A. KAPTEYN EN A. J. OSKAM *

Beslissingscriteria voor overheidsinvesteringen

Inleiding

In de literatuur over de kosten-baten methode zijn vele criteria[1] in omloop om alternatieve overheidsprojecten, vanuit nationaal-economisch gezichtspunt, tegen elkaar af te wegen. Hoewel in de praktijk diverse criteria naast elkaar blijven bestaan[2], komen we in de literatuur vaak beschouwingen tegen waarin gepleit wordt voor het hanteren van slechts één criterium.[3] Het is echter wonderlijk, dat het zaligmakend criterium voor de diverse auteurs verschillend is.

Onderstaand artikel zal inhouden dat de keuze van het criterium moet afhangen van de speciale omstandigheden waarbij de beslissing over overheidsinvesteringen tot stand komt. Veelal zijn de omstandigheden zodanig, dat het niet mogelijk is met behulp van een criterium de diverse alternatieven voor overheidsinvesteringen tegen elkaar af te wegen. In die gevallen kan een iteratieve of programmeringsprocedure worden toegepast.

De gang van het betoog is als volgt: Eerst wordt een voorbeeld gegeven, waarin de meeste aspecten van het probleem tot uiting komen. Vervolgens wordt de algemene probleemstelling geformuleerd voor de kosten-baten analyses, waarna de (triviale) algemene oplossing wordt gegeven. Na de behandeling van enkele bijzondere oplossingen wordt nog aandacht geschonken aan een iteratieve benadering en een programmeringsoplossing. Een korte evaluatie zorgt voor de afronding.

Een voorbeeld

Onderstaand voorbeeld geeft door een groot aantal vereenvoudigingen de mogelijkheid om stap voor stap te volgen hoe een optimale keuze t.a.v. investeringen tot stand komt. Tevens wordt, ook aan de hand van dit voorbeeld, een oordeel gegeven over enkele investeringscriteria. Hieronder valt ook het criterium van de hoogste interne rentevoet (IRV) dat door Van den Noort[4] wordt aangeprezen en wiens uitnodiging tot discussie[4] de oorzaak is van dit artikel.

Een voorbeeld vereist veronderstellingen die hier bovendien nogal gekun-

---

* De schrijvers zijn als wetenschappelijk medewerker verbonden aan de LH te Wageningen.

1. Onder criterium wordt verstaan: een functie van de baten en de kosten, die dient ter beoordeling van een project.

2. Kuiper (1971), blz. 209, 210.

3. Eckstein (1965); deze schrijver nuanceert echter zijn standpunt voor B/C. Van den Noort (1968), blz. 36-41; Van den Noort (1971), blz. 186.

4. Van den Noort (1971), t.a.p.

steld lijken. Voor een beter begrip bij de lezer werd echter de voorkeur gegeven aan eenvoud boven realiteit.

De volstrekt fictieve probleemstelling is als volgt. Moet de overheid overgaan tot de bouw van elektriciteitscentrales, zo ja, hoeveel en van welk type, t.w. oliecentrale (I) of kerncentrale (II). Na een eerste verkenning blijkt slechts plaats te zijn voor centrales in drie provincies en bovendien maximaal één centrale per provincie. Aldus zijn er voor elke provincie drie mogelijkheden: een oliecentrale, een kerncentrale of geen centrale. De gegevens voor de eerste twee mogelijkheden zijn in onderstaande tabel te vinden.

	A		*B*		*C*	
	I	II	I	II	I	II
Investering [5]	200	350	200	350	200	350
Jaarlijkse baten	50	50	50	50	45	45
Brandstof (eenheden)	100	10	100	10	100	10
Arbeid	4	4	4	4	4	4
1. Jaarlijkse kosten (zonder rente en afschrijving)	28	14	28	14	28	14
2. waarvan: brandstof	24	10	24	10	24	10
3. IRV	10,9%	10,2%	10,9%	10,2%	8,4%	8,8%
4. B–C	63	74	63	74	3	15
5. B/C	1,12	1,14	1,12	1,14	1,01	1,04

1 t/m 5 zijn berekend volgens methode C.

