



Stadt Köln

Amt für Landschaftspflege und Grünflächen

Regionale 2010: Revitalisierung Frechener Bach

Genehmigungsplanung nach § 31 WHG

Wasserwirtschaftliche Planung

Variantenvergleich



Ingenieurgesellschaft Dr. Ing. Nacken mbH
Valkenburger Straße 15
52525 Heinsberg

Planungsbüro Koenzen
Wasser und Landschaft
Benrather Straße 47
40721 Hilden

11.12.2009

1 Planerische Vorgaben

In der Machbarkeitsstudie (Stadt Köln 2003) für den Frechener Bach wurden Maßnahmen beschrieben und entwickelt, wie der Frechener Bach technisch und ökologisch verbessert werden kann.

Für den Planungsraum wurde vorgesehen, das vorhandene Bauwerk (Tafelschütz mit Streichwehr) bei Einmündung in den Frechener Bach umzugestalten. Die Umgestaltung soll ermöglichen, dass bei Mittelwasser Wasser in den Gewässerverlauf zum östlichen Gewässerabschnitt übergeleitet wird. Weithin wird für den Abschnitt zwischen Stüttgenhof und Militärring eine Neutrassierung auf Grundlage des alten Bachverlaufes angestrebt. Die Neutrassierung endet im Parkbereich. Das Bachwasser soll über die Bachsohle in den Boden infiltrieren.

Des Weiteren wurde von der Stadt Köln ein Qualifizierungsverfahren (Stadt Köln 2008) für die Reaktivierung und Renaturierung des Frechener Baches durchgeführt. Hierbei wurden Handlungsempfehlungen für die Gestaltung und Entwicklung erarbeitet.

2 Variantenvergleich Wasserhebung

2.1 Wasserwirtschaftliche Ziele

Für die Planung des Frechener Baches werden folgende Ziele für den wasserwirtschaftlichen Entwurf formuliert:

- Überleitung von Wasser vom westlichen Gewässerabschnitt zum östlichen Gewässerabschnitt für konstante Abflussmengen, mit der Möglichkeit diese automatisch regulieren und anpassen zu können
- Keine Veränderung der Überflutungssituation bei Hochwasser im westlichen Gewässerabschnitt
- Erhalt des vorhandenen Gewässersystems
- Neugestaltung und Neutrassierung des Gewässerverlaufes mit Minimierung von Ufer- und Sohlensicherungen für den östlichen Gewässerabschnitt
- Infiltration der begrenzten Abflussmengen im Verlauf des östlichen Gewässerabschnittes
- Minimierung der Abtragsmassen
- Vermeidung der Beeinträchtigung des Grundwassers

2.2 Zielsystem für den Variantenvergleich

Für die Ermittlung des Zielsystems wurden verschiedene Kriterien für das System der Wasserhebung zusammengestellt und verglichen. Die Kriterien wurden anhand der beschriebenen wasserwirtschaftlichen Ziele von Kap. 2 erstellt. Diese Kriterien fließen als Wichtungsfaktor in der Bestimmung des Zielsystems ein.

Folgende Kriterien wurden aufgestellt:

1. Förderleistung
2. Geschiebezufuhr
3. Störanfälligkeit im Betrieb
4. Bedienungsaufwand / Automatisierung
5. Wartung / Verschleiß
6. Feinregulierung
7. Einpassung in die Landschaft
8. Baukosten
9. Betriebsfähigkeit bei Schäden / Vandalismus
10. Betriebs- und Unterhaltungskosten
11. Hochwassersicherheit
12. Erlebbarkeit der Anlage

2.3 Technische Beschreibung der Varianten

2.3.1 Variante 0: Ist-Zustand

Die Variante stellt den derzeitigen Zustand dar.

Technische Beurteilung:

Der heutige Zustand ermöglicht die Umsetzung der Planungsziele nicht.

2.3.2 Variante 1: Pumpsystem

Variante 1 sieht ein Pumpsystem vor. Hierbei wird nochmals unterschieden zwischen Variante 1a und 1b. Variante 1a stellt ein System mit Anschluss an das vorhandene Stromnetz dar. Bei Variante 1b wird der Strom aus einer Photovoltaikanlage gewonnen.

