
Wasserwirtschaftliche Planungsmethoden

Fallbeispiel Restwasser

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

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

Mehrzielplanung

Fallbeispiel Restwasserproblematik

Einleitung

für Flussstrecke mit Ausleitung, KWKW und Restwasserstrecke

- verschiedene Handlungsalternativen bewerten und
- jene Alternative auszuwählen,

die Zielsetzungen möglichst gut gerecht wird

Vorgehensweise

- Festlegung der Ziele
- Angabe von Messgrößen
- Auswahl von Kriterien
- Generierung von Alternativen
- Messung und Bewertung der Alternativen
- Reihung der Alternativen

Einleitung

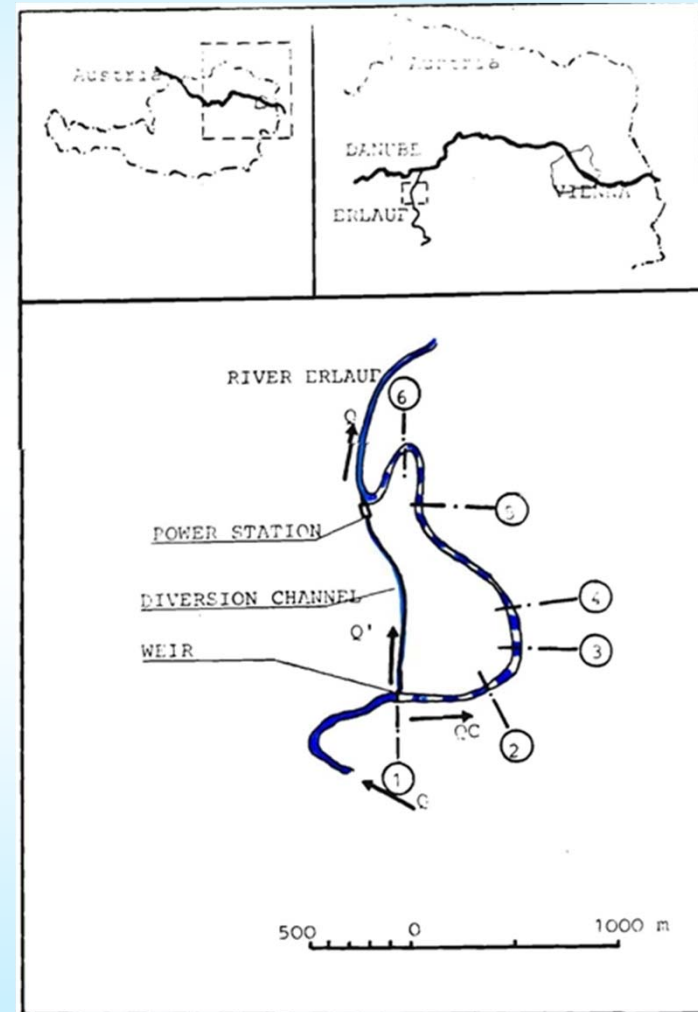
- energiewirtschaftliche Nutzung von Voralpenflüssen erfolgt in Österreich überwiegend durch Kleinwasserkraftanlagen, die an Umleitungen situiert

Gründe dafür liegen

- in bereits vorhandenen Mühlbächen
- im Wegfall des Hochwasserschutzes der Anlagen
- in der Reduktion der Betriebskosten, Wehranlage zur Speisung eines Werkskanals, an dem mehrere Anlagen situiert sind

