

Wat versta jij onder duurzaam?

Een onderzoek naar de invloed van gerichte instructies op de implementatie van duurzaamheid in de programma's van eisen van brugklas Technasiumleerlingen.



Naam student: Ward Brouwers

Studentnummer: 4954351

Opleiding: Master Science Education & Communication

Startdatum onderzoek: 21 februari 2025

Datum verdediging: 29 augustus 2025

Onderzoeksbegeleider: Jeanna de Haan-Topolscak

Thesis comité: Hanno van Keulen,
Anna Hotze,
Jeroen Spandaw,
Stefan Persaud

Voorwoord

Mijn naam is Ward Brouwers. Nadat ik in augustus 2023 mijn Bachelor of Science in Werktuigbouwkunde behaalde aan de TU Delft, besloot ik het roer om te gooien. Sinds het einde van de brugklas had ik een bijbaan op mijn voormalig middelbare school (havo/vwo) gelegen in midden Nederland. Ik begon als theatertechnieker, maar breidde al snel mijn werkveld uit naar de facilitaire dienst en ICT. Ik merkte dat het aansturen en samenwerken met leerlingen mij erg veel energie gaf. Ik heb deze werkzaamheden tijdens mijn bacheloropleiding voortgezet en toen ik mijn keuze moest maken voor de master, besloot ik: ik word docent! Ik ben daartoe in Delft de Master Science Education and Communication gestart, met een specialisatie in de vakken wiskunde (tweedegraads) en Onderzoek & Ontwerpen (eerstegraads). Inmiddels ben ik tot het punt gekomen waarop ik alle stages, (keuze)vakken en bijbehorende opdrachten heb afgerond. Wat nu nog rest is het afstudeeronderzoek, oftewel de master thesis.

Deze master thesis onderzoekt de interpretatie van het containerbegrip ‘duurzaamheid’ onder brugklasleerlingen binnen het Technasiumonderwijs. Eén van de veelvoorkomende thema’s binnen dit type onderwijs is het Programma van Eisen (PvE). Dit is een document waarin de opdrachtnemers (in dit geval de leerlingen) samen met de opdrachtgever(s) alle eisen en wensen vastleggen ten aanzien van het te ontwerpen product of dienst. Duurzaamheid is hierin een steeds vaker terugkomend thema, maar dat door de vele interpretaties ervan lastig concreet te maken is. Zo denkt de één bij duurzaamheid bijvoorbeeld aan het plaatsen van zonnepanelen, maar bekritiseert de ander juist weer het gebruik van schaarse materialen voor de productie daarvan.

Dit onderzoek richt zich op hoe brugklasleerlingen anno 2025 duurzaamheid interpreteren en in welke volgorde een instructie over duurzaamheid en het PvE het beste gegeven kan worden, zodat duurzaamheid in haar breedste vorm zo min mogelijk als een containerbegrip wordt ingezet.

Graag wil ik Jeanna de Haan-Topolscak bedanken voor al haar bijdragen in welke vorm dan ook: van constructieve feedback tot gezelligheid en het zijn van een vraagbaak. Ook wil ik Tim Favier van de Universiteit Utrecht bedanken voor zijn inspirerende collegereeks over duurzaamheidseducatie, waaruit ik veel informatie heb gehaald ter voorbereiding op dit onderzoek. Verder wil ik Stefan Persaud en Anna Hotze bedanken voor de support en tips die geholpen hebben bij het opstellen en uitvoeren van dit onderzoek. Daarnaast ben ik Jan van Turnhout zeer dankbaar voor het volledig doorlezen van mijn onderzoek, met in het bijzonder zijn scherpe blik op de inhoudelijke samenhang en academische stijl. Tot slot wil ik ook mijn collega’s en leidinggevende op de school bedanken voor al hun bijdragen en het daar mogen uitvoeren van mijn onderzoek. Zonder hen had ik deze gegevens niet kunnen verzamelen.

Ward Brouwers, Delft, 29 augustus 2025

Samenvatting

Onderzoek & Ontwerpen (O&O) is een vak binnen het Nederlandse Technasiumonderwijs waarin leerlingen in teamverband werken aan realistische onderzoeks- en ontwerp-vraagstukken uit de praktijk. Duurzaamheid speelt binnen deze projecten een steeds grotere rol (VO Raad, 2025), maar is voor veel leerlingen een vaag begrip dat zij moeilijk kunnen vertalen naar concrete ontwerpcriteria (Wals, 2018). Een cruciaal moment om duurzaamheid effectief te verankeren in het ontwerpproces is bij het opstellen van het PvE, waarin leerlingen vastleggen aan welke eisen en wensen hun ontwerp moet voldoen. Dit onderzoek richt zich op hoe brugklasleerlingen duurzaamheid interpreteren en hoe gerichte instructies vanuit de docent bijdragen aan hun begrip en de toepassing van duurzaamheid in het PvE.

Dit onderzoek bestaat uit twee fasen. In de eerste fase is met behulp van een schriftelijke vragenlijst onderzocht hoe leerlingen duurzaamheid interpreteren. Daaruit blijkt dat leerlingen vooral de ecologische aspecten (zoals materiaalgebruik en recycling) benadrukken, terwijl de sociale en economische dimensies nauwelijks worden genoemd. Hier is sprake van een concept map die nog in ontwikkeling is. In de tweede fase zijn PvE's geanalyseerd die door leerlingen zijn opgesteld zonder voorafgaande instructie over duurzaamheid of het PvE-concept. Deze analyse toont aan dat de aandacht voor duurzaamheid beperkt en eenzijdig is, waarin vooral algemene formuleringen en containerbegrippen voorkomen. In het verlengde daarvan volgde een interventiestudie waarin twee klassen instructie kregen over duurzaamheid en het PvE, zij het in wisselende volgorde. De inhoud, spreiding en formulering van duurzaamheidseisen in opeenvolgende PvE-versies zijn geanalyseerd aan de hand van de Sustainable Development Goals (SDG's) en de drie P's (People, Planet, Profit).

De resultaten laten zien dat expliciete instructie over duurzaamheid voor het PvE leidt tot een toename in het aantal en de spreiding van duurzaamheidseisen in het PvE die gekoppeld kunnen worden aan de SDG's. Ook laten de resultaten zien dat leerlingen van nature vooral focussen op de ecologische pijler *Planet*, maar wanneer er explicieter gevraagd wordt naar de andere twee, geven zij aan ook de sociale (*People*) en economische (*Profit*) dimensies belangrijk te vinden. Op basis van twee belangrijke inzichten uit dit onderzoek wordt aanbevolen om duurzaamheid structureler en explicieter in het Technasiumonderwijs te integreren alvorens aan het vormen van het PvE gestart wordt, onder andere via kaders zoals de SDG's en het 3P-model.

Trefwoorden:

Duurzaamheidseducatie, Programma van Eisen (PvE), Technasium, brugklasleerlingen, ontwerpgericht leren, duurzame ontwikkelingsdoelstellingen (SDG's), containerbegrip, 3P-model, onderwijsinterventie, contextrijk onderwijs.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	5
1. Inleiding	8
2. Theoretisch kader	9
2.1. Techniek- en technologieonderwijs	9
2.2. Technasiumonderwijs	9
2.3. Duurzaamheid.....	16
2.3.1. People – sociale duurzaamheid.....	19
2.3.2. Planet – ecologische duurzaamheid	20
2.3.3. Profit – economische duurzaamheid.....	20
2.4. Ontwerpend leren.....	27
2.5. Het Programma van Eisen (PvE)	28
2.6. Doelstelling van het onderzoek	30
3. Onderzoeksvraag.....	31
3.1. Hoofdvraag	31
3.2. Deelvragen.....	31
3.3. Betrouwbaarheid (zorgvuldigheid) en validiteit (geldigheid)	31
4. Methode	33
4.1 Fase 1: Vragenlijst	33
4.1.1 Analyseplan fase 1	35
4.2 Fase 2: Interventiestudie PvE's	36
4.2.1. Analyseplan fase 2.....	38
5. Resultaten	41
5.1. Fase 1: analyse vragenlijst.....	41
5.1.1. Subconclusies voorkennis duurzaamheid.....	51
5.2. Fase 2: analyse interventiestudie PvE's	52
5.2.1. Subconclusies ontwikkeling PvE's na intervisies	57
6. Eindconclusies	59
6.1. Kennisbasis	59
6.2. Definitieve benadering hoofdvaart.....	60
6.3. Aanbeveling voor de onderwijspraktijk	61
7. Beperkingen onderzoek.....	63
7.1. Betrouwbaarheid en beperkingen van de onderzoeksresultaten	63
7.2. Uitdagingen bij uitvoering en dataverzameling	64

7.3. Reflectie op de onderzoeksresultaten en hun betekenis	64
8. Aanbevelingen.....	66
8.1. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	66
Bibliografie.....	67
Appendix 1: Python-script voor het berekenen van de Gini-coëfficiënt	72
Appendix 2: Vragenlijst.....	73
Appendix 3: Leerlingenhandleiding insectenhotel project	79
Appendix 4: Inhoud van de les over duurzaamheid	85
Appendix 5: Inhoud van de les over het PvE.....	98

1. Inleiding

Duurzaamheid is een belangrijk thema anno 2025, ook binnen het onderwijs. Steeds vaker wordt er van leerlingen gevraagd om na te denken over duurzame oplossingen voor concrete problemen. In het Technasiumonderwijs gebeurt dit binnen het vak O&O, waar leerlingen in teams werken aan technische en maatschappelijke vraagstukken. Een belangrijke stap in zo'n project is het maken van een Programma van Eisen (PvE), waarin staat waaraan het ontwerp moet voldoen.

Toch blijkt dat leerlingen (en ook docenten) duurzaamheid vaak lastig vinden om concreet te maken. Het begrip is breed en wordt door iedereen anders geïnterpreteerd. Dit onderzoek focust daarom op hoe brugklasleerlingen duurzaamheid interpreteren en verwerken in hun PvE. Ook is gekeken of het uitmaakt of de uitleg over duurzaamheid vóór of ná de uitleg over het opstellen van het PvE wordt gegeven. Het doel is om te ontdekken hoe leerlingen duurzaamheid beter en breder kunnen verwerken in hun ontwerpen. De resultaten kunnen docenten helpen om duurzaamheid op een duidelijke en praktische manier een plek te geven in het Technasiumonderwijs.

Leeswijzer:

Hoofdstuk 2 bevat het theoretisch kader. In hoofdstuk 3 worden de hoofd- en deelvragen gepresenteerd, gevolgd door een toelichting op de betrouwbaarheid en geldigheid van het onderzoek. Hoofdstuk 4 beschrijft de onderzoeksopzet en de uitvoering, verdeeld over twee fasen. De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 5 en geanalyseerd in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 bespreekt de beperkingen van het onderzoek. Tot slot bevat hoofdstuk 8 aanbevelingen voor de onderwijspraktijk en suggesties voor vervolgonderzoek.

2. Theoretisch kader

2.1. Techniek- en technologieonderwijs

Techniek en technologie worden vaak door elkaar heen gebruikt, maar verwijzen echter naar verschillende concepten (SLO, 2017). Techniek richt zich op concrete oplossingen voor bijvoorbeeld menselijke behoeften, zoals gebruiksvoorwerpen, constructies en productiemethoden. Technologie daarentegen is de wetenschap achter deze technieken, waarbij kennis uit verschillende wetenschapsdomeinen wordt ingezet om innovaties te ontwikkelen en te verbeteren. Beide spelen een belangrijke rol in onze samenleving: van energievoorziening en communicatie tot voedselproductie en medische zorg.

In het Nederlandse onderwijs heeft techniek- en technologieonderwijs de afgelopen decennia een steeds grotere rol gekregen. In het voortgezet onderwijs zijn de verbindingen tussen technologie en de bètavakken onder meer zichtbaar in het leerplanvoorstel Natuur & Techniek voor de onderbouw, het vak Technologie & Toepassing (T&T) in de bovenbouw van het vmbo en interdisciplinaire profieldelen zoals Natuur, Leven en Technologie (NLT) in havo en vwo. In al deze leerlijnen staat het ontwikkelen van onderzoeks- en ontwerpvaardigheden centraal, vaak in samenwerking met het bedrijfsleven of maatschappelijke organisaties.

Binnen deze ontwikkelingen vormt het vak Onderzoeken & Ontwerpen (O&O) in het Technasium een unieke schakel. Hierin komen techniek en technologie expliciet samen.

2.2. Technasiumonderwijs

Het Technasium is in 2003 ontstaan uit een samenwerking tussen ouders en onderwijsprofessionals die verbaasd waren dat leerlingen met interesse in bètatechniek nauwelijks gestimuleerd werden (Schellekens, Boon, Laarveld, de Neeve, & Sluiter, 2021). In tegenstelling tot bijvoorbeeld de Verenigde Staten, waar ‘engineering’ en ‘design’ in de *Next Generation Science Standards (NGSS)* vaste onderdelen zijn van het natuurwetenschappelijk onderwijs (NGSS Lead States, 2013), krijgt techniek in Nederland op dit niveau nauwelijks aandacht, ook niet binnen de bètavakken. In Vlaanderen kunnen leerlingen in het secundair onderwijs kiezen voor een algemeen vormende stroom of een beroepsgerichte stroom (Vlaamse overheid, 2025), terwijl dit in Nederland pas mogelijk is binnen het (v)mbo. In overleg met het ministerie van OCW werd daarom besloten om een aanvullend profiel te ontwikkelen binnen het bestaande havo- en vwo-stelsel. Dit leidde tot het vak Onderzoeken & Ontwerpen (O&O), dat de basis vormt van het Technasiumonderwijs binnen de profielen Natuur en Techniek (N&T) en Natuur en Gezondheid (N&G).

Binnen dit vak werken leerlingen in teams van drie tot vier personen aan actuele en realistische vraagstukken met een bètatechnisch karakter. Daarbij nemen zij de rol aan

van de professional uit het betreffende vakgebied. Het doel is om leerlingen te motiveren voor en voor te bereiden op een vervolgopleiding in het bètatechnisch hoger onderwijs (Lechner, 2012; De Vijlder, Bakker, & van den Blink, 2014). Sinds 2004 is het aantal scholen dat het Technasium aanbiedt gegroeid van vijf naar ruim honderd in 2025, verspreid over het hele land.

In plaats van traditionele lesmethodes of opdrachten uit leerboeken, werken O&O-leerlingen aan praktijkgerichte projecten die over het algemeen acht tot zestien weken duren, afhankelijk van het leerjaar en de invulling die de school hier zelf aan geeft. Scholen hebben namelijk de vrijheid om de opbouw van het vak naar eigen inzicht vorm te geven. Figuur 1 toont een voorbeeld van een mogelijke curriculumopbouw.



Figuur 1: Een mogelijke opbouw van het curriculum van het Technasium (bron: middelbare school (havo/vwo) gelegen in midden Nederland)

De visie op leren binnen het Technasium bevat elementen van het sociaalconstructivisme (Lechner, 2012). In deze benadering is leren niet alleen een kwestie van het simpelweg overdragen van informatie, maar ook een actief en sociaal proces waarin kennis betekenis krijgt door interactie met anderen. Sociale interactie, zoals samenwerking, dialoog en afstemming met medeleerlingen, speelt een centrale rol in het construeren van begrip (Adams, 2006). Tegelijkertijd sluit het Technasiumonderwijs aan bij Vygotsky's (1978) cultuurhistorische benadering, waarin kennis en waarden uit de cultuur worden overgedragen van meer ervaren personen, zoals docenten of experts, naar jongeren. Leren betekent in deze visie niet alleen zelf betekenis construeren, maar ook begeleid worden door volwassenen die culturele kennis en opvattingen overdragen.

Deze visie komt tot uiting in de manier waarop leerlingen binnen O&O zelfstandig en samenwerkend leren. Leerlingen worden gestimuleerd om zelfstandig beslissingen te nemen: zij bepalen zelf hoe ze een opdracht aanpakken, welke stappen nodig zijn en hoe zij informatie het beste kunnen verzamelen. Dit vraagt om metacognitieve vaardigheden zoals plannen, monitoren, bijsturen en reflecteren (Kirschner, Claessens, & Raaijmakers, 2018; Zimmerman, 2013). In tegenstelling tot zelfstandig leren, waarbij de

docent de leerdoelen bepaalt, ligt bij zelfsturend leren de regie bij de leerling, inclusief het formuleren van eigen leerdoelen (Knowles, 1975).

Zelfsturing wordt geleidelijk opgebouwd. In de onderbouw leren leerlingen omgaan met keuzevrijheid en verantwoordelijkheid, ondersteund via scaffolding: een aanpak waarbij de docent ondersteuning biedt die meegroeit met het niveau van de leerling (Taber, 2018). Naarmate de leerling competentier wordt, wordt deze ondersteuning afgebouwd (fading).

Ook samenwerkend leren speelt een centrale rol binnen het Technasiumonderwijs (Schellekens, Boon, Laarveld, de Neeve, & Sluiter, 2021). Effectief samenwerkend leren bevordert niet alleen een diepere verwerking van de leerstof, maar versterkt ook metacognitieve vaardigheden, zelfsturing en motivatie (Ebbens & Ettehoven, 2016; Johnson & Johnson, 2009; Janssen, 2014).

Het is daarbij belangrijk om onderscheid te maken tussen coöperatief en samenwerkend leren. Waar coöperatief leren vaak resulteert in taakverdeling met beperkte interactie, draait samenwerkend leren om gedeeld eigenaarschap, gezamenlijke besluitvorming en continue afstemming. Voorwaarden voor succes zijn onder andere wederzijdse afhankelijkheid, stimulerende interactie, individuele verantwoordelijkheid en gezamenlijke reflectie (Johnson & Johnson, 2009; Kester, 2005).

De docent is niet primair kennisoverdrager, maar fungeert daarnaast als coach en begeleider van het leerproces. Deze begeleiding is situationeel: sturend waar nodig, ruimtegevend waar mogelijk (Lechner, 2012). In dit coachmodel worden vier strategieën onderscheiden: afstand nemen, vragen stellen, feedback geven en het opbouwen van een coachende relatie.

Voerman en Faber (2013) onderscheiden drie typen vragen die bijdragen aan coaching:

<p>Feitelijke vragen Alle (gesloten) vragen die met ja of nee beantwoord kunnen worden. Bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none">• Wat staat er in jullie PvE over duurzaamheid?• Hebben jullie het prototype al af?
<p>Inhoudelijke verdiepingsvragen Alle vragen die gaan over redeneringen ten aanzien van de inhoud, strategie en modus. Bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none">• Hoe sluit jullie ontwerp aan op de eisen in het PvE?• In hoeverre zijn jullie het eens met mijn feedback?
<p>Reflectieve vragen Alle vragen die gaan over zelfregulatie en persoonlijke kwaliteiten. Bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none">• Op welke manier leer jij het beste?• Wat vind jij een hele goede eigenschap van je zelf?

Een veilige en open leeromgeving is daarbij essentieel. Leerlingen moeten zich vrij voelen om fouten te maken, vragen te stellen en feedback te ontvangen. Coachend begeleiden vraagt daarom om empathie, inzicht en het durven loslaten van controle (Schellekens, Boon, Laarveld, de Neeve, & Sluiter, 2021).

De projecten zijn opgebouwd uit meerdere deelopdrachten die leerlingen begeleiden naar de eindopleving. Deze zijn vastgelegd in een projectboekje dat dient als leidraad voor zowel leerling als docent. In de onderbouw werken leerlingen met kant-en-klare opdrachten; vanaf de bovenbouw schrijven zij zelf een projectplan met bijbehorende deelopdrachten en deliverables. In het examenjaar gebeurt dit in de vorm van de meesterproef, een keuzeproject dat het hele jaar beslaat.

Er wordt bij de beoordeling van een project niet alleen gekeken naar de eindproducten, zoals bij veel andere vakken het geval is, maar ook naar het proces dat daartoe heeft geleid (De Kleijn, 2013). Daar waar het productcijfer op teamniveau is, is het procescijfer op individueel niveau. Het procescijfer zegt iets over de inzet, samenwerking, reflectie en persoonlijke ontwikkeling die de leerling doormaakt.

Het productcijfer omvat de kwaliteit van de eindproducten die worden opgeleverd. Naast de docent is vaak ook de externe opdrachtgever betrokken bij de beoordeling hiervan. Daarnaast draagt het inschakelen van experts bij aan een objectievere beoordeling (Schalk & Bruning, 2014).

Binnen het Technasium is er veel aandacht voor competentieontwikkeling. Leerlingen werken aan zowel soft skills (zoals besluitvaardigheid en creativiteit) als hard skills (zoals modelleren, technisch tekenen en 3D-printen).

Figuur 2 toont de zes competentieclusters van de Technasium Competentiemonitor.

	Communicatief	Creatief	Ondernemend	Projectmatig	Samenwerkend	Zelfsturend
Ambitie						
Besluitvaardigheid						
Creativiteit						
Durf						
Gespreksvaardigheid						
Initiatief						
Inlevingsvermogen						
Luistervaardigheid						
Motiveren						
Onafhankelijkheid						
Oordeelsvorming						
Overtuigingskracht						
Plannen en organiseren						
Presentatievaardigheid						
Probleemanalyse						
Resultaatgerichtheid						
Schrijfvaardigheid						
Voortgangsbewaking						
Zelfontwikkeling						
Zelfvertrouwen						

Figuur 2: De zes clusters en bijbehorende competenties van de Technasium Competentiemonitor (bron: Stichting Technasium, <https://competentiemonitor.technasium.nl/>)

Sinds 2019 kunnen scholen de digitale competentiemonitor gebruiken om de voortgang van leerlingen zichtbaar te maken (Stichting Technasium, 2019). Leerlingen reflecteren op hun eigen ontwikkeling, wat past binnen een formatieve benadering van beoordelen en het idee dat competenties zich over langere tijd ontwikkelen (Thijs, Fisser, & Hoeven, 2014).

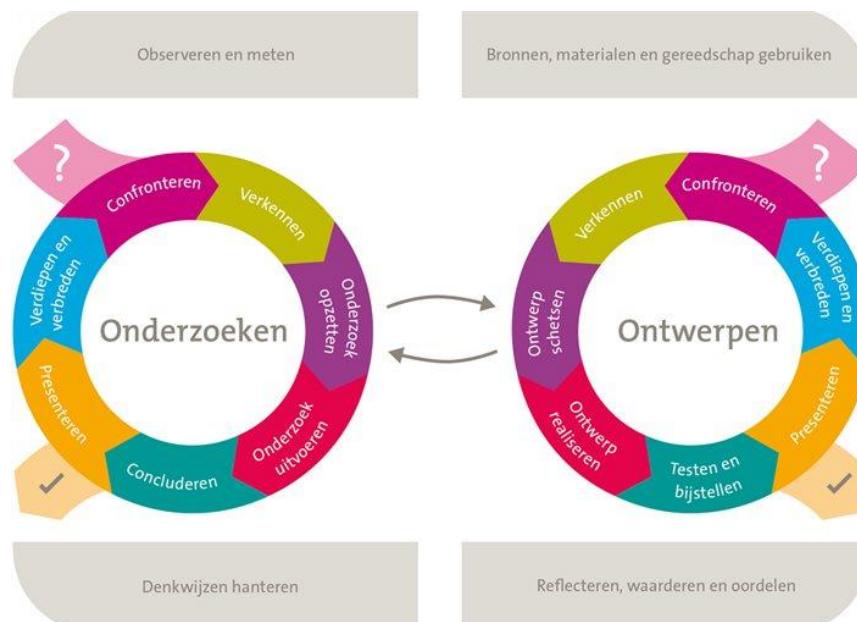
Afhankelijk van de aard van het project ligt de nadruk meer op onderzoekend of op ontwerpend leren. Beide benaderingen kennen een eigen cyclus, zoals weergegeven in Tabel 1:

Tabel 1: Overzicht onderzoek- en ontwerpcyclus (SLO, 2019)

Onderzoekscyclus	Ontwerpcyclus
1. Confronteren:	
Het doelgericht en nauwkeurig verkennen van een verschijnsel of probleem, gedreven door nieuwsgierigheid.	Het formuleren van een ontwerpvrage op basis van een geconstateerd probleem en het opstellen van bijbehorende ontwerpeisen.
2. Verkennen	
Het opstellen van een concrete onderzoeksvraag en het doen van onderbouwde voorspellingen over mogelijke uitkomsten.	Het ontwikkelen, analyseren en beoordelen van verschillende oplossingsrichtingen, in relatie tot de gestelde eisen.

3. Onderzoek opzetten Het ontwerpen van een passende onderzoeksmethode en het plannen van de uitvoering, inclusief benodigde materialen en werkwijze.	3. Ontwerp schetsen Het uitwerken van de gekozen oplossing in de vorm van schetsen, werktekeningen en een verzameling geschikte middelen.
4. Onderzoek uitvoeren Het systematisch uitvoeren van het onderzoek volgens plan, met aandacht voor zorgvuldige observatie, registratie en dataverwerking.	4. Ontwerp realiseren Het planmatig vervaardigen van een model of prototype op basis van het ontwerpplan.
5. Concluderen Het leggen van verbanden tussen de resultaten en de onderzoeksvraag, en het formuleren van beargumenteerde conclusies.	5. Testen en bijstellen Het toetsen van het prototype aan de gestelde eisen, identificeren van tekortkomingen en voorstellen van verbeteringen.
6. Presenteren Het mondeling en schriftelijk communiceren van de onderzoeksresultaten in een passende vorm, zoals een verslag of presentatie.	
7. Verdiepen en verbreden Het stellen van vervolgvragen en het verkennen van nieuwe contexten waarin het onderzoek kan worden uitgebreid of toegepast.	

In de praktijk lopen deze echter vaak in elkaar over (Vossen, 2019), zoals Figuur 3 illustreert. Dit sluit aan bij de werkwijze van professionals in de bètatechniek, die ook voortdurend schakelen tussen onderzoeken en ontwerpen.



Figuur 3: Onderzoek- en ontwerpcyclus (SLO, 2023)

Deze verbinding tussen beide cycli zorgt ervoor dat Technasiumleerlingen beter worden voorbereid op het werken in een bètatechnische sector.

Binnen het Technasium is tot slot ook steeds meer aandacht voor waarden en morele oriëntatie (Schellekens, Boon, Laarveld, de Neeve, & Sluiter, 2021). In lijn met de vernieuwde missie, het opleiden van waardebewuste, competente wereldburgers, wordt leerlingen gevraagd om niet alleen inhoudelijke en technische keuzes te maken, maar ook stil te staan bij de achterliggende motieven, belangen en gevolgen van deze keuzes. Zo staat de ontwikkeling van de ethische verantwoordelijkheid en kritisch denkvermogen centraal (Biesta, 2016). Leerlingen leren reflecteren op vragen als: Wat vind ik belangrijk? Wat is wenselijk voor anderen en voor de wereld als geheel?

Een belangrijk onderdeel hiervan is het toenemende belang van **duurzame ontwikkeling** binnen O&O-projecten. Veel vraagstukken hebben expliciet een duurzaamheidscomponent, waarmee het Technasium inspeelt op maatschappelijke uitdagingen en verantwoordelijkheidsgevoel stimuleert. Leren voor duurzame ontwikkeling vraagt leerlingen om niet alleen te oordelen over de wereld van nu, maar ook om na te denken over de wereld die zij willen nalaten aan toekomstige generaties (Wals, 2018).

