



## **BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL**

Fachbereich D: Bauingenieurwesen, Maschinenbau, Sicherheitstechnik

Abteilung: Bauingenieurwesen

Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff

---

### **Diplomarbeit**

# **Technische und wirtschaftliche Machbarkeit der nachträglichen Integration einer Wasserkraftanlage in die Heilenbecke Talsperre**

**Daniela Henning, Matr.Nr. 0033155**

**Wuppertal, Oktober 2006**

---







## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Werken wörtlich oder sinngemäß übernommenen Gedanken sind unter Angabe der Quellen gekennzeichnet.

Ich versichere, dass ich bisher keine Prüfungsarbeit mit gleichem oder ähnlichem Thema bei einer Prüfungsbehörde oder anderen Hochschule vorgelegt habe.

Wuppertal, im Oktober 2006

*Daniela Henning*



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Bei dem Lehrstuhl für Wasserwirtschaft und Wasserbau der Bergischen Universität Wuppertal unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff möchte ich mich für die Annahme meines Diplomarbeitsthemas bedanken. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. M. Oertel, der mir seitens des Lehrstuhles als Betreuer jederzeit hilfreich zur Seite gestanden hat.

Für die Bereitstellung des Diplomarbeitsthemas bin ich vor allem Herrn Dipl.-Ing. Ch. Heitefuss sowie auch Prof. Dr. G. Morgenschweis vom Ruhrverband zu Dank verpflichtet. Außerdem möchte ich mich bei einigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Ruhrverbands für ihre umfangreiche Unterstützung in Form von ausführlichen Auskünften, Hinweisen und Materialien ganz herzlich bedanken. Mein besonderer Dank gebührt dabei Herrn Dipl.-Ing. M. Redeker, der mir während der Ausarbeitungszeit der Diplomarbeit mit zahlreichen wissenschaftlichen Ratschlägen zur Seite stand und damit stets zur Verbesserung der Arbeit beitrug.

Des Weiteren danke ich an dieser Stelle dem Heilenbecke-Wasserverband, den Stadtwerken Altena GmbH, den Lister- und Lennekraftwerken sowie dem Staatlichen Umweltamt für die Zusammenarbeit und Bereitstellung der erforderlichen Daten.

Auf diesem Wege möchte ich mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir während des gesamten Studiums und gerade in der letzten Zeit viel Rücksicht und Verständnis entgegen brachten.



## Kurzfassung

Die Nutzung der Wasserkraft zur Gewinnung von Energie ist seit Jahrzehnten eine bewährte Technik. Wasserkraft ist umweltfreundlich und regenerativ. Im Interesse des globalen Klimaschutzes und mit Hilfe neuer Entwicklungen, gerade im maschinen- und elektrotechnischen Bereich, finden auch Klein- und Kleinstwasserkraftanlagen wieder mehr Beachtung.

Die Heilenbecke Talsperre, eine der ältesten und kleinsten Talsperren in Nordrhein-Westfalen, sollte im Zuge der Wiedereinführung des Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG/2004) einer Machbarkeitsstudie unterzogen werden.

Dazu wurde aufgrund der hydrologischen und örtlichen Randbedingungen eine Integration einer Wasserkraftanlage mit einer Durchströmturbine und einer Pumpenturbine an der Heilenbecke Talsperre genauer untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung besagt, dass aus technischer Sicht beide Turbinen umsetzbar sind. Für die Berechnung der möglichen Jahresenergieeinkommen dienten aufgrund des unterschiedlichen Betriebverhaltens der Turbinenarten zwei verschiedene Verfahren. Zum Einen kam bei der Untersuchung einer Durchströmturbine die Betrachtung der Abflussdauerlinie zum Einsatz, im Falle einer Pumpenturbine simulierte zum Anderen ein Wasserwirtschaftsplan die Bewirtschaftung der Talsperre.

Unter Einbeziehung einer Einspeisevergütung nach dem EEG wurde die Wirtschaftlichkeit einer Wasserkraftanlage untersucht. Es zeigt sich, dass sich beide Turbinenarten auch wirtschaftlich rechnen. Im direkten Vergleich stellt eine Pumpenturbine dabei die günstigere Auswahlvariante dar.

Grundlegend lässt sich also sagen, dass eine Wasserkraftanlage an der Heilenbecke Talsperre mit einer Leistung von etwa 20 kW in jeder Hinsicht umsetzbar ist. Vor allem unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit und einer nachhaltigen Energieversorgung mittels regenerativer Energien ist eine Umsetzung zudem noch äußerst sinnvoll.



## Abstract

The use of hydropower to generate electricity has been a reliable technology since many decades. Hydropower is environmentally-friendly and renewable. With view upon the global climate conservation and due to the aid of new developments, in particular in the range of machinery and electrical engineering, micro hydropower facilities are gaining more and more attention.

A feasibility study has been carried out on the Heilenbecke dam, one of the oldest and smallest dams in Northrhine-Westfalia, based on the new renewable energies act - the EEG (2004).

Taking into account the hydrological and site-specific conditions, a hydropower facility using a crossflow turbine and a pump turbine, has been examined in detail. The result of this investigation shows, that from the technical point of view both turbines can be realized. Due to the different turbine operation, two different ways of calculating the potential yearly energy output were used. The float duration curve was used for the crossflow turbine. In the case of the pump turbine a storage management plan was applied.