Er gelden daarbij de volgende veronderstellingen:

a. Een centrale in de ene provincie beïnvloedt niet de baten van een centrale in een andere provincie.

b. Brandstof van beide soorten moet geïmporteerd worden, waarbij de volgende prijsvergelijkingen gelden:

I $$p = 0{,}22 + 2.10^{-4}\,x \qquad \text{(olie)}$$

p is de prijs per eenheid, x in het aantal eenheden

II $$p^1 = 1{,}1 - 0{,}01.\,x \qquad \text{(kernenergie)}$$

c. Arbeid is voor beide typen centrales volledig substitueerbaar.

d. Als er geïnvesteerd wordt in centrales, dan gaat dit ten koste van investeringen in de woningbouw. Beide soorten investeringen hebben dezelfde levensduur. De voor investeringen noodzakelijke produktiefactoren zijn substitueerbaar. Het aan de woningbouw onttrokken kapitaal heeft een rendement:

$$r = 8 + 2.10^{-3} I_0$$

r is het rendement in procenten, I_0 is het aantal eenheden kapitaal dat wordt onttrokken aan de woningbouw.

5. Levensduur van alle projecten: 50 jaar.

Hoe komen we nu tot de beslissing, waarbij een maximaal nationaal inkomen tot stand komt? We behandelen een drietal mogelijkheden.

A. Van alle selecties wordt de bijdrage aan het nationaal inkomen vergeleken met een zgn. nulniveau. Als nulniveau wordt gekozen: niet investeren in de produktie van elektriciteit doch wel in de woningbouw. Laten we nu voor een tweetal selecties deze berekening uitvoeren:

(a) A I, B I, C II
(b) A II, B II.

De relatieve bijdrage (t.o.v. het nulniveau) aan het nationaal inkomen van een selectie = totale baten - totale (jaarlijkse) kosten - ontgane baten van investeringen in de woningbouw.[6] We vinden in ons voorbeeld:

selectie (a) bijdrage = 1632 — 833 — 750 = 50
(b) bijdrage = 1132 — 294 — 700 = 138.

Voor ons voorbeeld zijn 27 selecties mogelijk, waarbij slechts 18 verschillend zijn, omdat de centrales voor A en B qua baten en kosten identiek zijn. In de praktijk, met veel meer projecten en bijbehorende alternatieven, is deze methode niet uitvoerbaar. Hierop wordt nog teruggekomen.

B. Stel nu dat we in dit voorbeeld met het criterium van de hoogste interne rentevoet (IRV) de keuze willen maken. Nu kennen we echter de brandstofprijzen niet omdat we niet weten hoeveel en welk soort centrales gebouwd worden. Is dit laatste wel bekend, dan is ook de optimale oplossing bekend. Kortom de IRV-methode geeft alleen meer werk en is in de praktijk zeker niet toepasbaar. Dit geldt ook voor een criterium als B/C.

C. Bovenstaande moeilijkheden kan men omzeilen door, bij de bepaling van de waarden van de investeringscriteria per centrale, uit te gaan van redelijke prijsveronderstellingen. In de tabel heeft deze berekening ook plaatsgevonden, door gebruik te maken van de veronderstellingen a t/m d. Daarbij ging elke provincie ervan uit dat in geen van de andere provincies een centrale werd gebouwd. Zoals te verwachten leidt deze werkwijze niet tot de optimale selectie (dit is selectie (b): A II en B II).

Bovenstaande werkwijzen kunnen als volgt samengevat worden. A is te bewerkelijk, B is zinloos en C leidt niet noodzakelijk tot de optimale oplossing.

Voor beslissingsproblemen die te vergelijken zijn met het bovenstaande voorbeeld, helpen de gebruikelijke criteria (IRV, B/C) ons weinig verder. In een aantal situaties kunnen ze ons echter wel van dienst zijn. Dit geldt met name voor de IRV. Hierop en op andere berekeningsmethoden zullen we nu nader ingaan.

