Wasserwirtschaftliche Planungsmethoden

12. Kostenzuordnung (Allokationsfragen)

Em.o.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. H.P. Nachtnebel
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

Kosten und Nutzenzuordnung

Kosten- und Nutzenzuordnung

hat auf vorgegebenen Ziele zu erfolgen

- bei Beanspruchung verschiedener Budgets
- wenn gewisse Mindestanforderungen (Restriktion) an die einzelnen Zielsetzungen bestehen

Spezifische Kosten

- jene Kosten des Mehrzweckprojektes, die direkt den einzelnen Zielen zugeordnet werden können

Separable Kosten

- jene Kosten, die insgesamt einem Ziel zuzuordnen sind

Speicherplanung

Es bestehen folgende Probleme in einem Einzugsgebiet:

- kritische Werte für die Gewässergüte in Niederwasserperioden
- zunehmende Gefährdung von Industrie- und Wohngebieten durch Hochwasserereignisse
- Mangel an Naherholungsmöglichkeiten
- Verbesserungsmaßnahmen für die Gewässergüte
- effiziente Hochwasserschutzmaßnahmen
- Schaffung von wasserorientierten Erholungsmöglichkeiten

Speicherplanung

Nach Vorgabe

- des Planungszeitraumes,
- des Zinssatzes,
- der Bewertungskriterien und
- der anzuwendenden Methode

erfolgt Beschreibung der Projektalternativen in

- mengenmäßigen Ansätzen
  - Hochwassersicherheit, Gewässergüteindex, verfügbare Erholungsfläche ...
- wertmäßigen Ansätzen
  - monetäre Quantifizierung der mengenmäßigen Ansätze

Speicherplanung

Nutzenermittlung → **verschiedene Nutzenanteile aus**

- **Niederwasseraufhöhung**
  - Verbesserung der Gewässergüte (Alternativkostenmethode)
  - Verbesserung der Energienutzung (Produktionssteigerung)
  - Verbesserung der industriellen Produktion (Einsparungen bei der Aufbereitung)
  - Vorteile für Sportfischerei (höhere Preise)
- **Hochwasserschutz**
  - Schadensverhinderung bzw. Reduktion (Landwirtschaft, Siedlungen, …)
  - Verhinderung von Unfall- und Folgekosten
  - Ertragssicherung
- **Freizeit und Erholung**
  - direkte und indirekte Einnahmen aus Naherholungsverkehr, Ausflugsverkehr und Fremdenverkehr

Kosten- Nutzenaufteilung

Kostenaufteilung

Teilziele

A Erholung und Freizeit

B Hochwasserschutz

C Niederwasseraufhöhung, oder Energieerzeugung

Die Zahlenkolonnen geben die Annuitäten (Mio. €) an

Kostenaufteilung

- die **separablen Kosten** für A sind die Kosten des Gesamtprojektes – Kosten (B,C)

- sind also jene Kosten, welche eingespart werden können, wenn der Zweck A, B oder C wegfallen würde

- die **spezifischen Kosten** sind jene Kosten, die eindeutig einem bestimmten Zweck zuzuordnen sind

- die **gerechtfertigten Kosten** sind die wirtschaftlich maximal vertretbaren Kosten (können nicht größer als Nutzen sein)

Spezifische Kosten- Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen				
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Spezifische Kosten				
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Spezifische Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen				
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Spezifische Kosten	0.4	1.9	1	3.3
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				3,2*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Spezifische Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Spezifische Kosten	0.4	1.9	1	3.3
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				3,2*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Spezifische Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten				
Spezifische Kosten	0.4	1.9	1	3.3
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				3,2*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Kosten- Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten	0.8	4.6	3.7	9.1
Spezifische Kosten	0.4	1.9	1	3.3
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				3,2*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Kosten- Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten	0.8	4.6	3.7	9.1
Spezifische Kosten	0.4	1.9	1	3.3
Verbleibender Nutzen	0.4	2.7	2.7	5.8
Zugeordnete Kosten				3,2*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Kosten- Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0,8	5,8	4,2	10,8
Kosten für Einzelprojekt	1	4,6	3,7	9,3
Gerechtfertigte Kosten	0,8	4,6	3,7	9,1
Spezifische Kosten	0,4	1,9	1	3,3
Verbleibender Nutzen	0,4	2,7	2,7	5,8
Zugeordnete Kosten	0,2	1,5	1,5	3,2*
Gesamtkostenanteile	0,6	3,4	2,5	6,5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Kosten- Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0,8	5,8	4,2	10,8
Kosten für Einzelprojekt	1	4,6	3,7	9,3
Gerechtfertigte Kosten	0,8	4,6	3,7	9,1
Spezifische Kosten	0,4	1,9	1	3,3
Verbleibender Nutzen	0,4	2,7	2,7	5,8
Zugeordnete Kosten	0,2	1,5	1,5	3,2*
Gesamtkostenanteile	0,6	3,4	2,5	6,5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt	0,2	1,2	1,2	2,6
Prozentuelle Einsparung (%)	8	46	46	100

