

Tentamen Continuous Models II, System Dynamics

SPM2313 – Versie B – (/45)

dr. Erik Pruyt

13:00-16:00 19/01/2010

1 Meerkeuzevragen (/20)

2 SD Modelleervraag: Dynamiek van een transitie (/25)

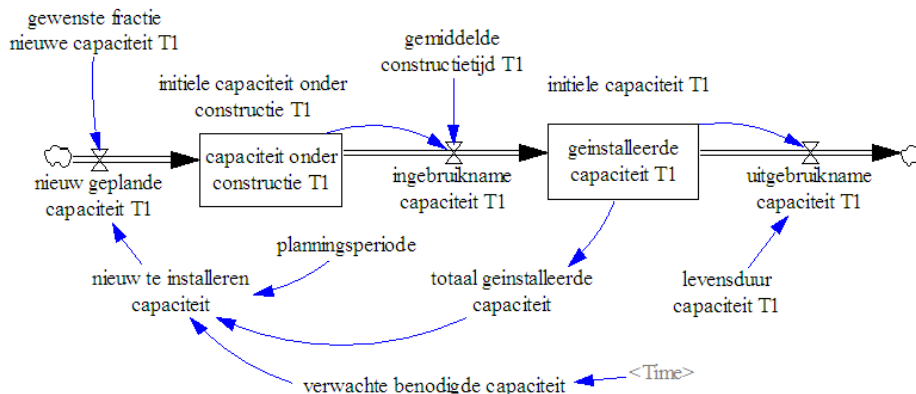
Hoewel er veel over de ‘energietransitie’ en haar dynamiek gesproken wordt, gebeurt dit vooral op conceptueel niveau en is er nood aan goede simulatiemodellen. Het ministerie van EZ geeft je daarom de opdracht om een reeks System Dynamics simulatiemodellen te maken omtrent de langetermijn dynamiek van de Nederlandse elektriciteitsopwekking, gaande van 2010 tot 2100. Omdat de elektriciteitscentrales 30 tot 40 jaar in gebruik zijn, is de dynamiek van de geïnstalleerde generatiecapaciteit van groot belang. Vandaar dat je best daar begint. . .

2.1 ‘Grijze’ ontwikkeling (/5)

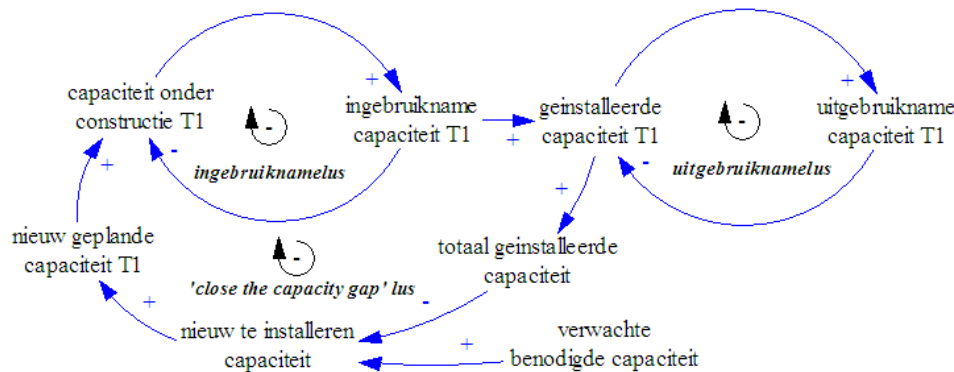
Stel, als eerste aanzet, dat er maar 1 ‘regime-technologie’ is, technologie T1, een vervuilende en niet-duurzame technologie. De *geïnstalleerde capaciteit van T1*, initieel gelijk aan 15000MW, kan toenemen door de *ingebruikname van capaciteit T1* en afnemen door de *uitgebruikname van capaciteit T1*. Voordat *nieuw geplande capaciteit T1* –initieel gelijk aan 700MW– in gebruik genomen kan worden, moet ze natuurlijk eerst geconstrueerd worden: de *capaciteit onder constructie T1* bedraagt initieel 700MW en de *gemiddelde constructietijd T1* 1 jaar. De immer positieve *nieuw geplande capaciteit T1* is gelijk aan de *gewenste fractie van nieuwe capaciteit T1* van de totaal *nieuw te installeren capaciteit*. Stel voor de eenvoud dat de *nieuw te installeren capaciteit* gelijk is aan het verschil tussen de *verwachte benodigde capaciteit* (van alle typen – hoewel er op dit moment maar één type verondersteld wordt) en *totaal geïnstalleerde capaciteit* (idem). Aangezien er in deze eerste subsectie slechts 1 technologie is, bedraagt de *gewenste fractie van nieuwe capaciteit T1* natuurlijk 100% en bestaat de *totaal geïnstalleerde capaciteit* enkel uit de *geïnstalleerde capaciteit* van technologie T1. Gebruik indien nodig een *planningsperiode* van een jaar waarover *nieuw te installeren capaciteit* gepland wordt. Stel dat de *verwachte benodigde capaciteit* toeneemt van 15700MW in het jaar 2010 tot 45000 in het jaar 2100.