Uitgangspunten O&O-projecten zijn als volgt (Schellekens, Boon, Laarveld, de Neeve, & Sluiter, 2021). Het project:

1. is leerlinggericht en sluit aan bij de competenties, interesses en perspectieven van de leerlingen
2. zet aan tot waardegeoriënteerd en kritisch denken
3. draagt bij aan participatie en samenwerking
4. stuurt aan op actief handelen
5. kent voldoende complexiteit en samenhang en zet zo aan tot systeemdenken
6. stimuleert een onderzoekende houding

Duurzame ontwikkeling heeft als bijkomend voordeel voor het open karakter van O&O projecten dat het onduidelijkheid met zich meebrengt. Het implementeren van duurzaamheid nodigt daarbij uit tot een actieve deelname aan een zoektocht waarvan zowel de richting als de eindbestemming niet vooraf vastligt.

Tegelijk is het goed om kritisch te blijven. In de praktijk gebruiken veel bedrijven duurzaamheid vooral als lokkertje, blijkt uit een onderzoek van Google Cloud (2022). In totaal zijn 1491 leidinggevenden wereldwijd ondervraagd, werkzaam in sectoren als technologie, productie, financiële dienstverlening, detailhandel, gezondheidszorg en logistiek & transport. Van hen gaf 58% toe dat hun bedrijf zich bezighoudt met greenwashing: doen alsof ze duurzaam zijn, terwijl dat in werkelijkheid tegenvalt. Daarbovenop komt dat 66% zelfs twijfelt aan de oprechtheid van hun eigen duurzaamheidsbeleid.

Dit laat zien hoe belangrijk het is om leerlingen niet alleen te laten praten over duurzaamheid, maar hen ook te leren hoe ze echte, eerlijke en doordachte keuzes kunnen maken.

2.3. Duurzaamheid

Duurzaamheid – in het Engels aangeduid als ‘sustainable development’ – is een breed, dynamisch en complex begrip, met talloze definities en interpretaties (Mijland, 2014).

De eerste breed gedragen definitie van duurzaamheid komt van het Brundtland-rapport, *World Commission on Environment and Development: Our Common Future* (Brundtland, 1987):

‘Meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.’

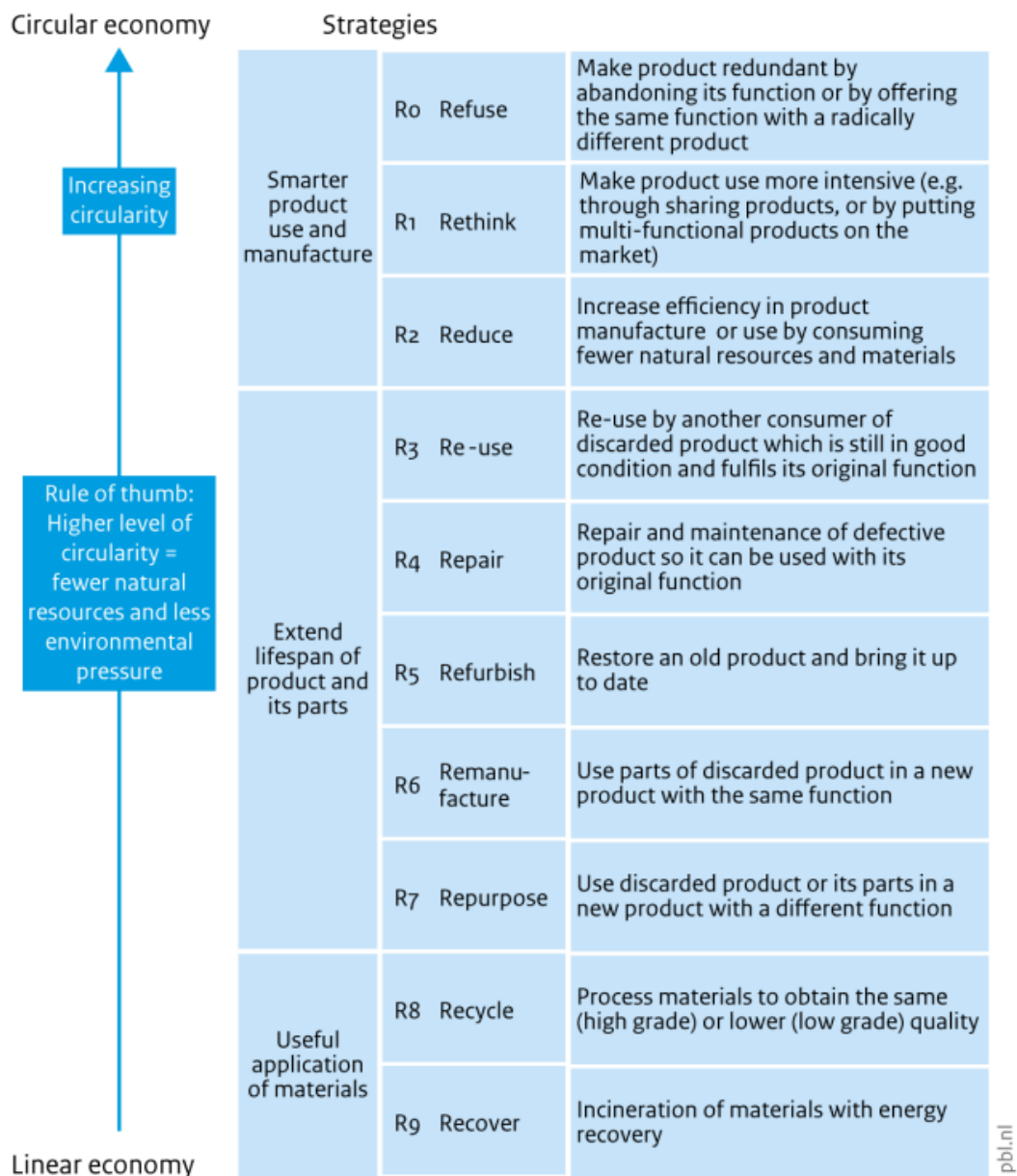
In dat rapport wordt duurzame ontwikkeling gekoppeld aan milieuvraagstukken, armoedebestrijding en economische groei. Deze definitie gaat uit van dat een ontwikkeling duurzaam is als deze voorziet in de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen. De definitie is wereldwijd breed overgenomen, zo ook in de denkwijzen opgesteld door de Stichting Leerplanontwikkeling (SLO, 2023):

Duurzaamheid gaat volgens het SLO (2023) om:

- het belang van ecosystemen, landschappen, natuurlijke hulpbronnen en het klimaat voor de gezondheid, veiligheid en andere behoeften van mensen en andere soorten
- bedoelde en onbedoelde invloeden van mensen op de planeet in al zijn facetten (o.a. klimaat, ecosystemen en biodiversiteit).
- maatregelen om die invloeden zo te sturen dat de belangen van mensen en andere soorten – hier en elders, nu en in de toekomst – zo weinig mogelijk geschaad worden.

Toch is er ook kritiek op de Brundtland-definitie. Haar brede formulering maakt het begrip vatbaar voor uiteenlopende interpretaties, afhankelijk van context en doelgroep, net zoals het SLO dat voor het onderwijs heeft gedaan. Zijn ledlampen duurzamer dan klassieke gloeilampen? Is pinnen duurzamer dan cash betalen? Dat is het brede karakter wat het begrip duurzaamheid heeft: er is eigenlijk geen eenduidig antwoord op deze vragen te geven. Dat hangt af van waar, wanneer en aan wie die vraag gesteld wordt (Wals, 2018). Met andere woorden, het begrip is zo ruim geworden (een zogeheten containerbegrip) dat het lastig is er concreet mee te werken.

Een benadering die helpt om duurzaamheid concreter te maken is de zogeheten *R-ladder*, ook wel aangeduid als de R-strategieën. Het concept van de circulaire economie is sinds de jaren zeventig ontwikkeld op basis van verschillende denkrichtingen (Wautelet, 2018). In Nederland heeft het Planbureau voor de Leefomgeving de R-ladder verder uitgewerkt tot een 10R-model (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017). Deze rangschikt strategieën om grondstoffen efficiënter te gebruiken van hoog naar laag in effectiviteit (zie Figuur 4).



Figuur 4: Circulariteitsstrategieën 10R-model naar prioriteit (Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017)

Hoe eerder je in het ontwerpproces een stap uit de R-ladder toepast, hoe meer afval en grondstoffen je bespaart. Daarom hebben de treden bovenaan meestal meer effect op duurzaamheid dan de treden onderaan.

Naast de R-ladder zijn er om het begrip duurzaamheid werkbaarder te maken door de jaren heen diverse duurzaamheidskaders ontwikkeld. Op basis van verkennend literatuuronderzoek is een selectie gemaakt van invloedrijke en veelgebruikte kaders. Tabel 2 toont deze ontwikkeling vanaf het Brundtland-rapport.

Tabel 2: De ontwikkeling van duurzaamheidskaders sinds 1987

Jaar	Duurzaamheidskader	Focus
1987	Brundtland-rapport	Duurzame ontwikkeling als evenwicht tussen huidige en toekomstige generaties (Brundtland, 1987)
1994	Triple Bottom Line	Balans tussen sociale, ecologische en economische waarden (People, Planet, Profit) (Elkington, 2004)
2002	Cradle-to-Cradle	Productontwerp gericht op oneindige herbruikbaarheid en afvalvrij produceren (McDonough & Braungart, 2002)
2010	Aichi Biodiversity Targets	Bescherming van biodiversiteit en ecosysteemdiensten binnen planetaire grenzen (Secretariat of the Convention on Biological Diversity (UN), 2020)
2012*	Donutmodel	Combinatie van sociale ondergrens en ecologische bovengrens als veilige en rechtvaardige ruimte voor ontwikkeling (Raworth, 2017).
2015	SDG's	Zeventien mondiale doelen voor sociale, ecologische en economische duurzaamheid. (UNESCO, 2017)
2020	Education Sustainable Development (ESD) for 2030 Framework	Onderwijskader gericht op actiegericht, transformatief leren voor duurzame ontwikkeling (UNESCO, 2020)
2023	Sustainable Criteria AI Systems (SCAIS) Framework voor Sustainable AI	Duurzaamheidscriteria voor het verantwoord ontwerpen en toepassen van AI-systemen (Rohde, Wagner, & Reinhard, 2023)

* Het Donutmodel werd voor het eerst geïntroduceerd in 2012 in het Oxfam Discussion Paper 'A Safe and Just Space for Humanity'. In deze paper legde Kate Raworth voor het eerst de basisstructuur van het donutmodel uit: de balans tussen sociale fundamenteën en planetaire grenzen. In 2017 verscheen het boek Doughnut Economics, waarin ze het model verder uitwerkt en onderbouwt met economische argumenten. Dit boek zorgde voor de doorbraak van het model in het publieke en academische debat.

Triple Bottom Line

Een veelgebruikt kader om duurzaamheid concreter te maken, is het Triple Bottom Line-model (Elkington, Enter the Triple Bottom Line, 2004), ook bekend als de drie P's: *People*, *Planet* en *Profit* (zie Figuur 5).



Figuur 5: *People, Planet, Profit* kader van Elkington
(bron: <https://jdmeier.com/people-planet-profit/>)

Het idee achter dit model is dat organisaties niet alleen verantwoordelijk zijn voor winst (*Profit*), maar ook voor sociale rechtvaardigheid (*People*) en ecologisch evenwicht (*Planet*). Alleen als deze drie in balans zijn, is er sprake van duurzame ontwikkeling.

2.3.1. *People* – sociale duurzaamheid

De pijler *People* gaat over de menselijke kant van duurzaamheid zoals eerlijke arbeidsomstandigheden, respect voor mensenrechten, gelijke kansen en welzijn van mensen binnen én buiten een organisatie. Vanuit bedrijven en werkgevers gezien, betekent dit bijvoorbeeld dat werknemers goed worden behandeld, dat er aandacht is voor diversiteit en er geen bevolkingsgroepen worden achtergesteld of benadeeld. Op grotere schaal heeft deze dimensie ook te maken met sociale ongelijkheid, armoedebestrijding, toegang tot onderwijs en gezondheidszorg. Elkington benadrukt dat bedrijven en overheden zich niet alleen moeten richten op hun directe omgeving, maar ook moeten nadenken over de bredere sociale gevolgen van hun handelen. Sociale duurzaamheid vraagt dus om betrokkenheid, verantwoordelijkheid en zorg voor anderen, nu en in de toekomst.

2.3.2. Planet – ecologische duurzaamheid

De tweede dimensie, *Planet*, gaat over de impact van menselijk handelen op de natuur. Het draait hier om het beschermen van ecosystemen, het terugdringen van vervuiling, verantwoord omgaan met grondstoffen en het beperken van klimaatverandering. Elkington stelt dat ecologische duurzaamheid niet alleen draait om ‘groene’ maatregelen, maar ook om kritisch te kijken naar de manier waarop de aarde wordt gebruikt en wordt behandeld. Organisaties moeten nadenken over hun ecologische voetafdruk: hoe ze energie en water gebruiken, hoeveel afval ze produceren en wat hun impact is op de biodiversiteit. Dit sluit aan bij de eerder besproken kritiek op de Brundtland-definitie: als we economische groei blijven nastreven zonder rekening te houden met wat de aarde aankan, wordt de toekomst van toekomstige generaties in gevaar gebracht (Sachs, 2015):

‘All effects of human action will inevitably be played out within our planet’s limits; any hope of infinity is an illusion.’

2.3.3. Profit – economische duurzaamheid

De derde pijler, *Profit*, wordt vaak geassocieerd met financiële winst, maar binnen het Triple Bottom Line-model gaat het om meer dan dat. Elkington maakt duidelijk dat economische duurzaamheid betekent dat een organisatie op de lange termijn financieel gezond blijft, zónder schade toe te brengen aan mens of milieu. Dit vraagt om verantwoorde bedrijfsmodellen waarin winst niet ten koste gaat van sociale of ecologische belangen. Daarbij komt ook herinvesteren in circulaire economie, innovatie die leidt tot minder afval of energieverbruik en het hanteren van een eerlijke prijs om de hoek kijken. Het uitgangspunt is dat economische winst geen doel op zichzelf is, maar een middel dat moet bijdragen aan bredere maatschappelijke waarde.

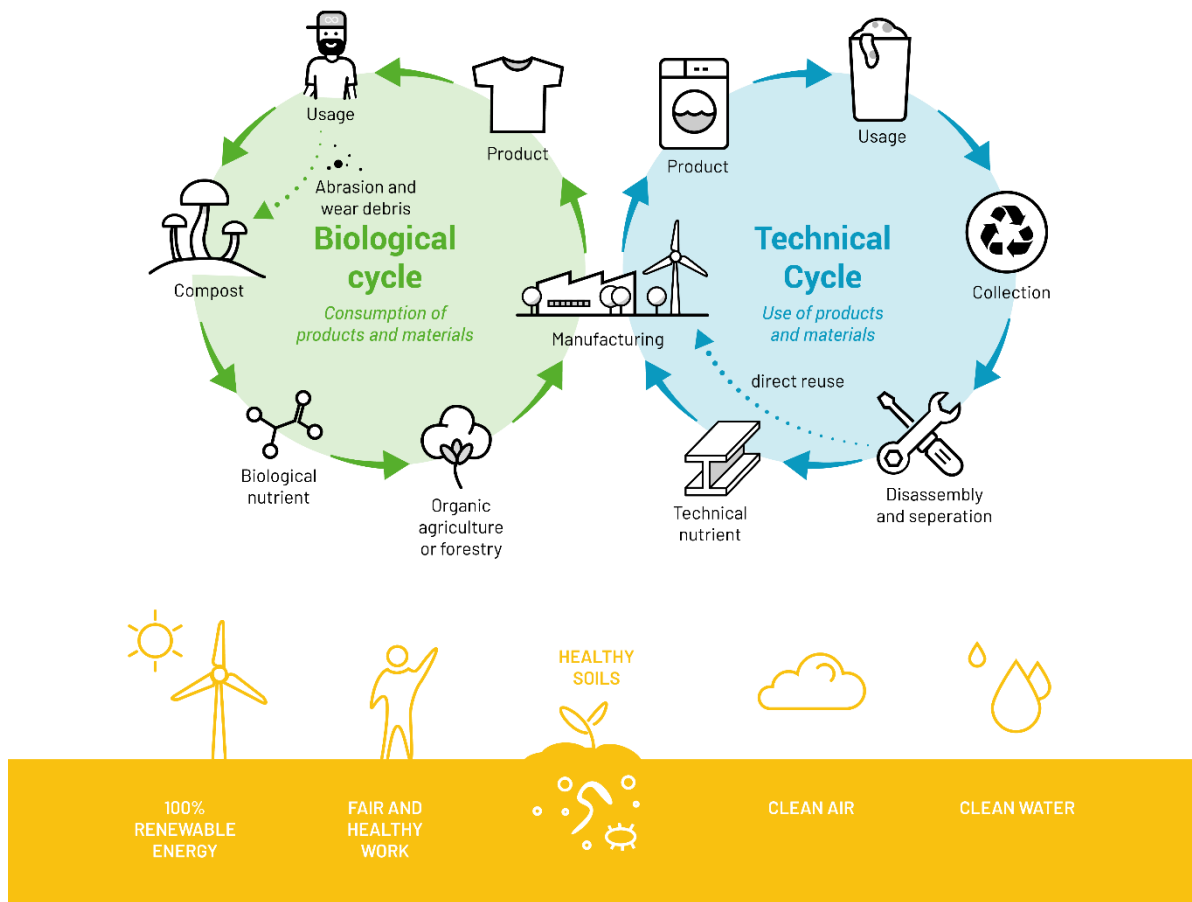
Hoewel het model helpt om duurzaamheid hanteerbaar te maken, waarschuwde Elkington (2018) dat het in de praktijk vaak wordt gereduceerd tot een checklist, waarbij de winst toch vaak centraal blijft staan.

Cradle-to-Cradle

Het Cradle-to-Cradle-kader (C2C), ontwikkeld door architect William McDonough en chemicus Michael Braungart (McDonough & Braungart, 2002), stelt dat producten zo ontworpen moeten worden dat alle gebruikte materialen volledig herbruikbaar zijn in nieuwe productieketens (zie Figuur 6).

CRADLE TO CRADLE

A concept by Michael Braungart and William McDonough



Figuur 6: Illustratie van Cradle-to-Cradle kader door Felix Müller
(bron: www.zukunft-selbermachen.de)

In tegenstelling tot het klassieke lineaire model van 'take-make-dispose' (waarbij grondstoffen eindigen als afval) streeft C2C naar een circulaire aanpak waarin afval niet meer bestaat (Kirchherr, Yang, Schulze-Spüntrup, Heerink, & Hartley, 2023). Elk materiaal is óf biologisch afbreekbaar en keert terug in de natuur, óf technisch herbruikbaar zonder kwaliteitsverlies.

C2C is meer dan recyclen. Het gaat om ontwerpen met het einde van de levenscyclus al in gedachten. Denk bijvoorbeeld aan kleding die volledig composteerbaar is, of meubels die uit elkaar gehaald kunnen worden om onderdelen opnieuw te gebruiken. In educatieve contexten daagt C2C leerlingen uit om niet alleen duurzaam te ontwerpen, maar ook te herontwerpen: hoe kan een product vanaf het begin zo worden ontworpen dat het nooit schade aanricht en juist waarde blijft toevoegen?

Deze denkwijze sluit goed aan bij het Technasiumonderwijs (Lechner, 2012). Door C2C-principes toe te passen, leren zij verder denken dan de levensduur van een product: ze ontwerpen met het oog op de toekomst.

Sustainable Development Goals

De Sustainable Development Goals (SDG's) zijn zeventien doelen die de Verenigde Naties in 2015 vastlegden voor een duurzamere wereld in 2030 (zie Figuur 7):



Figuur 7: 17 doelen voor een duurzamere wereld (SDG's)

(bron: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/vn/duurzame-ontwikkelingsdoelen>)

Deze doelen richten zich op een breed scala aan maatschappelijke en ecologische uitdagingen, van het bestrijden van armoede en ongelijkheid tot het aanpakken van klimaatverandering en het bevorderen van duurzame productie (UNESCO, 2017). De SDG's zijn bedoeld als universele doelen voor alle landen en vormen een gezamenlijke richting voor duurzame ontwikkeling.

Wat de SDG's bruikbaar maken als kader, is dat ze voortbouwen op bestaande definities van duurzaamheid, zoals die van Brundtland en deze vertalen naar meetbare en afgebakende doelen (targets). In plaats van één abstracte definitie krijgen beleidsmakers, scholen en bedrijven nu door de SDG's te gebruiken concrete richtlijnen die helpen om duurzaamheid te vertalen naar acties, projecten en beleid (UNDP, 2022).

Ook voor jongeren kunnen de SDG's betekenisvol zijn. De doelen bieden leerlingen structuur in een onderwerp dat vaak als te breed of vaag wordt ervaren. Door bijvoorbeeld een ontwerp te koppelen aan SDG 12 (verantwoorde consumptie en productie) of SDG 6 (schoon water en sanitair), kunnen ze hun duurzame keuzes beter onderbouwen en koppelen aan duurzaamheid. Tegelijkertijd maken de SDG's duidelijk dat duurzaamheid over meer gaat dan alleen het milieu: ook sociale rechtvaardigheid en economische ontwikkeling horen erbij.

Tegelijkertijd vraagt het werken met de SDG's om meer dan alleen kennisoverdracht. Volgens Sterling draait echt duurzaam onderwijs om het ontwikkelen van een ander soort denken: systeembenken, waarbij leerlingen leren om verbanden te zien tussen doelen, de onderlinge afhankelijkheden leren herkennen en beseffen dat sommige

doelen elkaar kunnen versterken, maar soms ook in conflict met elkaar kunnen komen. Niet alle SDG's zijn geschikt voor elk ontwerpvoorbeeld; welke doelen relevant zijn, hangt af van het type probleem dat wordt onderzocht.

Het onderwijs moet ook ruimte bieden voor een fundamenteel andere manier van denken en leren. Sterling pleit dan ook voor een meer transformationele benadering in het onderwijs. Leerlingen zouden daarin niet alleen moeten leren wat duurzame ontwikkeling is, maar ook hoe ze daar op een actieve, kritische en verantwoordelijke manier aan kunnen bijdragen. Dat vraagt om vaardigheden zoals reflectie, samenwerking, ethische afwegingen maken, omgaan met onzekerheid en het nemen van initiatief.

Precies deze vaardigheden staan onder andere ook centraal binnen het vak O&O in het Technasiumonderwijs. In O&O werken leerlingen aan actuele en betekenisvolle vraagstukken waarvoor geen antwoordmodel voor bestaat. Leerlingen maken zelfstandig keuzes, wegen verschillende perspectieven af en onderbouwen hun aanpak in samenwerking met externe opdrachtgevers.

Door de manier waarop O&O is ingericht, krijgen leerlingen niet alleen de inhoudelijke ruimte om met duurzaamheidsthema's te werken, maar ontwikkelen ze ook de vaardigheden die nodig zijn om de SDG's in de praktijk toe te passen. Juist die combinatie van inhoud en vaardigheden zorgt ervoor dat de SDG's voor leerlingen meer worden dan een abstracte lijst van doelen. Ze worden in plaats daarvan een concreet hulpmiddel om duurzaam te leren denken en handelen.

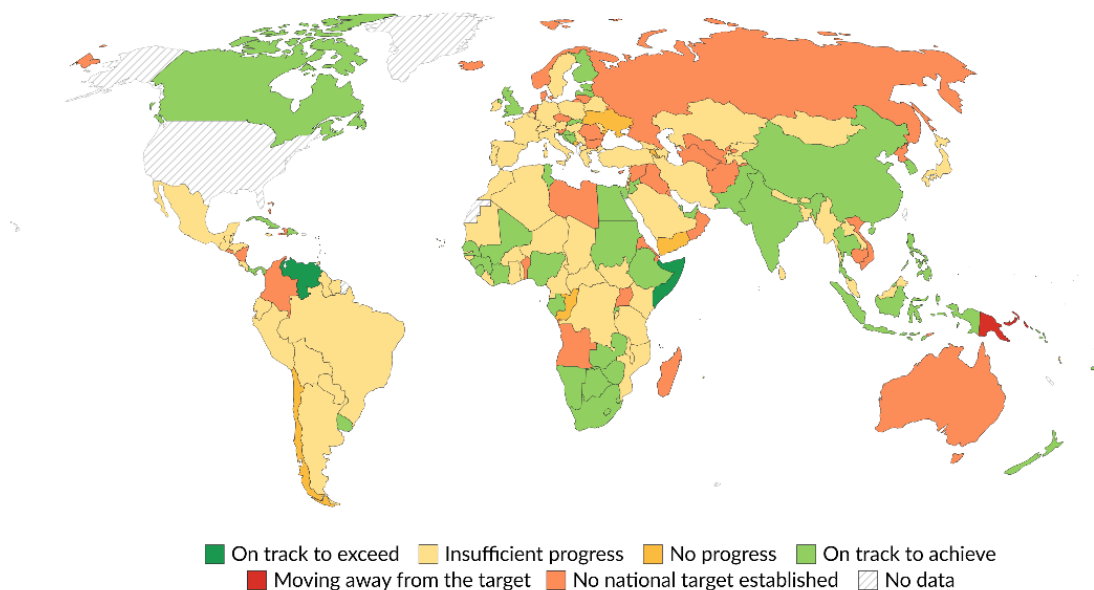
Het Aichi-raamwerk: biodiversiteit als kern van duurzaamheid

Het Aichi-raamwerk werd in 2011 opgesteld onder de Convention on Biological Diversity (CBD) en omvatte twintig doelen om biodiversiteit te beschermen en duurzaam gebruik van ecosystemen te stimuleren voor 2020 (Maney, Cote, Lin, Xu, & McElwee, 2022):

Hoewel de doelen wereldwijd werden aangenomen, bleek implementatie in de praktijk lastig. Gebrek aan meetbaarheid, nationale vertaling en middelen leidden ertoe dat geen enkel doel volledig werd gehaald (Hughes, Wang, Edwards, & Baylis, 2022). Toch was het kader waardevol als eerste internationale blauwdruk. Het benadrukte het belang van ecologische grenzen binnen duurzaamheid en legde de basis voor het Post-2020 Global Biodiversity Framework (zie Figuur 8). Het dwong beleidsmakers, ontwerpers en ook onderwijsinstellingen na te denken over de intrinsieke waarde van natuur en hoe deze systematisch beschermd kan worden.

National progress towards Aichi Biodiversity Target 2, 2022

Aichi Target 2: By 2020, at the latest, biodiversity values have been integrated into national and local development and poverty reduction strategies and planning processes and are being incorporated into national accounting and reporting systems.



Data source: United Nations Environment Programme, Convention on Biological Diversity and United Nations Statistics Division
OurWorldinData.org/biodiversity | CC BY

Figuur 8: National progress towards Aichi Biodiversity Target 2, 2022
(bron: <https://ourworldindata.org/grapher/national-progress-towards-aichi-biodiversity-target-2>)

Het Aichi-kader benadrukt daarmee hoe belangrijk het is om doelen niet alleen ambitieus, maar ook SMART (Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch, Tijdgebonden) te formuleren, een les die is meegenomen in het Post-2020 Global Biodiversity Framework (Maney, Cote, Lin, Xu, & McElwee, 2022).

Waar het PPP-model de balans tussen mens, milieu en economie zoekt, legt Aichi dus expliciet de nadruk op ecologische grenzen en biodiversiteitsherstel als fundament voor duurzame ontwikkeling.

Tot slot laat Figuur 9 uit het rapport van Watts (2017) zien dat er veel overlap is tussen de SDG's en het Aichi-raamwerk. Dit laat zien dat duurzaamheid vanuit meerdere invalshoeken benaderd kan worden.

