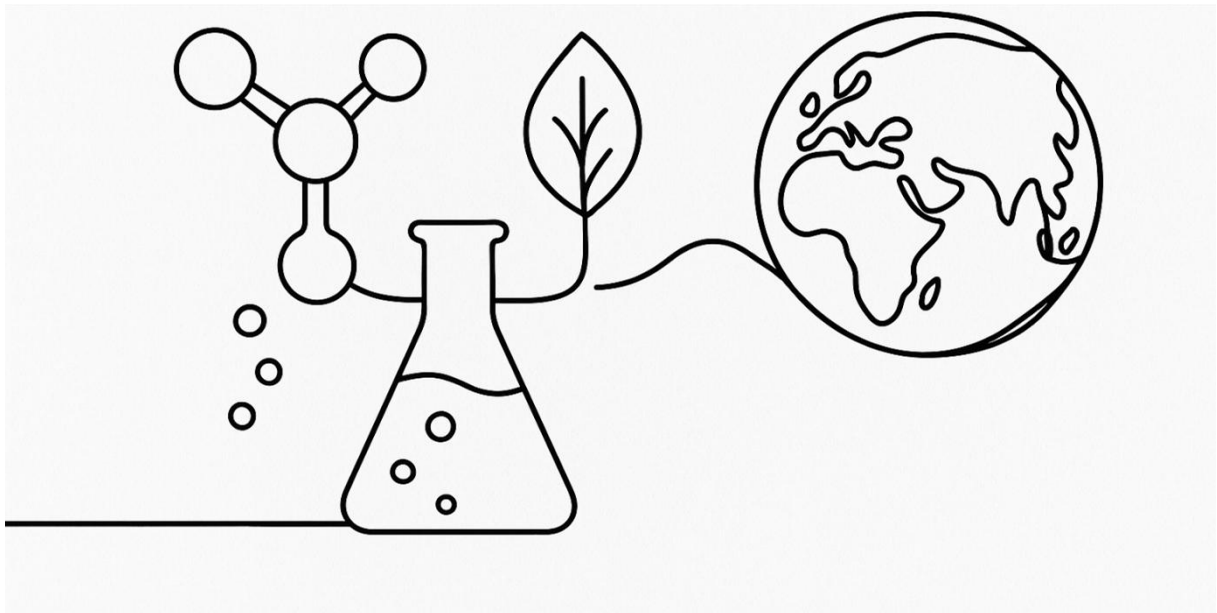


Van polymeer tot planeet: chemie in context!

Systemdenken integreren in de scheikundeles



Workshop gegeven door: Joost van Vijfeijken en Lieke Pieters
Mail: j.t.j.vanvijfeijken@uu.nl en lieke.pieters@achterhoekvo.nl



UNIVERSITY
OF TWENTE.



Universiteit
Utrecht

Inleiding

Wat leuk dat je interesse hebt in het gebruik van systeemdenken binnen de scheikundeles. Wij, Lieke en Joost, hebben deze hand-out ontwikkeld om docenten inzicht te geven in de brede mogelijkheden die deze denkvaardigheid biedt voor het scheikundeonderwijs. De inzichten en lesvoorbeelden die we hier delen zijn afkomstig uit de literatuur of ons eigen onderzoek.

Systeemdenken, is een denkwijze die helpt om complexe fenomenen te doorgronden. Daarbij helpt het leerlingen niet alleen om chemische fenomenen beter te begrijpen — zoals de warmte die vrijkomt bij een hotpack — maar ook om te zien hoe stoffen en processen samenhangen binnen de maatschappij. Zo ontdekken leerlingen dat scheikunde niet op zichzelf staat, maar een wezenlijke rol speelt in het dagelijks leven van ieder individu.

Binnen het concept-examenprogramma krijgt systeemdenken een explicietere plaats en komen maatschappelijke vraagstukken nadrukkelijker aan bod. Dat biedt kansen, maar stelt docenten ook voor nieuwe uitdagingen bij het vormgeven van hun (deels zelfgekozen) curriculum.

Met deze hand-out en het voorbeeld dat wij tijdens de conferentie hebben gepresenteerd, laten we zien hoe systeemdenken leerlingen kan helpen om maatschappelijke vraagstukken te doorgronden. Daarnaast biedt de hand-out ook inspiratie en lesvoorbeelden voor meer traditionele onderwerpen, zoals het analyseren van chemische processen.

Ons uiteindelijke doel is dat systeemdenken een natuurlijke denkwijze wordt die door het hele lesprogramma heen verweven is, van atoom tot maatschappij.

Inhoud

Inleiding	2
Systeemkarakteristieken met voorbeelden	3
Modeleren van het systeem.....	5
Voor en nadelen van systeemmodellen.....	12
Chemische modellen	16
Aanpak voor het integreren van systeemdenken in de scheikunde les.....	18
Valkuilen en mogelijkheden voor het integreren van systeemdenken	20
Lesvoorbeelden	21
Referenties	22

Systeemkarakteristieken met voorbeelden



Hiërarchie: Kun je inzoomen en/of uitzoomen? En op welke schaalniveaus is dit?



Grens: Wat is de grens van het systeem: wat hoort bij het systeem en wat hoort bij de omgeving?



Onderdelen: Uit welke onderdelen bestaat het systeem? Wat voor doel/functie/eigenschappen hebben de verschillende onderdelen in het systeem?



Interacties: Wat zijn de relaties tussen de verschillende onderdelen van het systeem?



Input en output: Wat gaat het systeem in en wat gaat het systeem uit in termen van energie, stoffen en/of informatie?






Feedback: Welke kringloop of regelkring kun je maken met de componenten van het systeem?
Zorgt de zelf beïnvloeding ervoor dat de veranderingen in het systeem ongedaan worden gemaakt?
Zorgt de zelf beïnvloeding ervoor dat de verandering het systeem zichzelf versterkt?



