

---

# Wasserwirtschaftliche Planungsmethoden

## 4. Mehrzielplanung

o.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. H.P. Nachtnebel

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

# Vorgehensweise bei Mehrzielplanungsverfahren

---

Bevor Entscheidungsfindung mit bereits gezeigten Verfahren sind

- Zielsetzungen
- Maßeinheiten
- Kriterien

zu definieren, an Hand denen Bewertung durchgeführt wird

Danach sind

- Handlungsvarianten
- Alternativen

zu beschreiben und eindeutige Bewertungsvorschrift festzulegen

# Vorgehensweise bei Mehrzielplanungsverfahren

---

## Vorgehensweise für Mehrzielplanungen

- **Formulierung von Zielen**
- **Festlegung von Bewertungskriterien:** Grad der Zielerfüllung messen
- **Festlegung der möglichen Handlungsvarianten** (Projektalternativen) an Hand von Entscheidungsvariablen
- **Erstellung eines Grundlagenmodells:** Systemkomponenten und Wechselwirkungen beschrieben
- **Überprüfung jeder Handlungsvariante** auf Eignung zur Erfüllung der formulierten Idealvorstellungen
- **Beschreibung der Auswirkungen** der Handlungsvarianten in Form einer Wirkungsmatrix
- **Bewertung und Reihung** der Handlungsvarianten nach einem Mehrzielplanungsverfahren

