



# Nanotechnologie voor klas 3



## Grätzel cellen in de klas

Responsible Research and Innovation [www.irresistible-project.eu](http://www.irresistible-project.eu)





Colophon



IRRESISTIBLE is a project on teacher training, combining formal and informal learning focused on Responsible Research and Innovation. It is a coordination and support action under FP7-SCIENCE-IN-SOCIETY-2013-1, ACTOVITY 5.2.2. Young people and science: Topic SiS.2013.2.2.1-1 Raising youth awareness to Responsible Research and Innovation through Inquiry Based Science Education. The project IRRESISTIBLE is funded by the EU as FP-7 project number 612367

[www.irresistible-project.eu](http://www.irresistible-project.eu)

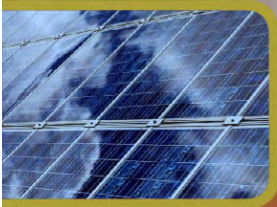
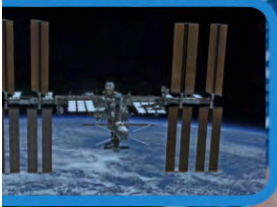
Coordinator: [j.h.apotheker@rug.nl](mailto:j.h.apotheker@rug.nl)





Zonnecellen

Jouw  
Energie  
van Morgen



# Fotovoltaïsche cellen op basis van perovskiet

*"Onder welke voorwaarden, zouden wij  
(de leerlingen) ermee instemmen om  
fotovoltaïsche cellen op basis van  
perovskiet te laten plaatsen op de  
ramen van onze school?"*

Oorspronkelijke bewerking: Weizmann Wetenschappelijk Instituut, Rehovot Israël

Nederlandse bewerking; Jan Apotheker, Science LinX, Rijksuniversiteit Groningen

Deze module is bedoeld voor de derde klas van het voortgezet onderwijs.

Kernwoorden: energie, zonnecellen, wetenschap maatschappij



# 1. Nanotechnologie

8

wat is nanotechnologie

# 2. Responsible Research and Innovation

15

# 3. De tentoon- stelling

28

1

# Nano- technologie



# Inleiding

**De titel van deze activiteit is nanotechnologie.**

**Eigenlijk is die titel een beetje misleidend, want het gaat meer om een specifieke toepassing van nanotechnologie dan om de technologie zelf.**

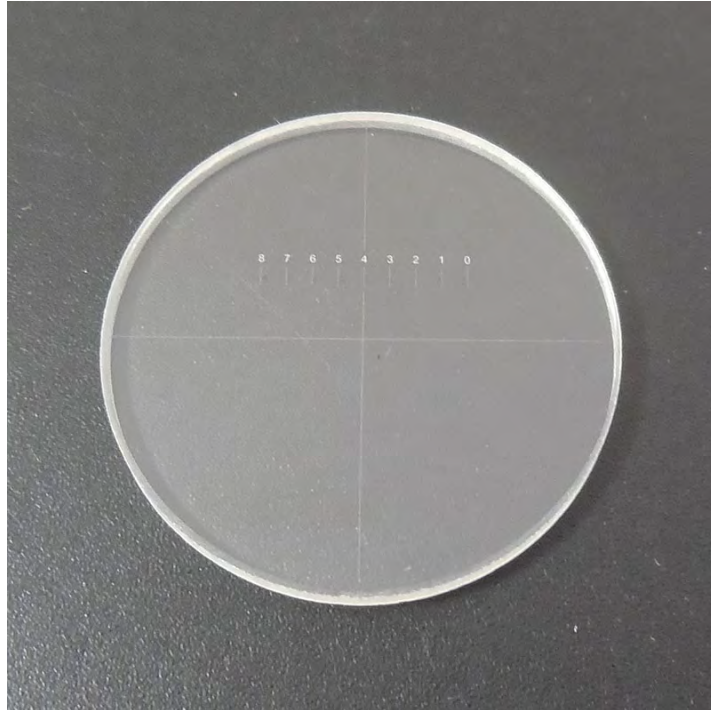
**Eerst maar iets over nanotechnologie. Waar gaat dat over?**

**Over technologie natuurlijk, maar wat betekent die nano.**

**Nano is een aanduiding voor een schaal, de nanometer. Het gaat om technologie, op een schaal van 1 tot 100 nanometer. Dat is heel klein.**

De indeling van je geodriehoek is in millimeters. Met een beetje goede wil kan je de grootte van iets afschatten op 0,1 mm. Dat is 100  $\mu\text{m}$  (micrometer).