---

6. De laatste twee bedragen vormen tezamen de 'opportunity costs' t.o.v. niet uitvoeren.

Probleemstelling

Stel voor een aantal projecten, met voor ieder project afzonderlijk weer alternatieven[7], zijn de baten berekend bij gegeven inzet van produktiefactoren. In functievorm:

$$(1)\quad B_i = f_i\,(a_1, \ldots, a_n) \qquad\qquad i = 1, \ldots k$$

waarbij B_i : Baten[8] van het i^e project

a_j : inzet van het j_e produktiemiddel.

Teneinde voor elk project de baten tegen de kosten af te wegen, moet aan alle produkten en produktiefactoren een bepaalde prijs worden toegerekend. Het is juist deze prijs, die de moeilijkheden veroorzaakt in het vinden van een criterium in de kosten-baten methode.

Enerzijds zijn de (toegerekende) prijzen afhankelijk van de projecten die uitgevoerd worden, anderzijds is de rangorde volgens het criterium voor uitvoering afhankelijk van de (toegerekende) prijzen. Een cirkelgang waarvoor geen oplossing bestaat.

Wellicht ten overvloede wordt nog het doel gesteld dat de overheid wenst te bereiken: een zo hoog mogelijk nationaal inkomen tegen factorkosten.

Optimale oplossing

Alvorens over te gaan tot de mogelijke praktische benadering van het bovengestelde probleem, geven we eerst de theoretisch optimale oplossing. Deze oplossing vinden we als we alles weten en alles kunnen.

Stel nl. dat de aanbodsfuncties van de produktiemiddelen en de vraagfuncties van de produkten bekend zijn, dan is theoretisch een optimale[9] oplossing te bereiken door voor elke selectie van projecten de totale baten en kosten te berekenen. De selectie met de hoogste B - C is optimaal, zijnde *per definitie* het project met de grootste bijdrage aan het nationaal inkomen. Deze werkwijze is weinig aantrekkelijk. Afgezien van de praktische moeilijkheden om alle veronderstelde functies te specificeren, zou bij i projecten, elk met j alternatieven, het totale aantal selecties gelijk aan j^i zijn.

Bij bijv. 20 projecten, elk met één reëel alternatief, leidt dit tot 3^{20} of wel

7. Van nu af aan is met alternatieven bedoeld: elkaar uitsluitende alternatieven, waarbij ook het niet uitvoeren als mogelijkheid is opgenomen. Aldus levert de functie in (1) evenveel functiewaarden als alternatieven.

8. Baten worden, evenals kosten, in hun totaliteit beschouwd door de 'jaarlijkse' bedragen naar een bepaald tijdstip (nulpunt) toe te rekenen. De omrekeningsfactor wordt meestal geacht slechts een functie te zijn van het verschil in tijd tussen het nulpunt en het tijdstip waarop de baten of kosten gerealiseerd worden. Dit laatste is niet van belang voor het betoog.

9. Optimaal betekent: bij een gegeven aantal projecten wordt die selectie genomen waarbij het nationaal inkomen maximaal is. Bij een suboptimale oplossing *behoeft* het nationaal inkomen niet maximaal te zijn.

meer dan 3 miljard selecties. Daarbij komt nog dat de vraag- en aanbodsfuncties meestal onbekend zijn, dan wel erg onzeker zijn.

Gezien deze praktische moeilijkheden is het noodzakelijk zich te behelpen met minder ambitieuze methoden. Welke procedure de optimale oplossing het meest benadert en bovendien het handigst is, hangt af van de omstandigheden. We zullen hierop nu nader ingaan.