# Vorgehensweise bei Mehrzielplanungsverfahren

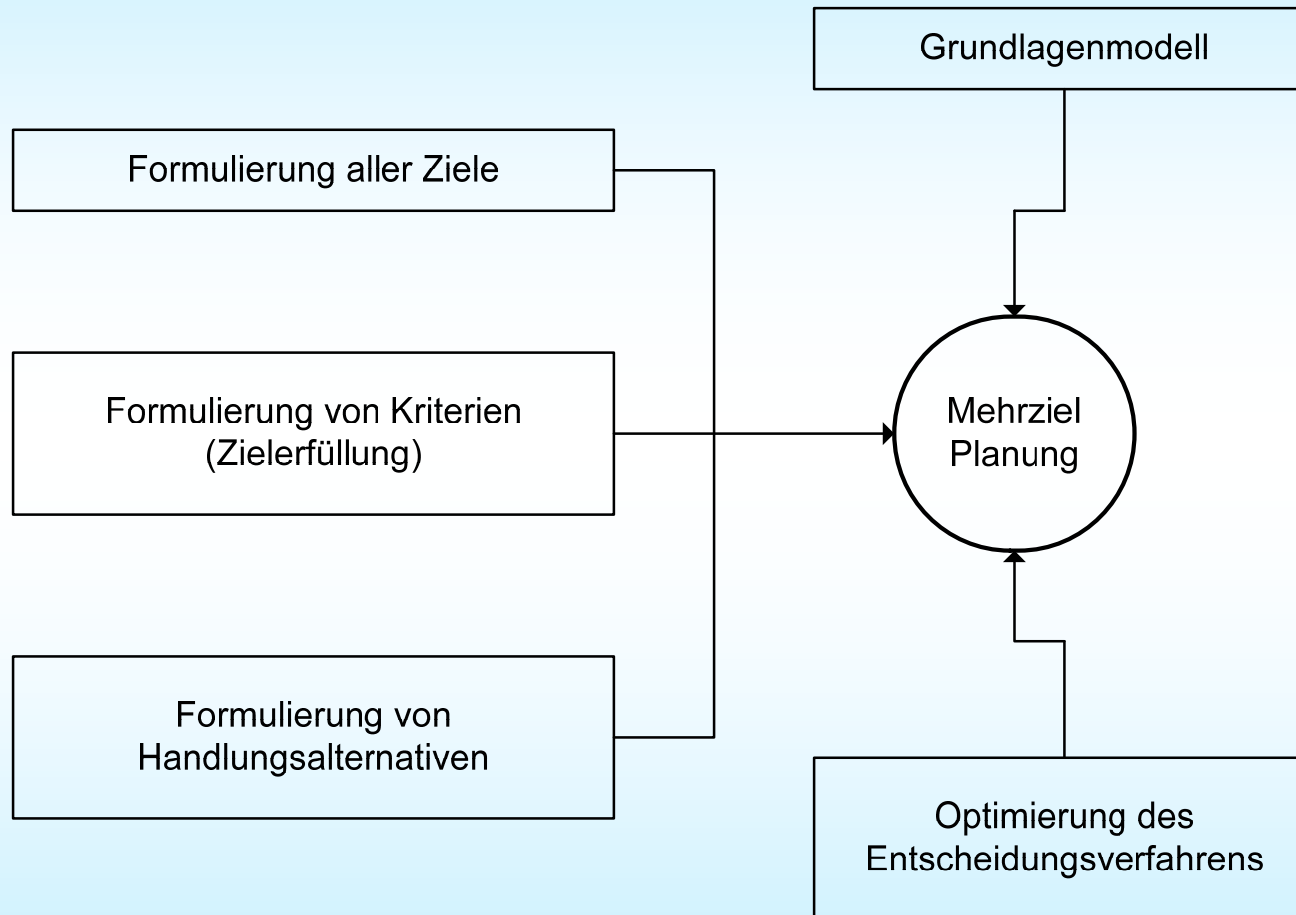


Abb.: Bearbeitungsschritte für Mehrzielplanungsverfahren

# Vorgehensweise bei Mehrzielplanungsverfahren

---

- Aufgabe der Mehrzielverfahren → die **dominanten Lösungen** (nicht dominierte Lösungen) zu finden
- oft nicht ohne Angabe der **Präferenz** des Auftraggebers möglich
- Wichtig ist **einheitliche** und nachvollziehbare **Skalierung** der Bewertungskriterien zu schaffen → Vergleich einzelner Kriterien

dazu:

## **Ordinalskalen**

- Ausmaß der Unterschiede unbekannt (z.B. Notensystem)

## **Kardinalskalen**

- durch Maßeinheit sind Unterschiedsgrößen genau festgelegt

# Principles and Standards (USA)

---

Planungsrichtlinien für wasserwirts. Planungen in USA

"Principles and Standards (PS) for Water and Related Land Resources Planning"

enthält 4 Planungsziele

- nationale, ökonomische Entwicklung (volkswirtschaftliche Entwicklung)
- Umweltqualität
- regionale Entwicklung
- soziale Wohlfahrt

# Principles and Standards (USA)

---

## 3 hierarchische Planungsebenen

### Ebene A

- nationale Gesichtspunkte bei der Nutzung der Ressourcen

### Ebene B

- Management auf der Ebene von komplexen Flussgebieten

### Ebene C

- lokalen Planungen und Einzelprojekten

## 1972 zweidimensionaler Zielraum festgeschrieben

- Volkswirtschaft
- Umweltqualität

# Principles and Standards (USA)

---

detaillierte Richtlinien erarbeitet

- nunmehr Anleitungen zur Ermittlung des volkswirts. Nutzens und der Umweltqualität bezogen auf
  - Trink- und Industrierwasserversorgung
  - Landwirtschaft, Bewässerung, Entwässerung, Erosion, Sedimentation
  - Hochwasserschäden
  - Wasserkraftnutzung
  - Schifffahrt
  - Erholung
  - Fischerei
  - Arbeitsmarkt



# Principles and Standards (USA)

---

## Bewertung

Interdisziplinäre Vorgehensweise unter Einbeziehung der Öffentlichkeit

Umweltressourcen (die durch Projektalternativen beeinflusst werden) durch ihre Eigenschaften (Attribute)

- ökologische Eigenschaften
- kulturelle Eigenschaften
- ästhetische Eigenschaften

mittels Indikatoren zu kennzeichnen

Für jeden Indikator sind Richtlinien, Kriterien anzugeben, um Wertung des Indikators erlauben

# Principles and Standards (USA)

---

Nächste Stufe → Projektsalternativen auf ihre Ressourcen-  
auswirkungen zu prüfen