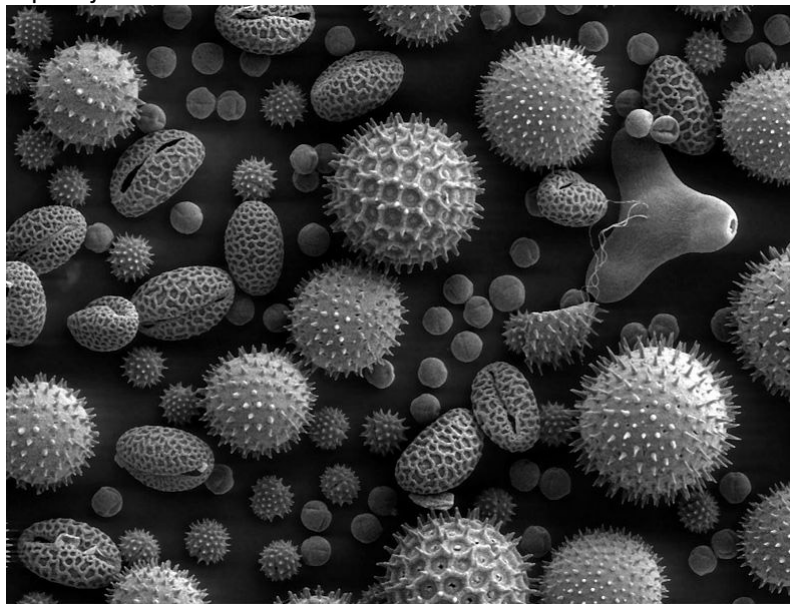
1  $\mu\text{m}$  kan je nog net zien onder een microscoop. Hieronder zie je een plaatje zoals je dat door een microscoop zou zien.



*figuur 1. Plaatje microscoop*

Een nanometer is nog 1000 keer zo klein. Je nagels groeien ongeveer 1 nanometer per seconde.

Iets met die grootte is niet zomaar zichtbaar te maken. Daar zijn speciale apparaten voor nodig. Je krijgt dan een plaatje zoals hieronder:



*Figuur 2. Plaatje electronenmicroscoop*

Het is niet zo makkelijk je precies voor te stellen hoe groot een nanometer precies is.

Om een beeld te krijgen van de schaal kan je een video bekijken, dat al in 1977 is ontwikkeld: <https://vimeo.com/75568649>.

voorwerp	afmeting
Een tennisbal heeft een doorsnede van ongeveer	6 cm.
De plug van je koptelefoonaansluiting is ongeveer 10 keer zo klein,	3.5 mm
Vislijn 14/100 heeft een dikte van	140 $\mu\text{m}$
Een haar is tussen de	60 en 120 $\mu\text{m}$
Aluminiumfolie is ongeveer,	12 $\mu\text{m}$ dik
een bloedcel ongeveer	7 $\mu\text{m}$
de grootte van ultrafijnstof is ongeveer	100 nanometer
Een celmembraan is ongeveer	10 nm dik.
DNA heeft een doorsnede van ongeveer	3 nm
Atomen hebben een afmeting in de orde van	0.1 nanometer

Zichtbaar licht heeft een golflengte tussen de 400 en 800 nanometer. Iets wat kleiner is dan 400 nanometer kan je dan ook niet meer zien, want dat weerkaatst geen licht. Om toch een beeld te krijgen van deeltjes die kleiner zijn wordt onder andere gebruik gemaakt van een 'Atomic Force Meter'. Daarmee kan je deeltjes tot een schaal van ongeveer 10 nanometer zichtbaar maken. Een AFM bestaat uit een kleine naald, die aangetrokken wordt door het oppervlak van een stof. Door de naald over het oppervlak te trekken krijg je een beeld van het oppervlak van een stof.