Das System für Variante 1a und 1b kann über einen Pumpenschacht seitlich des vorhandenen Einmündungsbauwerkes realisiert werden. Für den Pumpenschacht werden zwei Pumpen angeordnet. Diese werden im 24h-Wechsel betrieben. Mit einer Rohrleitung kann der Anschluss an das vorhandene Überführungsbauwerk erfolgen.

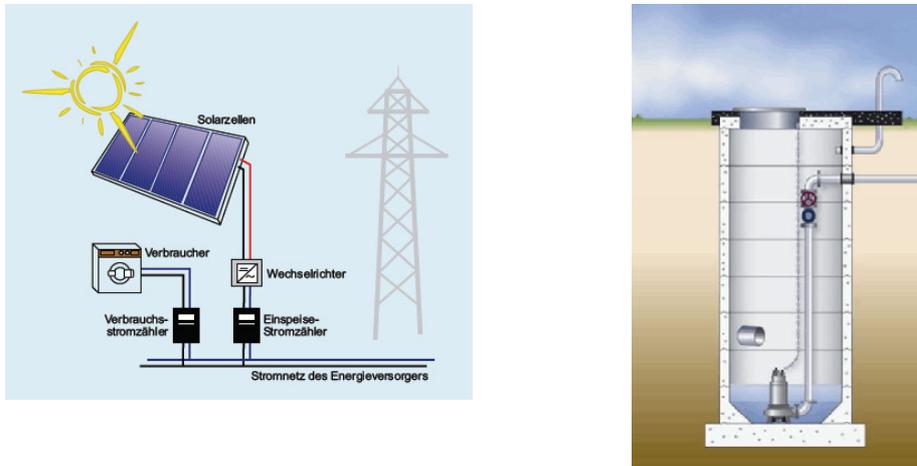


Abbildung 1 Pumpensystem mit Photovoltaikanlage

Für Variante 1b sind zusätzliche Flächen für das Aufstellen der Photovoltaikanlage von ca. 180,00 m² notwendig. Eine ausreichende Energiezufuhr kann nur innerhalb der Sommermonate gewährleistet werden. In den Wintermonaten und nachts ist der Betrieb zusätzlich mit Fremdenergie notwendig.

Technische Beurteilung:

Die Variante weist eine einfache Bauweise, keine Auswirkungen auf die Hochwassersituation, eine automatische Regulierung des Zu- und Abflusses sowie geringe Investitionskosten, außer bei der Photovoltaikanlage, auf. Für die Anlage sind intensive Unterhaltungs- und Wartungsarbeiten sowie Fremdenergiezufuhr notwendig. Die Variante besitzt kein Potenzial, die beabsichtigte Steigerung der Attraktivität des wasserbaulich interessanten Standortes umzusetzen, da die gesamte wasserbauliche Technik für die Wasserhebung in einem Pumpenschacht für die Bevölkerung nicht erlebbar wird. Vor den gegebenen Randbedingungen ist die Variante technisch möglich. Die Variante kommt in die engere Wahl.

2.3.3 Variante 2: Hydraulischer Widder

Der hydraulische Widder ist ein Hebesystem, das seine Energie aus dem Wasser bezieht. Für die Anlage wird ein entsprechendes Energie-

gefälle benötigt. Das Energiegefälle wird aus einem Tribschacht erzeugt. Alternativ kann das Gewässer eingestaut werden, um das erforderliche Energiegefälle zu erzeugen. Zur Förderung des erforderlichen Abflusses aus der vorhandenen Höhen- und Abflusssituation wird bei Mittelwasser der Abfluss im Frechener Bach benötigt, um die erforderliche Zuflussmenge zum östlichen Gewässerabschnitt zu heben. Hier wäre eine Anzahl von ca. 14 Widdern erforderlich, um den Zielzufluss zum östlichen Gewässerabschnitt zu gewährleisten. Zur Erzeugung des Energiegefälles und der Aufnahme der Widder sind bauliche Veränderungen am vorhandenen Einmündungsbauwerk notwendig. Hier wären ein Tribschacht bzw. der Aufstau des Gewässers notwendig. Des Weiteren muss ein Widderschacht zur Aufnahme der Widder mit einer Anschlussleitung zum Überführungsbauwerk hergestellt werden. In der Abbildung 2 ist eine schematische Skizze eines Widdersystems dargestellt.