Based on an fee according to the EEG the economic profitability of a hydropower facility was calculated. It turned out that both turbines are economic. But if the two different turbines are compared directly, the pump turbine is the more economical version.

In general it can be said that a hydropower facility at the Heilenbecke dam, with a power output of about 20 kW can be realized in any way. Based on the cost-benefit-analysis and a sustainable supply of energy by means of renewable energies a realisation is definitely worth while.



## Vorwort

Das Element Wasser war immer schon ein wichtiger Bestandteil der menschlichen Zivilisation. Wasser ist lebensnotwendig und die Versorgung mit Wasser wird in unserer heutigen Zeit als selbstverständlich empfunden. Ebenso gilt die Versorgung mit Energie als grundlegend.

Doch seit einigen Jahren treten Begriffe wie „Umweltschutz“, „steigende Energiekosten“ und „drohender Energiemangel“ immer mehr in den Vordergrund und auch in das Bewusstsein der Bevölkerung. Angesichts dieser und weiterer Gründe bemüht man sich inzwischen auch, bisher wenig genutzte Energiereserven heranzuziehen, um den Energiebedarf zu decken. Hauptsächlich dienen fossile Brennstoffe der Deckung des Energiebedarfs. Zu den fossilen Energieträgern gehören Erdöl, Erdgas und Kohle. Im Gegensatz dazu stehen die regenerativen Energiereserven, die langfristig die fossilen Energieträger ersetzen werden, da diese nur in begrenztem Umfang auf der Erde zur Verfügung stehen und ihr Einsatz ökologisch problematisch ist. Regenerative Energiequellen gelten dagegen als Zukunftsenergien. Darunter fallen u. a. Biomasse, Sonnenenergie, Windkraft und die Wasserkraft.

Wasserkraft ist dabei bis heute eine der bedeutendsten Energiequellen. Laut einer Studie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) nimmt die Wasserkraft nach der Windenergie den zweithöchsten Anteil unter den erneuerbaren Energien ein.

Schon seit Jahrzehnten tragen Wasserkraftanlagen umweltfreundlich zur Energieversorgung bei. Steigende Strompreise und die Einführung des „Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich“ (BMU, 2004) sind Anreize, Wasserkraftanlagen neu zu errichten oder schon bestehende Anlagen zu modernisieren.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>III</b>
<b>Danksagung</b>	<b>V</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Vorwort</b>	<b>XI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XXI</b>
<b>I Einleitung</b>	<b>1</b>
1 Ziel und Aufbau der Diplomarbeit	3
<b>2 Wasserkraft</b>	<b>5</b>
2.1 Energie aus Wasserkraft . . . . .	5
2.2 Vor- und Nachteile . . . . .	6
<b>II Grundlagenermittlung – Heilenbecke Talsperre</b>	<b>9</b>
<b>3 Bauliche Grundlagen</b>	<b>11</b>
3.1 Geschichte und heutige Nutzung der Talsperre . . . . .	11
3.2 Bauwerkskonstruktion (ursprünglich) . . . . .	12
3.3 Durchgeführte Sanierungen . . . . .	13
3.4 Betriebseinrichtungen . . . . .	14
3.4.1 Hochwasserentlastung . . . . .	14

3.4.2	Grundablässe	15
3.4.3	Rohwasserentnahme	16
<b>4</b>	<b>Hydrologische Grundlagen</b>	<b>17</b>
4.1	Einzugsgebiet	17
4.2	Stauraum	17
4.3	Zuflüsse	18
4.4	Abgabe	20
4.4.1	Rohwasserentnahme	20
4.4.2	Mindestwasserabgabe	21
4.4.3	Abfluss	21
<b>5</b>	<b>Energetische Grundlagen</b>	<b>23</b>
5.1	Stauhöhen	23
5.2	Strom	24
5.2.1	Netzanschluss	24
5.2.2	Strombedarf der Trinkwasseraufbereitungsanlage	24
5.2.3	Inselbetrieb - Parallelbetrieb	25
<b>6</b>	<b>Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien</b>	<b>27</b>
6.1	Allgemeines	27
6.2	Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis zu 500 kW	28
6.3	Kriterien für die Beurteilung der Verbesserung des ökologischen Zustandes	29
6.4	Heilenbecke Talsperre	31
6.5	Weitere Förderung von Wasserkraftanlagen	31
<b>7</b>	<b>Turbinen</b>	<b>33</b>
7.1	Turbinen an der Heilenbecke Talsperre	33
7.2	Durchströmturbine	34
7.2.1	Allgemeines	34
7.2.2	Leistungsverbesserung mittels eines Saugrohres	35
7.3	Francis-Spiralturbine	35
7.3.1	Allgemeines	35
7.3.2	Leistungsverbesserung mittels eines Frequenzumrichters	36
7.4	Pumpturbine	37
7.5	Abgrenzungen und Auswahl – Heilenbecke Talsperre	38
<b>8</b>	<b>Erfahrungen an anderen Talsperren</b>	<b>39</b>

