

► Modelauto met brandstofcel ◀

Thema	Produceren van brandstof voor de brandstofcel door middel van de elektrolyse van water, het gebruik van de brandstofcel, scheikundig processen van de elektrolyse en de brandstofcel, elektrisch vermogen, spanning, stroom.					
Werken aan competenties	<p>Je bent <i>Junior Sales Engineer</i>. Met dit practicum ga je leren brandstof te maken door middel van de elektrolyse van water, het chemisch proces van de elektrolyse, het werken met een brandstofcel en het begrijpen van het chemisch proces van de brandstofcel.</p> <p>De volgende competenties komen aan de orde:</p> <ul style="list-style-type: none"> ► Technische vaardigheden ► Exact ► Kwaliteit en zorgvuldigheid ► Vakdeskundigheid toepassen ► Verantwoordelijkheid ► Zelfstandigheid 					
Taak	Onderzoeken van de werking van elektrolyse en de brandstofcel. Meten van vermogen, stroom en spanning. Vergelijk energie erin en energie eruit, (water, elektriciteit, energie— brandstofcel—elektrisch vermogen.					
Resultaat	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Volledig uitgevoerd practicum <input type="checkbox"/> Volledige vermogensberekening <input type="checkbox"/> Meetrapport <input type="checkbox"/> Schoon opgeleverde werkplek <input type="checkbox"/> Gereedschappen opgeborgen op de bestemde plaats <input type="checkbox"/> Gebruikte practica materialen opgeborgen 					
Oplevering	Jij bepaalt, eventueel met je collega, wanneer je deze taak gaat vervullen. Spreek jullie plan door met de praktijkbegeleider. Globaal gesproken neemt deze taak een halve dag in beslag.	<table border="1"> <tr> <td>Startdatum:</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td>Einddatum:</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table>	Startdatum:		Einddatum:	
Startdatum:						
Einddatum:						
Portfolio	In je portfolio komen de volgende, door de praktijkbegeleider geaccordeerde producten: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Beoordeling <input type="checkbox"/> Meetrapport/verslag met daarin opgenomen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Werkwijze, tabellen, gebruikte formules ○ Opsomming van gebruikte gereedschappen en middelen ○ Foto('s) van volledig aangesloten modelauto 					

► Uitvoering ◀

1

Brandstof maken door middel van de elektrolyse van water

- Achtergrondinformatie
- Opbouwen
- Elektrolyse

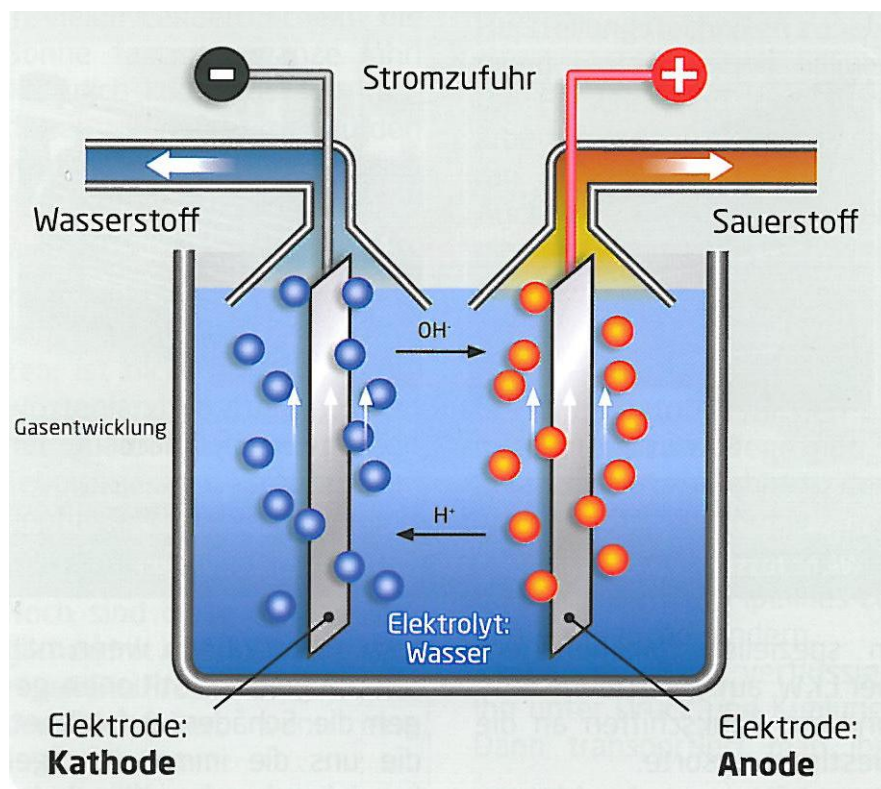
Elektrolyse van water.