Vragen:

- (/2) Maak hiervan een System Dynamics simulatiemodel. Sla het model op.



2. (/3) Maak hieronder een gedetailleerd *causal loop diagram* van dit model.



2.2 Leercurve (/5)

Hoewel langzamer, dalen zelfs stokoude technologieën waarin geïnvesteerd wordt nog verder hun leercurve af waardoor hun marginale investeringskosten verder afnemen. Zo ook technologie T1. Wiskundig kan een leercurve geschreven worden als:

$$C_t = C_{t-1} \frac{X_t}{X_{t-1}}^e$$

Hierin staat C_t voor de investeringskost per MW op tijdstip t , X_t voor de cumulatieve historische capaciteit (m.a.w. alle ooit gebouwde capaciteit van die technologie), en e voor de leercurve parameter.

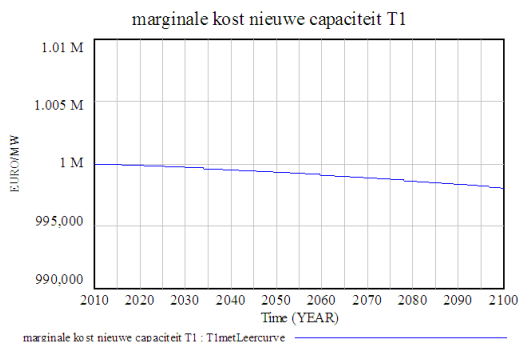
In je System Dynamics model kan de leercurve –op enigszins artificiële wijze– ingebouwd worden: creëer een stock variabele *marginale kost nieuwe capaciteit T1* met initiële waarde gelijk aan €1.000.000 per MW. Deze stock variabele heeft als uitstroom een variabele *marginale kost nieuwe capaciteit voorgaande jaar T1* gelijk aan de stock variabele zelf, en als instroom een variabele *marginale kost capaciteit T1* gelijk aan *marginale kost nieuwe capaciteit voorgaande jaar T1* * $\frac{\text{cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit T1}}{\text{cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit voorgaande jaar T1}}$.