---

8.1	Ennepetalsperre – Durchströmturbine . . . . .	39
8.1.1	Die Ennepetalsperre . . . . .	39
8.1.2	Die Wasserkraftanlage . . . . .	40
8.1.3	Erfahrungen . . . . .	41
8.2	Fuelbecke Talsperre – Pumpenturbine . . . . .	43
8.2.1	Die Fuelbecke Talsperre . . . . .	43
8.2.2	Die Wasserkraftanlage . . . . .	43
8.2.3	Erfahrungen . . . . .	45
<b>III</b>	<b>Vorplanerische Berechnungen</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Einsatz einer Durchströmturbine</b>	<b>49</b>
9.1	Mögliche Standorte . . . . .	49
9.1.1	Standort 1 . . . . .	49
9.1.2	Standort 2 . . . . .	51
9.1.3	Standort 3 . . . . .	51
9.1.4	Standort 4 . . . . .	51
9.1.5	Standort 5 . . . . .	52
9.1.6	Standort 6 . . . . .	52
9.2	Hydraulische Berechnungen . . . . .	53
9.2.1	Bruttofallhöhe . . . . .	53
9.2.2	Nettofallhöhe – Variante I . . . . .	54
9.2.3	Nettofallhöhe – Variante II . . . . .	56
9.3	Bestimmung der Ausbauwassermenge $Q_a$ . . . . .	58
9.4	Energetische Berechnungen . . . . .	59
9.4.1	Jahresenergieerzeugung – Variante I . . . . .	60
9.4.2	Jahresenergieerzeugung – Variante II . . . . .	61
<b>10</b>	<b>Einsatz einer Pumpenturbine</b>	<b>63</b>
10.1	Mögliche Standorte . . . . .	63
10.1.1	Standort 1 . . . . .	63
10.1.2	Standort 2 . . . . .	65
10.1.3	Standort 3 . . . . .	65
10.1.4	Standort 4 . . . . .	66
10.1.5	Standort 5 . . . . .	66
10.2	Bestimmung der Ausbauwassermenge $Q_a$ . . . . .	67
10.3	Hydraulische Berechnungen . . . . .	68

10.3.1 Nettofallhöhe – Variante III . . . . .	68
10.3.2 Nettofallhöhe – Variante IV . . . . .	71
10.4 Energetische Berechnungen . . . . .	73
10.4.1 Jahresenergieerzeugung – Variante III . . . . .	74
10.4.2 Jahresenergieerzeugung – Variante IV . . . . .	76
<b>11 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen</b>	<b>79</b>
11.1 Kostenermittlung . . . . .	79
11.2 Kostenvergleich . . . . .	80
11.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung . . . . .	81
11.3.1 Jahresarbeit . . . . .	81
11.3.2 Komplette Einspeisung nach dem EEG . . . . .	82
11.3.3 Eigenbedarfsdeckung und Einspeisung nach dem EEG . . . . .	83
11.4 Amortisation . . . . .	84
<b>12 Wahl einer Turbine und eines Standortes</b>	<b>85</b>
<b>13 Vorzugsvariante</b>	<b>87</b>
<b>IV Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>93</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>103</b>
<b>V Anhang</b>	<b>105</b>
<b>A Grundlagen</b>	<b>107</b>
A.1 Zufluss an der Heilenbecke Talsperre . . . . .	108
A.1.1 Berechnung des Zuflusses . . . . .	108
A.1.2 Zufluss – Ganglinie . . . . .	110
A.1.3 Zufluss – Monatsmittelwerte . . . . .	110
A.2 Rohwasserentnahme an der Heilenbecke Talsperre . . . . .	111
A.2.1 Rohwasserentnahme – Ganglinie . . . . .	111
A.2.2 Rohwasserentnahme – Monatsmittelwerte . . . . .	111
A.3 Abfluss an der Heilenbecke Talsperre . . . . .	112
A.3.1 Umrechnung der Abflussdaten . . . . .	112
A.3.2 Abfluss – Ganglinie . . . . .	113
A.3.3 Abfluss – Monatsmittelwerte . . . . .	113
A.3.4 Gewässerkundliches Jahrbuch . . . . .	114

A.3.5	Überschreitungsdauerwerte (1991-2005) . . . . .	116
A.3.6	Überschreitungsdauerlinie (1991-2005) . . . . .	118
A.4	Stauhöhen an der Heilenbecke Talsperre . . . . .	119
A.4.1	Stauhöhenganglinie (1991-2005) . . . . .	119
A.4.2	Stauhöhen – Monatsmittelwerte . . . . .	119
A.4.3	Stauhöhendauerwerte (1991-2005) . . . . .	120
A.4.4	Stauhöhendauerlinie (1991-2005) . . . . .	122
A.5	Speicherkennlinie . . . . .	122
<b>B</b>	<b>Vorplanerische Berechnungen</b>	<b>123</b>
B.1	Durchströmturbine . . . . .	124
B.1.1	Angebot der Firma WKV . . . . .	124
B.1.2	Berechnung der Bruttofallhöhe . . . . .	130
B.1.3	Variante I – Berechnung der Verlusthöhe und Nettofallhöhe . . . . .	130
B.1.4	Variante I – Jahresenergieerzeugung . . . . .	140
B.1.5	Variante II – Berechnung der Verlusthöhe und Nettofallhöhe . . . . .	146
B.1.6	Variante II – Jahresenergieerzeugung . . . . .	151
B.1.7	Variante 6 – Fallhöhe und Vergleich . . . . .	157
B.2	Pumpenturbine . . . . .	158
B.2.1	Ritz – Turbinenkennlinien . . . . .	158
B.2.2	Angebot der Firma RITZ . . . . .	159
B.2.3	Variante III – Berechnung des Fallhöhenverlustes . . . . .	160
B.2.4	Variante III – Wasserwirtschaftsplan . . . . .	165
B.2.5	Variante IV – Berechnung des Fallhöhenverlustes . . . . .	180
B.2.6	Variante IV – Wasserwirtschaftsplan . . . . .	185
B.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen . . . . .	199
B.3.1	Kostenermittlung . . . . .	199
B.3.2	Wirtschaftlichkeitsberechnungen . . . . .	203