Tab.: Darstellung der **spezifischen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kosten-Nutzenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen				
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Separable Kosten				
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen				
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Separable Kosten	0.5	2.2	1.3	4
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				2,5*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt				
Gerechtfertigte Kosten				
Separable Kosten	0.5	2.2	1.3	4
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				2,5*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten				
Separable Kosten	0.5	2.2	1.3	4
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				2,5*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten	0.8	4.6	3.7	9.1
Separable Kosten	0.5	2.2	1.3	4
Verbleibender Nutzen				
Zugeordnete Kosten				2,5*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0.8	5.8	4.2	10.8
Kosten für Einzelprojekt	1	4.6	3.7	9.3
Gerechtfertigte Kosten	0.8	4.6	3.7	9.1
Separable Kosten	0.5	2.2	1.3	4
Verbleibender Nutzen	0.3	2.4	2.4	5.1
Zugeordnete Kosten				2,5*
Gesamtkostenanteile				6.5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0,8	5,8	4,2	10,8
Kosten für Einzelprojekt	1	4,6	3,7	9,3
Gerechtfertigte Kosten	0,8	4,6	3,7	9,1
Separable Kosten	0,5	2,2	1,3	4
Verbleibender Nutzen	0,3	2,4	2,4	5,1
Zugeordnete Kosten	0,15	1,18	1,18	2,5*
Gesamtkostenanteile	0,65	3,38	2,48	6,5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt				
Prozentuelle Einsparung (%)				

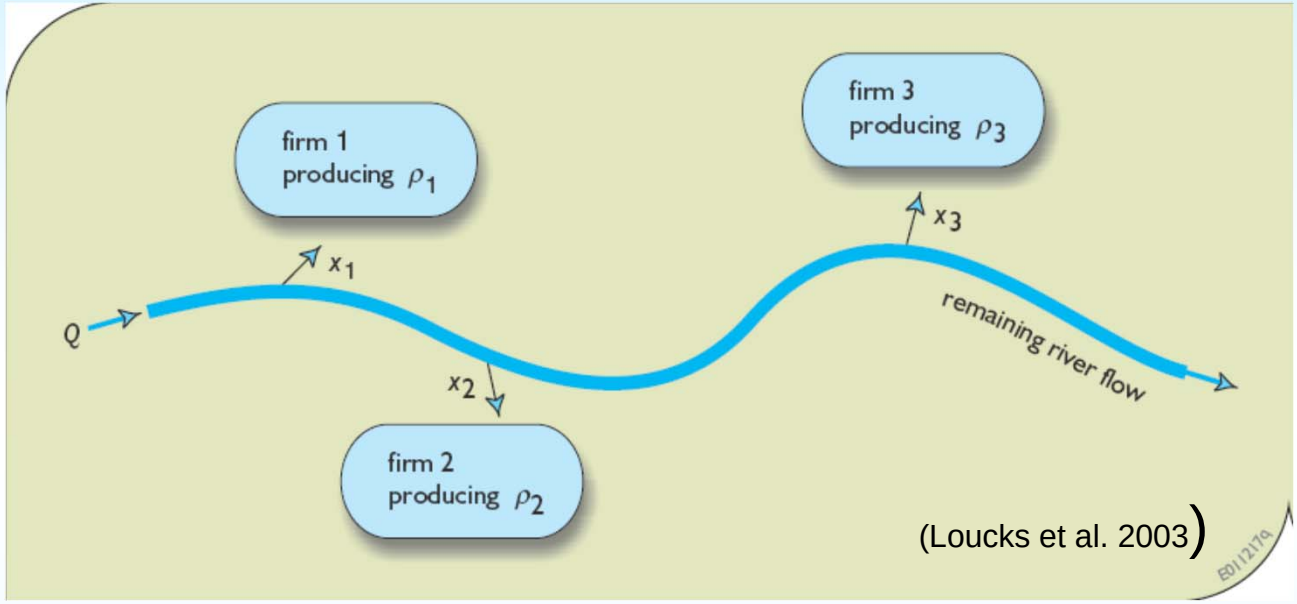
Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Separable Kostenaufteilung