Einleitung

Typisches Beispiel
von der Erlauf

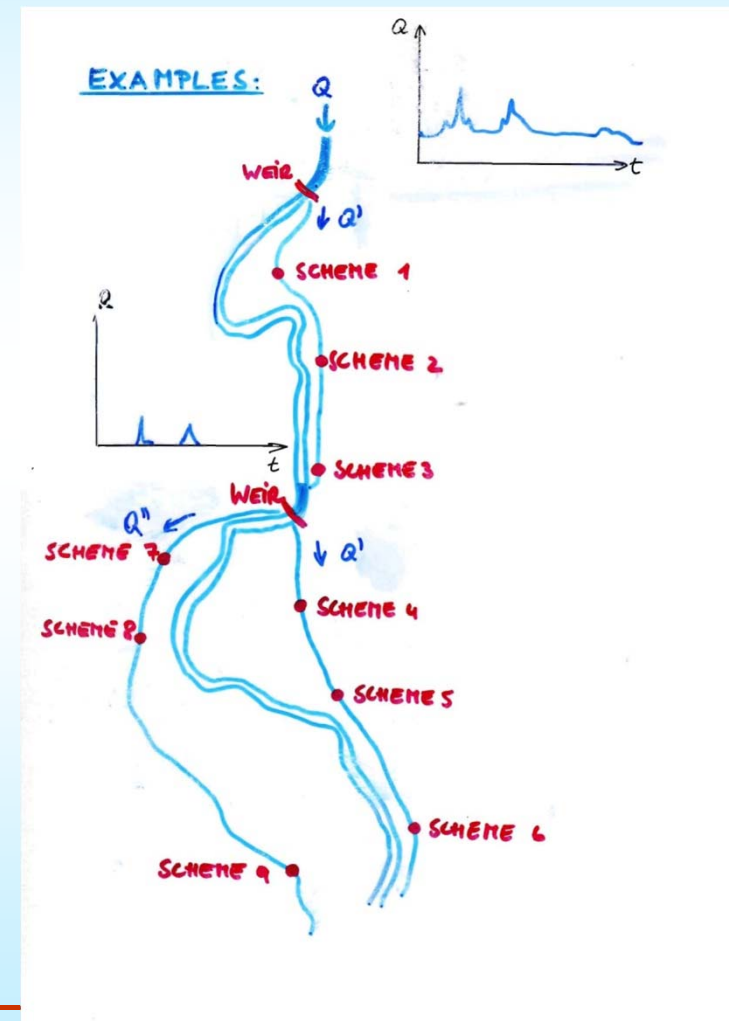


Einleitung

KWKWs an Voralpenflüssen
Oft beidseitige Ausleitungen
Keine Pflichtwasservor-



Abb. 2: Kalte Mürz – Restwasserstrecke nach Kraftwerk



Wasserwirtschaftliche Begriffe

- **Entnahmestrecke:** Flussabschnitt, dessen Wasserführung durch anthropogene Maßnahmen reduziert wird
- **Einzugswassermenge Q_E :** Abfluss, das an der Wehrstelle entnommen wird
- **Pflichtwassermenge (Dotationswasser) Q_p :** jener Abfluss, der an der Wehrstelle ins Unterwasser abzugeben ist
- **Überlaufwasser $Q_{\ddot{u}}$:** jener Abfluss, der zusätzlich zur Pflichtwassermenge über die Wehranlage abgegeben wird
- **Restwasser Q_R :** jener Abfluss, der in der Entnahmestrecke tatsächlich abfließt

Einleitung

Allgemein gilt

$$Q_E < Q(t) - Q_P$$

$$Q_R = Q_{\ddot{U}} + Q_Z + Q_P$$

$$Q_{\ddot{U}} = Q(t) - Q_E - Q_P$$

Q_Z Beitrag aus Zwischeneinzugsgebietes (durch Grundwasseraustritte r durch Einmündung kleinerer Flussläufe)

natürliches Wasserdargebot $Q(t)$ durch Ausleitung modifiziert

- geänderte Abflussverhältnisse in Restwasserstrecke

ohne Dotationsvorschreibung

- Restwasserstrecke lediglich die Funktion der Hochwasserentlastung
- schwere Beeinträchtigungen des aquatischen Bereiches

Probleme in der Restwasserstrecke

leicht erkennbare Veränderungen einer Restwasserstrecke

- Absenkung des Wasserspiegels im Flusslauf
- Reduktion der Fließgeschwindigkeit
- Sedimentation
- eventuell Geruchsbelästigung
- Erhöhung der Wassertemperatur
- reduzierter Lebensraum (aquatischer Bereich)
- Veränderung des Sauerstoffhaushaltes
- Absenkung des Grundwasserspiegels in Ufernähe
- Beeinträchtigung der Fluss- und Uferlandschaft
- Algenbildung
- Degradation der Tierwelt

Festlegung der Ziele

ökonomische Zielsetzung

- möglichst effiziente Nutzung des Wasserdargebotes
- laut 104b WRG

umweltorientierte Zielsetzung

- möglichst geringen Beeinträchtigung der Umwelt
- 105 WRG, 105e, 105m

Zielsetzungen sind nachfolgend noch zu präzisieren

Angabe von Messgröße

für die effiziente Nutzung des Wasserdargebotes

- Nettonutzen ANB
- Stillstandstage OPD

Beschreibung der Umweltqualität (physikalische Messgrößen)

- Anstieg der Wassertemperatur ΔT_W
- Änderung des Sauerstoffgehaltes ΔO_2
- Wassertiefen in den Profilen H_{MAX}
- Aquatischen Lebensraum VOL
- Varianz der Gewässerbreiten σ

Angabe von Messgröße

Zielsetzungen werden präzisiert und ergeben für

ökonomischen Bereich

- Maximierung des Nettonutzens $Z_{11} = \text{Max}(\text{ANB})$
- Minimierung der Stillstandstage $Z_{12} = \text{Min}(\text{OPD})$

ökologischen Bereich

- Minimierung der Aufwärmung $Z_{21} = \text{Min}(\Delta T_W)$
- Minimierung der Änderung im Sauerstoffhaushalt $Z_{22} = \text{Min}(\Delta O_2)$
- Maximierung der Wassertiefen $Z_{23} = \text{Max}(H_{\text{MAX}})$
- Maximierung des Wasservolumens $Z_{24} = \text{Max}(\text{VOL})$
- Maximierung in der Varianz der Gewässerbreiten $Z_{25} = \text{Max}(\sigma)$