# Abbildungsverzeichnis

3.1	Heilenbecke Talsperre	11
3.2	Staumauer – Luftseite	12
3.3	Sanierung der Heilenbecke Talsperre – Vorgesetzte Dichtwand	13
3.4	Hochwasserentlastung	14
3.5	Grundablassleitung – wasserseitig	15
3.6	HW-Entlastung, Tosbecken und Trinkwasseraufbereitungsgebäude	16
4.1	Heilenbecke Talsperre: Jährliche Zuflussmengen	19
4.2	Heilenbecke Talsperre: Jährliche Rohwasserentnahme	20
4.3	Heilenbecke Talsperre: Jährliche Abflussmengen	22
5.1	Stauhöhenmittelwerte	23
6.1	Heilenbecke Talsperre: Verhältnis Zufluss zu Abfluss	31
7.1	Einsatzbereiche von Turbinen; Quelle: WKV	33
7.2	Aufbau einer Durchströmturbine; Quelle: WKV	34
7.3	Aufbau einer Francis-Spiralturbine; Quelle: WKV	35
7.4	Aufbau einer Spiralgehäuse-Pumpturbine; Quelle: RITZ Pumpen	37
7.5	Vergleich der Wirkungsgrade; Quelle: WKV	38
8.1	Durchströmturbine an der Ennepetalsperre	41
8.2	Monatliche Energieerzeugung	41
8.3	Turbinenanlage der Fuelbecke Talsperre	45
8.4	Wöchentliche Energieerzeugung und Energienutzung	46
9.1	Übersicht über die möglichen Standorte einer Durchströmturbine	50
9.2	Lageplan – Variante I	54
9.3	Lageplan – Variante II	56
9.4	Gesamtwirkungsgradverlauf	60

10.1 Übersicht über die möglichen Standorte einer Pumpenturbine . . . . .	64
10.2 Lageplan – Variante III . . . . .	68
10.3 Variante III – Fallhöhenkurve in Abhängigkeit von $Q$ . . . . .	71
10.4 Lageplan – Variante IV . . . . .	71
10.5 Variante IV – Fallhöhenkurve in Abhängigkeit von $Q$ . . . . .	73
10.6 Polynomischer Verlauf des Turbinenwirkungsgrades . . . . .	73
10.7 Variante III – Fallhöhenkurve und Turbinenkennlinie . . . . .	75
10.8 Variante IV – Fallhöhenkurve und Turbinenkennlinie . . . . .	77
12.1 Vergleich der Varianten . . . . .	85
13.1 Abmessungen einer Norma 250-300 . . . . .	89
13.2 Vorzugsvariante / Variante III: Grundriss M.: 1:25 . . . . .	90
13.3 Vorzugsvariante / Variante III: Schnitt M.: 1:25 . . . . .	91
13.4 Übersicht der Kosten, Einnahmen und Erträge . . . . .	99

# Tabellenverzeichnis

8.1	Hydrologische Daten der Ennepe und der Heilenbecke Talsperre im Vergleich	39
8.2	Investitionskosten für die Turbinenanlage an der Ennepetalsperre . . . . .	40
8.3	Energieerzeugung an der Ennepetalsperre . . . . .	42
8.4	Hydrologische Daten der Fuelbecke und der Heilenbecke Talsperre im Ver- gleich . . . . .	43
8.5	Investitionskosten für die Turbinenanlage an der Fuelbecke Talsperre . . . .	44
9.1	Wirkungsgrade der Durchströmturbine nach WKV . . . . .	59
10.1	Variante III – Verlusthöhen in Abhängigkeit von $Q$ . . . . .	70
10.2	Variante IV – Verlusthöhen in Abhängigkeit von $Q$ . . . . .	72
11.1	Vergleich der Investitionskosten nach Kostenarten getrennt (Netto) . . . .	80
11.2	Vergleich der Jahresarbeit . . . . .	81
11.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei kompletter Netzeinspeisung . . . . .	82
11.4	Eigenbedarfsdeckung und Resteinspeisung . . . . .	83
11.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei Eigenbedarfsdeckung und Resteinspeisung	83
11.6	Vergleich der Amortisationszeiten . . . . .	84
13.1	Hydrologische Daten der Heilenbecke Talsperre . . . . .	95
13.2	Vergleich der Jahresarbeit . . . . .	97
13.3	Vergleich der Investitionskosten nach Kostenarten getrennt (Netto) . . . .	98
13.4	Vergleich der Amortisationszeiten . . . . .	100



Teil I

Einleitung



# 1 Ziel und Aufbau der Diplomarbeit

Wasserkraft wird schon seit Jahrhunderten zur Verrichtung von Arbeit genutzt. Ursprünglich wurde die Energie mechanisch umgesetzt, mittlerweile dient Wasserkraft primär der Erzeugung von Strom.

