

Basisstof 1 Wat kun je doen met DNA?

DNA

- bevat informatie voor de erfelijke eigenschappen van een organisme.
- zorgt voor de zelforganisatie en zelfregulatie van een organisme tijdens zijn levensloop.
- bevat informatie voor het reproduceren van een organisme.

DNA-onderzoeken betreffen

- onderzoeken die het DNA van organismen van één soort vergelijken, bijvoorbeeld
 1. DNA van een tweeling vergelijken.
 1. reconstrueren van DNA van prehistorische gistcellen en vergelijken met het DNA van huidige gistcellen.
 2. DNA van een verdachte vergelijken met DNA dat gevonden is op de plaats van het misdrijf.
- onderzoeken die het DNA van verschillende soorten vergelijken, bijvoorbeeld
 1. DNA van de bonobo (aapsoort) vergelijken met het DNA van de mens.
 2. DNA dat in het water voorkomt, onderzoeken op de aanwezigheid van moeilijk te vangen vissoorten.

genetische modificatie (gentechnologie) = het overbrengen van een gen van het ene organisme naar het DNA van een ander organisme.

transgeen, **ggo** (genetisch gemodificeerd organisme) of **gmo** (genetically modified organism) = organisme waarbij het DNA veranderd is.

gentherapie = inbrengen van een gezond gen, bijvoorbeeld bij personen die lijden aan X-scid. Dit zijn erfelijke, aangeboren afwijkingen van het immuunsysteem.

Genetische modificatie wordt toegepast in

1. geneeskunde
 - transgene micro-organismen (bacteriën en gisten) kunnen geneesmiddelen produceren zoals antibiotica, insuline, epo, FSH en vaccins tegen oa. hepatitis B en kinkhoest.
2. industrie
 - transgene micro-organismen kunnen enzymen produceren die de werking van wasmiddelen verbeteren, doordat ze bij lage temperatuur vetten en eiwitten afbreken.
 - transgene micro-organismen kunnen een enzym produceren dat kleine cellulose-vezeltjes, die op kleding ontstaan door wrijving in de wasmachine en droger, afbreekt.
 - transgene micro-organismen kunnen een enzym produceren waarmee houtpulp (=grondstof voor papier) kan worden gebleekt, zodat milieu-onvriendelijke bleekmiddelen (zoals chloor) niet meer gebruikt hoeven te worden.
3. landbouw
 - Landbouwgewassen worden genetisch gemodificeerd om ze
 - a. resistent te maken tegen ziekten
 - b. bestand te maken tegen bepaalde bestrijdingsmiddelen
 - c. onder slechtere omstandigheden (te droog of te zout) te laten groeien.
 - d. meer voedingsstoffen te laten bevatten.

4. voedingsmiddelen • Bij de productie van vruchtensappen worden enzymen van -industrie ggo's gebruikt die een stof in de celwand afbreken, waardoor er meer sap vrijkomt bij het persen.
5. wetenschappelijk • Bij erfelijke aandoeningen is er sprake van een afwijkend of onderzoek ontbrekend gen. Met behulp van gentherapie wordt voor deze eigenschap een gezond gen ingebracht bij de patiënt. Gentherapie zit nog in de onderzoeksfase.

In de synthetische biologie maken wetenschappers zelf DNA. Deze stukjes DNA worden biobricks genoemd. Met deze biobricks wordt een bestaand gen of een zelf bedacht gen nagebouwd.

Door synthetische biologie hoopt men in de toekomst niet meer te hoeven zoeken naar specifieke genen in organismen om die bijvoorbeeld in te kunnen bouwen in het DNA van een ander organisme.

synthetische biologie = kunstmatig bouwen van DNA.

Basisstof 2 De bouw en functie van DNA

Het genoom van eukaryoten omvat alle chromosomen in de celkern en het DNA in sommige organellen. Mitochondriën en chloroplasten bezitten hun eigen DNA en functioneren onafhankelijk van de rest van de cel. Het DNA in mitochondriën wordt **mtDNA** genoemd.

Het genoom van prokaryoten omvat al het DNA dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt. Prokaryoten hebben een circulair **DNA-molecuul** en soms plasmiden (= korte stukjes circulair DNA).

Chromosomen bestaan uit eiwitten en de stof DNA (desoxyribosenucleïdezuur). DNA heeft de vorm van een dubbele spiraal en is opgebouwd uit nucleotiden.

genoom = het geheel aan erfelijke informatie in een cel van een organisme.

mtDNA = het DNA in mitochondriën. Dit wordt overgedragen door de moeder.

DNA-molecuul = een nucleïnezuur dat bestaat uit 2 ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden.

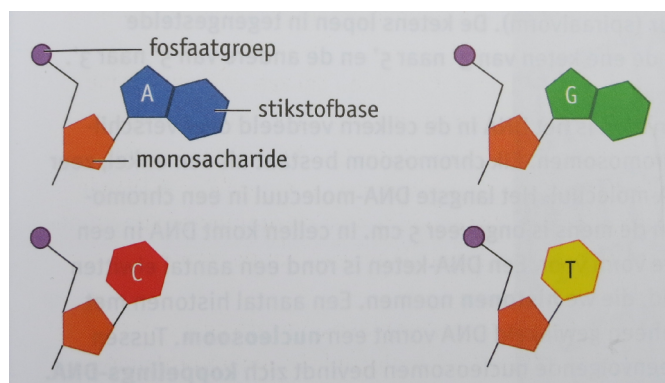
nucleotiden = bouwstenen van DNA en RNA.

Een nucleotide bestaat uit

- desoxyribose (dit is een monosacharide)
- fosfaatgroep
- stikstofbase.

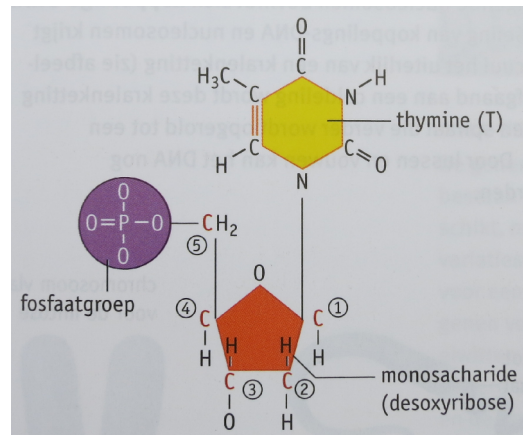
Er zijn 4 verschillende stikstofbasen:

1. adenine (A)
2. thymine (T)
3. cytosine (C)
4. guanine (G).



