

Oplossing van de ‘Jacht op zeldzame aardmetalen’ casus (NL)

dr. Erik Pruyt

September 2012

1 Modelleervraag: Jacht op zeldzame aardmetalen (/25)

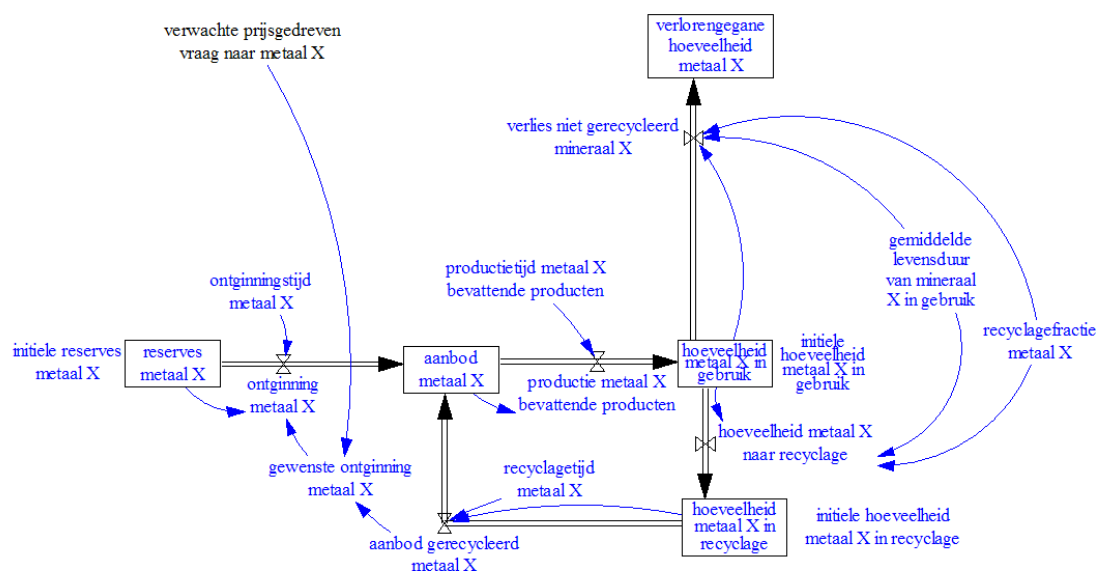
1.1 Ontginning, gebruik en recyclage (/6)

De nog niet ontgonnen *reserves van metaal X*, initieel gelijk aan 10000 ton, nemen af door *ontginning* met een jaarlijkse ontginningstijd van een jaar. Ontginning doet het *aanbod van metaal X*, initieel gelijk aan de *initiële vraag naar metaal X* van 400 ton per jaar, toenemen, en *productie van metaal-X-bevattende producten* doet het *aanbod van metaal X* na een gemiddelde *productietijd metaal X bevattende producten* van een jaar afnemen. Daardoor neemt dan weer de *hoeveelheid van metaal X in gebruik*, initieel gelijk aan 3000 ton, toe.

Na een *gemiddelde levensduur van metaal X in gebruik* van 10 jaar wordt een deel van deze *hoeveelheid metaal X in gebruik* gerecycled en gaat de rest zonder recyclage verloren. De verdeling is afhankelijk van de *recyclagefractie van metaal X*. Initieel is er geen metaal X in recyclage. De jaarlijkse *recyclagetijd van metaal X* bedraagt een jaar en levert een *aanbod gerecycleerd metaal X* op dat het *aanbod van metaal X* vergroot, en –samen met de *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X*– de *gewenste ontginning van metaal X* determineert. Die *gewenste ontginning* drijft de *ontginning*.

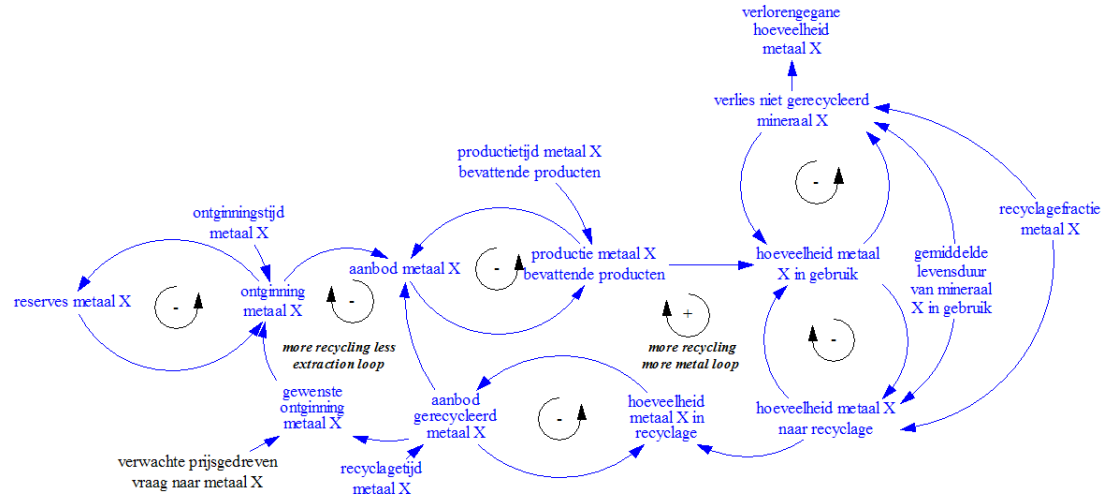
Indien nodig kun je natuurlijk gebruik maken van eerste-orde vertragingen.