Aufgrund steigender Energiekosten sowie der Verabschiedung des neuen EEG stößt der Bau und die Modernisierung von Wasserkraftanlagen auf wachsendes Interesse, sowohl bei Betreibern und Besitzern großer als auch kleiner Anlagen.

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der kleinsten Talsperre im Einzugsgebiet der Ruhr – der Heilenbecke Talsperre. Da seitens der Betreiber der Talsperre Interesse an einer nachträglichen Integration einer Wasserkraftanlage besteht, soll untersucht werden, ob die Errichtung einer Wasserkraftanlage sowohl technisch als auch wirtschaftlich möglich ist.

Nach einer kurzen Einführung wird auf die Datengrundlage der Talsperre eingegangen. Dazu zählen die anzutreffenden baulichen, hydrologischen und hydraulischen Daten. Des Weiteren werden die Anforderungen des „Gesetzes für den Vorrang der Erneuerbaren Energien“ (EEG) (BMU, 2004) bei der Errichtung einer Wasserkraftanlage aufgezeigt.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus bereits umgesetzten Errichtungen von Wasserkraftanlagen an anderen Talsperren, der Ennepetalsperre und der Fuelbecke Talsperre, wird eine Vorplanung für die Heilenbecke Talsperre erstellt. Diese beschäftigt sich mit möglichen Standorten einer Anlage. Dabei werden die Informationen aus der Grundlagenermittlung für mehrere Variationen durchgerechnet. Kosten werden ermittelt und die Wirtschaftlichkeit einer Anlage bestimmt.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Machbarkeit einer nachträglichen Integration einer Wasserkraftanlage zu überprüfen und für den Fall einer rentablen Umsetzung eine geeignete Turbine zu ermitteln. Dabei soll der aktuelle Stand der Technik und Anforderungen aus dem „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (BMU, 2004) berücksichtigt werden.



## 2 Wasserkraft

### 2.1 Energie aus Wasserkraft

2003 gingen ungefähr 18 % der weltweiten Stromerzeugung auf regenerative Energien zurück, vor allem auf große Wasserkraftanlagen. Erneuerbare Energien gelten sowohl als umwelt- und klimaverträglich als auch krisensicher, da es anders als bei den fossilen Energieträgern und Uran keine zeitlich und mengenmäßig begrenzten Ressourcen gibt. Allerdings ist aufgrund begrenzter Flächen, unterschiedlicher meteorologischer Bedingungen und weiterer Faktoren das jährlich realisierbare Potenzial eingeschränkt.

In Deutschland basiert die Stromerzeugung gegenwärtig auf den „drei Säulen“ Kernenergie (26,5 %), Braunkohle (25,1 %) und Steinkohle (21,7 %). Erdgas trägt 11,4 % und die erneuerbaren Energien rund 10,2 % zur Stromerzeugung bei (BMU & BMWI, 2006). Dabei beträgt der Anteil der Wasserkraft 3,5 % und der Windenergie 4,3 %. Biomasse steuert 2,2 % und Photovoltaik lediglich 0,2 % dazu bei (BMU & AGEE, 2006).

Wasser ist eine regenerative Energiequelle, die eine umgewandelte Form der Sonnenenergie darstellt. Durch Sonneneinstrahlung verdunstet das Wasser, hauptsächlich auf den Ozeanen, und fällt als Niederschlag zurück auf die Erdoberfläche. Durch die Höhenunterschiede zwischen Landfläche und Meeresspiegel entsteht ein nutzbares Energiepotenzial. Wasserkraft bezeichnet die Umwandlung kinetischer und potentieller Energie von Wasser in elektrische Energie. Die Aufgabe einer Wasserkraftanlage besteht darin, die potentielle Energie des Wassers als elektrische Energie nutzbar zu machen. Wasserkraft ist die älteste technisch genutzte erneuerbare Energie zur Stromerzeugung.

## 2.2 Vor- und Nachteile

Im Folgenden werden einige Vor- und Nachteile der Wasserkraft, ihrer Gewinnung und der damit verbundenen Eingriffe in die Natur aufgezeigt (KACZYNSKI, 2006; BMU, 2006; MWME, 2003).