Afbeelding 1. De 4 verschillende nucleotiden.¹

Desoxyribose heeft 5 C-atomen.
De fosfaatgroep zit aan het 5^e C-atoom en de stikstofbase aan het 1^e C-atoom.



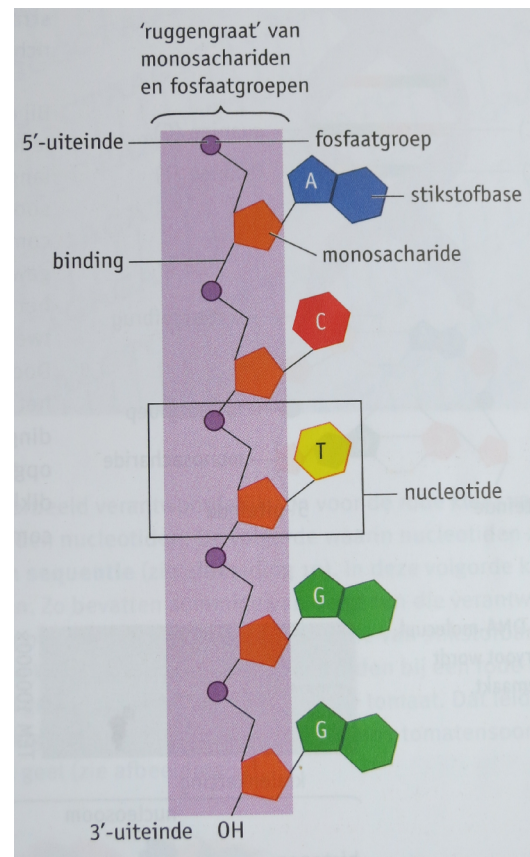
Afbeelding 2. DNA-nucleotide.¹

Bij het aan elkaar koppelen van nucleotiden gaat het 3^e C-atoom van desoxyribose een binding aan met de fosfaatgroep van de volgende nucleotide. Zo ontstaat een lange polymeer van afwisselend aan elkaar gekoppelde desoxyriboses (monosachariden) en fosfaatgroepen.

Aan het ene uiteinde zit een OH-groep aan het 3^e C-atoom van desoxyribose vast.
Aan het andere uiteinde zit een fosfaatgroep aan het 5^e C-atoom. Dit zijn respectievelijk het 3'-uiteinde en het 5'-uiteinde.

DNA wordt altijd in het richting van het 3'-uiteinde naar het 5'-uiteinde afgelezen en gekopieerd.

De polymerisatie (het koppelen van) nucleotiden gebeurt door middel van condensatiereacties (reactie waarbij water vrij komt).



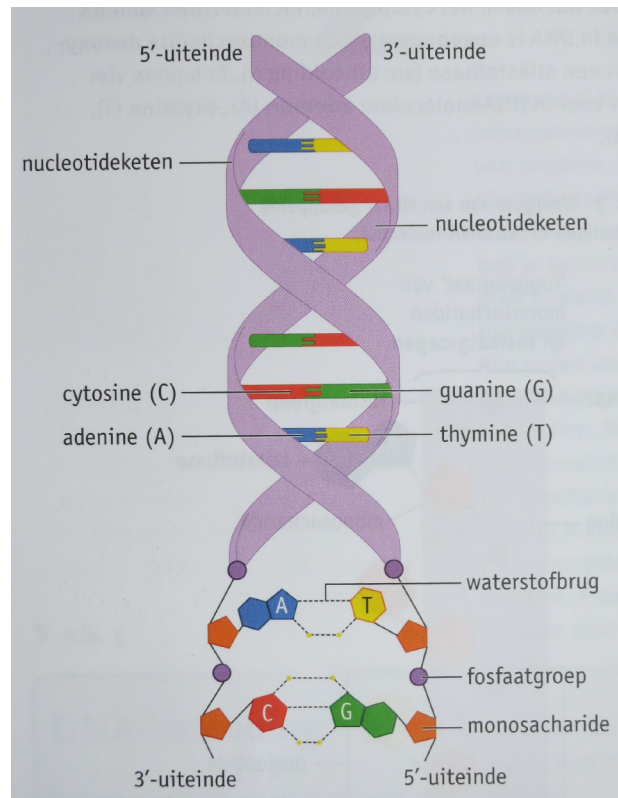
Afbeelding 3. Gekoppelde nucleotiden.¹

De stikstofbasen T, A, C en G maken geen deel uit van de keten. Zij kunnen wel door basenparing 2 nucleotideketens met elkaar verbinden, waarbij T alleen hecht aan A en C alleen aan G.

De basenparing komt tot stand door waterstofbruggen. Waterstofbruggen zijn niet sterk, maar omdat het heel veel waterstofbruggen zijn, blijven de 2 ketens toch aan elkaar zitten.

Doordat T alleen aan A hecht en G alleen aan C zijn de 2 nucleotideketens complementair (dwz elkaar aanvullend).

Nucleotideketens hebben een helix-structuur (spiraalvorm). De ene keten loopt van 3' naar 5'. De andere van 5' naar 3'.



Afbeelding 4. Twee complementaire nucleotideketens.¹

Compacteren:

- Bij eukaryoten zit het DNA in de celkern. Het DNA is verdeeld over verschillende chromosomen. Elk chromosoom bestaat uit een zeer lang DNA-molecuul (de langste bij de mens is ± 5 cm). Het totale DNA van een menselijke cel kan tot 2m lang zijn.
- Een typisch menselijke cel heeft een diameter van 10-15 micrometer.
- DNA zal dus een aantal keren opgevouwen moeten worden.
- Daarnaast breekt een lange DNA keten makkelijk. Hij moet daarom gestabiliseerd worden.

