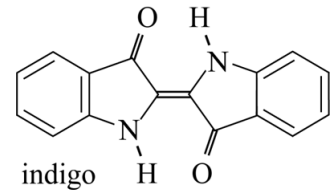


Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:
 $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$.

Indigo

Jaarlijks worden drie miljoen spijkerbroeken geproduceerd, die zijn gekleurd met het blauwe pigment indigo (zie figuur 1). Indigo wordt door extractie gewonnen uit de indigoplant. Indigo is slecht oplosbaar in water, met een maximale oplosbaarheid van $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

figuur 1



2p 1 Bereken de oplosbaarheid van indigo in water in mol L^{-1} .

Een molecuul indigo is vlak. Dit kan alleen worden verklaard als alle mogelijke grensstructuren worden meegenomen in de redenering. Op basis van figuur 1 zou de conclusie moeten zijn dat een indigo-molecuul niet vlak is.

2p 2 Leg uit dat de structuur uit figuur 1 niet vlak is. Gebruik hierbij de VSEPR-theorie.

Van indigo zijn veel grensstructuren mogelijk. De O-atomen hebben hierbij telkens een negatieve formele lading. De positieve formele ladingen kunnen daarbij op elk atoom in de beide vijftringen terecht komen. Op de uitwerkbijlage is de lewisstructuur van zo'n grensstructuur onvolledig weergegeven. In deze lewisstructuur zijn de formele ladingen geplaatst, maar ontbreekt een aantal elektronenparen.

3p 3 Maak op de uitwerkbijlage de lewisstructuur compleet met de ontbrekende bindende en niet-bindende elektronenparen.

De slechte oplosbaarheid van indigo kan worden verklaard vanuit de structuur van het molecuul. Er spelen hierbij twee factoren een rol:

- 1 Er bestaan onderlinge interacties tussen atomen/atoomgroepen binnen een molecuul indigo, waardoor deze atomen/atoomgroepen minder goed interacties met watermoleculen kunnen aangaan.
- 2 Delen van het molecuul kunnen alleen zwakke interacties aangaan met watermoleculen.

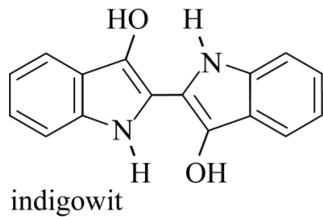
2p 4 Geef aan welke atomen/atoomgroepen onderlinge interacties aangaan, zoals bedoeld bij factor 1.

Noteer je antwoord als volgt:

- atomen/atoomgroepen: ...
- interactie: ...

Indigo wordt na extractie uit de indigoplant eerst met een reductor omgezet tot het oplosbare indigowit (zie figuur 2). Opgelost indigowit wordt tijdens het verven van katoen opgezogen door de katoenvezels.

figuur 2



- 2p **5** Leid de halfreactie van de omzetting van indigo tot indigowit af. Gebruik hierbij molecuulformules.

Tijdens het drogen komen de vezels in contact met zuurstof uit de lucht en wordt indigowit weer omgezet tot indigo. Op deze manier wordt indigo bij het drogen wasbestendig 'opgesloten' in de vezels.

Omdat plantaardig indigo duur is en te weinig beschikbaar, bestaan vele industriële manieren om indigo te produceren uit niet-hernieuwbare grondstoffen. Deze productiemethodes zijn vaak sterk vervuilend. Het wetenschappelijk team van John Dueber heeft onderzocht hoe textiel kan worden gekleurd met indigo door gebruik te maken van genetisch gemodificeerde *E. coli*-bacteriën. Het doel was hierbij om in de bacteriën de vorming van indigo net zo te laten verlopen als in de plant.

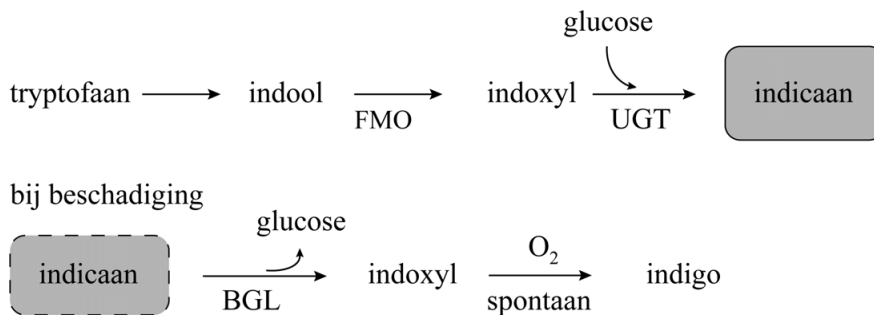
Als eerste werd het actieve centrum van één van de betrokken enzymen (het enzym UGT) in de plant onderzocht.

De onderzoekers vermoedden dat een histidine-eenheid in het enzym UGT een rol speelt bij de koppeling van glucose aan indoxyl. Om dit te onderzoeken vervingen de onderzoekers, door genetische modificatie van het DNA, deze histidine-eenheid door een alanine-eenheid. Deze vervanging maakte het enzym UGT inderdaad inactief.

- 2p **6** Geef aan welke twee nucleïnebasen in de coderende streng van het DNA zijn vervangen voor deze aanpassing in het enzym UGT. Noteer je antwoord als volgt:
1. Nucleïnebase ... is vervangen door ...
 2. Nucleïnebase ... is vervangen door ...

In figuur 3 is de vorming van indigo in de plant schematisch weergegeven. Drie betrokken enzymen zijn met de afkortingen FMO, UGT en BGL aangegeven.

figuur 3



In het blad van de indigoplant wordt indool door het enzym FMO omgezet tot indoxyl. In aanwezigheid van het enzym UGT wordt indoxyl vervolgens geheel omgezet tot indicaan. Het gevormde indicaan wordt opgeslagen. Bij beschadiging van de bladeren komt het enzym BGL vrij dat indicaan omzet tot indoxyl, waaruit vervolgens indigo ontstaat. Het enzym UGT bevindt zich op een andere plaats in de cel, waardoor UGT het gevormde indoxyl in deze situatie niet kan omzetten.

De onderzoekers kweekten enkele stammen van *E. coli*. In deze stammen waren wel of niet genen van de indigoplant overgebracht. In de tabel op de uitwerkbijlage is te zien welke experimenten zijn uitgevoerd. Bij elk experiment bevatte de voeding glucose en tryptofaan. Tryptofaan wordt door *E. coli* van nature omgezet tot indool. De bacteriën hebben geen genen voor de aanmaak van het enzym BGL. Om toch blauwkleuring mogelijk te maken, werd aan sommige bacteriekweken het enzym BGL toegevoegd. Niet in alle experimenten werd blauwkleuring door de vorming van indigo waargenomen.

- 2p 7 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor elk experiment aan of blauwkleuring door de vorming van indigo optreedt. Gebruik onder andere informatie uit figuur 3.