen vormen bij een rotatiestraal van circa 100 km. Er zou nog wel wat meer koolstof gewonnen kunnen worden uit ijsmanen, atmosferen van gasreuzen, sommige rotsachtige planeten en vooral de Oortwolk. Er zou dan wel honderdduizend keer het oppervlak van de aarde aan habitat-oppervlak gemaakt kunnen worden. Buitenbeschouwing gelaten zijn dan nog de andere grondstoffen die nodig zijn voor de habitats, zoals stikstof voor de atmosferen en het relatief schaarse fosfor als essentieel element voor leven. Ook als je dit habitat-oppervlak aanvult met zonne-energiecentrales met een oppervlak dat nog eens 10 keer zo groot is, blijft het totale oppervlak onder de 0,2% van het oppervlak van een volledige Dysonbol met een straal van 1 AU. Grotere habitat-oppervlaktes zouden nog wel gemaakt kunnen worden met technieken waarmee koolstof uit de zon of uit de mantels van de gasreuzen kan worden gehaald, of indien transmutatie gebruikt kan worden om koolstof te maken uit helium, maar dit zou nog meer geavanceerde technieken vereisen.

Een Dysonzwerm zou misschien ook nog wel een groter oppervlak kunnen krijgen als je aanneemt dat aliens geen klassieke biologische wezens meer zijn maar cyborgs die leven in een gesimuleerde realiteit of volledig gedigitaliseerde wezens, die niet meer leven in ruimtehabitats maar die voor hun bestaan afhankelijk zijn geworden van supercomputers, die in een extreem geval zijn geconstrueerd als een Matroesjka-brein. Dit is echter voorlopig verregaande sciencefiction. Al met al is het waarschijnlijk dat Dysonzwermen slechts een verwaarloosbaar deel van het licht van hun ster afvangen en dat zij op grotere afstand maar moeilijk te detecteren zijn, het meest aannemelijk dan nog met de transit-methode voor planeetdetectie, en dan vooral als de Dysonzwerm een onregelmatige vorm zou hebben. Overigens als het overgrote deel van sterrenlicht daadwerkelijk zou worden afgevangen door Dysonzwermen zodat de sterrenhemel vrijwel donker zou zijn met slechts een handje vol sterren die met het blote oog zichtbaar zijn, zou dat jammer zijn. Het zicht op een ongeschonden sterrenhemel zou mij meer waard zijn, dan de wetenschap dat er quadrijloenen aliens voor in de plaats gekomen zijn.

b) Geavanceerde civilisaties zijn niet noodzakelijk zelfdestruectief.

Dit punt is eerder besproken in hoofdstuk 2. Er werden toen enkele suggesties gedaan hoe zelfdestructie van een technologisch geavanceerde beschaving kan plaatsvinden. Ten eerste kan een geavanceerde beschaving door zijn eigen succes snel groeien zowel in bevolkingsaantal als in grondstofgebruik. Als er over deze groei geen controle is, kan op een gegeven moment problematische schaarste ontstaan aan grondstoffen en levensruimte. Indien deze schaarste niet direct met nieuwe

technologie opgelost kan worden, zullen de gevolgen hiervan achtereenvolgens conflict, wereld omvattende oorlog en maatschappelijke terugval zijn. Nu zou men daarna misschien wel kunnen herstellen, maar er zou een herhaling van zetten kunnen ontstaan, totdat bijvoorbeeld de makkelijk winbare grondstoffen uitgeput raken om opnieuw technologisch geavanceerd te kunnen raken. Als zo'n situatie optreedt nog voordat aliens comfortabel buiten hun eigen thuisplaneet kunnen wonen, en nog voordat ze interstellaire bemande ruimtevaart hebben ontwikkeld, zullen wij weinig van ze merken, behalve misschien een korte golf van communicatiesignalen in het bijzondere geval dat die net op tijd bij ons aankomt en wij de benodigde detectiesystemen hebben. Een ander scenario is dat men zich erg afhankelijk maakt van een bepaalde techniek, die later toch nadelen blijkt te hebben, en die zich uiteindelijk op een rampzalige manier tegen de aliens gaat keren.

In het scenario dat hier besproken wordt is ook sprake van aliens die alsmaar groeien in aantal en energieverbruik, door zich uit te breiden in ruimtehabitats. Zij hebben zich ook erg afhankelijk gemaakt van een bepaalde techniek, in dit geval geavanceerde ruimte robots voor mijnbouw en constructie. Bovendien als ze blijven groeien door steeds weer nieuwe ruimtehabitats te maken, zou er een keer een tekort aan grondstoffen kunnen ontstaan, om nog meer nieuwe ruimtehabitats te maken. Als de groei dan nog steeds niet onder controle is te brengen en nieuwe technologische oplossingen uitblijven, wacht de aliens oorlog en destructie. In dit stadium zou misschien ook al wel interstellaire ruimtevaart mogelijk zijn als een ontsnappingsroute. Maar mogelijk blijkt de moeilijkheidsgraad hiervan te hoog, om succesvol te zijn. Het lijkt niet zo aannemelijk dat het op zo'n manier altijd mis moet gaan, maar uitgesloten kan het niet worden.