Overlaps of CBD Aichi Targets with SDGs

		A I C H I T A R G E T S																				
		GOAL A: Address the underlying causes of biodiversity loss by mainstreaming biodiversity across government and society				GOAL B: Reduce the direct pressures on biodiversity and promote sustainable use						GOAL C: To improve the status of biodiversity by safeguarding ecosystems, species and genetic diversity			GOAL D: Enhance the benefits to all from biodiversity and ES services			GOAL E: Enhance implementation through participatory planning, knowledge management and CB				
STRATEGIC GOALS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		Awareness of biodiversity	Biodiversity values integrated	Incentives reformed	Sustainable production and consumption	Habitat loss halved or reduced	Sustainable management of aquatic living sources	Sustainable agriculture, aquaculture and forestry	Pollution reduced	Invasive alien species prevented and controlled	Ecosystems vulnerable to climate change	Protected areas	Reducing risk of extinction	Safeguarding genetic diversity	Ecosystem services	Enhancement of carbon stocks	Access to and sharing benefits from genetic resources	Biodiversity strategies and action plans	Indigenous and local knowledge	Sharing information and knowledge	Mobile resources from all sources	
S U S T A I N A B L E D E V E L O P M E N T G O A L S	1		●													●						
	2				●		●	●														
	3								●					●	●		●		●			
	4	●																			●	
	5																					
	6								●			●				●	●					
	7					●		●								●	●				●	
	8		●		●			●								●	●	●				
	9		●							●						●	●				●	
	10									●						●	●			●		●
	11		●		●					●		●				●	●					
	12	●			●		●	●	●							●	●				●	
	13		●				●					●				●	●		●			
	14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	16																		●			
	17		●																●		●	●

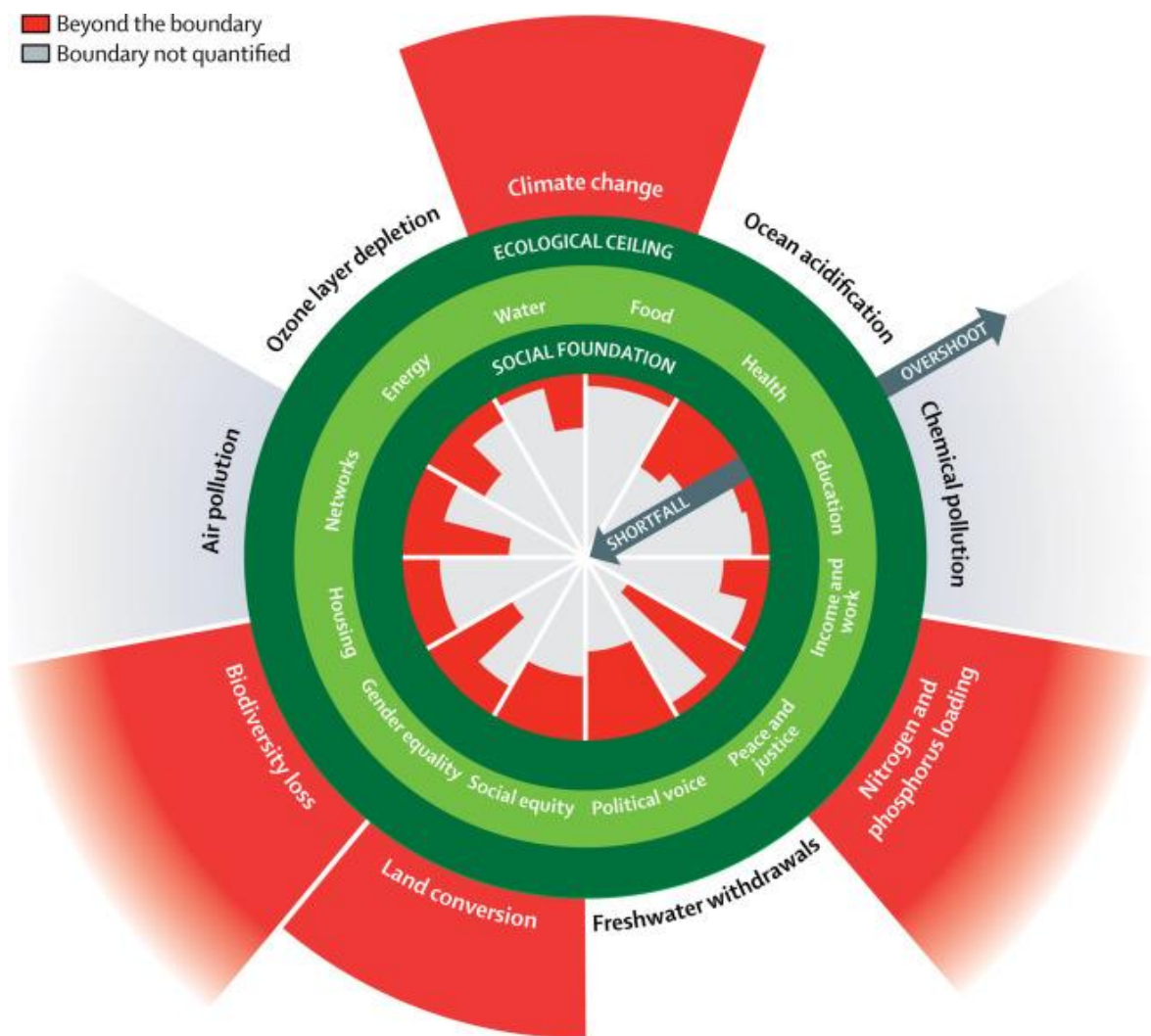
Figuur 9: Overlap Aichi-kader en SDG's (Watts, 2017)

De SDG's bieden in vergelijking met het Aichi-kader een bruikbaarere uitgangspunt voor een duurzame ontwikkeling, omdat deze voortbouwen op bestaande duurzaamheidsdefinities (zoals die van Brundtland) en ze vertalen naar concrete, brede en meetbare doelstellingen. In plaats van één abstracte definitie bieden de SDG's beleidsmakers, scholen en bedrijven houvast in de vorm van richtlijnen die duurzaamheid helpen omzetten in concrete acties, projecten en beleid (UNDP, 2022).

Ook voor jongeren kunnen de SDG's betekenisvol zijn. De doelen bieden leerlingen structuur in een onderwerp dat vaak als te breed of vaag wordt ervaren. Tegelijkertijd maken de SDG's duidelijk dat duurzaamheid over meer gaat dan alleen het milieu: ook sociale rechtvaardigheid en economische ontwikkeling horen erbij. Tegelijkertijd vraagt het werken met de SDG's om meer dan alleen kennisoverdracht.

Het Donutmodel: balans behoeften en planetaire grenzen

Het Donutmodel, ontwikkeld door Kate Raworth (2012), biedt een visueel en conceptueel kader voor duurzame ontwikkeling. Het model combineert twee centrale uitgangspunten: de sociale behoeften van mensen en de ecologische grenzen van de aarde (zie Figuur 10).



Figuur 10: Het Donutmodel laat de balans zien tussen sociale tekorten en ecologische overschrijdingen (bron: <https://www.weforum.org/stories/2017/04/the-new-economic-model-that-could-end-inequality-doughnut/>)

De donkergroene cirkels geven de minimale sociale ondergrens en de uiterste ecologische bovengrens weer. Daartussen ligt de ruimte waarin de mensheid op een eerlijke en duurzame manier kan leven. De rode vlakken laten zien waar basisbehoeften niet worden vervuld (tekorten) of waar de capaciteit van de aarde wordt overschreden.

Alleen de gebieden waar daadwerkelijk een tekort of overschrijding is vastgesteld, zijn in deze visualisatie opgenomen. Grenzen die op dit moment dus nog niet zijn overschreden, zijn niet opgenomen in de visualisatie (Raworth, 2017).

Het Donutmodel legt een directe koppeling tussen sociale rechtvaardigheid en ecologische duurzaamheid. Daarmee gaat het in tegen het klassieke economische denken, waarin vaak eenzijdig wordt ingezet op eindeloze groei. Volgens Raworth is die manier van denken niet meer van deze tijd: op een planeet met grenzen is eeuwige economische groei geen realistisch of wenselijk doel. In plaats daarvan pleit zij voor een economie die gericht is op welzijn binnen ecologische kaders, oftewel: groei binnen de donut (Ross, 2017). Concreet betekent dit dat economische activiteiten pas echt duurzaam zijn als ze bijdragen aan het vervullen van menselijke basisbehoeften, zonder ecologische grenzen te overschrijden, zoals die van klimaat, biodiversiteit of watergebruik.

In die zin sluit het Donutmodel aan bij bestaande duurzaamheidskaders, zoals het Brundtland-rapport en het Triple Bottom Line-model van Elkington. Waar deze kaders het belang van balans benoemen, gaat het Donutmodel een stap verder door te benadrukken dat sociale en ecologische aspecten met elkaar verbonden zijn en dus niet los van elkaar mogen worden gezien.

2.4. Ontwerpend leren

Ontwerpend leren, internationaal bekend als *Design-Based Learning* (DBL), vormt een belangrijk uitgangspunt binnen de didactiek van het Technasium. Deze benadering werd in de jaren 70 ontwikkeld door Doreen Nelson voor het Amerikaanse K-12-onderwijs, vergelijkbaar met het Nederlandse basis- en voortgezet onderwijs (Sorbara, Chase, García, & Na, 2025; Wofford, 2023). Sindsdien heeft DBL zich ontwikkeld tot een internationaal erkend onderwijskundig model, dat niet alleen veelvuldig wordt toegepast binnen ontwerpgerelateerde opleidingen zoals engineering, architectuur en informatica, maar ook zijn weg heeft gevonden naar andere domeinen zoals natuurwetenschappen, accountancy en sociale wetenschappen. In deze context wordt DBL geprezen als een leerstrategie die creativiteit, samenwerking en kritisch denken stimuleert door studenten uit te dagen om theoretische kennis toe te passen bij het ontwerpen van innovatieve oplossingen voor realistische problemen (Azizan & Shamsi, 2022).

Ontwerpen binnen O&O verloopt via een vast patroon: van het confronteren met een probleem tot het verdiepen en verbreden van de oplossing (zie paragraaf 2.2). Het itereren, testen en bijstellen leidt tot actief en betekenisvol leren (Graft & Kemmers, 2007). DBL combineert cognitieve en sociale leerprocessen en richt zich op het oplossen van open, contextgebonden vraagstukken. In deze benadering staat niet de overdracht van kant-en-klare kennis centraal, maar het actief construeren van kennis in nauwe samenhang met handelen (Oo, Kadyirov, Kadyirova, & Józsa, 2024). Leerlingen

maken ontwerpkeuzes, leren omgaan met onzekerheid, en reflecteren voortdurend op hun proces. Dit bevordert onder andere probleemoplossend denken, metacognitie en motivatie (Samantha & Overdijk, 2022). Het is daarmee een vorm van betekenisvol leren, waarbij theorie en praktijk elkaar versterken.

Een treffend voorbeeld van hoe DBL in praktijk vorm krijgt, is het project 'De Voedselvlucht' van het Museon-Omniversum in Den Haag. In dit project werkten studententeams samen met het museum aan een online lesplatform over de SDG's, specifiek gericht op vmbo-leerlingen. De ontwerpgerichte aanpak (inclusief het testen, aanpassen en herontwerpen van lesmateriaal) laat zien dat jongeren meer betrokken raken wanneer thema's aansluiten bij hun leefwereld, zoals voedsel, afval of kleding. In plaats van talige en abstracte informatie, werden activerende werkvormen zoals quizen, interactieve video's en discussies ingezet (Graft & Kemmers, 2007).

De kracht van DBL schuilt niet alleen in de focus op praktische toepassing, maar juist ook in de actieve rol van leerlingen als medeontwerpers van hun leerproces. In lijn met de uitgangspunten van O&O leren zij niet alleen over duurzaamheid, maar vooral ook hoe zij duurzame keuzes kunnen ontwerpen, evalueren en verbeteren. Daarmee is DBL niet slechts een didactisch model, maar een leerhouding die bijdraagt aan diepere begripsvorming, eigenaarschap en maatschappelijk bewustzijn.

2.5. Het Programma van Eisen (PvE)

Een belangrijke stap aan het begin van dit ontwerpproces is de verkenningsfase. Daarin analyseren leerlingen het probleem, verdiepen zich in de doelgroep en stellen een PvE op. Het PvE wordt opgesteld tijdens de eerste fase van de ontwerpcyclus: het verkennen, definiëren en afbakenen van het probleem. In het PvE leggen leerlingen de randvoorwaarden en succescriteria vast waaraan hun uiteindelijke oplossing moet voldoen. Daarmee is het PvE niet slechts een lijstje van wensen, maar een richtinggevend document dat het denken en handelen voor zowel de ontwerpers als de opdrachtgevers structureert en inzichtelijk maakt.

Hoewel het opstellen van een PvE vaak een van de eerste stappen is in een ontwerpproject, blijkt uit onderzoek dat veel beginnende ontwerpers (en zeker brugklassers) weinig voorkennis hebben van wat een PvE inhoudt en welke functie het precies vervult (Haan-Topolscak & Smits, 2021). Leerlingen denken bij het opstellen van een PvE vaak vanuit hun eigen belevingswereld als gebruiker. Ze formuleren daarbij vooral ambities, zoals 'het moet comfortabel zijn', in plaats van concrete en meetbare eisen. Juist de vertaalslag van zulke behoeften naar objectief toetsbare eisen maakt het PvE tot een krachtig en bruikbaar instrument binnen de ontwerpwereld (van der Voordt & den Heijer, 2004; van Doorn, van der Voordt, & Rogaar, 2011). In een Technasiumproject bepaalt de scope van het PvE welke aspecten van het probleem wel of niet worden meegenomen. Zo kan het ontwerp zich bijvoorbeeld richten op een

duurzaam schoolgebouw voor scholieren, terwijl energieopwekking bewust buiten beschouwing blijft. In dat geval ligt energieopwekking buiten de scope van het project.

Het PvE vervult dan ook verschillende functies. Enerzijds fungeert het als communicatiemiddel tussen opdrachtgever en opdrachtnemer: het maakt de wederzijdse verwachtingen expliciet en voorkomt misverstanden (Read & Bohemia, E., 2012). Anderzijds vormt het PvE de ruggengraat van ieder ontwerptraject, aangezien aan de hand hiervan kan worden bepaald welke concepten het beste aan de eisen en wensen voldoen of welke onderdelen nog verbeterd moeten worden (Heerink, 2011). Daarmee draagt het PvE bij aan het ontwikkelen van reflectief, iteratief en doelgericht ontwerpend leren (Jones & Askland, 2012).

Waarom is **duurzaamheid** een belangrijk thema binnen het PvE? Binnen ontwerpgericht onderwijs zoals het Technasium vormt het PvE hét uitgangspunt van het ontwerptraject. Juist omdat het PvE zo'n bepalende rol speelt in het sturen van ontwerpkeuzes, biedt het een goede kans om duurzaamheid vanaf het begin structureel te integreren in het ontwerpproces.

Een goed opgesteld PvE fungeert als beoordelingskader voor het nog te ontwerpen product. De opdrachtgever kan vragen om in het PvE duurzame ontwerpcriteria op te nemen, bijvoorbeeld op het gebied van materiaalgebruik, energieverbruik, herbruikbaarheid, sociale rechtvaardigheid of kosten op lange termijn. Het 'greenen' van de design brief is essentieel om duurzame ontwerpkeuzes mogelijk te maken: hoe eerder duurzaamheid een rol speelt in het ontwerpproces, hoe groter de impact (Dewulf, Wever, & Brezet, 2011). Duurzaamheidscriteria worden pas effectief wanneer ze onderdeel zijn van het initiële eisenpakket van een project (Klooster & Koeijer, 2012; Mallindine & Piltz, 2024). In latere stadia, wanneer het ontwerp al grotendeels is vastgelegd, is het veel moeilijker (en vaak duurder) om aanpassingen door te voeren om duurzaamheid alsnog de gewenste aandacht te geven.

Daarmee heeft het PvE een grote meerwaarde: het dwingt leerlingen om maatschappelijke, ecologische en economische overwegingen vanaf het begin mee te nemen. Onderzoek over duurzaamheidseducatie toont aan dat onderwijs waarin duurzaamheid expliciet wordt opgenomen in het PvE, bijdraagt aan systeemdenken, maatschappelijk verantwoord ontwerpen en het herkennen van spanningen tussen verschillende belangen zoals milieu vs. betaalbaarheid (Faludi, Smith, Silva, & Bhamra, 2023).

Bij het opstellen van een PvE met duurzame ontwerpcriteria is het essentieel om waakzaam te zijn voor greenwashing. Greenwashing wordt gedefinieerd als '*The intersection of two firm behaviours: poor environmental performance and positive communication about environmental performance*' (Netto, Sobral, Ribeiro, & Soares, 2020).

Voor brugklasleerlingen biedt het expliciet maken van duurzaamheid in het PvE bovendien houvast. Zij zijn vaak nog niet in staat om op eigen initiatief duurzaamheid als criterium te formuleren, maar zijn wél in staat om concrete richtlijnen te volgen en hierover te reflecteren. Door duurzaamheid expliciet te verwerken in het PvE (bijvoorbeeld via de drie P's: People, Planet, Profit of de zeventien SDG's) kunnen zij worden ondersteund in het vertalen van abstracte waarden naar concrete duurzame ontwerpcriteria. Wel moet gerealiseerd worden dat niet altijd alle SDG's relevant en toepasbaar zijn op het uit te voeren project. Als een opdrachtgever bijvoorbeeld geen specifieke eisen stelt aan het voorkomen van kinderarbeid, worden de bijbehorende SDG's vaak niet expliciet opgenomen in het PvE. Toch kan dit indirect wel relevant blijven, bijvoorbeeld bij de inkoop van materialen waarbij keurmerken worden gebruikt die kinderarbeid uitsluiten. De mate waarin een SDG wordt meegenomen, hangt dus mede af van de keuzes en prioriteiten van de opdrachtgever, maar van de docent zelf.

De kwaliteit van het PvE heeft een grote invloed op het eindresultaat van een ontwerpproject (Phillips, 2004). Juist daarom vormt het PvE een kansrijke mogelijkheid om duurzaamheid vanaf het begin structureel in het ontwerpproces te implementeren.

2.6. Doelstelling van het onderzoek

Binnen het Technasiumonderwijs vormt ontwerpend leren (DBL) de kern van het vak O&O. Leerlingen werken aan open, realistische vraagstukken waarin zij niet alleen technische, maar ook maatschappelijke en ecologische aspecten afwegen.

Om leerlingen te ondersteunen bij het vertalen van abstracte duurzaamheidsbegrippen naar concrete ontwerpcriteria, kunnen duurzaamheidskaders zoals de SDG's of de drie P's (People, Planet, Profit) waardevolle richting geven. Toch blijkt uit onderzoek dat leerlingen – ook in de bovenbouw – moeite hebben om (duurzaamheids)criteria concreet en meetbaar te formuleren in hun PvE (Haan-Topolscak & Smits, 2021).

Tegelijkertijd vraagt duurzaam onderwijs niet alleen om kennis van kaders, maar ook om het ontwikkelen van vaardigheden zoals systeemdenken, afweging maken tussen belangen en kritisch reflecteren op keuzes (Sterling, 2016; Faludi, Smith, Silva, & Bhamra, 2023).

Het doel is om te achterhalen hoe brugklasleerlingen duurzaamheid begrijpen en op welke manier de docent hen, via gerichte instructies, het beste kan helpen om dit begrip te vertalen naar toetsbare en betekenisvolle ontwerpcriteria. Daarbij wordt ook onderzocht wat het effect is van de volgorde van instructie: wat is het effect als leerlingen eerst kennismaken met duurzaamheidskaders en pas daarna een PvE opstellen, of juist andersom?

De resultaten van dit onderzoek kunnen bijdragen aan praktische handvatten voor docenten om duurzaamheid concreter en effectiever te begeleiden binnen Technasiumprojecten, zowel inhoudelijk als didactisch.

3. Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag die op basis van het eerder beschreven doel in paragraaf 2.6 beantwoord moet worden luidt als volgt:

3.1. Hoofdvraag

“Op welke manier beïnvloeden de inhoud en volgorde van instructie over duurzaamheid en het Programma van Eisen (PvE) de duurzaamheidscriteria in het PvE van brugklasleerlingen binnen Technasiumonderwijs?”

3.2. Deelvragen

- I. Welke verschillende concepten van duurzaamheid komen naar voren bij brugklas Technasiumleerlingen?
- II. Welke duurzaamheidsaspecten in een PvE opgesteld door brugklas Technasiumleerlingen vallen op?
- III. Welke invloed heeft de volgorde van gerichte instructie (over duurzaamheid en het PvE) op de manier waarop brugklasleerlingen Technasium duurzaamheid verwerken in hun PvE?

3.3. Betrouwbaarheid (zorgvuldigheid) en validiteit (geldigheid)

Tijdens het doen van onderzoek is het van groot belang dat de uitkomsten betrouwbaar zijn en daadwerkelijk iets zeggen over wat er onderzocht wordt. In wetenschappelijk onderzoek wordt daarbij vaak verwezen naar de begrippen betrouwbaarheid en validiteit. Volgens Donk & Lanen (2020) is het vasthouden aan deze voorwaarden binnen praktijkonderzoek op (middelbare) scholen lastig. Zij bestempelen een onderzoek als betrouwbaar wanneer ‘een onderzoek dezelfde onderzoeksresultaten oplevert als het wordt herhaald of door iemand anders uitgevoerd’.

In dit onderzoek naar duurzaamheid binnen het PvE zijn resultaten afhankelijk van het project en hoe brugklasleerlingen dit onder begeleiding van hun docent aanpakken. Dit maakt het nagenoeg onmogelijk om exact dezelfde output te genereren bij een herhaling op een andere school. In plaats van herhaalbaarheid wordt gesproken over zorgvuldigheid.

In dit onderzoek is gestreefd naar een zo zorgvuldig mogelijke aanpak waarbij alle vragenlijsten binnen een tijdspanne van één week zijn afgenomen. Zowel de vragenlijsten als de lessen over duurzaamheid en het PvE zijn opgenomen in de bijlagen. Met deze kennis is het bij een herhaling mogelijk om de onderzoekssituatie zo goed mogelijk te benaderen.

Wat betreft de validiteit geldt dat een schoolomgeving unieke data oplevert die alleen betekenis hebben binnen de specifieke context van dit onderzoek.

De complexiteit van de leeromgeving, met verschillen in voorkennis, begeleiding en groepsdynamiek, speelt een bepalende rol in hoe de onderzoeksresultaten tot stand komen. Ook andere factoren binnen het Technasium, zoals de ervaring en achtergrond van de docent, de mate van coaching en de motivatie en werkhouding van leerlingen, beïnvloeden de leeruitkomsten. Volgens Donk en Lanen (2020) is het daarom passender om te spreken over geldigheid in plaats van validiteit.

Om deze geldigheid te vergroten, is in dit onderzoek gebruikgemaakt van triangulatie: het combineren van meerdere bronnen en methoden om een completer beeld te krijgen van de situatie. Zo zijn literatuur, vragenlijsten en het tussentijds evalueren van leerlingwerk ingezet om tot de antwoorden op de onderzoeksvragen te komen.

Tot slot valt iets te zeggen over de dubbele rol van de docent-onderzoeker. De interventie is uitgevoerd in twee brugklassen: klas P en T. In brugklas T werd het onderzoek uitgevoerd door de eigen vakdocent, tevens onderzoeker van het onderzoek, die daarmee zowel verantwoordelijk was voor de lessen als voor de dataverzameling. Deze combinatie van rollen is niet ongebruikelijk in praktijkgericht onderwijsonderzoek, maar brengt risico's met zich mee op het gebied van objectiviteit en persoonlijk belang.

In klas P werd het onderzoek uitgevoerd door een collega van de onderzoeker. Naast het vak O&O gaf deze docent ook lichamelijke opvoeding. Omdat de achtergrond van beide docenten verschillen, zijn alle instructiemomenten vooraf inhoudelijk met elkaar afgestemd. Leerlingen zijn vooraf geïnformeerd over het doel van het onderzoek, inclusief de mededeling dat deelname geen invloed heeft op hun cijfers. Na ouderlijke toestemming zijn de gegevens geanonimiseerd en geanalyseerd op groepsniveau. Pas na het vaststellen van de cijfers is de inhoudelijke analyse uitgevoerd.

De ethische commissie van de TU Delft is geïnformeerd over de onderzoeksopzet en de rolverdeling. Op basis van de genomen maatregelen heeft de commissie goedkeuring verleend voor de uitvoering van het onderzoek.

4. Methode

De opzet van dit onderzoek is sequentieel en opgebouwd uit twee hoofdfasen. In de eerste fase ligt de focus op het verzamelen van data via een vragenlijst. In de tweede fase ligt de focus op het toewerken naar een definitief PvE via drie iteraties.

4.1 Fase 1: Vragenlijst

Om de eerste deelvraag over welke verschillende concepten van duurzaamheid naar voren komen bij brugklas Technasiumleerlingen te kunnen beantwoorden, is allereerst een online vragenlijst via Microsoft Forms (zie Appendix 2) afgenomen. Het onderzoek is uitgevoerd een middelbare school (havo/vwo) gelegen in midden Nederland. Op deze middelbare school voeren leerlingen in de brugklas ofwel in het eerste, ofwel in het tweede halfjaar twee projecten uit ter oriëntatie. Aan de start van het laatste project voor de zomervakantie van 2025 zijn vier van de vijf beschikbare havo/vwo O&O-klassen (115 leerlingen) benaderd om de vragenlijst in te vullen. Uiteindelijk verleenden de ouders of voogden van 42 leerlingen toestemming, waarmee deze leerlingen daadwerkelijk konden deelnemen aan het onderzoek.

De vragenlijst, die uit acht vragen bestaat en is verdeeld over vijf categorieën (voorkennis, toepassing, belang, waarden en SDG's), richt zich op het begrip duurzaamheid. Het instrument is ontworpen op basis van inzichten uit de literatuur over duurzaamheidseducatie, de drie dimensies van duurzaamheid (People, Planet, Profit) en de SDG's. De andere variabele in dit onderzoek, het PvE, is eerder al onderzocht onder brugklassers (Haan-Topolscak & Smits, 2021).

De eerste vraag (**vraag 1**), waarin leerlingen hun volledige naam moeten invullen, is administratief van aard en inhoudelijk niet relevant voor dit onderzoek. Deze vraag is puur bedoeld om de antwoorden uit de vragenlijst te kunnen koppelen aan de toestemming van de ouders, aangezien alle leerlingen (deelnemers) jonger zijn dan 16 jaar en wettelijk niet zelfstandig mogen instemmen met deelname aan dit onderzoek. Deze persoonsgegevens worden dan ook niet nader geanalyseerd en worden uitsluitend gebruikt voor administratieve doeleinden.

Het vervolg van de vragenlijst is als volgt opgebouwd:

- **Voorkennis (vraag 2: open):**
Deze vraag peilt hoe leerlingen duurzaamheid in eigen woorden zouden uitleggen aan een basisschoolleerling uit groep 8. Dit levert inzicht in hun persoonlijke invulling van het begrip en of ze het vooral sociaal, ecologisch of economisch invullen.

