

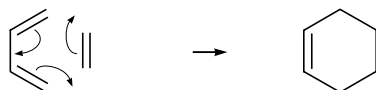
Nanomotors

Nanomotors zijn apparaatjes van enkele nanometers lang die in staat zijn zichzelf voort te bewegen. Een groep wetenschappers heeft een nanomotor gemaakt die kan voortbewegen als gevolg van de polymerisatie van norborneen. Norborneen wordt gemaakt uit een alkaadien en etheen.



In figuur 1 is met schematische structuurformules weergegeven hoe 1,3-butadien met etheen reageert. Met pijltjes is aangegeven hoe elektronenparen zich verplaatsen tijdens de reactie. De stof waaruit norborneen gevormd wordt, reageert op vergelijkbare wijze met etheen.

figuur 1

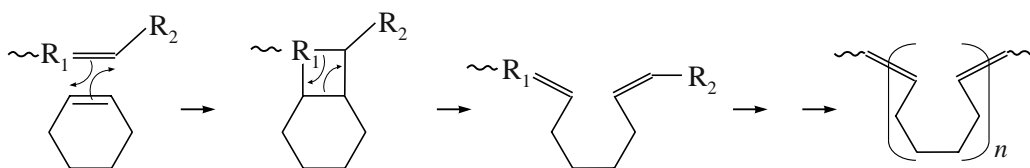


- 2p 18 Geef de schematische structuurformule van de stof waaruit norborneen ontstaan is.

Norborneen polymeriseert volgens een zogeheten ROMP-reactie. Deze polymerisatie van norborneen verloopt hierbij op vergelijkbare wijze als de polymerisatie van cyclohexeen. De polymerisatie van cyclohexeen volgens een ROMP-reactie is in figuur 2 schematisch weergegeven.

De atoomgroep $\sim R_1 = \text{---} R_2$ katalyseert de polymerisatie.

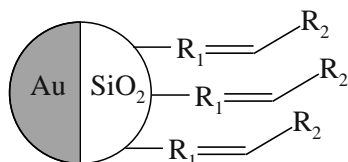
figuur 2



- 3p 19 Geef een gedeelte uit het midden van een molecuul polynorborneen in schematische structuurformule weer. Dit gedeelte moet zijn ontstaan uit twee norborneen-eenheden.

In figuur 3 is een onderzochte nanomotor weergegeven. Een nanomotor bestaat uit een klein bolletje siliciumdioxide. Op 50% van het oppervlak zijn de katalysatormoleculen bevestigd waar zich polymeerketens vormen. Het andere deel is bedekt met goud. De polymerisatiereactie zorgt voor de voortbeweging van de nanomotor.

figuur 3



Een student brengt een hoeveelheid nanomotors in een oplossing van norborneen. Na verloop van 25 seconden analyseert hij het gevormde polymeer en stelt vast dat de gemiddelde ketenlengte van de polymeerketens $3,6 \cdot 10^2$ eenheden bedraagt.

- 2p **20** Bereken de gemiddelde molecuulmassa van de gevormde polymeerketens. Neem aan dat de massa van de katalysatordeeltjes verwaarloosd mag worden.

De omzettingfrequentie geeft aan hoeveel moleculen norborneen er per seconde worden gekoppeld per nanomotor. Hoe hoger de omzettingfrequentie, hoe sneller de motor kan bewegen.

- 3p **21** Bereken de gemiddelde omzettingfrequentie voor de onderzochte nanomotor tussen 0 en 25 seconden. Maak gebruik van eerder in deze opgave verstrekte gegevens en onderstaande gegevens.
- Het totale oppervlak van het siliciumbolletje is $2,90 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$
 - Er bevindt zich $1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol cm}^{-2}$ katalysatoren op het SiO_2 deel van een nanomotor.