	A	B	C	Summe
Nutzen	0,8	5,8	4,2	10,8
Kosten für Einzelprojekt	1	4,6	3,7	9,3
Gerechtfertigte Kosten	0,8	4,6	3,7	9,1
Separable Kosten	0,5	2,2	1,3	4
Verbleibender Nutzen	0,3	2,4	2,4	5,1
Zugeordnete Kosten	0,15	1,18	1,18	2,5*
Gesamtkostenanteile	0,65	3,38	2,48	6,5
Einsparungen, da Mehrzweckprojekt	0,15	1,22	1,22	2,6
Prozentuelle Einsparung (%)	6	47	47	100

Tab.: Darstellung der **seperablen Kosten** und der Nutzenanteile für ein Mehrzweckprojekt

Allokation mittels Optimierung (statisch)



(Loucks et al. 2003)

- Der Bedarf von 3 Nutzern wird aus einer Ressource Q gedeckt
- Es besteht keine Priorität (Oberlieger- Unterlieger)
- Für jeden Nutzer gibt es eine Nutzenfunktion
- Aufteilung soll maximalen NB bringen: MAX(Σ NB_i)

Allokation entsprechend den Nutzen

- Individuelle Nutzenfunktionen

$$NB_1(x_1) = 6x_1 - x_1^2$$

$$NB_2(x_2) = 7x_2 - 1.5x_2^2$$

$$NB_3(x_3) = 8x_3 - 0.5x_3^2$$

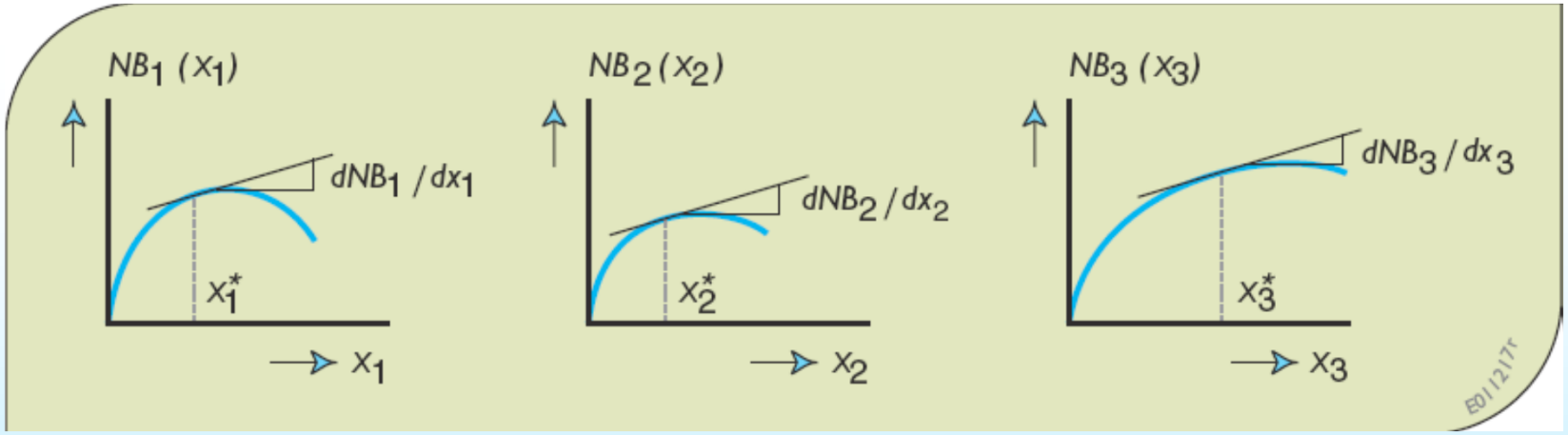
Allokation entsprechend den Nutzen

- Individuelle Nutzenfunktionen:

$$NB_1(x_1) = 6x_1 - x_1^2$$

$$NB_2(x_2) = 7x_2 - 1.5x_2^2$$

$$NB_3(x_3) = 8x_3 - 0.5x_3^2$$



Allokation entsprechend den Nutzen

- Individuelle Nutzenfunktionen:

$$NB_1(x_1) = 6x_1 - x_1^2$$

$$NB_2(x_2) = 7x_2 - 1.5x_2^2$$

$$NB_3(x_3) = 8x_3 - 0.5x_3^2$$

- Restriktionen:

$x_1+x_2+x_3 <= Q=15$

$X_i >= 0$

- Zielfunktion

$$\text{Max } (\Sigma NB_i + \lambda_0 \Sigma(x_i - Q)$$

Allokation entsprechend dem Nutzen

$$NB_1(x_1) = 6x_1 - x_1^2$$

$$NB_2(x_2) = 7x_2 - 1.5x_2^2$$

$$NB_3(x_3) = 8x_3 - 0.5x_3^2$$

$dNB_1/dx_1 = 6-2x_1=0$	$x_1=3$	$NB_1 = 9$
$dNB_2/dx_2 = 7-3x_2=0$	$x_2=7/3$	$NB_2 = 49/6$
$dNB_3/dx_3 = 8-x_3=0$	$x_3=8$	$NB_3 = 32$
	$\Sigma x_i < Q=15$	

Alle Anforderungen können erfüllt werden

Summe aller NB_i ist 49 1/6

Allokation bei Restriktionen

Gleiches Problem aber $Q<\Sigma x_i$ und all $x_i>=0$

Wie geht man vor ?