- **Voorkennis (vraag 3: meerkeuze):**
Hier wordt nagegaan waar leerlingen eerder met duurzaamheid in aanraking zijn gekomen (zoals via school, thuis of sociale media). Dit helpt om zicht te krijgen op de informatiebronnen en context waarop hun invulling van duurzaamheid uit vraag 2 gebaseerd is.
- **Toepassing in ontwerpsituatie (vraag 4: open, en vraag 5: open):**
Deze vragen richten zich (nadat er eerst gefocust is op begripsvorming) op de toepassing. Eerst moeten zij zelf formuleren wat een ontwerp in heel algemene zin ‘duurzaam’ maakt, daarna voeren ze specifiekere een mini-ontwerpopdracht uit waarin ze voor een duurzame rugtas twee duurzame eisen moeten opstellen. Dit geeft zicht op hoe zij duurzaamheid praktisch vertalen in eisen en ontwerpcriteria, vergelijkbaar met het werken aan een PvE in O&O.
- **Waarden en prioriteiten (vraag 6: Likert, en vraag 7: rangorde):**
Door middel van stellingen op Likert-schaal worden de leerlingen geconfronteerd met verschillende duurzaamheidsaspecten. Deze onderdelen meten hoe belangrijk zij bijvoorbeeld vinden dat een ontwerp het milieu spaart, sociale rechtvaardigheid bevordert of winst oplevert. De antwoorden geven een indicatie van welke dimensie (People, Planet of Profit) voor hen het zwaarst weegt en welke van deze dimensies dus onder belicht is.
- **Kennis en belang van de SDG's (vraag 8: Likert):**
De leerlingen beoordelen de relevantie van elk van de 17 SDG's. Via een Likert-schaal geven de leerlingen aan hoe belangrijk zij vinden dat elk SDG-doel tegen het jaar 2030 behaald is. Deze vraag meet niet alleen welke doelen leerlingen belangrijk vinden, maar laat hen ook (voor de eerste keer) ervaren hoe breed en veelzijdig het begrip duurzaamheid is.

Onderstaand schema toont de onderzoeksopzet voor fase 1:

Fase	Type studie	
1	Vragenlijst	Het doel is om erachter te komen welke verschillende invalshoeken van duurzaamheid naar voren komen bij brugklas Technasiumleerlingen? Daartoe wordt een vragenlijst afgenomen ↓ Data: 42 ingevulde vragenlijsten; klas P en T

4.1.1 Analyseplan fase 1

De vragenlijst bevat een combinatie van open vragen, meerkeuze vragen, gesloten Likert-vragen en rangordevraag. Door deze opzet konden zowel kwantitatieve als kwalitatieve gegevens worden verzameld.

De gesloten Likert-vragen zijn geanalyseerd met behulp van beschrijvende statistiek (gemiddelde, mediaan en spreiding) in *Microsoft Excel*, om inzicht te verkrijgen in algemene trends in duurzaamheidsopvattingen onder brugklasleerlingen. Omdat veel onderzoekers ervan uitgaan dat respondenten de afstanden tussen de antwoordopties als gelijk ervaren, is het toegestaan om de vijfpuntschaal, zoals gebruikt in de vragenlijst, numeriek te coderen met de waarden:

- 1 = Helemaal mee oneens
- 2 = Een beetje mee oneens
- 3 = Neutraal
- 4 = Een beetje mee eens
- 5 = Helemaal mee eens

Door de beoordelingsschaal op deze manier om te zetten naar numerieke waarden, wordt het mogelijk om statistische berekeningen uit te voeren. Wanneer een leerling bijvoorbeeld aangeeft het niet zo belangrijk te vinden dat armoede wereldwijd wordt gestopt, dan is dit antwoord gecodeerd met de waarde 2.



8. De Verenigde Naties heeft 17 doelen opgesteld voor een betere wereld.
Geef bij elk doel aan hoe belangrijk jij het vindt dat we dat doel gaan halen. * 
Van links naar rechts: helemaal niet belangrijk / een beetje belangrijk / neutraal / belangrijk / heel belangrijk

	Helemaal niet belangrijk	Niet zo belangrijk	Neutraal	Belangrijk	Heel belangrijk
Doel 1: Stop armoede wereldwijd.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Door de gemaakte keuzes op de beoordelingsschaal op deze manier om te zetten naar getallen, is het mogelijk om hiermee te rekenen. Ligt de gemiddelde score op de vijfpuntschaal bijvoorbeeld op 3,4, dan ligt het groepsgemiddelde tussen het derde en vierde schaalpunt.

Deze omzetting is verantwoord, aangezien veel onderzoekers ervan uitgaan dat respondenten, in dit geval leerlingen, de afstanden tussen de antwoordcategorieën als gelijk ervaren (Donk & Lanen, 2020).

Wat de leerlingen niet weten, is dat deze vraag impliciet toetst welke aspecten van duurzaamheid zij belangrijk vinden. De negen stellingen zijn namelijk zo opgesteld dat ze elk verwijzen naar één van de drie pijlers van duurzaamheid: People (sociaal), Planet (ecologisch) en Profit (economisch).

Type	Stelling
People Q1	Een duurzaam ontwerp is niet schadelijk voor de gezondheid van mensen die het gebruiken.
People Q2	Een duurzaam ontwerp komt niet uit fabrieken waar kinderen of volwassenen onder slechte omstandigheden werken.
People Q3	Een ontwerp mag niet duurzamer lijken dan dat het daadwerkelijk is (greenwashing).
Planet Q1	Een duurzaam ontwerp mag niet bijdragen aan de vervuiling van lucht, water of grond.
Planet Q2	Een duurzaam ontwerp bevat niet meer grondstoffen dan nodig.
Planet Q3	Een duurzaam ontwerp moet na gebruik (end-of-life) kunnen worden hergebruikt of gerecycled.
Profit Q1	Een bedrijf moet meebetalen aan het opruimen of recyclen van hun product als het niet meer wordt gebruikt, ook als ze daar niets aan verdienen.
Profit Q2	Een deel van de winst moet worden gebruikt voor betere, schonere en duurzamere ontwerpen.
Profit Q3	Het is belangrijker dat bedrijven rekening houden met mens en milieu dan dat ze snel winst maken.

De antwoorden op de open vragen zijn verwerkt via kwalitatieve thematische analyse. De data zijn open gecodeerd in Atlas.ti, waarbij telkens per item werd nagegaan welke formuleringen leerlingen gebruiken om duurzaamheid te beschrijven. Vervolgens zijn categorieën en thema's geformuleerd op basis van terugkerende concepten.


Na codering is binnen Excel geanalyseerd welke duurzaamheidsaspecten het vaakst werden genoemd. Deze frequentieanalyse biedt een overzicht van de meest voorkomende interpretaties van duurzaamheid onder de respondenten en dient als referentie voorafgaand aan instructie in latere fases van het onderzoek.

4.2 Fase 2: Interventiestudie PvE's

Vanaf fase twee richt dit onderzoek zich specifiek enkel nog op twee van de vijf beschikbare brugklassen in het Technasiumonderwijs: brugklas P (29 lln.) en brugklas T (30 lln.). Beide klassen volgden het vak O&O op dinsdag en vrijdag in het eerste en tweede lesuur. Elke klas had een eigen docent, waarbij de docent van klas T tevens ook de rol van onderzoeker vervulde.

Binnen een bestaand Technasiumproject (zie Appendix 3) kregen de leerlingen bij deelopdracht drie de taak om, aan de hand van een lijst met onderwerpen en waarden, het PvE aan te vullen voor een nog te ontwerpen insectenhotel (zie Figuur 11):

3. Programma van Eisen (PvE)



De opdrachtgever heeft tijdens de kick-off al een paar belangrijke basisvoorwaarden opgesteld waaraan het insectenhotel moet voldoen. Echter is dat lijstje nog niet compleet. Vul daarom het Programma van Eisen aan, in ieder geval op het gebied van:

1. Plaatsing (zon, schaduw...)
2. Weersomstandigheden (nat, droog, stormen...)
3. Materiaalstructuur (ruw, glad...)
4. Duurzaamheid
5. Temperatuur
6. Omgeving (type grond en planten...)

*Figuur 11: Deelopdracht 5, het opstellen van een PvE voor het ontwerpen van een insectenhotel
(bron: middelbare school (havo/vwo) gelegen in midden Nederland)*

Deze fase is opgezet als een interventiestudie met twee condities, waarbij dezelfde instructies over duurzaamheid (zie Appendix 4) en het PvE (zie Appendix 5) worden aangeboden, maar per klas in een andere volgorde. Het doel is om te onderzoeken welk effect deze instructie (en vooral de volgorde ervan) heeft op de inhoud en kwaliteit van de door leerlingen geformuleerde duurzaamheidscriteria in hun PvE.

Voor klas P verloopt de interventie als volgt: de leerlingen starten met het project bij deelopdracht 1. Naarmate zij vorderingen maken, werken zij toe naar deelopdracht 3, waarin zij het PvE aanvullen op basis van de zes inhoudelijke onderdelen uit de opdracht. Dit moment vormt iteratie 1 van het PvE.

Vervolgens ontvangen de leerlingen een gerichte instructie over wat een PvE is en hoe je deze effectief opstelt. Tijdens deze les wordt gebruikgemaakt van een werkblad (zie Appendix 4), wat resulteert in iteratie 2 van het PvE.

Tot slot krijgen de leerlingen een afzonderlijke instructie over het thema duurzaamheid. Na deze les bekijken zij hun PvE opnieuw en vullen zij hun eisen aan, specifiek gericht op duurzaamheid. Dit vormt de derde en laatste iteratie van het PvE.

Voor klas T wordt dezelfde werkwijze gehanteerd, met één belangrijk verschil in volgorde: hier wordt de instructie over duurzaamheid als eerste gegeven, gevolgd door de instructie over het PvE.

Per les wordt telkens één focus aangehouden (dus de instructies worden niet gecombineerd binnen één lesmoment) zodat verwarring en overbelasting kan worden voorkomen.

De interventiestudie kent dus drie opeenvolgende iteraties:

Fase	Type studie	Brugklas P (n=29)	Brugklas T (n=30)
2	Interventiestudie met twee condities (dezelfde twee interventies, maar in een verschillende volgorde per klas)	In stap één (nulmeting) van de interventiestudie worden PvE's van twaalf teams geanalyseerd nog voordat er uitleg over duurzaamheid en/of het PvE wordt gegeven.	
		↓ Stap 1 Data: Opstart PvE (iteratie 1); klas P en T	
		In stap twee en drie wordt in beide klassen (maar dan in andere volgorde) uitleg gegeven over het PvE en duurzaamheid. Ook nu worden de PvE-documenten van leerlingen steeds na elke verbeter slag verzameld en geanalyseerd.	
		Uitleg over PvE (zie Appendix 5); verbeter PvE	Uitleg over duurzaamheid (zie Appendix 4); verbeter PvE
		↓ Stap 2P Data: verbeterd PvE (iteratie 2P); klas P	↓ Stap 2T Data: verbeterd PvE (iteratie 2T); klas T
		Uitleg over duurzaamheid en PvE (zie Appendix 4); verbeter PvE	Uitleg over PVE en duurzaamheid (zie Appendix 5); verbeter PvE
		↓ Stap 3P Data: verbeterd PvE (iteratie 3P); klas P	↓ Stap 3T Data: verbeterd PvE (iteratie 3T); klas T

4.2.1. Analyseplan fase 2

Om de eisen van alle fasen van het onderzoek te analyseren, is analysemethode 10: 'De data analyseren aan de hand van categorieën' toegepast uit het boek Praktijkonderzoek in de school (Donk & Lanen, 2020). Binnen dit programma zijn alle PvE-documenten (verzameld over de verschillende fasen van het onderzoek, zie paragraaf 4.2) gecodeerd op het niveau van individuele eisen. Dus per iteratie is bekeken welke eisen er zijn opgesteld, onafhankelijk van eerdere of latere versies.

De analyse is gebaseerd op een afgebakende invalshoek van duurzaamheid. Binnen dit onderzoek geldt een eis als 'duurzaam' wanneer deze bijdraagt aan het behalen van één

of meerdere SDG's, zonder tegelijkertijd een ander SDG-doel negatief te beïnvloeden. Iedere eis werd daarom afzonderlijk beoordeeld op een mogelijke koppeling aan één van de zeventien SDG-doelen.

In totaal zijn er achttien codes gebruikt: zeventien codes die elk staan voor één SDG-doel en één extra code voor eisen die geen duidelijke relatie tot de SDG-doelen vertonen. Dit laatste geldt bijvoorbeeld voor dimensionele eisen zoals 'Het insectenhotel mag maar 30 cm hoog zijn'. Eerst was ook de gedachte om de eisen ook te beoordelen op kwaliteit volgens het SMART-principe, echter maakte dit de analyse achteraf te complex en te breed.

Per iteratie is een tabel opgesteld met het aantal keren dat elk SDG-doel is genoemd. Om de spreiding over de SDG-doelen per PvE te analyseren is voor iedere iteratie de Gini-coëfficiënt berekend met behulp van Python (Bobbitt, 2022). Appendix 1 laat het gebruikte script zien. Een lage Gini-coëfficiënt wijst op een brede spreiding over verschillende SDG's; een hoge waarde betekent dat slechts enkele SDG-doelen sterk domineren binnen het PvE.

Verder is in deze tabel per SDG-doel aangegeven tot welk van de 3P's (People, Planet en Profit) deze behoort (Elkington, Enter the Triple Bottom Line, 2004). Dit maakt het mogelijk om ook op het niveau van de drie P's uitspraken te doen over waar de nadruk ligt in het denken van leerlingen.

Het absolute aantal SDG-koppelingen is omgezet naar percentages, zodat verschillen tussen groepen of iteraties beter vergelijkbaar zijn. Zo wordt zichtbaar welk percentage van de eisen bijvoorbeeld gekoppeld is aan SDG 12 (Verantwoorde consumptie en productie) en hoeveel procent van de eisen helemaal niet aan een SDG te koppelen is. De resultaten zijn weergegeven in tabellen voorzien van een kleurenschaal en staafdiagrammen om uitschieters beter inzichtelijk te maken.

Voor de volgorde en codering van de verschillende fasen is het volgende systeem gehanteerd. De naam voor iedere fase bestaat telkens uit drie onderdelen:

- P of T: verwijst naar de klas (P of T).
- V0/V1: geeft aan of er wel (V1) of geen (V0) voorkennis geactiveerd is over het PvE, dan wel over duurzaamheid.
- D0/D1: geeft aan of er wel (D1) of geen (D0) instructie is gegeven over duurzaamheid.
- P0/P1: geeft aan of er wel (P1) of geen (P0) instructie is gegeven over het PvE.

Zo betekent bijvoorbeeld TV0D0P0: klas T, zonder voorkennis over duurzaamheid of PvE. In totaal is er per klas op drie momenten data verzameld:

1. Eerst zijn in beide klassen PvE's verzameld zonder dat er enige expliciete uitleg over duurzaamheid of PvE was gegeven, er is dus geen voorkennis over beide onderwerpen geactiveerd (TV0D0P0 en PV0D0P0).
2. Daarna kreeg klas P uitleg over het PvE (PV1D0P1), terwijl klas T uitleg kreeg over duurzaamheid (TV1D1P0).
3. In de derde fase werden de rollen omgedraaid: klas P kreeg nu ook uitleg over duurzaamheid (PV1D1P1 Expliciet), waarbij de eisen expliciet zijn verzameld via het werkblad dat tijdens de duurzaamheidsles werd gebruikt. Aan het einde van het project is de definitieve versie van het PvE als vierde iteratie meegenomen in het codeerproces (PV1D1P1 Definitief).
4. Voor klas T volgde de PvE-les (TV1D1P1 Definitief). Tijdens deze les werd er geen gebruik gemaakt van een werkblad, daarom is deze data indirect verzameld via de eindverslagen die aan het einde van het project zijn ingeleverd bij de docent.

Deze opzet biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om te analyseren in hoeverre leerlingen opgedane kennis en inzichten daadwerkelijk meenemen naar een latere ontwerpfase. Door de expliciete en definitieve versies van de PvE's met elkaar te vergelijken, kan ook worden bekeken of leerlingen elementen uit de les over duurzaamheid meenemen naar hun PvE dat in het eindverslag terecht komt.

5. Resultaten

5.1. Fase 1: analyse vragenlijst

Het responspercentage op de vragenlijst bedroeg 37%. Aangezien alle respondenten (leerlingen) jonger waren dan 16 jaar, was ouderlijke toestemming vereist om de deelname aan het onderzoek in lijn te laten zijn met de richtlijnen van het Human Research Ethics Committee (HREC). Daartoe is over een periode van anderhalve maand en drie pogingen gelukt om van 42 leerlingen de vereiste toestemming te verkrijgen.

Uit de open codering van de vragenlijstantwoorden (vraag 2, 4 en 5) met behulp van *Atlas.ti* zijn acht concrete thema's geformuleerd. Deze thema's konden worden gekoppeld aan de drie dimensies van duurzaamheid zoals beschreven door Elkington (2004): People, Planet en Profit. Daarnaast is één extra categorie toegevoegd, namelijk Overig, voor antwoorden die niet eenduidig binnen de drie dimensies vielen.

Voorbeelden van dit soort overige antwoorden waren als: 'duurzaam' of 'geen idee' en gaven inhoudelijk geen antwoorden op de vragen.

Achter elk thema is het aantal bijbehorende fragmenten weergegeven. Dit aantal representeert het aantal unieke quotes in *Atlas.ti* waaraan het betreffende thema is gekoppeld (zie Tabel 3).

Tabel 3: Overzicht van thematische coderingen uit de vragenlijst, gekoppeld aan de drie duurzaamheidspijlers

Pijler	Thema	Aantal coderingen
Planet	Milieu en natuur	45
Planet	Recycling en hergebruik	38
Planet	Energie en grondstoffen (besparen)	29
Planet	Materiaal (keuze)	25
Planet	Langdurig gebruik / levensduur	21
People	Praktisch nut / bruikbaarheid / wijze van gebruik	12
Profit	Economische aspecten / kostenbewustzijn	10
People	Eerlijkheid en mensvriendelijkheid	7
-	Overig	13

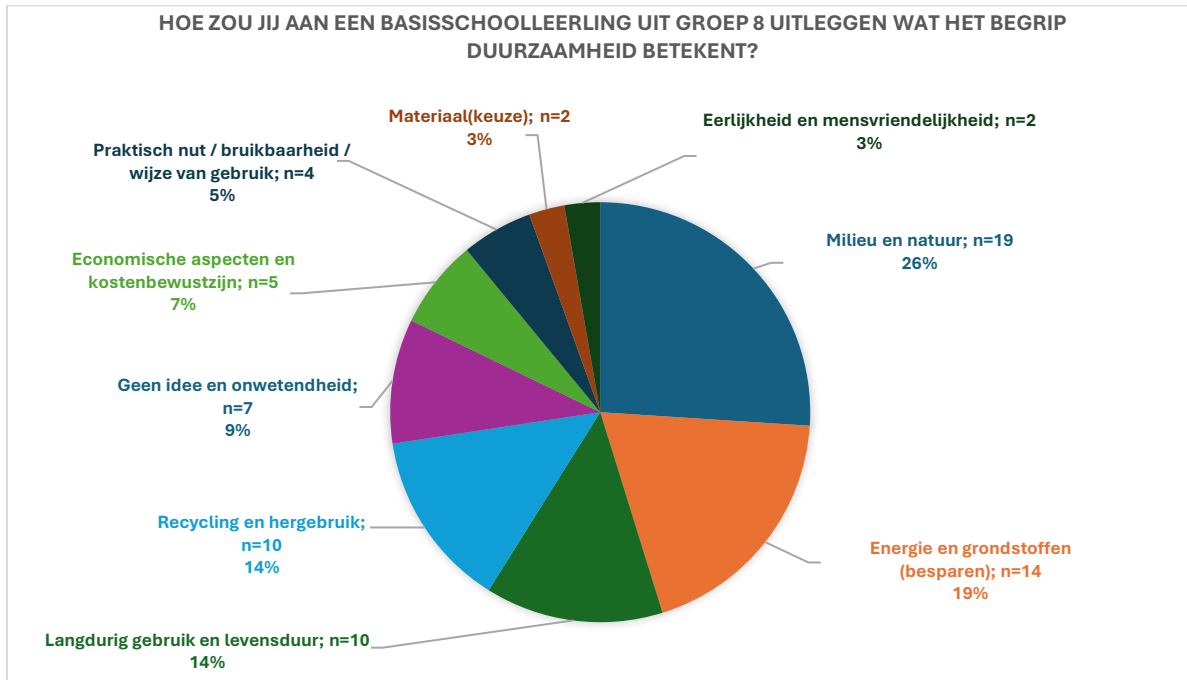
Opvallend is dat de pijler *Planet* verantwoordelijk is voor meer dan 75% van de gecodeerde uitspraken (158 van de 200).

In het vervolg van deze paragraaf wordt een gedetailleerde analyse gepresenteerd van de resultaten uit de vragenlijst, inclusief voorbeelden van antwoorden die de leerlingen gaven. De eerste vraag, waarin leerlingen hun voor- en achternaam moesten invullen,

diende uitsluitend ter administratieve koppeling aan de toestemmingsformulieren van de ouders (zoals beschreven in paragraaf 3.1). De antwoorden op deze vraag zijn dan ook niet inhoudelijk meegenomen in deze analyse.

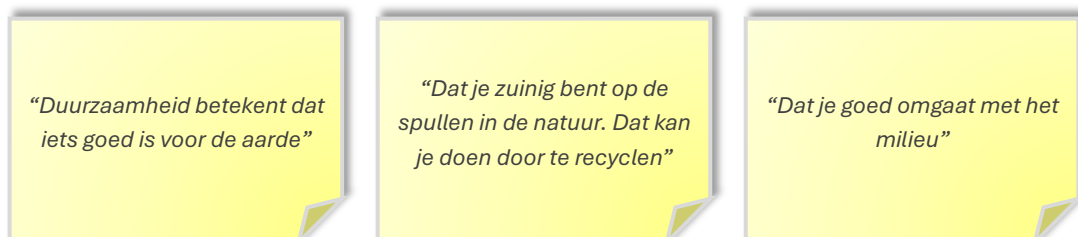
Vraag 2: Hoe zou jij aan een basisschoolleerling uit groep 8 uitleggen wat het begrip duurzaamheid betekent?

De thematische verdeling van de leerlingantwoorden op deze vraag, zoals gecodeerd in *Atlas.ti*, is samengevat in Figuur 12:



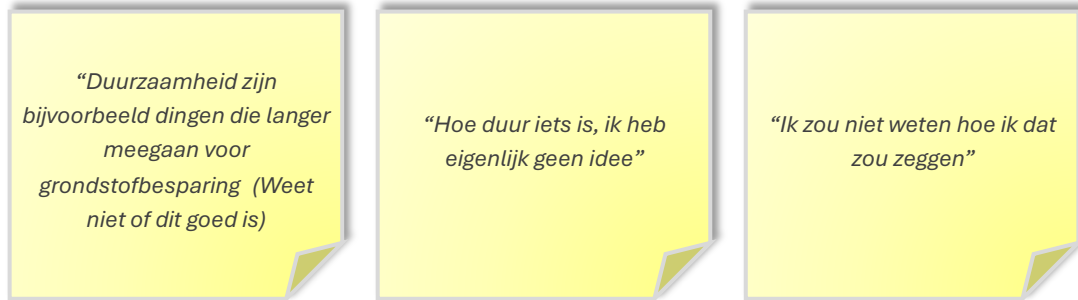
Figuur 12: Thematische verdeling van responses op vraag 2 uit vragenlijst

Opvallend is dat 26% van de uitleg aan groep 8-leerlingen betrekking had op het thema 'milieu en natuur':



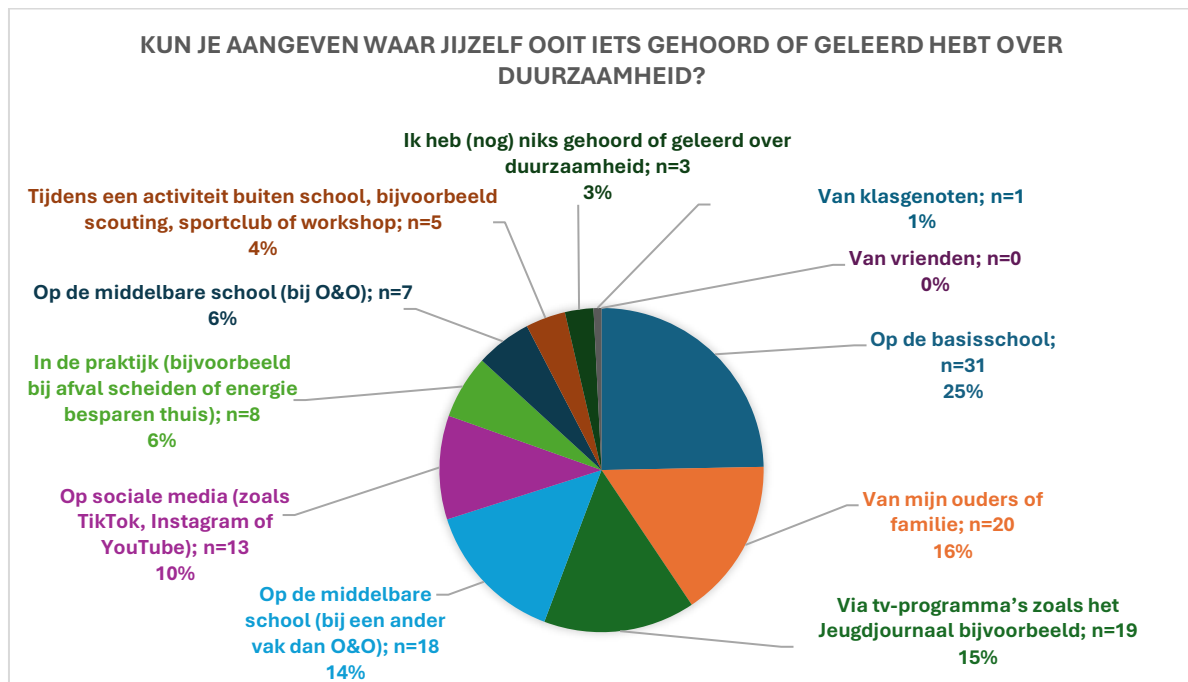
Daarmee kwam dit thema het vaakst voor in de gecodeerde antwoorden. De thema's 'eerlijkheid en mensvriendelijkheid' en 'materiaalkeuze' werden daarentegen aanzienlijk minder vaak genoemd, met elk een aandeel van 3% van de in *Atlas.ti* gecodeerde uitspraken, vaak in combinatie met het thema milieu en natuur: “Door een boom te planten en dan wanneer het gegroeid is van het schaduw genieten. Want het is goed voor het milieu en is heel goed voor de mens”.

Uit 9% van de antwoorden op vraag 2 blijkt dat leerlingen geen idee hadden hoe ze het begrip duurzaamheid moesten uitleggen:



Vraag 3: Kun je aangeven waar jijzelf ooit iets gehoord of geleerd hebt over duurzaamheid?

