

## Waterstofopslag in carbazool

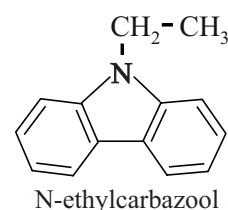
Waterstof wordt pas een alternatief voor het gebruik van benzine als autobrandstof, wanneer waterstofauto's met een volle tank eenzelfde afstand kunnen afleggen als een gangbare benzineauto met een tank gevuld met 50 liter benzine. Uit metingen is gebleken dat een benzineauto voor het afleggen van eenzelfde afstand tweemaal zoveel chemische energie nodig heeft als een waterstofauto.

- 3p **9** Bereken hoeveel kilogram waterstof een auto moet tanken om dezelfde afstand af te leggen als een benzineauto met een tank gevuld met 50 liter benzine ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).

Bij beide verbrandingen komt het water als gas vrij.

Bij de verbranding van  $1,0 \text{ m}^3$  benzine komt  $3,3 \cdot 10^{10} \text{ J}$  vrij.

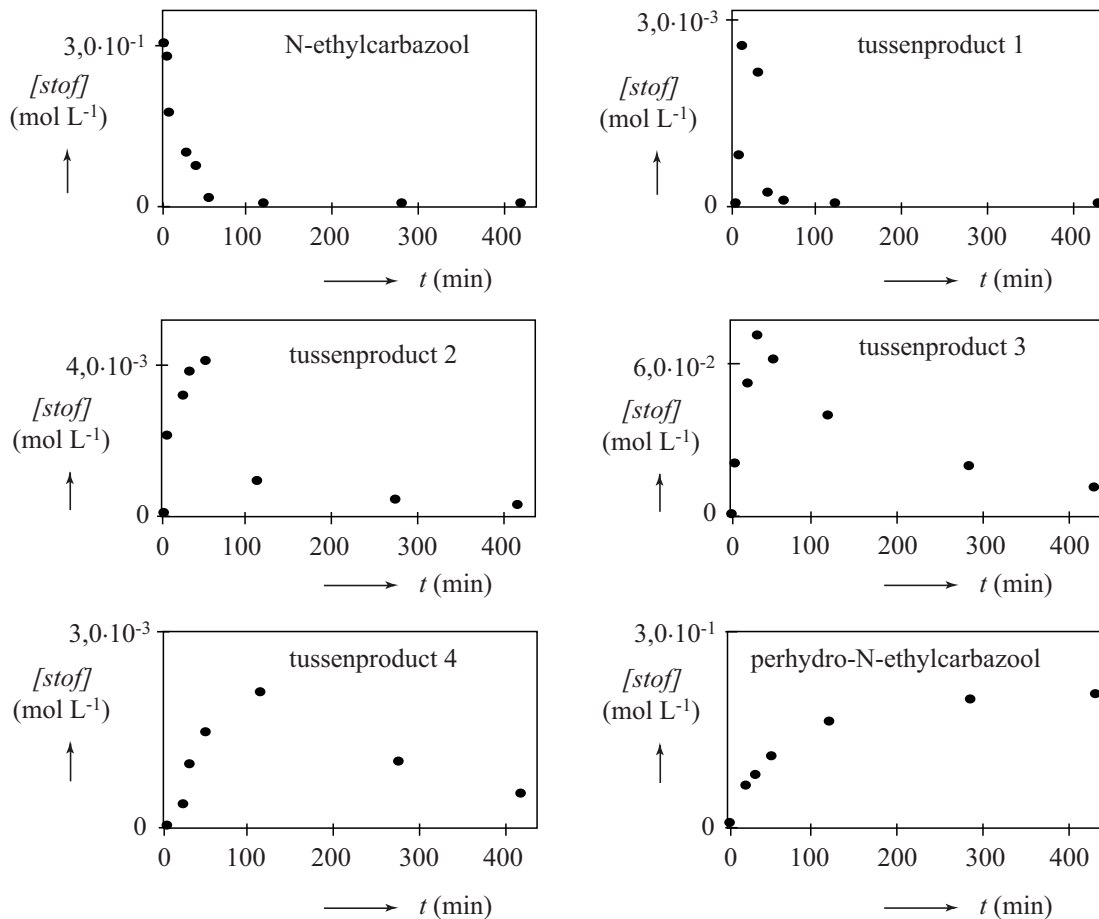
Waterstof als brandstof heeft als groot nadeel dat het onder hoge druk moet worden opgeslagen. Daarom wordt veel onderzoek gedaan naar manieren om waterstof chemisch te binden aan een drager. Recent onderzoek richt zich op N-ethylcarbazool als waterstofdrager. N-ethylcarbazool bindt waterstof door additie. Alle dubbele bindingen in N-ethylcarbazool worden hierbij omgezet tot enkelvoudige bindingen. Het product wordt perhydro-N-ethylcarbazool genoemd. De massa neemt hierbij minder dan 10% toe.



- 2p **10** Bereken met welk percentage van zijn oorspronkelijke massa de massa van N-ethylcarbazool toeneemt als alle dubbele bindingen in N-ethylcarbazool worden omgezet tot enkelvoudige bindingen. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

In een experiment is het verloop van de additie van waterstof aan N-ethylcarbazool onderzocht. Het bleek dat in de loop van het experiment enkele tussenproducten konden worden aangetoond. Van de beginstof en het eindproduct en van een aantal tussenproducten is het verloop van de concentraties gemeten. In figuur 1 zijn enkele resultaten van de metingen weergegeven. De schaal op de  $y$ -assen verschilt per diagram. Het volume van het reactiemengsel was gedurende het gehele experiment constant.

**figuur 1**



- 2p 11 Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 1 uit of na 400 minuten een volledige omzetting tot perhydro-N-ethylcarbazool is bereikt.

Uit de diagrammen kan worden opgemaakt welke van de vijf weergegeven omzettingen de snelheidsbepalende stap is voor de omzetting van N-ethylcarbazool tot perhydro-N-ethylcarbazool.

- 2p 12 Leg aan de hand van de diagrammen in figuur 1 uit welke omzetting de snelheidsbepalende stap is.

In de waterstofauto wordt het perhydro-N-ethylcarbazon in aanwezigheid van een katalysator verwarmd tot 200 °C. In een endotherme reactie wordt waterstof gevormd dat in de auto naar een brandstofcel wordt gevoerd. Zuivere waterstof is zeer explosiegevaarlijk. Door het gebruik van perhydro-N-ethylcarbazon als waterstofdrager wordt dit probleem voorkomen.

- 2p **13** Leg uit dat bij opslag en vervoer van perhydro-N-ethylcarbazon het risico op een explosie van waterstof erg klein is.  
Gebruik bij de beantwoording van deze vraag drie gegevens uit bovenstaande tekst.

Op de uitwerkbijlage bij dit examen is het energiediagram voor de vorming van waterstof uit perhydro-N-ethylcarbazon onvolledig weergegeven. Hierin ontbreekt onder andere het niveau van de reactieproducten. De invloed van de katalysator op het verloop van deze reactie kan met behulp van dit energiediagram duidelijk worden gemaakt door energieniveaus met bijbehorende bijschriften te plaatsen.

- 2p **14** Maak op de uitwerkbijlage het energiediagram voor de vorming van waterstof uit perhydro-N-ethylcarbazon af door energieniveaus met bijbehorende bijschriften te plaatsen, zodat duidelijk wordt wat de invloed van de katalysator is op het verloop van de reactie.

14

