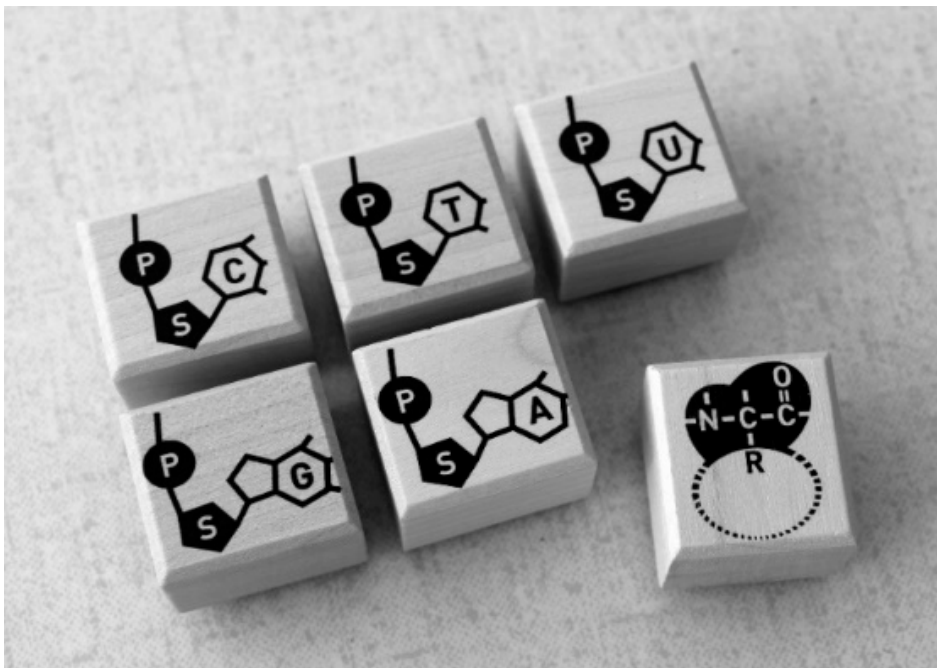


2. REPLICATIE MET PAPIER EN STEMPELS

In dit practicum beelden leerlingen met stempels en stroken papier DNA-replicatie uit. Over het algemeen vinden leerlingen het principe van complementariteit en basenparing niet zo ingewikkeld, al moet er soms even gestoeid worden met de juiste oriëntatie van de nucleotiden. Lastiger wordt het wanneer details als de syntheserichting (van 5' naar 3'), Okazaki-fragmenten, en de functie van helicase, RNA-polymerase en ligase ook uitgebeeld moeten worden. Dit practicum helpt leerlingen hier grip op te krijgen (al kunnen die details ook prima achterwege gelaten worden), maar is ook geschikt als kennischeck. Bij dit uitbeeldpracticum wordt gebruik gemaakt van de *stempelset DNA*, een set van zes stempels waarmee nucleotiden en aminozuren gestempeld kunnen worden. Deze stempelset en bijbehorende practica werden ontwikkeld door Rogier Arents (Studio Rogier Arents, Rotterdam), Caspar Geraedts (VU Lerarenacademie, Amsterdam) en John Huizinga (Hogeschool Utrecht, Utrecht)¹.



¹ Voor meer informatie en bestellingen kijk op <https://www.betapartners.nl/stempelset-dna/> of mail c.l.geraedts@vu.nl.