Nucleosoom:

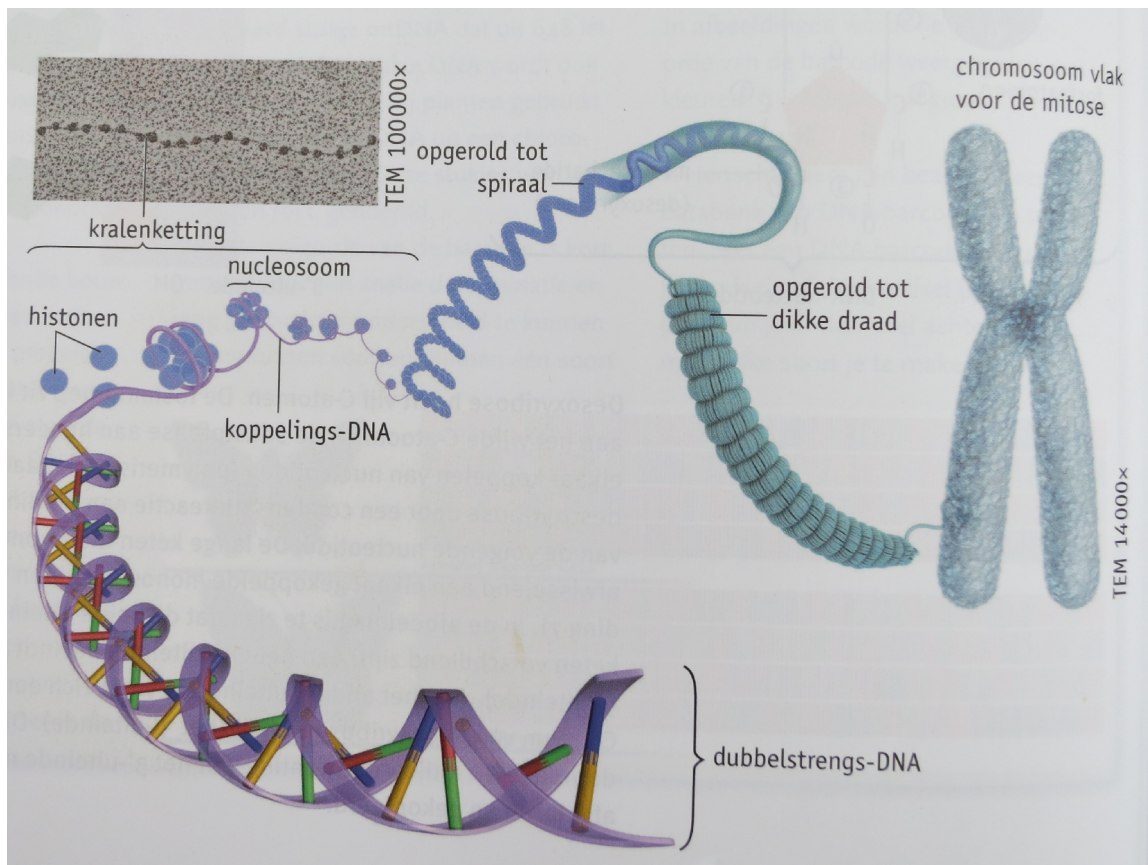
- Chromosomen bestaan uit DNA en proteïnen.
- Meer dan de helft van deze proteïnen zijn histonen. Het DNA is rond deze histonen gewikkeld.
- Een **nucleosoom** bestaat uit histonen met het DNA eromheen gewikkeld.
- Tussen 2 opeenvolgende nucleosomen zit een **koppelings-DNA**.

Door de afwisseling van koppelings-DNA en nucleosomen lijkt het DNA-molecuul op een kralenketting. Deze kralenketting wordt verder opgerold tot een spiraal die weer verder opgerold wordt tot een dikkere draad. Daarna wordt het DNA nog compacter door lussen en vouwen.

histonen = eiwitten waar een DNA-keten omheen gewikkeld is.

nucleosoom = een aantal histonen bij elkaar.

koppelings-DNA = koppelt 2 opeenvolgende nucleosomen aan elkaar.



Afbeelding 5. Het compacte DNA-molecuul van een eukaryoot.¹

79 Niet-coderend DNA

Bij eukaryoten bestaat maar een klein deel van al het DNA in een cel uit genen. Het overige DNA (bij de mens is dit 98,5%) wordt niet-coderend DNA genoemd, omdat het niet codeert voor eiwitten. Een deel hiervan heeft wel een regulerende functie bij de synthese van eiwitten.

79 DNA-sequentie

sequentie = de volgorde waarin nucleotiden zijn gerangschikt.
Variaties in de volgorde bepalen bv de oogkleur van een persoon.

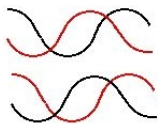
80 mtDNA

Mitochondriën bezitten hun eigen DNA. Elke menselijke cel bevat vele honderden mitochondriën en in ieder mitochondrium bevinden zich 2 tot 10 kopieën van het mtDNA. Dit dubbelstrengs mtDNA is circulair en het bevat genen die mitochondriën gebruiken om hun eigen eiwitten te maken en zichzelf te reproducen.

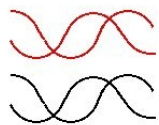
Basisstof 3 DNA-replicatie

DNA-replicatie:

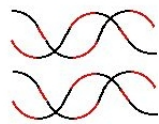
- De replicatie (kopiëren) van DNA vindt plaats tijdens de S-fase van de celcyclus. De chromosomen zijn dan niet zichtbaar.
- In het kernplasma zijn alle nucleotiden aanwezig. Bouwstenen voor de DNA-replicatie zijn de vrije nucleotiden met 3 fosfaatgroepen (dATP, dTTP, dCTP en dGTP). Net zoals ATP bevatten deze veel energie.
- 3 methoden voor DNA-replicatie:



semi-conservatief → er ontstaan 2 nieuwe strengen die voor de helft uit de oude streng bestaan.



conservatief → de hele oude streng blijft in tact



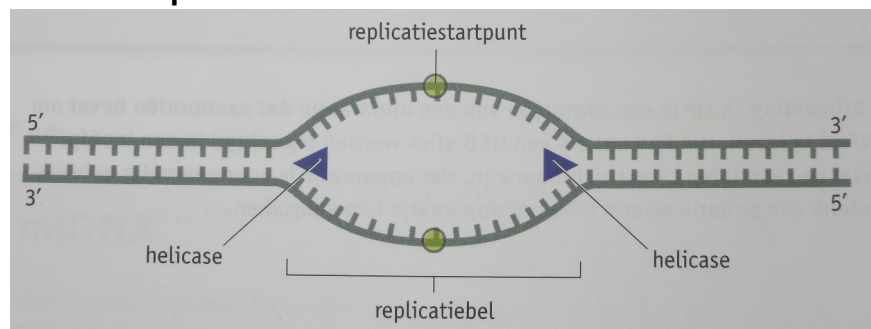
dispersive → delen van de oude streng blijven behouden.