Een ander punt is dat geavanceerde beschavingen die Dysonzwermen construeren en zich verspreiden naar andere sterren in hun sterrenstelsel en ook daar Dysonzwermen maken, vooral op een galactische schaal zichtbaar zouden kunnen zijn als hun beschavingsduur per ster lang is en de expansiesnelheid naar andere sterren relatief hoog. Na de beschavingsduur die geldt rondom één ster valt te verwachten dat de Dysonzwerm namelijk desintegreert en daarbij zijn licht afvangend vermogen grotendeels zal verliezen, omdat de onderdelen van de zwerm kleine koerscorrecties en aanpassingen nodig hebben om op lange termijn goed gepositioneerd en in goede banen te blijven. Deze correcties zouden na het instorten van de beschaving na verloop van tijd niet meer (voldoende) uitgevoerd worden vanwege achterstallig onderhoud (e.e.a hangt er ook van af of zonnecollectoren gebruikt zijn die gebalanceerd worden door de gravitatie van de ster en de stralingsdruk, of dat zij in banen rond de ster zijn gebracht zodat ook de centrifugale kracht een rol speelt). Hierbij is wel aangenomen dat als de beschaving ten einde is gekomen dit ook spoedig zal gelden voor de geautomatiseerde systemen die de Dysonzwerm onderhouden. Een relatief korte beschavingsduur per ster kan een factor zijn die maakt dat Dysonzwermen op een galactische schaal zeldzaam blijven.

- c) De meeste civilisaties zullen hun bevolking en territorium uitbreiden zolang ze dat op een comfortabele manier kunnen doen.

Het is voor biologische wezens normaal om in aantal en territorium zich zo veel mogelijk uit te breiden, en dit geldt tot nu toe ook voor mensen. Op de aarde is de mensheid hier erg succesvol in geweest, zo succesvol dat sommigen zich afvragen of het niet beter zou zijn om een beleid te ontwikkelen dat deze groei aan banden legt, zodat er in de toekomst meer natuurlijke rijkdom per aardbewoner beschikbaar komt. In het algemeen wordt echter aangenomen dat meer bevolking in combinatie met meer territorium beter is, zolang die groei op een comfortabele manier tot stand komt. Meer mensen betekent ook meer ingenieurs en meer onderzoekers, en meer artiesten en daarmee meer techniek, kennis en amusement enzovoort. Op alleen een planeet zoals de aarde is echter niet een heel grote populatie mogelijk. De huidige wereldbevolking van bijna 8 miljard mensen wordt door velen al beschouwd als aan de ruime kant. Met technologische en bestuurlijke verbeteringen zou het misschien

mogelijk zijn om 10 miljard mensen op de aarde allemaal in welvaart te laten leven met een bewegingsvrijheid die vergelijkbaar is met de huidige inwoners van rijke landen. Maar als zoveel mensen in vrijheid en welvaart leven op de aarde zou dat waarschijnlijk regelmatig tot onaangename drukteverschijnselen leiden op (en naar) populaire plekken. Een bevolkingsgrootte die een orde lager is, zou dan wel eens heel wat aangenamer zijn.

Maar mensen of aliens kunnen hun territorium uitbreiden door ruimtehabitats op te richten.

Ruimtehabitats die groot genoeg zijn om aantrekkelijke aaneengesloten leefruimtes te bieden, vereisen geavanceerde constructiematerialen op basis van koolstof (grafeen-achtige materialen of diamantoiden materialen). Dit is nog lang geen bewezen technologie, maar voor nu zal aangenomen worden dat deze materialen inderdaad grootschalig geproduceerd kunnen worden om ruimtehabitats van te maken die een lange levensduur hebben en waar men ook graag zou willen wonen. Op deze manier kan een Dysonzwerm van ruimtehabitats gemaakt worden, met bijvoorbeeld 100 duizend vierkante kilometer oppervlak per habitat. Ruimtehabitats zouden nog veel groter gemaakt kunnen worden. Een Bishoring of een McKendree-cilinder met een inherente rotatiestabiliteit zouden zo groot kunnen zijn als respectievelijk Argentinië en Australië. Maar voor een zwerm waarin de afzonderlijke habitats relatief makkelijk koerscorrecties kunnen uitvoeren, zou (uit veiligheidsoverwegingen) de voorkeur uitgaan naar habitats van ongeveer 100 duizend vierkante kilometer. Per habitat zou de geadviseerde maximale bevolking 2 miljoen mensen kunnen zijn, zodat er voldoende natuurlijke rijkdom per persoon beschikbaar is. Voor het gemak ga ik uit van mensen in ons eigen planetenstelsel, maar je zou ook uit kunnen gaan van aliens in een ander planetenstelsel, maar dat zou niet fundamenteel anders zijn op voorwaarde dat die aliens grote biologische overeenkomsten vertonen met ons. Met de makkelijk winbare grondstoffen in ons planetenstelsel zou in eerste instantie ongeveer 1000 keer de oppervlakte van de aarde gemaakt kunnen worden in de vorm van vijf miljoen habitats van honderdduizend vierkante kilometer. Daarnaast zouden ook nog miljoenen onbewoonde reserve habitats en habitats die ingericht zijn als natuurreservaten zonder mensen, gemaakt kunnen worden. Met 2 miljoen inwoners per habitat komt de maximale totale populatie mensen in de ruimtehabitats dan uit op 10 biljoen (10000 miljard) mensen. Paradoxaal genoeg zouden deze 10 biljoen mensen vrij provinciaal leven, in groepen van hooguit 2 miljoen en onderling gescheiden door afstanden van bijvoorbeeld minimaal 300 duizend kilometer, ongeveer de afstand tussen de aarde en de Maan.

