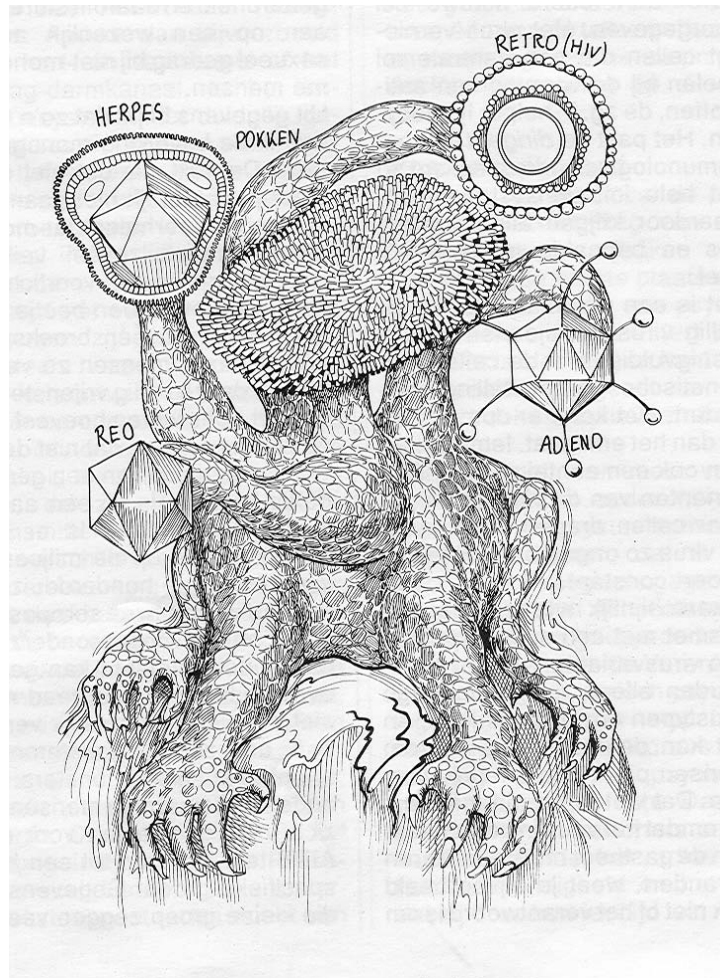


Examenreader Afweer



Inhoud

1	Studiewijzer	2
2	Eindtermen afweer	3
3	Begrippenlijst afweer	4
4	Theorie afweer	6
5	Oefentoets afweer	13
6	Antwoorden oefentoets afweer	17

1 **Studiewijzer**

- Bestudeer de tekst in deze reader.
- Regelmatig zie je een opdracht staan. Voer die opdracht dan uit.

2 **Eindtermen afweer**

Na het bestuderen van deze stof moet je onderstaande eindtermen beheersen.

Nummering is overeenkomstig het examenprogramma biologie VWO.

De kandidaat kan

- 204 de functies van de huid uitleggen aan de hand van een afbeelding van de bouw in het bijzonder:
- mede handhaven van een constant inwendig milieu;
 - regeling van lichaamstemperatuur;
 - opslag van vet;
 - bescherming onder andere door pigment;
 - productie van vitamine D.
- 205 de organen noemen die bij het afweersysteem zijn betrokken en hun functie daarin beschrijven in het bijzonder:
- thymus;
 - lymfeknopen;
 - milt;
 - beenmerg.
- 206 aan de hand van een afbeelding de functies beschrijven van stamcellen, plasmacellen, T-lymfocyten en B-lymfocyten.
- 207 uitleggen wat de functies zijn van het celmembraan bij:
- het constant houden van de omstandigheden in de cel;
 - regeling van processen in de cel onder andere door het bezit van receptoren voor hormonen.
- 208 uitleggen dat het celmembraan de cel afschermt van zijn omgeving waardoor concentratieverschillen tussen cel en omgeving mogelijk zijn.
- 210 de rol van witte bloedcellen bij het onschadelijk maken van binnengedrongen cellen of deeltjes uitleggen met gebruik van de begrippen macrofagen en fagocytose en verklaren waarom hier wordt gesproken van specifieke afweer.
- 211 uitleggen dat receptoreiwitten op het celmembraan van lymfocyten antigenen kunnen binden waardoor de productie van antistoffen op gang komt; verklaren waarom hier wordt gesproken van specifieke afweer en beschrijven hoe immuniteit zich ontwikkelt in het bijzonder:
- immunoglobulinen;
 - geheugencellen.
- 212 uitleggen dat antistoffen worden gevormd tegen antigenen in het bijzonder:
- lichaamsvreemde cellen en stoffen;
 - bacteriën;
 - virussen.
- 213 uitleggen dat ook rode bloedcellen dragers zijn van antigenen die worden onderscheiden als bloedgroepen en dat daarmee rekening wordt gehouden bij bloedtransfusies. in het bijzonder:
- AB0-systeem;
 - resusfactor.
- 214 uitleggen dat bij orgaantransplantatie antigenen een rol spelen en de consequenties hiervan beschrijven in het bijzonder:
- MHC-I en MHC-II.
- 215 uitleggen waardoor de aanwezigheid van antistoffen een indicatie is voor besmetting in het bijzonder:
- seropositiviteit.
- 216 het verschil tussen actieve en passieve immunisatie uitleggen en toepassingen hiervan noemen in het bijzonder:
- vaccins;
 - sera.

3 Begrippenlijst Afweer

antigeen	'Herkenningsmoleculen' in het celmembraan van elke cel; hieraan herkent het afweersysteem lichaamseigen en lichaamsvreemde cellen
(anti)serum	Serum met antistoffen (= immunoglobulinen) tegen een bepaalde ziekteverwekker
antistoffen	Immunoglobulinen: eiwitmoleculen die op één bepaald antigeen reageren
ABO-stelsel	Eén van de vele antigeensystemen op je rode bloedcellen; basis voor de verschillende bloedgroepen; als rode bloedcellen van verschillende bloedgroepen bij elkaar komen, gaat het bloed agglutineren (= klonten)
actieve kunstmatige immunisatie	Immunisatie door vaccinatie
afweersysteem	Het geheel aan mechanismen in je lichaam dat ziekteverwekkers onschadelijk maakt
agglutineren	Samenklonten (van rode bloedcellen)
algemene afweer	Afweer door fagocyten; zij maken geen onderscheid tussen de verschillende lichaamsvreemde stoffen (bacteriën, stuk houtsplinter, parasiet)
allergeen	Stof die bij iemand een allergische reactie opwekt
allergische reactie	Heftige reactie op een bepaalde stof
antibiotica	Stoffen die door sommige schimmels worden gemaakt als afweer tegen bacteriën; medicijn tegen bacterieziekten maar niet tegen virusinfecties
antigenen	Herkenningsmoleculen in het celmembraan van een cel
anti-resus	De antistof tegen de resusfactor
auto-immuunziekten	Ziekten waarbij het afweersysteem zich richt tegen lichaamseigen cellen (bijvoorbeeld: reuma)
bacteriën	Eéncellige organismen met een celwand, maar zonder celkern
B-geheugencellen	Inactieve nakomelingen (klonen) van een B-lymfocyt
bloedplasma	Bloed dat alleen plasma bevat en geen rode bloedcellen
B-lymfocyten	Lymfocyten die in het beenmerg ontstaan
boodschapperstoffen (= signaalstoffen)	Stoffen zoals interferon, die nodig zijn voor de communicatie tussen de verschillende witte bloedcellen
cytokinen	Eiwitten, afgegeven door T-helpercellen, die functioneren als signaalstoffen voor onder andere B-lymfocyten
cytotoxische T-lymfocyten	T-lymfocyten die lichaamscellen opsporen die een ziekteverwekker bevatten; cytotoxische T-lymfocyten doden deze gastheercel en daarmee de ziekteverwekker
dekweefsel	De kant van huid, longen en darmen die in contact komen met invloeden van buiten; vormt de grens tussen het uitwendige en het inwendige milieu
fagocyten	Witte bloedcellen die een ziekteverwekker 'opeten'; daarbij sterven ze meestal zelf
geheugencellen	Cellen waaruit de geschikte lymfocyten ontstaan bij een herbesmetting met een ziekteverwekker
histamine	Stof die door de mestcellen wordt geproduceerd; werkt op de cellen van bloedvaten en spieren; veroorzaakt gezwollen en ontstoken slijmvliezen
hoornlaag	De laag dode huidcellen die het bovenste deel van je huid vormt
hoornstof	Een vette stof die door de opperhuidcellen wordt geproduceerd
hybridoma	(Kunstmatige) samensmelting van een B-lymfocyt en een kankercel; de kankercel zorgt voor snelle deling, de B-lymfocyt produceert de antistoffen (zie ook: monoklonale antistoffen)
immunoglobulinen	Antistoffen: eiwitmoleculen die op één bepaald antigen reageren
immuun	Iemand die de geheugencellen voor een bepaalde ziekteverwekker bezit
immuundeficiëntie	Ziekten waarbij het afweersysteem niet goed werkt (bijvoorbeeld: AIDS)
kiemlaag	De laag in je opperhuid die nieuwe huidcellen vormt
kruisproef	Test waarbij een bloeddruppel van donor en ontvanger wordt gemengd om te zien of klontering optreedt
kunstmatige passieve immunisatie	'Immunisatie' door toedienen van (anti)serum; het eigen afweersysteem wordt niet geactiveerd zoals bij vaccinatie