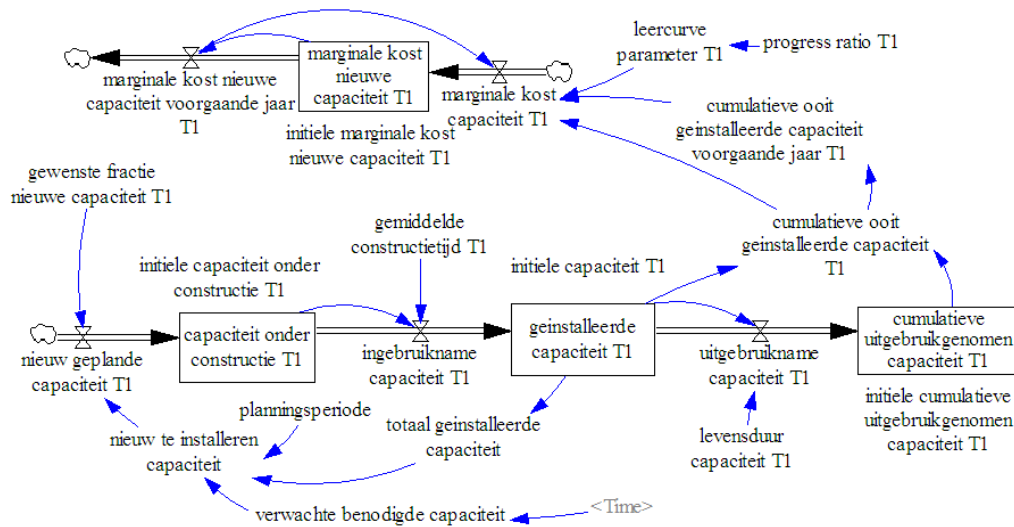
$$\frac{\text{cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit T1}}{\text{cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit voorgaande jaar T1}} \quad \text{--leercurve parameter T1}$$

De *leercurve parameter T1* is gelijk aan $-\log_2(\text{progress ratio T1})$. Stel dat de *progress ratio* van technologie T1 90% bedraagt. Dit betekent dat er een 10% kostendaling optreedt bij iedere verdubbeling van de *cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit*. Deze *cumulatieve ooit geïnstalleerde capaciteit T1* is gelijk aan de som van de *geïnstalleerde capaciteit van T1* en de *cumulatieve uitgebruikgenomen capaciteit T1* die initieel gelijk is aan 10.000.000 MW. Deze laatste stock wordt natuurlijk gevoed door de flow *uitgebruikname capaciteit T1* waardoor *geïnstalleerde capaciteit van T1* na een gemiddelde *levensduur capaciteit T1* van 30 jaar uit gebruik genomen wordt.

Vragen:

- (/4) Voeg de leercurve toe aan voorgaand simulatiemodel en sla het op gebruikmakende van familienaam, et cetera. Verifieer het model kort. **See Figure 1** on page 3.
- (/1) Simuleer het model en maak een grafiek van de *marginale kost nieuwe capaciteit T1*.





Figuur 1: Technologie T1 met leercurve

2.3 Ontwikkeling met een duurzaam alternatief (/15)

Voeg nu een alternatieve, duurzame technologie 'T2' aan het model toe. Hiervoor kan bijna dezelfde structuur als hierboven gebruikt worden. Het verschil zit voornamelijk in de initiële waarden: *initiële capaciteit T2* = 3MW; *initiële capaciteit onder constructie T2* = 1MW; *initiële cumulatieve uitgebruikgenomen capaciteit T2* = 10MW; *progress ratio T2* = 0.8; en *initiële marginale kost nieuwe capaciteit T2* = €8.000.000 per MW.

Niet te kopiëren, maar eventueel wel aan te passen, zijn de gemeenschappelijke en/of interface variabelen zoals de *totaal geïnstalleerde capaciteit*, de *nieuw te installeren capaciteit*, en de *verwachte benodigde capaciteit*.