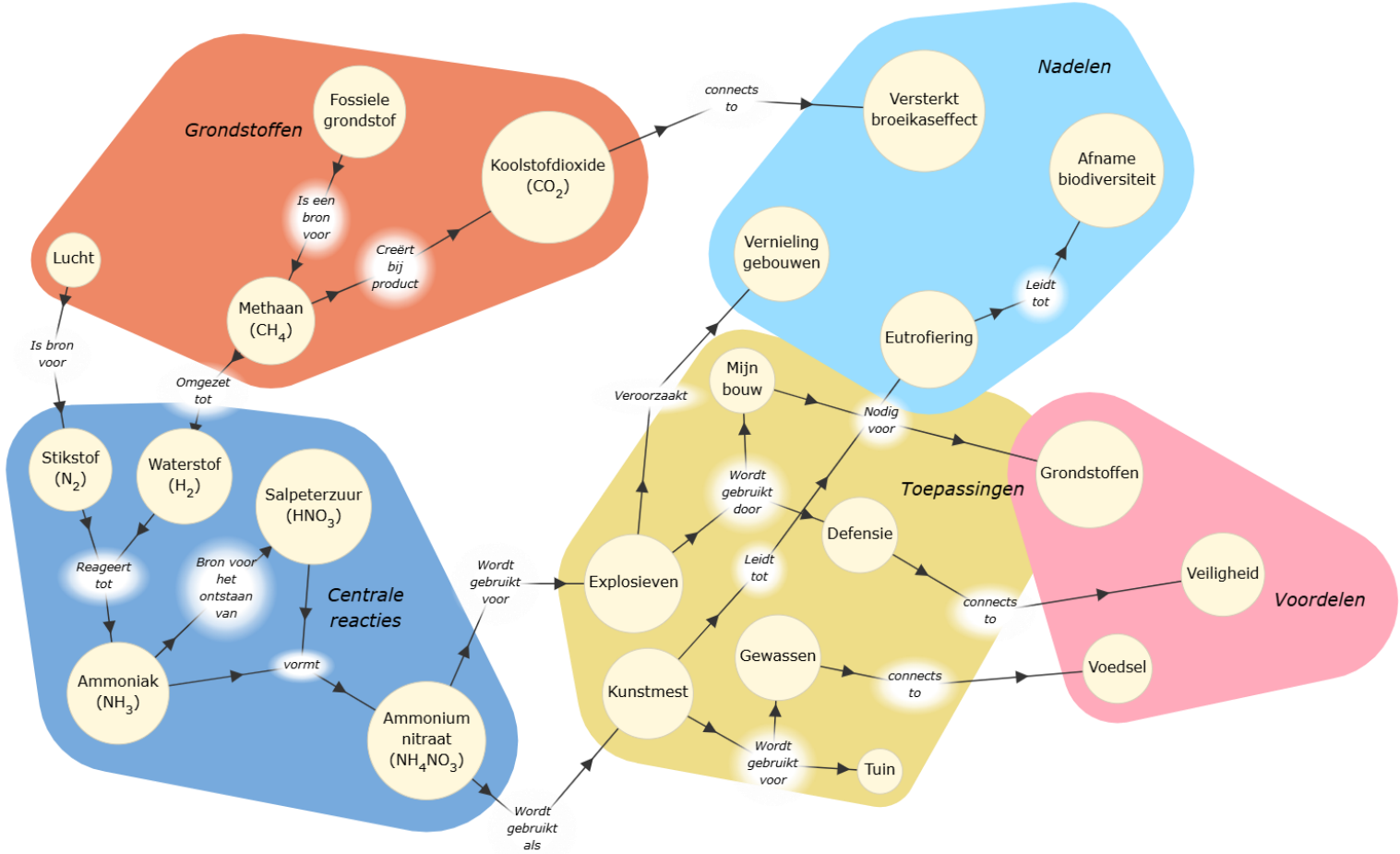
Dynamiek: Welke (regelmatige) veranderingen zijn er in de input en output?
Op welke manieren vinden er veranderingen plaats in het systeem door de tijd heen?



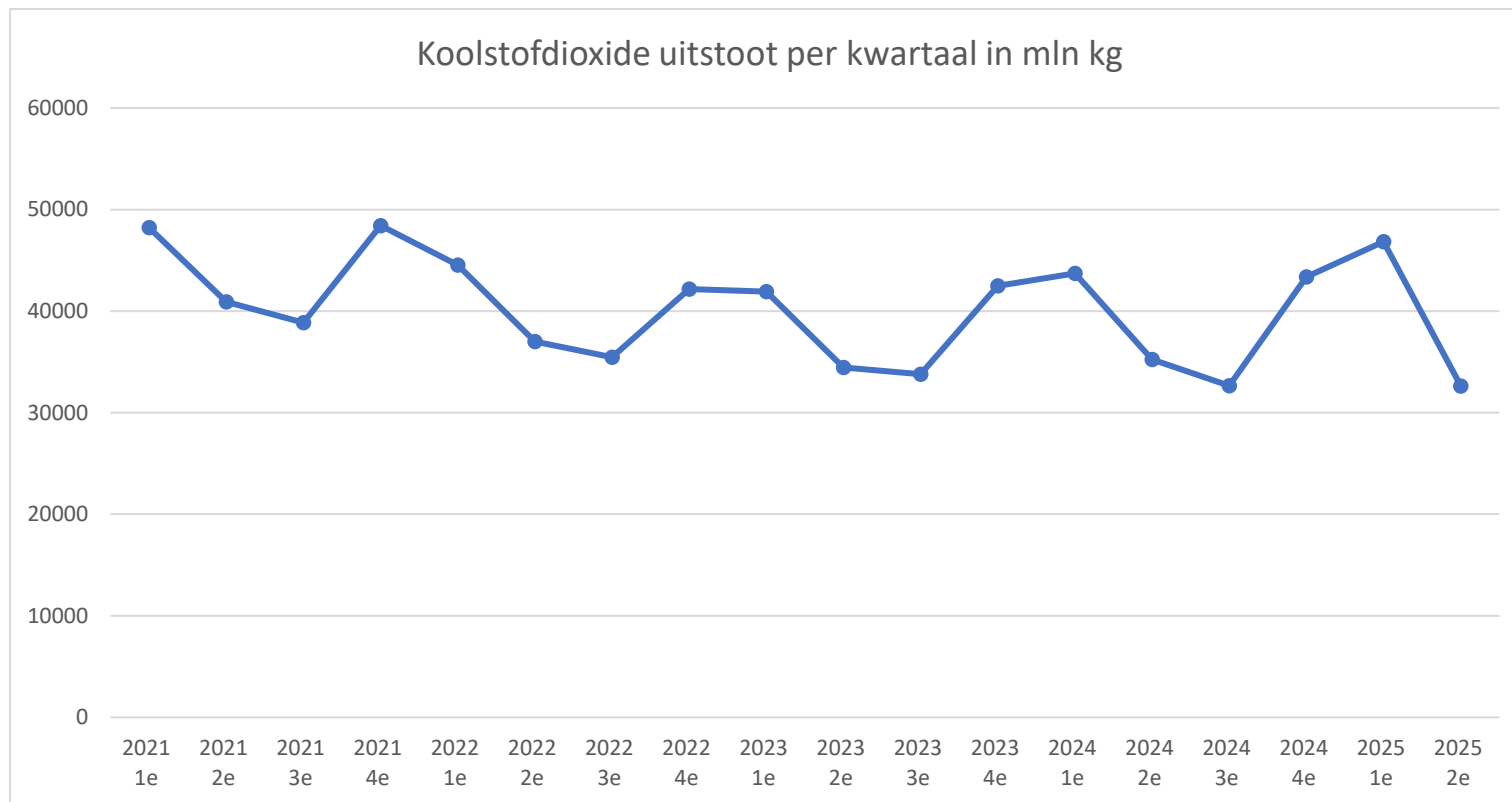
Emergentie: Wat kunnen de onderdelen van het systeem wel samen, maar niet apart?
Welk doel (door de mens gemaakt) of functie (niet door mens gemaakt) heeft het systeem?