### Vorteile:

- Wasser ist ein regenerativer Rohstoff, d. h. es verbraucht sich nicht. Durch die Nutzung von Wasserkraft werden die Ressourcen fossiler Energieträger geschont bzw. es ist eine Möglichkeit, sich von fossilen Rohstoffen unabhängig zu machen und so zur Versorgungssicherheit beizutragen.
- Wasserkraft leistet durch die CO<sub>2</sub>-freie Stromproduktion einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz. Die Vermeidung klimaschädlicher Emissionen fördert die Luft- und Bodenreinhaltung.
- Wasser als Energieträger muss weder energieintensiv aufbereitet und importiert, noch kostenintensiv an- oder abtransportiert werden. Dadurch halten sich die Betriebskosten einer Wasserkraftanlage in einem günstigeren Bereich und entstehen weitestgehend durch Wartungsarbeiten.
- Die Nutzung der Wasserkraft ist eine ausgereifte, wenig störanfällige Technologie. Das gewährleistet eine hohe Betriebssicherheit und einen geringen Wartungsaufwand.
- Wasserkraftanlagen weisen eine lange Lebensdauer auf, d. h. ohne größere Reparaturen können Betriebsdauern von 60, 80 oder gar 100 Jahren erreicht werden. Am Ende ihrer Lebensdauer können Anlagen einfach abgebaut und recycelt werden.
- Der Gesamtwirkungsgrad einer Wasserkraftanlage liegt zwischen 60 % und 70 %. Fossil befeuerte Kraftwerke weisen im Gegensatz dazu lediglich einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 40 % auf.

### Nachteile:

- Die Einrichtung einer Wasserkraftanlage ist stark abhängig von hydrologischen, geomorphologischen und geologischen Randbedingungen. Standort und Größe einer Anlage sind aus diesen Gründen nicht beliebig wählbar.

- Der Bau von Wasserkraftanlagen greift in das komplizierte ökologische Gleichgewicht von Seen, Flüssen und deren Umfeld ein. Bei der Planung einer neuen Anlage muss man deshalb die ökologischen Auswirkungen gegen den Nutzen abwägen.
- Wasserkraftanlagen erfordern meistens höhere spezifische Anlagekosten als Wärme-kraftwerke.



## Teil II

# Grundlagenermittlung – Heilenbecke Talsperre



## 3 Bauliche Grundlagen

### 3.1 Geschichte und heutige Nutzung der Talsperre

Die Heilenbecke Talsperre ist die älteste Talsperre in Westfalen. Erbaut wurde sie in den Jahren 1894 bis 1896 von der Heilenbecke-Talsperren genossenschaft nach Plänen von Prof. Otto Intze.



*Abbildung 3.1: Heilenbecke Talsperre*

Hauptgrund für den Bau einer Stauanlage war die Regulierung des Flusses Heilenbecke, um den Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen eisenverarbeitender Werke entlang des Flusses auch in Trockenzeiten zu sichern. Ein weiterer Grund war die Trinkwasserversorgung der Stadt Gevelsberg. Im Laufe der Jahre konnten viele Hammerbesitzer die Talsperre nicht mehr unterhalten. Durch die Einführung des elektrischen Stromes nahm die Zahl der Mitgliedsfirmen kontinuierlich ab, so dass der ursprüngliche Zweck der Talsperre heute gänzlich entfallen ist. 1941 wurde die Heilenbecke-Talsperren genossenschaft in den Heilenbecke-Wasserverband umbenannt, der auch heutzutage noch Eigentümer und Betreiber der Tal-

sperre ist. Heute dient die Talsperre ausschließlich der Bereitstellung von Rohwasser, der Niedrigwasseraufhöhung und dem Hochwasserschutz. Des Weiteren ist die Heilenbecke Talsperre ein beliebtes Freizeitziel.

### 3.2 Bauwerkskonstruktion (ursprünglich)

Ursprünglich wurde die Staumauer als Gewichtsstaumauer mit bogenförmigen Grundriss in Bruchsteinmauerwerk mit einem Radius von 125 m ausgeführt (Abbildung 3.2). Die maximale Mauerhöhe betrug 19,50 m, die maximale Sohlenbreite 11,75 m, die Kronenbreite 2,80 m und die Kronenlänge 157 m. Das gesamte Mauervolumen umfasste damit etwa 15.000 m<sup>3</sup>. Die Mauer wurde in festem Fels gegründet. Die beim Bau des Absperrbauwerkes verwendeten Bruchsteine wurden in örtlichen Grauwacke- und Schiefersteinbrüchen gewonnen.