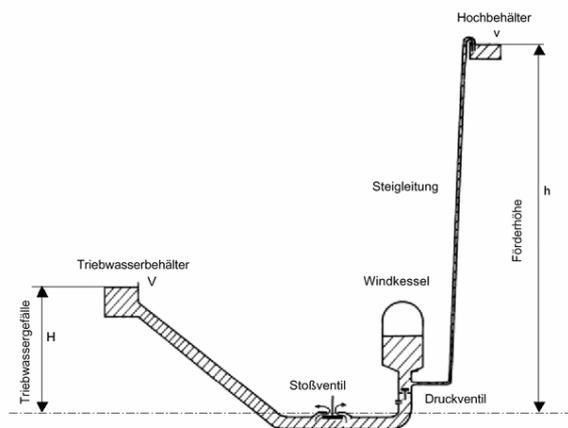


Abbildung 2 Funktionssystem Hydraulischer Widder

Technische Beurteilung:

Die Variante ist von keiner Fremdenergie abhängig. Weiterhin sind nur geringe Betriebs- und Unterhaltungsmaßnahmen notwendig. Die Widder besitzen eine hohe Lebensdauer. Nachteilig für das System sind die hohen Investitionskosten und der hohe Lärmpegel durch das Schlagen von Metall auf Metall. Das System kann weiterhin nicht automatisch gesteuert werden. Aus Gründen des Lärmschutzes und der geringen Förderleistung der Widder kommt die Variante nicht in die engere Wahl.

2.3.4 Variante 3: Wasserrad

Die Variante 3a (oberschlächtiges Wasserrad) wird hier nicht weiter betrachtet. Für die Funktion des oberschlächtigen Wasserrades sind Fallhöhen von über 2,00 m notwendig. Die vorhandenen Gefälle- und

Geländeverhältnisse lassen im Frechener Bach eine Fallhöhe von ca. 0,80 m zu und im südlichen Randkanal liegen die Fallhöhen bei ca. 0,20 m (Sohlengefälle 1‰). Damit scheidet diese Bauart aus.

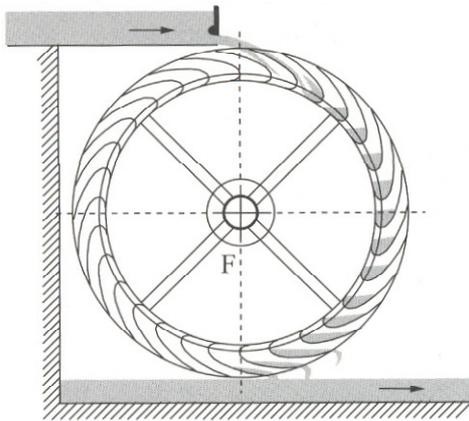


Abbildung 3 Prinzip Oberschlächtiges Wasserrad

Variante 3b stellt das unterschlächtige Wasserrad dar. Das System funktioniert bei Fallhöhen von ca. 0,70 m bis 2,00 m. Bei ausreichendem Abfluss können die Fallhöhen auch geringer sein. Für die vorhandenen Abflussmengen wird ein unterschlächtiges Wasserrad mit Kropfgerinne gewählt. Das Wasserrad wird über eine Welle mit Getriebe mit einem separaten Schöpfrad verbunden. Die Schöpfmengen können über ein Getriebe gesteuert werden. Zum Betreiben des Schöpfrades ist im Normalfall keine Fremdenergie notwendig. Das System wird seitlich zum bestehenden Einmündungsbauwerk angeordnet. Mit geringen baulichen Veränderungen im Einmündungsbauwerk wird der Gewässerverlauf bei Mittelwasser umgelenkt. Somit werden die bestehenden Betriebszustände bei Hochwassersituationen beibehalten. Die Anbindung an das Überführungsbauwerk wird über ein offenes Verbindungsgerinne hergestellt.