duur	één lesuur (50 minuten), incl. voor- en nabespreking
doelgroep	bovenbouw havo/vwo
doelen	<p>Leerlingen kunnen:</p> <ul style="list-style-type: none">• benoemen uit welke bouwstenen een nucleotide is opgebouwd, en beschrijven hoe deze nucleotiden samen een DNA-molecuul vormen, en daarbij de volgende begrippen gebruiken: basenparen, waterstofbruggen, 5'- en 3'-uiteinde;• beschrijven hoe het proces DNA-replicatie verloopt, en daarbij de volgende begrippen gebruiken: helicase, DNA-polymerase, complementair, vrije nucleotide, en ligase.
nodig	<ul style="list-style-type: none">• een print van de sequentie replicatie (zie bijlage)• de stempelset DNA, inclusief inktkussen (zes sets of meer per klas is fijn; dan hoeven leerlingen niet zo lang te wachten)• kassarol (4 cm breed is voldoende), of stroken papier (twee per leerling)• schaar en plakband (één per tweetal)

voorbereiding

1. Print en knip de sequentie replicatie (zie bijlage) of stempel zelf een fragment DNA. Om later de twee oorspronkelijke ouderstrengen te kunnen traceren is het slim om hiervoor gekleurd papier te gebruiken.
2. Zorg dat leerlingen Binas of ScienceData bij de hand hebben.

uitvoering

oriënteren: de bouw van DNA

Om kennis over de bouw van DNA op te frissen en eventueel aan te vullen, én om leerlingen vertrouwd te maken met de stempelset, laat je ze eerst op een leeg A4-tje (of in hun schrift) een fragment dubbelstrengs DNA stempelen. De instructie voor de leerlingen voor deze oriënterende opdracht is als volgt:

1. Stempel een DNA-molecuul bestaande uit minimaal vijf basenparen.
2. Teken de waterstofbruggen tussen de ketens.
3. Benoem in je 'stempeltekening' de volgende onderdelen: stikstofbase, suiker, fosfaat, nucleotide en waterstofbrug.
4. Geef aan waar de 5'-eindes en de 3'-eindes zich bevinden.

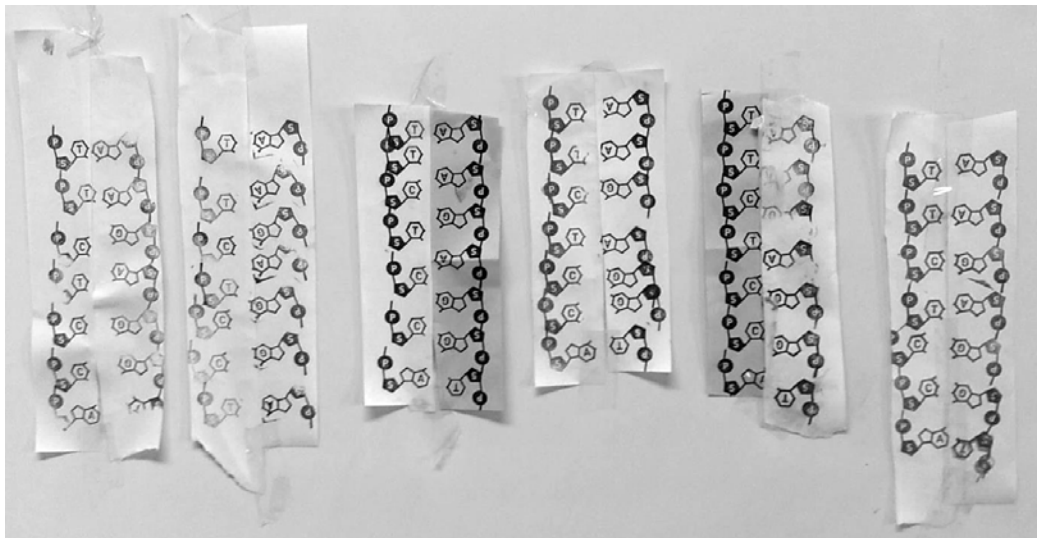
DNA-replicatie uitbeelden

Als de leerlingen hun eerste 'stempeltekening' (zie oriëntatieopdracht hierboven) hebben afgerond, is het tijd voor het eigenlijke practicum.