**Abbildung 3.2:** Staumauer – Luftseite

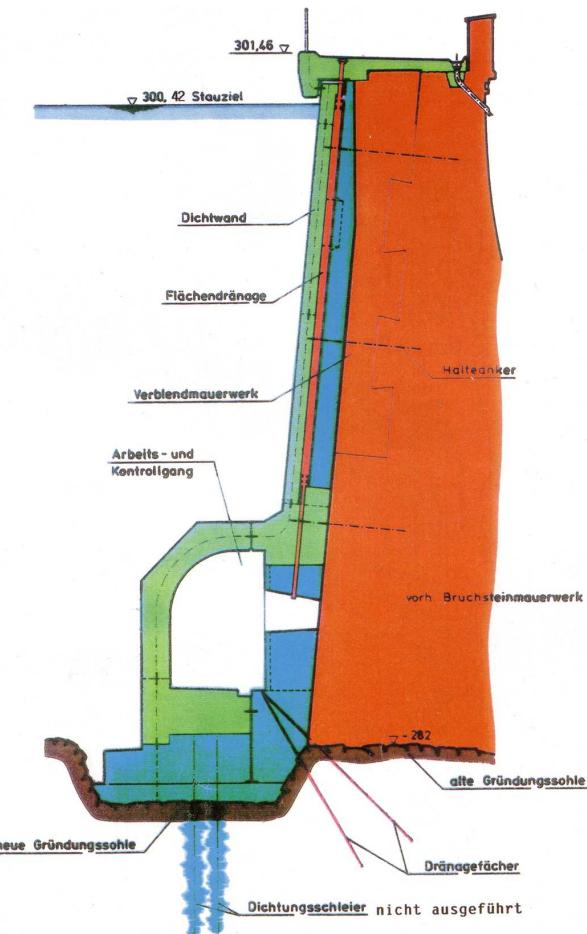
Als Dichtungsschicht erhielt die Mauer ursprünglich auf der Wasserseite einen 2 cm starken, mit Zementschlämmen geplatteten Putz mit zusätzlichen Schutzanstrichen. Zum Schutz der Dichtung vor mechanischen Beschädigungen wurde im unteren Teil eine Vorschüttung aus tonig-lehmigen Boden, ein sogenannter Intzekeil, eingebaut. Darüber wurde der Dichtputz durch ein 0,75 m bis 1,25 m starkes Verblendmauerwerk geschützt, welches mit dem dahinterliegenden Mauerwerk schwabenschwanzförmig verzahnt ist.

Zur Ableitung des trotz der Dichtungsmaßnahmen in das Mauerwerk eindringenden Druckwassers sind Drainagerohre ca. 2 m hinter der Dichtwand eingebaut worden, die über Sammelleitungen in die Grundablassstollen entwässern.

### 3.3 Durchgeführte Sanierungen

Erste größere Reparaturarbeiten wurden in den Jahren 1967 bis 1968 durchgeführt. Hierbei wurden Fugen in der Sperrmauer und des Hochwasserüberlaufes mit Zement verfüllt.

1984 folgte dann eine Absenkung der Hochwasserentlastungsanlage um 2,10 m und 1988/1989 eine Generalsanierung des Absperrbauwerkes nach dem Prinzip der „Vorgesetzten Dichtwand“, um so Anforderungen hinsichtlich Betriebssicherheit und Dauergebrauchsfähigkeit zu erfüllen (Abbildung 3.3).



**Abbildung 3.3:** Sanierung der Heilenbecke Talsperre – Vorgesetzte Dichtwand

Dabei wurde auf der gesamten Länge der Dichtwand auf der Wasserseite der Intzekeil entfernt und ein Kontrollgang angeordnet. Von diesem Kontrollgang aus können alle Bauteile und Konstruktionselemente auf ihre Funktionstüchtigkeit hin überprüft werden. Mit Abschluss der Sanierungsarbeiten war die Sperrmauer an die allgemein anerkannten Regeln der Technik angepasst.

Die sanierte Talsperre weist heute eine Maximalhöhe von 21,32 m, eine Kronenbreite von 3,55 m und an der Sohle eine maximale Breite von 17 m auf. Die Kronenlänge beträgt unverändert 157 m.

## 3.4 Betriebseinrichtungen

### 3.4.1 Hochwasserentlastung

Die Hochwasserentlastung erfolgt über eine feste seitlich zum Hang angeordnete Überlaufkrone mit Ableitung über ein Kaskadenbauwerk zur Energieumwandlung in ein Tosbecken und Weiterleitung in das Ablaufgerinne (Abbildung 3.4). Die Höhe der Überlaufkrone liegt bei 300,42 m ü. NN.



**Abbildung 3.4:** Hochwasserentlastung

### 3.4.2 Grundablässe

In der Stauanlage sind zwei Gussrohrleitungen als Grundablässe (DN 400, GGG) vorhanden, wovon der linke Ablass ein Notablass ist. Beide Rohrleitungen gehen ab der Staumauer bis zum Auslauf in die Schussrinne über in eine DN 600 Rohrleitung.

Hinter der wasserseitigen Mauerdurchführung der Grundablassleitungen sind Absperrklappen, die als Rohrbruchsicherung dienen, und Be- und Entlüftungsventile vorhanden (Abbildung 3.5).

Auf Höhe des Kontrollganges sind provisorisch T-Stücke eingebaut, um im Bedarfsfall die Grundablässe verbinden zu können.

Sowohl am Grundablass als auch am Notablass ist im Schieberhaus bzw. am Ende der Staumauer ein Ringkolbenventil angeordnet, welches zur Belüftung eine Umführungsleitung in DN 80 und zwei Belüftungsrohre in DN 100 hat. Hinter der Absperrmauer verlaufen die Ablassleitungen weiter als DN 600.



**Abbildung 3.5:** Grundablassleitung – wasserseitig

Im Gegensatz zum Notablass ist an der Grundablassleitung im Schieberhaus an der Mauerluftseite eine zusätzliche Verbindung zu einer DN 150-Leitung vorhanden, die als Notentnahmleitung funktioniert. Diese ist durch eine Absperrklappe gesichert. Alle Verschlussorgane sind mit einem Elektroantrieb ausgerüstet, können aber im Notfall auch von Hand betrieben werden.