Technische Beurteilung:

Die Wasserhebung erfolgt über ein einfaches System bestehend aus Wasserrad und Schöpfrad. Das System benötigt keine Fremdenergie im Normalfall. Bei Bedarf kann das Schöpfrad abgeschaltet bzw. kurzzeitig mit Fremdenergie betrieben werden. Hier sind geringe Wartungs- und Unterhaltungskosten notwendig. Die Variante besitzt eine lange Lebensdauer. Eine automatische Regulierung kann erfolgen. Die Variante besitzt ein sehr hohes Potenzial, die beabsichtigte Steigerung der Attraktivität des wasserbaulich interessanten Standortes umzusetzen, da die gesamte wasserbauliche Technik für die Wasserhebung für die

Bevölkerung erlebbar wird. Vor den gegebenen Randbedingungen ist die Variante technisch möglich. Die Variante kommt in die engere Wahl.

2.3.5 Variante 4: Anhebung Gewässersohle

Zur Ausführung dieser Variante ist die Gewässersohle zum Anschluss an das Überführungsbauwerk um ca. 1,26 m im Einmündungsbereich anzuheben. Daraus ergeben sich bauliche Veränderungen am Einmündungsbauwerk, am Gewässerverlauf und -profil oberhalb des Einmündungsbauwerkes. Dadurch wird der vorhandene Retentionsraum verkleinert und die Hochwassersituation verschlechtert sich. Das Ausuferndes Frechener Baches erfolgt schon bei kleinen Hochwasserereignissen.

Technische Beurteilung:

Die Hochwassersicherheit ist bei dieser Variante gegenüber dem Ist-Zustand deutlich verschlechtert, da dem System Hochwasserschutzraum im Gewässerprofil genommen wird. Vorhandene Betriebseinrichtungen müssen überplant werden, da sich die Vorflutverhältnisse verschlechtern. Die Variante führt insgesamt zu einer nicht akzeptablen Verschlechterung der Situation am Frechener Bach in Bezug auf Hochwasserschutz und Betrieb. Die Variante kommt nicht in die engere Wahl.

2.3.6 Variante 5: System Stauwehr

Bei dem System Stauwehr erfolgt ein Dauerstau wie bei Ausübung des Wasserrechts für den Stüttgenhof. Dieser Stau reicht ca. bis zum Durchlass BAB A1 und führt zu dauerhaften Wasserständen, die heute etwa dem 10-jährlichen Hochwasserstand entsprechen.

Durch den Dauerstau geht bestehender Retentionsraum verloren. Bei Hochwasserereignissen kann eine Entlastung in den südlichen Randkanal kaum erfolgen, da auftretende Hochwasserereignisse im Frechener Bach und im südlichen Randkanal durch die geringe räumliche Lage zueinander im selben Zeitraum erfolgen. Dadurch erfolgt ein rückgestauter Abfluss. Das Ausuferndes Frechener Baches erfolgt schon bei kleinen Hochwasserereignissen, wie bei Variante 4.

Technische Beurteilung:

Die Hochwassersicherheit ist bei dieser Variante gegenüber dem Ist-Zustand deutlich verschlechtert, da dem System Hochwasserschutzraum im Gewässerprofil genommen wird. Vorhandene Betriebseinrichtungen müssen überplant werden, da sich die Vorflutverhältnisse verschlechtern. Die Variante führt insgesamt zu einer nicht akzeptablen Verschlechterung der Situation am Frechener Bach in Bezug auf Hochwasserschutz und Betrieb. Die Variante kommt nicht in die engere Wahl.

2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Varianten, die in die engere Wahl (Pumpensystem und Wasserrad) kommen, folgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Grundlage eine Kostenvergleichsrechnung gemäß LAWA 2005.