lederhuid	Deel van de huid waarin zich de zenuwen, talgklieren, bloedvaten etc. bevinden
lymfocyten	Witte bloedcellen die gespecialiseerd zijn in het herkennen van een bepaald antigen. Bijvoorbeeld: B-lymfocyten, T-lymfocyten
macrofaag	Een fagocyt die een bacterie via endocytose opneemt en verteert; restjes bacterie-eiwit (en daarmee bacterie-antigenen) komen op het celmembraan van de macrofaag terecht; bij contact met een lymfocyt wordt de lymfocyt door alleen deze bacterie-antigenen geactiveerd
melanocyten	Pigmentkorrels die de cellen in de kiemlaag afstaan aan de hen omringende huidcellen
mestcellen	Een bepaald type witte bloedcellen in de slijmvliezen
monoklonale antistoffen	Antistoffen die in het laboratorium worden gemaakt uit één enkele kloon van een hybridoma
natuurlijke immunisatie	Immunisatie door natuurlijke besmetting met de echte ziekteverwekker
natuurlijke passieve immunisatie	'Immunisatie' bij ongeboren kinderen door de antistoffen die van de moeder via de placenta bij het kind terechtkomen; immunisatie van baby's via de antistoffen in de moedermelk
opperhuid	Kiemlaag plus hoornlaag
plasmacellen	Actieve nakomelingen van een B-lymfocyt; maken specifieke antistoffen (= immunoglobulinen) tegen een ziekteverwekker
resistentie	Ongevoeligheid van een organisme voor bepaalde stoffen of ziekteverwekkers; ontstaat door variatie en selectie gedurende meerdere generaties
resusfactor	Een antigeen op de rode bloedcellen
resusnegatief	Bloedcellen zonder resusfactor
resuspositief	Bloedcellen met de resusfactor
rode beenmerg	Goed doorbloed merg in de pijpbeenderen van jonge kinderen en, na de pubertijd, in de platte beenderen
schimmels	Eén- of meercellige organismen met een celwand en celkern, maar zonder bladgroen
slijmvlies	Beschermend dekweefsel in onder andere de neus, luchtpijp, darmen en baarmoeder
specifieke afweer	Afweer door T- en B-lymfocyten
stamcellen	Cellen in het rode beenmerg waaruit twee groepen witte bloedcellen ontstaan: fagocyten en lymfocyten
T-geheugencellen	Inactieve nakomelingen (klonen) van een T-lymfocyt
T-helpercellen	Actieve nakomelingen (klonen) van een T-lymfocyt. Zij produceren cytokinen en activeren B-lymfocyten en cytotoxische T-lymfocyten
thymus	Een klier achter het borstbeen, betrokken bij je afweersysteem
T-lymfocyten	Lymfocyten die in de thymus ontstaan; zij worden geactiveerd door macrofagen en zetten de B-lymfocyten aan om plasmacellen te vormen
vaccin	Preparaat met een onschadelijk gemaakte ziekteverwekker of soms alleen de antigenen van de ziekteverwekker
vaccinatieprogramma	Door de overheid opgezette organisatie die ervoor zorgt dat kwetsbare bevolkingsgroepen een vaccin tegen bepaalde ziekten toegediend krijgen
virussen	RNA of DNA in een eiwitenvelop
witte bloedcellen	Cellen die lichaamsvreemde stoffen kunnen herkennen; verzamelnaam voor fagocyten, B- en T-lymfocyten
ziekteverwekkers	Organismen (of virussen) met een parasitaire levenswijze

4 **Theorie afweer**

4.1 Afweer algemeen

Afweer is noodzakelijk voor het buiten houden en/of onschadelijk van **ziekteverwekkers** (bacteriën, schimmels, virussen, ééncellige parasieten, parasitaire wormen) of het onschadelijk maken van **abnormale cellen** (kankercellen, transplantaten).

In het gevecht tegen ziekteverwekkers voert het lichaam diverse veldslagen. Een ziekteverwekker die het lichaam wil binnendringen krijgt achtereenvolgens te maken met drie afweerlinies:

1ste linie: externe, niet-specifieke afweer	
huid	slijmvliezen

indien deze barrières zijn gepasseerd, reageert het lichaam met:

2de linie: interne, niet-specifieke afweer	
fagocyten en macrofagen maken binnengedrongen cellen onschadelijk	"natural-killer"-cellen doden cellen met virussen

indien deze niet-specifieke verdediging onvoldoende is, reageert het lichaam met:

3^{de} linie: specifieke afweer (immuunsysteem)	
T-lymfocyten zorgen voor cellulaire immuniteit (immuniteit tegen ziekteverwekkers die in cellen binnendringen)	B-lymfocyten (met antistoffen) zorgen voor humorale immuniteit (ziekteverwekkers die vrij circuleren in je lichaam)

4.2 De eerste afweerlinie

Allereerst moet een ziekteverwekker het lichaamsoppervlak passeren. Het lichaamsoppervlak is het dekweefsel dat zowel de buitenkant van het lichaam (huid) als de lichaamsholten (darmkanaal, luchtwegen, urinewegen, vagina en ogen) bekleedt. Deze zogenaamde **eerste afweerlinie** heeft verdedigingsuitrustingen tegen allerlei verschillende typen ziekteverwekkers of lichaamsvreemde stoffen. De afweer wordt daarom niet-specifieke afweer genoemd. Omdat de afweer buiten het lichaam plaatsvindt, is de volledig juiste benaming **externe niet-specifieke afweer**.

Voorbeelden:

- Speeksel en slijm in de keelholte bevat het enzym **lysozym** dat celwanden van binnendringende bacteriën afbreekt die daardoor sterven;
- Maagsap heeft een extreem lage pH (pH 2 tot 3) waar bacteriën niet tegen kunnen;
- Maagsap bevat eiwitverterende enzymen die de celwand van bacteriën beschadigen;
- Autochtone bacteriën in de darmen scheiden stoffen uit om vreemde bacteriën te bestrijden;
- De huid bestaat uit een aaneengesloten laag van dode, verhoorde cellen die ondoordringbaar is voor de meeste micro-organismen;
- Zweetklieren en talgklieren scheiden melkzuur en vetzuren af die de bacteriegroei remmen;
- Onschadelijke bacteriën die normaal op de huid voorkomen (*commensalen*), scheiden stoffen af die de groei van schadelijke bacteriën remmen;
- Ziekteverwekkers die via de neus worden ingeademd, worden tegengehouden door neusharen en slijm;
- De ogen worden gereinigd met *traanvocht* dat lysozym bevat;
- De urinewegen worden gespoeld met urine;
- De natuurlijke bacterieflora in de vagina zorgt voor een biochemische barrière. In de vagina heerst normaliter een lichtzuur milieu.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Bestudeer nu paragraaf 9.1 uit je boek.• Maak en controleer de vragen 3 t/m 8. |
|---|

4.3 De tweede afweerlinie

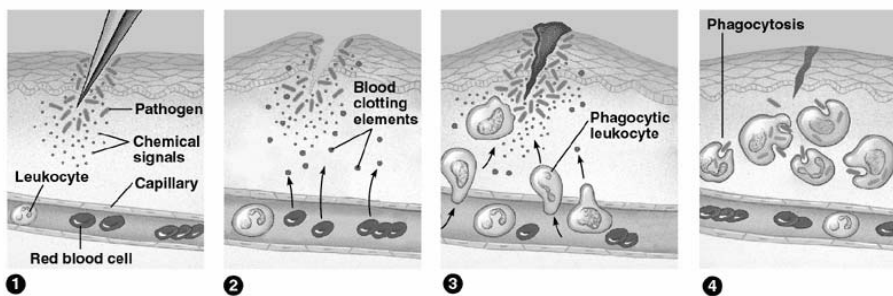
Zodra een ziekteverwekkend micro-organisme het lichaam is binnengedrongen, spreken we van een **besmetting**. Als de ziekteverwekker de kans krijgt om zich te vermenigvuldigen in het lichaam, ontstaat er een **infectie**. De tijd vanaf de besmetting tot het optreden van de eerste ziekteverschijnselen heet **incubatietijd**.

Een ziekteverwekker die door de eerste afweerlinie heen gebroken is, wordt aangepakt door de **tweede afweerlinie**. Daarvan zijn er verschillende typen, die hieronder beschreven worden.

De cellen die de tweede linie afweer verzorgen, zijn niet gespecialiseerd in één type ziekteverwekker. Ook deze afweer is daarom niet-specifiek. Omdat de afweer binnen het lichaam plaatsvindt, is de volledig juiste benaming **interne niet-specifieke afweer**.

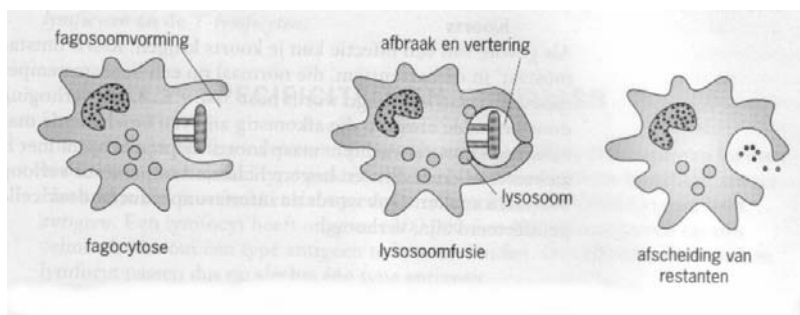
4.3.1 Fagocyten en macrofagen

Als je geïnfecteerd raakt (bijvoorbeeld door een sneetje waarin bacteriën zijn binnengedrongen), komen bepaalde typen witte bloedcellen in actie: de **fagocyten** (letterlijk "eetcellen") en de **macrofagen** (letterlijk "veelvraten"). Deze witte bloedcellen worden gelokt door signaalmoleculen die afgegeven worden door de beschadigde cellen van de huid (dat heet **chemotaxis**). Dit wordt gemakkelijker gemaakt doordat de signaalmoleculen de bloedvaten iets verwijderen. Dat is waarom een infectie ook altijd met roodheid en een zwelling gepaard gaat. (Zie figuur 1.)