Systeemkarakteristiek	Voorbeelden uit het scheikundeonderwijs
 <p>Hierarchie</p>	<p>Van groot naar klein kun je denken aan: Aarde (macro) → stofkringloop/levenscyclus (macro) → bedrijf (macro) → reactor (macro) → laboratorium (macro) → Stof (macro) → groep moleculen (meso) → molecuul (micro) → atoom (micro) → protonen/elektronen/neutronen (micro)</p>
 <p>Grens</p>	<p>De aarde, een levenscyclus, bedrijf, reactor, lab, bekglas, een groep moleculen, molecuul, een atoom.</p>
 <p>Onderdelen</p>	<p>In een levenscyclus heb je: het verkrijgen, produceren, gebruiken en verwerken (als afval) van stoffen. In een fabriek heb je: Reactoren, scheidingsmiddelen, mengers. In een bekglas heb je: stoffen, oplosmiddelen die bestaan uit verschillende soorten moleculen. In een atoom heb je: protonen, neutronen en elektronen.</p>
 <p>Interacties</p>	<p>Onderdelen die elkaar beïnvloeden zoals vraag en aanbod tussen de productie en het gebruik van stoffen, stofstromen in een fabriek. Stoffen die met elkaar interacteren doormiddel van chemische reacties of elkaar aantrekken/afstoten.</p>
 <p>Input output</p>	<p>Het toevoegen of weghalen van een stof (dit kan dus ook een onderdeel van het systeem zijn). Het toevoegen of weghalen van energie. Het toevoegen van informatie bijvoorbeeld door wetgeving of het verkrijgen van data uit het systeem.</p>
 <p>Feedback</p>	<p>Denk hierbij aan stofkringlopen, recycle in fabrieken, evenwichtsreacties en “thermal runaway” bij een exotherme reactie.</p>
 <p>Dynamiek</p>	<p>De toe of afname van een bepaalde stof/energie binnen een bepaald systeem denk aan de toename van CO₂ in de atmosfeer. De toe of afname van een bepaalde in- of output bijvoorbeeld uitlaatgassen van een auto. De beweging van deeltjes op microniveau.</p>
 <p>Emergentie</p>	<p>Klimaatsverandering, de verandering van menselijk gedrag, leven. Het ontstaan van drie dimensionale structuren van moleculen. Stofeigenschappen zoals kleur, kookpunt, geleidbaarheid en ook thermodynamische toestanden als de druk of temperatuur van een stof. Daarnaast is het doel (door mens gemaakt) of functie (niet door mens gemaakt) van het systeem ook vaak iets van het systeem als geheel en niet puur van de onderdelen.</p>

SOCME (Haber Bosch proces)

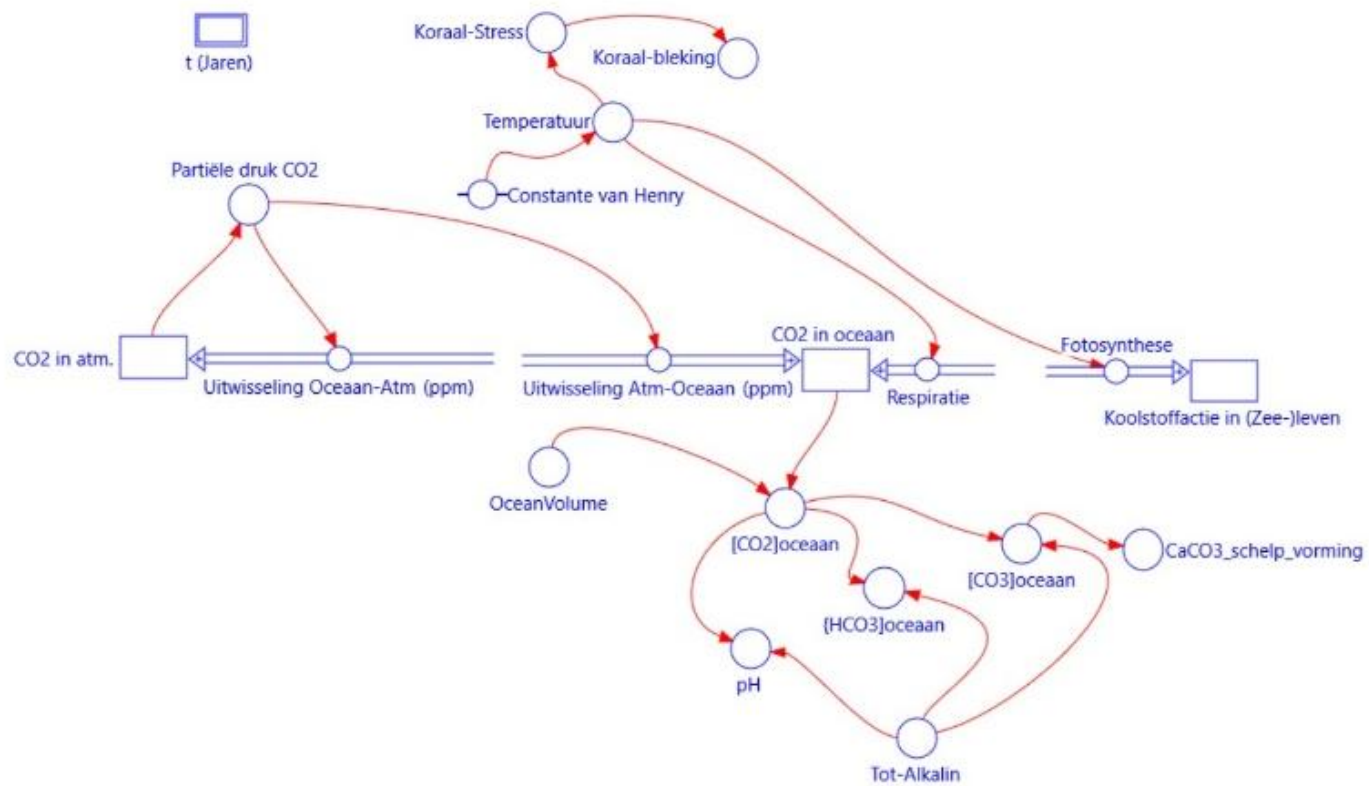


Behavior over time graph (Koolstofdioxide uitstoot in Nederland)