Durch ein rein monetäres Bewertungsverfahren wie beispielsweise die Kostenvergleichsrechnung kann eine eindeutige Reihenfolge der ökonomischen Effizienz verschiedener Varianten bestimmt werden und somit die kostenmäßig günstigste Variante festgelegt werden. Im Rahmen einer Kostenvergleichsrechnung erfolgt die Gegenüberstellung der monetär bewerteten Wirkungen der Varianten ohne Einbeziehung der Nutzenseite in den Vergleich. Damit impliziert die Anwendung dieser Methode die Nutzengleichheit der verschiedenen Alternativen. Diese Anforderung an das Verfahren ist hier gegeben.

Die Zielgröße der nachfolgenden monetären Betrachtung war der jeweilige Projektkostenbarwert der untersuchten Variante. Dabei wurden ausgehend von den Investitions- bzw. Herstellkosten, Reinvestitionskosten sowie den jährlichen Betriebskosten die Projektkostenbarwerte der einzelnen Varianten bestimmt.

Als standardmäßiges Verfahren zur monetären Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen wurde hier eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt. Genauere Angaben zu diesem Bewertungsverfahren sind den LAWA-KVR-Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen (LAWA, 2005) zu entnehmen. Die Kostenvergleichsrechnung setzt sich prinzipiell aus der Ermittlung sämtlicher relevanter Kosten, der finanzmathematischen Kostenaufbereitung, der Kostengegenüberstellung der Projektkostenbarwerte und Jahreskosten sowie einer abschließenden Gesamtbeurteilung zusammen.

Der zu betrachtende Untersuchungszeitraum wird durch die wirtschaftliche Lebensdauer des Projektes begrenzt. Deren Ende ist erreicht, wenn die anfallenden Kosten den erzielbaren Nutzen zu übersteigen beginnen. Im Rahmen dieses Projektes orientiert sich die Untersuchungsdauer an der längsten Nutzungsdauer der einzelnen Maßnahmenbestandteile. Hier ist gemäß den LAWA-KVR-Leitlinien zweckmäßigerweise eine Untersuchungsdauer von 60 Jahren anzusetzen.

Der Bezugszeitpunkt für die Kostenvergleichsrechnung, der gleichbedeutend mit dem kalkulatorischen Zeitpunkt der Inbetriebnahme der „Anlage“ ist, wurde auf den jetzigen Zeitpunkt festgelegt. Weiterhin wurde die Annahme getroffen, dass alle Investitionen sofort zum jetzigen Zeitpunkt getätigt werden, d.h. die Investitionsphase beträgt 0 Jahre. Die gesamte Kostenvergleichsrechnung basiert hier auf Nettokosten, d.h.

ohne die derzeit gültige Mehrwertsteuer von 19 %. Da sich ein Projekt aus verschiedenen Maßnahmenbestandteilen mit unterschiedlich langer wirtschaftlicher Lebensdauer zusammensetzt, sind innerhalb des Untersuchungszeitraumes einzelne Maßnahmenteile zu ersetzen und die daraus resultierenden Reinvestitionskosten im Kostenvergleich rechnerisch zu berücksichtigen.

Der planungsbezogene gesamtwirtschaftliche Zinssatz ergibt sich aus den Produktionsmöglichkeiten der Zukunft in Verbindung mit den gesellschaftlichen Wertvorstellungen über die natürlichen Ressourcen und Lebensbedingungen künftiger Generationen. Dieser Zinssatz bezieht sich ausschließlich auf die Beurteilung der langfristigen Wirtschaftlichkeit wasserwirtschaftlicher Infrastrukturmaßnahmen. Gemäß den LAWA-Leitlinien wird empfohlen, den Kostenvergleichsrechnungen einen langfristigen Zinssatz von real 3 % p.a. als Standardwert zugrunde zu legen. Gemäß den Angaben der LAWA-KVR-Leitlinien sollte zunächst eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden, die sowohl bei den laufenden Kosten wie auch bei den Kosten für Reinvestitionen keine Preissteigerung vorsieht.