Kriterien bzw. Effizienzmaße

Kriterien geben an, inwieweit eine bestimmte Alternative den Zielsetzungen gerechnet wird

Für Wirtschaftlichkeit

sowohl Nettonutzen als auch Anzahl der Stillstandstage maßgebend

schwieriger ist Angabe für ökologischen Messgrößen

ungefähre Angaben über günstige und ungünstige Bereiche der Umweltparameter

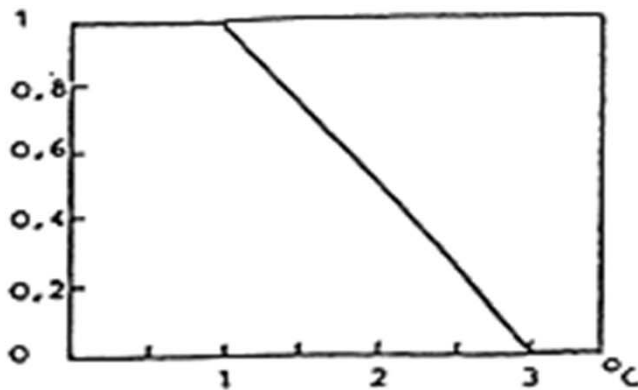
Kriterien bzw. Effizienzmaße

→ Diese „unscharfen Kriterien“ als Zugehörigkeitsfunktionen dargestellt

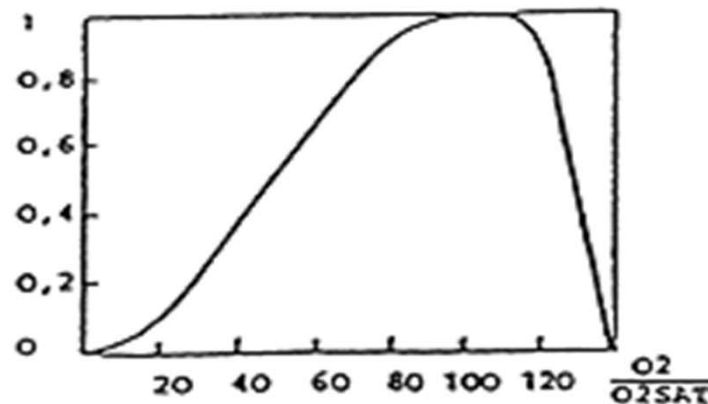
Zugehörigkeitsfunktion

hat einen Wertebereich von (0,1)

drückt den Grad der Zugehörigkeit eines Messergebnisses aus

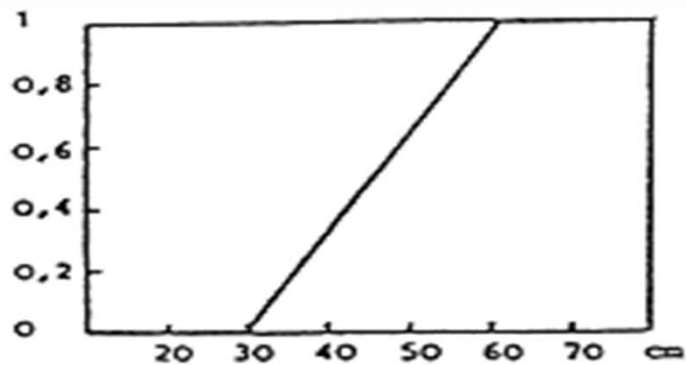


μ_1 (m³/s) Maximale Gewässerabfuhr

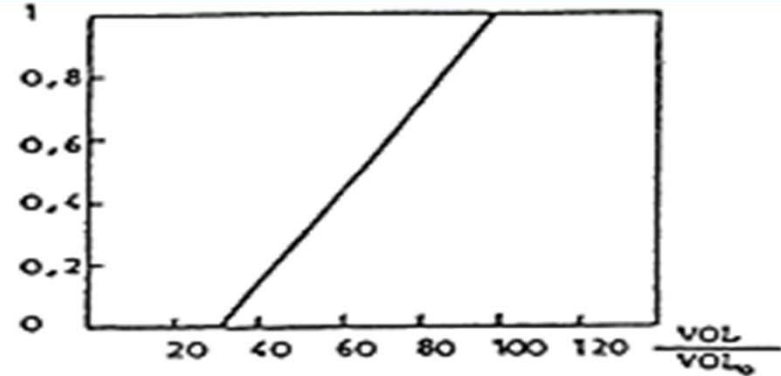


μ_2 (O_2) gelöster Sauerstoff in (%) der Sättigung

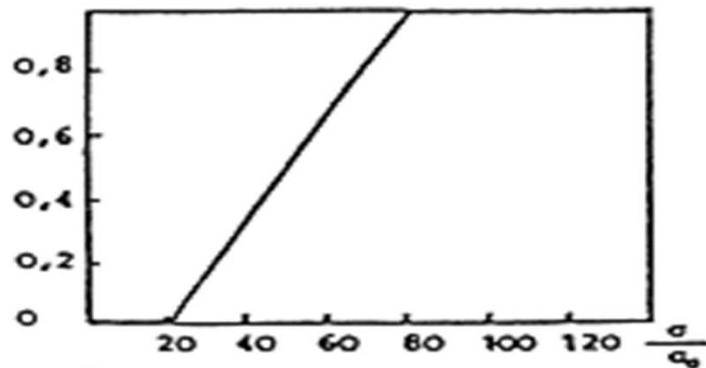
Kriterien bzw. Effizienzmaße



$v_3 (H_{\max})$ Maximale Wassertiefe in Profil



$v_4 (VOL)$ Verfügbarer aquatischer Lebensraum (%)