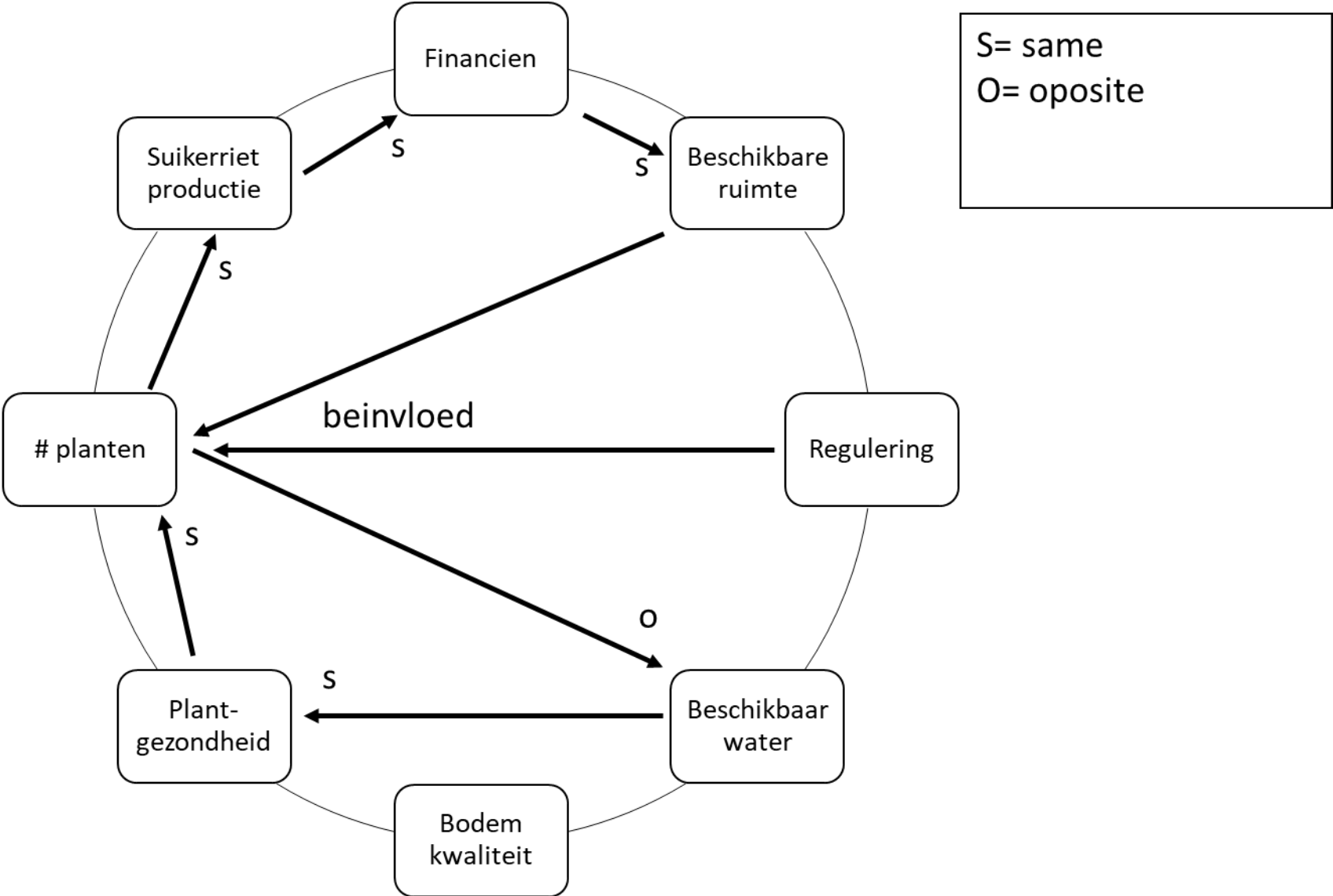


Gebaseerd op data van CBS: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84057NED/table>

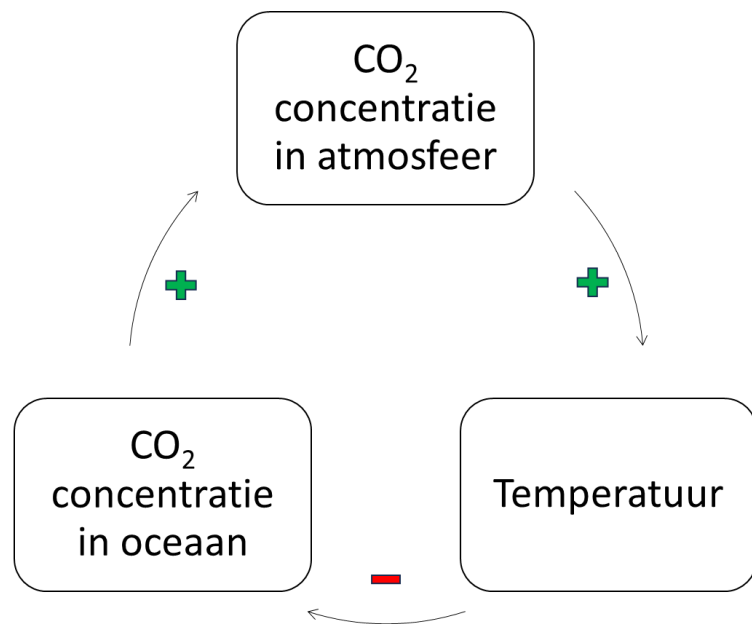
Stock and flow diagram



Connection circles (Suikerriet productie)