$6-2x_1+\lambda=0$

$7-3x_2+\lambda=0$

$8-x_3+\lambda=0$

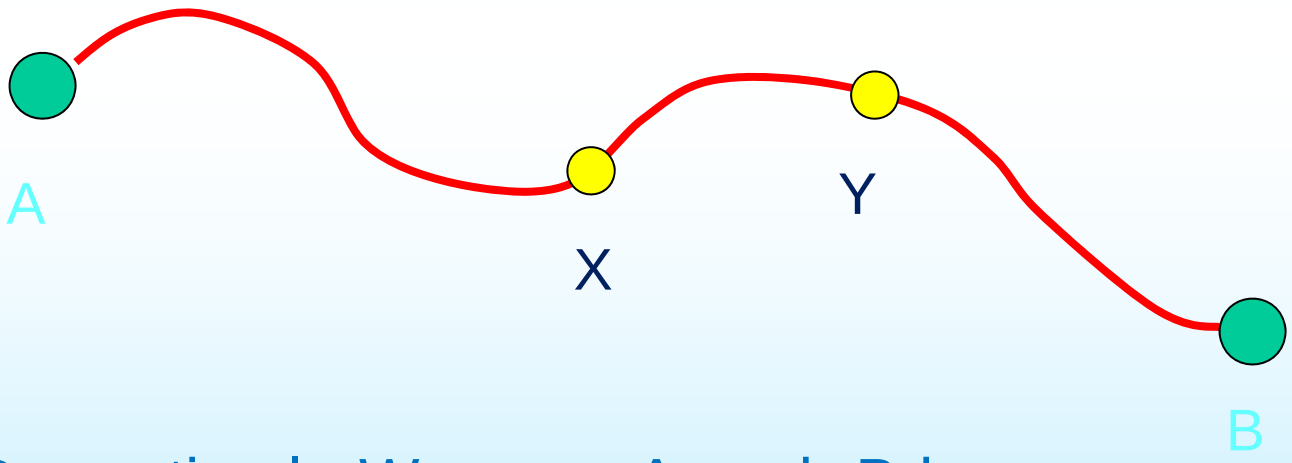
$x_1+x_2+x_3<=Q=10$

$x_1=23/11$ $x_2=19/11$ $x_3=68/11$ $\lambda=-20/11$

Dynamische Programmierung

Bellmann Prinzip:

Wenn diese Trajektorie den „kürzesten (besten) Weg“ von A nach B darstellt, dann ist auch jeder Teilabschnitt der Beste!



Der optimale Weg von A nach B kann aus optimalen Teilwegen zusammengesetzt werden

Dynamische Programmierung

Umformulatierung der Zielfunktion:

$$Z(Q) = \max\{\Sigma NBi(x_i)\} + \lambda \Sigma x_i$$

$$Z(Q) = \max_{0 \le x_1 \le Q} \left\{ NB_1(x_1) + \max_{0 \le x_2 \le Q - x_1} \left(NB_2(x_2) + \max_{0 \le x_3 \le Q - x_1 - x_2} \left(NB_3(x_3) \right) \right) \right\}$$

$Q - x_1 = s_2$

$Q - x_1 - x_2 = s_3$

$$Z_j(s_j) = \max_{0 \le x_j \le s_j} \{ NB_j(x_j) + Z_{j+1}(s_j - x_j) \}$$

Dynamische Programmierung (Beispiel)

Mehrere Nutzer mit unterschiedlichen Nutzen- und Kostenfunktionen

Nutzenfunktion $B_j = a_j(1 - \exp(-b_j x_j))$

Kostenfunktion $K_j = c_j x_j^{d_j}$

Restriktionen $\sum x_j = Q \qquad x_j > 0$

Zielfunktion $Z(Q) = \max\{\Sigma NBi(x_i)\} + \lambda\Sigma(x_i - Q)$

Umformulierte ZF: $Z(Q) = \max_{0 \le x_1 \le Q}\left\{NB_1(x_1) + \max_{0 \le x_2 \le Q - x_1}\left(NB_2(x_2) + \max_{0 \le x_3 \le Q - x_1 - x_2}\left(NB_3(x_3)\right)\right)\right\}$