Om meer inzicht te krijgen in de achtergrondkennis van leerlingen, is bij een vervolgvraag (meerkeuze) in kaart gebracht via welke bronnen zij eerder iets over duurzaamheid hebben gehoord of geleerd. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 13:



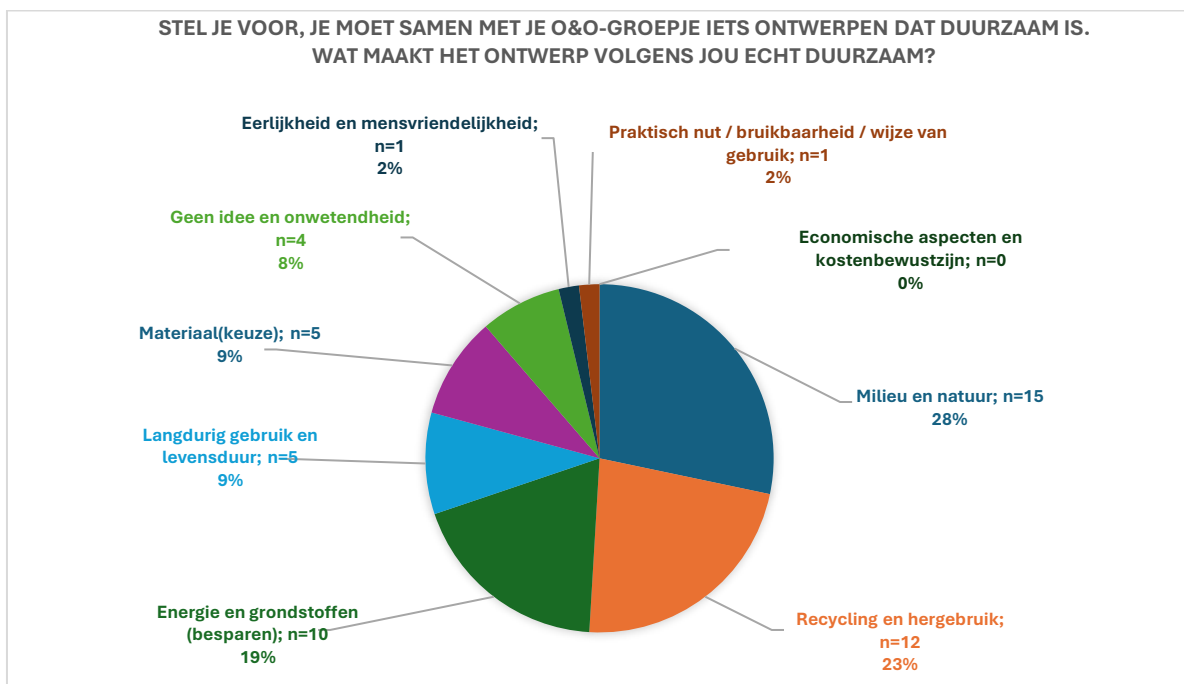
Figuur 13: Verdeling van responses op vraag 3 uit vragenlijst

Te zien is dat het grootste deel van de leerlingen iets over duurzaamheid heeft gehoord of geleerd op de basisschool (25%). Ook ouders of familie (16%), tv-programma's (15%) worden veel genoemd. Opvallend is dat leerlingen onderling nauwelijks over duurzaamheid lijken te spreken: zowel klasgenoten als vrienden worden met respectievelijk 1% en 0% slechts beperkt of zelfs helemaal niet als informatiebron genoemd.

Vraag 4: Stel je voor, je moet samen met je O&O-groepje iets ontwerpen dat duurzaam is. Wat maakt het ontwerp volgens jou echt duurzaam?

Daar waar vraag 2 en 3 van de vragenlijst meer inzicht gaven in de voorkennis van leerlingen op het gebied van duurzaamheid, gaan vraag 4 en 5 dieper in op toepassing van duurzaamheid in de ontwerpsituatie. Het weten wat duurzaamheid is, is stap één, het kunnen toepassen is stap twee.

Ook nu zijn weer de antwoorden eerst gecodeerd gebruikmakend van Atlas.ti op basis van dezelfde thema's als bij vraag 2. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 14:



Figuur 14: Thematische verdeling van responses op vraag 3 uit vragenlijst

Opvallend is dat ruim een kwart van de leerlingen (28%) bij het ontwerpen van iets dat duurzaam moet zijn, het milieu en de natuur als belangrijkste onderbouwing noemt. Dit percentage ligt zelfs iets hoger dan de 26% die in vraag 2 al het belang van milieu en natuur benoemde. Eerlijkheid, mensvriendelijkheid (2%) en economische aspecten zoals kostenbewustzijn (0%) blijven ook nu duidelijk onderbelicht.

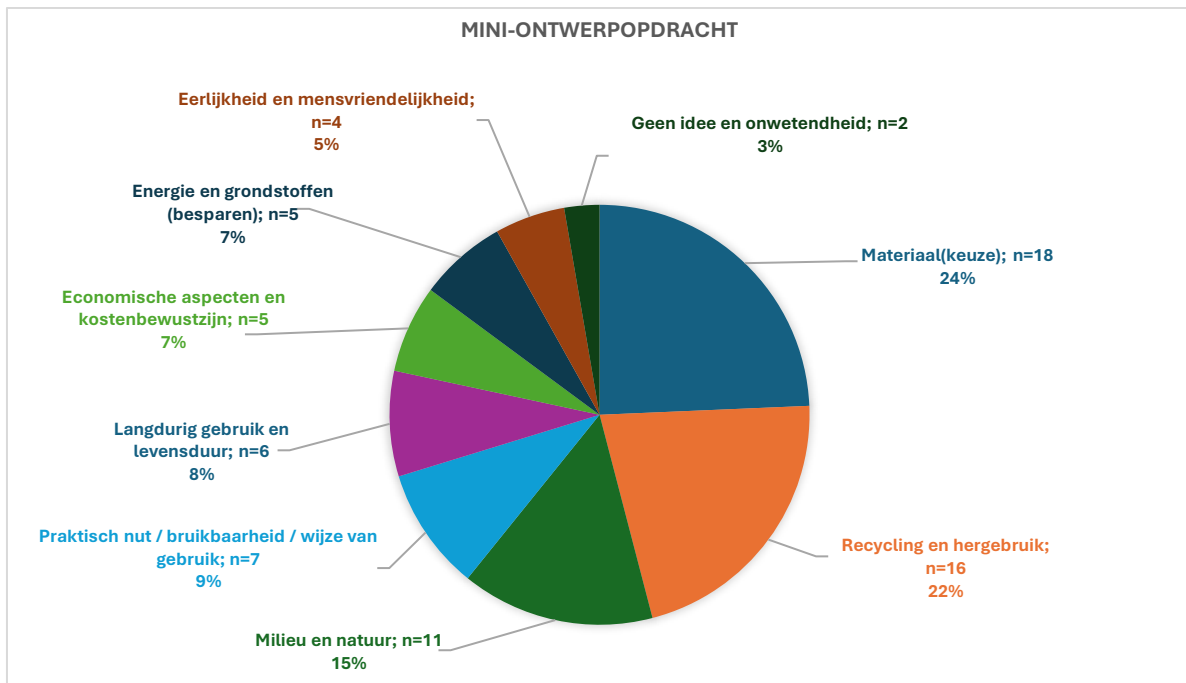
Enkele voorbeelden van antwoorden die leerlingen op deze vraag gaven, werden als volgt geformuleerd:



Vraag 5: Mini-ontwerpopdracht

Je krijgt de opdracht om een duurzame schooltas te ontwerpen voor basisschoolleerlingen uit groep 8. De schooltas moet naast praktisch (handig in gebruik) dus vooral ook duurzaam zijn. Bedenk minimaal twee specifieke duurzame eisen waaraan deze rugtas moet voldoen.

Deze vraag geeft dieper inzicht in waar bij vraag 4 ook de focus op lag, namelijk het toepassen van duurzaamheid binnen ontwerpen. Ook nu zijn weer de antwoorden eerst gecodeerd gebruikmakend van Atlas.ti op basis van dezelfde thema's als bij vraag 2 en 4. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 15:



Figuur 15: Thematische verdeling van responses op vraag 4 uit vragenlijst

Wat opvalt, is dat bij vraag 1 en 3 het milieu en de natuur met respectievelijk 26% en 28% het vaakst genoemd worden als thema in de antwoorden van leerlingen. Wanneer echter koppeling wordt gemaakt tussen duurzaamheid en het formuleren van eisen, verandert deze thematische focus: materiaalkeuze komt dan met 24% op de eerste plaats, gevolgd door recycling en hergebruik (22%). Milieu en natuur zakken in dit geval naar de derde plek (15%).

Materiaalkeuze:

“Geen ‘nieuw’ plastic”

Recycling en hergebruik:

“Hij moet van gerecycled of 2^e hands spullen zijn”

Milieu en natuur:

“En het materiaal moet van dichtbij komen dus niet uit Italië maar uit Nederland”

Praktisch nut...:

“Het is duurzaam en bruikbaar”

Langdurig gebruik en levensduur:

“Niet gelijk stuk”

Vraag 6: Geef per stelling aan hoeveel je het daarmee eens bent.

Tabel 4 laat de resultaten van de analyse behorende bij vraag 6 uit de vragenlijst zien:

Tabel 4: Numerieke waarden vraag 6 uit vragenlijst (gemiddelde, mediaan en standaarddeviatie)

Type	Stelling	Gemiddelde	Mediaan	Standaarddeviatie	Percentage score 4 of 5.
People Q1	Een duurzaam ontwerp is niet schadelijk voor de gezondheid van mensen die het gebruiken.	3,88	4,00	1,09	59%
People Q2	Een duurzaam ontwerp komt niet uit fabrieken waar kinderen of volwassenen onder slechte omstandigheden werken.	3,95	4,00	1,03	<u>73%</u>
People Q3	Een ontwerp mag niet duurzamer lijken dan dat het daadwerkelijk is (greenwashing).	3,46	3,00	1,13	<u>50%</u>
Planet Q1	Een duurzaam ontwerp mag niet bijdragen aan de vervuiling van lucht, water of grond.	3,51	4,00	1,29	60%
Planet Q2	Een duurzaam ontwerp bevat niet meer grondstoffen dan nodig.	3,83	4,00	1,10	58%
Planet Q3	Een duurzaam ontwerp moet na gebruik (end-of-life) kunnen worden hergebruikt of gerecycled.	3,68	4,00	1,11	60%
Profit Q1	Een bedrijf moet meebetalen aan het opruimen of recyclen van hun product als het niet meer wordt gebruikt, ook als ze daar niets aan verdienen.	3,66	4,00	1,00	54%
Profit Q2	Een deel van de winst moet worden gebruikt voor betere, schonere en duurzamere ontwerpen.	3,59	4,00	1,04	53%
Profit Q3	Het is belangrijker dat bedrijven rekening houden met mens en milieu dan dat ze snel winst maken.	3,83	4,00	0,96	63%

Wat als eerste opvalt, zijn de gemiddelden: die liggen voor alle negen stellingen vrij dicht bij elkaar, namelijk tussen de 3,46 en 3,95. Binnen de People-pijler heeft stelling Q3, die gaat over greenwashing, het laagste gemiddelde (3,46) en is het bovendien de enige stelling met een mediaan van 3 in plaats van 4. Opvallend genoeg komt juist binnen dezelfde pijler ook het hoogste gemiddelde voor: de stelling "*Een duurzaam ontwerp komt niet uit fabrieken waar kinderen of volwassenen onder slechte omstandigheden werken*" scoort gemiddeld 3,95. Daarmee lijkt de People-pijler, die in eerdere vragen nog onderbelicht was, in deze stellingen juist het sterkst vertegenwoordigd.

Vraag 7: Wat vind jij het belangrijkste aan een duurzaam ontwerp?

Uit de resultaten (zie Tabel 5) blijkt dat 63% van de leerlingen de Planet-pijler (milieu en natuur) op nummer één zet. Dit is in lijn met de thematische analyse van de open vragen 2 en 4: bij het uitleggen van duurzaamheid en het ontwerpen van een duurzaam product werd het thema milieu en natuur respectievelijk in 26% en 28% van de antwoorden genoemd.

De People-pijler (sociale duurzaamheid) wordt door 70% van de leerlingen op de tweede plaats gezet. Deze pijler kreeg eerder, in vraag 6, relatief hoge scores op de stellingen over eerlijke arbeidsomstandigheden en maatschappelijke verantwoordelijkheid (gemiddelden van 3,95 en 3,83). Opvallend is echter dat eerlijkheid en mensvriendelijkheid nauwelijks genoemd werden bij open vragen 2 en 4 (slechts 3% en 2%).

De Profit-pijler (economische duurzaamheid) staat voor 73% van de leerlingen op de derde plaats. Deze derde plek komt overeen met eerdere analyses: economische thema's zoals kosten, zuinigheid of verdienmodellen werden bij open vragen nauwelijks genoemd (0% tot 3%) en scoorden ook in de stellingen nog lager dan de andere twee pijlers.

Tabel 5: Verdeling van duurzaamheidspijlers over eerste, tweede en derde keuze door leerlingen (%)

Prioritering	Peiler	Verdeling Planet	Verdeling People	Verdeling Profit
Eerste plaats	Planet: Dat het goed is voor het milieu	63%	20%	17%
Tweede plaats	People: Dat het goed is voor mensen	20%	70%	10%
Derde plaats	Profit: Dat het geld oplevert	17%	10%	73%

Vraag 8: De Verenigde Naties heeft 17 doelen opgesteld voor een betere wereld. Geef bij elk doel aan hoe belangrijk jij het vindt dat we dat doel gaan halen.

Tabel 6 laat de resultaten van de analyse behorende bij vraag 8 uit de vragenlijst zien:

Tabel 6: Numerieke waarden vraag 8 uit vragenlijst (gemiddelde, mediaan en standaarddeviatie)

SDG-doel	Gemiddelde	Mediaan	Standaarddeviatie	Percentage score 4 of 5
Doel 1: Stop armoede wereldwijd.	4,21	4,00	1,01	93%
Doel 2: Stop honger wereldwijd.	4,43	5,00	0,90	89%
Doel 3: Maak goede gezondheidszorg overal beschikbaar.	4,32	4,00	0,85	93%
Doel 4: Maak goed onderwijs overal beschikbaar.	4,11	4,00	0,94	79%
Doel 5: Laat jongens en meisjes gelijke (baan)kansen hebben.	4,04	4,00	1,09	79%
Doel 6: Maak schoon drinkwater en wc's voor iedereen beschikbaar.	4,07	4,00	1,03	82%
Doel 7: Maak schone zonne- en windenergie voor iedereen beschikbaar.	4,04	4,00	1,03	79%
Doel 8: Laat iedereen op een eerlijke en veilige manier werken.	4,04	4,00	0,87	82%
Doel 9: Maak goede wegen en internet voor iedereen beschikbaar.	3,93	4,00	0,96	<u>75%</u>
Doel 10: Verklein de kloof tussen arm en rijk binnen en tussen landen.	4,18	4,00	0,93	82%
Doel 11: Maak alle landen op aarde veilig om te wonen.	4,46	5,00	0,82	96%
Doel 12: Laat landen slimmer omgaan met grondstoffen; minder afval, meer hergebruik.	4,07	4,00	0,88	82%
Doel 13: Maak samen met alle landen van de wereld afspraken om klimaatverandering te stoppen, dus niet ieder land voor zich.	4,18	4,00	0,97	86%
Doel 14: Bescherm en herstel het leven in de zee/oceaan.	4,25	4,00	0,91	93%
Doel 15: Bescherm en herstel de natuur op het land.	4,29	4,00	0,80	<u>96%</u>
Doel 16: Stop oorlogen, zorg overal voor vrede en veiligheid.	4,29	4,00	0,84	93%
Doel 17: Alle landen moeten elkaar helpen om samen bovenstaande doelen te behalen.	4,14	4,00	0,91	82%

Voor de laatste vraag is eenzelfde soort analyse uitgevoerd als vraag 6. Dit keer werd is voor ieder SDG doel gevraagd in hoeverre de leerling het belangrijk vindt dat het doel ook daadwerkelijk behaald wordt.

Om deze analyse goed en betrouwbaar te kunnen uitvoeren zijn in Excel voor deze negen vragen het gemiddelde, de mediaan en de standaarddeviatie uitgerekend. Door hiernaar te kijken is te zien in welke mate de leerlingen het eens zijn met de stelling (zie Tabel 6).

SDG 11 (Maak alle landen op aarde veilig om te wonen) en SDG 2 (Stop honger wereldwijd) worden het hoogst gewaardeerd, met gemiddeldes van respectievelijk 4,46 en 4,43. Ook SDG 3 (Goede gezondheidszorg), SDG 15 (Natuur op het land beschermen) en SDG 16 (Vrede en veiligheid) scoren relatief hoog (gemiddeld 4,29 of hoger).

Het minst gewaardeerde doel is SDG 9 (Goede wegen en internet voor iedereen), met een gemiddelde van 3,93. Ook SDG 5 (Gelijke kansen voor jongens en meisjes) scoort iets lager dan de rest en valt extra op vanwege de hoogste standaarddeviatie (1,09). Bij elk van de zeventien doelen kiest tenminste 79% van de leerlingen voor een score van 4 of 5.

De resultaten sluiten verder aan bij eerdere vragen uit de vragenlijst. Zowel bij het formuleren van duurzame ontwerpcriteria (vraag 3 en 4) als bij het prioriteren van duurzaamheidspijlers (vraag 7) gaven leerlingen de voorkeur aan ecologische aspecten. In de SDG-analyse zien we hetzelfde patroon: doelen gericht op natuur, gezondheid en veiligheid worden hoger gewaardeerd dan economische of structurele doelen. Dit wijst op een consistente voorkeur voor concrete en herkenbare vormen van duurzaamheid.

5.1.1. Subconclusies voorkennis duurzaamheid

De vragenlijst had als doel om te onderzoeken wat brugklasleerlingen verstaan onder duurzaamheid, hoe zij dit toepassen in een ontwerp, welke waarden zij belangrijk vinden, welke aspecten zij prioriteit geven, en uit welke bronnen zij hierover iets hebben geleerd. De resultaten laten zien dat veel leerlingen duurzaamheid herkennen en ermee kunnen omgaan, maar dat hun beeld ervan vooral gericht is op ecologische thema's.

Leerlingen associëren duurzaamheid in eerste instantie vooral met het milieu, de natuur en materiaalgebruik. Thema's zoals recycling en energiebesparing worden vaak genoemd. Sociale en economische aspecten komen in open vragen slechts sporadisch voor. Dit wijst erop dat leerlingen vooral bekend zijn met de ecologische kant van duurzaamheid, terwijl hun kennis over sociale of economische dimensies beperkter is of minder actief wordt opgeroepen.

Ook in ontwerp situaties blijft de ecologische focus sterk aanwezig. Bij het formuleren van duurzame eisen voor een schooltas verschuift het accent licht richting praktische toepassingen zoals materiaalkeuze en hergebruik, maar de sociale en economische dimensies blijven opnieuw onderbelicht. Dit suggereert dat de toepassing van duurzaamheid in ontwerp contexten grotendeels binnen het bekende, ecologische domein plaatsvindt.

In de gesloten vragen over duurzame ontwerpprincipes komt een breder waardenpatroon naar voren. Leerlingen geven relatief een hoge waardering aan sociale principes zoals het vermijden van kinderarbeid en greenwashing. Hoewel deze thema's nauwelijks spontaan worden genoemd in open antwoorden, blijken ze in stellingen wel belangrijk te worden gevonden. Leerlingen lijken dus wel een gevoel te hebben voor wat 'eerlijk' of 'goed' is, maar brengen dat zelf nog niet in verband met duurzaamheid, tenzij je hen er expliciet naar vraagt.

Wanneer leerlingen gevraagd worden de drie duurzaamheidspijlers te rangschikken, kiest het merendeel (63%) voor de ecologische pijler als belangrijkste. De sociale pijler wordt meestal op de tweede plaats gezet, de economische pijler op de derde. Deze rangorde komt overeen met de verdeling van thema's in de open vragen en benadrukt de centrale positie van 'Planet' in het duurzaamheidsbegrip van leerlingen.

Leerlingen leren vooral over duurzaamheid op school, van ouders en via de televisie. Klasgenoten of vrienden worden nauwelijks genoemd als bron van informatie. Daardoor lijkt duurzaamheid geen onderwerp van gesprek te zijn onder de leerlingen.

Leerlingen vinden vooral concrete en herkenbare SDG-doelen belangrijk, zoals 'Stop honger', 'Vrede en veiligheid' en 'Natuur op het land beschermen' geven concrete handvatten waar zij hun mening over kunnen geven. Abstractere of systemische doelen zoals 'Goede infrastructuur' of 'Internationale samenwerking' krijgen minder prioriteit en kennen een grotere spreiding in waardering. Ook hier lijkt het vermogen om duurzaamheid in samenhang en op systeemniveau te overzien nog beperkt ontwikkeld.

De analyse toont aan dat leerlingen al in staat zijn om duurzaamheid betekenis te geven en toe te passen, maar dat deze invulling vooral op ecologisch vlak is. Sociale en economische aspecten worden pas zichtbaar wanneer ze expliciet worden aangeboden, bijvoorbeeld in de vorm van stellingen of bij specifieke focus op één of meerdere SDG's. Dit benadrukt het belang van gerichte instructie waarin ook de minder zichtbare kanten van duurzaamheid aan bod komen. Door leerlingen niet alleen kennis te laten maken met voorbeelden, maar ook taal en kaders aan te reiken, kan het begrip duurzaamheid zich verder verbreden en verdiepen.

5.2. Fase 2: analyse interventiestudie PvE's

Het tweede deel van dit onderzoek richt zich op de analyse van de PvE's die zijn opgesteld door 59 O&O-leerlingen uit twee parallelle havo/vwo-brugklassen. Van elk team zijn drie versies van het PvE verzameld: een eerste versie zonder enige instructie, een tweede versie een eerste instructie over duurzaamheid of het PvE en een derde versie nadat zowel klas P en T beide instructies gehad hebben. Tabel 7 biedt een overzicht van de kernresultaten van de codering van PvE-eisen, op basis van de analysemethode zoals beschreven in paragraaf 3 van het analyseplan.

Tabel 7: Overzicht van containerbegrippen, SDG-dekking en Gini-coëfficiënten per iteratie en klas

Klas P	Afkorting	Aantal containerbegrippen in PvE	Gedekte SDG's	Gini
Iteratie 1	PV0D0P0	5 (15 lln)	SDG 12, 15	0,900
Iteratie 2	PV1D0P1	1 (3 lln)	SDG 8, 12, 15	0,919
Iteratie 3	PV1D1P1	6 (19 lln)	SDG 6, 12, 13, 15	0,871

Klas T	Afkorting	Aantal containerbegrippen in PvE	Gedekte SDG's	Gini
Iteratie 1	TV0D0P0	2 (8 lln)	SDG 3, 12, 15	0,912
Iteratie 2	TV1D1P0	1 (4 lln)	SDG 1, 3, 6, 8, 11, 12, 13, 15	0,712
Iteratie 3	TV1D1P1	0 (0 lln)	SDG 1, 3, 6, 12, 15	0,866

In de eerste iteratie, dus vóóordat er enige instructie was gegeven, waren er al relatief grote verschillen zichtbaar tussen beide klassen. Klas P liet een verdeling zien waarbij SDG 15, over natuur en biodiversiteit, dominant was, met daarnaast een aantal eisen die onder SDG 12 vielen. Ook hier bleef de spreiding beperkt, met een Gini van 0,900. Opvallend is dat in deze eerste versie klas P meer containerbegrippen gebruikte dan klas T: vijf eisen tegenover twee eisen in klas T. Aangezien binnen O&O het hele team gezamenlijk eigenaar is van het product, geldt iedere PvE als representatief voor het volledige team. Eén PvE vertegenwoordigt doorgaans de inbreng van drie à vier leerlingen, waardoor het aantal gecodeerde containerbegrippen ook doorvertaald kan worden naar het aantal betrokken leerlingen.

Klas T formuleerde in deze eerste iteratie ook vooral veel eisen die gekoppeld konden worden aan SDG 12, over verantwoorde consumptie en productie, zoals: “materialen gebruiken uit de natuur”. Ook SDG 15, over leven op het land, kwam voor (“het hotel moet goed zijn voor bijen, kevers, lieveheersbeestjes en nog meer”). Opvallend is dat zowel SDG 12 als SDG 15 in elke iteratie in beide klassen terugkwamen. Daarnaast kon een enkele eis gekoppeld worden aan SDG 3 (goede gezondheid en welzijn): “geen giftige spullen”. De spreiding was echter beperkt: 80% van alle eisen viel onder SDG 12. De Gini-coëfficiënt voor klas T was in deze fase dan ook hoog (0,912).

Na iteratie één kreeg klas P instructie over het opstellen van een goed PvE. Er werd nog geen aandacht besteed aan de inhoudelijke invulling van duurzaamheid. Het resultaat was een aangescherpt PvE (iteratie 2) waarbij het totaal aantal duurzaamheids coderingen nauwelijks veranderde ten opzichte van de eerste iteratie. Net als eerder bleven SDG 12 en 15 dominant. Eén nieuwe SDG kwam erbij: SDG 8, over eerlijk werk en economische groei. De spreiding over duurzaamheidsthema's bleef beperkt. De Gini-coëfficiënt steeg licht naar 0,919. Wel nam het aantal containerbegrippen sterk af: van vijf naar één.

Klas T kreeg na iteratie één juist een les over duurzaamheid. In de daaropvolgende PvE's (iteratie 2) is een bredere spreiding van SDG's zichtbaar. Naast SDG 12 en 15 werden ook

eisen geformuleerd die passen binnen SDG 1 (armoede), SDG 3, SDG 6 (schoon water en sanitair), SDG 8 (eerlijk werk), SDG 11 (duurzame steden) en SDG 13 (klimaatactie). In totaal werden acht verschillende SDG's geraakt. De Gini daalde naar 0,712, wat betekent dat de duurzaamheidscriteria over meer SDG's verdeeld zijn geraakt. Tegelijkertijd nam het aantal containerbegrippen af en werd vaker verwezen naar concrete kenmerken, zoals hernieuwbare materialen, een lange levensduur of lage milieu-impact. Omdat leerlingen binnen O&O hun verslag deels digitaal verzorgden, konden zij eenvoudig schakelen tussen PvE-documenten en AI-tools, wat mogelijk invloed heeft gehad op deze spreiding.

Het team uit klas T lijkt me een specifiekere PvE te formuleren dan klas P. In klas P worden weliswaar meer eisen gecodeerd (in totaal 42) en er worden iets meer SDG's geraakt dan in eerdere fases, maar de verdeling over de SDG's blijft net iets minder verdeeld dan bij klas T.

In de derde en laatste iteratie kreeg klas P een les over duurzaamheid, terwijl klas T instructie kreeg over het opstellen van een PvE. In klas P leidde deze volgorde tot een PvE waarin weliswaar meer eisen werden gecodeerd (in totaal 42) en er iets meer SDG's geraakt werden dan in eerdere fases, maar de verdeling bleef minder verdeeld dan bij klas T. Net als in de eerdere versies blijft de aandacht vooral gericht op SDG 12 en 15. Slechts twee extra SDG's (namelijk 6 en 13) komen erbij. De Gini daalt iets naar 0,871, maar blijft vergelijkbaar met eerdere waarden. Wat vooral opvalt is dat het gebruik van containerbegrippen juist weer stijgt: in zes PvE's is sprake van 'vage' duurzaamheidsformuleringen, afkomstig van in totaal negentien leerlingen. Daarmee lijkt de winst uit de tweede iteratie (waarbij het doel juist was om eisen zo SMART als mogelijk te formuleren) deels verloren te gaan. Tabel 8 laat voor een willekeurig team uit klas P de gehele ontwikkeling van het PvE zien.