### Grätzel cellen

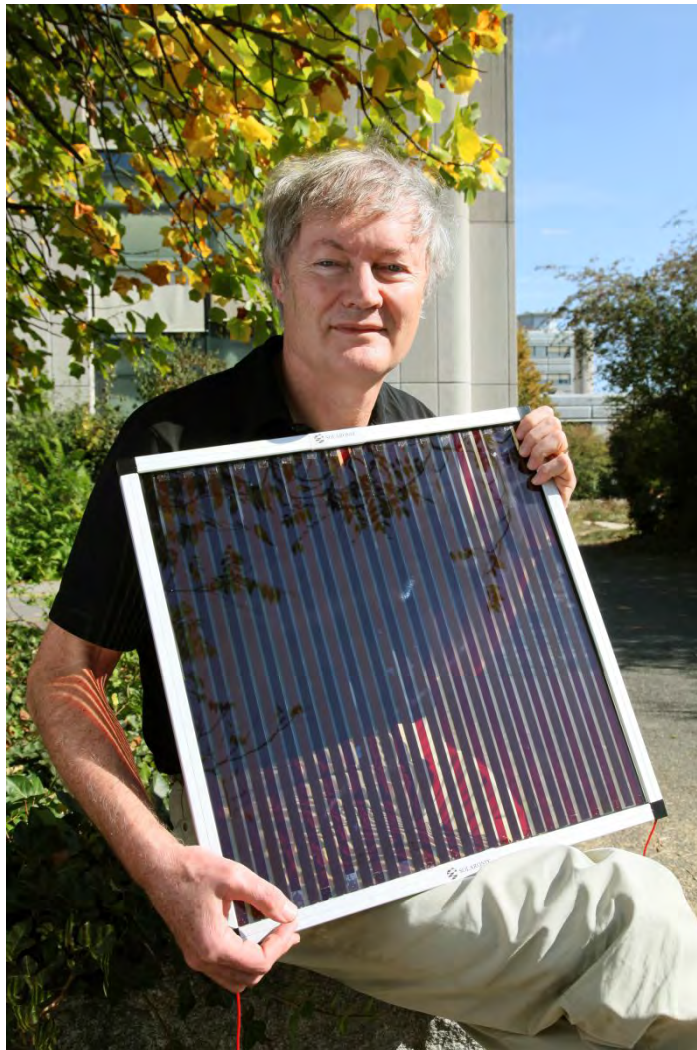
Jullie gaan je uiteindelijk bezighouden met zonnecellen. Zonnecellen zijn instrumenten die zonlicht (lichtenergie) omzetten in elektrische stroom (elektrische energie). Daar heb je verschillende soorten van. Je hebt de normale, die ook op een huis kunnen staan, gemaakt van silicium (zie figuur 3). Tegenwoordig heb je ook andere, die werken met een kleurstof. Dat zijn Grätzel cellen. Deze cellen zijn ontwikkeld door Michael Grätzel (figuur 4.) en zijn doorzichtig. De gewone cellen worden meestal op een dak geplaatst. De werking van zonnecellen wordt in dit filmpje goed uitgelegd: <https://youtu.be/7Bl2Wp8dkmU>

### Discoverytruck

De volgende les komt de Discovery truck op bezoek, met als thema 'jouw energie van morgen'. De bedoeling is dat een deel van de klas Grätzel cellen gaat maken en een ander deel kijkt naar 'jouw energie in 2030' (zie figuur 5)



*figuur 3. Plaatsing zonnepanelen op een dak(website nuon)*



*figuur 4. Michael Grätzel en een Dye Sensitized Solar Cell.(website Gratzel)*





figuur 5. Titelbladen modules van de discovery truck



## Samenvatting hoofdstuk 1-

### Nano-technologie

Nanotechnologie heft te maken met deeltjes die tussen de 10 en 100 nanometer groot zijn.

Met behulp van een 'Atomic force Meter' zijn deze zichtbaar te maken

Er zijn twee soorten zonnecellen, de normale zonnecellen en nieuw ontwikkelde Grätzel of Dye sensitized Solar Cells, welke doorzichtig zijn.