1. DNA-replicatie start bij een ORI (origin of replication); een **replicatiestartpunt**.

Dit is een sequentie met veel AT. Tussen A en T zitten minder H-bruggen dan tussen G en C, zodat de dubbele helix hier het gemakkelijkst uit elkaar kan.

In 2 richtingen verbreekt het enzym helicase de waterstofbruggen tussen de baseparen. Hierdoor ontstaat een **replicatiebel**.



Afbeelding 6. Replicatiebel in een DNA-molecuul.¹

Aantal ORI's:

Eukaryoten hebben

- veel replicatiestartpunten.
- lineair DNA dat zich in de celkern bevindt.

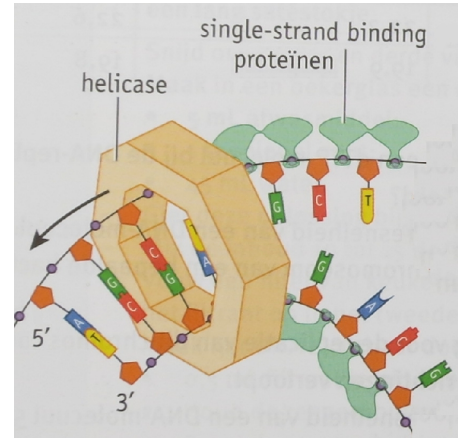
Prokaryoten hebben

- 1 replicatiestartpunt.
- circulair DNA dat zich los in de cel bevindt.
- plasmiden (minder belangrijke eigenschappen van de bacterie) met eigen circulair DNA.

Helicase:

- kan de dubbele DNA-helix ontwinden door het verbreken van de waterstofbruggen.
- is betrokken bij een herstelmechanisme voor DNA, het *nucleotide excision repair* (NER, dit is het repareren van een “verdwenen” nucleotide). Op deze manier wordt voorkomen dat de cel ontregeld raakt (bv kanker).

2. Op de plaatsen waar de basenparing is verbroken, binden speciale eiwitten (**single-strand binding proteïnen**) aan de strengten om te voorkomen dat de vrijgekomen basen in de ene streng toch weer waterstofbruggen gaan vormen met de vrijgekomen basen in de andere streng.

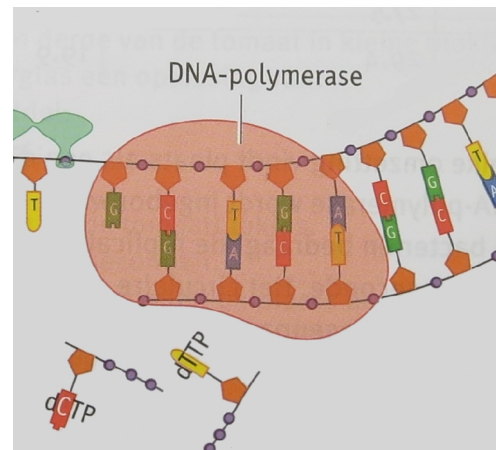


Afbeelding 7. Single-strand binding proteïnen.¹

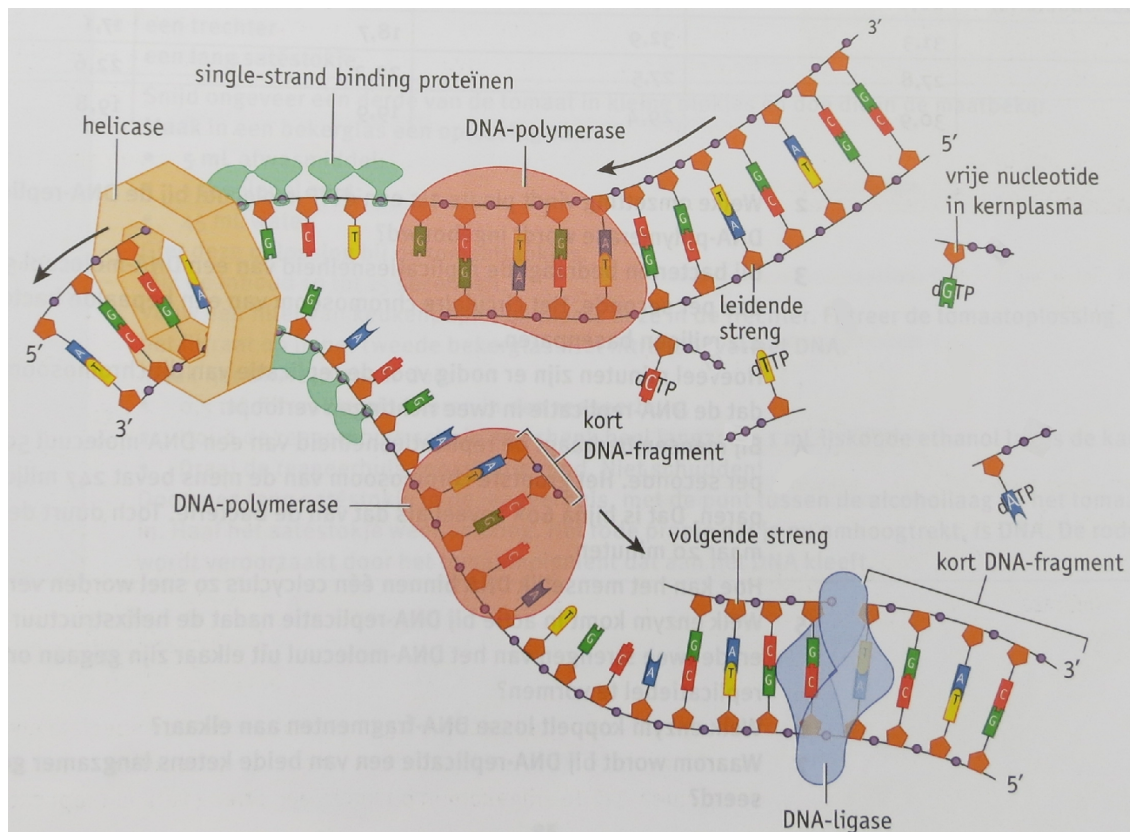
Door het afwikkelen van de dubbele helix, wordt de dubbele helix strakker gedraaid. **Topoisomerase** zorgt ervoor dat de dubbele helix zijn normale structuur behoudt.