Elkaar uitsluitende projecten

Wordt in bovengenoemde probleemstelling $k = 1$ genomen, dan gaat het alleen nog om alternatieven voor één project. Hierdoor is de prijstoerekening zeer vereenvoudigd. Elk produktiemiddel wordt tegen zijn 'opportunity costs' gewaardeerd. Noemen we de 'opportunity costs' van de produktiefactoren voor het j^e alternatief nu: $p_{1j}, \ldots p_{nj}$, dan zijn de kosten van het j^e alternatief:

$C_j = a_{1j}\, p_{1j} + \ldots + a_{nj}\, p_{nj}$.[10]

Welk alternatief levert nu de grootste bijdrage aan het nationaal inkomen? Dat is het project met de grootste B - C.

In het algemeen is echter de uitvoering van vele, elkaar niet uitsluitende, projecten mogelijk. Een criterium als B - C is dan niet meer optimaal. Immers de 'opportunity costs' zijn dan niet meer op eenduidige wijze te bepalen, omdat de produktiemiddelen in meerdere projecten aanwendbaar zijn.

De algemene probleemstelling onder restricties

We beginnen met het zeer bijzondere geval van volledig elastische vraag- en aanbodcurves voor alle produkten en produktiefactoren, met uitzondering van één produktiefactor (a_k). Daarbij nemen we een normaal verloop aan tussen prijs en aanbod van die factor.

Ook in dit geval is de prijscalculatie sterk vereenvoudigd; slechts de prijs (p_k) van a_k is nog onbekend. We definiëren nu voor het i^e project

$C_i^1 = C_i - a_{ki}\, p_k$.

Aldus is voor elk project $B_j - C_j^1$ bekend.

Welke projecten komen nu in aanmerking voor uitvoering, ofwel wat is het criterium?

Omdat slechts a_k schaars[11] is, wordt de afweging van de alternatieven gebaseerd op het netto (gecorrigeerde) baten $B - C^1$ die per eenheid a_k tot stand komen. Dit is tevens de gemiddelde prijs p_k die het project nog voor dit produktiemiddel kan opbrengen om $B - C \geqslant 0$ te laten zijn.

We geven een tweetal voorbeelden:

1. Stel dat we alleen de factor besparingen en dus de factor kapitaal als schaars beschouwen. Dan is het criterium (kapitaal input $= a_1$):

---

10. Merk op dat de prijzen ook per project geïndiceerd zijn, zodat nog steeds de vraagrelaties van de produktiemiddelen bekend moeten zijn.

11. Schaarste betekent hier: beperkt voorradig zijn, waarbij beperkingen slechts tegen een steeds hogere prijs overschreden kunnen worden.

$$\frac{B - C^1}{a_1}.$$

Dit is gelijk aan het criterium van de hoogste interne rentevoet.[12]

2. Beschouwen we alleen het overheidsbudget als de beperkende factor en wordt in het project zowel door overheid (a_{10}) als particulieren (a_{1_p}) geïnvesteerd, dan is het keuzecriterium

$$\frac{B - C^1}{a_{10}} \quad \text{waarbij } a_{10} + a_{1_p} = a_1.$$

Zo bestaan er nog vele oplossingen. Denkbaar is bijv. het schaars zijn van arbeid of van bepaalde soorten arbeid.

Het zal niet vaak voorkomen dat een groot aantal restricties op de vraag- en aanbodfuncties geoorloofd is. We schakelen nu over op iets minder stringente veronderstellingen.

Stel, dat de projecten zijn te klassificeren in een aantal sectoren, waarbij voor elke sector dezelfde veronderstellingen gelden. Laat per sector de schaarse produktiefactor verschillen.[13]

Het is nu mogelijk om per sector voor elk project het beste alternatief te kiezen en voorts een rangorde van projecten op te stellen m.b.v. $\frac{B - C^1}{a_k}$ waarbij a_k het betreffende schaarse produktiemiddel is. Het nationaal inkomen wordt nu maximaal wanneer per sector nog die projecten uitgevoerd worden waarbij, marginaal gezien $\frac{B - C^1}{a_k} \geqslant p_k$.