Angabe durch

- Dauer, Zeitpunkt
- Gebiet, Ort
- Größe, Stärke

des Einflusses ist zu geben

ergänzend ist die Ebene der Einwirkungen anzugeben

- technischen (die Einwirkung ist durch technische, wissenschaftliche Kriterien beschrieben)
- öffentlichen (die Interessen der Öffentlichkeit werden direkt beeinflusst)
- institutionellen (die Einwirkung betrifft Gesetze, Vorschriften, Absichtserklärungen)

# Durchführung wasserwirtschaftlicher Mehrzielplanungen

---

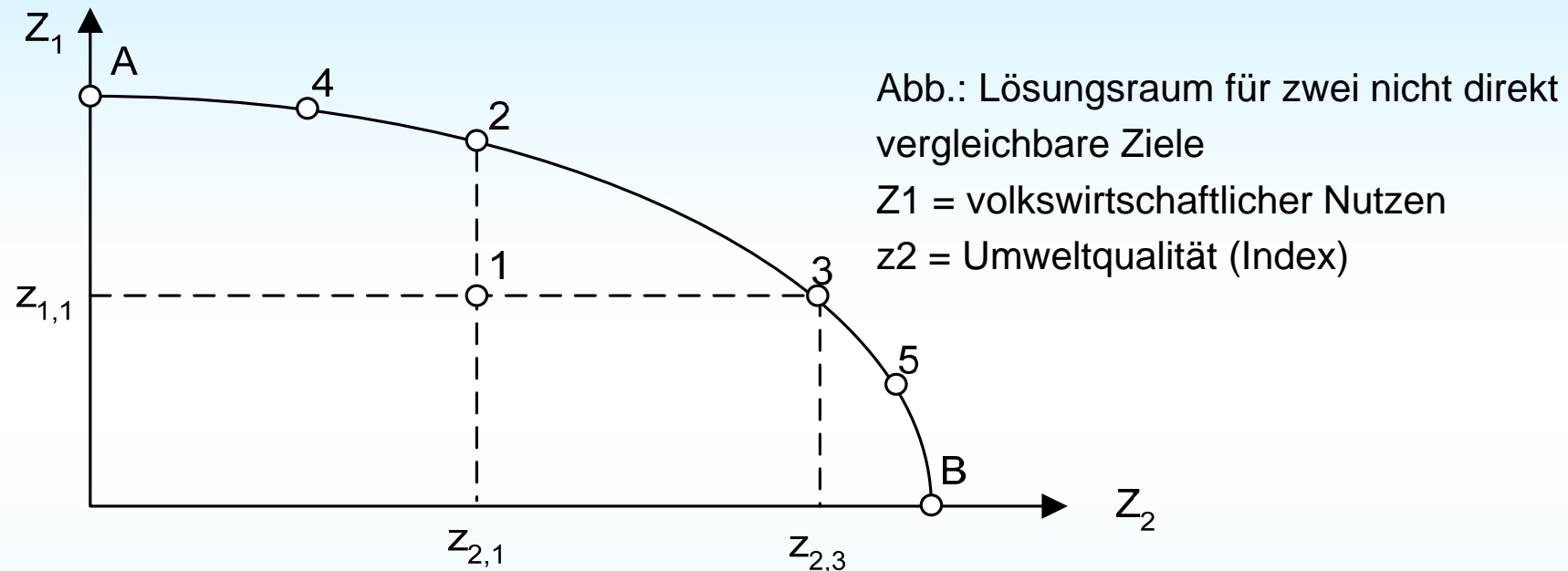
Bei größeren Projekten mindestens zwei sehr unterschiedliche Projektsalternativen

- eine volkswirtschaftlich orientiert
- andere Verbesserung der Umweltqualität

Allgemein ist Entscheidungsablauf ein mehrstufigen Prozess

- Ausgehend ist eine Problemformulierung
- viele, sehr verschiedene Projektalternativen auf generelle Eignung zur Problemlösung geprüft
- Vordergrund stehen politische, gesellschaftliche Zielsetzungen
- Nach Vorauswahl Betrachtung im zeitlichen Rahmen und unter Berücksichtigung der wirts. und der umweltbezogenen Entwicklung
- letzter Planungsabschnitt beinhaltet technische Bemessung und ingenieurmäßige Planung