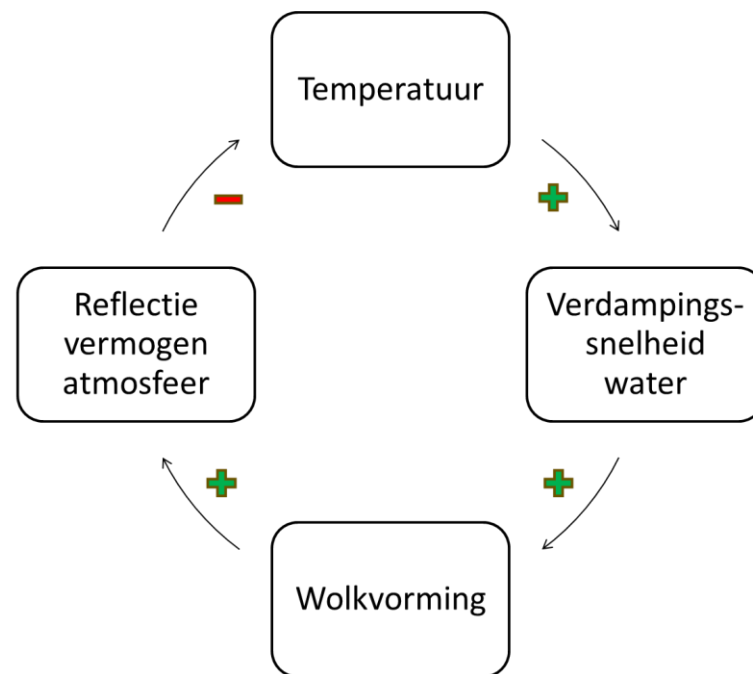


Causal loop diagram (klimaatsverandering)

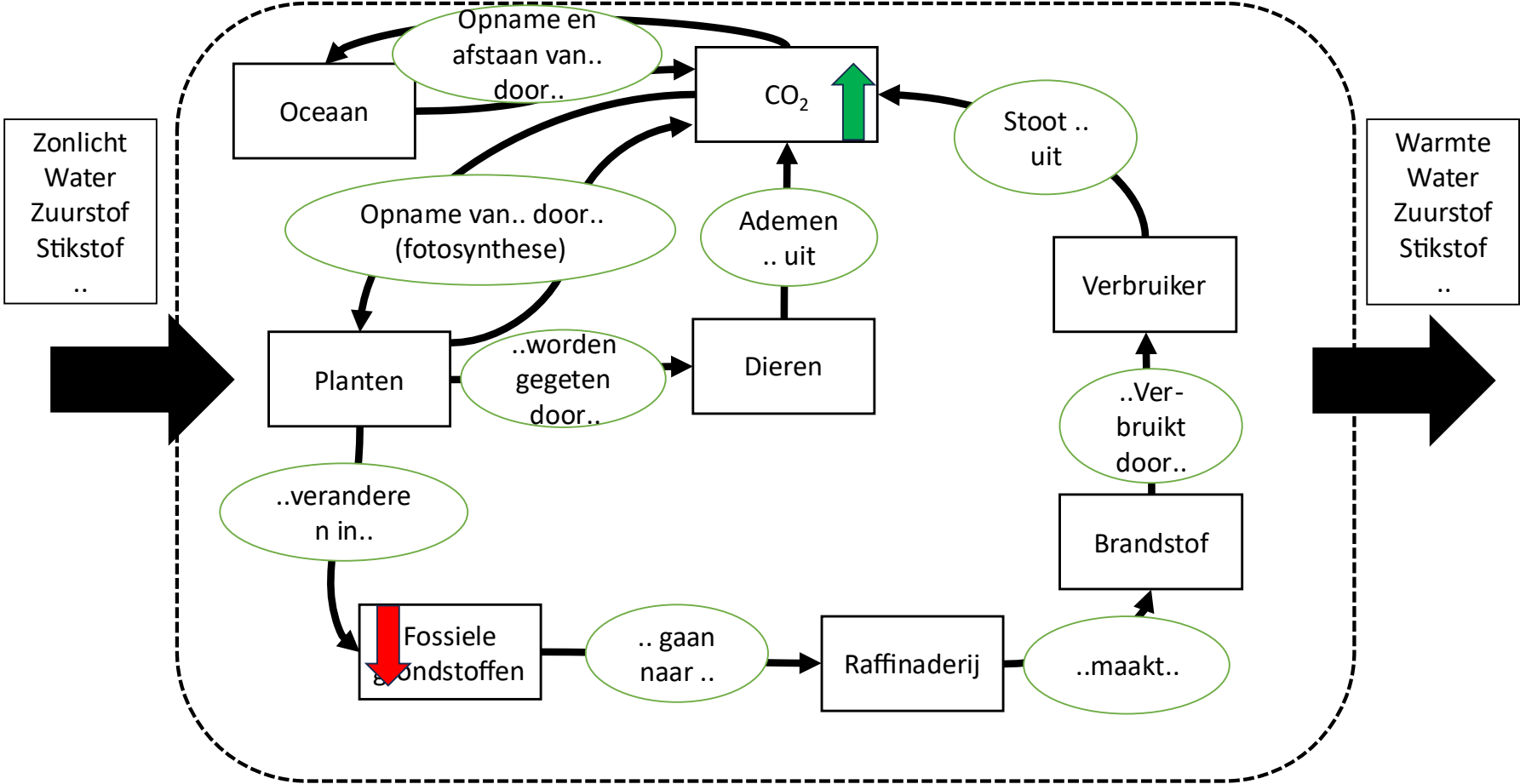


Versterkende feedbackloop

Balancerende feedbackloop



System model (koolstofkringloop)



Voor en nadelen van systeemmodellen

	Voordelen	Nadelen
Concept map	Laat leerlingen nadenken over onderdelen , hun interacties en mogelijke feedbackloops	Ontbreken van karakteristieken als dynamiek , grens , in en output , hiërarchie en emergentie .
	Toont cascade van effecten aan en kan uitkomsten of impacts aantonen die (ver) verwijderd liggen van een startpunt.	Met name grote concept maps kunnen wat overweldigend zijn, wat het lastig maakt om er doorheen te navigeren.
	Recht vooruit overzicht van centraal onderdeel dat bestudeerd wordt.	Doordat de grens vaak niet heel duidelijk is wordt alles in beschouwing genomen.
	Kan meteen geschetst worden en technologie is niet nodig.	
System Oriented Concept Map Extension (SOCME)	Laat leerlingen nadenken over onderdelen , interacties en feedbackloops onderverdeeld in subsystemen met grenzen waardoor er een hiërarchie zichtbaar is.	Ontbreken van karakteristieken als dynamiek , in en output en emergentie .
	Daagt uit om na te denken over de implicaties van een complex systeem in termen van subsystemen.	Welke grenzen er gelegd moeten worden en hoe die grenzen zich verhouden tot andere aspecten van de SOCME kan problemen geven.
	Helpt in nadenken over grenzen en het uitbreiden van grenzen.	Alhoewel het geschetst kan worden, is technologie toch wenselijk. De ontwikkelde tool: https://applets.kcvs.ca/sockit/ kan hiervoor gebruikt worden.