Elektrolyse van water is het ontleden van water (H_2O) in zijn componenten waterstof (H_2) en zuurstof (O_2) met behulp van een elektrische stroom.

Benodigheden:

Batterijvoeding
Zonnepaneel
Auto
Autostandaard
Gedistilleerd water
Spuut 20 ml
Stopwatch

Het chemisch proces



Figuur 1. Principe van elektrolyse van water.

Bron: Kosmos Brennstoffzelle Experimentieranleitung

Wasserstoff = waterstof

Sauerstoff = zuurstof

Stromzufuhr = stroomtoevoer

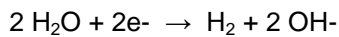
Wasser = water

Voor elektrolyse heb je een elektrolyt nodig, dit is een stof die stroom kan geleiden, in dit geval is dat water. In een vloeistof (water) kunnen de moleculen vrij bewegen. Bij stroomtoevoer kunnen de watermoleculen elektronen opnemen of afgeven, deze eigenschap maakt ze geschikt voor elektrolyse.

Elektronen zijn negatief geladen deeltjes. Een elektron wordt aangegeven als e^- . Als we zeggen dat er "stroom loopt", wil dat zeggen dat er elektronen lopen.

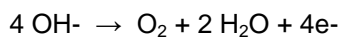
Bij stroomtoevoer wordt het water ontleedt in elektrisch geladen atomen, deze deeltjes heten ionen. De stroom loopt via twee elektroden. De elektrode aan minpool noemen we de kathode, de elektrode aan de pluspool noemen we de anode. De elektroden zijn van metaal om de stroom te kunnen geleiden en dienen een zo groot mogelijk oppervlak te hebben om zoveel mogelijk stroom (elektroden) te laten passeren.

Voor elektrolyse gebruik je gelijkstroombron. De kathode is negatief en de anode is positief. De positief geladen atomen noemen we Kationen, de negatief geladen atomen noemen we Anionen. Zodra we spanning op de elektroden zetten wordt de kathode negatief, hier ontstaat een overvloed aan elektronen. De anode wordt positief, hier ontstaat een tekort aan elektronen. De chemische reactie loopt als volgt: aan de kathode nemen twee watermoleculen twee elektronen op (links van de pijl in de onderstaande reactievergelijking.) De reactie die dan plaats vindt levert waterstof (H₂) en 2 hydroxide ionen (OH⁻)



Het waterstofgas komt dus vrij aan de kathode.

Aan de anode geven 4OH⁻ ionen hun lading af aan de anode. Hierbij ontstaan water en zuurstof. De reactievergelijking is als volgt.



Het zuurstofgas komt dus vrij aan de anode.

Opbouw van de brandstofcel op de auto

De brandstofcel en de tank zijn al aan elkaar verbonden met slangetjes. Plaats de tank en de brandstofcel op de auto zoals aangegeven op foto 1. Met de 'neus' van de auto links op de foto is de H₂ kant (zwarte aansluiting) van de brandstofcel zichtbaar.



Foto 1. Auto met brandstofcel en tank.

Meet en noteer nu eerst de waarde van h, b en d van de waterstof en zuurstof tank (zie blad 5)

Het vullen van de tank en de brandstofcel met gedistilleerd water

Alleen gedistilleerd water gebruiken voor het vullen van de tank. Bij gebruik van kraanwater of mineraalwater gaat de brandstofcel stuk!



Foto 2. Vullen van de tank

Neem de spuit en zuig deze vol met gedistilleerd water. Vul de tank door de water in een van de vuldoeningen de spuiten. Het water zakt langzaam, vul het weer bij tot de net onder de rand. Zie foto 2.