Der zeitliche Anfall von Kosten erstreckt sich von der Planung über die Bauausführung bis hin zum Ende der Nutzungsdauer einer Anlage (siehe nachfolgende Abbildung). Würde man alle diese Kosten zum jeweiligen Zeitpunkt ihres Auftretens auf einer Zeitachse auftragen, so erhielte man einen nahezu kontinuierlichen Kostenstrom. Da zu verschiedenen Zeitpunkten anfallende Kosten unterschiedliche Wertschätzungen besitzen, dürfen diese nicht ohne weiteres addiert werden. Sie müssen daher auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt wertmäßig umgerechnet werden (dynamische Vorgehensweise). Den Wert einer nominalen Kostengröße im Bezugszeitpunkt, der ein Projekt charakterisiert, nennt man Projektkostenbarwert dieser Zahlung. Zeitlich vor dem Bezugspunkt liegende Zahlungen sind aufzuzinsen (Akkumulation), später anfallende abzuzinsen (Diskontierung).

Der Projektkostenbarwert kann definiert werden als diejenige Geldsumme, die zum Startpunkt des Projektes vorhanden sein muss, um alle Investitions-, Reinvestitions- und laufenden Betriebsaufwendungen kostenmäßig abzudecken, die über den gesamten Untersuchungszeitraum des Projektes anfallen.

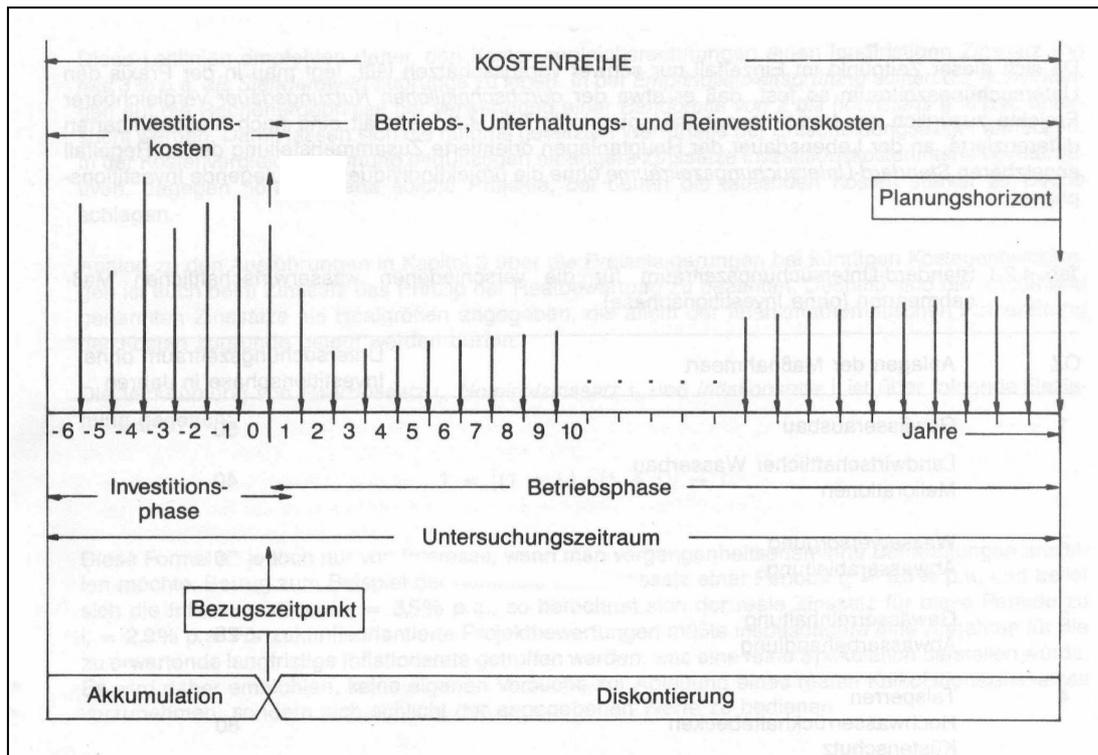


Abbildung 4 Veranschaulichung einiger Grundbegriffe zur zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen (LAWA, 2005)

Die notwendige zeitliche Gewichtung der Nominalkosten erfolgt mit Hilfe von finanzmathematischen Umrechnungsfaktoren, die durch den Untersuchungszeitraum (Kalkulationsperiode) und den Zinssatz bestimmt werden (siehe LAWA-KVR Leitlinien, Anlage 2).