3. DNA-synthese:

- op de plaats waar de 2 strengten een stukje uit elkaar zijn, hecht zich op de ORI een door het enzym RNA-primase gemaakte **RNA primer**.
- aan de RNA primer hecht het DNA-polymerase één aan de oude DNA-streng complementaire nucleotide. Het stukje RNA primer wordt later omgezet naar DNA.
- Zonder primer kan het enzym DNA-polymerase niet beginnen met het maken van een nieuwe DNA-streng. DNA-polymerase kan namelijk niet zomaar op een enkele streng DNA beginnen met kopiëren: het kan alleen nieuwe nucleotiden vastplakken aan het 3'-uiteinde van een al bestaande streng.
- DNA-polymerase schuift vervolgens langs de enkelvoudige ketens en bindt dATP, dTTP, dGTP of dCTP uit het kernplasma aan de vrijgekomen stikstofbasen. Hiervoor wordt de energie gebruikt die vrijkomt doordat eerst nog 2 fosfaatgroepen worden afgesplitst.
- DNA-polymerase kan echter de streng alleen aflezen in de richting van 3' → 5'.
- de nieuwe nucleotide keten die ontstaat loopt van 5' → 3', waarbij de nucleotiden aan de 3'-kant aangekoppeld worden.



Afbeelding 8. Het enzym DNA-polymerase in actie.¹



Afbeelding 9. DNA-replicatie.¹

replicatiestartpunt = punt op de DNA-streng waar de replicatie begint.

replicatiebel = daar waar de twee strengen DNA uit elkaar getrokken worden, ontstaat een replicatiebel.

single-strand binding proteïnen = speciale eiwitten die zich aan de 2 strengen van het DNA binden om te voorkomen dat de vrijgekomen basen in de ene streng toch weer waterstofbruggen gaan vormen met de vrijgekomen basen in de andere streng.

Topoisomerase = enzym dat er voor zorgt dat de dubbele helix zijn normale structuur behoudt en niet kapot gedraaid wordt als de replicatiebel wordt gemaakt.

RNA primer = een kort stukje enkelstrengs RNA dat aan het begin van de DNA-replicatie via basenparing gebonden is aan de DNA. Aan de RNA primer hecht het DNA-polymerase één aan de oude DNA-streng complementaire nucleotide. Het stukje RNA primer wordt later omgezet naar DNA.

dATP = desoxyadenosinetrifosfaat.

Dit is een desoxyribose (d), een base (A, T, G of C) en 3 fosfaatgroepen (TP).

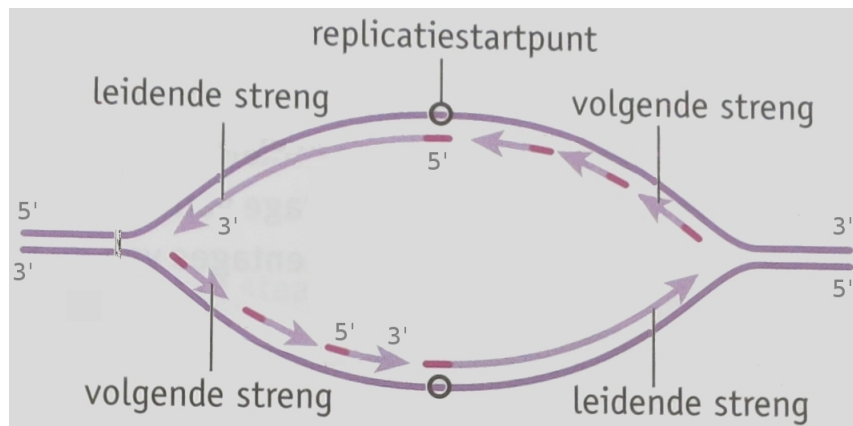
dAMP = desoxyadenosinemonofosfaat.

Dit is een desoxyribose (d), een base (A, T, G of C) en 1 fosfaatgroep (MP).

Nucleotiden worden altijd aan het vrije 3' eind van een groeiende DNA-streng vastgemaakt.

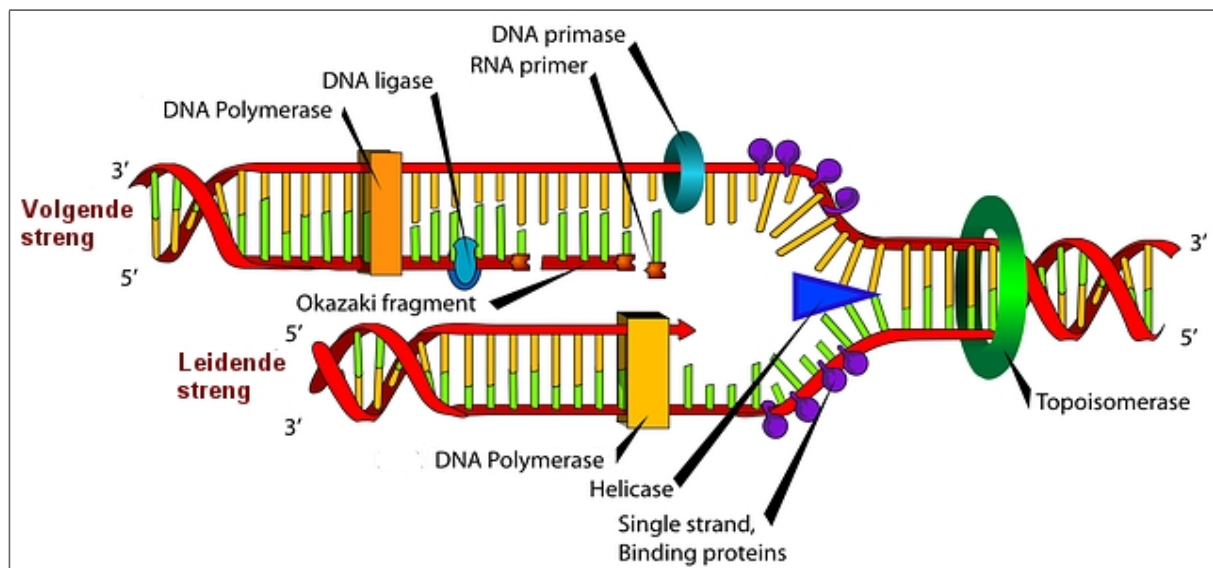
Omdat DNA gekopieerd wordt in de 3' → 5' richting (de kop van de streng is een 3' uiteinde) is er altijd een streng die de tegenovergestelde kant op moet lopen, de zogenaamde **volgende streng**. In deze streng worden korte stukjes DNA gemaakt door **DNA-polymerase**, zogenaamde **Okazaki-fragmenten**. Het enzym **DNA-ligase** koppelt deze korte stukjes weer aan elkaar.