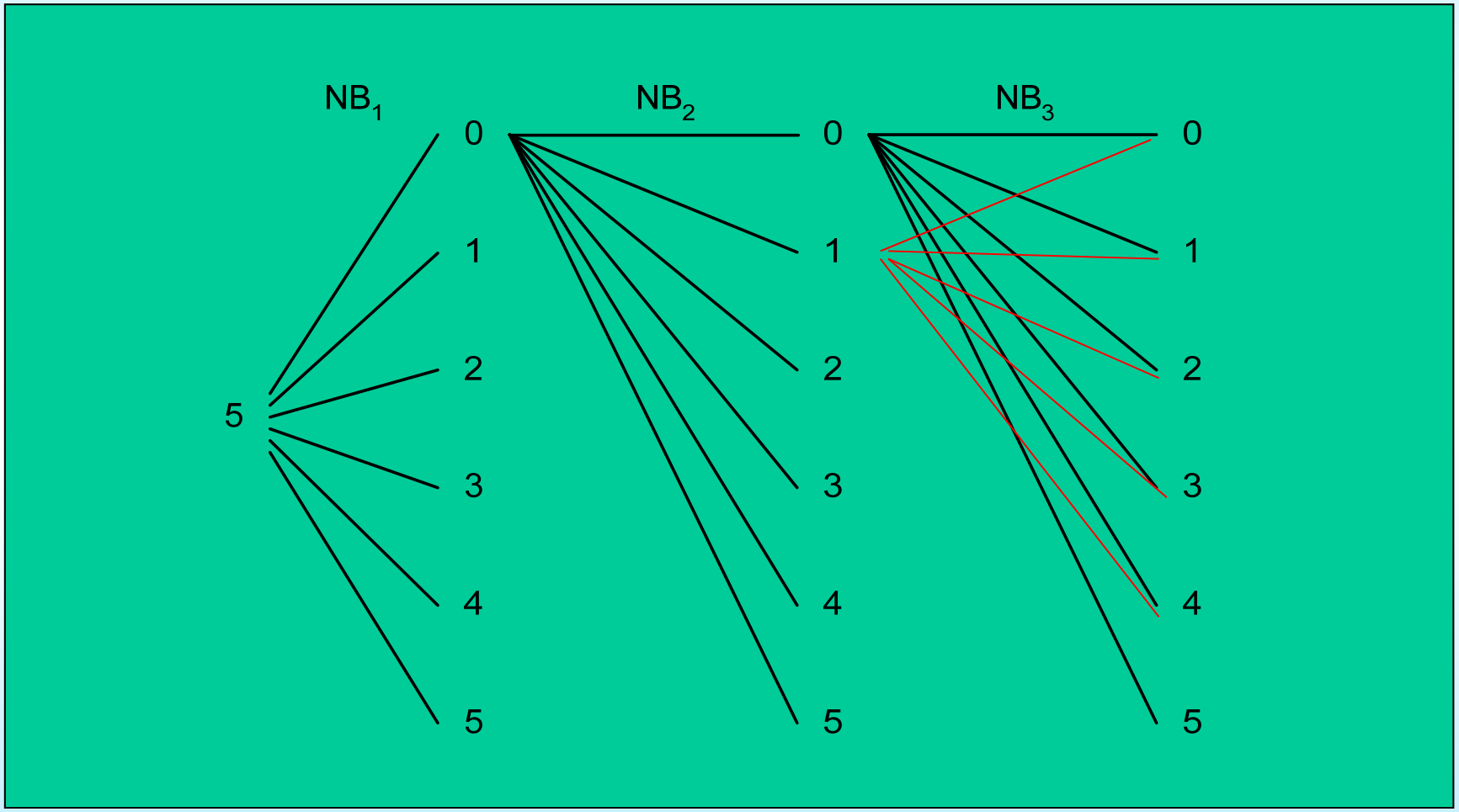
Dynamische Programmierung (Beispiel)