Die relative Vorteilhaftigkeit einer Maßnahme, d.h. das Ausmaß der Kostenersparnis einer Variante gegenüber den anderen Alternativen, kann dann durch verschiedene Arten des Kostenvergleichs beurteilt werden. Mit dieser Vorgehensweise ist es also möglich, die verschiedenen Lösungsvarianten auf der Basis einer vergleichbaren Kostengröße einander gegenüberzustellen.

2.5 Bewertung der Varianten

Für die Ermittlung des Zielsystems wurden verschiedene Kriterien für das System der Wasserhebung zusammengestellt und verglichen. Diese Kriterien fließen als Wichtungsfaktor in der Bestimmung des Zielsystems ein.

Folgende Kriterien wurden aufgestellt:

1. Förderleistung
2. Geschiebezufuhr
3. Störanfälligkeit im Betrieb
4. Bedienungsaufwand / Automatisierung
5. Wartung / Verschleiß
6. Feinregulierung
7. Einpassung in die Landschaft
8. Baukosten
9. Betriebsfähigkeit bei Schäden / Vandalismus
10. Betriebs- und Unterhaltungskosten
11. Hochwassersicherheit
12. Erlebbarkeit der Anlage

In Tabelle 1 sind die Kriterien zueinander verglichen worden und der Wichtungsfaktor wurde bestimmt.

Tabelle 1 Kriterien und Vergleich zur Bestimmung des Wichtungsfaktors

Kriterium A Kriterium B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0	2	0	0	0	2	2	2	2	2	0
2	2		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	0	1		0	0	1	0	1	1	1	2	0
4	2	1	2		1	2	0	0	1	1	2	0
5	2	1	2	1		1	0	1	1	1	2	0
6	2	1	1	0	1		2	2	1	2	2	1
7	0	0	2	2	2	0		1	2	1	2	2
8	0	0	1	2	1	0	1		2	2	2	2
9	0	0	1	1	1	1	0	1		1	2	2
10	0	0	1	1	1	0	1	0	1		2	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2
12	2	0	2	2	2	1	0	0	0	0	0	
Summe	10	4	15	10	10	7	8	10	13	13	20	13
WF	7.5	3.0	11.3	7.5	7.5	5.3	6.0	7.5	9.8	9.8	15.0	9.8

In Tabelle 2 ist das Zielsystem für die verschiedenen Hebersysteme dargestellt. Die Zielerreichungsgrade geben die Bewertung der einzelnen Kriterien bezogen auf das Hebesystem dar. Für die Zielgrade wurde folgende Wertung vorgeben:

- Zielgrad 1 geringe Zielerreichung
- Zielgrad 5 hohe Zielerreichung
- Zielgrad 0 keine Betrachtung

Tabelle 2 Zielmatrix Hebesystem

Kriterium	Wichtungsfaktor (WF)	Pumpsystem				Hydraulischer Widder		Wasserrad / Schöpfrad				Anhebung Sohle		Stauwehr	
		1a		1b		2		3a		3b		4		5	
		ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG	ZG	WF x ZG
1	7.5	5	37.6	5	37.6	3	22.6	0	-	4	30.1	5	37.6	5	37.6
2	3.0	4	12.0	4	12.0	4	12.0	0	-	4	12.0	5	15.0	1	3.0
3	11.3	4	45.1	4	45.1	5	56.4	0	-	5	56.4	5	56.4	5	56.4
4	7.5	5	37.6	5	37.6	4	30.1	0	-	5	37.6	5	37.6	5	37.6
5	7.5	2	15.0	3	22.6	5	37.6	0	-	5	37.6	5	37.6	5	37.6
6	5.3	5	26.3	5	26.3	2	10.5	0	-	4	21.1	5	26.3	5	26.3
7	6.0	5	30.1	5	30.1	4	24.1	0	-	4	24.1	5	30.1	5	30.1
8	7.5	5	37.6	2	15.0	2	15.0	0	-	2	15.0	1	7.5	5	37.6
9	9.8	4	39.1	4	39.1	4	39.1	0	-	4	39.1	5	48.9	5	48.9
10	9.8	3	29.3	1	9.8	5	48.9	0	-	4	39.1	2	19.5	2	19.5
11	15.0	5	75.2	5	75.2	5	75.2	0	-	5	75.2	1	15.0	1	15.0
12	9.8	1	9.8	1	9.8	1	9.8	0	-	4	39.1	1	9.8	1	9.8
Summe		394.7		360.2		381.2		-		426.3		341.4		359.4	
Rang		2		4		3		keine Wertung		1		6		5	