Nu kan de bevolking nog wel verder groeien als er nog meer ruimtehabitats bij gemaakt worden, toch zijn er diverse redenen om aan te nemen dat de bevolkingsgroei zal afvlakken en uiteindelijk zal stoppen. Ten eerste zullen er minder ruimtehabitats bij gebouwd worden als de grondstoffen schaarser worden, dit zal al gaan optreden als de grondstoffen in de planetoïdengordel en de kuipergordel op beginnen te raken. Er zijn wel aanvullende bronnen van koolstof en andere grondstoffen maar voor die bronnen valt te verwachten dat die beschermd worden tegen exploitatie of dat de exploitatie aanzienlijk lastiger is. Een zeer groot aantal mensen dat al woont in ruimtehabitats, een afnemende groei in de bouw van nieuwe habitats, en juist een toename in het onderhoud of de vervanging van bestaande habitats, zal een afvlakking van de bevolkingsgroei en uiteindelijk een beëindiging van die groei, gewenst maken. Ruimtehabitats ter grootte van een klein land zullen gevoelig zijn voor overbevolking. Zodra de bevolkingsgrootte in de buurt komt van het geadviseerde maximum van 2 miljoen inwoners, en de emigratie maar heel beperkt kan zijn, zal de natuurlijke bevolkingsgroei tot stilstand gebracht moeten worden. Voor technologisch hoog ontwikkelde habitats zal dat waarschijnlijk niet erg moeilijk zijn. Je ziet nu al in sommige geïndustrialiseerde landen dat de natuurlijke bevolkingsgroei vanzelf al rond de nul wordt. Je kunt je daarnaast afvragen of een veel grotere populatie nog wel voordelen biedt. Soms is meer vooral meer van het zelfde. Je hebt niet zo veel aan meer onderzoekers als die onderzoekers vooral onafhankelijk van elkaar het zelfde onderzoek doen. Dat werkt bovendien demotiverend want zo kunnen beginnende onderzoekers misschien niet eens meer een goed promotieonderwerp vinden, dat niet al is weggekaapt door een ander.

Het is overigens eenvoudig om in te zien dat een bevolking die constant groeit, zelfs als die groei maar een bescheiden 1 promille bedraagt, al binnen 10 à 25 duizend jaar zo groot wordt dat het fysiek onmogelijk wordt om die bescheiden groei voort te zetten, ook als de betreffende beschaving beschikt over een grote capaciteit om ruimtehabitats te bouwen en geavanceerde interstellaire ruimtevaart en kolonisatie heeft ontwikkeld (ruimtevaart sneller dan het licht buiten beschouwing gelaten). Deze begrenzing die is opgelegd aan constante bevolkingsgroei wordt ook wel de Light Cage Limit genoemd. Als een beschaving op voorhand kan inzien dat zelfs een bescheiden constante bevolkingsgroei al in duizenden jaren onhoudbaar is, dan zal zij (als zij verstandig is) al ruim van te voren beleid invoeren om de bevolkingsgroei extreem laag te houden of beter nog te balanceren rond de nul. Zo niet dan zullen waarschijnlijk in een later stadium hardere (minder prettige) maatregelen genomen moeten worden of zal de beschaving ten einde komen door schaarste en conflict.

Toch zou een beschaving zich verder kunnen uitbreiden via bemande interstellaire ruimtevaart, waarvan voor nu aangenomen wordt dat die technologisch mogelijk is. Het voornaamste bezwaar hiertegen is echter dat koloniën rond andere sterren niet alleen snel onafhankelijk zullen worden, maar ook niet meer anderszins te controleren zijn. Op de lange termijn zal de bevolking van interstellaire koloniën bovendien evolutionaire veranderingen ondergaan waar geen zicht meer op is. In de praktijk zou dit kunnen betekenen dat de kolonie al snel geen behoefte meer heeft aan nieuwkomers die afkomstig zijn van de oorspronkelijke thuisplaneet en dat eventuele nieuwkomers op langere termijn zelfs als ongewenste aliens zullen worden beschouwd. Daar waar een interplanetair netwerk van ruimtehabitats nog wel onder één juridisch systeem te plaatsen is en waarbinnen een snelle uitwisseling van ideeën en personen mogelijk blijft, geldt dat door de beperking die de lichtsnelheid oplegt aan transport en communicatie, niet meer voor een interstellaire kolonie. Daarmee wordt een interstellaire kolonie vroeg of laat een concurrent waar je eerder last dan profijt van hebt. Ooit zou een interstellaire kolonie zich zelfs tegen de oorspronkelijke thuis-civilisatie kunnen richten. Nu is het wel aannemelijk dat er groeperingen zijn in sommige habitats die niet zo veel boodschap hebben aan deze overweging, en die wel de ambitie koesteren om naar andere sterren te gaan. Interstellaire bemande ruimtevaart zal echter nog wel zo lastig zijn en zoveel energie kosten, dat aparte groeperingen het waarschijnlijk niet kunnen ondernemen. Alleen een gezamenlijke poging zou kans hebben, maar die zou wel eens niet ondernomen worden vanwege een negatief uitgevallen kosten-baten analyse. Het kan ook zijn dat besloten wordt om geen interstellaire kolonisatie uit te voeren omdat het geen praktisch doel dient zolang nog prima geleefd kan worden in het eigen planetenstelsel, of omdat men sowieso geen zin heeft om te vertrekken uit gehechtheid aan de thuiswereld(en) of afhankelijkheid van omvangrijke (computer)systemen die niet zomaar mee te nemen zijn. In tegenstelling tot de eerder genoemde zelfquarantaine politiek zou het hier geschetste beleid om in het eigen planetenstelsel te blijven eerder voortkomen uit meer praktische overwegingen.