Iteratieve en programmeringsmethoden

We laten nu alle veronderstellingen t.a.v. vraag- en aanbodsfuncties vallen. Slechts het verloop van deze functies wordt bekend verondersteld. Het keuzeproces verloopt nu als volgt.[14]

Begin met intuïtief gekozen startwaarden voor de prijzen van alle produkten en produktiefactoren en bepaal op grond van deze prijzen het beste alternatief voor elk project. Het nationaal inkomen wordt nu maximaal als alle projecten uitgevoerd worden waarvoor bijv. de baten groter zijn dan de kosten. Nu moet echter nog bepaald worden of de vooraf gekozen prijzen overeenkomen met de prijzen, die op grond van de uit te voeren projecten uit de vraag- en aanbodsfuncties af te leiden zijn. In het algemeen zullen de 'werkelijke' prijzen niet gelijk zijn aan de startwaarden; dit maakt andere startwaarden en een nieuwe berekeningsronde noodzakelijk. Daarbij is het de be-

---

12. De gelijkheid geldt als de jaarlijkse bedragen voor baten, afschrijvingen alsmede overige kosten constant zijn.

13. Om de veronderstellingen consistent te houden betekent dit dat in de andere sectoren het betreffende produktiemiddel niet gebruikt wordt of dat er sprake is van duidelijke (geografische) deelmarkten voor de schaarse produktiefactoren.

14. Kuiper (1971), blz. 237.

doeling een zo snel mogelijke convergentie tussen start- en eindwaarden van de prijzen te verkrijgen.

Men kan ook de vraag- en aanbodsfuncties onderverdelen in gebieden waarin de prijsbenadering gelijk blijft. De functies worden dan benaderd met een trapfunctie. Door nu produkten en produktiemiddelen behalve naar hun aard, ook naar de gebruikte hoeveelheid te onderscheiden, kunnen we het optimeringsprobleem in een lineaire programmeringsvorm gieten. Hoe beter de vraag- en aanbodsfuncties benaderd worden, d.w.z. hoe meer 'trappen' de benaderende functies hebben, hoe omvangrijker het lineaire programmeringstableau wordt.

Een bijkomstige moeilijkheid is, dat projecten wel of niet uitgevoerd moeten worden en niet bijv. voor de helft. Tevens komen in de praktijk een groot aantal elkaar uitsluitende projecten ('mutual exclusivity') in het spel voor. Door elk project, of, bij 'mutual exclusivity', elke groep van elkaar uitsluitende projecten tot omvang 1 te beperken, blijft slechts de moeilijkheid van decimaal uitgevoerde projecten. De praktijk leert nu dat, bij een relatief gering aantal restricties, slechts enkele decimaal uitgevoerde projecten in de optimale oplossing voorkomen.[15] Met enig rekenwerk, of eventueel een kleine, geheeltallige, lineaire programmering, kan dan wel bepaald worden welke van deze projecten voor uitvoering in aanmerking komen.

In het geval van lineaire vraag- en aanbodsfuncties kan men wellicht beter gebruik maken van de techniek van het kwadratisch programmeren. Als bijv. een vraagrelatie bestaat naar produkt x: $p_x = a + bx$, waarin p_x de prijs is en a en b constanten zijn, dan luidt de opbrengstfunctie van dit produkt: $0_x = ax + bx^2$. De kosten bestanddelen krijgen een soortgelijke functievorm.

Het doel is een maximaal verschil tussen opbrengsten en kosten, waardoor de doelfunctie uit kwadratische termen bestaat. De beperkingen (niet-negativiteit, 'mutual exclusivity', fysieke beperkingen, etc.) zijn lineair. Aldus ontstaat een kwadratisch programmeringsprobleem, dat aanzienlijk minder omvangrijk is dan het lineaire probleem met de zgn. trapfuncties.

Evaluatie

Bij de kosten-baten methode gaat het er de overheid om een zodanige allocatie van de produktiefactoren te bewerkstelligen, dat gegeven een groter aantal projecten dan middelen waarover de overheid wenst te beschikken, het nationaal inkomen maximaal wordt.