2

# Responsible Research and Innovation



# Responsible Research and Innovation

## Verantwoord onderzoek en innovatie

Veel mensen hebben bij wetenschap en innovatie een beeld van activiteiten die gedaan worden door slimme mensen, ver weg bij universiteiten en bedrijven. Het lijkt soms dat wetenschappelijk onderzoek niet goed aansluit bij wat belangrijk is voor de maatschappij en dat 'gewone mensen' er geen invloed op hebben. De Europese Unie heeft de term "Responsible Research and Innovation" (RRI) in het leven geroepen om te bereiken dat burgers beter met wetenschappers en bedrijfsleven praten. Zo wordt de maatschappij meer betrokken bij wetenschappelijk onderzoek en innovatie.



Een flink deel van het wetenschappelijk onderzoek wordt door belasting geld betaald. Mensen willen daar graag iets van terugzien. Waar gaat dat geld heen? Wat wordt er onderzocht en wat niet? De EU en andere overheden hebben speerpunten geformuleerd: wetenschappelijke onderwerpen waar de maatschappij baat bij heeft als zij onderzocht worden. Deze onderwerpen worden samen met allerlei maatschappelijke organisaties bepaald, om de uitkomsten van wetenschappelijk onderzoek beter aan te laten sluiten bij de wensen van de maatschappij. Daarnaast wordt er ook naar innovaties gekeken. Je kunt veel verbeteringen van het huidige leven (innovaties) bedenken, maar zijn die wel allemaal nuttig? Hebben we daar als maatschappij wat aan?

Moet je alles wat kan ook echt doen? Dit is waar Responsible Research and Innovation over gaat: bij alle wetenschappelijke ontdekkingen en innovaties moeten de mensen die ermee bezig zijn dit op een verantwoordelijke manier doen.

## RRI HEEFT ZES ONDERDELEN

### 1. Engagement-betrokkenheid:



Onderzoekers, industrie, beleidsmakers en burgers moeten met elkaar samenwerken in het proces van onderzoek en innovatie. Zo kunnen sociale, economische en ethische belangen van alle groepen worden meegenomen, zodat gezamenlijke oplossingen voor maatschappelijke problemen kunnen worden gevonden.

De Europese Unie, de Verenigde Naties en andere overheidsorganen hebben een aantal 'Grand Challenges' (grote uitdagingen) van de huidige maatschappij geïdentificeerd, waar de wetenschap antwoord op zou kunnen gaan geven. Deze uitdagingen zijn wereldwijde problemen als schoon drinkwater, goede voedselproductie, armoede, honger en klimaatverandering, en aspecten die meer gericht zijn op de westerse maatschappij als gezond oud worden, internetveiligheid, en duurzaam transport. Ook goed onderwijs en vermindering van kindersterfte staan op deze lijstjes.

In Nederland heeft de overheid in november 2014 de 'Wetenschapsvisie 2025' opgesteld, waarin de uitdagingen voor de Nederlandse maatschappij genoemd worden. Dit zijn: kwaliteit van leven, circulaire economie, veerkrachtige samenleving, bouwstenen van het leven,

complexiteit: omgaan met onvoorspelbaarheid en big data. Voor de maatschappij is het belangrijk dat juist deze problemen opgelost worden met wetenschappelijk onderzoek en innovatie, door betrokken onderzoekers.

## 2. Gender equality-gelijkheid



Mannen en vrouwen moeten evenveel betrokken worden in onderzoek en innovatie; het volledige potentieel van de bevolking moet worden gebruikt. In Nederland was in 2011 al meer dan de helft van de afgestudeerden aan een universiteit vrouw, maar nog geen 15% van de hoogleraren is een vrouw (Monitor Vrouwelijke Hoogleraren, 2012). Wanneer er over een 'professor' of 'hoogleraar' wordt gesproken, denkt men voornamelijk aan mannen (zoek maar eens in Google Images naar 'wetenschapper' of 'scientist'). Dit bleek ook uit de eerder genoemde Wetenschapsvisie 2025, waarin op een pagina met foto's van Nederlandse topwetenschappers alleen maar mannen te zien waren (NRC, 2 dec 2014). Ook topfuncties in het bedrijfsleven worden voornamelijk nog bekleed door mannen (NRC, 4 sept 2014).