$v_5 \left(\frac{d}{d_0}\right)$ Variation der Flußbreiten in den Profilen (%)

Festlegung von Projektalternativen

Projektalternativen ergeben sich durch

- Variation der Pflichtwassermenge Q_p
- die Länge der Ausleitungsstrecke, inklusive direkter Stauhaltung L
- die Gestaltung und Ausführung der Ausleitung, des Staubereiches und der Entnahmestrecke A_k

Hier nur wichtigste Entscheidungsvariable →
Pflichtwassermenge Q_p

Messung und Bewertung der Alternativen

Messungen

- In Restwasserstecken an der Feistritz, Pielach und Erlauf wurden Messungen durchgeführt
- Veränderungen einzelner Parameter im Tagesgang erfasst
- Im Vergleich mit Modellrechnungen ergaben sich für die meisten Abflussstationen gute Übereinstimmungen

Als Beispiel dienen Beobachtungen an der Erlauf

- Beobachtungen auf extrem niedrige Wasserführungen bezogen
- beträchtliche Erhöhungen in der Wassertemperatur und große Schwankungen im Sauerstoffhaushalt

Messung und Bewertung der Alternativen

Ebenso wurden

- Jahresarbeit
- Jahresertrag
- Anzahl der Stillstandstage

aufgrund der hydrographischen Unterlagen ermittelt

Gleichzeitig wurde ein Rechenverfahren, bestehend aus

- hydraulischen Teil
- Wärmebilanz
- Sauerstoffbilanz

erstellt und mit Beobachtungen verglichen

Messung und Bewertung der Alternativen

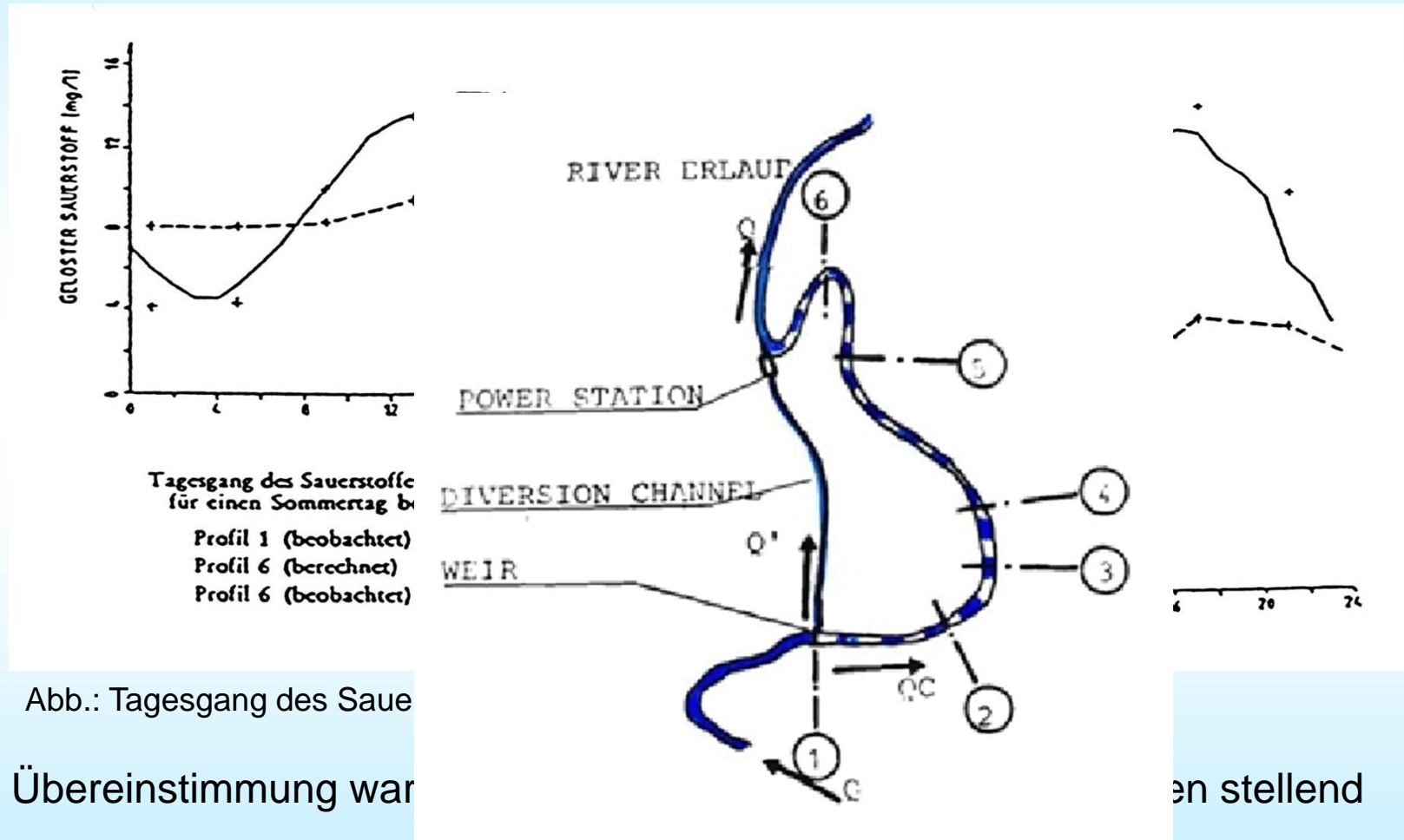


Abb.: Tagesgang des Sauerstoffs
 Übereinstimmung war

en stellend

Messung und Bewertung der Alternativen

Unscharfe Information

- Für jedes Profil und jeden Zeitpunkt erhält man eine Reihe von Wertgrößen → mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktion zu bewerten
- liegen für ein Profil und eine Variable(z.B. Wassertiefe) mehrere Messwerte vor, so ist bei Vereinigung der Messwertgruppe anzusetzen

$$\mu_{i,j} = \max(\mu_{i,j,k})$$

Index i für Variable, j für Profil und k für Anzahl der erhobenen Werte

- Dieses Ergebnis ist plausibel, da die Passierbarkeit eines Profils durch seine größte Wassertiefe gekennzeichnet ist