Ons voorbeeld heeft laten zien, dat eenvoudige criteria per project het *bereiken* van een maximaal nationaal inkomen niet garanderen. Tenzij bijzondere omstandigheden optreden, mag men bepaalde afhankelijkheden niet verwaarlozen. Dit is overbekend uit de wiskunde. Eenvoudige programma's van de vorm: 'eerst bekijken we de onderdelen en dan het totaal', zijn weliswaar aansprekend, doch leiden niet altijd tot de beste resultaten. Het vinden van de beste oplossing kan een bijzonder zware en zelfs onmogelijke opgave

15. Prof. F. P. Jansen heeft ons hierop opmerkzaam gemaakt.

blijken te zijn. Enkele (benaderende) procedures zijn in de voorgaande paragraaf vermeld.

In het algemeen hangt de werkwijze en het eventueel daarbij passend criterium volledig af van de situatie waarin de beslissing tot stand komt. Theoretici kunnen enerzijds de praktijk toetsen op consistentie, anderzijds kunnen zij voor een aantal specifieke omstandigheden een optimale werkwijze bepalen.

Voorts kan men theoretisch vrij eenvoudig aantonen dat, ter verkrijging van een maximaal nationaal inkomen, voor het marginale, nog juist opgenomen, project geldt:

$B - C \geqslant 0$, $B/C \geqslant 1$ en IRV $\geqslant$ marktrente. Zou men nog een project opnemen, dan vermindert daardoor het nationaal inkomen en geldt voor dit project $B - C < 0$, $B/C < 1$ en IRV $<$ marktrente.

De gebruikelijke criteria bevestigen aldus 'ex post' wel de juistheid van onze keuze, doch in de meeste gevallen kunnen ze, praktisch gesproken, niet de optimale oplossing leveren. Hier past wellicht de vergelijking met een gebergte, volledig in mist gehuld. Een bergbeklimmer, die nu de hoogste top wenst te bereiken, kan systematisch alle toppen afwerken met een zeer betrouwbare hoogtemeter en van elk de hoogte noteren. Wil hij moeilijk doen (te vergelijken met IRV, B/C etc.) dan noteert hij de hoogte van elke top als verschil met de vorige. Na enig gereken weet hij ook de hoogste top. De moderne techniek geeft hem echter de gelegenheid met behulp van een vliegtuig + infraroodstraler (te vergelijken met programmeren) in één keer overvliegen de hoogste top met redelijke nauwkeurigheid aan te wijzen.

In onze beschouwing zijn een aantal aspecten van de kosten-baten analyse niet aan de orde geweest. We noemen hiervan:

1. Onzekerheden in de berekening van baten en kosten.

2. Nevenvoorwaarden die niet tot uitdrukking komen in het nationaal inkomen (bijv. regionale inkomensverdeling, werkgelegenheid, sociale factoren etc.).

De moeilijkheid hierbij is het onder één noemer brengen van de nevenvoorwaarden en de doelstelling van een zo hoog mogelijk nationaal inkomen.[16]

3. Afbakening van de effecten van een project die nog aan het project worden toegerekend.

Dergelijke aspecten spelen vaak een even zo belangrijke rol bij de bepaling van prioriteiten voor overheidsprojecten, als een maximaal nationaal inkomen.

16. Een interessante oplossing voor dit probleem, althans voor variabelen waarop een econoom nog vat heeft, kan men vinden in Mc.Gaughey en Thorbecke (1972), blz. 33 e.v.

LITERATUUR

Eckstein, O. (1965), *Water resource development,* Cambridge, Harvard University Press.

Kuiper, E. (1971), *Water resources project economics,* London, Butterworths.

Mc.Gaughey, S. E. en E. Thorbecke (1972), 'Project selection and macro economic objectives': A methodology applied to Perivan irrigation projects, *American Journal of Agricultural Economics*, blz. 32-40.

Noort, P. C. van den (1968), 'Investment criteria for public projects, *Netherlands Journal of Agricultural Science* (16), blz. 36-41.

Noort, P. C. van den (1971), 'Een discussie over het investeringscriterium bij overheidsprojecten', *Openbare Uitgaven* (3), blz. 186.