Maar ook in andere beroepen, zoals zorg, kinderopvang of techniek, moet gender geen bepalende rol zijn om iemand wel of niet aan te nemen. Zonder duwtje in de rug, denkt de EU, zal het (te) lang duren voor dit verandert, en daarom is dit belangrijk voor Responsible Research and Innovation.

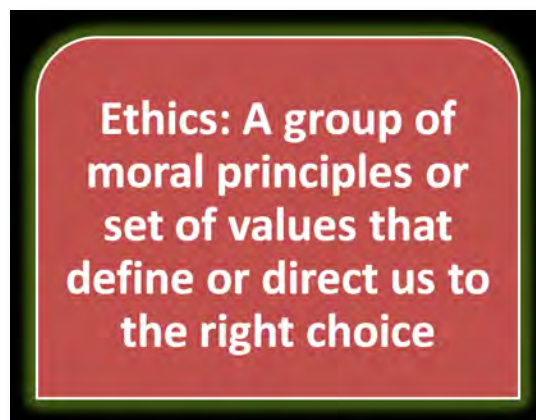


Veel resultaten van onderzoek (gepubliceerd in wetenschappelijke artikelen) zijn alleen te verkrijgen via een abonnement op een wetenschappelijk tijdschrift. Universiteiten hebben deze vaak wel, maar, vindt de EU, ook burgers moeten gratis toegang hebben tot wetenschappelijke resultaten, zodat ze mee kunnen praten over de resultaten van onderzoek.

Hier gaat verandering in komen. In Nederland zal in 2024 al het door de overheid gefinancierde onderzoek gepubliceerd moeten worden in zogenaamde open access tijdschriften, die voor iedereen met een internetverbinding te lezen zijn, zodat ook burgers kunnen profiteren van de uitkomsten van dat onderzoek.

In Europa en de VS hebben de meeste universiteiten wel abonnementen op tijdschriften, maar voor universiteiten in ontwikkelingslanden ligt dat anders. Wetenschappers in die gebieden hebben daardoor minder goed toegang tot de nieuwste ontdekkingen. Voor Responsible Research and Innovation waar iedereen aan mee kan doen is open access dus ontzettend belangrijk.

## 5. Ethics-ethiek



Mensen en dieren hebben fundamentele rechten, en onderzoek en innovatie moet deze rechten respecteren. Daarom moet wetenschappelijk onderzoek relevant en acceptabel zijn voor de maatschappij, en niet de fundamentele rechten van mensen en dieren schenden.

Wetenschap en nieuwe innovaties moeten helpen om maatschappelijke problemen op te lossen. Maar dit moet wel op een verantwoorde manier gebeuren. Je kunt niet zomaar overal een fabriek neerzetten om nuttige dingen te produceren, als deze fabriek vervuילend is en mensen die er in de buurt wonen ziek worden. Dit gebeurde bijvoorbeeld in India in 1984, waar een gaslek in de stad Bhopal voor duizenden doden zorgde, wereldwijd de grootste industriële ramp ooit. Maar ook dichterbij gebeuren dergelijke dingen, bijvoorbeeld in de Volgermeer polder (bij Amsterdam) is jarenlang giftig vuil gestort, en dit is nu de meest vervuilde locatie van Nederland.

Ook dierproeven zijn niet zomaar altijd toegestaan, onderzoekers moeten daarvoor goed kunnen verantwoorden waarom er dieren nodig zijn voor hun onderzoek. Voor verantwoord onderzoek en innovatie moet dus nagedacht worden wat de gevolgen (kunnen) zijn van de uitkomsten en of het proces de rechten van burgers en dieren niet schaadt.

## 6. Governance-bestuur



Beleidsmakers en politici hebben de verantwoordelijkheid om te overzien dat er geen schadelijke of onethische dingen gebeuren bij onderzoek en innovatie, en als dat wel gebeurt om in te grijpen. Dit zal worden bereikt doordat overheden, zoals de EU, de VN en de Nederlandse overheid in haar Wetenschapsvisie 2025, nadenken over de wetenschappelijk doelen van dat land of regio. De Nationale Wetenschapsagenda die 2015 in Nederland moet worden opgesteld is hier een voorbeeld van. Voor deze Wetenschapsagenda zullen Nederlandse wetenschappers samen met ondernemers, maatschappelijke organisaties, betrokken burgers en de overheid om tafel zitten om thema's te formuleren die belangrijk zijn voor onze samenleving. Deze thema's zullen lijken op de Grand Challenges van de EU, maar wat meer gericht op de Nederlandse maatschappij, en op waar Nederlandse wetenschappers goed in zijn (zie ook bij punt 1.).