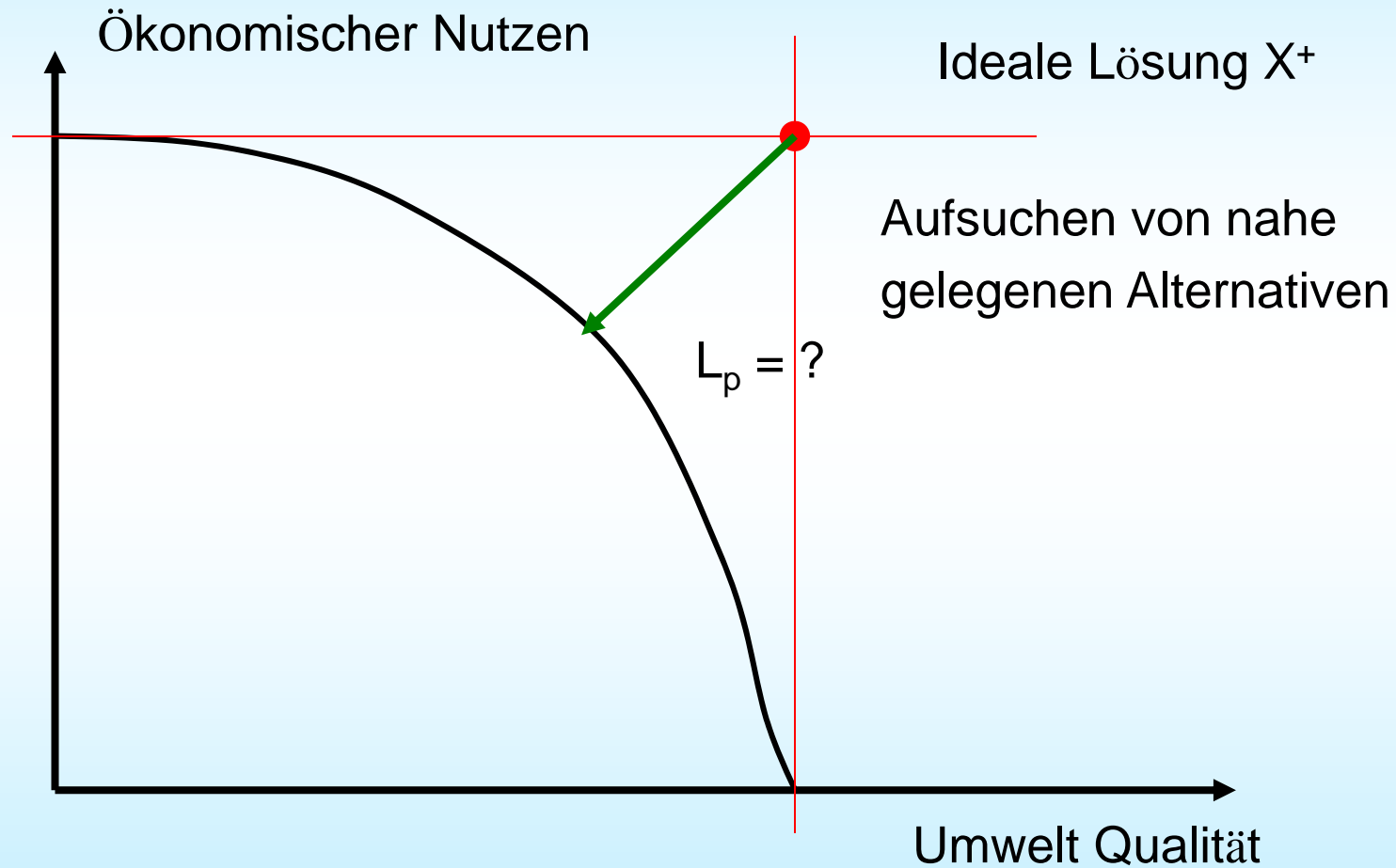
Messung und Bewertung der Alternativen

- Entsprechend den Operationen für Zugehörigkeitsfunktionen gilt für die einzelnen Profile j bei Durchschnittsbildung

$$\mu_i(X) = \min(\mu_{i,1}(X), \mu_{i,2}(X), \dots, \mu_{i,j}(X))$$

- stimmt mit ökologischen Überlegungen insofern überein, da Minimumfaktor für die Umweltqualität bestimmend ist
- z.B. die Passierbarkeit eines Flussabschnittes durch das Profil mit der geringsten Tiefe festgelegt

Compromise Programming



Reihung der Alternativen

- Da keine Projektalternative beiden Zielsetzungen optimal entspricht, ist Kompromiss anzustreben
- dafür Composite-Programming-Verfahren (BARDOSSY et al, 1985) angewandt
 - erreicht Kompromisslösung in zweistufigen Prozess
- um Alternativen zu reihen, wird Distanzmaß zu einem idealen Punkt X^+ berechnet

$$X^+ = (ANB^+, OPD_+, \mu_1(TW_+), \mu_2(O_{2+}), \mu_3(H_{MAX+}), \mu_4(VOL^+), \mu_5(\sigma^+))$$

Reihung der Alternativen

- Distanz zum Idealpunkt ist für die zwei Zielsetzungen und die allgemeine Zielfunktion formuliert

$$Z_1 = \left\{ \alpha_{1,1}^{P_1} \left| \frac{ANB^+ - ANB}{ANB^+ - ANB_-} \right|^{P_1} + \alpha_{1,2}^{P_1} \left| \frac{OPD_+ - OPD}{OPD_+ - OPD_-} \right|^{P_1} \right\}^{1/P_1}$$