Die Koeffizienten a_i, b_i, c_i, d_i und Q=5sind gegeben

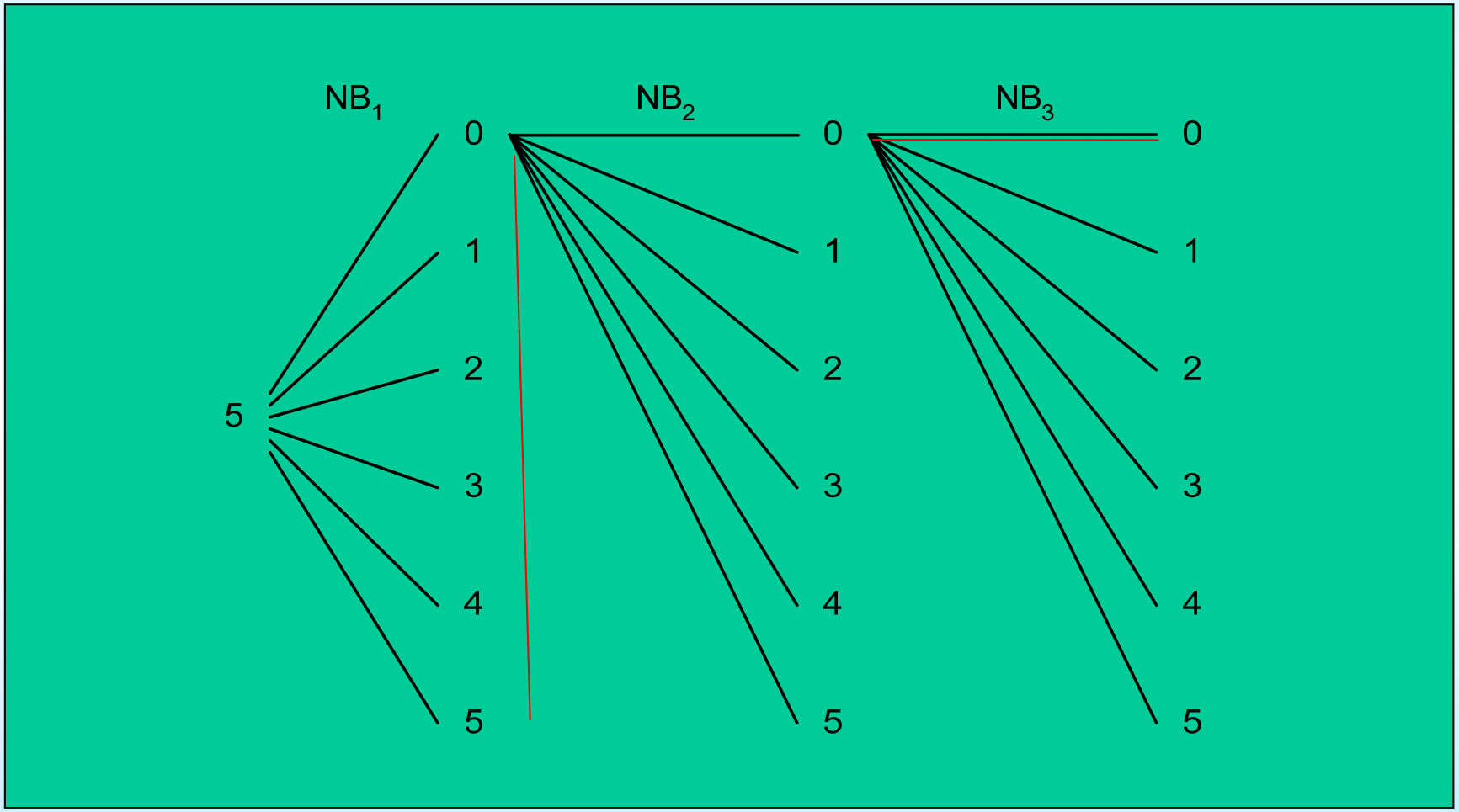
Die Lösung wird schrittweise gesucht: 1

x_j	$NB_1(x_j)$	$NB_2(x_j)$	$NB_3(x_j)$
0	0	0	0
1	-0,5	6,5	-6,9
2	3,0	10,1	0
3	6,6	10,9	6,3
4	10,0	9,6	11,5
5	13,1	7,0	15,6

Mögliche Trajektorien



Mögliche Trajektorien



Optimale Strategie im 1. Schritt

$NB_3(x_i)$

s_3	x_3	0	1	2	3	4	5	$Z_3(s_3)$	x_3*
0		0						0	0
1		0	-6,9					0	0
2		0	-6,9	0				0	0;2
3		0	-6,9	0	6,3			6,3	3
4		0	-6,9	0	6,3	11,5		11,5	4
5		0	-6,9	0	6,3	11,5	15,6	15,6	5

Optimale Strategie im 2. Schritt

$$NB_2(x_2+Z_3(s_3))$$

s_2	x_2	0	1	2	3	4	5	$Z_2(s_2)$	x_2*
0		0						0	0
1		0	6,5					6,5	1
2		0	6,5	10,1				10,1	2
3		6,3	6,5	10,1	10,9			10,9	3
4		11,5	12,8	10,1	10,9	9,6		12,8	1
5		15,6	18,0	16,4	10,9	9,6	7,0	18,0	1