Het is niet de bedoeling dat burgers gaan bepalen wat wetenschappers moeten doen, maar zij zullen er via organisaties wel meer invloed op moeten gaan krijgen dan het geval was.



Een voorbeeld waar het mis ging.



Lood is een zilverachtig metaal met een lichte blauwglas. Het is zacht en goed te gebruiken voor lassen en solderen. Het is smeedbaar en kan een in dun laagje gevormd worden door te rollen of erop te slaan. Als het in contact komt met lucht krijgt het een doffe aanslag door een complexe mix van stoffen. Het wordt tegenwoordig nog veel gebruikt bij daken, om een waterdichte overgang te creëren.

Lood-isotopen zijn eindproducten van het radioactieve verval van elementen zoals Uranium (U), Radium (Ra), Polonium (Po), en Thorium (Th). Lood kan ioniserende straling blokkeren.

Lood wordt normaal gesproken niet in pure vorm gevonden in de natuur. Het was wel een van de eerste metalen die door de mens gemaakt werden. Het meest gangbare looderts is galena.





Het verhitten van galena samen met koolstof levert uiteindelijk lood op.

Het huidige gebruik van lood, in accu's, daken, als gewicht bij duiken en vissen, houdt rekening met de giftigheid van lood. Lood is een zwaar metaal. Als het in je voedsel komt en het komt in je lichaam hoopt het zich op en kun je er uiteindelijk ziek van worden. Het hoopt zich op in je hersenen onder andere.

Dat was in het verleden wel anders.



In de Romeinse tijd werd allerlei eetgerei gemaakt van lood. Tot zo'n 70 jaar geleden werd lood nog gebruikt voor waterleidingen.



In de Romeinse tijd werd onder nadere wijn gekookt in loden pannen. Daarbij ontstaat loodacetaat. Dat is een conserveermiddel voor wijn en heeft een zoete smaak. Het is natuurlijk wel giftig.

Pedanius Dioscorides was een Griekse arts die waarschuwde voor de giftigheid van lood (in de tijd van keizer Nero).



In de verf industrie werd loodwit veel gebruikt. Sinds 1892 werden kinderen in Australië bijvoorbeeld blootgesteld aan een omgeving waarin lood gebruikt werd.

**Benjamin Franklin, Amerikaanse politicus en wetenschapper, schreef een brief aan een vriend in 1786:** *“Toen ik in Paris was met Sir John Pringle in 1767, bezocht hij La Charite, een ziekenhuis beroemd voor het genezen van gektes, en hij nam een pamflet mee met een lijst van namen en beroepen van personen die daar behandeld werden. Ik was nieuwsgierig genoeg om de lijst te bekijken, en zag dat **alle patiënten een beroep hadden waarin ze op één of andere manier met lood te maken hadden**; zoals loodgieters, glaszetters, schilders enzovoorts, maar ook steenhouwers en soldaten. Die laatste twee kon ik niet koppelen aan mijn idee dat lood de oorzaak zou kunnen zijn van deze ziekte. Maar een arts van dat ziekenhuis informeerde me dat steenhouwers vaak gesmolten lood gebruiken om hun balustrades af te maken, en dat de soldaten ooit als schilders gewerkt hadden.”*

In plaats van maatregelen reageert de verfindustrie in de VS zoals hieronder:



Het duurt het tot 1978 voordat in de VS lood verboden wordt in verf.

In 1854 ontdekte een Duitse chemicus een molecuul genaamd tetra-ethyl-lood (TEL). Het molecuul werd niet commercieel gebruikt omdat het giftig was: het gebruik ervan resulteerde in moeilijkheden bij de ademhaling, hallucinaties, gekte, verstikking en dood.