Als een civilisatie er voor kiest om alleen rond zijn thuisster te blijven zou zij echter vrij kwetsbaar kunnen zijn voor een kosmische ramp of een aanval van buitenaf. Dit zou echter opgelost kunnen worden door buitenposten op te richten in plaats van echte koloniën. Bemande buitenposten (waarvan de bemanning periodiek afgelost wordt) zouden bijvoorbeeld opgericht kunnen worden in de Oortwolk en onbemane buitenposten in interstellaire (losgeslagen) planeten. Deze buitenposten zijn zo gemaakt dat zij door anderen moeilijk te vinden zijn. Het doel hiervan is, om in geval van een ramp die de gehele thuisbeschaving treft, toch te kunnen overleven om vervolgens rond een andere ster opnieuw te beginnen. Overigens zou een maatschappij die éénmaal succesvol in ruimtehabitats woont, dit heel lang kunnen volhouden, omdat ruimtehabitats enigszins mobiel kunnen zijn en de instraling van zonlicht regelbaar is. Ook is goede bescherming mogelijk tegen kosmische rampen zoals nabije supernova's, gammaflitsen en grote meteorietinslagen. De voornaamste bedreiging is een uit de hand gelopen intern conflict, de introductie van een techniek die later tot een ramp leidt die alle habitats treft of een aanval van buitenaf door aliens.

Dan is er nog de mogelijkheid dat er naast biologisch leven ook kunstmatig intelligent leven ontstaat, en dat vroeg of laat de bestuurlijke macht vrijwillig of onvrijwillig wordt overgedragen aan dit kunstmatig intelligente leven. Dit post biologische leven zou dan uit machtspolitieke overwegingen zich alsnog interstellair uitbreiden. Echter ook voor kunstmatig intelligent leven geldt dat zij niet of nauwelijks een interstellair imperium kunnen opbouwen door de beperking van de lichtsnelheid. Civilisaties die op een interstellaire schaal expansief zijn, zullen waarschijnlijk uiteindelijk in elkaars vaarwater komen, en zij zullen elkaar dan niet kunnen vertrouwen omdat zij vervreemd zijn van elkaar of onafhankelijk van elkaar zijn ontstaan. Dit schept een ongewenste situatie waarin conflict vrijwel onvermijdelijk lijkt. Nu zal er wel een militair evenwicht kunnen ontstaan waarmee een totale oorlog voorkomen kan worden, maar erg rooskleurig is dit vooruitzicht niet. Omdat er toch al geen voordeel valt te halen uit een expansie buiten het eigen planetaire systeem, ligt het voor de hand dat ook geavanceerde kunstmatige intelligentie er maar helemaal niet aan begint. Dit betekent overigens wel dat ook post-biologisch leven zijn energiegebruik ooit moet stabiliseren, zodat het zeer lang kan overleven rondom een enkele ster.

Voor de volledigheid zou nog een theorie toegevoegd kunnen worden die licht zou kunnen werpen op de Fermiparadox, en dat is namelijk de veronderstelling dat de bewoonbare galactische zone in het verleden systematisch is getroffen door bepaalde terugkerende rampen, die in de loop van de galactische geschiedenis steeds zeldzamer zijn geworden. Zo'n terugkerende ramp zou bijvoorbeeld een uitbarsting van gammaflitsen kunnen zijn die de gehele bewoonbare galactische zone treft. Door zo'n uitbarsting zou al het complexe leven op een planeet uitsterven, alleen primitief 1-cellig leven zou dan overleven. Het zou kunnen dat de laatste keer dat zo'n ramp plaats vond 1 of 2 miljard jaar geleden is. Sinds die laatste ramp heeft zich weer complex leven kunnen vormen. Het relatief langzame evolutieproces dat hiervoor nodig is, zou dan complex leven opleveren dat ongeveer even oud is als dat het geval is op de aarde. In bijlage 1 werd al opgemerkt dat het opvallend is dat ons zonnestelsel relatief jong is. Er werd toen gezegd dat dit misschien niet geheel toevallig is, omdat jongere planetenstelsels meer kans hebben om metaalrijk te zijn. De hier genoemde theorie zou daar echter een meer systematische verklaring voor bieden. Sterke bewijzen voor deze theorie zijn er echter nog niet, en bovendien is het nadeel van deze theorie dat ze vooral het ontbreken van zeer oude geavanceerde beschavingen verklaart. Een geavanceerde beschaving hoeft echter maar een kleine voorsprong op ons te hebben (in de orde van bijvoorbeeld tientallen miljoenen jaren) om toch al relevant te zijn voor de Fermiparadox als je daar ook de mogelijkheid van interstellaire kolonisatie bij wilt betrekken.