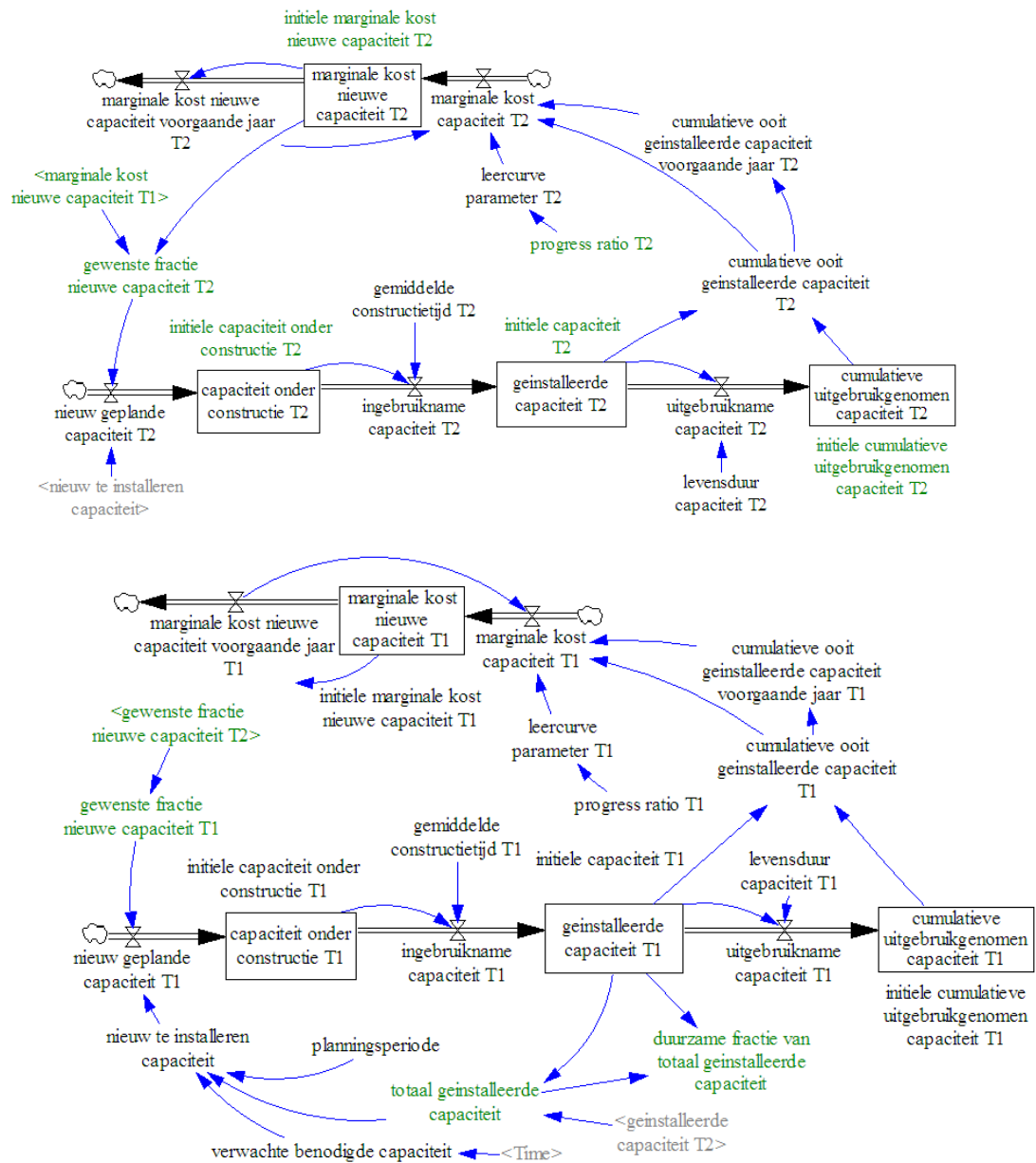
Stel verder dat de *gewenste fractie nieuwe capaciteit T1* nu gelijk wordt aan (100% - *gewenste fractie nieuwe capaciteit T2*). Deze fractie –zoals gelijksoortige fracties– kan natuurlijk enkel waarden aannemen tussen 0 en 1. En stel de *gewenste fractie nieuwe capaciteit T2* gelijk aan:

$$\frac{1/\text{marginale kost nieuwe capaciteit T2}}{1/\text{marginale kost nieuwe capaciteit T1} + 1/\text{marginale kost nieuwe capaciteit T2}}.$$