$$Z_2 = \left\{ \sum \alpha_{2,i}^{P_2} \cdot (\mu_1(X^+) - \mu_1(X))^{P_2} \right\}^{1/P_2}$$

$$Z_0 = \left\{ \beta_1^q Z_1^q - \beta_2^q Z_2^q \right\}^{1/q}$$

$\alpha_{i,j}$

Gewichte

$p=2$

es gilt das übliche Distanzmaß

$p>2$

es geht die größte Einzelabweichung stärker ein als die übrigen

$p=:$

es hat ausschließlich die größte Abweichung Einfluss

Reihung der Alternativen

		Gewichte		Parameter
Ökonomische Zielfunktion	Z_1	$\alpha_{1,1}$ 0,8	$\alpha_{1,2}$ 0,2	P_1 2
Ökologische Zielfunktion	Z_2	$\alpha_{2,1}=\alpha_{2,2}=\alpha_{2,3}=\alpha_{2,4}=\alpha_{2,5}$ 0,2		P_2 4
Gesamtzielfunktion	Z_0	β_1 0,5	β_2 0,5	q 2

Tab.: Gewichte und Parameter in den Zielfunktionen

- einzelne ökologischen Kriterien als gleich wichtig angesehen
- Umweltqualität und ökonomische Effizienz als gleichbedeutend in "Gesamt"-Zielfunktion eingesetzt

Reihung der Alternativen

β_1	β_2	Z_1	Z_2	Q_P	P	EL
				[m ³ /s]	[kW]	[%]
1	0	1	0	0	812	0
0,9	0,1	0,9	0,36	0,88	724	12
0,8	0,2	0,9	0,42	1,23	692	17
0,7	0,3	0,8	0,45	1,44	690	21
0,6	0,4	0,8	0,48	1,65	662	25
0,5	0,5	0,8	0,5	1,86	649	29
0,4	0,6	0,7	0,52	2,2	626	32
0,3	0,7	0,5	0,64	4	540	56
0,2	0,8	0,4	0,69	4,84	508	64
0,1	0,9	0,1	0,9	7,6	360	90
0	1	0	1	8,71	-	100

