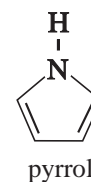


## Papieren batterij

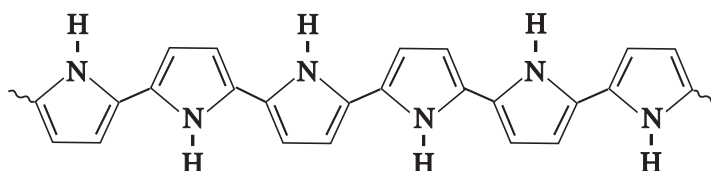
Zweedse onderzoekers hebben een lichtgewicht oplaadbare batterij van papier ontwikkeld. Deze batterij is gebaseerd op een polymeer van pyrrol. De structuurformule van pyrrol is hiernaast weergegeven. Dit polymeer is gehecht aan cellulosevezels. De gevormde vezels kunnen worden gebruikt om een materiaal te bereiden dat lijkt op papier.



De bereiding van het polymeer verloopt in twee stappen, die in één proces achter elkaar verlopen.

Stap 1: pyrrol wordt opgelost in ethanol en in contact gebracht met een overmaat ijzer(III)chloride-oplossing, waarmee het reageert.

Er treedt een zogenoemde elektrochemische polymerisatiereactie op, waarbij onder andere polypyrrol (PPy) en ijzer(II)-ionen ontstaan.



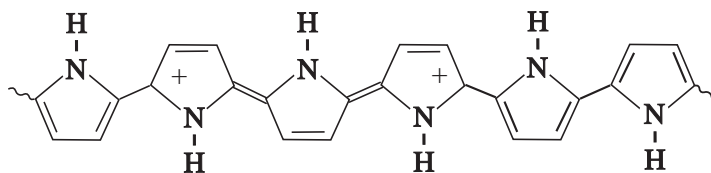
polypyrrol (PPy)

- 3p **8** Geef de vergelijking van de halfreactie voor de vorming van PPy uit pyrrol. Gebruik voor PPy de notatie  $\text{H}-(\text{C}_4\text{H}_3\text{N})_n-\text{H}$ . In de vergelijking van deze halfreactie komt ook  $\text{H}^+$  voor.
- 2p **9** Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van ijzer(III)-ionen in ijzer(II)-ionen en geef de vergelijking van de totaalreactie.

In het reactievat zijn ook de cellulosevezels aanwezig, waaraan het slecht oplosbare PPy goed hecht.

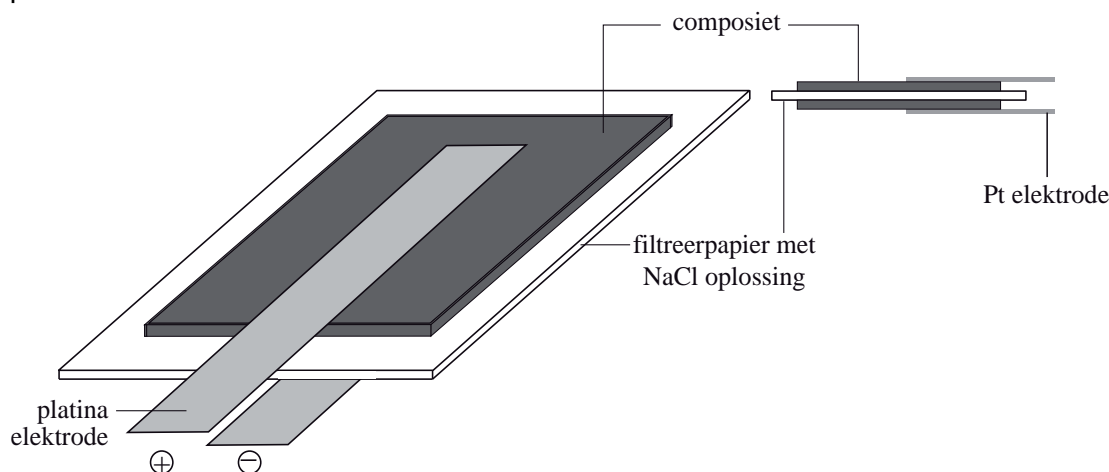
- 2p **10** Leg met behulp van begrippen op microniveau uit dat PPy goed hecht aan cellulose. Maak gebruik van Binas-tabel 67A3.

Stap 2: het ontstane PPy reageert verder met de ijzer(III)chloride-oplossing. Hierbij staan PPy-moleculen elektronen af aan ijzer(III)-ionen. De PPy-moleculen worden hierdoor positief geladen, zoals hieronder is weergegeven. De aanwezige chloride-ionen compenseren de positieve lading van de PPy-moleculen.



positief geladen polypyrrol

De cellulose-PPy vezels worden samengeperst tot platen. Het zo gevormde materiaal wordt in de rest van deze opgave aangeduid als composiet. Zoals hieronder is weergegeven, wordt de papieren batterij samengesteld uit twee gelijke platen composiet, twee platina elektroden en filtreerpapier gedrenkt in een natriumchloride-oplossing. De batterij moet vóór gebruik opgeladen worden. Bij het opladen ontstaat een ladingsverschil tussen beide composietplaten doordat het aanvankelijk positief geladen PPy in één van de platen minder positief geladen wordt, terwijl het PPy in de andere plaat sterker positief geladen wordt. Tijdens stroomlevering vinden de omgekeerde processen plaats.



- 2p **11** Leg uit of tijdens stroomlevering de  $\text{Cl}^-$  ionen in het filtreerpapier tussen de composietplaten in de richting van de positieve elektrode of in de richting van de negatieve elektrode zullen bewegen.

De papieren batterij is zeer snel oplaadbaar. De batterij heeft echter in vergelijking met de veelgebruikte lithiumbatterij maar een lage maximale spanning. De maximaal haalbare spanning van de papieren batterij is afhankelijk van de tijd dat het PPy reageert met de ijzer(III)chloride-oplossing. Als de reactietijd kort is, is de hoeveelheid positieve ladingen in PPy-moleculen klein. Als de reactietijd lang is, is het aantal positieve ladingen in PPy-moleculen groot.

Het aantal positieve ladingen dat kan ontstaan in PPy-moleculen kent een maximum.

- 1p **12** Leg uit dat de batterij niet oplaadbaar is als de PPy-moleculen het maximaal aantal positieve ladingen hebben.

Het percentage van het maximaal aantal positieve ladingen is van belang om de maximaal haalbare spanning te kunnen bereiken. Daarom wordt de reactietijd zo gekozen dat het percentage positieve ladingen in PPy-moleculen een bepaalde waarde heeft.

- 2p **13** Leg uit tot welk percentage van het maximaal aantal positieve ladingen de PPy-moleculen moeten reageren met de ijzer(III)chloride-oplossing, zodat de maximaal haalbare spanning van de batterij bereikt kan worden bij het opladen.