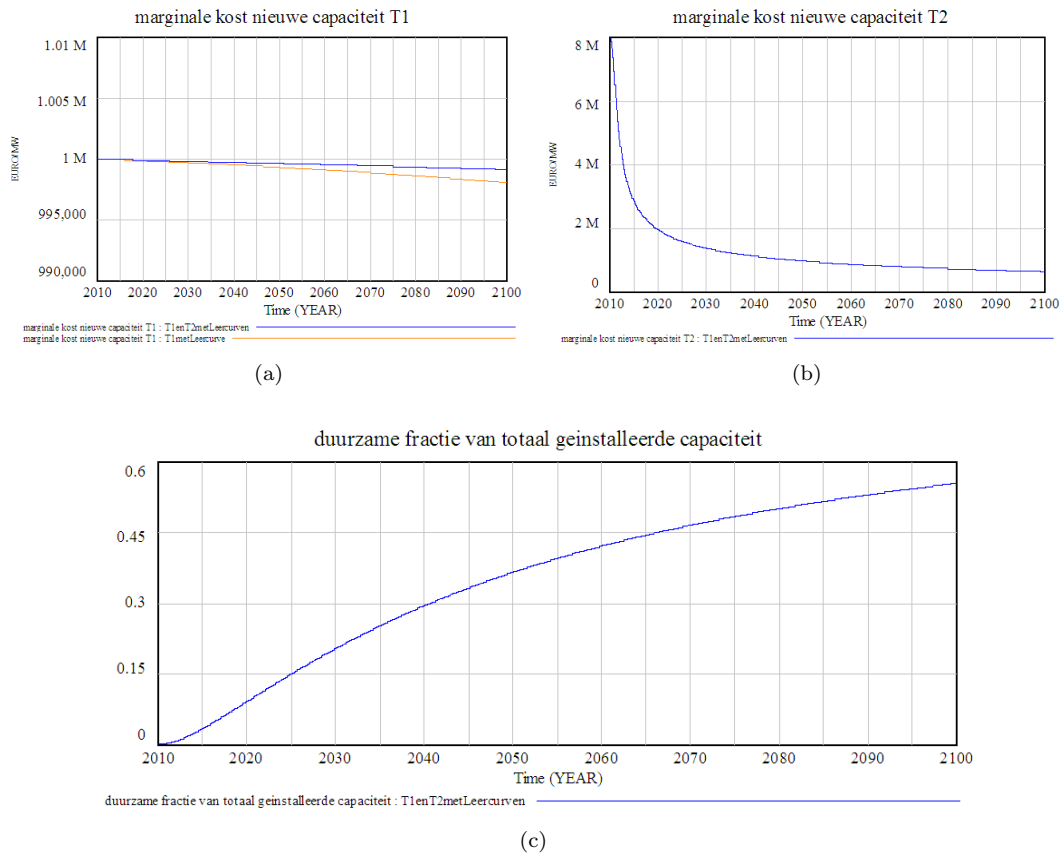
Voeg ten slotte ook een variabele *duurzame fractie van de totaal geïnstalleerde capaciteit* –een belangrijke output indicator– toe.

Vragen:

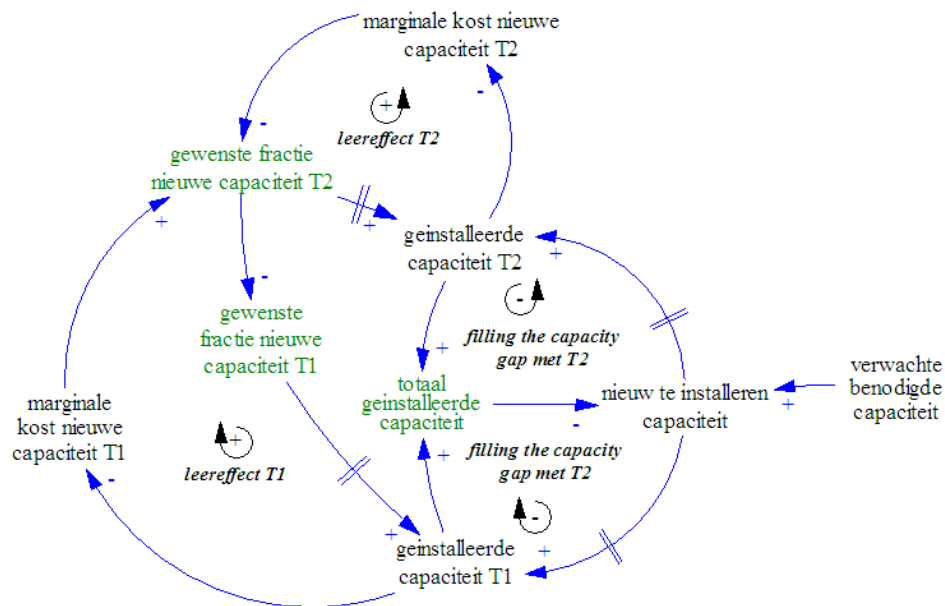
1. (/4) Breid het simulatiemodel uit en sla het op. **Aanpassingen of wijzigingen tov vorige versie zijn in het groen weergegeven:**



2. (/2) Simuleer het model. Maak (zowel op computer als op tentamenblad) een grafiek van de *marginale kosten van de nieuwe capaciteiten van T1 en T2* en een grafiek van de *duurzame fractie van totaal geïnstalleerde capaciteit*. Vanaf welk jaar is in dit geval de helft van de capaciteit duurzaam?



3. (/4) Maak een extreem geaggregeerd *causal loop diagram* van dit model waardoor de competitie tussen de technologieën eenvoudig uitgelegd kan worden. (*eenvoudiger mag ook*)



4. (/1) Leg uit hoe deze structuur dit gedrag oplevert.

Er is competitie tussen de twee technologieën om de gap met de gewenste capaciteit te dichten. T1 is initieel goedkoper maar verliest gaandeweg terrein omdat de marginale investeringskosten van T2 snel dalen.

5. (/3) Onderzoek de gevoeligheid van het model voor wijzigingen in de parameters van de leercurve. Wat kan hieruit geconcludeerd worden? Leg uit.

Erg gevoelig voor de parameters, maar binnen redelijke grenzen niet erg gedragspatroon/beleidsgevoelig.

6. (/2) Het is onrealistisch dat de vraag op dergelijke lineair manier blijft groeien. Stel dat de vraag naar generatiecapaciteit zich als volgt ontwikkelt: 15700MW in 2010, 22000MW in 2020, 19500MW in 2030, 25000MW in 2040, 27000MW in 2050, 34000MW in 2060, 30000MW in 2070, 40000MW in 2080, 46000MW in 2090, en 45000MW in 2100. Verandert dit veel voor de *duurzame fractie van de totaal geïnstalleerde capaciteit*? En voor de *nieuw geplande capaciteiten*? Leg uit aan de hand van grafieken.

Nee, verandert niet veel. Enkel numeriek sensitief.

2.4 Met meerdere duurzame alternatieven (/3) (BONUS)

Zelf mag je uitzoeken of het verschil uitmaakt of er 1 of meerdere duurzame technologieën zijn...

1. (/2) Stel dat er twee duurzame technologieën zijn, 'T2' en 'T3' in plaats van enkel 'T2'. Stel –om een redelijke vergelijking te maken met de dynamiek van het vorige model– dat beide duurzame technologieën identieke karakteristieken hebben en elk maar 1.5MW geïnstalleerde capaciteit en 0.5MW capaciteit onder constructie hebben. Modelleer en simuleer dit. Is er een groot verschil in termen van *duurzame fractie van totaal geïnstalleerde capaciteit*?

Nee, weinig verschil.

2. (/1) Stel nu dat er wel een verschil is tussen de twee technologieën: een van beide heeft een *progress ratio* van 0.75 en de andere van 0.85. Wat kun je nu concluderen over de *duurzame fractie van de totaal geïnstalleerde capaciteit*?

Hierdoor stijgt de duurzame fractie langzamer.