# Übersicht über die Methoden der Mehrzielplanung



- Sämtliche Projektsalternativen liegen im Bereich 0, A, B
- Alternative 1 ist dominierte Lösung (noch eine Verbesserung möglich)
- nicht-dominierte Alternativen bilden die Einhüllende A bis B (Transformationskurve)

# Übersicht über die Methoden der Mehrzielplanung

---

für Entscheidungsfindung etliche Verfahren

in drei Gruppen zu gliedern

- Methoden ohne a-priori Präferenzen
- Methoden mit a-priori Präferenzen
- Methoden mit iterativer Präferenzangabe

# Methoden ohne a-priori Präferenzen

---

Liegen **keine Präferenzen** oder Vergleichsmaßstäbe für die Zielsetzungen vor so besteht die Aufgabe:

→ **vollständige Lösung**, alle pareto-optimalen Projektalternativen zu bestimmen

## Methoden (Generierungsverfahren)

- Gewichtungsverfahren (Weighting method)
- Restriktionsverfahren (Constraint method)
- Restriktionsverfahren (Constraint method)
- NISE Methode (Non Inferior Set Estimation method)
- Adaptives Suchverfahren (Adaptive Search Method)

Nach Erarbeitung der vollständigen Lösung (objektiv) → Entscheidungsprozess (subjektiver Charakter)

# Methoden ohne a-priori Präferenzen

---

## Gewichtungsverfahren

- Mehrzielproblem durch **vorgegebenen Satz von Gewichten  $w_i$**  auf ein **klassisches Optimierungsproblem** mit einer Zielfunktion zurückgeführt
  - durch Variation der Gewichte erhält man nicht-dominierten Lösungen
- einfaches Verfahren mit Schwächen, da die Ermittlung der nicht-dominierten Lösungen aufwendig ist

## Restriktionsverfahren

- entspricht einem skalaren Optimierungsalgorithmus wobei Zielfunktion zu maximieren ist
- übrigen Funktionen müssen bestimmten Grenzwert erreichen
- durch Variation dieser Grenzwerte werden nicht-dominierten Lösungen bestimmt

# Methoden ohne a-priori Präferenzen

---

## Mehrzielsimplex

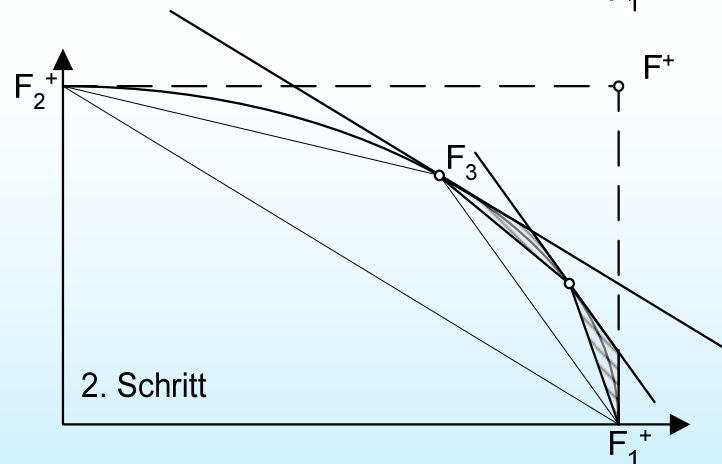
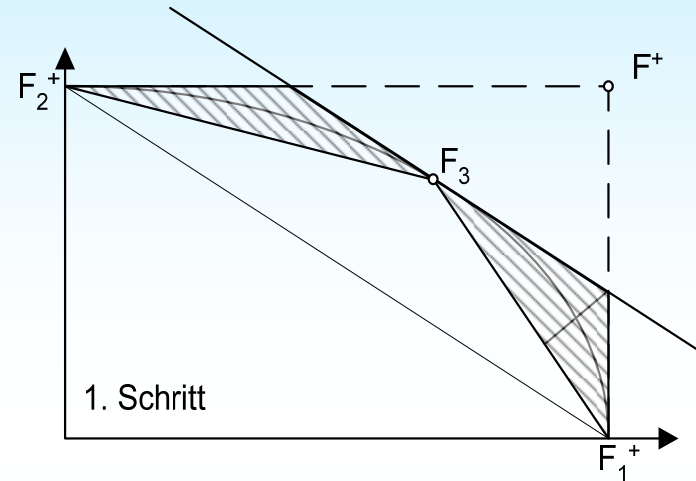
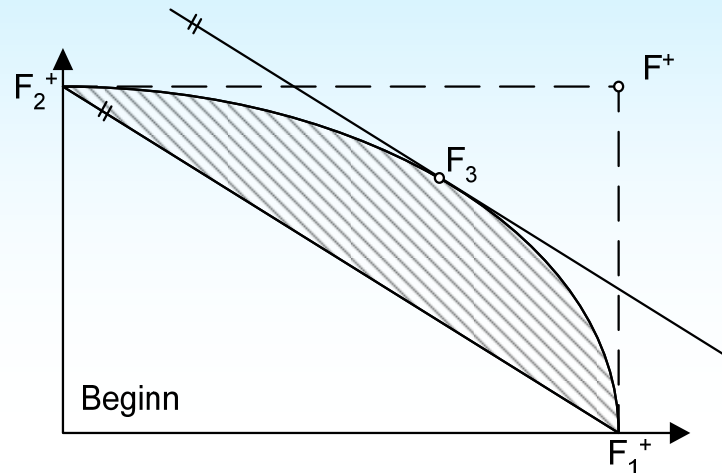
- Verfahren steht in engem Zusammenhang zur linearen Optimierung
- Zielfunktion und die Restriktionen müssen linear sein (Nachteil)
- Vorteil liegt darin:
  - alle Zielfunktionen gleichzeitig optimiert
  - keine Gewichte vorzugeben sind
  - nicht-dominierten Lösungen in seiner Gesamtheit ermittelt