De streng die het uit elkaar gaan van de ketens volgt, wordt de **leidende streng** genoemd.



Afbeelding 10. Replicatierichtingen in een replicatiebel.¹

Op plaatsen waar een nieuwe complementaire nucleotideketen langs de oude keten is gevormd, neemt het DNA weer de helixstructuur aan. Het chromosoom bestaat dan uit 2 chromatiden die op de plaats van het centromeer door waterstofbruggen bij elkaar worden gehouden.



Afbeelding 11. Nogmaals DNA-replicatie.²

leidende streng = de streng die het uit elkaar gaan van de ketens volgt.

volgende streng = de streng die de tegenovergestelde kant op loopt.

DNA-polymerase = een enzymcomplex dat betrokken is bij de DNA-replicatie. Het verdubbelt het DNA door aan elke base de complementaire base te plakken.

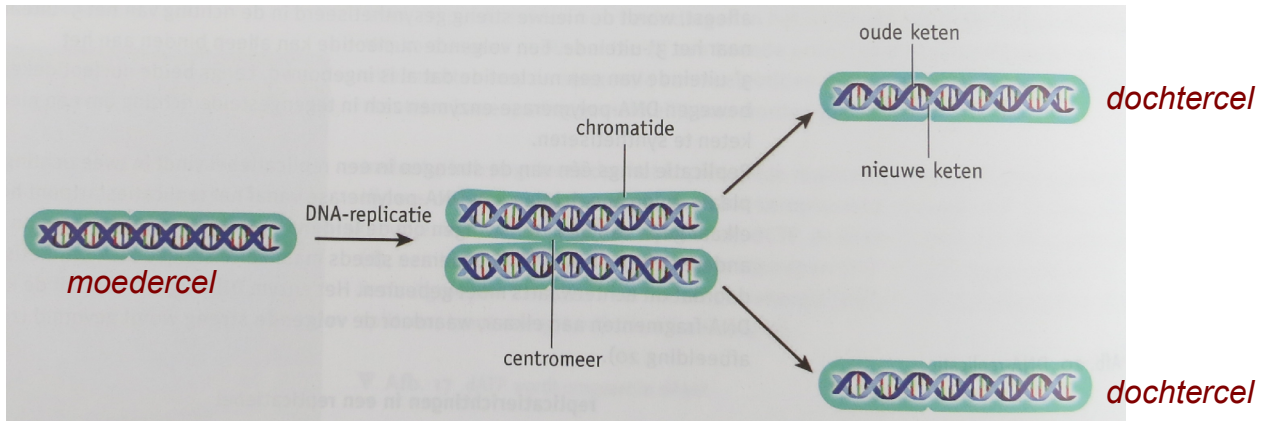
DNA-ligase = een enzym dat de Okazaki-fragmenten die bij DNA-replicatie gevormd worden aan elkaar plakt.

Okazaki-fragment = is een relatief kort DNA-fragment op de volgende streng.

helicase = een enzym dat er voor zorgt dat het dubbelstrengs-DNA uit elkaar 'ritst'.

topoisomerase = een enzym dat er voor zorgt dat het DNA op een goede manier uit elkaar draait, zonder dat het verder op in de streng verder opgedraaid wordt.

Tijdens de mitose gaan de chromatiden uit elkaar en worden ze allebei een chromosoom in een dochtercel. Elk DNA-molecuul bestaat dan uit een oude en een nieuwe keten.



Afbeelding 12. Moeder- en dochtercellen.¹

86 PCR (polymerase chain reaction)

PCR is een methode om één of meerdere specifieke gedeelten uit DNA te kopiëren tot er genoeg is voor onderzoek.

Dit gebeurt met een zogenaamde PCR-machine, waar een mengsel in gaat van

- kleine stukjes DNA
- DNA-polymerase
- primers
- DNA-nucleotiden.

Primers zijn korte stukjes DNA van 20 tot 30 nucleotiden die in een laboratorium worden gemaakt. Ze zijn complementair aan het stuk DNA dat door middel van PCR vermenigvuldigd gaat worden.

DNA-polymerase kan niet zomaar een enkele streng DNA kopiëren, maar alleen nieuwe nucleotiden vastplakken aan het 3' uiteinde van een al bestaande streng. Bij PCR zijn dat de primers, één voor elke van de beide strengen.

Primers = korte stukjes DNA van 20 tot 30 nucleotiden die in een laboratorium worden gemaakt.

87 De nucleotidesequentie van DNA aflezen

Nadat het DNA gekopieerd is, moet de sequentie van de nucleotides nog worden achterhaald. Deze sequentie wil je bijvoorbeeld weten om het DNA van een verdachte te kunnen vergelijken met het DNA dat op de plaats van het misdrijf is gevonden.

Het achterhalen van de sequentie kan op 2 manieren:

1. Een nanoporie leest de **nucleotide-sequentie** af.

Een streng DNA wordt door een nanoporie getrokken. Een nanoporie is een piepklein gaatje van een paar nanometer in een eiwit. Dit eiwit wordt vastgezet in een

membraan en op het membraan wordt een elektrische spanning gezet. Hierdoor gaat er een stroom lopen door de porie.

