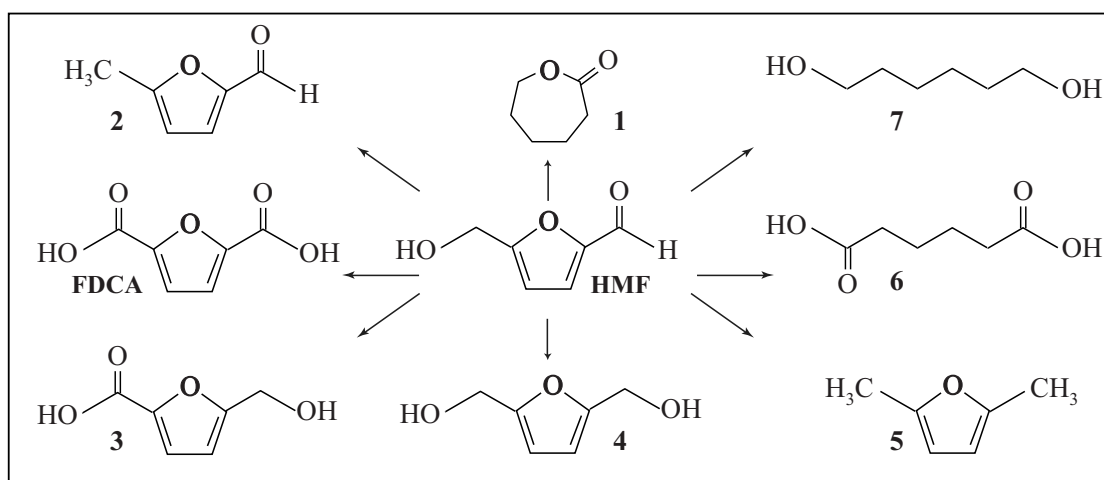


De PEF-fles

Ieder jaar worden grote hoeveelheden PET-frisdrankflessen geproduceerd. Het Nederlandse bedrijf Avantium heeft een proces ontwikkeld om de kunststof PEF als alternatief voor PET te produceren. Bij de productie van PEF wordt biomassa als grondstof gebruikt, terwijl PET wordt geproduceerd uit aardolie.

Voor de productie van PEF worden plantaardige monosachariden zoals glucose gebruikt. Glucose wordt in een eerste proces omgezet tot HMF. Uit HMF kunnen verschillende stoffen worden gemaakt die voor de chemische industrie bruikbaar zijn. In onderstaand schema zijn enkele van deze stoffen schematisch weergegeven.

schema



Bij de omzettingen van glucose tot de bovenstaande reactieproducten komt geen koolstofdioxide vrij in de chemische reacties.

2p **1** Laat dit zien aan de hand van het schema.

Een ander gebruik van glucose is vergisting tot bio-ethanol, een proces dat kan worden weergegeven met onderstaande reactievergelijking.



De atomeconomie van de vergisting van glucose is minder gunstig dan de atomeconomie van de productie van HMF uit glucose. Voor de productie van HMF is geen andere beginstof dan glucose nodig.

3p **2** Bereken de atomeconomie van de productie van ethanol uit glucose en de atomeconomie van de productie van HMF uit glucose. Gebruik Binas-tabel 37H of ScienceData-tabel 1.7.7.

Zowel PET als PEF zijn polyesters. PEF is een copolymeer van ethaan-1,2-diol en FDCA (zie schema).

- 3p 3 Geef een gedeelte van een molecuul PEF in structuurformule weer. Dit gedeelte moet komen uit het midden van het molecuul en moet bestaan uit twee eenheden van beide monomeren.

Sommige andere stoffen uit het schema kunnen ook worden gebruikt als monomeren voor polyesters. De polymeren zijn dan meestal copolymeren van twee monomeren. Eén stof uit het schema kan echter zonder een ander monomeer als grondstof dienen voor een polyester.

- 1p 4 Geef het nummer van de stof uit het schema die zonder gebruik van een ander monomeer een polyester kan vormen.

Avantium heeft een productieproces ontwikkeld waarbij FDCA met een hoog rendement geproduceerd kan worden uit HMF. De productie start met de reactie van HMF met methanol waarbij de stof MMF ontstaat. MMF is een ether.



In het Avantium-proces wordt MMF vervolgens omgezet tot FDCA volgens reactie 2.



- 3p 5 Geef de vergelijking van reactie 2. Gebruik structuurformules voor de ether MMF, FDCA en methanol.

Een al langer bekend proces om MMF om te zetten tot FDCA is weergegeven in reactie 3.



De productie van FDCA volgens reacties 1 en 2 heeft een hoger rendement dan volgens reacties 1 en 3.

Ook is de productiemethode van Avantium duurzamer als je let op de uitgangspunten van de Groene Chemie.

Een medewerker van Avantium schrijft een artikel voor een breed publiek. In het artikel verwerkt de medewerker twee argumenten op basis van uitgangspunten 1 en 2 van de Groene Chemie, zodat duidelijk wordt dat het productieproces van Avantium duurzamer is dan het oude proces.

- 2p 6 Geef twee argumenten die de medewerker in het artikel kan opnemen. Maak gebruik van Binas-tabel 97F of ScienceData-tabel 38.6. Noteer je antwoord als volgt:
- Op basis van uitgangspunt 1:
 - Op basis van uitgangspunt 2:

Wetenschappers hebben met behulp van modellen de CO₂-uitstoot berekend tijdens de zogeheten levenscyclus van zowel PET als PEF. In de berekening van deze CO₂-levenscyclus-uitstoot wordt uitgegaan van de volgende punten:

- 1 de CO₂-uitstoot van het productieproces en het transport van stoffen.
- 2 PET en PEF worden even vaak gerecycled.
- 3 de CO₂-uitstoot van het verbranden van PET- en PEF-afval.

De CO₂-uitstoot van de verbranding van PEF (punt 3) wordt buiten beschouwing gelaten als FDCA en ethaan-1,2-diol geheel uit biomassa worden gemaakt.

De CO₂-uitstoot van de verbranding van PET wordt niet buiten beschouwing gelaten.

- 2p 7 Leg uit waarom de CO₂-uitstoot van de verbranding van PEF-afval buiten beschouwing wordt gelaten in de berekening van de CO₂-levenscyclus-uitstoot als FDCA en ethaan-1,2-diol geheel uit biomassa zijn gemaakt en waarom die bij PET niet buiten beschouwing wordt gelaten.

De berekende waarde van de CO₂-uitstoot tijdens de levenscyclus van geheel uit biomassa gemaakt PEF is 0,8 ton CO₂ per ton polymeer. De berekende waarde van de CO₂-uitstoot tijdens de levenscyclus van PET is 4,4 ton CO₂ per ton polymeer.

- 3p 8 Bereken hoeveel ton CO₂ per ton PET wordt uitgestoten door het productieproces en het transport van stoffen. Gebruik C₁₀H₈O₄ als formule voor (de repeterende eenheid van) PET.