- (/2) SD simulatiemodel: SF-Structuur?



- (/4) Gedetailleerd *causal loop diagram* van model. Aantal terugkoppelingslusen?

7, waarvan 5 1^e-orde vertragingen



1.2 Intrinsieke vraag, prijsgedreven vraag, recyclagevraag, etc. (/19)

Stel dat de *verwachte intrinsieke vraag naar metaal X*, initieel gelijk aan 400 ton (zie hierboven), jaarlijks toeneemt met een *verwachte procentuele toename van de intrinsieke vraag naar metaal X* van 3% per jaar.

De *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X* is een eerste-orde vertraging van een jaar –met initiële waarde de *verwachte initiële vraag naar metaal X*– van de volgende functie:

$$\frac{\text{verwachte intrinsieke vraag naar metaal } X/2}{\text{relatieve prijs metaal } X} + \frac{\text{verwachte intrinsieke vraag naar metaal } X}{2}.$$

Het *prijseffect aanbodtekort metaal X* is een graph/lookup functie met als argument de breuk *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X* / *productie metaal X bevattende producten*.

De *gewenste recyclage van metaal X* is gelijk aan deze *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X* vermenigvuldigd met de relatieve aantrekkelijkheid van recyclage t.o.v. ontginning, of,

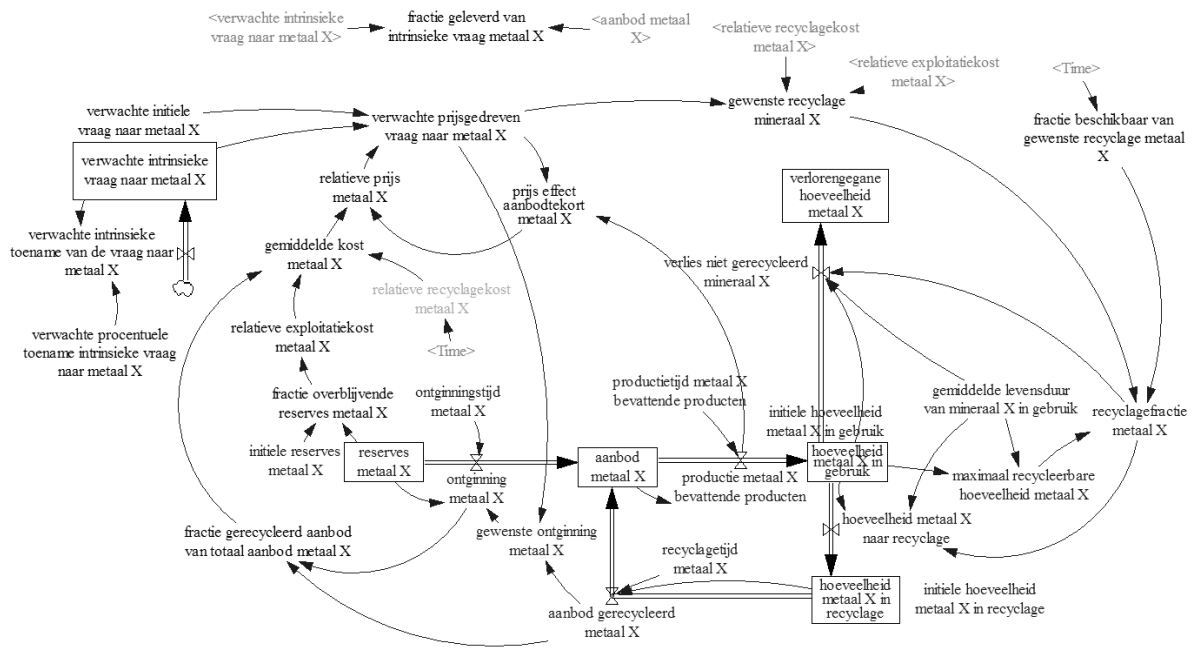
$$\frac{1/\text{relatieve recyclagekost metaal } X}{1/\text{relatieve exploitatiekost metaal } X + 1/\text{relatieve recyclagekost metaal } X}.$$