Tenslotte is er nog de extreme oplossing voor de Fermiparadox dat een dominante beschaving van aliens er in geslaagd is (alleen)heerser in het melkwegstelsel te worden en mogelijk ook (langdurig) te blijven, door ontluikende geavanceerde beschavingen in de kiem te smoren door ze te vernietigen nog voor zij een concrete bedreiging kunnen vormen. Zij komen die ontluikende beschavingen op het spoor dankzij interstellaire verkenningssondes en misschien ook wel door communicatiesignalen van die beschavingen die zij opgepikt hebben. Die dominante beschaving zou zelf niet interstellair expansief zijn omdat ze anders in haar eigen achtertuin vijanden aan het creëren is, (dit vanwege het eerder genoemde argument dat een interstellair imperium niet stabiel kan zijn door de beperking die de snelheid van het licht oplegt aan interstellaire communicatie en transport). De aarde zou dan tot nu toe aan dit lot ontkomen zijn maar zou waarschijnlijk ook spoedig preventief geruimd worden. Het lijkt nogal overbodig om een (alleen)heerser te worden in een gebied waar je voor het overgrote deel zelf nooit een voet (of tentakel?) zult zetten, maar de achterliggende aanname is dat sommige van die ontluikende beschavingen wel zullen uitgroeien tot interstellaire expansieve civilisaties die omdat ze niet kunnen stoppen met groeien ook het planetenstelsel van de dominante beschaving een keer zullen proberen in te pikken en dat in zo'n laat stadium de verdediging daartegen stukken lastiger zal zijn. Maar zelfs als het juist is dat sommige civilisaties expansief zullen worden, zou de bedreiging die hier

van uit zou gaan iets zijn dat pas op een heel lange termijn relevant gaat worden, en waartegen ook wel een antwoord mogelijk lijkt (ongeveer zoals grootmachten op de aarde elkaar niet aanvallen vanwege het wederzijdse bezit van kernwapens). Van een civilisatie die zo kwaadaardig is, mag bovendien verwacht worden dat ze met zoveel interne conflicten te maken heeft dat ze nooit de stabiliteit en mate van samenwerking kan bereiken die nodig is om überhaupt iets op te bouwen dat verder reikt dan de eigen thuisplaneet.

Maar zelfs als je zou aannemen dat dat wel lukt, dan nog zou je de tactiek om andere ontluikende beschavingen voor de zekerheid maar vast te vernietigen, riskant kunnen noemen, want stel dat een beschaving veel verder was dan op het eerste gezicht zo leek en buiten haar thuisplaneet allerlei buitenposten met geavanceerde technologie in bezit heeft, dan heb je een slapende hond wakker gemaakt en juist een vijand gecreëerd die anders nooit jouw vijand zou zijn geweest, tenminste als ooit nog achterhaald kan worden van wie die aanval kwam. De beslissing om een beschaving te vernietigen zou waarschijnlijk overgelaten moeten worden aan een kunstmatig intelligente (Von Neumann) sonde, die dan bijvoorbeeld een zware meteoriet op de doel-planeet laat storten; het is twijfelachtig of aliens zo veel vertrouwen hebben in die sondes om ze zulke beslissingen te laten nemen. Wat als een verdwaalde Von Neumann sonde zich zou richten tegen je eigen planeet? Een alternatieve aanpak zou de inzet van een Nicoll-Dyson bundel zijn. Dat is een extreem sterke laser die gevoed wordt met de energie van een Dysonzwerm. Zo'n bundel zou rechtstreeks gebruikt kunnen worden voor een aanval of indirect door er een raket mee te versnellen tot relativistische snelheden, om vervolgens de gigantische kinetische energie van zo'n raket te gebruiken om het doel te vernietigen. Deze laatste methode zou meer flexibiliteit bieden dan de inzet van een rechtstreekse bundel, maar zou toch nog lastiger zijn dan lokaal een paar zware meteorieten op ramkoers manoeuvreren. Een raket die versneld is tot een relativistische snelheid zou bovendien te laat kunnen aankomen bij de doel-planeet, als in de tussentijd de beschaving zich uitgebreid heeft buiten die planeet in ruimtehabitats; de aangevallen beschaving zou dan waarschijnlijk zelf inmiddels ook beschikking hebben over krachtige lasers.