Een enzym trekt eerst de 2 DNA-strengen uit elkaar, waarna een enkele streng DNA door de porie wordt getrokken. Dat verstoort de stroom.

De 4 verschillende DNA-nucleotiden hebben ieder unieke elektrische eigenschappen, zodat een sensor kan meten welke van de 4 de porie passeert. Op deze manier kunnen miljoenen nucleotiden achter elkaar afgelezen worden.

2. Een speciale PCR-reactie die wordt gevolgd door gel-elektroforese.

- speciale PCR-reactie: het mengsel dat de machine in gaat, bestaat uit DNA, DNA-polymerase, DNA-nucleotiden, primers en didesoxynucleotiden (ddA, ddC, ddG en ddT). Didesoxynucleotiden hebben geen OH-groep aan het 3' uiteinde, waardoor de replicatie stopt als zo'n nucleotide ingebouwd is. Bovendien is aan elk van de 4 didesoxynucleotiden een stof gebonden die in een bepaalde kleur fluoresceert. Dit wordt een **label** genoemd. Het resultaat zijn heel veel gelabelde DNA-fragmenten die in lengte verschillen.
- door gel-elektroforese kunnen DNA-fragmenten, onder invloed van elektrische spanning, in een gel op lengte worden gescheiden. De gel bestaat uit een netwerk van vezels die een moleculaire zeef vormen. De gel wordt in een bufferoplossing gezet en de DNA-fragmenten worden aangebracht aan de kant van de negatieve pool. De DNA-fragmenten zijn negatief geladen en bewegen zich daarom naar de positieve pool als er spanning op de gel wordt gezet. Grote DNA-fragmenten bewegen langzaam, omdat ze maar langzaam kunnen bewegen. Na de gelelektroforese zijn de DNA-fragmenten door de fluorescerende labels te zien als bandjes in de gel.

DNA-sequencing = methode om de volgorde van de nucleotiden in een DNA-molecuul af te lezen.

nucleotide-sequentie = de volgorde van nucleotiden in een DNA- of RNA-molecuul.

label = een stofje dat ergens aan gebonden wordt en dat in een bepaalde kleur fluoresceert. Bij de PCR methode wordt het label aan didesoxy-nucleotiden gebonden.

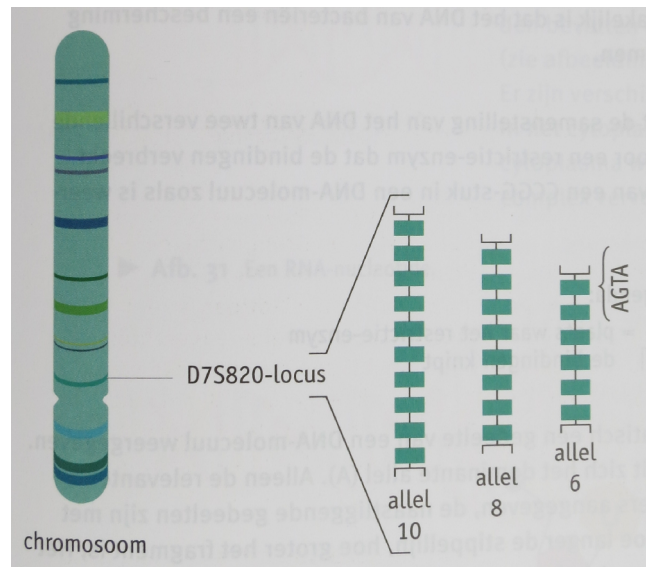
89 DNA-fingerprinting

In niet-coderend DNA bevinden zich bepaalde **loci** die bestaan uit herhalingen van korte DNA-sequenties achter elkaar, bv CACACA of AGTAAGTAAGTA. Dit is **repetitief DNA**. Het aantal herhalingen in repetitief DNA zijn voor alle personen verschillend.

Voor een bepaalde locus met repetitief DNA die D7S820 is genoemd, bestaat een allel met 6 repeats (allel 6 genoemd), een allel met 8 repeats (allel 8 genoemd) en een allel met 10 repeats (allel 10 genoemd). Chromosomen komen in paren voor, zodat een persoon per locus 2 allelen heeft. Deze 2 allelen kunnen hetzelfde zijn of verschillend. Doordat ieder mens 1 chromosoom van zijn moeder erft en 1 van zijn vader, levert deze combinatie een uniek patroon van repetitief DNA op. Men noemt een DNA-profiel daarom ook wel een **DNA-fingerprint**.

locus (meervoud loci) = plaats van een gen in een chromosoom.

repetitief DNA = loci in niet-coderend DNA, die bestaan uit herhalingen van korte DNA-sequenties achter elkaar.



Afbeelding 13. Chromosoom met een locus voor repetitief DNA en de mogelijke allelen voor dit locus.¹

Voor het bepalen van een DNA-profiel worden de beide allelen van minimaal 10 onafhankelijk overervende loci met repetitief DNA onderzocht.

Om het geïsoleerde DNA te analyseren moet eerst het volgende gebeuren:

1. Het geïsoleerde DNA wordt vermeerderd door PCR.
2. Met behulp van enzymen knipt men de loci met repeats uit het DNA. Deze enzymen (afkomstig uit bacteriën) worden **restrictie-enzymen** genoemd.
3. De fragmenten DNA die zo ontstaan, hebben afhankelijk van het aantal repeats, een verschillende lengte. Ze worden van elkaar gescheiden door gel-elektroforese.

Restrictie-enzymen herkennen een specifieke nucleotidesequentie van 4 tot 8 nucleotiden in het DNA en knippen het DNA op die plaats door.

Om een DNA-profiel te maken, wordt het DNA met een specifiek restrictie-enzym in fragmenten geknipt. Na de gelelektroforese is een uniek bandenpatroon van deze fragmenten te zien. Door met behulp van hetzelfde specifieke restrictie-enzym van dezelfde loci DNA-profielen te maken van het DNA van andere personen of van DNA dat is gevonden op de plaats van het misdrijf, kunnen DNA-profielen met elkaar vergeleken worden.