5. Vertel dat we met de hele klas het proces DNA-replicatie gaan uitbeelden.
6. Geef het geprinte DNA-fragment aan twee leerlingen in de klas. Die leerlingen zijn nu met zijn tweeën één cel. Die cel gaat zich (mitotisch) delen. Er moet dus DNA-replicatie plaatsvinden. In welke fase van de celcyclus gebeurt dat?
7. Laat één van de leerlingen de twee nucleotidenketens van het DNA-fragment los van elkaar knippen. Welke bindingen worden nu verbroken? Welk enzym doet dat?
8. Laat beide leerlingen nu elk langs één van beide ketens een nieuwe, complementaire keten stempelen op een lege strook papier. Welk enzym doet dat?
9. Laat ze de stroken weer aan elkaar vastplakken met plakband. Als het goed is hebben ze nu allebei een identiek DNA-fragment in handen. Vertel dat ze nu twee (dochter)cellen zijn geworden.
10. Beide cellen gaan zich weer delen: de leerlingen zoeken allebei een nieuwe partner en herhalen stap 7 t/m 9. Dit gaat zo door totdat alle leerlingen in de klas een cel zijn geworden met een eigen DNA-fragment.
11. Hang alle DNA-fragmenten naast elkaar. Zijn ze allemaal identiek? Hoe kan dat? Of hebben er mutaties plaatsgevonden (zie denkwerk)?

(na)denkwerk

- Sommige leerlingen raken in de war bij de oriëntatieopdracht als ze merken dat de letters op de nucleotiden in de ene streng leesbaar zijn, maar in de andere streng juist ‘op z’n kop’ staan. Dat is een mooi aanknopingspunt om hen de oriëntatie van de nucleotiden in Binas of biologieboek nog eens te laten bekijken. Voor veel leerlingen een eye-opener, en goed om hier in de nabespreking nog eens op te wijzen.
- Vertel dat DNA-replicatie in menselijke cellen met een snelheid van 50 nucleotiden per seconde (!) plaatsvindt.
- Uit onze ervaring blijkt dat er regelmatig (punt)mutaties optreden omdat leerlingen ergens een verkeerde nucleotide stempelen. Het is de moeite waard om dat bij de nabespreking van de activiteit, als alle fragmenten naast elkaar hangen, op te merken (zie hieronder). Bij een volgende les over mutaties kan dan hierop teruggegrepen worden.



aanpassen/uitbreiden

- Bij deze activiteit moeten sommige leerlingen wat langer wachten totdat ze aan de beurt zijn om te stempelen (in ieder geval volgens de opzet die hier beschreven wordt). Het ligt voor de hand om alle leerlingen, met uitzondering van het eerste tweetal, te laten beginnen met ander (zelfstandig) werk. Een ander optie is om alle tweetallen in de klas tegelijkertijd te laten repliceren, elk met een eigen geprint fragment DNA. Dan doe je dus maar één cyclus.
- Je kan er ook voor kiezen om leerlingen in groepjes met behulp van de stempelset een filmpje te laten maken van het replicatieproces.
- Leerlingen vinden het soms lastig om het verband te zien tussen DNA-replicatie (op molecuulniveau) en de structuur van een gespiraliseerd chromosoom in de pro- of metafase dat uit twee chromatiden bestaat (op ‘macromoleculair’ niveau). Om dat verband duidelijk te maken, en om een realistischer beeld te schetsen van het replicatieproces, maak je een strook DNA van een aantal meter (bijvoorbeeld een aantal prints achter elkaar, de sequentie maakt niet uit). Dan vraag je een aantal leerlingen om replicatie uit te beelden: nu met verschillende replicatievorken tegelijkertijd en (desgewenst) rekening houdend met de syntheserichting (en dus Okazaki-fragmenten). Als de replicatie is voltooid, en er dus twee dubbelstrengs DNA-moleculen zijn, laat je een leerling de strengen ergens halverwege bij elkaar houden: dat is dan het centromeer. Laat ook aanwijzen wat dan de chromatiden zijn. Benadruk dat de strengen in werkelijkheid nog veel langer zijn, en dat DNA gebonden is aan allerlei eiwitten.

bijlagen

- sequentie replicatie en methyltransferase