Als op grond van bovenstaande argumenten deze vorm van vijandig gedrag van aliens als onwaarschijnlijk wordt beschouwd, is het vervolgens de vraag of en zo ja welk vijandig gedrag van aliens dan wel min of meer aannemelijk zou kunnen zijn. Je kunt niet uitsluiten dat er toch wel expansieve aliens zijn. Tot nu toe hebben wij nog geen tekenen van expansieve aliens waargenomen, maar dat zou ooit wel eens kunnen veranderen. Dat wij nu nog niets gemerkt hebben van expansieve aliens kan te maken hebben met een expansie die tot nu toe langzaam of onregelmatig verlopen is of omdat zij al wel in de buurt van de aarde zijn maar nog in een observatieprogramma zitten waarin zij zichzelf voorlopig verborgen houden. Het is niet zo aannemelijk dat aliens zich gaan bemoeien met een planeet of planetenstelsel waar al een geavanceerde technologische beschaving is, als er genoeg andere planeten zijn waar zij ongestoord hun gang kunnen gaan, hoewel zij misschien, bijvoorbeeld uit veiligheids-overwegingen, nieuwsgierigheid of zendingsdrang, zich toch wel eens op het terrein van andere civilisaties zullen begeven. Afgezien van observatie voor wetenschappelijke of militaire doelen kan een bepaalde vorm van ingrijpen daarbij niet uitgesloten worden. Toch kan ook niet uitgesloten worden dat planeten zoals de aarde erg zeldzaam zijn en dat zij waardevol voor bepaalde aliens zijn, ook al zijn zij druk bevolkt door anderen; de aarde zou dan vooral waardevol voor aliens zijn als zij er goed zouden kunnen leven.

Daarnaast is het denkbaar dat sommige aliens maar weinig empathie voor ons kunnen opbrengen in het geval dat wij in uiterlijk en gedrag sterk van hen verschillen. Als aliens de zelfde biologische basis hebben als wij is het echter moeilijk voorstelbaar dat zij zichzelf niet enigszins in ons kunnen herkennen; voor kunstmatige vormen van leven zou dit mogelijk minder gelden. Niet alleen een fysieke inmenging zou een gevaar voor ons kunnen opleveren, maar ook één die alleen bestaat uit informatie; te denken valt aan computervirussen, of instructies voor de bouw van een machine die veel belovend lijkt maar die voor ons heel gevaarlijk is en zich dan ook op een rampzalige wijze tegen ons zal kunnen keren.

Bovendien zou bepaalde uit de hand gelopen kunstmatige intelligentie (bijvoorbeeld in de vorm van Von Neumann sondes) hoewel mogelijk ooit met goede bedoelingen door buitenaardse beschavingen in het leven geroepen, zich tegen ons kunnen keren. Meer informatie over allerlei ongunstige (of gunstige) contactscenario's met aliens is te vinden via de volgende link:

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1104/1104.4462.pdf>.

Conclusie

De meest eenvoudige oplossing voor de Fermiparadox is de aanname dat sprake is van een extreem kleine waarde voor C (de fractie van alle geschikte sterren rondom welke een geavanceerde beschaving is ontstaan). Bij $C = 10^{-11}$ à 10^{-12} of kleiner is de kans op een buitenaardse technologisch geavanceerde beschaving in ons melkwegstelsel zo klein dat wij onszelf als de enige technologisch geavanceerde beschaving in het melkwegstelsel kunnen beschouwen. Niet alleen nu maar ook in het verleden zouden er dan geen andere geavanceerde beschavingen in het melkwegstelsel zijn geweest. Dat wij er dan wel zijn, mag dan heel bijzonder genoemd worden. Toch is dit wel een serieuze mogelijkheid, die echter uitgaat van een extreem uitgangspunt. De voorkeur gaat uit naar een minder extreem uitgangspunt, namelijk één waarin C niet groot maar ook niet extreem klein is. Bij $C > 10^{-9}$ en $C < 10^{-4}$ en een gemiddelde levensduur (L) van een geavanceerde beschaving van minder dan 100 duizend jaar, is de kans dat we communicatiesignalen van civilisaties in het melkwegstelsel kunnen ontvangen omdat die signalen überhaupt binnen ons bereik komen al erg klein zelfs bij de grootste waarde voor C binnen het gegeven bereik, vooral als de strenge modelvariant een goede benadering zou zijn en als zou blijken dat geavanceerde beschavingen alleen rond zonachtige sterren ontstaan en niet rond rode dwergen (zie eventueel tabel 1). Daar komt nog bij dat de signalen die wij nu zouden kunnen ontvangen vooral sterke opzettelijke signalen van buitenaardse beschavingen zijn. Het zou echter begrijpelijk zijn als die beschavingen helemaal niet zo gemotiveerd zijn om die sterke opzettelijke signalen gedurende lange tijd uit te zenden.