Ontluchten van het systeem.

Eerst ontluchten we de H₂ kant van de brandstofcel (zwarte aansluiting). Zie foto 3. Zorg dat de spuit leeg is en helemaal ingedrukt is. Haal het afsluitdopje van het korte slangetje en sluit de lege spuit hierop aan. Trek de spuit uit totdat er geen luchtbelletjes meer door het slangetje komen.

Knijp het slangetje tussen twee vingers dicht, maak de spuit los en druk het afsluitdopje terug in het slangetje van de brandstofcel. Spuit het water wat nu in de spuit zit weer terug in de tank.

Herhaal het ontluchten voor de O₂ kant van de brandstofcel rode aansluiting. Zie foto 4.



Foto 3. Ontluchten H₂ zijde



Foto 4. Ontluchten O₂ zijde

LET OP: zuig hierbij zoveel water uit het brandstofcel tot het nivo in de tank ca. 1 cm hoog staat. Als er meer water in staat zal de tank overlopen bij de productie van de gassen waterstof en zuurstof. Op foto 4 is dit goed te zien.

Productie van de brandstof (waterstof H₂ en zuurstof O₂) door middel van de elektrolyse van water.

Voor de productie van brandstof met de brandstofcel hebben we water en energie nodig. Als energiebron kunnen we gebruik maken van het zonnepaneel of de batterijvoeding. Als het bewolkt is en er geen direct zonlicht is maken we gebruik van de batterijvoeding.



Foto 5. Elektrolyse met batterij



Foto 6. Elektrolyse met zonnepaneel

Controleer of de batterijvoeding op OFF staat. Verbind de snoeren van de batterijvoeding of het zonnepaneel aan de brandstofcel. Foto 5 en 6, batterij of zonnepaneel als energiebron voor de elektrolyse. Meet de spanning en de stroom tijdens het de elektrolyse. Neem ook de tijd op van het proces.

Zodra het elektrolyse proces begint vullen de gevormde gassen H₂ en O₂ de binnenste tanks en drukken hierbij het aanwezig water eruit. Als gevolg hiervan zal het waterniveau in de buitenste tank stijgen. Als het water helemaal tot aan de rand staat is de brandstofproductie klaar.

Brandstofproduktietijd	seconden
Spanning: (U)	Volt
Stroom: (I)	Ampere

Beide tanks zijn nu gevuld met gas, een kleine en een grote gevuld met respectievelijk zuurstof O₂ en waterstof H₂. Bij elektrolyse van water ontleedt het water zich in een zuurstofmolecuul en twee waterstofmoleculen. Er wordt twee keer zoveel waterstofgas als zuurstofgas geproduceerd, daarom is de waterstoftank ook twee keer groter dan de zuurstoftank.

Opdracht:

Bepaal de hoeveelheid H₂ en O₂ die je hebt geproduceerd. Om dit te bepalen dien je de inhoud van de tanks te bepalen. Haal het deksel van de tank. Aan het deksel zijn twee cilinders gemonteerd. De grote cilinder is de H₂ tank en de kleine cilinder is de O₂ tank. De inhoud (V) of het volume van de tank bepaal je door het oppervlak te vermenigvuldigen met de hoogte van de tank.

$$V = A \times h \text{ (m}^3\text{)}$$

V = volume (inhoud) in m³ (kubieke meter)

A = oppervlak in m² (vierkante meter)

H = hoogte in m (meter)

Het oppervlak van een cirkel:

$$A_{\text{cirkel}} = \pi/4 \times d^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

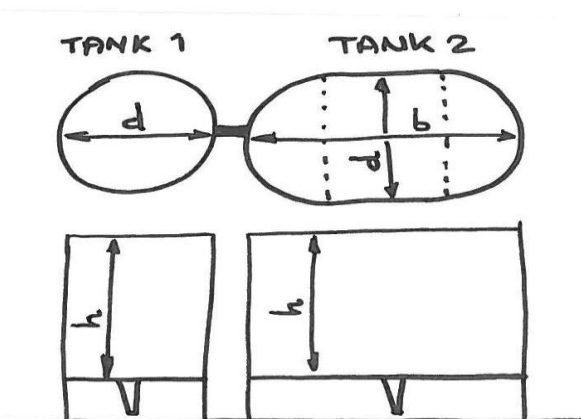
$\pi = 3,14$ (dit is de griekse letter pi en deze heeft een waarde van afgerond 3,14)

d = diameter van de cirkel (m)