67 jaar later, in 1921, ontdekte Thomas Midgley, een jonge technicus van General Motors (GM) dat TEL een effectief middel is om “kloppen” in verbrandingsmotoren te reduceren. Twee jaar kwam hij met de mededeling dat het werk met dit spul zijn longen had beschadigd, en dat GM zou moeten stoppen met TEL.

Maar desalniettemin begon GM in 1923 (samen met Standard Oil) met het produceren van benzine met TEL. Thomas Midgley werd vicepresident van GM.

Ook hier duurt het tot 2007 voordat het gebruik van lood in benzine in de meeste landen verboden werd.



## Opdracht 2-Responsible Research and Innovation

Hoe zouden de ideeën van RRI het verhaal van lood hebben kunnen beïnvloeden?

Ken je andere voorbeelden van ontwikkelingen, die anders zouden zijn verlopen onder invloed van de ideeën van RRI?





## Samenvatting 2-Responsible Research and Innovation

Het begrip RRI omvat zes sleutelbegrippen:

Betrokkenheid, gelijkheid, natuurwetenschappelijk onderwijs, ethiek, open access en verantwoord leiding geven.

3

# De tentoon- stelling



# De tentoonstelling

**In het kader van duurzaamheid wil de school de ramen vervangen door Perovskit zonnecellen. Aan jullie de vraag of je het daarmee eens bent of niet.**

**De school wil graag een tentoonstelling laten maken door jullie, waar zowel informatie wordt gegeven over de techniek van dat soort zonnecellen, als over de RRI aspecten van die zonnecellen. Op basis van die tentoonstelling moeten meer mensen zich een mening kunnen vormen.**

Jullie verdelen je in groepjes van drie of 4 en gaan eerst informatie verzamelen. Uiteindelijk krijgen jullie als klas de beschikking over een Kallax kast van Ikea, waarin de tentoonstelling wordt opgebouwd:



Je begint met een powerpoint te maken met een eerste schets van je tentoonstelling over de techniek van de zonnecel. Bespreek de schetsen met elkaar. Daarvoor heb je met de klas afgesproken welk onderdeel van de zonnecel, dan wel de energie van morgen je daarvoor gebruikt.

Stel jezelf als groep de volgende vragen:

1. wat wil ik precies laten zien?
2. waarom zouden de bezoekers van de tentoonstelling dit willen weten?
3. is het voldoende duidelijk?
4. is er voldoende samenhang tussen de onderdelen?

Daaraan gekoppeld maak je een tweede onderdeel waarin je duidelijk maakt hoe RRI-aspecten hieraan gekoppeld zijn, met weer dezelfde vragen

Uiteindelijk ga je de exhibit ook bouwen, met in je achterhoofd het idee, dat iemand die de kast bekijkt uitgedaagd wordt zelf een mening te vormen over de toepassing van zonnecellen in de ramen van de school

Bouw de tentoonstelling/ vul de kast met het materiaal en laat hem zien aan medeleerlingen en ouders, docenten.

Ga na hoe die op de tentoonstelling reageren, doe een klein onderzoekje.

Uiteindelijk schrijf je een verslag, waarin je aan de hand van foto's je tentoonstellingsobject beschrijft, samen met de reacties van de leerlingen/ ouders daarop.

### Mogelijke bronnen

Hieronder staan een aantal bronnen die je kan gebruiken:

1. Alternatieve energie

<http://www.alternatieve-energie-info.nl>

2. Een video waarin de werking van photovoltaic cells wordt uitgelegd

<https://youtu.be/7Bl2Wp8dkmU>

3. Het onderzoek naar perovskite zonnecellen van Wim Sinke en Albert Polman

<https://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/perovskiet-zonnecellen-heilige-graal-of-hype/>

4. De chemische eigenschappen van lood

[https://nl.wikipedia.org/wiki/Lood\\_\(element\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lood_(element))