Tabel 8: Ontwikkeling PvE willekeurig team klas P

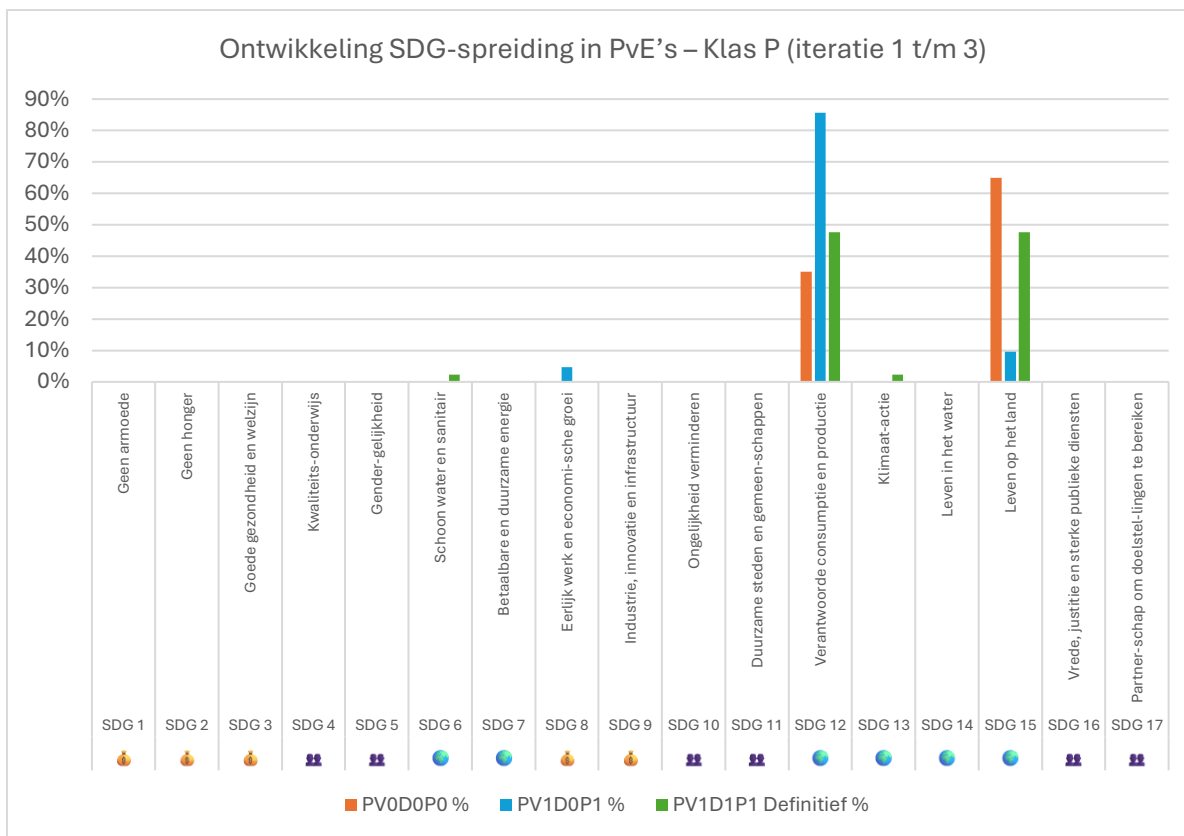
Ontwikkeling PvE willekeurig team klas P		
Iteratie 1 (focus duurzaamheid)	Iteratie 2 (focus duurzaamheid)	Iteratie 3 (definitief PvE)
<ul style="list-style-type: none"> • Materiaalgebruik: duurzame materialen: hout, ijzer, haar, snoeiafval, denneappels, droge takken, hooi, bamboe (SDG 12) • Moet duurzaam materiaal zijn (SDG 12) • Er moet genoeg ruimte zijn voor minimaal 2 soorten insecten in passen (SDG 15) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebruik natuurlijke producten, zoals hout en tuinafval (SDG 12) • Gerecyclede producten gebruiken (SDG 12) • Geen plastic materialen gebruiken (SDG 12) 	<ul style="list-style-type: none"> • Er moet genoeg ruimte voor twee soorten insecten zijn (SDG 15) • Duurzame materialen gebruiken (SDG 12) • Er moet een plek zijn waar de insecten beschermt zijn tegen regen en wind (SDG 15) • Het moet geen vijanden van andere insecten aantrekken (SDG 15) • Het hotel moet op een droge en zonnige plek staan

In klas T leidde de combinatie van beide instructies tot een gevarieerd duurzaam PvE met 47 eisen, gekoppeld aan vijf verschillende SDG's. Hoewel SDG 12 en 15 nog steeds de meerderheid vormden, kwamen ook SDG 1, 3 en 6 opnieuw voor. De Gini steeg iets naar 0,866, maar bleef lager dan in iteratie 1. Het meest opvallend is dat in deze laatste versie geen enkel containerbegrip meer voorkomt. In deze fase gebruikt geen enkele leerling het woord 'duurzaam' zonder te verduidelijken waarop dat precies betrekking heeft. Tabel 9 laat voor een willekeurig team uit klas T de gehele ontwikkeling van het PvE zien.

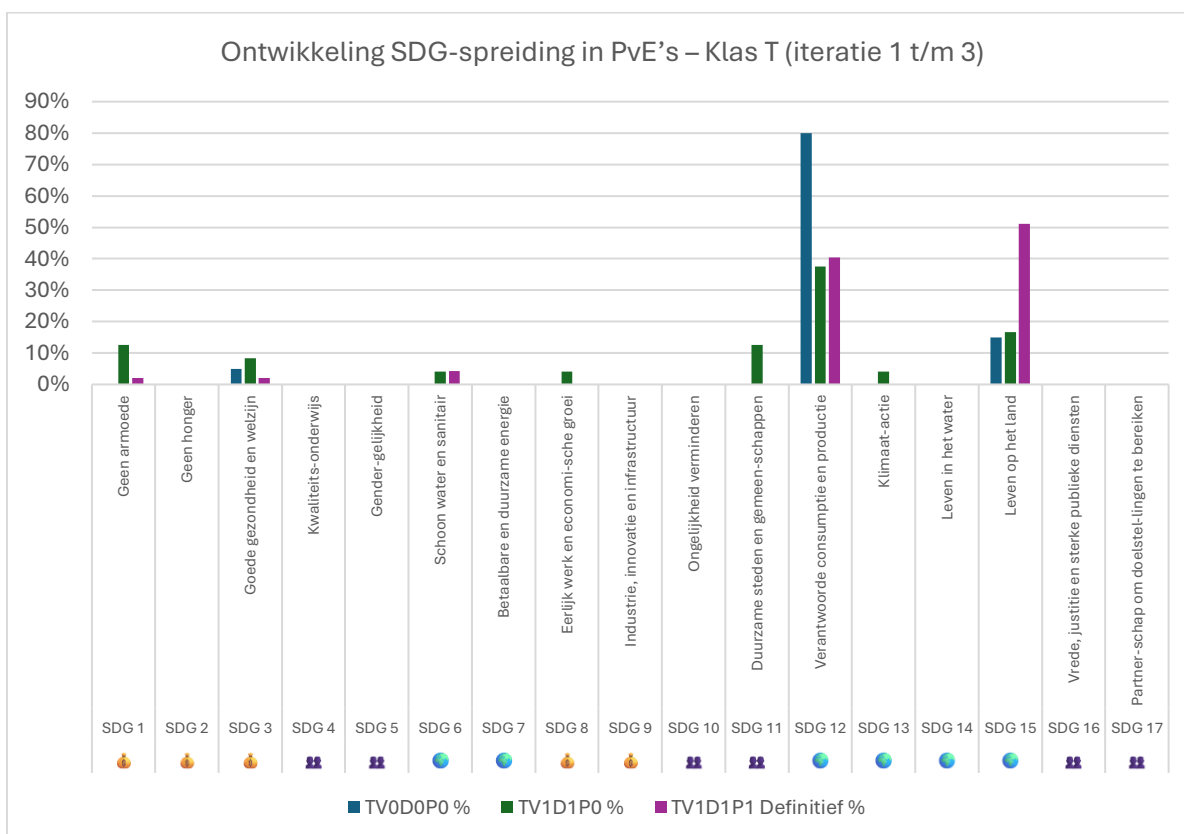
Tabel 9: Ontwikkeling PvE willekeurig team klas T

Ontwikkeling PvE willekeurig team klas T		
Iteratie 1 (focus duurzaamheid)	Iteratie 2 (focus duurzaamheid)	Iteratie 3 (definitief PvE)
<ul style="list-style-type: none"> Alleen dingen van de natuur gebruiken (SDG 12) 	<ul style="list-style-type: none"> Geen geld uitgeven aan het insectenhotel (SDG 1) Eten erin leggen voor de insecten (SDG 15). We maken het waterdicht (SDG 12) zodat er geen wateroverlast/schade veroorzaakt (SDG 13) 	<ul style="list-style-type: none"> De vorm: we willen een klein insectenhotel van 15cm lang en 7cm breed dit insectenhotel zal kunnen passen in een verhuisdoos Het materiaal: met het materiaal gaan we het insectenhotel bouwen, het materiaal gaan we gebruiken om het insectenhotel dicht te maken en dat het veilig is voor de insecten (SDG 15). de plaatsing/omgeving: dit insectenhotel zal komen in het bos omdat het daar niemand komt en omdat er daar veel insecten zijn het zal belangrijk zijn omdat het de dierenveilig (SDG 15) houdt van vogels of andere dieren die ze opeten Duurzaamheid: we zorgen ervoor dat we rekening houden met de duurzaamheid door geen geld (SDG 1) eraan uitgegeven en materialen te gebruiken uit de natuur (SDG 12). De plaatsing van ons insecten hotel zal ergens in de schaduw zijn. Dit insecten hotel is bedoeld voor kevers pissebedden en dat soort insecten. Dit insectenhotel kan tegen regen en zon een storm heel misschien. We gaan hout als materiaal gebruiken omdat dat stevig is en vaak tegen water kan. We gaan dit hotel duurzaam maken hier gaan we voor zorgen door geen geld (SDG 1) eraan uit te geven en er eten in te leggen voor de insecten en we maken het waterdicht zodat er geen waterschade (SDG 13) komt en dat we het dan niet opnieuw moten bouwen

Om dit visueel inzichtelijk te maken, toont Figuur 16 de ontwikkeling in SDG-spreiding binnen de PvE's van klas P, waarbij de leerlingen eerst instructie over het PvE kregen en later uitleg over duurzaamheid. Figuur 17 laat dezelfde ontwikkeling zien voor klas T, maar dan met een omgekeerde volgorde van instructie: eerst over duurzaamheid, daarna over het PvE.



Figuur 16: Ontwikkeling SDG-spreiding in PvE's – Klas P (iteratie 1 t/m 3)



Figuur 17: Ontwikkeling SDG-spreiding in PvE's – Klas T (iteratie 1 t/m 3)

5.2.1. Subconclusies ontwikkeling PvE's na intervisies

De analyse van de PvE's over drie iteraties laat zien dat leerlingen steeds beter in staat zijn om duurzaamheid te benoemen in hun ontwerpcriteria. Toch zijn er duidelijke verschillen zichtbaar tussen klas P en T, die vermoedelijk samenhangen met zowel de inhoud als de volgorde en timing van de instructiemomenten. In klas T kregen leerlingen eerst een les over duurzaamheid en pas daarna uitleg over het PvE, terwijl dit in klas P juist omgekeerd was. Deze volgorde lijkt, voor zover dat te stellen is op basis van twee klassen (59 lln.), van invloed te zijn geweest op de manier waarop duurzaamheid werd geïnterpreteerd en toegepast in het PvE. Deze variatie in aanpak sluit aan bij wat Hattie (2009) in *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Deze studie beschrijft dat teacher-related factors tot de meest invloedrijke factoren voor leeropbrengsten behoren, waaronder de kwaliteit en volgorde van instructie. De resultaten van dit onderzoek illustreren dat dergelijke keuzes in de opbouw van lessen mede bepalend kunnen zijn voor hoe leerlingen duurzaamheid interpreteren en toepassen in hun PvE.

Leerlingen uit klas T formuleerden na de duurzaamheidsles rijkere duurzaamheidscriteria. Dit uitte zich in een grotere spreiding over verschillende SDG's, concretere eisen en een daling in het gebruik van containerbegrippen. In klas P bleef de SDG-spreiding in alle drie de iteraties beperkt en keren in de laatste iteratie zelfs vage termen als 'duurzaam' zonder toelichting weer terug. Dat roept de vraag op waarom deze vooruitgang niet vastgehouden wordt.

Daarnaast moet ook het onderwerp van de ontwerpopdracht worden meegenomen in de interpretatie van deze resultaten. Beide klassen werkten aan het ontwerp van een duurzaam insectenhotel. Dit thema stuurt vanzelf richting ecologische duurzaamheid (zoals materiaalgebruik, biodiversiteit en natuurbehoud) en maakt het minder waarschijnlijk dat leerlingen spontaan denken aan sociale of economische duurzaamheid. Tegelijkertijd zijn ook bij dit onderwerp bredere duurzaamheidsaspecten relevant: materialen moeten ergens vandaan komen, productie moet eerlijk gebeuren en het ontwerp zou ook sociale waarde kunnen hebben. Toch blijven SDG's zoals gezondheid, gelijkheid of samenwerking structureel onderbelicht.

Opmerkelijk is dat in klas P, ondanks de extra instructie over duurzaamheid in de derde iteratie, het aantal aangetikte SDG's zelfs iets lijkt te dalen in vergelijking tot de PvE's uit iteratie 2. Een mogelijke verklaring is dat de extra instructie wel leidde tot een toename van het aantal duurzaamheidseisen (42 lln.), maar dat deze eisen alsnog vooral vielen onder bekende SDG's (SDG 12 en 15). Leerlingen breidden dus hun formuleringen uit, maar deden dit binnen een beperkt duurzaamheidsdoel.

Tot slot is het goed te benadrukken dat deze subconclusies zijn gebaseerd op de analyse van twee klassen met in totaal 59 leerlingen. Dat betekent dat er met voorzichtigheid

uitspraken gedaan kunnen worden over bredere generaliseerbaarheid. De patronen die zichtbaar worden, geven echter wel richting aan verdere praktijkontwikkeling binnen het Technasiumonderwijs. Duurzaamheid zou als vaste ontwerpeis standaard onderdeel moeten zijn van het PvE en dus altijd behandeld moeten worden bij de instructie over het PvE. Daarbij is het essentieel om leerlingen expliciet bewust te maken van alle dimensies van duurzaamheid, zodat hun eisen niet beperkt blijven tot het ecologische domein. Vooral sociale en economische aspecten ontstaan niet spontaan, maar moeten doelgericht worden benoemd door de docent.

6. Eindconclusies

Dit hoofdstuk vormt de afsluiting van dit onderzoek. Eerst worden de conclusies van de deelvragen besproken, omdat het antwoord op de centrale vraag ‘Op welke manier beïnvloedt uitleg over duurzaamheid en/of het PvE hoe brugklasleerlingen dit implementeren in hun PvE binnen het vak O&O?’ is gebaseerd op de inzichten die zijn verkregen uit drie deelstudies: de interpretatie van het begrip duurzaamheid, in het verlengde daarvan de manier waarop leerlingen duurzaamheid van nature verwerken in een PvE zonder instructie en het effect van gerichte instructie (in verschillende volgorde) op de inhoud en kwaliteit van duurzaamheidseisen.

6.1. Kennisbasis

Hieronder worden de conclusies van de deelvragen besproken, die samen de kennisbasis vormen voor het uiteindelijke antwoord op de hoofdvraag.

Welke verschillende concept van duurzaamheid komen naar voren bij brugklas Technasiumleerlingen?

Uit de vragenlijst blijkt dat brugklasleerlingen duurzaamheid hoofdzakelijk op ecologisch vlak interpreteren, of anders gezegd, hun conceptmap is nog niet compleet. Begrippen als ‘milieu’, ‘natuur’, ‘recycling’ en ‘afval’ domineren binnen de PvE’s. De sociale en economische dimensies uit het PPP-raamwerk van duurzaamheid worden nauwelijks benoemd. Hoewel sommige leerlingen termen als ‘veilig’ gebruiken, ontbreekt vaak een concrete uitleg wat zij daarmee expliciet bedoelen. In de ontwerpopdracht (het formuleren van duurzame eisen voor een schooltas) vertaalde deze ecologische focus zich in aandacht voor hergebruik van materialen en het vermijden van ‘nieuw’ plastic. Slechts een enkeling benoemde aspecten zoals arbeidsomstandigheden (‘hij moet gemaakt zijn door blije volwassenen’) of betaalbaarheid (‘goedkope en recyclebare producten gebruiken’). Ook bij de prioritering van de drie P’s blijkt ‘Planet’ veruit het belangrijkste te worden gevonden, terwijl de literatuur juist streeft naar een balans tussen die drie, daar gaat dus iets mis. Of er daadwerkelijk iets mis gaat of dat leerlingen rond hun twaalfde levensjaar nog niet zo bezig zijn met werk en winst, blijft nog maar de vraag. Waarschijnlijk vormt het vooral een startpunt om hun begrip van duurzaamheid verder te ontwikkelen.

Welke duurzaamheidsaspecten in een PvE opgesteld door brugklas Technasiumleerlingen vallen zonder expliciete instructies over het PvE en duurzaamheid op?

In de eerste PvE’s, opgesteld zonder enige instructie, valt op dat leerlingen in beide klassen duurzaamheid relatief sterk koppelen aan ecologische aspecten zoals materiaalkeuze, afvalbeperking en bescherming van insecten. Dit is gezien het project geen onlogische richting, maar de spreiding over de verschillende SDG’s blijft beperkt en

ongelijk verdeeld. Er is een sterke focus op SDG 12 (verantwoorde consumptie en productie) en SDG 15 (leven op het land). Deze nadruk hangt mogelijk samen met het type project dat de leerlingen uitvoerden, namelijk het ontwerpen van een duurzaam insectenhotel. Dit projectthema roept vooral ecologische associaties op, waardoor duurzaamheidscriteria op het gebied van materiaalgebruik, natuurbehoud en afvalreductie vanzelfsprekend naar voren komen. Dat neemt echter niet weg dat er ook in dit geval ruimte was om bredere duurzaamheidsaspecten te betrekken, zoals sociale gelijkheid (SDG 10), gezondheid (SDG 3) of samenwerking (SDG 17). Containerbegrippen zoals ‘duurzame’ zonder verdere toelichting komen regelmatig voor, vooral in klas P, die eerst uitleg kreeg over het PvE en pas daarna over duurzaamheid. Economische en sociale duurzaamheid komen nauwelijks aan bod. Dit bevestigt de bevinding uit de eerste fase dat leerlingen duurzaamheid hoofdzakelijk zien als een milieuvraagstuk.

Welke invloed heeft de volgorde van gerichte instructie (over duurzaamheid en het PvE) op de manier waarop brugklasleerlingen Technasium duurzaamheid verwerken in hun PvE?

Nadat de twee instructies aan beide klassen zijn gegeven, zijn er opvallende verschillen. In klas T, waar duurzaamheid eerst werd behandeld, zijn de eisen bij iteratie 3 (eindoplevering) meer verdeeld over de SDG's t.o.v. klas P en is het gebruik van containerbegrippen volledig verdwenen, oftewel SMART geformuleerd. In klas P, waar duurzaamheid pas later werd besproken, blijven SDG 12 en 15 dominant, neemt het gebruik van containerbegrippen juist toe en blijven andere duurzaamheidsthema's onderbelicht. Het cumulatief leren lijkt hierbij niet vanzelf op gang te komen: leerlingen nemen eerder geleerde concepten over duurzaamheid (of het PvE) slechts beperkt mee naar de volgende iteratie. Leerlingen leken iedere iteratie als een losse opdracht te zien in plaats van dat ze voortbouwen op hetgeen wat er al is.

6.2. Definitieve benadering hoofdvraag

In dit hoofdstuk wordt geprobeerd een antwoord te geven op de hoofdvraag:

‘Op welke manier beïnvloeden de inhoud en volgorde van instructie over duurzaamheid en het Programma van Eisen (PvE) de duurzaamheidscriteria in het PvE van brugklasleerlingen binnen Technasiumonderwijs?’

Om deze vraag te beantwoorden is er literatuuronderzoek gedaan en is er een praktijkonderzoek uitgevoerd in de brugklas binnen het Technasiumonderwijs. Dit onderzoek toont aan dat de volgorde waarin instructie over duurzaamheid en het PvE wordt aangeboden, van invloed blijkt te zijn op hoe brugklasleerlingen duurzaamheid verwerken in hun PvE binnen het vak Onderzoeken & Ontwerpen. De analyse wijst uit dat leerlingen die eerst uitleg over duurzaamheid kregen en daarna over het PvE (klas T), het minst vaak (nul keer) duurzaamheid als containerbegrip gebruiken. In de andere klas (klas P), waar de instructie in omgekeerde volgorde werd aangeboden, nam het aantal

containerbegrippen juist weer toe na de derde iteratie. Dit suggereert dat als leerlingen voortbouwen op eerdere formuleringen waarin duurzaamheid abstract is gebruikt, deze vaagheid zelfs na verduidelijking weer kan terugkeren. Door eerst helderheid te creëren over wat duurzaamheid inhoudt, wordt voorkomen dat dit begrip in latere fases opnieuw leeg en oppervlakkig in PvE's terechtkomt.

Wat betreft de spreiding over de SDG's is er nauwelijks verschil tussen beide instructievolgordes: de Gini-coëfficiënten blijven vergelijkbaar hoog (0,866 en 0,871), wat duidt op een blijvende focus op een beperkt aantal duurzaamheidsthema's. Hoewel leerlingen vragenlijsten wel degelijk belang hechten aan alle drie de pijlers van het Triple Bottom Line model, wordt in hun ontwerpen vooral 'Planet' uitgewerkt. Dat sluit aan bij de aard van veel Technasiumprojecten, waarin fysieke ontwerpen centraal staan. Aspecten als eerlijke handel, mensenrechten of winstmodellen (People en Profit) worden zelden zelfstandig genoemd. Hieruit blijkt dat deze dimensies explicieter aan bod moeten komen in de instructie. De manier waarop de docent deze kennis overdraagt en deze via gerichte vragen of aanwijzingen (prompting) actief bij de leerling ophaalt, speelt een cruciale rol bij het vormen van duurzame eisen binnen alle drie de pijlers (People, Planet, Profit). Wanneer de docent dit niet expliciet benoemt, bestaat het risico dat de focus slechts op één pijler komt te liggen. Dit is niet alleen een uitdaging voor Technasium, maar ook voor alle technische opleidingen. Het betekent een andere probleemdefinitie en betrekking van andere stakeholders dan een bedrijf (dat een product moet verkopen).

6.3. Aanbeveling voor de onderwijspraktijk

Op basis van de resultaten wordt aanbevolen om binnen het Technasiumonderwijs vanaf de brugklas expliciet aandacht te besteden aan het brede karakter van duurzaamheid. Ter ondersteuning hiervan kan het Triple Bottom Line-model (People, Planet, Profit), in combinatie met een koppeling aan de relevante Sustainable Development Goals (SDG's), als uitgangspunt dienen.

Laat leerlingen in een eerste iteratie zoveel mogelijk duurzame eisen formuleren, zonder deze direct SMART te maken. Stimuleer hen daarbij om bij elke eis expliciet te benoemen bij welke P (en eventueel bij welk SDG) de eis hoort. Forceer bij iedere P tenminste één eis. Dit bevordert hun bewustwording en helpt hen om doelgerichter te denken over duurzaamheid. Pas in een volgende stap kan een verbeterslag gemaakt worden waarbij wordt uitgelegd hoe de geformuleerde eisen SMART kunnen worden opgesteld. Kortom, het PvE dient in minimaal twee rondes ontwikkeld te worden: eerst conceptueel en dan SMART.

Deze aanpak biedt leerlingen niet alleen inhoudelijke houvast, maar wijst hen er ook op dat duurzame eisen draaien om een balans tussen sociale, ecologische en economische belangen.

Hoewel uit de vragenlijst blijkt dat leerlingen alle drie de pijlers belangrijk vinden, tonen hun PVE's aan dat zonder gerichte instructie of sturing met name de sociale en ecologische aspecten vaak onderbelicht blijven. Door het gebruik van het Triple Bottom Line-model en de SDG's als hulpkader worden deze aspecten hoogstwaarschijnlijk explicieter meegenomen in het ontwerpproces.

7. Beperkingen onderzoek

7.1. Betrouwbaarheid en beperkingen van de onderzoeksresultaten

Hoewel dit onderzoek waardevolle inzichten heeft opgeleverd, kent het ook duidelijke beperkingen. Zo is het onderzoek uitgevoerd met slechts twee brugklassen binnen één school. De resultaten geven dus een indicatie van mogelijke patronen, maar kunnen niet zonder meer gegeneraliseerd worden naar andere scholen of leeftijdsgroepen.

Daarnaast is het opvallend dat een toenemend aantal leerlingen gebruikmaakt van AI-tools zoals ChatGPT bij het opstellen van hun PvE en andere deelopdrachten. Leerlingen werkten namelijk veel op de computer wat het gebruik ervan onvermijdelijk maakt. Dit kan invloed hebben gehad op de formulering van eisen: hoewel deze soms correcter of vollediger geformuleerd zijn, zegt dit weinig over de mate van begripsvorming. AI-gebruik kan daarmee zowel een versterkende als verbloemende rol spelen, wat de validiteit van sommige uitkomsten beïnvloedt.

Ongeveer de helft van de leerlingen uit beide klassen gaf aan graag door te willen met O&O. Toch bleek uit observaties dat motivatie tijdens het onderzoeksdeel niet altijd vanzelfsprekend waren.

Een mogelijk aandachtspunt is de formulering van de stellingen in vraag 6. Veel uitspraken zijn sterk normatief en lijken moreel 'juist', waardoor leerlingen eerder geneigd zijn het ermee eens te zijn. Dit kan de onderscheidende waarde van de stellingen beperken en maakt de vraag voor dit onderzoek minder bruikbaar. Voor toekomstig onderzoek zou het zinvol zijn om ook stellingen op te nemen die genuanceerder zijn of die tegenovergestelde belangen verkennen, om meer inzicht te krijgen in de afwegingen die leerlingen maken.

Een andere belangrijke overweging voor de betrouwbaarheid van dit onderzoek is dat de lessen over duurzaamheid en het PvE niet door dezelfde docent zijn gegeven. Hoewel dit mogelijk tot verschillen in toon of uitleg heeft geleid, is geprobeerd dit te ondervangen door de lessen vooraf gezamenlijk door te spreken. De gebruikte PowerPoint-slides waren sterk sturend en toonde alle kerninformatie, waardoor de inhoud grotendeels uniform gepresenteerd werd, nog zonder er iets bij te vertellen.

7.2. Uitdagingen bij uitvoering en dataverzameling

De praktische uitvoering van dit onderzoek bracht verschillende organisatorische uitdagingen met zich mee. Het verkrijgen van ouderlijke toestemming via informed consent en de bijbehorende goedkeuring van de HREC-commissie vergde tijd en de nodige inspanning. Bovendien was zowel het uitzetten van de vragenlijst als het verzamelen van de PvE-eisen logistiek complex. Dit kwam voornamelijk doordat leerlingen de bestanden vaak lokaal op hun computer opsloegen en niet consequent gebruikmaakten van Teams. Daarnaast begon niet elk team op hetzelfde moment aan het PvE, wat de planning bemoeilijkte. Aangezien het om twee klassen ging, was de coördinatie extra belangrijk. Structurering en timing bleken dan ook cruciaal bij dit type dataverzameling.

Een bijkomende factor was dat de onderzoeker tevens docent was van één van de deelnemende klassen. Het combineren van lesgeven en het werken aan dit onderzoek wel maakte de uitvoering intensief, maar uiteindelijk wel haalbaar.

7.3. Reflectie op de onderzoeksresultaten en hun betekenis

De resultaten van dit onderzoek benadrukken dat het expliciet en vroegtijdig aanbieden van instructie over duurzaamheid zinvol kan zijn. Wanneer leerlingen eerst leren wat duurzaamheid inhoudt en daarbij stilstaan bij de drie dimensies van de Triple Bottom Line (People, Planet, Profit) en de SDG's lijken zij het PvE op het gebied van duurzaamheid beter te verwerken. Opvallend is wel dat leerlingen bij directe bevraging het belang van alle drie de P's erkennen, terwijl het eerste wat bij hen opkomt vaak uitsluitend slaat op de 'Planet'-dimensie. Dit suggereert dat bewustwording alleen niet voldoende is.