Het oppervlak van een rechthoek:

$$A_{\text{rechthoek}} = l \times b \text{ (m}^2\text{)}$$

De grote tank kun je opdelen in twee halve cirkels en een rechthoek. Meet de waarden b, d en h. Bepaal de inhoud van de cirkel en de rechthoek en tel deze bij elkaar op. Figuur 2 geeft het boven- en zijaanzicht van de tanks.



Figuur 2. Tanks voor zuurstof en waterstof.

De inhoud van de kleine tank bepaal je door de inwendige diameter en hoogte te meten, het oppervlak uit te rekenen en vervolgens het volume.

Het volume van het gas willen we graag in milliliters (ml) weten.

$$1 \text{ liter} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ cm} &= 1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m} \\ 100 \text{ cm}^2 &= 1 \text{ dm}^2 = 0,01 \text{ m}^2 \\ 1000 \text{ 000 mm}^3 &= 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume tank 1. Zuurstof tank	MI
Volume tank 2. Waterstof tank	MI

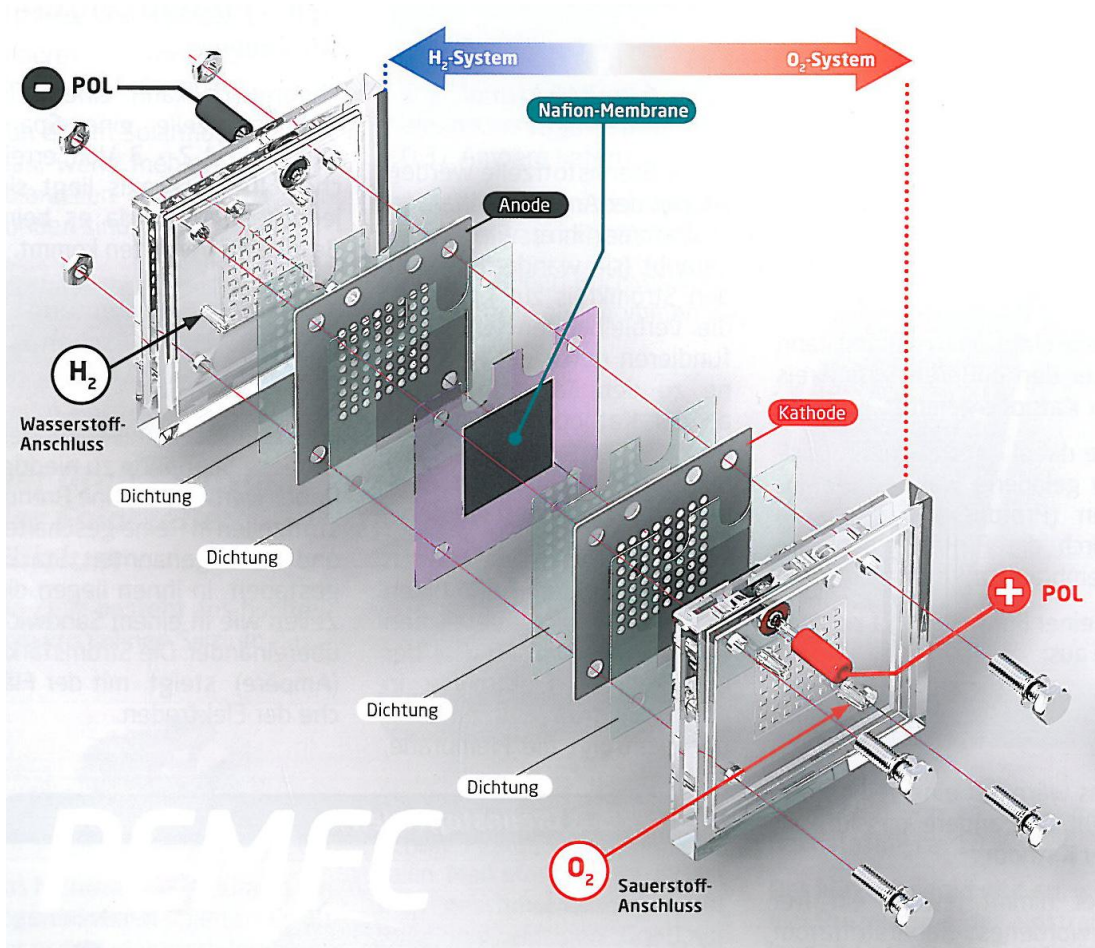
Waterstof heeft een energiedichtheid van ongeveer 10,8 J/ml. Dat wil zeggen dat in 1 ml waterstof 10,8J energie zit. Bereken de hoeveelheid energie die er in een tankvulling waterstof zit.