Er zijn echter twee zaken die nader verklaard zouden moeten worden als deze combinatie van waarden voor C en L zou gelden zodat daarmee de Fermiparadox zou zijn opgelost. Ten eerste is dat het punt dat interstellair bemande ruimtevaart de verspreiding en levensduur van een civilisatie (of eigenlijk een keten van civilisaties) aanzienlijk zou kunnen vergroten. Er zijn verschillende verklaringen te bedenken waarom we dan nog steeds niets van deze civilisaties zouden hoeven merken. De meest solide verklaring waarom we niets van deze civilisaties merken, is echter dat interstellair bemande ruimtevaart en de daarop volgende kolonisatie zeer beperkt blijven door technologische problemen in de ontwikkeling ervan en eventueel een gebrek aan motivatie om die interstellair kolonisatie uit te voeren of gebrek aan tijd vanwege een beperkte levensduur van de geavanceerde civilisaties. De tweede kwestie is de vraag hoe het kan dat technologisch geavanceerde beschavingen gemiddeld maar minder dan honderdduizend jaar kunnen bestaan, of mocht de waarde voor C bijvoorbeeld een paar ordes kleiner zijn, de gemiddelde levensduur beperkt blijft tot minder dan circa 10 miljoen jaar. De meest voor de hand liggende manier waarop een geavanceerde beschaving zichzelf al vrij snel (bijvoorbeeld binnen een millennium) te gronde kan richten, is door ongecontroleerde groei (in bevolking en energiegebruik). Als de technologische innovatie de groeiende vraag naar grondstoffen, levensruimte en energie niet meer kan bijbenen (of negatieve neveneffecten van de technologische ontwikkeling hun tol zullen opeisen) komt zo'n civilisatie in een crisis die voor een terugslag zal zorgen. Zo'n terugslag of een serie van terugslagen die door een herhaling van zetten is ontstaan, zal dan vervolgens leiden tot een definitieve ineenstorting van de civilisatie. Zo'n ineenstorting zou waarschijnlijk plaatsvinden op een planetair niveau, maar mogelijk ook nog wel op een niveau waarin de civilisatie zich al uitgebreid heeft binnen haar eigen planetenstelsel.

Maar er zouden civilisaties kunnen zijn die hun groei op tijd onder controle hebben gekregen en die daarmee niet-expansief zijn geworden, of zo beperkt en traag expansief dat er op tijdschalen van honderden miljoenen tot miljarden jaren op een galactische schaal weinig van te merken is. Omdat zij hun groei onder controle hebben gekregen hoeven zij zich ook niet buiten hun planetaire systeem uit te breiden omdat er voor de bevolking die qua grootte redelijk beperkt is gebleven genoeg levensruimte en hulpbronnen zijn voor honderden miljoenen jaren of langer. Dit soort civilisaties zou misschien veel langer dan honderdduizend jaar kunnen bestaan. Het is wel aannemelijk dat deze langlevende civilisaties in een aantal opzichten totalitair zijn, bijvoorbeeld om het geboortecijfer te reguleren en bepaalde geavanceerde technologie uit handen van onbevoegden te houden. Maar hier zouden ook wel veel vrijheden tegenover kunnen staan, zodat het niet duidelijk is of zo'n maatschappij naar onze maatstaven als iets negatiefs of zelfs als een dystopie beschouwd zou moeten worden. Deze civilisaties zouden zich overigens ook nog wel kunnen bezighouden met onbemande ruimtevaart, waarschijnlijk hoofdzakelijk voor wetenschappelijk onderzoek, maar het is twijfelachtig of zij hiertoe bereid zijn zelfreplicerende sondes in te zetten.

Het is tenslotte ook nog wel mogelijk dat C groter dan 10^{-4} is. Indien de gemiddelde levensduur van geavanceerde civilisaties niet al te kort is, zou het (nog) niet waarnemen van buitenaardse beschavingen er vooral aan liggen dat we nog niet goed genoeg gezocht hebben en dat buitenaardse geavanceerde beschavingen het ook niet makkelijk maken voor ons om ze te vinden. Maar als je alleen al in beschouwing neemt van hoeveel voorwaarden het ontstaan van complex (land)leven op een aardachtige planeet afhankelijk is, zou je geneigd zijn aan te nemen dat C al snel kleiner dan 10^{-4} is.