De *recyclagefractie van metaal X* is gelijk aan de *fractie beschikbaar van gewenste recyclage metaal X* * $\frac{\text{gewenste recyclage metaal } X}{\text{maximaal recycleerbare hoeveelheid metaal } X}$. Deze breuk in de laatste factor moet natuurlijk begrensd worden op een maximum van 1. De *maximaal recycleerbare hoeveelheid metaal X* is gelijk aan de *hoeveelheid metaal X in gebruik* die beschikbaar komt aan het einde van de *gemiddelde levensduur van metaal X in gebruik* van 10 jaar. Stel dat de *fractie beschikbaar van gewenste recyclage metaal X* als volgt toeneemt: 10% in 2000, 50% in 2010, 80% in 2020, 89% in 2030, 90% in 2040 waarop het stabiliseert. De effectieve *fractie gerecycleerd aanbod van totaal aanbod metaal X* is natuurlijk gelijk aan het *aanbod van gerecycleerd metaal X* gedeeld door de som van de *ontginning van metaal X* en het *aanbod van gerecycleerd metaal X*.

Stel dat de *relatieve recyclagekost van metaal X* daalt van 10 (dus 10 maal de normale ontginningskost) in 2000, naar 2 in 2010, naar 1 in 2020, naar 0.9 in 2030 waarop het stabiliseert, en dat de *relatieve exploitatiekost van metaal X* een functie is van de *fractie overblijvende reserves van metaal X* met waarden (0, 100), (0.05, 2.5), (0.1, 1.25), (0.15, 1.1), (0.2, 1), (0.25, 1) (m.a.w. bij een fractie van 5% is de relatieve kost 2.5 keer zo hoog dan bij een fractie van 20% of meer). Maak beide functies zo continu mogelijk door niet-lineair te extrapoleren (automatisch of handmatig). De *gemiddelde kost van metaal X* is dan het gewogen gemiddelde van de *relatieve recyclagekost van metaal X* en de *relatieve exploitatiekost van metaal X*, à rato de *fractie gerecycleerd aanbod van totaal aanbod van metaal X*. De *fractie overblijvende reserves van metaal X* is natuurlijk gelijk aan de *reserves van metaal X* over de *initiële reserves van metaal X*.

Stel nu dat de markt zo functioneert dat de *relatieve prijs van metaal X* gelijk is aan de *gemiddelde kost van metaal X* maal het ‘*prijseffect aanbodtekort van metaal X*’. Stel even dat dit *prijseffect aanbodtekort van metaal X* een functie is van de vraag over het aanbod, of hier, van de *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X* over de *productie van metaal X bevattende producten*, en dat met waarden (0, 0.1), (1, 1), (1.5, 2), (2, 10), (5, 100) (m.a.w. een vraag over aanbod verhouding van 5 leidt tot een 100 keer hogere prijs dan normaal).

Zorg er ook voor dat er niet meer ontgonnen kan worden dan er aan nog niet-ontgonnen voorraad is. En voeg een output indicator toe om de *fractie geleverde van de intrinsieke vraag metaal X* te monitoren. Deze is gelijk aan het *aanbod van metaal X* over de *verwachte intrinsieke vraag naar metaal X*.



1. (/11.5) Simulatiemodel. Verifieer. Simuleer. Grafieken van *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X*, de *relatieve prijs van metaal X*, de *reserves van metaal X*, en de output indicator *fractie geleverd van intrinsieke vraag metaal X*.

/1 – Settings: time step, integration method, time horizon

/1 – Verificatie: Units

/1 – Specifieke functie: *verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X* = DELAYII(*verwachte intrinsieke vraag naar metaal X*/2/*relatieve prijs metaal X*+*verwachte intrinsieke vraag naar metaal X*/2, 1, *verwachte initiele vraag naar metaal X*)

/1 – Specifieke functie: *prijs effect aanbodtekort metaal X* = WITH LOOKUP(*verwachte prijsgedreven vraag naar metaal X*/*productie metaal X* bevattende producten, ((0,0.1), (1,1), (1.5,2), (2,10), (5,100)))

/1 – Specifieke functie: *relatieve exploitatiekost metaal X* = WITH LOOKUP(*fractie overblijvende reserves metaal X*, ((0,100), (0.05,2.5), (0.1,1.25), (0.15,1.1), (0.2,1), (0.25,1), (1,1)))

/1 – Specifieke functie: *relatieve recyclagekost metaal X* = WITH LOOKUP(*Time*, ((2000,10), (2010,2), (2020,1), (2030,0.9), (2100,0.9)))

/1 – Specifieke functie: *fractie beschikbaar van gewenste recyclage metaal X* = WITH LOOKUP(*Time*, ((2000,0.1), (2010,0.5), (2020,0.8), (2030,0.89), (2040,0.9), (2050,0.9)))