Optimale Strategie im 3. Schritt

$$NB_1(x_1+Z_2(s_2))$$

Q	x_1	0	1	2	3	4	5	$Z_1(Q)$	x_1*
5		18,0	12,3	13,9	16,7	16,5	13,1	18,0	0

Optimale Strategie

$$NB_1(x_1+Z_2(s_2))$$

Q	x_1	0	1	2	3	4	5	$Z_1(Q)$	x_1*

Die optimale Strategie ist:

$x_1=0$

$x_2=1$

$x_3=4$

NB= 18,0

Reale Probleme

Wasserverfügbarkeit ist zeitabhängig

→ Komplexität steigt (dynamische Programmierung)

Wasserverfügbarkeit ist im Vorhinein nicht bekannt

→ stochastische dynamische Programmierung

Unterschiedliche Interessen (Bewässerung, Wasserkraft, Ökologie, Nutzer)

→ multi-objective stochastische dynamische Progr.

Zusammenfassung

Nutzen-Kostenaufteilung

- statisch
- dynamisch

Perfektes Wissen vs. Unsicherheit

Methoden:

- Spezifische Kosten
- Separable Kosten

Optimierung

- statisch, dynamisch

Monetäre Bewertung intangibler Größen

Freizeit u. Erholung

Wasserorientierte Freizeit und Erholung	Indikatoren		Bewertungs-verfahren
	Menge	Wert	
Erlebnisnutzen - Einheitswert	Attraktivitätsindikatoren Besuchertage [d]	Punkte bzw. €-Werte für Einzelkomponenten	Einheitswert
- Effektivausgaben	Besuchertage [d] Fahrstrecke [km] Zeitbedarf [h]	Fahrkosten [€/km] Wertäquivalent [€/h]	Reisekostenansatz
	Besuchertage [d] Kost und Logis [Anzahl] Eintrittspreise	Ausgaben am Ort [€/d]	Ausgaben am Ort
	Besuchertage [d] Kost u. Logis [Anzahl] Eintrittspreise Fahrstrecke [km] Ausrüstungen	Gesamtausgaben [€]	Bruttoausgaben-methode

Freizeit und Erholung

Wasserorientierte Freizeit und Erholung	Indikatoren		Bewertungs-verfahren
	Menge	Wert	
- Zahlungsbereitschaft	Erholungsaktivitäten	Zahlungsbereitschaft [durchschnittl. €-Wert der Stichprobe]	Survey-Methode
	Anzahl der potentiellen Besucher	Reisekosten [€/Person] Eintrittsgebühren [€(Person]	Nachfragefunktion
Optionsnutzen	Gesamtbevölkerung des Betrachtungsraumes	Zahlungsbereitschaft [durchschnittl. €-Wert der Stichprobe]	Survey-MEthode