DNA-fingerprint = een DNA-profiel,

restrictie-enzym = een 'knip-enzym', ze herkennen een specifieke nucleotidesequentie van 4 tot 8 nucleotiden in het DNA en knippen het DNA op die plaats door.

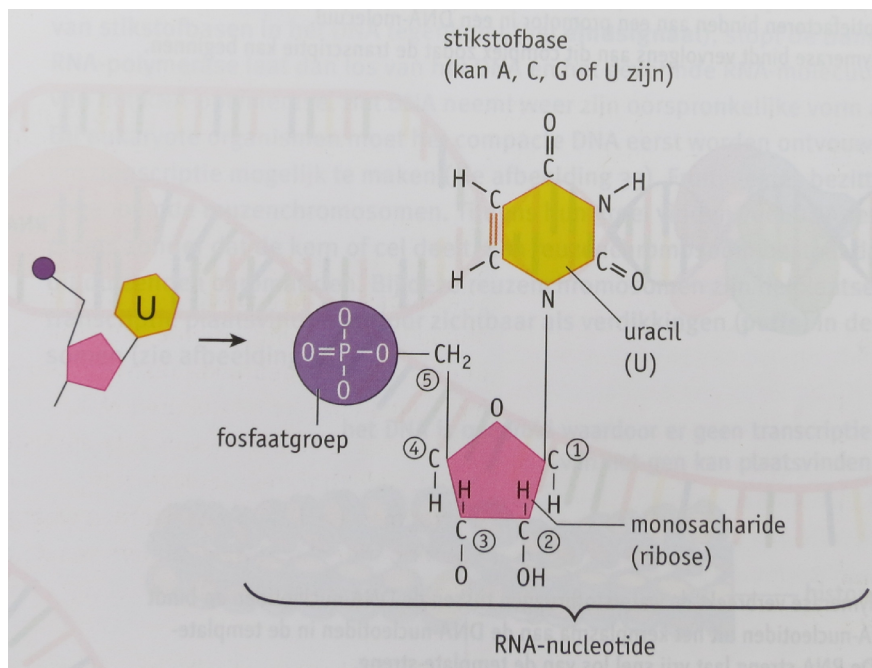
Basisstof 4 Transcriptie

Verschil tussen

RNA	DNA
enkelstrengs (één keten)	dubbelstrengs (twee ketens)
ribose	desoxyribose
uracil (U)	thymine (T)

Er zijn verschillende soorten RNA:

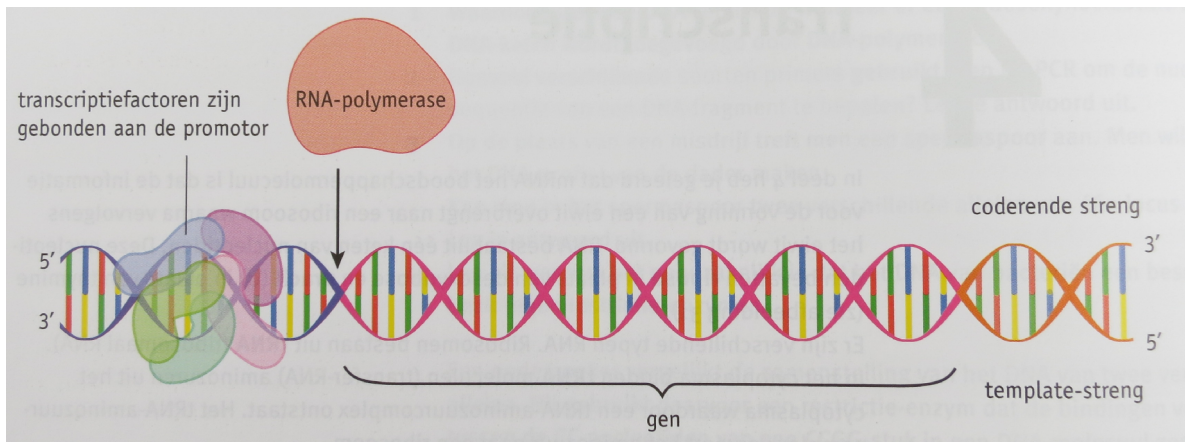
mRNA	mesenger-RNA	boodschappermolecuul; brengt informatie voor de vorming van een eiwit over naar een ribosoom.
rRNA	ribosomaal RNA	ribosomen bestaan uit r-RNA
tRNA	transfer-RNA	in het cytoplasma bindt een t-RNA molecuul aminozuren, waardoor een t-RNA -aminozuurcomplex ontstaat. Dit t-RNA-aminozuurcomplex vervoert het aminozuur naar een ribosoom.



Afbeelding 14. RNA-nucleotide.¹

91 Transcriptie

1. Transcriptie begint op het moment dat het enzym **RNA-polymerase** zich aan een promotor bindt waar transcriptie-factoren aan vast zitten.



Afbeelding 15. Transcriptiefactoren binden zich aan een promotor in een DNA-molecuul. RNA-polymerase bindt vervolgens aan dit complex, zodat de transcriptie kan beginnen.¹

RNA-polymerase verbreekt vanaf die plaats de waterstofbruggen tussen de 2 DNA-ketens. De ketens scheiden en de helixstructuur verdwijnt. Transcriptie vindt plaats langs de template-streng. Bij een ander gen kan de andere DNA-keten de template-streng zijn.

2. Vervolgens bindt RNA-polymerase vrije RNA-nucleotiden uit het kernplasma door complementaire basenparing (dwz A aan T, U aan A, C aan G, G aan C) aan de DNA-nucleotiden van de template-streng. Dit gebeurt in de 3' → 5' richting, zodat de nieuwe RNA-streng in de 5' → 3' richting wordt gesynthetiseerd (de kop van de RNA-streng is een 3'-uiteinde).

Als de nieuwe RNA-streng ongeveer 10 nucleotiden lang is, laten de eerste nucleotiden van de RNA-streng los van de template-streng.



Afbeelding 16. RNA-polymerase verbreekt de waterstofbruggen tussen de DNA-nucleotiden en bindt vrije RNA-nucleotiden uit het kernplasma aan de DNA-nucleotiden in de template-streng. De RNA-streng laat vrij snel los van de template-streng.¹