	Is een stapgerichte aanpak in het opbouwen van een systeem, waarbij er steeds gefocust wordt op een ander subsysteem, dat bepaald kan worden door curriculum relevantie of leerling interesse.	
	De hoeveelheid subsystemen kan daarnaast ook bepaald worden door de hoeveelheid tijd.	
	Kan meteen geschetst worden en technologie is niet nodig.	
Behavior over time graph	Laat leerlingen nadenken over de dynamiek van een systeem.	Kijkt maar naar één systeemkarakteristiek in het bijzonder (dynamiek) en een andere karakteristiek impliciet (grens).
	Laat daarmee bepaalde trends zien.	Kijkt ook niet dieper in het systeem wat het dynamische gedrag veroorzaakt.
	Laat je nadenken over de dynamiek van het systeem, mate van verandering, controle condities en schaal van het probleem.	Bestaat uit "real-world" data die je probeert te begrijpen of uit de output van een model van een systeem binnen bepaalde grens condities.
	Laat je impliciet ook nadenken over de grens van het systeem.	
	Kan chemische concepten versterken gerelateerd aan modellen van dynamische systemen.	

Stock and flow diagrams	Laat leerlingen nadenken over onderdelen en variabelen die met elkaar interacteren , het heeft een duidelijke in en output . Daarnaast wordt het vaak gebruikt om de dynamiek te modeleren in een <i>behavior over time graph</i> bijvoorbeeld in coach.	Ontbreken van karakteristieken als hiërarchie, grens en emergentie . Er is ook niet specifiek aandacht voor feedbackloops .
		De volledige diagrammen kunnen redelijk complex zijn.
	Geeft diep inzicht in onderdelen en interacties tussen die onderdelen vaak ook op een kwantitatieve manier.	Vaak technologische hulpmiddelen nodig zoals coach.
		Het begrijpen, maken en kunnen interpreteren van deze dynamische modellen kost vaak wat tijd.
Connection circles (causale lussen)	Laat leerlingen nadenken over onderdelen, causale interacties tussen die onderdelen en de mogelijke aanwezigheid van feedbackloops binnen een abstracte grens van een cirkel waarin alleen de toegevoegde onderdelen aanwezig zijn.	Ontbreken van karakteristieken als in- en output, dynamiek, hiërarchie en emergentie .
	De concepten die in een connection circle gebruikt worden zijn vaak bekend bij leerlingen.	Kan vanwege de hoeveelheid onderdelen en daarmee groeiende interacties complex worden.
	Er is geen software voor nodig.	
Causal loop diagram	Laat onderdelen (variabelen) zien en hoe deze interacteren en uiteindelijk vaak ook resulteren in een feedbackloop .	Ontbreken verschillende karakteristieken zoals dynamiek, hiërarchie, emergentie en in- en output het is namelijk een gesloten systeem.

	De concepten die in een causal loop diagram worden gebruikt zijn vaak bekend bij leerlingen.	Zij hoofdzakelijk kwalitatief en hebben daardoor vaak niet erg gedetailleerde info.
	Vanwege de simpliciteit van een causal loop diagram is het een makkelijke manier om feedbackloops te duiden.	
	Er is geen software voor nodig	
Systeemmodel	Doet recht aan alle karakteristieken.	Hierdoor wel complex.
	Doordat het model onderverdeeld is in verschillende karakteristieken en er veel aandacht is voor de verschillende schaalniveaus, kan het een gestructureerde aanpak zijn om een complex systeem aan te gaan.	Kan uitnodigen tot discussie wat nu onder welke karakteristiek valt.
	Kan meteen geschetst worden en technologie is niet nodig.	Het model kan ook belemmerend werken voor sommige systemen.

Chemische modellen

Daarnaast maken we in de scheikunde les gebruik van verschillende chemische modellen om systemen (vaak stoffen of processen) te begrijpen. Deze modellen bevinden zich vaak op verschillende hiërarchische niveaus (micro-meso-macro) en hebben vaak een verschillende focus. Het atoommodel van Bohr focust zich bijvoorbeeld hoofdzakelijk op onderdelen en de plek van de onderdelen, terwijl chemische binding zich juist meer focust op de interacties tussen deze onderdelen en de kinetiek richt zich meer op de dynamiek van het systeem. De keuze van een specifiek model is vaak gebaseerd op het fenomeen dat men van een bepaald systeem wil verklaren.

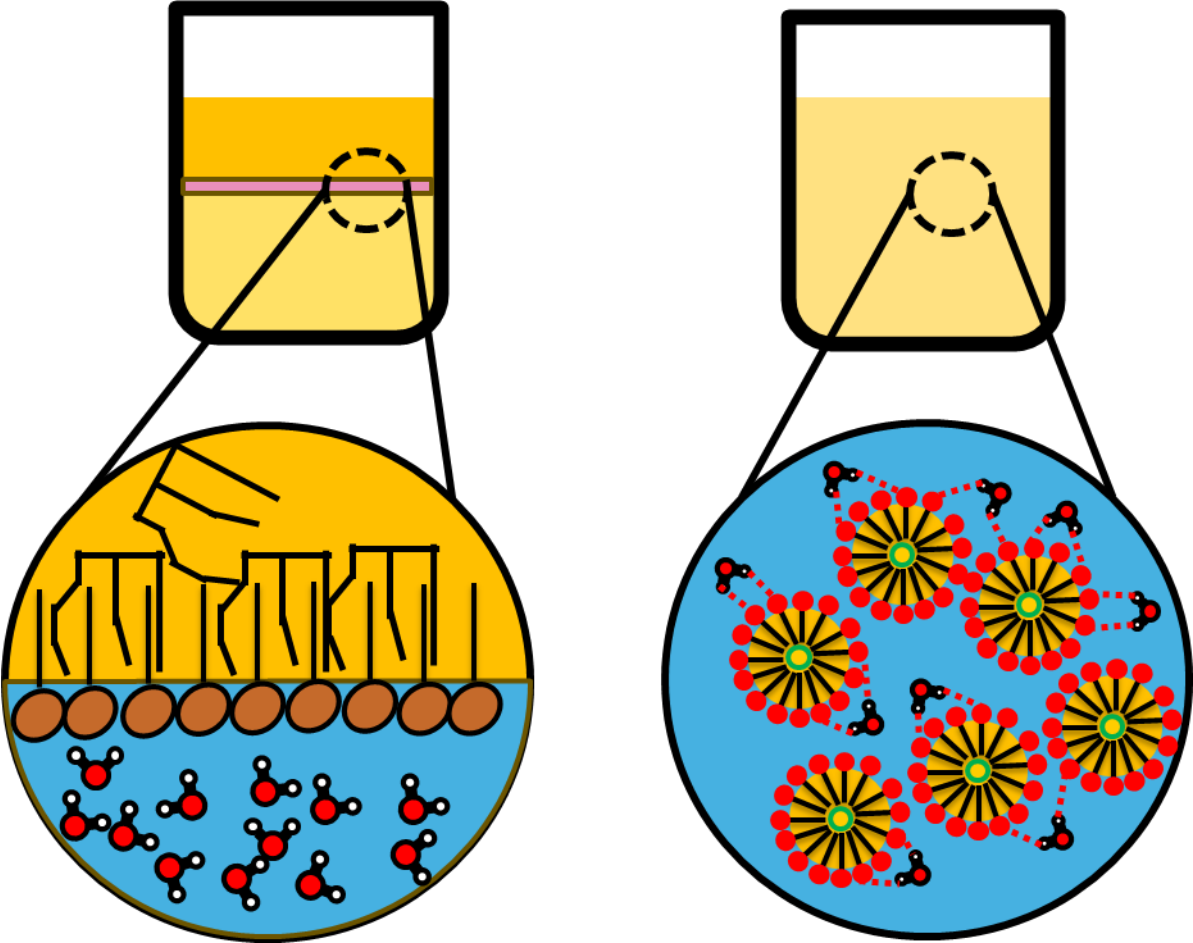
Elk chemisch model heeft daarmee voor en nadelen. Het is dan ook belangrijk om als docent hiervan bewust te zijn en deze te bespreken. Door aannames te achterhalen, verschillen tussen modellen (van het zelfde systeem) te bestuderen en zelf modellen te ontwikkelen. Systeemdenken en de systeemkarakteristieken kunnen daarbij ook gebruikt worden als tool, zo kan er gevraagd worden:

- Welke onderdelen zijn er weggelaten in het model?
- Waar lag de grens van dit model?
- Op welke schaalniveaus bevindt zich dit model?

Voorbeeld chemisch model van emulsievorming

t=0

t=1



Aanpak voor het integreren van systeemdenken in de scheikunde les *Het begrijpen van systemen en de systeemkarakteristieken*

- 1) Laat leerlingen kennis maken met systemen en laat zien hoe de systeemkarakteristieken in deze systemen tot uiting komen.
- 2) Laat leerlingen zelf de relevante systeemkarakteristieken identificeren en beschrijven van een systeem.

Het toepassen van systeemdenken en modeleren

- 3) Laat leerlingen nadenken over een fenomeen (de hitte van een hotpack), een maatschappelijk probleem (klimaatsverandering) of een idee (het gebruik van bioplastic). Daarbij dien je bewust te zijn dat het fenomeen, probleem of idee:
 - a) .. aansprekend is voor de leerlingen.
 - b) .. aansluit bij de meerderheid van de systeemkarakteristieken (is complex).
 - c) .. in lijn is met bestaande lespraktijk (bijv. curriculum).
 - d) .. bij het introduceren van systeemdenken een afgebakende grens heeft.
 - e) Je kunt een uitnodigende/sturende vraag stellen?
- 4) Laat leerlingen met behulp van de systeemkarakteristieken nadenken over het systeem met behulp van aanwezige voorkennis of aangereikte informatie.
- 5) Laat leerlingen het systeem modeleren.
- 6) Laat leerlingen reflecteren op het gemodelleerde systeem. (Bijv. Hoe verklaard het systeem het waargenomen fenomeen? Wat zouden mogelijke oplossingen zijn voor het probleem? Wat voor impact heeft dit idee op zijn omgeving?)

Maar systeemdenken is uitdagend:

- 1) Leerlingen hebben moeite met sommige systeemkarakteristieken zoals:
 - a) Emergentie
 - b) Feedback
 - c) Hierarchie
 - d) Dynamiek
 - e) Interactie
- 2) Andere risico's van systeemdenken:
 - a) Cognitieve overladenheid
 - b) Doelgerichte leerlingen (waarom moeten we dit kennen?)
 - c) Tijd en curriculum overladenheid

Deze uitdagingen kunnen aangegaan worden:

- 1) Gebruik ook niet chemische aansprekende voorbeelden die goed voor leerlingen te begrijpen zijn.
- 2) Leg de nadruk op een specifieke (moeilijke) karakteristiek.
- 3) Laat voorbeelden zien van manieren om systemen te modeleren.
- 4) Verweef systeemdenken in je lessen, door aandacht te geven aan de systeemkarakteristieken en het modeleren.
- 5) Voeg in het PTA een onderdeel toe waarin systeemdenken gebruikt wordt om de complexiteit te doorgronden, bijvoorbeeld een ketenanalyse van een stof.
- 6) Scaffolding van systeemdenken:
 - a) Geef de ondersteunende vragen per karakteristiek.
 - b) Geef leerlingen al de onderdelen van een systeem en laat ze zelf nadenken over de interactie, dynamiek en andere karakteristieken.
 - c) Geef de leerlingen al een deels ingevuld model van een systeem en laat ze het zelf in een bepaalde richting uitbreiden.
 - d) Geef de leerlingen bronnen die ze kunnen gebruiken om het systeem zelf verder te doorgronden.