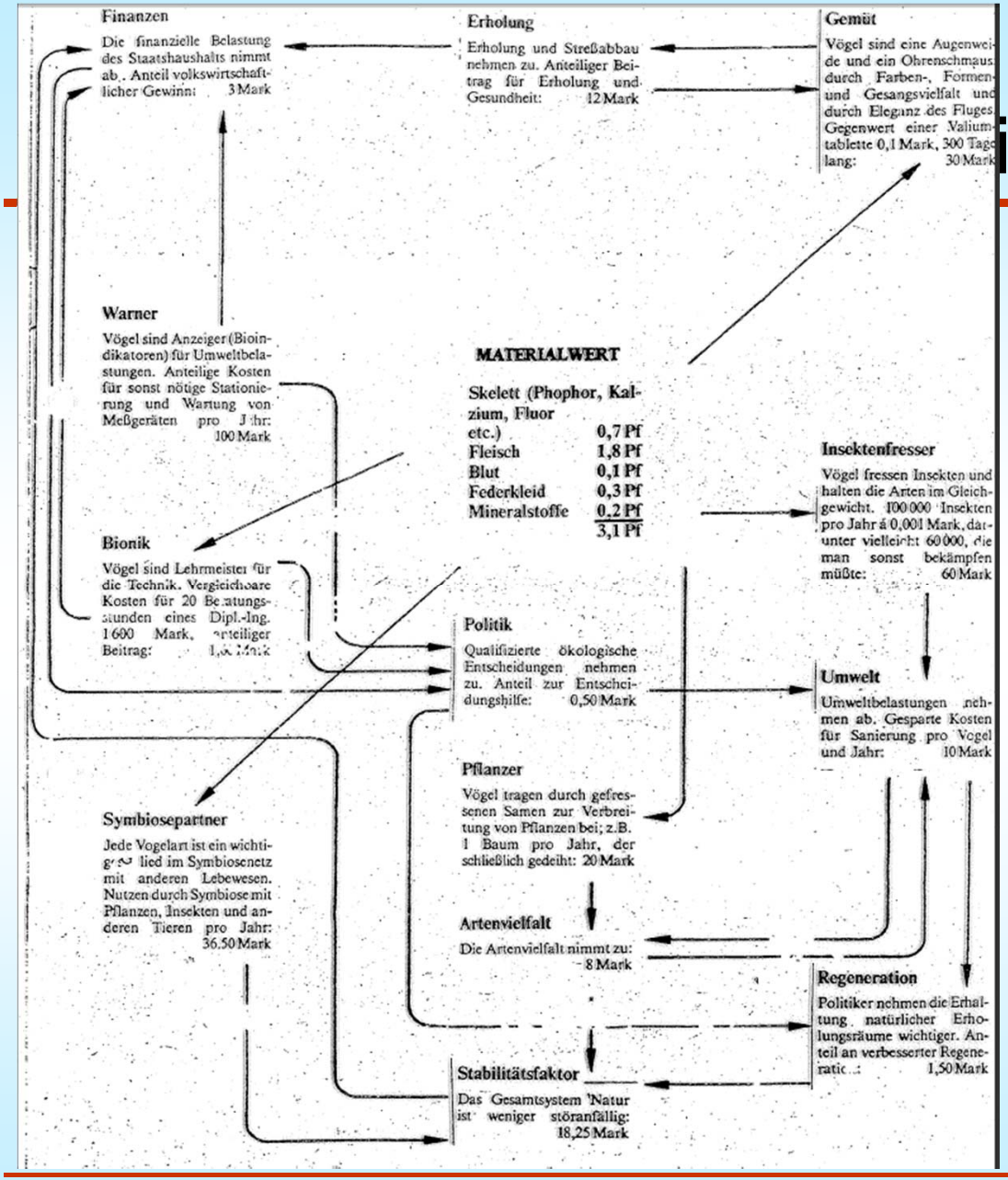
Wert eines Blaukehlchens

Ein „Lehrbeispiel“ von Friends of Nature (1994 ?)

MATERIALWERT

Skelett (Phophor, Kalzium, Fluor etc.)	0,7 Pf
Fleisch	1,8 Pf
Blut	0,1 Pf
Federkleid	0,3 Pf
Mineralstoffe	0,2 Pf
	3,1 Pf

ionen



Gesamtrechnung*

Materialwert	0,031 Mark
Leistungen für:	
Gemüt	30,— Mark
Insektenvertilgung	60,— Mark
Pflanzung	20,— Mark
Warnrolle	100,— Mark
Symbiose	36,50 Mark
Bionik	1,60 Mark
Erholung	12,— Mark
Artenvielfalt	8,— Mark
Politische Entscheidung	0,50 Mark
Umweltentlastung	10,— Mark
Finanzierung	3,— Mark
Regeneration	1,50 Mark
Gesamtstabilität	18,25 Mark
	301,38 Mark

Wert eines Blaukehlchens

Pro Jahr 301,38 DM

Wert eines Blaukehlchens

Pro Jahr 301,38 DM

Aber Zugvogel: nur 8 Monate im Jahr im Lande

Lebensdauer durchschnittlich 5 Jahre

Wert eines Blaukehlchens

Pro Jahr 301,38 DM

Aber Zugvogel: nur 8 Monate im Jahr im Lande

Lebensdauer 5 Jahre

Manche Komponenten (Materialwert) nur einmalig

Daher Gesamtwert etwa 5*8/12* 301,38 = 1357,13 DM

Müsste aber noch diskontiert werden, um den Barwert zu bekommen

Rote Liste Arten

Etliche „Rote Liste“ Arten werden auf Ranches in Texas für die Jagd gezüchtet

Der Bestand auf den Ranches ist viel höher als in der freien Wildbahn

Die Tiere können gegen „Eintrittspreis“ geschossen werden

➢Säbel Antilope

Dama Gazelle

Der Wert „Roter Liste“ Arten

In Texas sind Rote Liste Arten aus Afrika zur Jagd frei

Art	Preis	Bestand	
		auf Ranches	in Natura
Dama Gazelle	6 950 $	900	n * 100
Elen Antilope	6 400 $		
Säbel Antilope	4 500 $	11 000	175
Mendes Antilope	5 500 $	5 000	n * 100
Großer Kudu	19 000 $		

➢Spiegel # 19, S. 136-138, 2012.