Tab.: Transformationskurve für verschiedene β

EL= ökonomische Verluste in % der möglichen

Reihung der Alternativen

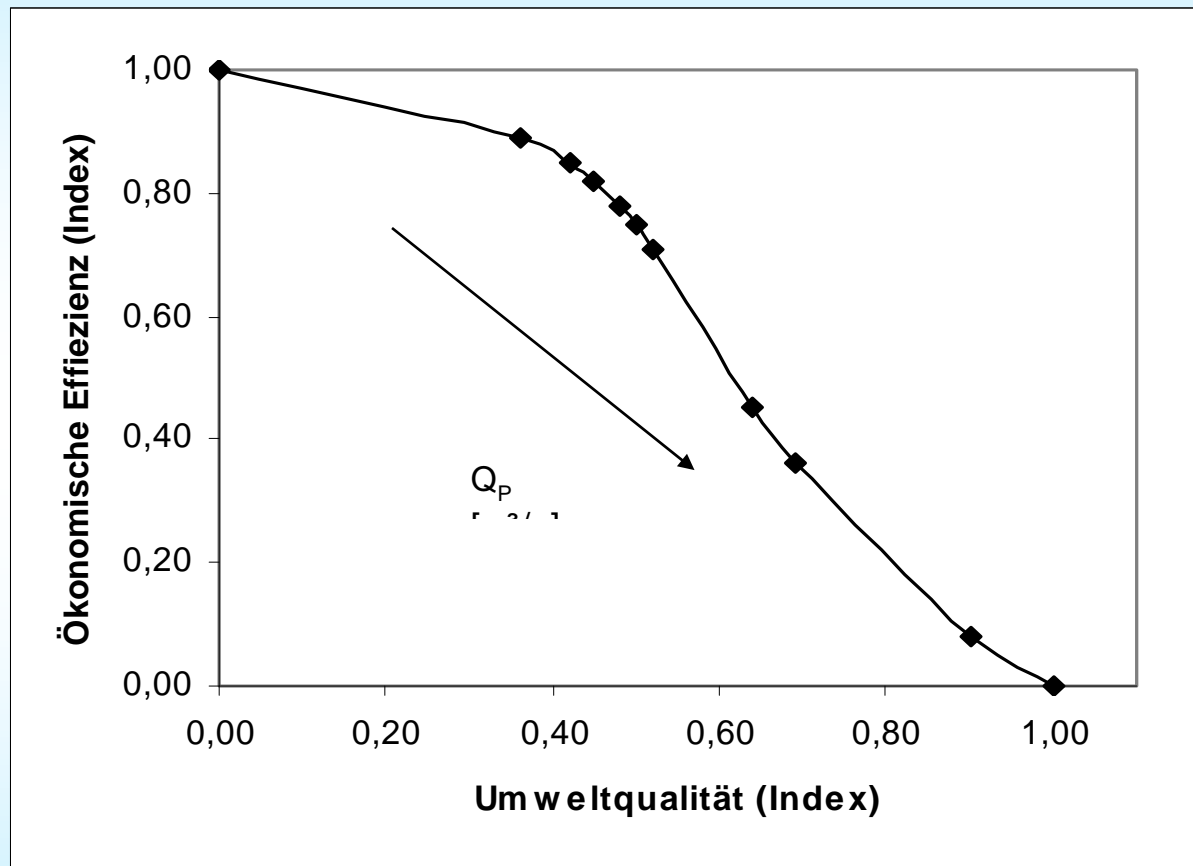


Abb.: Transformationskurve für einen typischen Sommertag, $Q=8,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Simulation zur Behandlung der Unsicherheiten

- zuvor angeführte Lösung besagt Pflichtwassermenge für eine bestimmte Abfluss- und Wettersituation
- Bemessung für einen anderen Tag → andere Pflichtwassermenge zu erwarten
- Daher wurde Häufigkeitsverteilung der Restwassermenge für 300 Simulationen berechnet
- Berechnung erfolgte mit gleichen Gewichten und Composite-Programming Parameter

Messung und Bewertung der Alternativen

Unsicherheiten, Zufälligkeiten

Um stochastischen Anteil Rechnung zu tragen → Reihe von 300 Sommerereignissen simuliert

→ entsprechen, in ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit den langjährigen Beobachtungsreihen der Stationen

- Wieselburg (Abfluss, Wassertemperatur)
- Petzenkirchen (Wind, Lufttemperatur)
- Ybbs (Strahlungsdaten, Sonnenscheindauer, Bewölkung)