5. Toxicologie van lood

<http://www.chemischefeitelijkheden.nl/Uploads/Magazines/h004.pdf>

Andere bronnen

<https://youtu.be/tl5nu5bPEuY>

<https://youtu.be/CUJ4F5oUr1o>

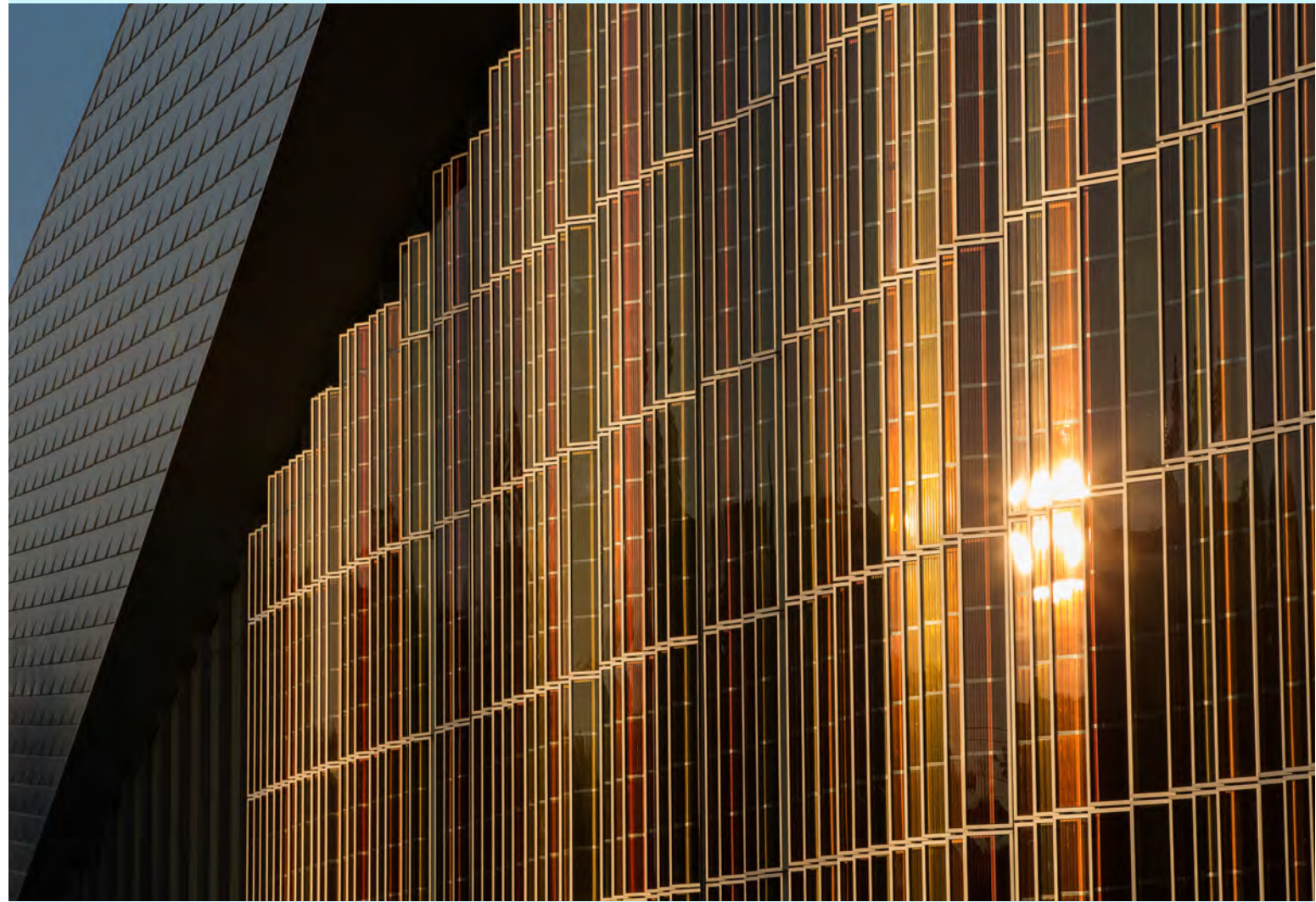
<https://youtu.be/xN51iJcYNZk>

<http://www.verbouwkosten.com/doorzichtige-zonnepanelen/>

<http://www.praktischduurzaam.nl/zonnepanelen-van-de-toekomst/>

<http://www.sirius-solar.com/transparante-zonnepanelen/>





By SwissTech Convention Center, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48342711>