Figuur 1: de stappen na een infectie

Fagocyten en macrofagen kunnen van vorm te veranderen. Hierdoor kunnen ze het bloedvat verlaten op een geïnfecteerde plek. Fagocyten en macrofagen kunnen zich binden aan een ziekteverwekkend micro-organisme. Vervolgens omsluiten ze deze ziekteverwekker en vormen een fagosoom (voedselvacuole). Na fusie van het fagosoom met lysosomen wordt het micro-organisme door enzymen afgebroken. Vervolgens worden de restanten naar buiten afgescheiden. (Zie figuur 2.)



Figuur 2: Fagocytose door fagocyten en macrofagen

4.3.2 Koorts

Als gevolg van een infectie kun je koorts krijgen. Koorts ontstaat doordat de 'thermostaat' in de hersenstam, die normaal op een lichaamstemperatuur van 37°C ingesteld staat, verhoogd wordt naar 38-39°C. Deze verhoging wordt veroorzaakt door bepaalde eiwitten die afkomstig zijn van actieve fagocyten en macrofagen. Je zou het misschien niet verwachten, maar koorts helpt je lichaam met het gevecht tegen ziekteverwekkers. Bij een hogere lichaamstemperatuur verloopt de fagocytose van bacteriën namelijk sneller.

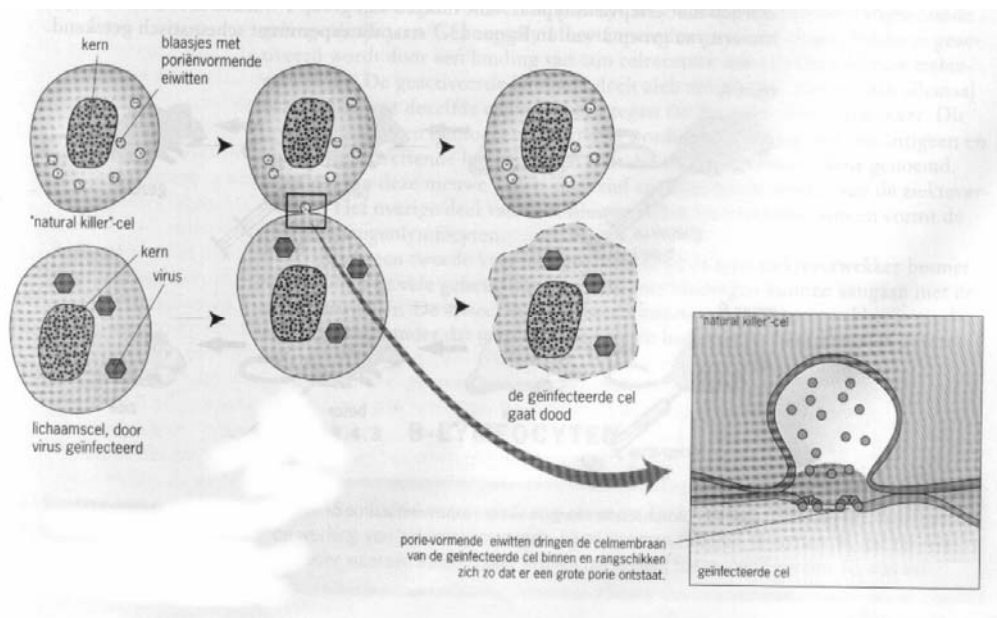
4.3.3 Lichaamscellen

Ook lichaamscellen kunnen andere lichaamscellen helpen met de verdediging tegen virussen. Een cel die door een virus geïnfecteerd is, produceert namelijk het eiwit **interferon**. Interferon beschermt buurcellen tegen virusinfecties.

4.3.4 "Natural killer"-cellen

Als je geïnfecteerd raakt met een virus, bijvoorbeeld een griepvirus, dan hebben de fagocyten een probleem. Virussen gaan namelijk in lichaamscellen zitten en fagocyten kunnen een cel uit het eigen lichaam - met virus - niet fagocyteren. Om deze virussen toch te kunnen vernietigen heeft de tweede afweerlinie een ander type witte bloedcellen, namelijk **'natural killer'-cellen**.

Op een lichaamscel die door een virus is geïnfecteerd, blijven viruseiwitten achter. 'Natural killer'-cellen herkennen deze eiwitten en vallen de geïnfecteerde cel aan. Ook kunnen 'natural killer'-cellen afwijkende lichaamseigen cellen (tumorcellen) herkennen en opruimen. De 'natural killer'-cel maakt contact met het celmembraan en scheidt uit zijn blaasjes **membraandoorborende enzymen (perforines)** af. Het celmembraan van de met virus geïnfecteerde cel raakt 'lek' en celonderdelen worden door de enzymen afgebroken. De cel met de onvolledig opgebouwde virussen gaat dan dood. (Zie figuur 3.)



Figuur 3: "Natural killer"-cellen in actie

4.4 De derde afweerlinie: Het Immuunsysteem

De tweede afweerlinie is soms niet sterk genoeg om de binnengekomen ziekteverwekkers volledig uit te schakelen. In dat geval worden de hulptroepen van de **derde afweerlinie** ingeroepen.

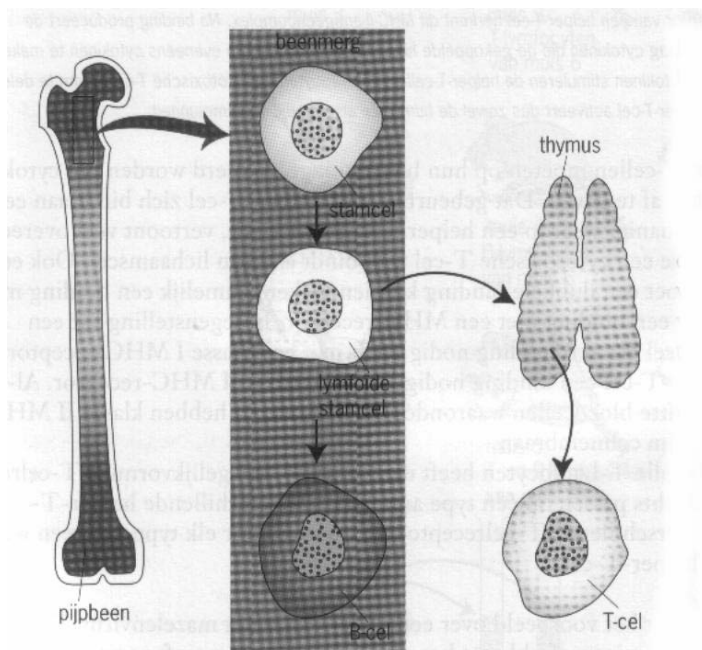
Een ziekteverwekker, bijvoorbeeld een mazelenvirus, die in contact komt met de derde afweerlinie wordt door specifieke witte bloedcellen, namelijk **lymfocyten**, uitgeschakeld. Waagt een mazelenvirus het na een tijdje nog een tweede keer om je lichaam binnen te dringen, dan wordt deze onmiddellijk door de lymfocyten uit de weg geruimd zonder dat je het merkt. Je krijgt geen mazelen meer. Je bent dan namelijk al **immuun** voor mazelen.

Het bijzondere van de derde afweerlinie is dat de verdediging veel sterker is bij een volgende ontmoeting met hetzelfde type ziekteverwekker. Een ander kenmerk is dat één specifieke lymfocyt slechts één type ziekteverwekker kan uitschakelen. Na eenmaal met het mazelenvirus geïnfecteerd te zijn geweest, zijn alleen de lymfocyten tegen het mazelenvirus geactiveerd. Word je later geïnfecteerd met een griepvirus dan heb je niets aan de lymfocyten tegen het mazelenvirus omdat ze het griepvirus niet herkennen en dus niet kunnen uitschakelen. De derde afweerlinie heet daarom **specifieke afweer** en wordt ook wel het **immuunsysteem** genoemd.

4.4.1 T- en B-lymfocyten

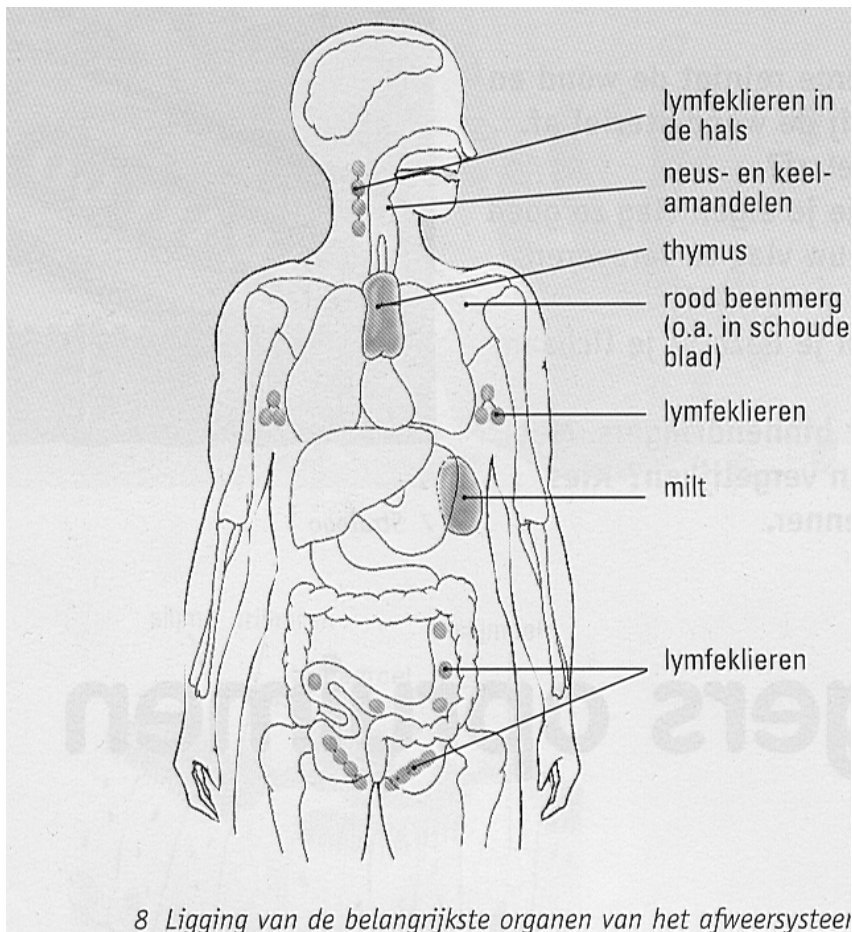
Bij de specifieke afweer zijn twee typen lymfocyten (een bepaald type witte bloedcellen) betrokken:

T-lymfocyten en **B-lymfocyten**. In het rode beenmerg worden door celdelingen stamcellen gevormd. Afhankelijk van het type stamcel en de ontwikkelingsplaats van de stamcel, kunnen ze zich tot elk type bloedcel ontwikkelen. T-lymfocyten en B-lymfocyten ontwikkelen zich uit **lymfoïde stamcellen**. Lymfoïde stamcellen die in het beenmerg rijpen, groeien uit tot B-lymfocyten. Lymfoïde stamcellen die via het bloed in de thymus terechtkomen, ontwikkelen zich daar tot T-lymfocyten. De thymus ligt voor in de borstholte, net boven het hart. Dagelijks ontwikkelen zich zo miljoenen B- en T-lymfocyten die allemaal verschillend zijn! (Zie figuur 4.)