## NISE-Methode (Non-Inferior-Set-Estimation)

- Möglichkeit, die Transformationskurve mit vorgegebener Genauigkeit zu berechnen



# Methoden ohne a-priori Präferenzen



NISE-Approximation schematisch dargestellt

➤ bereits nach dritten Approximation eine gute Annäherung an die nicht-dominierten Lösungen erzielt

# Methoden ohne a-priori Präferenzen

---

## Adaptives Suchverhalten

- enge Beziehung zu skalaren Optimierungsverfahren mit nichtlinearen Restriktionen
- im Entscheidungsraum von einem Punkt  $\underline{x}_i$  iterativ neuer Lösungspunkt  $\underline{x}_{i+1}$  aufgesucht

Anwendbarkeit setzt Differenzierbarkeit der Zielfunktion voraus

# Methoden mit a-priori Präferenzen

wenn Präferenzen bekannt  $\rightarrow$  nur wenige Alternativen notwendig

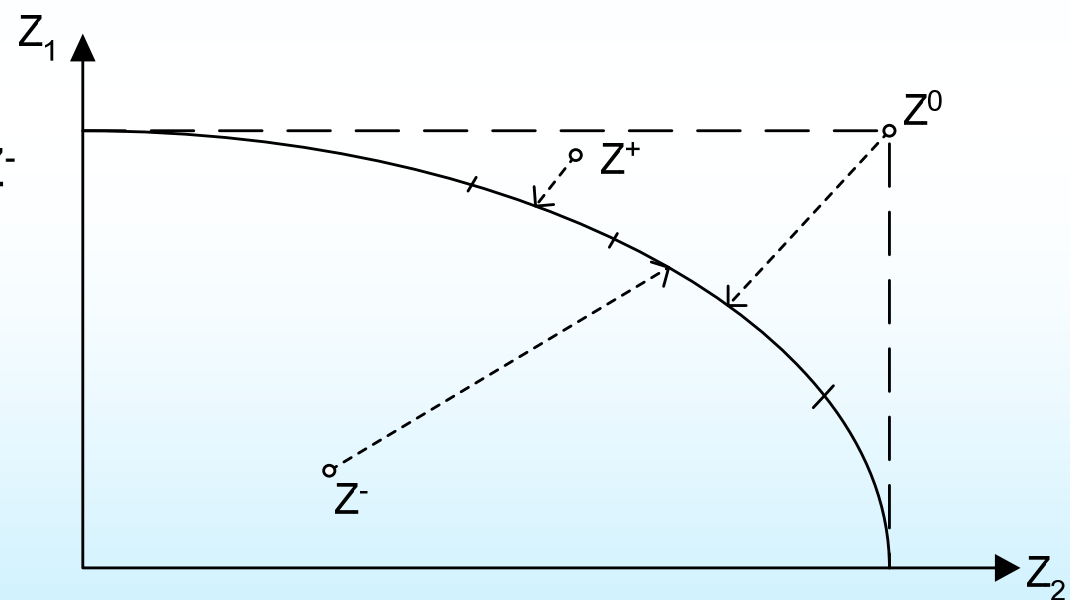
einzelne Methoden unterscheiden sich in Präferenzformulierung