Energie in een tankvulling waterstof:	J (Joule)
---------------------------------------	-----------

2

De brandstofcel

- Achtergrondinformatie
- Energie uit de brandstofcel
- Rendement berekenen
- Brandstofcel in serie



Opbouw van een brandstofcel.

Bron: Kosmos Brennstoffzelle Experimentieranleitung

Wasserstoffanschluss = waterstofaansluiting

Sauerstoffanschluss = zuurstofaansluiting

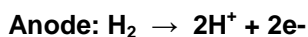
Dichtung = afdichting, pakking

Membrane = membraan

System = systeem

De brandstofcel genereert stroom door waterstof en zuurstof te gebruiken. De brandstofcel is een omgekeerde elektrolyse.

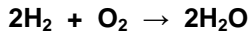
Aan de anode (minpool) wordt waterstof (H₂) toegevoerd. Het waterstof wordt aan de anode direct gesplitst in 2 waterstofatomen (H⁺) doordat het zijn elektronen afgeeft aan de anode. De 2 positief geladen waterstof-ionen (protonen) gaan door het membraan naar de kathode zijde. De reactievergelijking van dit proces is:



Aan de kathode wordt zuurstof toegevoerd. Elk zuurstofatoom neemt direct 2 elektronen op van de kathode en reageert dan met 2 positief geladen waterstof ionen die door het membraan gekomen zijn. Het product is een watermolecuul (H₂O). De reactie vergelijking van dit proces is:



De totale reactievergelijking is:



Dus aan de anodezijde geeft het waterstof zijn elektronen af aan de anode. Deze elektronen stromen naar de kathode. De ontstane protonen gaan door het membraan naar de zuurstof-ionen aan de kathode-zijde. De elektronen kunnen hier niet door het membraan. De zuurstof-ionen nemen daarom de elektronen van de anode op. Het stroomcircuit is gesloten en loopt stroom. Bij deze omgekeerde elektrolyse werkt het membraan als elektrolyt.

Theoretisch kan een PEM brandstofcel een spanning leveren van 1,2-3 Volt leveren. In de praktijk is dit meestal lager door verliezen die optreden. De bedrijfsspanning van de brandstofcel zal 0,6-0,9 Volt zijn.

Voor veel toepassingen is deze spanning te laag. De brandstofcellen worden dan in serie geschakeld om een hoger voltage te krijgen. Zo'n gestapelde serie brandstofcellen wordt een stack genoemd. De stroomsterkte is afhankelijk van de grootte van de elektrode.

Energie uit de brandstofcel

We gaan nu bepalen hoe lang de auto rijdt op de geproduceerde brandstof. Opnieuw gaan we ook de tijd, de spanning en de stroom meten.

Later kunnen we hieruit de hoeveelheid energie bepalen.

Plaats hiervoor de auto op de standaard. Gebruik 2 multimeters, een voor de stroom en 1 voor het meten van de spanning tijdens het rijden van de auto. Meet de tijd hoe lang het duurt voordat de brandstof op is.

Tijd tot tanks leeg zijn: (t)	seconden
Spanning: (U)	Volt
Stroom: (I)	Ampere

Vergelijk nu de energie die het gekost heeft om de brandstof te produceren en hoeveel energie er verbruikt is bij het rijden met de auto.