Simulation zur Behandlung der Unsicherheiten

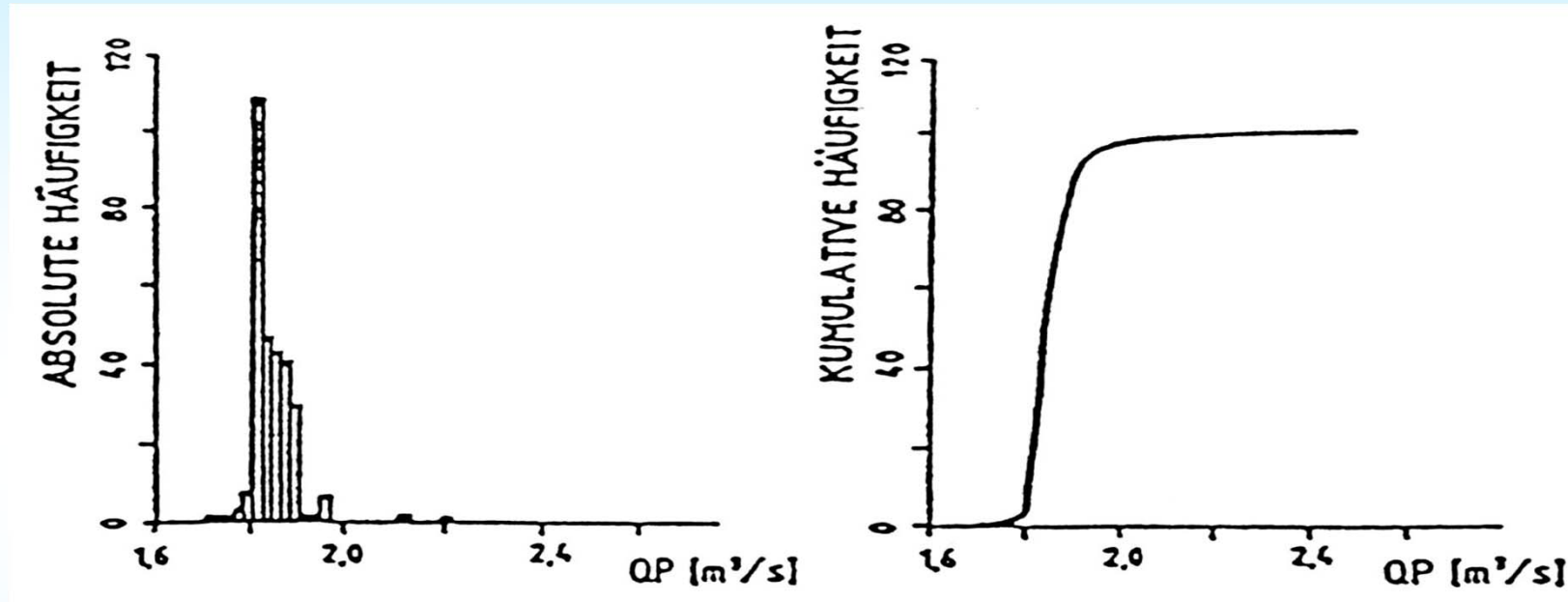


Abb.: Simulierte Häufigkeitsverteilung der Restwassermenge (300 Simulationen)

- ausstehende Entscheidung liegt in Angabe des zulässigen Risikos
- Festlegung von $1,85 \text{ m}^3/\text{s}$ hätte zur Folge, dass in 50 % aller Ereignisse Restwassermenge zu gering wäre
- Festsetzung von $Q_p = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ reicht in 97 % aller Fälle

Diskussion der Ergebnisse

Vergleich mit anderen Vorschlägen zur Restwasserbemessung

- derzeit vorgeschriebene Pflichtwassermenge liegt bei 50 l/s
- durch eine freiwillige Abgabe von ca. 200 l/s nie erreicht
- 5 – 10 % von MQ → Pflichtwassermenge von 0,67 – 1,35 m³/s
- von BLASCHKE Empfehlungen basieren auf empirischen Beziehungen zwischen Sohlbreite und Restwassermenge → 1,0 - 2,5 m³/s
- Bei $Q_{300} = 6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ → Q_p von 1,23 m³/s
- MNQ-Wert von 3,9 m³/s und der NNQ-Wert von 1,87 m³/s (Beobachtungsreihe von 30 Jahren)

Diskussion der Ergebnisse

Schlussfolgerungen aus bisherigen Ausführungen

- Die vorgeschlagene Methode berücksichtigt sowohl hydraulische, hydrologische, ökologische und meteorologische Eingangsgrößen
- Die Ermittlung erfolgt unter gleichzeitiger Berücksichtigung von ökonomischen und ökologischer Zielsetzung
- Die Unsicherheit in den Daten wird explizit berücksichtigt, indem eine Verteilung für die Pflichtwassermenge angegeben wird
- Die Impräzision, Unschärfe in der Bewertung von Umweltauswirkungen, wird einbezogen, indem eine Fuzzy-Set-Operation angewandt wird
- Durch die Anwendung von Composite-Programming können auch mehrere Kriterien in den Zielsetzungen (zweidimensional) zusammengefasst und dargestellt werden

Diskussion der Ergebnisse

- Im Vergleich zu bestehenden Vorschriften wird eine deutlich höhere Wasserführung Q_p erhalten
- Die benötigten Daten sind einfach zu ermitteln
- Die vorgeschlagene Methode lässt die Erfassung biologischer Parameter außer acht
- Die Anwendung des Verfahrens ist auf Voralpenflüsse einzugrenzen
- Andere Kriterien können leicht berücksichtigt werden, sofern sie einer Messung zugänglich sind