Figuur 4: De ontwikkeling van lymfocyten in beenmerg en thymus

Thymus en beenmerg worden **lymfoïde organen** genoemd vanwege hun rol in het rijpingsproces van B- en T-lymfocyten. Ook lymfeknopen, milt en amandelen zijn lymfoïde organen. Wellicht zijn je amandelen een keer ontstoken geweest of heb je opgezette lymfeknopen gehad tijdens een ziekte. Dat komt doordat in deze lymfoïde organen het gevecht plaatsvindt tussen de lymfocyten en de ziekteverwekkers. Lymfocyten bevinden zich vooral in deze lymfoïde organen. De lymfoïde organen zijn weergegeven in figuur 5.



8 Ligging van de belangrijkste organen van het afweersysteem

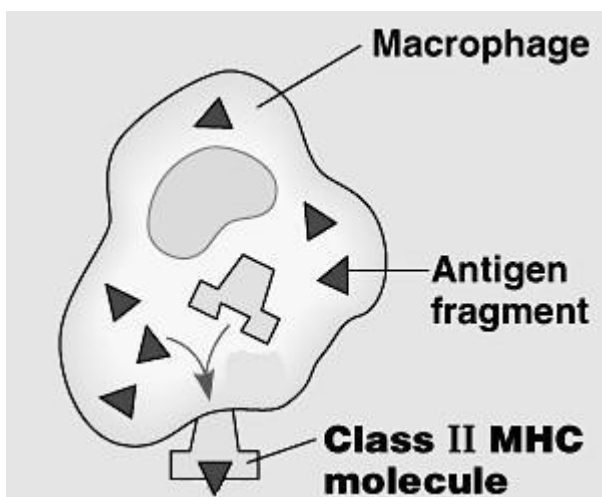
Figuur 5: de lymfoïde organen van de mens

4.4.2 Antigenen, MHC-moleculen en antigeen-presentatie

Zolang er dierlijk leven is op aarde, zolang wordt dat leven ook al belaagd door stoffen en andere organismen die het leven onmogelijk kunnen maken. Dergelijk materiaal (meestal cellen of virussen) wordt door je lichaam opgemerkt als lichaamsvreemd omdat het **antigenen** bevat. Antigenen (uit het Engels: ANTibody GENerating) zijn grote moleculen, vrijwel altijd eiwitten. Antigenen bevinden zich meestal op celmembranen, maar kunnen ook geïsoleerd in een organisme voorkomen of in een geïnfecteerde cel. Elk individu heeft zijn eigen specifieke antigenen. Het lichaam is in staat antigenen van andere individuen als lichaamsvreemd te herkennen en hierop te reageren.

Het hart van het menselijke immuunsysteem wordt gevormd door het **MHC-systeem**. Dit is een systeem van een soort presenteerbladen die het gevaar aanbieden aan de afweercellen die de gevarenbron vervolgens uitschakelen.

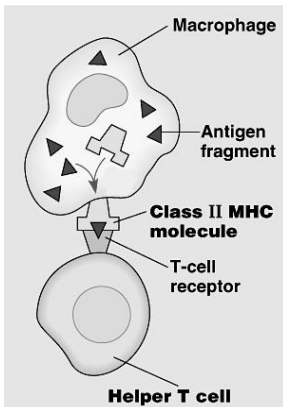
Als een ziekteverwekker het lichaam is binnengedrongen, wordt deze onmiddellijk bestreden door de tweede afweerlinie. De macrofagen die de ziekteverwekker onschadelijk maken, plaatsen daarbij een fragment van de ziekteverwekker bovenop zogenaamde **MHC-II-moleculen** op hun celmembraan. Een macrofaag met zo'n lichaamsvreemd antigeen op het celmembraan wordt een **antigeen-presenterende cel** genoemd. In figuur 6 is dit weergegeven.



Figuur 6: Een macrofaag presenteert een antigeenfragment op een MHC-II-molecuul op de celmembraan.

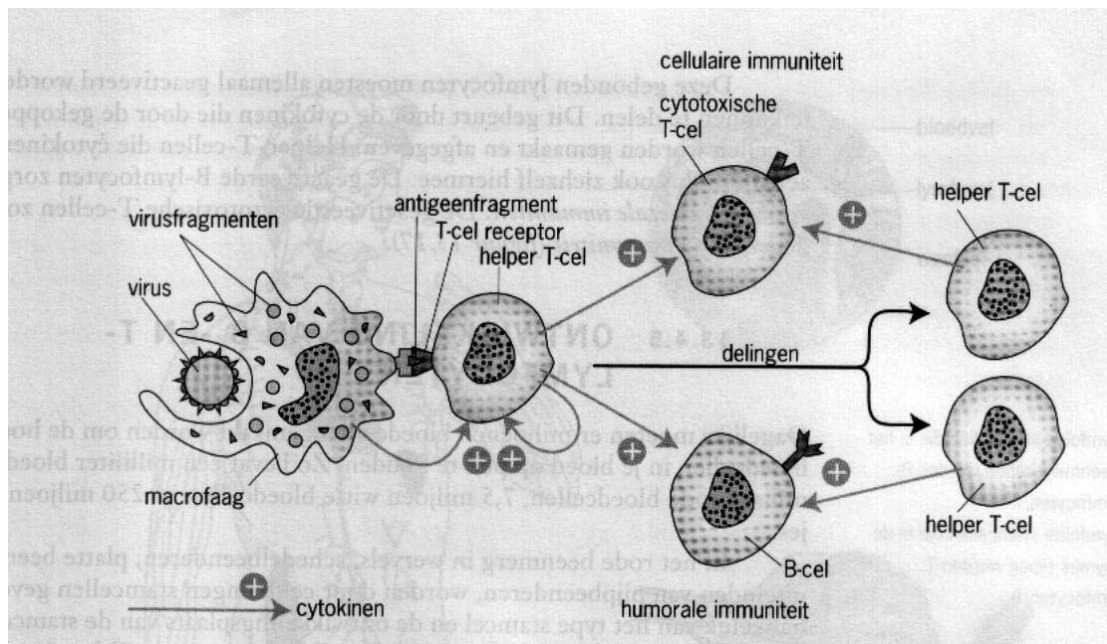
4.4.3 Antigeen-presenterende cellen, helper-T-lymfocyten en cytokine

Via de lymfe en het bloed komen antigeen-presenterende cellen in de lymfoïde organen terecht. Daar komen ze verschillende soorten **helper-T-lymfocyten** met zeer vele verschillende receptoren tegen die de cellen gaan aftasten. Omdat er zo veel verschillende soorten T-lymfocyten worden gemaakt, is er vrijwel altijd wel een helper-T-lymfocyt met receptoren die passen op het antigeen-fragment dat wordt gepresenteerd. Een passende helper-T-lymfocyt bindt nu aan het antigeen dat gepresenteerd wordt. Dit is weergegeven in figuur 7.



Figuur 7: Een macrofaag presenteert een antigeenfragment op een MHC-II-molecuul op de celmembraan. Een helper-T-lymfocyt met de juiste receptor bindt aan het fragment.

De helper-T-lymfocyten geven vervolgens **cytokinen** af. De cytokinen stimuleren daarmee zogenaamde **cytotoxische-T-lymfocyten** en **B-lymfocyten** om hun werk te doen (zie figuur 8). In de volgende paragrafen wordt uitgelegd hoe door de combinatie van cytotoxische-T-lymfocyten en B-lymfocyten de ziekteverwekker volledig onschadelijk wordt gemaakt.