Onderzoek van Van Doorn, Van der Voordt en Rogaar (2011) laat echter zien dat het PvE in de praktijk niet altijd doorslaggevend is. Er zijn projecten waarin duurzaamheid niet of pas laat in het PvE is opgenomen, maar waar toch een hoog duurzaamheidsniveau is bereikt. Een voorbeeld is het gemeentehuis van Bronckhorst, dat destijds gold als het duurzaamste gemeentehuis van Nederland, terwijl in de eerste projectopgave helemaal geen duurzaamheidseisen stonden. Het succes werd daar vooral toegeschreven aan een bevlogen opdrachtgever en een professioneel ontwerpteam.

Bovendien blijkt uit dat onderzoek dat de manier waarop duurzaamheid in het PvE wordt verwerkt sterk kan variëren. Bij maatschappelijke projecten wordt het vaak integraal in de projectdefinitie opgenomen. Bij commerciële projecten staat het vaker in een aparte paragraaf met meetbare prestaties, bijvoorbeeld gekoppeld aan een certificering zoals Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM) of Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Ook de ontwikkelroute verschilt: soms wordt het PvE volledig vooraf opgesteld, soms groeit het mee met het ontwerp. Vooral deze tweede aanpak kan innovatie en creativiteit stimuleren.

Gezien de kleinschaligheid van dit onderzoek moeten deze bevindingen voorzichtig worden geïnterpreteerd. In de context van dit onderzoek lijkt het PvE een belangrijk kader om duurzaamheid te sturen, maar factoren zoals motivatie, expertise en samenwerking binnen het ontwerpteam spelen waarschijnlijk ook een grote rol. Voor onderwijs kan dit betekenen dat het aanleren van PvE-vaardigheden idealiter samengaat met het ontwikkelen van betrokkenheid en eigenaarschap, zodat duurzaamheid niet alleen op papier staat, maar ook zichtbaar wordt in de ontwerpkeuzes die leerlingen maken.

8. Aanbevelingen

8.1. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

- Herhaling van dit onderzoek op meerdere scholen, met een groter aantal klassen, zodat de conclusies breder kunnen worden gegeneraliseerd.
- Vergelijking van iteraties waarbij leerlingen digitaal werken met iteraties die volledig op papier en zonder computer worden uitgevoerd, om het effect van technologiegebruik te achterhalen.
- In kaart brengen van de achtergronden van de O&O-docenten, evenals hun focus op duurzaamheid en het opstellen van PvE's, om te onderzoeken welke rol docentfactoren spelen.
- Onderzoek naar het verschil tussen de onderbouw en de bovenbouw (bijvoorbeeld havo/vwo 4), om te achterhalen hoe de interpretatie en toepassing van duurzaamheid in PvE's ontwikkeld is naarmate leerlingen ouder en verder gevorderd zijn.
- Gesprekken (dieper kwalitatief onderzoek) met de leerlingen voeren om te achterhalen hoe het leren bij hen zich daadwerkelijk heeft ontwikkeld.
- Onderzoek naar de mate waarin de kaders van het project en de opdrachtgever bijdragen aan de aanhoudende sterke focus op SDG 12 (verantwoorde consumptie en productie) en SDG 15 (leven op het land).
- Experimenteren met andere onderwijsaanpakken per iteratie (bijvoorbeeld geen directe instructie, maar alternatieve werkvormen) om te zien welk effect dit heeft op de duurzame inhoud van het PvE.

Algemene tip voor het herhalen van dit onderzoek:

Werk met vaste formats en vaste momenten voor dataverzameling, zodat onnodig werk voor het verzamelen en structureren van gegevens wordt voorkomen.

Bibliografie

- Adams, P. (2006). Exploring social constructivism: Theories and practicalities. *Education, 3* (13), pp. 243–257.
- Azizan, S., & Shamsi, N. (2022). Design-Based Learning as a Pedagogical Approach in an Online Learning Environment for Science Undergraduate Students. *Front. Educ.* 7.
- Biesta, G. (2016). *Wereldgericht onderwijs: vorming tot volwassenheid*. Opgehaald van wij-leren.nl: <https://wij-leren.nl/gert-biesta-wereld-gericht-onderwijs-vorming-tot-volwassenheid.php>
- Bobbitt, Z. (2022). *How to Calculate Gini Coefficient in Python (With Example)*. Opgehaald van Statology: <https://www.statology.org/gini-coefficient-python/>
- Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. *United Nations*.
- De Kleijn, J. (2013). Leren van professionele projecten. Over kennis in projectonderwijs. *Stichting Technasium*.
- De Vijlder, F., Bakker, D., & van den Blink, M. (2014). Innoveren vanachter de keukentafel. Een onderzoek naar het technasium. *Dordrecht: Convoy*.
- Dewulf, K., Wever, R., & Brezet, H. (2011). Greening the Design Brief. *Springer*.
- Donk, C. v., & Lanen, B. v. (2020). *Praktijkonderzoek in de school*. Coutinho.
- Ebbens, S., & Ettekoven, S. (2016). *Samenwerkend leren*. Noordhoff Uitgevers.
- Elkington, J. (2004). *Enter the Triple Bottom Line*. Earthscan Ltd.
- Elkington, J. (2018). 25 Years Ago I Coined The Phrase “Triple Bottom Line.” Here’s Why It’s Time to Rethink It. *Harvard Business Review*.
- Faludi, J., Smith, P., Silva, M., & Bhamra, T. (2023). Sustainability in the Future of Design Education. *Elsevier, 9* (2), pp. 157-178.
- Google Cloud. (2022). *CEOs are Ready to Fund a Sustainable Transformation*. Google Cloud.
- Graft, v. M., & Kemmers, P. (2007). *Onderzoekend & ontwerpend leren*. Stichting Platform Bèta Techniek.
- Haan-Topolscak, S., de, & Smits, L. (2021). EXPERIENCES IN PEDAGOGY OF DESIGN, Henze, I., & In Vries, M. J. (2021). *Design-based concept learning in science and technology education* (pp 204-222), Boston/Leiden, Sence NV/Koninklijke Brill.

- Hattie, J. (2009). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. . *Routledge*.
- Heerink, J. (2011). Het ontwerp van de vaardigheidskaart: 'programma van eisen'. *Universiteit Twente*.
- Hughes, A. C., Wang, Y., Edwards, D. P., & Baylis, K. (2022). Learning from the Aichi Targets: Key elements to guide a post-2020 global biodiversity framework.
- Janssen, J. (2014). Opening the black box of collaborative learning: A meta-analysis investigating the antecedents and consequences of collaborative interaction. *Utrecht University, 22 (2)*, pp. 139-154.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher, 38 (5)*, pp. 365-379.
- Jones, W. M., & Askland, H. H. (2012). Design Briefs: Is There a Standard? *14th International Conference on Engineering & Product Design Education (EPDE 2012)*, pp. 115-120.
- Kester, L. &. (2005). Instructional interventions to enhance collaboration in powerful learning environments Computers in Human Behavior. *Elsevier, 21 (4)*, pp. 689-696.
- Kirchherr, J., Yang, N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Elsevier, 194 (2)*, pp. 1-32.
- Kirschner, P., Claessens, L., & Raaijmakers, S. (2018). Op de schouders van reuzen. Inspirerende inzichten uit de cognitieve psychologie voor leerkrachten. *Ten Brink Uitgevers*.
- Klooster, R., & Koeijer, R. d. (2012). Utilising the Potential of Design Briefs in Sustainable Packaging Development. *IAPRI World Conference on Packaging*.
- Knowles, M. (1975). Self-directed learning: A guide for learners and teachers. *Chicago Association Press*.
- Lechner, J. M. (2012). Coachen op het technasium: een dubbel belang. *Masterthesis Universiteit Utrecht*, pp. 3-76.
- Mallindine, T., & Pilz, P. (2024). *Sustainable Design Brief*. Harleyford Capital.
- Maney, C., Cote, M., Lin, D., Xu, H., & McElwee, P. D. (2022). Challenges and possible solutions to creating an achievable and effective Post-2020 Global Biodiversity Framework. *npj Biodiversity. Tandfonline, 8 (1)*, pp. 1-6.

- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.
- Mijland, E. (2014). CSI met mobieltjes in de klas: Van duurzaam denken naar duurzaam doen. *Vector*, (25), pp. 29-31.
- Netto, S. V., Sobral, M. F., Ribeiro, A. R., & Soares, G. R. (2020). Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), pp. 1-12.
- NGSS Lead States. (2013). Next Generation Science Standards: For states, by states. *The National Academies Press*.
- Oo, T., Kadyirov, T., Kadyjrova, L., & Józsa, K. (2024). Design-based learning in higher education: Its effects on students'. *Elsevier*, 53 (3), pp. 1-16.
- Phillips, P. (2004). *Creating the perfect design brief: how to manage design for strategic advantage*. Allworth Press, U.S.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. *PBL Netherlands Assessment Agency*.
- Raworth, K. (2017). A doughnut for the Anthropocene: Humanity's compass in the 21st century. *The Lancet Planetary Health*, 1 (2), pp. 48-49.
- Read, D., & Bohemia, E. (2012, Mei). The Functions of the Design Brief. *International Design Conference*, pp. 1587-1596.
- Rohde, F., Wagner, J., & Reinhard, P. a. (2023). Broadening the perspective for sustainable AI: Comprehensive sustainability criteria and indicators for AI systems. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, (66), pp. 1-12.
- Ross, F. (2017). Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist. *Regional and Business Studies*, 11 (2), pp. 81-86.
- Sachs, W. (2015). *Planet Dialectics: Explorations in Environment and Development*. 2nd edition. Zed Books.
- Samantha, B., & Overdijk, O. (2022). *Design-based leren in probleemgestuurd projectonderwijs door middel van Groow*. Tast Tools.
- Schalk, H., & Bruning, L. (2014). *Handreiking schoolexamen Onderzoek & ontwerpen havo/vwo*. SLO, Enschede.
- Schellekens, A., Boon, S., Laarveld, K., de Neeve, C., & Sluiter, R. (2021). *Onderwijsfilosofie van het Technasium op hoofdlijnen*. Stichting Technasium.

- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (UN). (2020). Global Biodiversity Outlook 5 - Summary for Policy Makers. *United Nations*.
- SLO. (2017). *Natuurwetenschappelijke vakken: vakspecifieke trendanalyse 2017*. SLO, vaksectie Natuur & techniek.
- SLO. (2023). *Duurzaamheid*. Opgehaald van slo.nl: <https://www.slo.nl/thema/vakspecifieke-thema/natuur-techniek/kennisbasis/denkmethoden/duurzaamheid/>
- Sorbara, J., Chase, D., García, A., & Na, S. (2025). *designbasedlearning.org*. Opgehaald van <https://www.designbasedlearning.org/what-we-do>
- Sterling, S. (2016). A commentary on education and the sustainable development goals. *Journal of Education for Sustainable Development*, *10* (2), pp. 208-213.
- Stichting Technasium. (2019). *Technasium Competentiemonitor al ingezet door 22 scholen*. Opgehaald van <https://www.technasium.nl/technasium-competentiemonitor-al-ingezet-door-22-scholen/>
- Taber, K. S. (2018). Scaffolding learning: Principles for effective teaching and the design of classroom resources. *Nova Science Publishers*, pp. 1-43.
- Thijs, A., Fisser, P., & Hoeven, M. v. (2014). *21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs: een conceptueel kader*. Enschede: SLO.
- UNDP. (2022). *SDG Guidebook for Youth in Action*. *United Nations Development Programme*.
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. UNESCO Education Sector.
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development - A roadmap*. UNESCO.
- van der Voordt, T., & den Heijer, A. (2004). *Programma van eisen*. *Publicatiebureau Bouwkunde*, pp. 121-139.
- van Doorn, A., van der Voordt, T., & Rogaar, M. (2011). Goed Programma van Eisen de basis voor duurzaam project? *Facility Management Magazine*, *191*, pp. 46-51.
- Vlaamse overheid. (2025). *Structuur van het voltijds gewoon secundair onderwijs*. Opgehaald van Vlaanderen.be: <https://www.vlaanderen.be/onderwijs-en-vorming/wegwijs-in-de-onderwijsniveaus/wegwijs-in-het-gewoon-secundair-onderwijs/structuur-van-het-voltijds-gewoon-secundair-onderwijs>

- VO Raad. (2025). *Duurzaamheid krijgt voet aan de grond in het onderwijs*. Opgehaald van <https://www.vo-raad.nl/nieuws/duurzaamheid-krijgt-voet-aan-de-grond-in-het-onderwijs>
- Voerman, L., & Faber, F. (2013). *Didactisch Coachen*. De Weijer Design. Opgehaald van De Weijer Design: www.didactischcoachen.nl/publish/55/Vragen-stellen-in-Didactisch-Coachen.pdf
- Vossen, T. (2019). Research and design in STEM education: What do students and teachers think about the connection? *Leiden University Institutional Repository*, pp. 60-79.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society - The Development of Higher Psychological Processes*. *Harvard University Press*.
- Wals, A. (2018). Bèta-onderwijs als aanjager van duurzaamheid. *NVOX*, pp. 104-105.
- Wals, A. (2018). Duurzaamheid is meer dan de som der delen. *NVOX*, pp. 104-105.
- Watts, K. (2017). *NDCs – A Force for Nature?* World Wildlife Fund.
- Wautelet, T. (2018). *The Concept of Circular Economy: its Origins and its Evolution. Working Paper*.
- Wofford, W. (2023). Opgehaald van foundingaustin.com: <https://foundingaustin.com/2023/03/gehry-siblings-share-their-perspectives-on-how-design-based-learning-can-build-our-future-at-sxsw-edu-2023/>
- Zimmerman, B. J. (2013). From cognitive modeling to self-regulation: A social cognitive career path. *Educational Psychologist*, 48 (3), pp. 135-147.

Appendix 1: Python-script voor het berekenen van de Gini-coëfficiënt

```
import numpy as np

#define function to calculate Gini coefficient
def gini(x):
    total = 0
    for i, xi in enumerate(x[:-1], 1):
        total += np.sum(np.abs(xi - x[i:]))
    return total / (len(x)**2 * np.mean(x))

#define NumPy array of income values
incomes = np.array([0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 16, 0, 0, 3, 0, 0])

#calculate Gini coefficient for array of incomes
print(gini(incomes))
```

Appendix 2: Vragenlijst

Onderzoek naar de interpretatie van duurzaamheid

Mijn naam is Ward Brouwers en vanuit de TU Delft doe ik onderzoek naar hoe brugklasleerlingen zoals jullie duurzaamheid interpreteren en toepassen in O&O-projecten. Jouw antwoorden helpen mij om dit inzicht te krijgen.

Belangrijk:

- Je vult deze enquête zelfstandig in (zonder te overleggen met anderen).
- Er zijn geen goede of foute antwoorden, we zijn geïnteresseerd in jouw persoonlijke mening.
- Het invullen van de enquête duurt ongeveer 12 minuten.
- Jouw voor- en achternaam gebruiken we alleen om de antwoorden later aan het toestemmingsformulier te koppelen. Alle antwoorden worden geanonimiseerd en vertrouwelijk behandeld.

Alvast hartelijk dank voor de medewerking!

* Vereist

1. Jouw voor- en achternaam: *

2. Hoe zou jij aan een basisschoolleerling uit groep 8 uitleggen wat het begrip duurzaamheid betekent? *

3. Kun je aangeven waar **jjzelf** ooit iets gehoord of geleerd hebt over duurzaamheid? *

Kies alle opties die voor jou van toepassing zijn:

- Op de basisschool
- Op de middelbare school (bij O&O)
- Op de middelbare school (bij een ander vak dan O&O)
- Van klasgenoten
- Van vrienden
- Van mijn ouders of familie
- In de praktijk (bijvoorbeeld bij afval scheiden of energie besparen thuis)
- Op sociale media (zoals TikTok, Instagram of YouTube)
- Via tv-programma's zoals het Jeugdjournaal bijvoorbeeld
- Tijdens een activiteit buiten school (bijvoorbeeld scouting, sportclub of workshop)
- Ik heb (nog) niks gehoord of geleerd over duurzaamheid
- Andere

4. Stel je voor, je moet samen met je O&O-groepje iets ontwerpen dat duurzaam is. Wat maakt het ontwerp volgens jou echt duurzaam? *

5. **Mini-ontwerpopdracht:**

Je krijgt de opdracht om een duurzame schooltas te ontwerpen voor basisschoolleerlingen uit groep 8. De schooltas moet naast praktisch (handig in gebruik) dus vooral ook duurzaam zijn.

Bedenk minimaal twee specifieke **duurzame** eisen waaraan deze rugtas moet voldoen. *

6. Geef per stelling aan hoeveel je het daarmee eens bent: *

Van links naar rechts: helemaal mee oneens / een beetje mee oneens / neutraal (geen mening) / een beetje mee eens / helemaal mee eens.

	Helemaal mee oneens	Een beetje mee oneens	Neutraal	Een beetje mee eens	Helemaal mee eens
Een duurzaam ontwerp is niet schadelijk voor de gezondheid van mensen die het gebruiken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een duurzaam ontwerp komt niet uit fabrieken waar kinderen of volwassenen onder slechte omstandigheden werken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een ontwerp mag niet duurzamer lijken dan dat het daadwerkelijk is (greenwashing).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een duurzaam ontwerp mag niet bijdragen aan de vervuiling van lucht, water of grond.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een duurzaam ontwerp bevat niet meer grondstoffen dan nodig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een duurzaam ontwerp moet na gebruik (end-of-life) kunnen worden hergebruikt of gerecycled.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een bedrijf moet meebetalen aan het opruimen of recyclen van hun product als het niet meer wordt gebruikt, ook als ze daar niets aan verdienen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Een deel van de winst moet worden gebruikt voor betere, schonere en duurzamere ontwerpen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Wat vind jij het belangrijkste aan een duurzaam ontwerp?

Zet bovenaan wat jij meest belangrijk vindt en onderaan wat je het minst belangrijk vindt.

Dat het geld oplevert (Profit)

Dat het goed is voor mensen (People)

Dat het goed is voor het milieu (Planet)

8. De Verenigde Naties heeft 17 doelen opgesteld voor een betere wereld.

Geef bij elk doel aan hoe belangrijk jij het vindt dat we dat doel gaan halen. *

Van links naar rechts: helemaal niet belangrijk / een beetje belangrijk / neutraal / belangrijk / heel belangrijk

	Helemaal niet belangrijk	Niet zo belangrijk	Neutraal	Belangrijk	Heel belangrijk
Doel 1: Stop armoede wereldwijd.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 2: Stop honger wereldwijd.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 3: Maak goede gezondheidszorg overal beschikbaar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 4: Maak goed onderwijs overal beschikbaar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 5: Laat jongens en meisjes gelijke (baan)kansen hebben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 6: Maak schoon drinkwater en wc's voor iedereen beschikbaar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 7: Maak schone zonne- en windenergie voor iedereen beschikbaar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 8: Laat iedereen op een eerlijke en veilige manier werken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 9: Maak goede wegen en internet voor iedereen beschikbaar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 10: Verklein de kloof tussen arm en rijk binnen en tussen landen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 11: Maak alle landen op aarde veilig om te wonen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Helemaal niet belangrijk	Niet zo belangrijk	Neutraal	Belangrijk	Heel belangrijk
Doel 12: Laat landen slimmer omgaan met grondstoffen; minder afval, meer hergebruik.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 13: Maak samen met alle landen van de wereld afspraken om klimaatverandering te stoppen, dus niet ieder land voor zich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 14: Bescherm en herstel het leven in de zee/oceaan.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 15: Bescherm en herstel de natuur op het land.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 16: Stop oorlogen, zorg overal voor vrede en veiligheid.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Doel 17: Alle landen moeten elkaar helpen om samen bovenstaande doelen te behalen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deze inhoud is niet door Microsoft gemaakt noch goedgekeurd. De gegevens die u verzendt, zal worden gestuurd naar de eigenaar van het formulier.



Appendix 3: Leerlingenhandleiding insectenhotel project

24-
25

P1.2 Insectenhotel



De Bee Embassy bij Steede Hoge Woerd
Initiatief van Reaktor21, Zeger Reyes en Utrecht Natuurlijk

KLAS 1 PROJECT 2
Bètawerelden: Voeding en Natuur



Inhoudsopgave

I. De Opdracht	2
II. De Deelopdrachten	3
III. Afsluiting.....	5
IV. Projectbeoordeling.....	5

I. De Opdracht

Beroep

Je gaat aan de slag als ecooloog.

Ecologen bestuderen dieren, planten en ecosystemen. Zij hebben kennis van verschillende insectensoorten, hun levenswijzen en leefomstandigheden. Zij kunnen onderzoek doen naar de behoeften van insecten en adviseren over het creëren van geschikte habitatten.

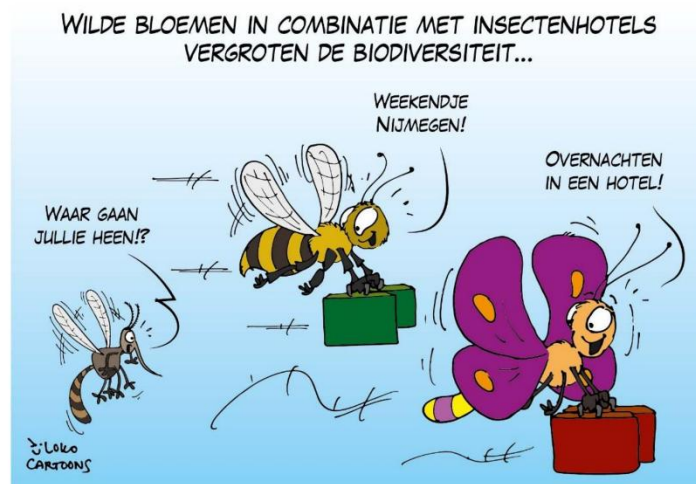
Opdrachtgever

Utrecht Natuurlijk beheert vijf stadsboerderijen en zes stadstuinen verspreid over Utrecht. Door middel van deze boerderijen en tuinen bieden zij educatieve activiteiten en programma's over planten, dieren en biodiversiteit in de stad.

██████████ zet zich als Senior Adviseur van Utrecht Natuurlijk in voor een groener, gezonder en duurzamer Utrecht.

Situatie

Insecten spelen een belangrijke rol in ons ecosysteem. Ze bestuiven planten, helpen bij de afbraak van organisch materiaal en dienen als voedsel voor andere dieren. Insecten hebben het steeds moeilijker omdat hun leefomgeving verdwijnt. Door zoveel mogelijk stedelijke plekken insectvriendelijk te maken, wordt de kans dat ze uitsterven geringer.



De opdracht

De opdracht is om een bouw pakket te ontwerpen waardoor mensen thuis een insectenhotel kunnen maken en in hun tuin kunnen plaatsen. Dit bouw pakket bestaat uit een beschrijving van de vormgeving van het hotel, instructies over de gebruikte materialen en hoe het in elkaar gezet moet worden, plus een advies over de plaatsing. Op basis van uitgebreid onderzoek naar de behoeften en voorkeuren van verschillende soorten insecten in de omgeving, zorg je voor een effectief en aantrekkelijk duurzaam hotel. Tot slot bouw je het ontworpen hotel zelf.

II. De Deelopdrachten

0. Projectplanning



Maak aan de hand van dit projectboekje een overzichtelijke planning voor de komende 8 weken. Gebruik de 'SCRUM'-methode om de onderstaande deelopdrachten op te nemen in je projectplan.

1. Oriëntatie: insecten in de stedelijke omgeving (veldonderzoek)



De opdrachtgever wil dat er gezocht wordt naar welke types insecten er leven in een Nederlandse stedelijke omgeving. Verzamel waar mogelijk ook informatie tijdens de excursie. Geef voor de meestvoorkomende insecten informatie op het gebied van hun:

- Voedsel
- Nestplaatsen
- Beschutting
- Leefomgeving
- Natuurlijke vijanden

De opdrachtgever verwacht dat de resultaten van hiervan worden weergegeven in een infographic.

2. Oriëntatie: insectenhotels



De opdrachtgever wil dat er meerdere insectenhotels onderzocht worden.

Let daarbij onder andere op:

- Materiaalkeuze (denk hierbij aan eigenschappen en mate van duurzaamheid).
- Grootte en vorm.
- Voor welke insecten het hotel bestemd is.
- Positionering van het hotel in de omgeving.
- Invloeden van het weer (zoals wind en regen) op de levensduur van het insectenhotel.



Geef jullie resultaten weer in de vorm van een verslag, maak gebruik van (zelfgemaakte) foto's en bronnen.

3. Programma van Eisen (PvE)



De opdrachtgever heeft tijdens de kick-off al een paar belangrijke basisvoorwaarden opgesteld waaraan het insectenhotel moet voldoen. Echter is dat lijstje nog niet compleet. Vul daarom het Programma van Eisen aan, in ieder geval op het gebied van:

1. Plaatsing (zon, schaduw...)
2. Weersomstandigheden (nat, droog, stormen, temperatuur...)
3. Materiaalstructuur (ruw, glad...)
4. Duurzaamheid
5. Omgeving (type ondergrond en beplanting...)

4. Materiaal bepalen



De opdrachtgever wil dat jullie goed nadenken over het materiaalgebruik.

- Zoek thuis ieder **een voorwerp dat kan dienen als omhulsel** (de basisvorm) van het insectenhotel.
- Bedenk op basis van jullie PvE **welke duurzame materialen geschikt zijn als invulling** voor het hotel (bijvoorbeeld: herbruikbaar materiaal, restafval, snoeiafval of andere duurzame materialen die aantrekkelijk zijn voor insecten).

Verzamel deze materialen thuis en neem ze mee naar de **Go/No-Go**.



Opdrachten 1, 2, 3 & 4

5. Schetsen

Op basis van de oriëntatie en het PvE verwacht de opdrachtgever twee verschillende ontwerpen van het insectenhotel. Maak van beide ontwerpen eerst een schets en daarna twee technische tekeningen op ware grootte. Deze ontwerpen zullen moeten voldoen aan het PvE dat jullie hebben opgesteld in deelopdracht 3.

6. Bouwinstructies bouwpakket



De opdrachtgever verwacht dat je de mensen thuis een instructie meegeeft over het bouwen van het hotel. Bezoek de website *instructables.com* en bekijk tenminste drie instructies. Benoem daarna tenminste vier elementen die nodig zijn voor een complete handleiding. Voeg deze elementen (met bronnen) als eisen toe aan je PvE van deelopdracht 3 en laat deze zien in de tweede Go/No-Go.



Opgave (3), 5 & 6

7. Uitwerking



Werk jullie ontworpen bouwpakket uit op ware grootte. Gebruik hiervoor jullie verzamelde materiaal. Volg je eigen bouwplannen en stapsgewijze manier van werken om de bouw instructie aan te vullen.

Maak bij het bouw pakket nog een folder waarin het product gepresenteerd wordt. Deze folder bevat onder andere informatie over het bouw pakket en geeft de klant advies over het plaatsen van het hotel in hun eigen tuin. Geef deze folder een aantrekkelijke vormgeving.

III. Afsluiting

Verplichte onderdelen

- Een folder met advies en informatie over de materialen en de plaatsing van het insectenhotel
- Een stapsgewijze bouw instructie met benodigdheden van het insectenhotel
- Het eindresultaat van het bouw pakket; een gebouwd hotel

Presentatie

De opdracht wordt afgerond met een presentatie van jullie bouw pakket en insectenhotel, waarbij je toelicht waarom dit insectenhotel goed gaat werken op de geadviseerde plaatsing.