- idealer Zielpunkt  $Z^0$
- Zielpunkt  $Z^+$
- "schlechteste Lösung"  $Z^-$

Lösung soll möglichst

- nahe  $Z^0$  und  $Z^+$
- Weit weg von  $Z^-$

sein



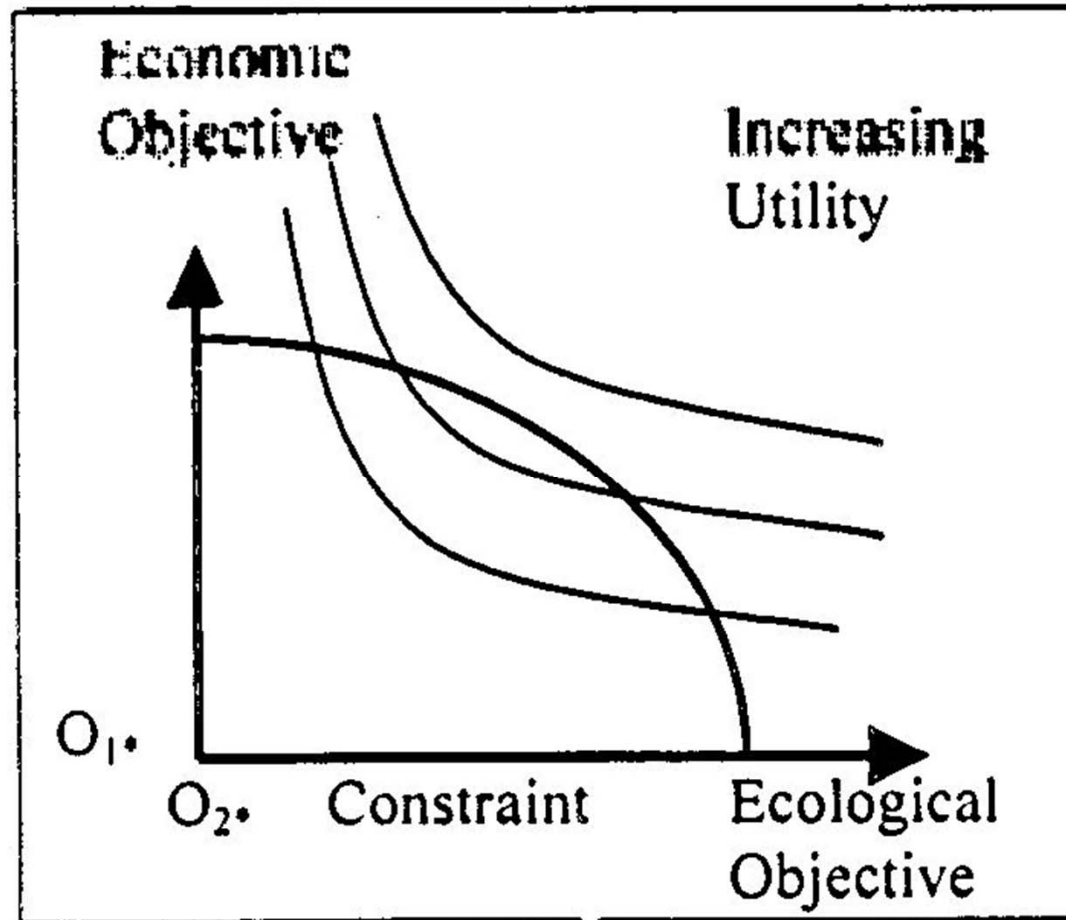
# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