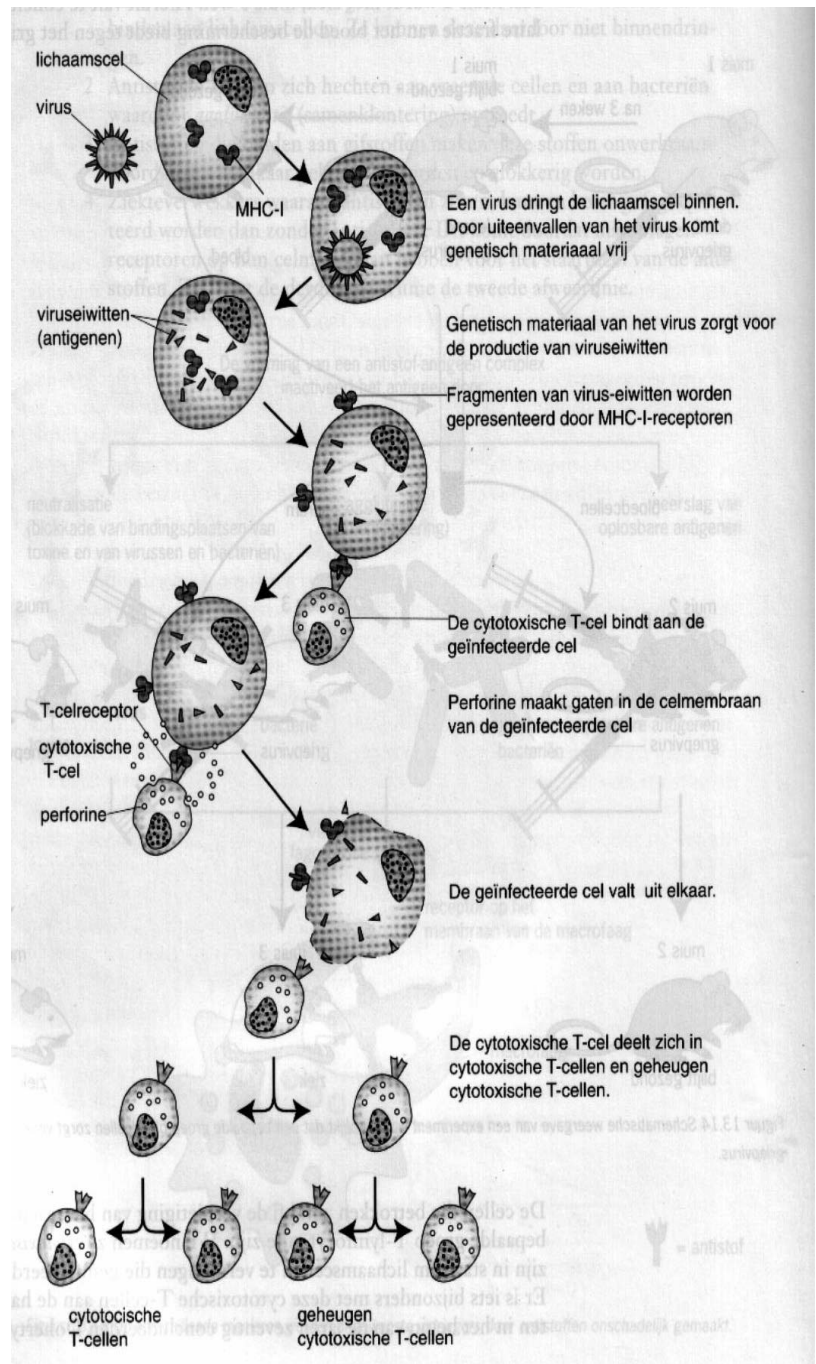
Figuur 8: De centrale rol van helper-T-lymfocyten bij de stimulatie van cytotoxische-T-lymfocyten en B-lymfocyten door middel van cytokinen.

4.4.4 Cytotoxische-T-lymfocyten en cellulaire afweer

Sommige ziekteverwekkers kunnen lichaamscellen binnendringen. Meestal zijn dat virussen. Een geïnfecteerde lichaamscel plaatst daarbij een fragment van de ziekteverwekker bovenop zogenaamde **MHC-I-moleculen** op hun celmembraan. (Zie figuur 9.)

Je lichaamscellen worden voortdurend afgetast door **cytotoxische-T-lymfocyten**. Soms wordt daarbij zo'n geïnfecteerde lichaamscel aangetroffen. Omdat het lichaam vele verschillende typen cytotoxische-T-lymfocyten in kleine hoeveelheden maakt, is er vrijwel altijd wel eentje bij met een receptor die op het fragment op de geïnfecteerde lichaamscel past. Er vindt dan een koppeling plaats tussen de cytotoxische-T-lymfocyt en het fragment. Dit wordt gestimuleerd door de cytokinen uit de helper-T-lymfocyten die ondertussen ook op het virus hebben gereageerd (zie 4.3).

Cytotoxische-T-lymfocyten zijn in staat om lichaamscellen te vernietigen die geïnfecteerd zijn met virussen. Deze vorm van afweer heet daarom **cellulaire afweer**.



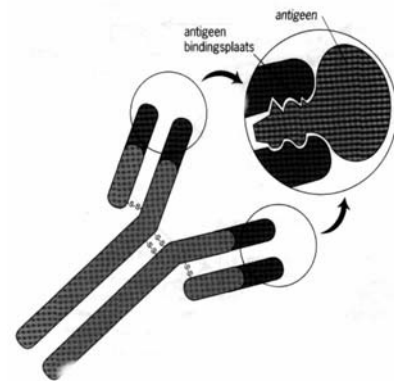
Figuur 9: Cellulaire afweer. Een cytotoxische- T-lymfocyt ruimt een door een virus geïnfecteerde lichaamscel op en ontwikkelt zich vervolgens tot een groep actieve cytotoxische-T-lymfocyten en geheugen-cytotoxische-T-lymfocyten

Stel bijvoorbeeld dat je geïnfecteerd bent met het mazelenvirus dat inmiddels een lichaamscel is binnengedrongen, dan dwingt het virus de cel eiwitten te maken voor nieuwe virussen. Ondertussen brengt de cel enkele stukjes van deze eiwitten naar het celmembraan. Het eiwit wordt gekoppeld aan het MHC-I-molecuul. Zie figuur 9. De geïnfecteerde lichaamscel 'roept' op deze manier om hulp en moet wachten op een geschikte cytotoxische-T-lymfocyt. Omdat de T-celreceptoren van een cytotoxische-T-lymfocyt specifiek zijn voor één type antigeen, moet de geïnfecteerde lichaamscel wachten op een cytotoxische-T-lymfocyt met een T-celreceptor die precies past op dat stukje viruseiwit. Indien er zo'n cytotoxische-T-lymfocyt opduikt en zich bindt aan het viruseiwit en het MHC-I-molecuul op de geïnfecteerde cel, dan wordt de lichaamscel met het virus afgebroken. De cytotoxische-T-lymfocyt doet dat door, net zoals de 'natural killer'-cellen, membraandoorborende enzymen (*perforines*) af te geven. De geïnfecteerde cel raakt lek en gaat samen met de onvolledig opgebouwde virussen te gronde.

De cytotoxische-T-lymfocyt gaat zich daarna delen. Zo ontstaan nieuwe actieve cytotoxische-T-lymfocyten en **geheugen-cytotoxische-T-lymfocyten** die allemaal T-celreceptoren hebben voor dat specifieke stukje viruseiwit. De nieuwe actieve cytotoxische-T-lymfocyten gaan de andere met virus geïnfecteerde cellen aanvallen. De geheugen-cytotoxische-T-lymfocyten komen van pas als je na een tijdje opnieuw geïnfecteerd wordt met het virus. Een cel die dan opnieuw geïnfecteerd is met dit virus wordt direct opgemerkt omdat je zoveel geheugen-cytotoxische-T-lymfocyten hebt. Direct wordt de cel met de virussen dan uitgeschakeld. Je wordt dan niet meer ziek. Zie figuur 9.

4.4.5 B-lymfocyten en humorale afweer

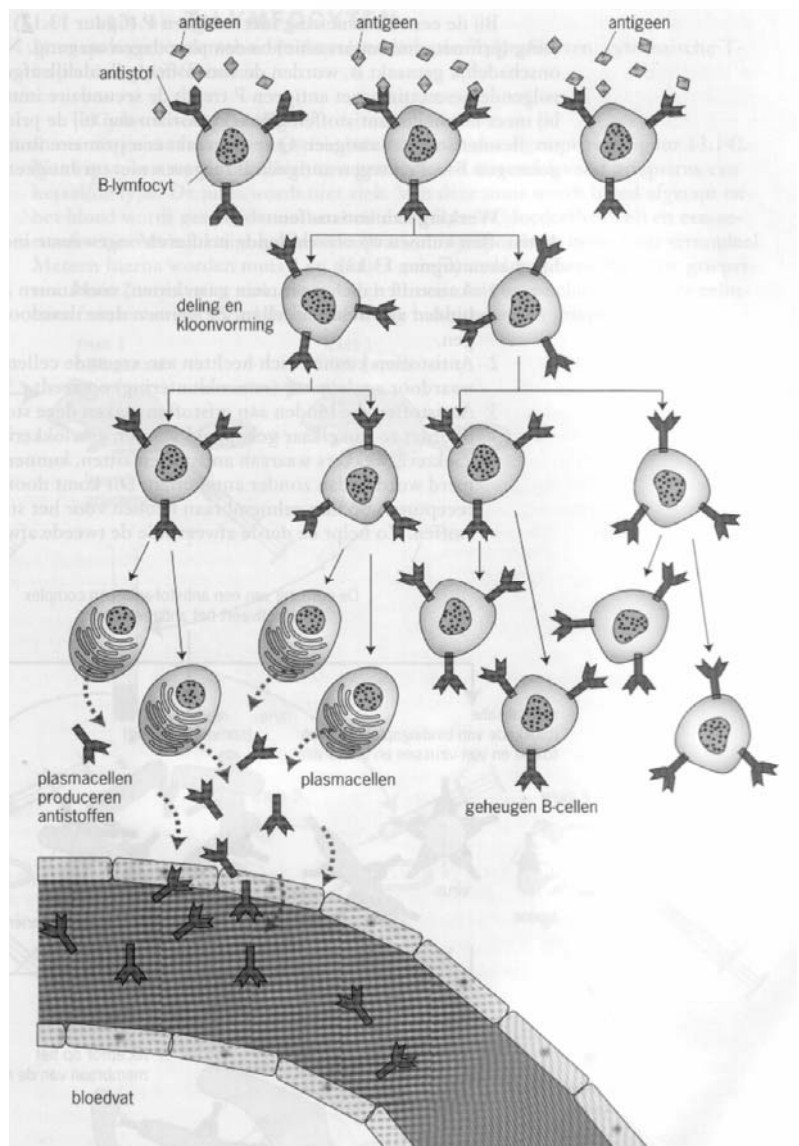
Antigenen die in het lichaam circuleren (dus vrij circulerende ziekteverwekkers of delen daarvan) worden afgetast door **B-lymfocyten**. Indien er een B-lymfocyt wordt aangetroffen met een specifieke receptor, vindt er een koppeling plaats. Omdat het lichaam vele verschillende typen B-lymfocyten in kleine hoeveelheden maakt, is er vrijwel altijd wel een B-lymfocyt met receptoren die op het antigeen passen. De B-lymfocyten ontwikkelen zich tot vervolgens tot **plasmacellen** en **geheugen-B-lymfocyten**. Dit wordt gestimuleerd door de cytokinen uit de helper-T-lymfocyten die ondertussen ook op het antigeen hebben gereageerd (zie 4.3).