De meer aannemelijke oplossingen voor de Fermi-paradox draaien rond de aanname dat aliens niet extreem zeldzaam zijn maar dat zij in essentie in hun eigen planetenstelsel blijven omdat interstellair bemandede ruimtevaart en kolonisatie op grote moeilijkheden en bezwaren stuiten die niet met technologische innovatie opgelost kunnen worden. Duurzame geavanceerde beschavingen zouden nog wel zeer hoge levensduren kunnen hebben, maar zij zullen niet zo veel urgentie ervaren om bemandede interstellair ruimtevaart en kolonisatie uit te voeren of zich verder te ontwikkelen tot Kardasjov-2 of hogere beschavingen omdat zij een bescheiden en stabiele populatie hebben die niet snel nieuwe bronnen van grondstoffen en energie hoeft aan te boren; interstellair kolonisatie zou incidenteel nog wel uitgevoerd worden als er een dwingende reden voor is, bijvoorbeeld als de thuisster het einde van zijn hoofdreeksfase heeft bereikt. Meestal wordt aan dit soort hoog ontwikkelde samenlevingen de beheersing van geavanceerde nanotechnologie toegeschreven, waarmee ze (eventueel zelfs als post biologische wezens) virtuele of gemanipuleerde realiteiten kunnen creëren, in vergelijking waarmee lange saaië interstellair raketreizen maar onaantrekkelijke alternatieven bieden. Maar zij zouden ook wel (hoewel mogelijk minder aannemelijk) conservatieve samenlevingen kunnen zijn die vasthouden aan hun biologische herkomst, en die tevreden zijn met een voor ons herkenbare levensstijl, waarin bijvoorbeeld iedere dag vers brood wordt gebakken en de krant op tijd wordt bezorgd, maar dan zo dat ze dat miljoenen jaren kunnen volhouden. Communicatiesignalen of diverse andere technosignalen zouden niet eens in het bereik van de aarde komen bij de gegeven combinaties van waarden voor C en L , en indien het geen sterke opzettelijke signalen zijn, zouden zij in het algemeen sowieso voor ons met de huidige stand van techniek zeer moeilijk waarneembaar zijn. Alleen voor het nog niet waarnemen van zelfreplicerende sondes zou nog een aparte verklaring aangevoerd moeten worden. Die aparte verklaring zou wel eens voor een belangrijk deel met voorzichtigheid aan de kant van de aliens te maken kunnen hebben.

Als aangenomen wordt dat bemandede interstellair ruimtevaart en kolonisatie wel succesvol en routinematig toegepast worden, dan is de verklaring dat aliens de aarde links hebben laten liggen omdat zij de aarde (voor zo ver ze die überhaupt binnen bereik hebben gehad) niet geschikt achten om zich op te vestigen, ook nog wel een aardige Fermiparadox oplossing. Dat zij de aarde niet geschikt achten, zou

dan vooral te maken hebben met praktische overwegingen. Het zou kunnen dat het onhandig voor aliens is dat er al meer cellig leven op de aarde is, of dat hun voorkeur uitgaat naar andere leefomgevingen zoals die rondom langer levende sterren zoals K en M-sterren, of misschien zelfs wel bruine dwergen. Er kunnen ook wel ethische bezwaren zijn geweest, bijvoorbeeld dat ze de aarde niet gekoloniseerd hebben uit oogpunt van natuurbehoud. Voor dit soort bezwaren is het echter minder aannemelijk dat ze universeel gelden voor alle typen aliens. Dit scenario laat zich wel het best verenigen met een proces van niet al te snelle interstellaire kolonisatie, zodat aliens nog altijd een redelijke keuze hebben uit sterren rondom welke zij zich kunnen vestigen. Voor communicatiesignalen of andere technosignalen die te verwachten zijn rond de sterren waar zij zich wel gevestigd hebben zou dan ook hier gelden dat ze niet in ons bereik komen of met onze huidige technieken niet of moeilijk waarneembaar zijn.

Er zijn tenslotte nog enkele meer extreme veelal niet falsificeerbare theorieën die de Fermiparadox kunnen oplossen zoals kort besproken in hoofdstuk 3, waarin interstellaire (bemande) ruimtevaart een ondergeschikte rol speelt maar die meer draaien rond aliens die door de aard van hun geavanceerde technologie niet voor ons zichtbaar zijn. Van die theorieën is wat mij betreft de simulatiehypothese de meest interessante, omdat in deze hypothese concreet gezegd wordt wat deze aliens doen, namelijk simulaties draaien en dan nog wel van complete universums. Het kan zijn dat zij dit doen op een natuurkundige manier waarin zij kosmische constructies bouwen bijvoorbeeld via zwarte gaten. Meestal worden simulaties van universums echter voorgesteld als computersimulaties. Dat de aliens zelf deelnemer zijn in de simulaties kan dan ook beter uitgelegd worden. Het kan dan zijn dat wij de aliens zijn in een bepaalde simulatie zonder het zelf te weten (of ik ben de alien zonder het zelf te weten in het solipsistische geval). Toch herhaalt zich ook hier de Fermi-vraag. Want waarom zijn er in de uitgestrektheid van het gesimuleerde universum (nog) geen tekenen van anderen? Een antwoord daarop kan zijn dat aliens bij voorkeur voorvader-simulaties draaien geïnspireerd op hun eigen geschiedenis. Zij kiezen dan voor een vrij prille periode in de geschiedenis van een civilisatie die in een interessante dynamische fase zit. Anderen (buitenaardsen) zouden alleen maar afleiden van het doel van de simulatie en de simulatie onnodig complex maken, want het gaat de aliens bij de simulatie alleen maar om één globale maatschappij die ze willen ervaren. Maar dit is allemaal erg speculatief en oncontroleerbaar, maar toch wel interessant genoeg om dit artikel mee af te sluiten.

18-10-2017,

Plus enkele kleine toevoegingen t/m december 2017

Plus een paar details en een bijlage over bovengrenzen aan het aantal (waarneembare) technologisch geavanceerde buitenaardse beschavingen in ons melkwegstelsel, juli 2020

Plus een discussie en conclusie, januari 2021 + wat aanpassingen vooral in hoofdstuk 2, april 2021

+ een alinea toegevoegd over de Light Cage Limit, september 2021

Mark Copijn