Aus der Zielmatrix erfolgt als Vorzugsvariante die Variante 3b. Die Variante wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Betrieb bei Mittelwasser ohne Fremdenergie
- Erlebbarkeit
- Hohe Lebensdauer
- Auswirkungen auf Hochwasserereignisse (gering)
- Wirtschaftlichkeit

Auf den Grundlagen der im Kap. 2.4 beschriebenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde für die Varianten 1a (Pumpensystem) und 4 (Wasserrad / Schöpfrad) eine Kostenvergleichsrechnung erstellt. In der Tabelle 3 ist die Kostenvergleichsrechnung für Variante 1a und in Tabelle 4 die Kostenvergleichsrechnung für Variante 4 dargestellt.

Tabelle 3 Kostenvergleichsrechnung für Variante 1a (Pumpensystem)

Zinssatz i		2,00%	3,00%	4,00%
Untersuchungszeitraum n	60 Jahre			
Bezugszeitpunkt	0 Jahre			
Investitionsphase	0 Jahre			
Betriebsphase	60 Jahre			
Investitionskosten Netto:	(zum Bezugszeitpunkt)	35.000	35.000	35.000
Reinvestitionskosten RIK:				
1: Bauwerke aus Beton	Zeitpunkt	DFAKE (2;60)	DFAKE (3;60)	DFAKE (4;60)
18.000	30 Jahre	9.937	7.416	5.550
2: Pumpen	Zeitpunkt	DFAKE (2;60)	DFAKE (3;60)	DFAKE (4;60)
19.000	10 Jahre	15.587	14.138	12.836
	20 Jahre	12.786	10.520	8.671
	30 Jahre	10.489	7.828	5.858
	40 Jahre	8.605	5.825	3.957
	50 Jahre	7.059	4.334	2.674
jährliche Betriebskosten Netto:		DFAKR (2;60)	DFAKR (3;60)	DFAKR (4;60)
8.420		292.687	233.028	190.490
Projektkostenbarwert in €:		392.150	318.088	265.036
$\Delta JK = \Delta PKBW * KFAKR (i;n)$		KFAKR (2;60)	KFAKR (3;60)	KFAKR (4;60)
Jahreskosten in €/a:		11.281	11.493	11.715

Tabelle 4 Kostenvergleichsrechnung für Variante 4 (Wasserrad / Schöpftrad)

Zinssatz i		2,00%	3,00%	4,00%
Untersuchungszeitraum n	60 Jahre			
Bezugszeitpunkt	0 Jahre			
Investitionsphase	0 Jahre			
Betriebsphase	60 Jahre			
Investitionskosten Netto:	(zum Bezugszeitpunkt)	302.000	302.000	302.000
Reinvestitionskosten RIK:				
jährliche Betriebskosten Netto:		DFAKR (2;60)	DFAKR (3;60)	DFAKR (4;60)
2.000		69.522	55.351	45.247
Projektkostenbarwert in €:		371.522	357.351	347.247
$\Delta JK = \Delta PKBW * KFAKR (i;n)$		KFAKR (2;60)	KFAKR (3;60)	KFAKR (4;60)
Jahreskosten in €/a:		10.688	12.912	15.349