De celreceptoren van de B-lymfocyten heten **antistoffen** of **antilichamen** (in het Engels 'antibodies'). Een antistof is een Y-vormig molecuul (zie figuur 10). De vorm van de twee-armige uiteinden van dit molecuul verschilt per antistof. Op die plaatsen gaan antistoffen een binding aan met een antigeen. Antistoffen passen op één type antigeen als een sleutel in een slot. Het bijzondere van de antistoffen van de plasmacellen is dat ze aan het bloed kunnen worden afgegeven. Losse antistoffen in het bloed worden **immunoglobulinen** genoemd. Deze maken ziekteverwekkende antigenen onschadelijk die vrij in het bloed, de lymfe en de weefselvloeistof voorkomen.

Geheugen-B-lymfocyten herkennen (net als geheugen-T-lymfocyten) bij een nieuwe infectie een antigeen. Daardoor zorgen geheugencellen voor een snellere reactie, zodat je bij een nieuwe infectie meestal niet ziek meer wordt.

Plasmacellen kunnen heel snel grote hoeveelheden antistoffen produceren. De antistoffen komen in alle lichaamsvloten terecht (bloed, lymfe, weefselvloeistof, traanvocht, speeksel, vaginaal vocht, moedermelk enz.). We noemen daarom de afweer door antistoffen **humorale afweer** (humor = vocht). In figuur 11 is de humorale afweer samengevat.

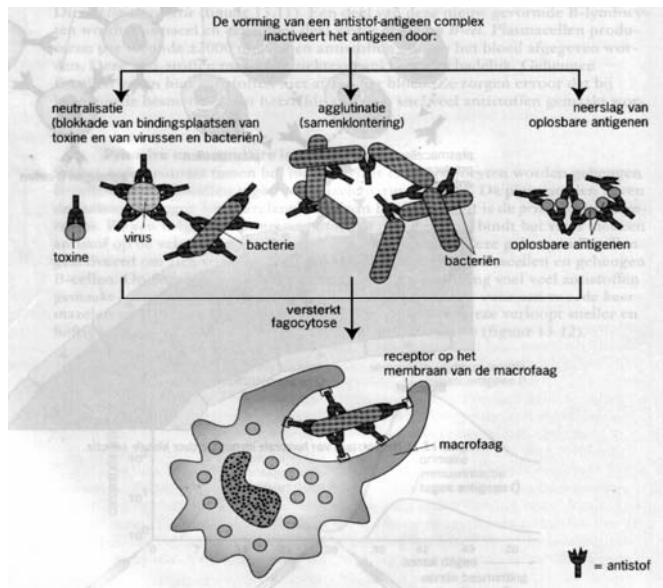


Figuur 11: Humorale afweer. Een B-lymfocyt ontwikkelt zich tot plasmacellen die antistoffen aan het bloed afgeven en tot geheugen-B-lymfocyten.

4.4.5.1 Werking van antistoffen

Als antistoffen aan een antigeen binden, ontstaat een zogenaamd **antigeen-antistofcomplex**. Door de complexvorming wordt het antigeen of de ziekteverwekker waarop het antigeen zich bevindt onschadelijk gemaakt. Dit kan op verschillende manieren (zie figuur 12):

- 1 **Neutralisatie:** antistoffen die op virussen gaan zitten, voorkomen dat virussen kunnen binden aan lichaamscellen. Ze kunnen deze daardoor niet binnendringen.
- 2 Antistoffen kunnen zich hechten aan vreemde cellen en aan bacteriën waardoor **agglutinatie** (samenklontering) optreedt.
- 3 Antistoffen die binden aan gifstoffen maken deze stoffen onwerkzaam doordat ze aan elkaar gekoppeld worden en **vlokkerig** worden.



Figuur 12: op verschillende manieren worden ongewenste indringers onschadelijk gemaakt.

Ziekteverwekkers waaraan antistoffen zitten, kunnen **beter gefagocyteerd** worden dan zonder antistoffen. Dit komt doordat macrofagen receptoren op hun celmembraan hebben voor het staartdeel van de antistoffen. Zo helpt de derde afweerlinie de tweede afweerlinie.

4.4.6 Klonale selectie

Zoals je hebt gelezen is iedere B-lymfocyt of T-lymfocyt genetisch geprogrammeerd om één bepaald antigeen te kunnen herkennen. Omdat er vele verschillende soorten lymfocyten zijn kan het immuunsysteem als geheel op deze wijze vele duizenden antigenen herkennen.

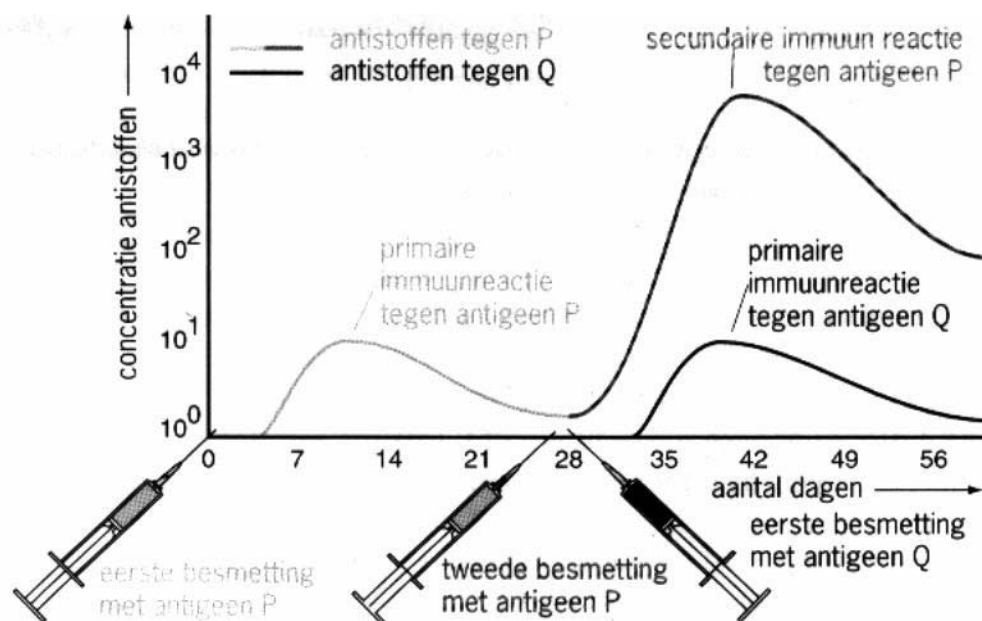
Wanneer een antigeen gebonden wordt aan één van de weinige lymfocyten die in staat zijn het te herkennen, wordt de lymfocyt aangezet tot snelle vermeerdering. Binnen een aantal dagen is er een voldoende groot aantal om een **immuunrespons** tot stand te brengen. Dus het antigeen selecteert en genereert de specifieke klonen van de lymfocyten die het antigeen kunnen binden. Dit proces wordt **klonale selectie** genoemd.

- **Bestudeer nu paragraaf 9.2 uit je boek.**
- **Maak en controleer de vragen 4 en 9.**
- **Bestudeer daarna paragraaf 9.3 uit je boek.**
- **Maak en controleer de vragen 3 t/m 12.**

4.4.7 Immuniteit en vaccinatie

Bij een eerste besmetting met een antigeen duurt het enkele dagen voordat er voldoende antistof is gevormd. Je wordt bij een besmetting daardoor meestal eerst ziek. Als je voldoende antistof hebt gevormd, verdwijnen de symptomen. Na zo'n twee weken neemt de hoeveelheid antistof niet meer toe. We noemen deze antistofvorming de **primaire reactie**. Hierna wordt de antistof geleidelijk afgebroken.

Bij een tweede besmetting met hetzelfde antigeen zorgen de geheugencellen ervoor dat er vrijwel onmiddellijk antistof wordt gevormd: de **secundaire reactie**. De hoeveelheid antistof wordt veel groter en neemt veel langzamer af dan bij de primaire reactie. Door de snelle secundaire reactie heb je bij een tweede besmetting meestal vrijwel geen symptomen. Je bent door de primaire reactie immuun geworden. Zie figuur 13.



Figuur 13: primaire en secundaire immuunreactie.

Wanneer immuniteit wordt verkregen als reactie op het binnendringen van een ziekteverwekker, spreken we van **natuurlijke immuniteit**. Bij kinderziekten (bijv. waterpokken) is sprake van natuurlijke immuniteit. De opgebouwde immuniteit bij kinderziekten is meestal levenslang.

Immuniteit kan ook kunstmatig worden opgewekt. We noemen dat **immunisatie**. Dat gebeurt door een **vaccin** te gebruiken dat bestaat uit gedode of verzwakte ziekteverwekkers. Soms worden alleen antigenen ingespoten. Door het vaccin wordt bij de ingeënte persoon het afweersysteem geactiveerd zonder dat de persoon ziek wordt. De persoon maakt antistof tegen het antigeen van de ziekteverwekker. Geheugencellen zorgen voor immuniteit bij een latere besmetting.