De hoeveelheid energie die je erin hebt gestopt om de brandstof te maken is groter dan de hoeveelheid energie die je ter beschikking hebt voor het laten rijden van de auto. Dit betekent dat er ergens energie verloren gaat in het proces van brandstof maken naar het rijden met de auto. Deze verliezen drukken we uit met de term rendement. Voor rendement gebruiken we de Griekse letter η . Als er geen verliezen optreden is het rendement 100%. In de praktijk zijn er altijd verliezen. Het rendement kun je op volgende wijze berekenen:

Rendement: $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \text{ (%)}$

E_{nuttig} = de energie die je ter beschikking hebt (om bijvoorbeeld de auto te laten rijden)

E_{in} = de energie die je erin stopt (batterij energie voor de elektrolyse)

Vermogen $P=U \times I$ (Watt)

Spanning (U) in Volt (V)

Stroom (I) in Ampere (A)

Vermogen (P) in Watt (W), Watt = Joule per seconde ($W=J/s$)

Energie (E) in Joule (J)

Tijd (t) in seconden (s)

Opdracht:

Bereken het rendement van het proces van elektrolyse tot brandstofcel.

Je hebt gemeten hoeveel energie je er in hebt gestopt tijdens de elektrolyse en hoeveel energie er uit de brandstofcel kwam voor de elektromotor van de modelauto.

Rendement η	%
------------------	---

Het rendement zegt iets over de mate van energieverlies tijdens het proces. Geef in de onderstaande ruimte aan waar en hoe jij denkt dat mogelijk energieverlies optreedt.

Brandstofcel in serie

Een enkele brandstofcel heeft in de praktijk een spanning van 0,6-0,9 Volt. Dat is een lage spanning waar niet veel toepassingen voor zijn. Een hogere spanning kan verkregen worden door de enkele cellen in serie te plaatsen, een zogenaamde 'stack' (stapel).

Voor de stroom en spanning in een serieschakeling geldt:

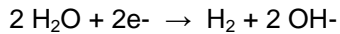
$$U_{\text{serie}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

$$I_{\text{serie}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

(n is het aantal brandstofcellen)

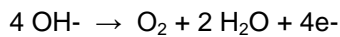
Elektrolyse van water is het ontleden van water (H_2O) in zijn componenten waterstof (H_2) en zuurstof (O_2) met behulp van een elektrische stroom.

De volgende reacties vinden plaats:



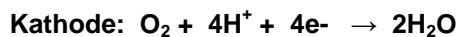
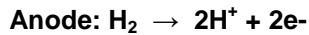
Het waterstofgas komt vrij aan de kathode.

.

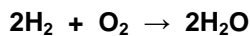


Het zuurstofgas komt vrij aan de anode.

De brandstofcel genereert stroom door waterstof en zuurstof te gebruiken. De brandstofcel is een omgekeerde elektrolyse. De volgende reacties vinden plaats:



De totale reactievergelijking is:



We hebben brandstof geproduceerd en bepaald hoeveel energie dit kostte.

We hebben brandstof verbruikt en bepaald hoeveel energie de brandstof leverde.

Bij het vergelijken van deze energieën blijkt dat er energie verloren gaat.

Vermogen $P=U \times I$ (Watt)

Energie $E = P \times t$ (Joule)

$$\text{Rendement: } \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \times 100\% \text{ (\%)}$$

E_{nuttig} = de energie die je ter beschikking hebt (om bijvoorbeeld de auto te laten rijden)

E_{in} = de energie die je erin stopt (batterij energie voor de elektrolyse)

► Beoordeling ◀

Modelauto met brandstofcel	Rubrieken ^{*)} :											Resultaat:	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Niet oke OKE
	Feedback:											Datum:	
	<hr/> <hr/> <hr/>											<input type="text"/>	

^{*)} Rubrieken: 1. Vakinhoudelijke kennis en vaardigheden; 2. Technische vaardigheden; 3. Exact; 4. Kwaliteit en zorgvuldigheid; 5. Communicatie; 6. Sociale vaardigheid; 7. Initiatief nemen; 8. Plannen en organiseren; 9. Ondernemerschap; 10. Verantwoordelijkheid; 11. Zelfstandigheid; 12. Transfer vaardigheid