## häufig angewandte Methoden

- Zielprogrammierung (Goalprogramming)  $Z^+$
- Kompromissprogrammierung (Compromise Programming)  $Z^0$
- Kooperative Spieltheorie (Game Theory)  $Z^-$

# Nutzenwerte und Multi-Attribute Utility



# Methoden mit a-priori Präferenzen

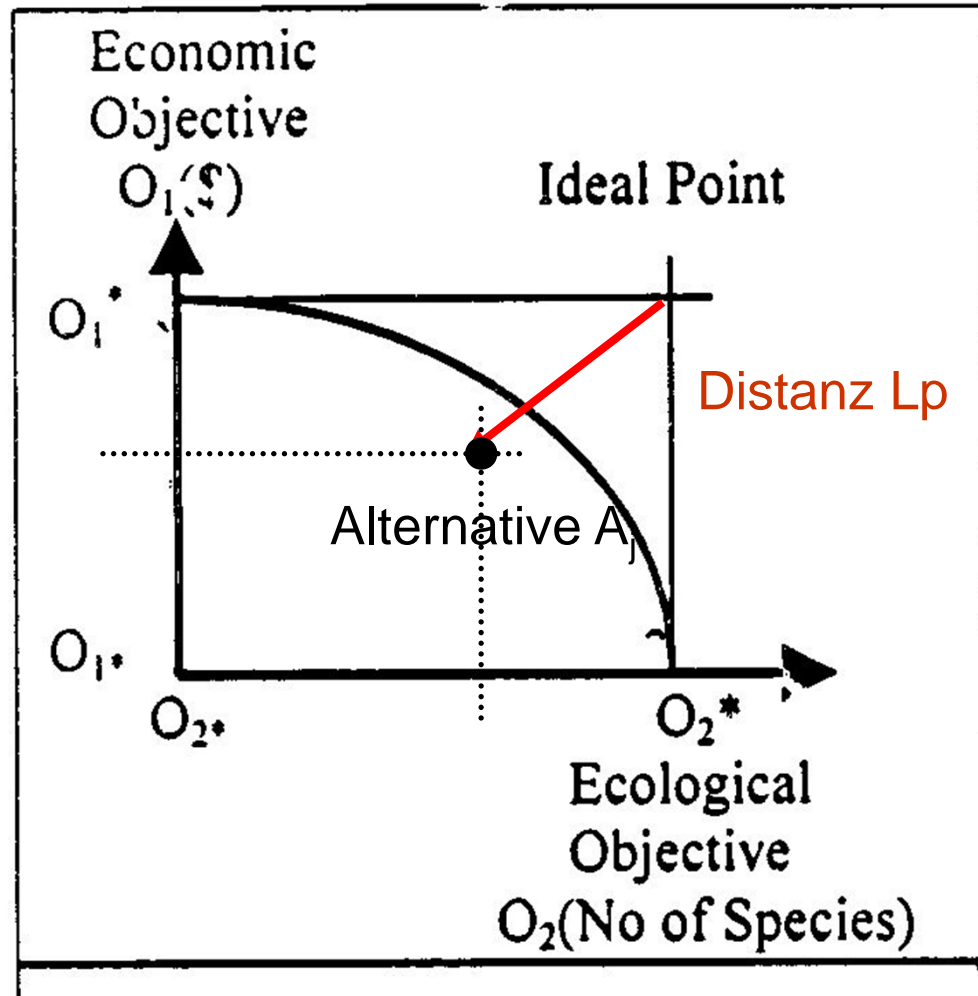
## Kompromis

- distanzorientierte
- Zielpunkt
- Optimierungswürden

Distanzmaß

$$L_p$$

$Z_{i^*}$  = für jede  
Exponent p be  
p = 1 →  
p steigt →  
p = ∞ → di



en  
nmierung

tanzmaß

# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

## Zielprogrammierung

- vom Entscheidungsträger wird für jede Zielfunktion ein optimaler Zielpunkt angegeben
- Auswahl dieses Zielpunktes drücken sich Werthaltungen aus