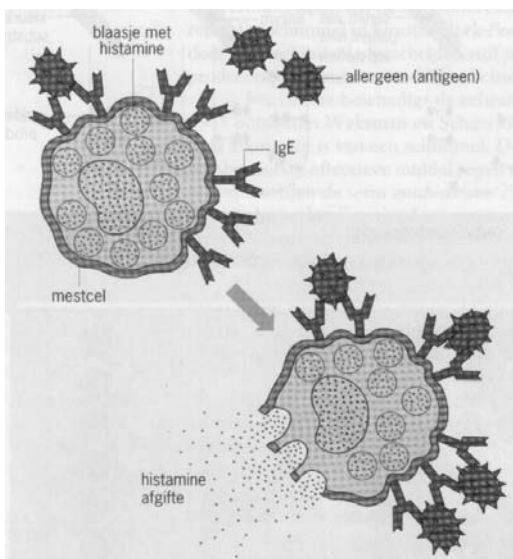
In ons land worden vrijwel alle kinderen gevaccineerd tegen difterie, kinkhoest, tetanus, polio (kinderverlamming), bof, mazelen en rodehond. Doordat bij vaccinatie immuniteit ontstaat door activiteit van de ingeënte persoon zelf, noemen we dit **actieve immunisatie**. In sommige (nood)gevallen wordt **passieve immunisatie** toegepast, bijv. wanneer iemand is gebeten door een gifslang. Bij passieve immunisatie wordt een (anti)serum ingespoten. Een serum bevat antistof tegen het antigeen waarmee de persoon is besmet.

4.4.8 Allergie

Hooikoorts, eczeem, allergie voor huisdieren en allergie voor uitwerpselen van huisstofmijt zijn voorbeelden van allergische reacties.

Bij hooikoorts zijn het vooral de stuifmeelkorrels van grassen die de allergische reactie veroorzaken. Stuifmeelkorrels waaien door de lucht en als je ze inademt komen ze op het neusslijmvlies terecht. Hier lossen de stuifmeelkorrels als het ware in op. De daarbij vrijkomende stoffen zijn antigenen. Als ze een allergische reactie veroorzaken, worden ze ook wel *allergenen* genoemd.

B-lymfocyten maken in het geval van een allergische reactie een speciaal type antistof, namelijk **IgE** (**immunoglobuline E**). Deze antistoffen binden aan de allergenen. Vervolgens gaan de gebonden antistoffen met hun staartdeel op het celmembraan van zogenaamde **mestcellen** zitten. Mestcellen zijn leukocyten die in slijmvliesen en dichtbij bloedvaten liggen. Als mestcellen geprikkeld worden door de IgE-antistoffen, geven ze stoffen zoals **histamine** af aan het bloed. Histamine beïnvloedt de gladde spieren van bloedvaten en ademhalingswegen. De bloedvaten worden wijder waardoor vloeistof uit de vaten lekt. Hierdoor zwellen de slijmvliesen op en ontstaat bijvoorbeeld een loopneus. Ook vernauwen de luchtpijptakjes zich waardoor een piepende ademhaling en kortademigheid ontstaat. (Zie figuur 14.)



Figuur 14: Mestcellen geven na activatie histamine af.

Hooikoorts is hinderlijk maar niet levensbedreigend. Andere allergische reacties kunnen dat wél zijn. Bij sommige mensen kan een levensgevaarlijke allergische reactie optreden door antibiotica of als ze door een bepaald insect, bijvoorbeeld een wesp, worden gestoken. Het allergeen komt daarbij direct in de bloedbaan terecht waardoor zeer veel histamine vrijkomt. Door de bloedvatverwijding kan de bloeddruk zodanig afnemen dat de persoon in een shocktoestand raakt. Anti-histamine en bloedvatvernauwende medicijnen moeten dan onmiddellijk worden toegediend.

- **Bestudeer nu paragraaf 9.4 uit je boek.**
- **Maak en controleer de vragen 2 t/m 8.**

4.4.9 Orgaantransplantaties en afstoting

Nieren, beenmerg, alvleesklier, hoornvlies, hart en longen zijn voorbeelden van organen die vaak getransplanteerd worden. Het risico bij een transplantatie is de mogelijke **afstoting** van het orgaan door fagocyten, macrofagen en lymfocyten die de specifieke HLA-antigenen (een onderdeel van het MHC-complex) op de cellen van het donororgaan als lichaamsvreemd herkennen en deze cellen aanvallen.

- **Bestudeer nu paragraaf 9.5 uit je boek.**
- **Maak en controleer de vragen 3 t/m 7.**

intermezzo

In één van de nationale parken van Kenya trad in 1994 onverwacht een enorme sterfte op in de leeuwenpopulatie. Onderzoek wees uit dat de leeuwen allemaal het slachtoffer waren van een fatale virusinfectie. Dit was des te opmerkelijker omdat het hier om een bekend virus ging dat normaal gesproken zeer weinig dodelijke slachtoffers maakte onder leeuwen. Het onderzoek spitste zich toe op de leeuwen-variant van de MHC-moleculen. Hieruit bleek dat de leeuwen die de infectie niet overleefd hadden bijna allemaal dezelfde MHC moleculen hadden. Leeuwen die de infectie overleefd hadden of niet ziek zijn geworden vertoonden meer verschillende typen MHC-moleculen. Kennelijk is door inteelt de variatie in MHC-moleculen dramatisch afgenomen. Omdat de geschikte MHC-moleculen niet aanwezig waren kon het virus antigeen niet worden gepresenteerd aan T- en B-lymfocyten. Hierdoor ontsnapte het virus aan het adaptieve immuunsysteem en kon het zijn dodelijke werk doen.

-
- **Maak en controleer de oefentoets.**

5 **Oefentoets afweer**

Aandachtspunten voor deze oefening:

- *Dit is een korte training volgens examennormen.*
- *Werk dus alleen en zonder overleg.*
- *In principe werk je zonder boek.*
- *Let op het aantal punten dat je voor een vraag kunt verdienen:*
 - o *Bij open vragen verdien je voor iedere logische (en helder verwoorde!) redeneerstap een punt.*
 - o *Voor een juist beantwoorde meerkeuzevraag verdien je altijd 2 punten.*
 - o *Voor meer-optie vragen geldt: ieder fout of ontbrekend antwoord: 1 punt aftrek.*
- *Beoordeel na afloop serieus.*
- *Gebruik daarbij het antwoordmodel alsof je een examiner bent.*
- *Doe met deze oefening je voordeel bij de voorbereiding voor het schoolexamen en het eindexamen!*

Beoordeling:

- *Neem de tijd om op een memoblaadje te schrijven:*
 1. *Je naam*
 2. *Je behaalde cijfer*
 3. *Of je je zeker voelt over je kennis en oefening; zo niet, waaraan je behoefte hebt.*
 4. *Een tip of aandachtspunt voor jezelf op het gebied van toetsvragen.*
- *Lever dit bij je docent in.*

Succes!

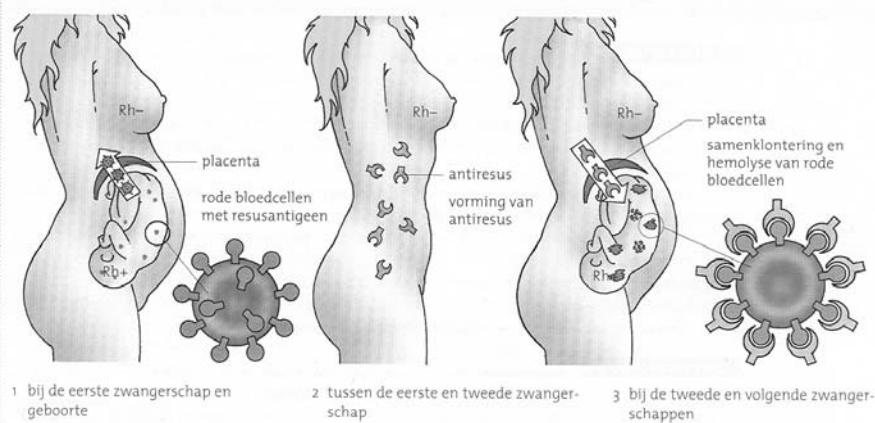
- 2p **1** Antigenen zijn
- A kleine moleculen bestemd voor de afbraak van schadelijke stoffen.
 - B kleine moleculen bestemd voor de bescherming van de eigen cellen.
 - C grote moleculen die gewoonlijk lichaamsvreemd zijn voor het organisme waar ze binnendringen.
 - D grote moleculen die cellen uit een organisme beschermen tegen schadelijke stoffen en/of organismen.
- 2p **2** Welke van de volgende soorten cellen is verantwoordelijk voor de snelle secundaire immuunrespons?
- A geheugen cellen
 - B cytotoxische T-lymfocyten
 - C macrofagen
 - D cytokinen
 - E plasma cellen
- 2p **3** Als je immuun bent voor een ziekte dan
- A circuleren voortdurend antilichamen tegen die ziekte in je bloed
 - B kunnen bepaalde lymfocyten heel snel de juiste antilichamen maken
 - C is je niet-specifieke afweersysteem versterkt
 - D worden B-lymfocyten gestimuleerd om heel snel ziekteverwekkers te omsluiten en vernietigen
- 2p **4** Worden bij het tot stand komen van actieve immunisatie tegen een bepaalde ziekteverwekker geheugencellen gevormd? En bij passieve immunisatie?
- A bij geen van beide
 - B alleen bij actieve immunisatie
 - C alleen bij passieve immunisatie
 - D bij beide