Beoordeling

Dit project wordt beoordeeld op basis van het product en het proces (50/50).

Het product wordt beoordeeld op de volgende onderdelen:

- Kwaliteit van het onderzoek naar insectensoorten en hun behoeften.
- Originaliteit en functionaliteit van het ontwerp.
- Kwaliteit van het bouwproces, de bouw instructie en afwerking van het insectenhotel.
- Duidelijkheid en overtuigingskracht van de presentatie.

Appendix 4: Inhoud van de les over duurzaamheid

De les over duurzaamheid is opgebouwd rond vier hoofdleeerdoelen, afgestemd op brugklasleerlingen binnen het Technasium:

1. Je kan uitleggen waarom je zelf kritisch moet blijven kijken naar zogenaamde duurzame oplossingen, *denk bijvoorbeeld aan kartonnen rietjes of elektrische auto's*.
2. Je kan uitleggen hoe de drie P's met elkaar samenhangen en helpen bij het definiëren van duurzaamheid.
3. Je kan uitleggen waarom de SDG's belangrijk zijn voor jouw eigen toekomst.
4. *Je kan uitleggen hoe jij zelf duurzamer kunt handelen in het dagelijks leven.*

De les begint met een activerende starter, waarbij leerlingen duurzame eisen voor hun insectenhotel moeten formuleren. Daarna volgen een reeks dia's die stap voor stap het containerbegrip duurzaamheid uit elkaar trekt. Daarbij komen een klassieke VN-definitie, actuele milieuproblemen en de drie P's aan bod, elk met concrete voorbeelden. De SDG's worden gepresenteerd als een moderne definitie en toegankelijke uitwerking van de drie P's.

De kern en tevens afsluiting van de les is dat de leerlingen de SDG's gebruiken om hun eerder geformuleerde eisen te herzien en te verbreden. De leerlingen worden hierbij geholpen door het bijbehorende overzicht met SDG-doelen inclusief beschrijving en een bijpassend voorbeeld van wat de bedoeling is (zie Figuur 18):

Sustainable Development Goals helpen om duurzame eisen te bedenken.

Let op, niet bij ieder SDG-doel is het even gemakkelijk om een duurzame eis voor jullie insectenhotel te verzinnen, soms moet je een stapje verder denken dan je gewend bent.

 <p>1 GEEN ARMOEDE</p>	 <p>2 GEEN HONGER</p>	 <p>3 GOEDE GEZONDHEID EN WELZIJN</p>	 <p>4 KWALITEITS-ONDERWIJS</p>	 <p>5 GENDER-GELIJKHEID</p>	 <p>6 SCHOON WATER EN SANITAIR</p>
<p>Iedereen moet genoeg geld hebben om goed te leven.</p>	<p>Iedereen moet genoeg en gezond eten kunnen krijgen.</p>	<p>Iedereen moet gezond kunnen leven en goede zorg krijgen.</p>	<p>Alle kinderen en jongeren moeten goed onderwijs kunnen volgen.</p>	<p>Vrouwen en meisjes moeten dezelfde kansen krijgen als mannen en jongens.</p>	<p>Iedereen moet schoon drinkwater en een toilet hebben.</p>
 <p>7 BETAALBARE EN DUURZAME ENERGIE</p>	 <p>8 EERLIJK WERK EN ECONOMISCHE GROEI</p>	 <p>9 INDUSTRIE, INNOVATIE EN INFRASTRUCTUUR</p>	 <p>10 ONGELIJKHEID VERMINDEREN</p>	 <p>11 DUURZAME STEDEN EN GEMEENSCHAPPEN</p>	 <p>12 VERANTWOORDE CONSUMPTIE EN PRODUCTIE</p>
<p>Iedereen moet toegang hebben tot energie die goed is voor het klimaat.</p>	<p>Mensen moeten veilig kunnen werken en eerlijk betaald krijgen.</p>	<p>We moeten slimme en duurzame dingen bouwen, zoals gebouwen, wegen en internet.</p>	<p>Iedereen moet gelijke kansen krijgen, waar je ook vandaan komt.</p>	<p>Steden moeten veilig, schoon en goed ingericht zijn voor mens en natuur.</p>	<p>We moeten spullen maken en gebruiken zonder te verspillen of te vervuilen.</p>
 <p>13 KLIMAATACIE</p>	 <p>14 LEVEN IN HET WATER</p>	 <p>15 LEVEN OP HET LAND</p>	 <p>16 VREDE, JUSTITIE EN STERKE PUBLIEKE DIENSTEN</p>	 <p>17 PARTNERSCHAP OM DOELSTELLINGEN TE BEREIKEN</p>	
<p>We moeten de opwarming van de aarde stoppen en ons erop voorbereiden.</p>	<p>Oceanen, zeeën en rivieren moeten schoon en gezond blijven.</p>	<p>Bossen, dieren en planten op aarde moeten goed beschermd worden.</p>	<p>Mensen moeten veilig kunnen leven en eerlijk behandeld worden.</p>	<p><i>Landen en mensen moeten goed samenwerken om deze doelen te bereiken.</i></p>	

Voorbeeld:

Stap 1: Kijk bijvoorbeeld naar SDG 2: “Geen honger”.

Stap 2: Bedenk wat honger met een insectenhotel te maken kan hebben?

>>> Insecten zoals bijen en vlinders helpen bij het **bestuiven van planten**. Zonder die insecten groeien er minder groenten, fruit en granen. Dus: als je met je insectenhotel bijen helpt, help je ook mee aan genoeg voedsel voor mensen!

Stap 3: Schrijf de eis en bijbehorende SDG op het werkblad: “Het insectenhotel moet geschikt zijn voor bijen en andere bestuivers, zodat ze kunnen helpen met het groeien van voedsel.”

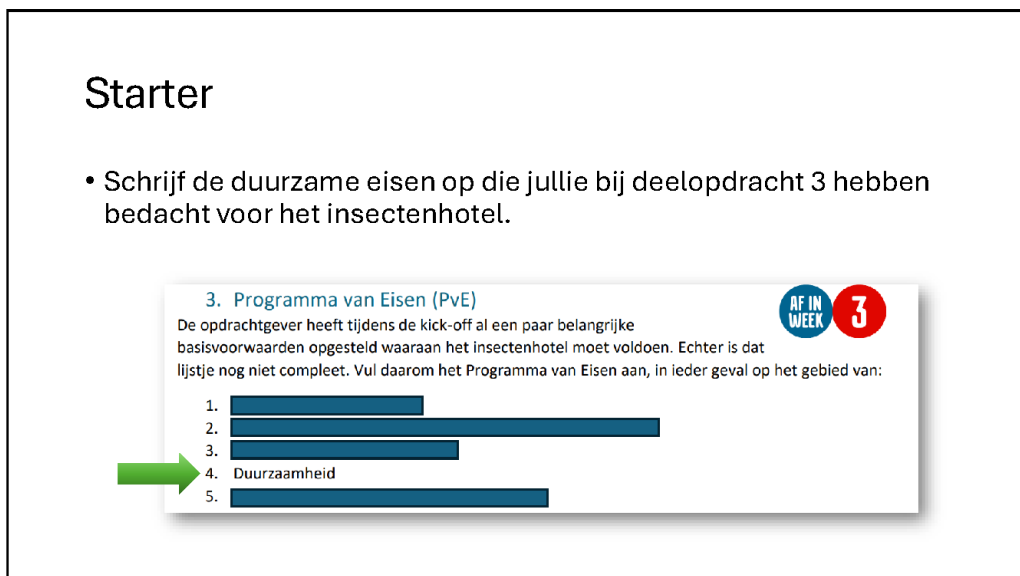
Figuur 18: Hulpblad eisen bedenken met behulp van SDG-doelen met voorbeeld
(bron: <https://www.sdg nederland.nl/de-17-sdgs/>)

De les sluit af met een interactieve LessonUp-quiz over duurzaamheid. Daarin wordt de leerlingen naar enkele begrippen gevraagd, zoals de definitie van de 'Overshoot Day' en worden zij geconfronteerd met vragen als: 'Zijn elektrische auto's een duurzame ontwikkeling?' en wordt er concreet gevraagd wat de leerling thuis eenvoudig zou kunnen doen om bij te dragen aan het behalen van de 17 SDG-doelen. Een deel van de vragen is open, een deel is gesloten.

Hier volgt in chronologische volgorde een overzicht met de screenshots van de gebruikte slides:



1



2

Leerdoelen

1. Je kan uitleggen waarom je zelf kritisch moet blijven kijken naar zogenaamde duurzame oplossingen, *denk bijvoorbeeld aan kartonnen rietjes of elektrische auto's*.
2. Je kan uitleggen hoe de 3P's met elkaar samenhangen en helpen bij het definiëren van duurzaamheid.
3. Je kan uitleggen waarom de Sustainable Development Goals (SDG's) belangrijk zijn voor jouw eigen toekomst.
4. *Je kan uitleggen hoe jij zelf duurzamer kunt handelen in het dagelijks leven.*

Bron: GreenComp 2022

3

Inhoud

- Eerste definitie van duurzaamheid.
- Huidige situatie
- Wat als we niet verduurzamen?
- De drie pijlers van duurzaamheid
- Duurzaamheid definiëren:
Sustainable Development Goals (SDG's) als uitgangspunt
- Afsluiter

4

Eerste definitie van duurzaamheid

- Verenigde Naties (VN), 1987:

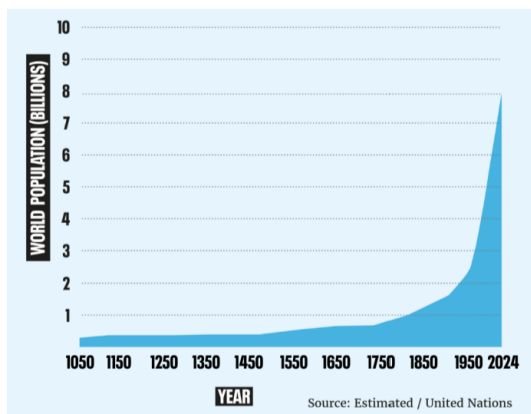
“Voldoen aan de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen.”

Of anders gezegd:

“Zorgen dat wat wij vandaag doen, de wereld van morgen niet verpest.”

5

Huidige situatie: steeds meer mensen



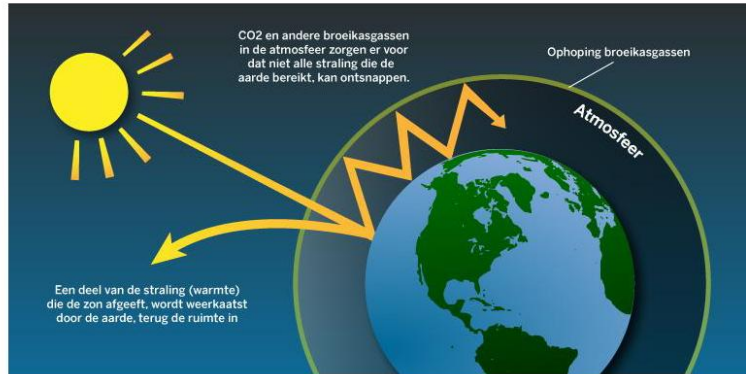
In 1928 ontdekte Alexander Fleming in het St. Mary's Hospital in Londen penicilline.

Deze ontdekking leidde tot de introductie van antibiotica die het aantal sterfgevallen door infecties aanzienlijk verminderden .

Howard W.

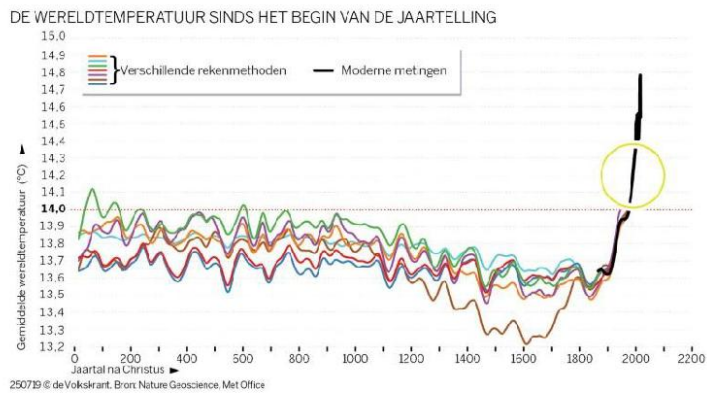
6

Huidige situatie: steeds meer CO₂



7

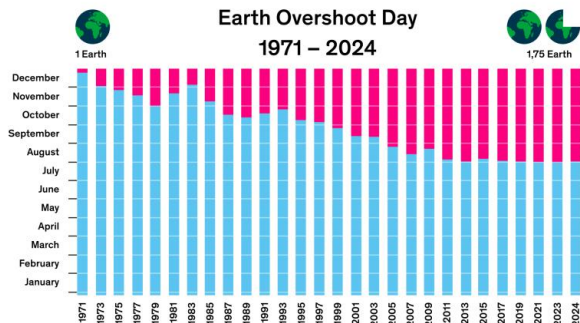
Huidige situatie: steeds warmer



8

Huidige situatie: steeds meer grondstoffen

Overshoot day: De dag van het jaar waarop de mensheid **meer van de natuur heeft gebruikt dan de aarde in dat jaar kan produceren.**



9

Wat als we niet verduurzamen?

- **Gevolgen voor de mensen: PEOPLE**

Water raak op (extreme droogte), meer conflicten en armoede door strijd om grondstoffen (VS en Oekraïne)...



10

Wat als we niet verduurzamen?

- **Gevolgen voor de natuur: PLANET**

Bossen verdwijnen, dier- en plantsoorten sterven uit, grond en lucht raken vervuild, klimaatverandering versneld...

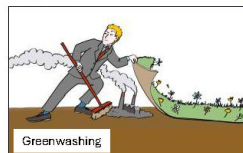


11

Wat als we niet verduurzamen?

- **Gevolgen voor de economie en stabiliteit: PROFIT**

Strategie (blackfriday), schaarse (niet veel beschikbare) grondstoffen maken producten duurder of onbetaalbaar, natuurrampen beïnvloeden productie (leveringsonzekerheid)...



12

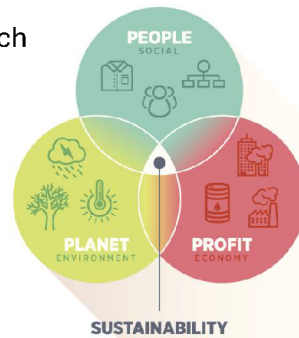
De drie pijlers van duurzaamheid



13

De drie pijlers van duurzaamheid

- De verschillende dimensies van duurzaamheid hangen met elkaar samen...
- Niet elke duurzame ontwikkeling is automatisch een perfecte balans tussen de drie P's:
 - **Te veel winst (Profit):**
Slechte arbeidsomstandigheden of schade aan natuur.
 - **Te veel focus op mensen (People):**
Zorg kan duur worden en het milieu belasten.
 - **Te veel focus op milieu (Planet):**
Producten worden te duur → armoede.



14

Een definitie van duurzaamheid anno 2025

De 17 Sustainable Development Goals van de VN hebben de drie pijlers uitgewerkt in concrete doelen voor een eerlijke, gezonde en leefbare wereld in 2030.

- People:        
- Profit:    
- Planet:     

15



16

SDG's gebruiken om duurzame eisen te maken

Voorbeeld:

Stap 1: Kijk bijvoorbeeld naar SDG 2: "Geen honger".

Stap 2: Bedenk wat honger met een insectenhotel te maken kan hebben?

>>> Insecten zoals bijen en vlinders helpen bij het bestuiven van planten. Zonder die insecten groeien er minder groenten, fruit en granen. Dus: als je met je insectenhotel bijen helpt, help je ook mee aan genoeg voedsel voor mensen!

Stap 3: Schrijf de eis en bijbehorende SDG op het werkblad: "Het insectenhotel moet geschikt zijn voor bijen en andere bestuivers, zodat ze kunnen helpen met het groeien van voedsel."

17

Opdracht 1:

Bedenk concretere eisen met behulp van de SDG's

1. Kijk nog eens naar de duurzame eisen die je eerder hebt opgeschreven (zie starter).
2. Kies drie verschillende SDG-doelen die passen bij jullie insectenhotel.
3. Schrijf bij elk doel één duidelijke duurzame eis voor jullie insectenhotel.

Let op:

- Gebruik niet het woord "duurzaam" in je verbeterde eis, dit is niet meetbaar.
- Leg in plaats daarvan uit wat je bedoelt en hoe kun je dat zien of meten?

18

LessonUp 2 - Afsluiter

- <https://lessonup.app/>
- Code: 447804

Afsluitend na deze les zijn de leerlingen aan de slag gegaan met opdracht 1 van het werkblad waarbij zij de eerder opgestelde duurzame eisen op basis van de nieuwe inzichten verbreden en baseren op de SDG-doelen:

Werkblad duurzame eisen bedenken en aanscherpen

Team: _____

Klas: _____

Starter: schrijf de duurzame eisen op die jullie bij deelopdracht 3 hebben bedacht voor het insectenhotel.

Duurzame eis 1:

Duurzame eis 2:

Duurzame eis 3:

Opdracht 1 (de docent geeft aan wanneer je aan deze opdracht mag beginnen):

Verbeterde duurzame eis 1:

Deze eis past bij SDG-nummer:

Verbeterde duurzame eis 2:

Deze eis past bij SDG-nummer:

Verbeterde duurzame eis 3:

Deze eis past bij SDG-nummer:

Appendix 5: Inhoud van de les over het PvE

De les over het PvE is ontworpen om brugklasleerlingen te helpen bij het opschrijven van SMART geformuleerde ontwerpeisen, oftewel het overkoepelende leerdoel van deze les. Het blijkt dat leerlingen geen duidelijk beeld hebben van wat een PvE inhoudt. Ze baseren hun eisen vooral op persoonlijke voorkeuren en ervaringen. Daardoor zijn de eisen vaak vaag, breed of oplossingsgericht. De criteria moeten juist vastleggen wat er bereikt moet worden, niet hoe je dat gaat doen, aldus Bob van Vliet, ontwerpdocent aan de Technische Universiteit Delft.

In deze les werken leerlingen stap voor stap aan hun eigen PvE. Eerst bedenken ze zoveel mogelijk eisen, waarna ze die steeds opnieuw bekijken vanuit verschillende perspectieven, zoals de gebruiker, de opdrachtgever of de fabrikant. Op deze manier leren ze dat elke betrokkene andere belangen bij een ontwerp heeft. Ook ontdekken ze dat sommige eisen elkaar overlappen of niet meetbaar zijn.

Vervolgens kiezen ze de tien belangrijkste eisen en verbeteren die aan de hand van vier controlevragen: is de eis haalbaar, meetbaar, objectief en stuurt de eis niet naar een oplossing toe? De les bevat concrete voorbeelden die leerlingen helpen om vage of subjectieve formuleringen te verbeteren.

De opbouw van deze les sluit aan bij dat leerlingen beter leren door actief bezig te zijn en hun eigen fouten te herkennen en duurt ongeveer een uur (Haan-Topolscak & Smits, 2021). De uiteindelijke les is ontwikkeld op basis van de bestaande workshoppresentatie van Thera Huijsmans (2020), waarvan hieronder de aangepaste slides worden weergegeven.

Programma van Eisen (PvE)

Wat is het? Waarom is het belangrijk? En hoe stel ik het op?

1

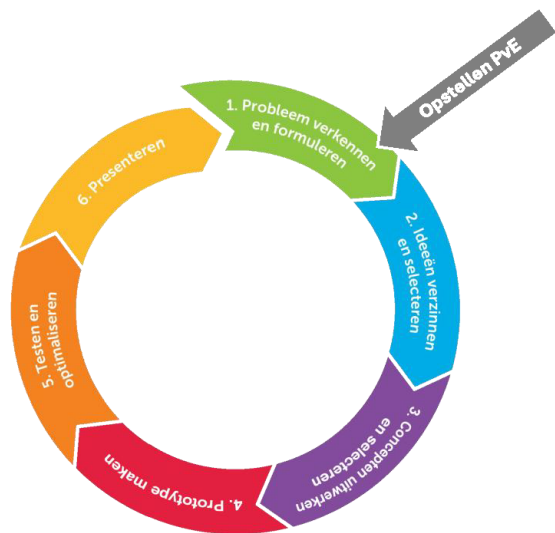
Inhoud

- Wat is een programma van eisen (PvE) en waarom is dit belangrijk?
- Hoe stel ik een goed PvE op?
 - Stap 1: programma van eisen opstellen / opschrijven
 - Stap 2: eisen aanvullen en verbeteren (invalshoek en categorie)
 - Stap 3: eisen schrappen
 - Stap 4: eisen prioriteren
 - Stap 5: puntjes op de i (1 t/m 4)
- PvE uitwerken (voorbeeld)

2

Wat is een PvE?

- In het programma van eisen staan de eisen waaraan het ontwerp moet voldoen.
- Het PvE is de basis van het overleg tussen de opdrachtgever en ontwerpers.
- Je kan met behulp van de criteria in het PvE je ontwerp beoordelen en toetsen aan de eisen.



3

Een PvE-eis...

- Beschrijft wat het ontwerp moet kunnen, niet hoe het opgelost wordt
- Is objectief (geen mening zoals “mooi” of “leuk”)
- Is meetbaar en concreet
- Is haalbaar en realistisch

4

Waarom is een goed PvE belangrijk? (rollenspel)

- Opdrachtgever (OG): Ik wil een hotel voor insecten
- Ontwerper (O): Ik zet een kartonnen doos in de tuin, daar kunnen ze wel in.
- OG: Maar het moet wel tegen regen kunnen, anders vergaat het binnen een week.
- O: Oké... dan maak ik het van plastic.
- OG: Liever niet! Het moet juist duurzaam zijn: van herbruikbare of natuurlijke materialen.
- O: Oh, dan gebruik ik wel materialen uit mijn eigen tuin zoals takjes en oud hout.
- OG: Goed, het moet ook geschikt zijn voor verschillende insectensoorten.
- O: Dan doe ik er gewoon wat blaadjes in.
- OG: Nee, de insecten moeten ieder hun eigen plekje binnen het insectenhotel krijgen... én het moet op een rustige plek kunnen hangen in de zon of halfschaduw.

5

Opstellen PvE insectenhotel

- In het programma van eisen staan dus de eisen waaraan het ontwerp moet voldoen.

- **Stap 1:**

Stel een programma van eisen op voor jullie insectenhotel.

Aan welke eisen moet een goed insectenhotel voldoen?

Schrijf zoveel mogelijk eisen op.

TIP: Laat je inspireren door je foto's van insectenhôtels op het internet.

6

Eisen opstellen vanuit verschillende invalshoeken:

Wie zijn de betrokkenen?

- Opdrachtgever (Utrecht Natuurlijk)
- Ontwerpers (jullie zelf)
- Gebruikers/bouwers (mensen thuis)
- Fabrikant
- Verkoper

7

Eisen opstellen per categorie (dus eerst logisch groeperen):

<p>De vorm</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Is de vorm van belang • Waarom is het van belang? 	<p>Het doel/functie</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoe wordt het insectenhotel gebruikt? • Wanneer wordt het gebruikt?
<p>Het materiaal</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Op welke manier speelt het materiaal een rol? 	<p>De context</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Voor wie wordt het insectenhotel gemaakt? • Wat is er bijzonder aan deze doelgroep?
<p>De plaatsing/omgeving</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • In welke omgeving wordt of situatie gaat het gebruikt worden? • Wat is belangrijk aan het product als het zich in een bepaalde situatie bevindt? 		
<p>Duurzaamheid</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Op welke manier houd je rekening met het milieu bij materiaalkeuze, productie en levensduur? 		

8

Verbeteren PvE insectenhotel

Stap 2:

- Kijk vanuit de verschillende invalshoeken en categorieën naar jullie eerder opgestelde eisen. Vul en/of pas ze aan.

9

Verbeteren PvE insectenhotel

Stap 3:

- Schrap eisen zodat de 7 belangrijkste eisen overblijven. Beargumenteer waarom je voor deze eisen kiest.

Tip: komen twee of meerdere eisen bijna op hetzelfde neer? Kun je deze samenvoegen tot één eis? Zo ja, schrijf deze dan zo kort en duidelijk mogelijk op.

10

We gaan het PvE nog verder aanscherpen

Stap 4:

- Maakt onderscheid in prioriteit. Dat wil zeggen dat je gaat bepalen welke eis het belangrijkste is. Zet die bovenaan en werk zo naar beneden, tot je onderaan de minst belangrijke eis hebt staan.

11

Opdracht 5: Puntjes op de i (1)

Kijk naar jullie 7 eisen:

Wordt in alle eisen alleen beschreven wat het ontwerp moet kunnen of welke eigenschappen het moet hebben? Vul en/of pas het aan.

Als er oplossingen worden verwerkt in de eisen, dan is er een grote kans dat de ontwerper in die richting blijft denken.

Voorbeeld:

- **Opdracht/vraagstuk:**
Een insectenhotel maken dat geschikt is voor verschillende soorten insecten.
- **Oplossingsgerichte eis:**
Gebruik bamboebuisjes en dennenappels als vulling.
- **Niet oplossingsgerichte eis (functie):**
Het ontwerp moet nestruimte bieden voor verschillende soorten insecten.

12

Opdracht 5: Puntjes op de i (2)

Kijk naar jullie 7 eisen:

Zijn deze specifiek en meetbaar? Maak de niet meetbare eisen meetbaar.

Bij een meetbare eis kan er geen discussie zijn over of het ontwerp wel of niet voldoet aan de eis. Een eis wordt meestal meetbaar wanneer hij heel specifiek is.

Voorbeeld:

• **Zwak:**

- a) Het insectenhotel moet lichtgroen zijn
- b) Het insectenhotel mag niet te zwaar zijn

• **Heel sterk:**

- a) Het insectenhotel moet voor 80% groen met code: 00DD80 zijn.
- b) Het insectenhotel mag maximaal 2 kilogram wegen

13

Opdracht 5: Puntjes op de i (3)

Kijk naar jullie 7 eisen:

Zijn deze haalbaar? Vul en/of pas het aan.

Je kan er tijdens het ontwerpproces achter komen dat een eis niet haalbaar is, dan stel je deze eis bij, dat mag.

Voorbeeld:

• **Niet/moeilijk haalbaar:**

Het insectenhotel mag enkel gebouwd worden met materialen waarvan is aangetoond dat ze voldoen aan internationale duurzaamheidsregels (FSC-keurmerk, ISO 14001, EU Ecolabel, Fairtrade).

• **Wel/makkelijk haalbaar:**

Het insectenhotel moet gemaakt zijn van hergebruikte of natuurlijke materialen.

14

Opdracht 5: Puntjes op de i (4)

Kijk naar jullie 7 eisen:

Zijn deze objectief (zonder mening) opgesteld? Vul en/of pas het aan.

Je kan er tijdens het ontwerpproces achter komen dat een eis niet haalbaar is, dan stel je deze eis bij, dat mag.

Voorbeeld 1:

- *Subjectief (met mening = niet goed):
Het insectenhotel moet mooi zijn.*
- *Objectief (zonder mening):
Het insectenhotel moet een industriële uitstraling hebben.*

15

Overzicht controlevragen PvE

Het programma van eisen...

- Beschrijft wat het ontwerp moet kunnen, niet hoe het opgelost wordt.
- Is meetbaar en specifiek
- Is haalbaar en realistisch
- Is objectief (geen mening zoals “mooi” of “leuk”)

Belangrijk: iedere eis is uniek.

16