Lösungen ergeben sich aus

$$L_{p,j} = \text{Min} \left\{ \sum w_i (Z_i^* - Z_{j,i})^p \right\}^{1/p}$$

- $p=1$  entspricht der additiven Nutzwertanalyse
- $p=2$  quadratisches Distanzmaß
- $p \rightarrow \infty$  die grösste Einzelabweichung dominiert
- $p=:$  Minimumfaktor bestimmt Zustand des System, Drückt Risiko ablehnende Haltung

# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

## ELECTRE (ELEction and Choice Translating Reality)

- basiert auf paarweisen Vergleich von Alternativen
- nur die beste der gegebenen Alternativen gesucht

Anwendbar bei

- diskreten, sehr unterschiedlichen Alternativen
- vorhandenen qualitativen Kriterien

Aufbauend auf

- Gewichten  $W_i$ : Bedeutung der Kriterien
- Skalen: Auflösungsbereiche für Kriterien



# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

## Indizes

Übereinstimmungsindex (Konkordanz Index)

$$C(I, J) = \frac{\sum W_i; a(i, I) > a(i, J)}{\sum W_i}$$

- Maß für die Dominanz von I über J

Diskordanz Index

$$D(I, J) = \frac{\text{Max}(a(i, I) - a(j, J))}{\text{Skala}} \text{ wenn } a(i, I) > a(i, J)$$

- Gibt an, um wie viel J besser ist als I

# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

## Beispiel

	Variante 1	Variante 2	Gewicht	Skala
Kriterium 1	4	10	2	10
Kriterium 2	sehr gut	brauchbar	1	10
Kriterium 3	2	8	2	5

### Für Kriterium 2

sehr gut	gut	brauchbar	schlecht	unbrauchbar
10	7,5	5,0	2,5	0

$C(2,1)=4/5$ , da Variante 2 über Variante 1 dominiert. Die Summe aller Gewichte beträgt 5, daher  $4/5$

$C(1,2)=1/5$ , da Kriterium 2, indem die Variante 1 dominiert nur ein Gewicht von 1 hat

$D(2,1)=5/10$ , beim Kriterium 2 ist Variante 1 um 5 Einheiten besser als Variante 2 bezogen auf eine 10-stufige Skala

# Methoden mit a-priori Präferenzen

---

- eine Alternative ist gut, wenn Konkordanz Index  $C$  hoch und Diskordanzindex  $D$  niedrig ist
- durch Wahl der Grenzen  $C^*$  und  $D^*$  werden Teilmengen der Alternativen in ihrer Relation dargestellt
- das Ergebnis ist Konkordanz- und eine Diskordanzmatrix, aus der die Varianten mit  $C > C^*$  und  $D < D^*$  gesucht werden

## Vorteil

- ordinale können mit kardinalen Daten verglichen werden
- erst im letzten Moment kommen Punkte und Gewichte ins Spiel

Allerdings führt ELECTRE zu keiner eindeutigen Lösung

# Methoden mit iterativer Präferenzangabe

---

- häufig zu Beginn Unklarheit über Präferenzen
- durch Dialog zwischen Planer und Entscheidungsträger schrittweise Angabe von Präferenzen
- Prozess abgeschlossen, wenn ermittelte Lösung, akzeptiert wird

## Methoden

- SWT Methode (Surrogate Worth Trade Off Method)
- Schrittweise Iteration (STEM Method)
- Sequentielle Lösung von Mehrzielaufgaben (SEMOPS; SEquential Multi Objective Problem Solving)
- PROTRADE (PRObabilistic TRADE Off Developing MEthod)

# Mehrzielplanung

---

- Mehrzielplanung (Multi-Objective Planning, Multi-Criterion Planning) ist an etlichen Fallbeispielen erprobt
- Hat seine Tauglichkeit bewiesen

weitere ist die Transparenz in der Entscheidungsfindung sowohl für

- Entscheidungsträger
- Planer
- die Bevölkerung

als positiv zu werten