- 2p **5** Men heeft een zeer kleine hoeveelheid bacteriën geïsoleerd van een soort die bij koeien een bepaalde ziekte verwekt. De beschikbare bacteriën worden in enkele gezonde koeien geïnjecteerd. Hieronder zijn vier handelingen vermeld.
- I Uit de geïnfecteerde koeien worden antistoffen tegen de bacterie geïsoleerd.
 - II Uit de geïnfecteerde koeien worden bacteriën geïsoleerd en kunstmatig verzwakt.
 - III Antistoffen tegen deze bacterie worden in de te immuniseren koeien geïnjecteerd.
 - IV Een geringe dosis van de verzwakte bacteriën wordt in de te immuniseren koeien geïnjecteerd.
- Welke van de bovengenoemde handelingen moet men uitvoeren en in welke volgorde om een groot aantal koeien actief te immuniseren tegen deze ziekte?
- A I, III
 - B II, IV
 - C I, III, II, IV
 - D II, IV, I, III
- 2p **6** Een bepaald immuunglobuline is betrokken bij allergische reacties. Dit immuunglobuline is:
- A IgG
 - B IgA
 - C IgD
 - D IgE
- 2p **7** Het genetisch materiaal van HIV bestaat uit
- A enkelstrengs DNA
 - B enkelstrengs RNA
 - C dubbelstrengs DNA
 - D dubbelstrengs RNA
- 2p **8** Verkoudheid kan worden veroorzaakt door verschillende virussen. Wanneer iemand van een verkoudheid die door een virus is veroorzaakt, is genezen, kan hij vrij kort daarna opnieuw verkouden worden als gevolg van een virusinfectie. Hiervoor worden verschillende verklaringen geopperd.
- I De antistoffen die tegen verkoudheidsvirussen worden gevormd, zijn slechts enkele uren in het lichaam werkzaam.
 - II De antistoffen die tegen het ene verkoudheidsvirus zijn gevormd, bieden geen bescherming tegen een ander verkoudheidsvirus.
 - III Na de eerste verkoudheid is de hoeveelheid antigenen in zijn lichaam toegenomen.
 - IV Er zijn alleen antistoffen tegen een verkoudheidsvirus in het lichaam aanwezig, zolang dat virus in het lichaam actief is.
- Welke van deze verklaringen is juist?
- A verklaring I
 - B verklaring II
 - C verklaring III
 - D verklaring IV
- 2p **9** Ons erfelijk materiaal zit vol met het DNA van ingebouwde virussen. Dit virus-DNA is eeuwenlang met ons erfelijk materiaal doorgegeven. Wanneer een stuk van het DNA wordt geactiveerd waar zich virus-DNA tussen gewrongen heeft, worden nieuwe virussen of virus-onderdelen aangemaakt. Deze virussen kunnen ook uit de cellen vrijkomen, maar kunnen geen andere cellen infecteren. Bij sommige vormen van suikerziekte produceren cellen in de alvleesklier een viruseiwit. Het afweersysteem vernietigt uiteindelijk de cellen die dit viruseiwit bevatten.
- In de alvleesklier wordt een deel van het DNA actief waarin zich virus-DNA bevindt. Welk of welke van de volgende gevolgen heeft dit uiteindelijk?
- I Er treedt een auto-immunreactie op.
 - II De algemene immuniteit zal verminderen.
 - III Er worden antistoffen tegen het virus-antigeen geproduceerd.
- 2p **10** Door welk of welke cellen wordt het virus-antigeen herkend?

- I cytotoxische T-cellen
- II plasmacellen
- III T-helpercellen
- IV macrofagen

- 2p 11 De volgende beweringen worden gedaan over iemand met de beschreven vorm van suikerziekte.
- I In de cellen van de alvleesklier zitten antigenen die in geen van de andere organen van de patiënt voorkomen.
 - II In de cellen van de alvleesklier is een deel van het DNA actief dat in de andere organen niet actief is.
 - III Cellen van de alvleesklier worden door macrofagen gedood.
- Welk(e) van deze waarnemingen is of zijn juist?

- 2p 12 Bij de mens kan in het bloed het resusantigeen voorkomen. Mensen die het resusantigeen bezitten, worden resuspositief (Rh+) genoemd; mensen die het resusantigeen niet bezitten, worden resusnegatief (Rh-) genoemd. Een bepaalde vrouw is resusnegatief. Zij krijgt een kind dat resuspositief is. De problemen die hierbij kunnen ontstaan zijn weergegeven in onderstaande afbeelding:



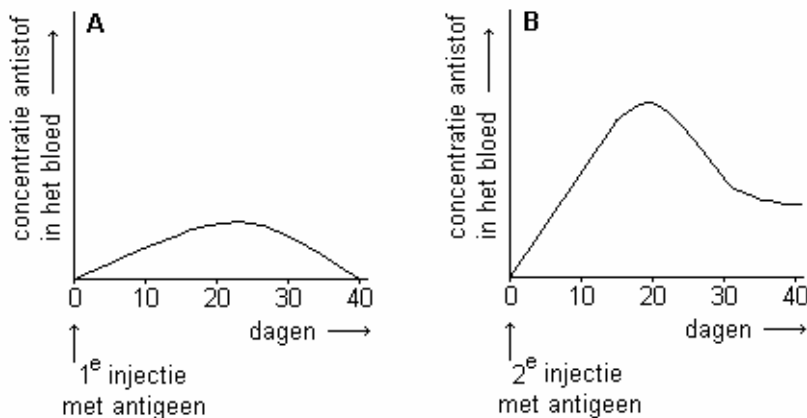
Binnen 24 uur na de bevalling krijgt de vrouw een injectie met resusantistof. Over de reden voor deze injectie met resusantistof worden vier beweringen gedaan.

- I Door behandeling met resusantistof zal de vrouw na de bevalling zelf resusantigeen gaan maken.
- II Door behandeling met resusantistof zal de vrouw na de bevalling zelf *geen* resusantistof gaan maken.
- III Door behandeling met resusantistof zal het volgende kind van de vrouw gedurende de zwangerschap *geen* resusantigeen gaan maken.
- IV Door behandeling met resusantistof zal het volgende kind van de vrouw gedurende de zwangerschap *geen* resusantistof gaan maken.

Welke van deze beweringen is juist?

- A bewering I
- B bewering II
- C bewering III
- D bewering IV

4p 13

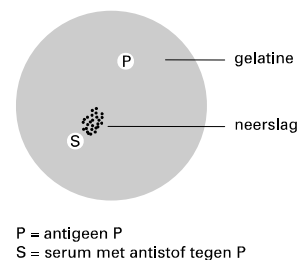


In de grafieken hierboven is weergegeven hoe de hoeveelheid antistof in het bloed zich ontwikkelt na een eerste en na een tweede injectie. Het is het resultaat van een onderzoek naar antistofvorming bij muizen.

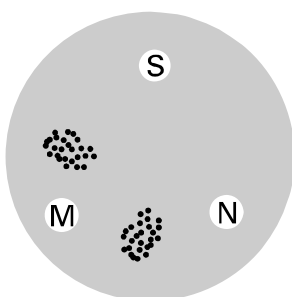
Beschrijf de verschillen tussen de grafieken A en B en verklaar ze.

2p 14

De immuudiffusietest is een manier om onbekende antigenen te identificeren. In een petrischaal wordt een laagje gelatine gedaan, waar eiwitten doorheen kunnen diffunderen. In de gelatinelaag worden gaten gemaakt waarin je een druppel serum of antigeen doet. Als de druppel serum antistof bevat tegen het antigeen in een ander gat, ontstaat tussen deze beide gaten een neerslag (zie figuur hierboven). Een eiwit kan niet zowel een antistof als een antigeen zijn.



Serum S bevat antistoffen tegen verschillende antigenen. Een immuudiffusietest wordt met dit serum S gedaan en twee onbekende eiwitten M en N. Het resultaat is hieronder getekend.



Welke van de volgende beweringen kan of kunnen een juiste conclusie zijn uit deze immuudiffusietest?

- I Serum S bevat antistof tegen eiwit M.
- II Serum S bevat antistof tegen eiwit N.
- III Eiwit M is een antistof tegen eiwit N.
- IV Eiwit N is een antistof tegen eiwit M.
- V Eiwitten M en N zijn hetzelfde.

2p 15

In een andere immuudiffusietest wordt het antigeen van de tyfusbacil getest met serum S. Zal dan tussen deze twee een neerslag ontstaan of is dit niet te voorspellen?

- A er zal geen neerslag ontstaan
- B er zal wel een neerslag ontstaan
- C dat is niet te voorspellen

EINDE

6 **Antwoorden oefentoets afweer**

- 2p 1 C
- 2p 2 A
- 2p 3 B
- 2p 4 B
- 2p 5 B
- 2p 6 D
- 2p 7 B
- 2p 8 B
- Max 2p 9 Antwoorden I en III zijn juist. (Cellen van je eigen lichaam (alvleeskliercellen) worden vernietigd dus er is sprake van een auto-immuunziekte. Antistoffen worden gemaakt tegen vrijgekomen virussen door B-lymfocyten. De algemene immuniteit zal niet verminderen als cellen van de alvleesklier worden vernietigd.)
(Ieder fout of ontbrekend antwoord: -1p)
- Max 2p 10 Alle vier herkennen ze en binden ze aan de virussen of virusfragmenten.
(Ieder fout of ontbrekend antwoord: -1p)
- Max 2p 11 I en II zijn juist (De virussen komen alleen voor in de cellen van de alvleesklier en in het lichaamsvocht (weefselvloeistof, lymfe, bloed). Het DNA dat codeert voor de virussen wordt alleen afgelezen in de cellen van de alvleesklier en is dus alleen daarin actief. Macrofagen vernietigen niet de alvleeskliercellen, maar cytotoxische-T-lymfocyten doen dat.)
(Ieder fout of ontbrekend antwoord: -1p)
- 2p 12 B
- Max 4p 13 Na de tweede injectie komt de antistofvorming sneller op gang (deelscore 1p);
na de tweede injectie komt de antistofvorming heftiger op gang (deelscore 1p);
na de tweede injectie is er sprake van een langduriger immuniteit (deelscore 1p).
De verklaring is dat na de eerste injectie geheugencellen zijn gevormd (deelscore 1p).
- Max 2p 14 I, IV (M kan niet zowel een antigeen voor antistof S zijn als ook een antistof voor antigeen N)
(Iedere onjuiste of ontbrekende keuze: -1p)
- 2p 15 C (Je weet niet of serum S antistof tegen de tyfusbacil bevat.)

Maximaal te behalen punten: 32**Cijfer: ((aantal behaalde punten / 32) x 9) + 1**