Valkuilen en mogelijkheden voor het integreren van systeemdenken

Valkuilen	Mogelijkheden
<p>⚠ Overladenheid Leerlingen kunnen overweldigd raken door de grootte van systemen. Hierbij is het goed om aan te geven dat keuzes moeten maken in welke factoren ze wille onderzoeken en wat buiten hun “grenzen” valt.</p> <p>⚠ Tijd Door weinig te begrenzen kan het voor leerlingen moeilijk zijn iets af te krijgen binnen de les(senserie). Tijdsindicaties per doel zou hierbij kunnen helpen en een harde deadline.</p> <p>⚠ Variërend in sturing Bij te weinig sturing kunnen leerlingen verdwalen in de complexiteit en moeite hebben met het werken naar een eindproduct. Bij te veel sturing leren ze echter minder zelfstandig verbanden leggen. Voorbeelden kunnen hierbij helpen, maar ook het doel van de les kan worden bijgesteld. Is het doel het systeem in zijn geheel beter te leren begrijpen of echt leerlingen onderzoekend te laten leren?</p> <p>⚠ Evaluatie Systeemdenken is niet altijd even zichtbaar in de manier waarop leerlingen schrijven/modellen ontwikkelen. Zonder duidelijke voorbeelden en/of evaluatiecriteria wordt systeemdenken vaag en worden ze minder uitgedaagd het denken expliciet te maken.</p>	<p>💡 Dieper begrip ontwikkelen Leerlingen leren zelf op zoek te gaan naar de verschillende actoren en leren relaties te leggen tussen factoren. Nodig uit om de verbanden expliciet te maken zodat er een beter inzicht in de structuur van het systeem wordt ontwikkeld en hun probleemoplossend vermogen wordt geprikkeld.</p> <p>💡 Korte en lange lessen/modules Er is een mogelijkheid om binnen een les een groot systeem met expertgroepen te onderzoeken of een kleiner systeem individueel/in duo’s. Ook zou er binnen een lessenserie meer ruimte kunnen worden gegeven aan de groepen om het systeem verder uit te werken en ook leren te presenteren.</p> <p>💡 Variërend in sturing Door leerlingen meer te sturen, komt er een product uit wat hoogstwaarschijnlijk beter te beoordelen is en worden de leerdoelen makkelijker behaald. Dit kan zeker wenselijk zijn in individuele lessen. Door leerlingen meer vrijheid te geven, worden ze uitgedaagd creatief te zijn en zelf meer keuzes te leren maken. Wel blijft enige begeleiding wenselijk en zal het helpen als leerlingen van tevoren weten waar ze uiteindelijk op beoordeeld worden.</p> <p>💡 Tekst of modelgericht Afhankelijk van het doel van de les, kun je als docent specifiek focussen op bepaalde vaardigheden. Het leren schakelen tussen narratieve uitleg en visuele weergaves maakt het systeemdenken gelijk veelzijdig. Bekijk de lesvoorbeelden voor verschillende mogelijkheden hiervoor.</p> <p>💡 Rubriek Rubrieken kunnen leerlingen helpen helderheid te geven over de kwaliteitseisen en hen meer sturen tijdens de ontwikkeling van begrip van het systeem.</p> <p>💡 Actieve werkvorm Door werkgroepen te gebruiken, worden de leerlingen uitgedaagd te reflecteren op elkaar en van elkaar te leren. Hierbij ervaren ze meteen hoe er verschillende perspectieven mogelijk zijn.</p>

Lesvoorbeelden

Er zijn vier lessen ontwikkeld, uitgetoetst en verbeterd over systeembenen. De lessen 2 t/m 4 kunnen in willekeurige volgorde gegeven worden. Het grootste verschil zal zijn, de ondersteuning die de leerlingen nodig hebben.

Les	Systemen	Doel
1	Wave & theezetten	Begrijpen van de systeemkarakteristieken.
2	Emulsievorming	Begrijpen en toepassen van de systeemkarakteristieken. Inzicht krijgen in de werking van emulsievorming.
3	Koolstofkringloop	Begrijpen en toepassen van de systeemkarakteristieken. Inzicht krijgen in de invloed die biobrandstoffen hebben op de koolstofkringloop.
4	Hotpack	Begrijpen en toepassen van de systeemkarakteristieken. Inzicht krijgen in de werking van de hotpack.

Ook is er module gemaakt van 4-5 lessen over conceptueel modelleren waarbij circulariteit binnen het ReCoVR project centraal staat. In de module krijgen leerlingen inzicht in invloed van afvalbulten op de methaanuitstoot en leren ze conceptuele modellen ontwikkelen rondom een zelfgekozen afvalstroom (koolstofmonoxide, water, eiwitten). Deze module is aanpasbaar door zelf meer opties aan te dragen die leerlingen kunnen onderzoeken in de laatste les (bv. microplastics).

Het lesmateriaal en de PowerPoint kunnen bekeken worden met de volgende QR code:



Referenties

Icoontjes:

De icoontjes op pagina 2 en 3, zijn afkomstig van het promotieonderzoek gedaan door Melde Gilissen:

Gilissen, M. G. R. (2021). Fostering students' systems thinking in secondary biology education ([PDF](#)), Faculty of Science, Freudenthal Institute (pp. 320). Utrecht: Utrecht University.

Gebruikte bronnen:

Avargil, S., & Saxena, A. (2023). Students' drawings, conceptual models, and chemistry understanding in the air-quality learning unit. *Research in Science Education*, 53(4):841–865.

Bruce, K., Reyes, K. M., & Shetranjiwalla, S. (2023). Connecting the periodic table to the planet with systems, life cycle and circularity thinking. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 101018.

Chen, Y. C., Wilson, K., & Lin, H. S. (2019). Identifying the challenging characteristics of systems thinking encountered by undergraduate students in chemistry problem-solving of gas laws. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 594-605.

Constable, D. J., Jiménez-González, C., & Matlin, S. A. (2019). Navigating complexity using systems thinking in chemistry, with implications for chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2689-2699.

Delaney, S., Ferguson, J. P., & Schultz, M. (2021). Exploring opportunities to incorporate systems thinking into secondary and tertiary chemistry education through practitioner perspectives. *International Journal of Science Education*, 43(16), 2618-2639.

Gilissen, M. G. R. (2021). Fostering students' systems thinking in secondary biology education ([PDF](#)), Faculty of Science, Freudenthal Institute (pp. 320). Utrecht: Utrecht University.

Krab-Hüsken, L. E., Pei, L., de Vries, P. G., Lindhoud, S., Paulusse, J. M. J., Jonkheijm, P., & Wong, A. S. Y. (2023). Conceptual Modeling Enables Systems Thinking in Sustainable Chemistry and Chemical Engineering. *Journal of Chemical Education*, 100(12), 4577-584.

MacDonald, R., Elgersma, A., Holme, T., Snyder, J., Reynders, M., & Mahaffy, P. (2025). SOCKit: An Online Tool for Systems Thinking. *Journal Of Chemical Education*, 102(7), 2990–2996.

Pazicni, S., & Flynn, A. B. (2019). Systems thinking in chemistry education: Theoretical challenges and opportunities. *Journal of chemical education*, 96(12), 2752-2763.

Pieters, L. (2024). Conceptueel modelleren: De brug naar het systematisch benaderen van scheikundige vraagstukken in het voortgezet onderwijs ([PDF](#)). *Thesis, University of Twente*.

Szozda, A. R., Mahaffy, P. G., & Flynn, A. B. (2023). Identifying Chemistry Students' Baseline Systems Thinking Skills When Constructing System Maps for a Topic on Climate Change. *Journal of chemical education*, 100(5), 1763-1776.

Talanquer, V. (2019). Some insights into assessing chemical systems thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2918-2925.

Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 229-245.

Van Vijfeijken, J., Knippels, M-C, Prins, G., van Joolingen, W., *Using system characteristics for reasoning about complex chemical phenomena*, International Journal of Science Education (under revision)

York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. (2019). Applications of systems thinking in STEM education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742-2751.