/1 – Specifieke functie: *ontginning metaal X* = MIN(*reserves metaal X*/*ontginningstijd metaal X*, *gewenste ontginning metaal X*)

/1 – Specifieke functie: *recyclagefractie metaal X* = MIN(*gewenste recyclage mineraal X*/*maximaal recycleerbare hoeveelheid metaal X*, 1)**fractie beschikbaar van gewenste recyclage metaal X*

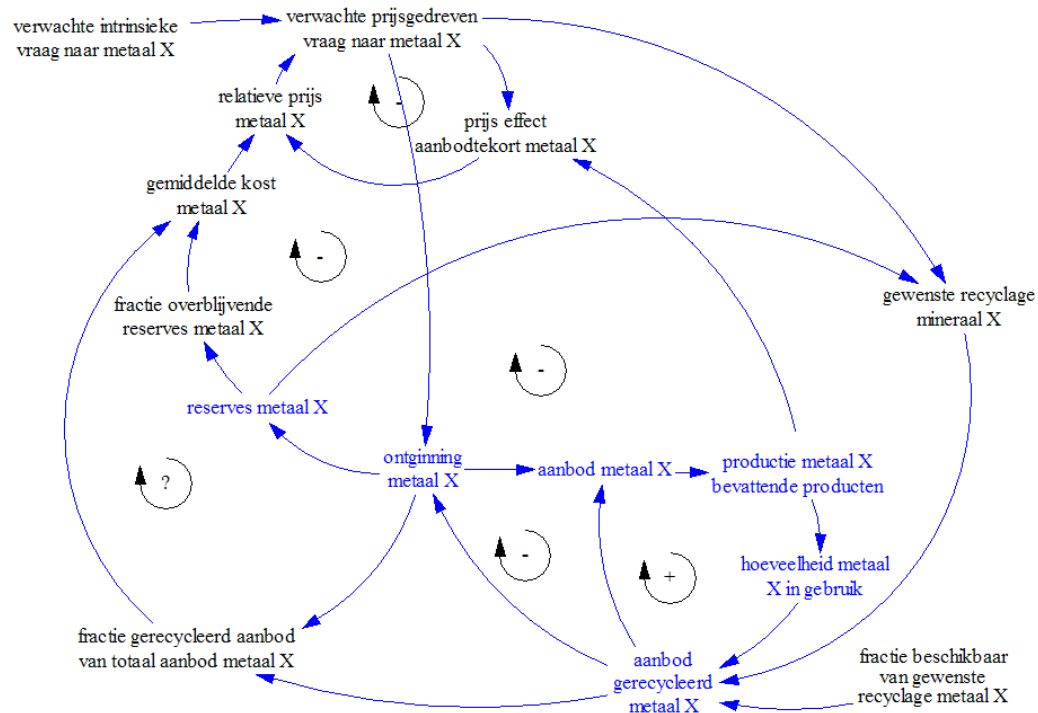
/1 – Specifieke functie: *hoeveelheid metaal X naar recyclage* = *recyclagefractie metaal X***hoeveelheid metaal X in gebruik*/*gemiddelde levensduur van mineraal X in gebruik*

/1 – Stock-Flow structuur: *verwachte intrinsieke vraag naar metaal X*

/1.5 4 grafieken

/2 BONUS ALS HET WERKT ZOALS HET HOORT TE WERKEN

2. (/2) Valideer. Noem 2 validatietesten, voer ze uit en beschrijf de resultaten (kort).
3. (/1.5) Test de sensitiviteit van het model (meer specifiek de *fractie geleverd van intrinsieke vraag metaal X* en de *reserves van metaal X*) voor (kleine) wijzigingen in volgende functies en parameters: het *prijseffect aanbodtekort metaal X*, de *initiële reserves van metaal X*, en de *fractie beschikbaar van gewenste recyclage metaal X*. Beschrijf kort de testen die je uitgevoerd hebt, en je resultaten en conclusies.
4. (/2) Maak een ***extreem geaggregeerd*** CLD om grote terugkoppelingseffecten te verklaren.



5. (/1) Leg de link tussen systeem en gedrag uit (meer specifiek van de output indicator).
6. (-1.5) BONUS OP DE LAATSTE 4 VRAGEN: DAARDOOR OP 1.5 LAGERE NOEMER.

1.3 Strategische en speculatieve reserves (/4 BONUS)

1. (/2) Submodel strategische reserves (voor nationaal gebruik, dus onttrekking aan de wereldmarkt). Simuleer. Schets verschil in gedrag.
2. (/2) Submodel speculatieve reserves (tijdelijke onttrekking aan de markt om aan een hogere prijs te verkopen). Simuleer. Schets verschil in gedrag.