### 3.4.3 Rohwasserentnahme

Im rechten Grundablassstollen wurde eine Rohwasserentnahmleitung (DN 300, GGG) verlegt. Diese wird über zwei Entnahmehorizonte mit einer Höhendifferenz von 5,50 m gespeist. Die Entnahmehorizonte liegen auf einer Höhe von 296,03 m ü. NN und 290,53 m ü. NN. Die meiste Zeit über sind beide Entnahmleitungen geöffnet und das Wasser wird über eine DN 300-Leitung und ab dem Schieberhaus über eine DN 400-Leitung zum Trinkwasseraufbereitungsgebäude geführt (siehe Abbildung 3.6).



**Abbildung 3.6:** HW-Entlastung, Tosbecken und Trinkwasseraufbereitungsgebäude

Im Schieberhaus geht von der Grundablassleitung noch eine Notentnahmleitung (DN 150) ab, die ebenfalls in das Trinkwasseraufbereitungsgebäude führt. Da diese Leitung nur für Notfälle oder im Falle von Reparaturarbeiten an der eigentlichen Rohwasserentnahmleitung gedacht ist, ist sie meist unbenutzt. Sowohl auf der Wasserseite als auch auf der Luftseite sind Absperrklappen vorhanden, die bei Wassereinbruch ebenfalls selbstständig über einen Elektroantrieb schließen.

## 4 Hydrologische Grundlagen

### 4.1 Einzugsgebiet

Die Heilenbecke Talsperre liegt ca. 5 km südlich der Stadt Ennepetal und rund 15 km südwestlich der Stadt Hagen. Der Stauraum liegt zu 100 % auf den Gebieten der Städte Ennepetal und Breckerfeld.

Das oberirdische Einzugsgebiet der Heilenbecke Talsperre weist eine Größe von etwa 7,60 km<sup>2</sup> auf und hat nahezu die Form eines Dreiecks, das sich nach Norden in Richtung Sperrmauer aufweitet. Die mittlere Abflussspende liegt bei rund 25,4 l/(s·km<sup>2</sup>). Die höchsten Erhebungen im Osten und im Süden liegen auf etwa 380,00 m ü. NN, die tiefste Stelle an der Staumauer auf 285,00 m ü. NN (HEILENBECKE WASSERVERBAND, 1995).

Zu 80 % besteht das Einzugsgebiet aus Grünland und Wald. Rund 14 % werden als Ackerland genutzt. Der restliche prozentuale Anteil setzt sich aus stehenden Gewässern, Siedlungs- und sonstigen Flächen zusammen. Im Südwesten wird das Gebiet durch die B483 auf einer Länge von rund 4 km begrenzt.

### 4.2 Stauraum

Der Stauinhalt der Heilenbecke Talsperre beträgt 450.000 m<sup>3</sup>. Sie ist somit die kleinste Talsperre im Einzugsgebiet der Ruhr. Bei diesem Stauvolumen ergibt sich eine überstaute Fläche von 8,5 ha. Laut HEILENBECKE WASSERVERBAND (1995) wird die Talsperre gemäß DIN 19700 Teil 10 (Stauanlagen: Gemeinsame Festlegungen) betrieben. Nach DIN 19700 Teil 11 (Talsperren) werden Talsperren in sogenannte Talsperrenklassen (TSK) klassifiziert. Aufgrund des Stauvolumens zählt die Heilenbecke Talsperre zu der Talsperrenklasse 2.

### 4.3 Zuflüsse

Die Hauptzuflüsse des Stauraumes sind der Freebach und die Heilenbecke, denen Vorbecken vorgeschaltet sind. Ebenso wie der Stauraum der Talsperre liegen auch die Vorbecken auf den Gebieten der Städte Ennepetal und Breckerfeld. Das Vorbecken des Freebaches mit einem Niederschlagsgebiet von 1,30 km<sup>2</sup> umfasst 1.500 m<sup>3</sup>. Das Vorbecken der Heilenbecke weist bei einem Niederschlagsgebiet von 5,40 km<sup>2</sup> einen Stauinhalt von 4.000 m<sup>3</sup> auf.

Von der Quelle bis zur Staumauer hat die Heilenbecke eine Länge von ca. 4 km. Von der Talsperre abfließend mündet die Heilenbecke nach ungefähr 7,5 km in die Ennepe und gehört zum Flusssystem der Ruhr.

Bei der Planung zur Sanierung der Sperrmauer (1989) wurde, begründet durch das Fehlen von Zufluss- und Abflusspegeln, der mittlere jährliche Zufluss über die mittlere jährliche Niederschlagshöhe geschätzt. Laut des Sicherheitsberichtes der Heilenbecke Talsperre lag dieser bei 5.500.000 m<sup>3</sup>/a. Dies entspricht einem mittleren Zufluss von 174 l/s.

Im Zuge der Sanierung wurde schließlich ein Abflusspegel im Unterlauf in Betrieb genommen. Neben einem Lattenpegel ist für kontinuierliche Aufzeichnungen ein Schreibpegel (Pneumatikpegel) vorhanden. Ein Zulaufpegel wurde aus Kostengründen und aufgrund eines fehlenden geeigneten Standortes bis heute nicht installiert (HEILENBECKE WASSERVERBAND, 1995).

Vereinfacht wird daher der Zufluss zur Talsperre über die Stauinhaltssänderung, den Abfluss und die Rohwasserentnahme wie folgt berechnet (s. auch Anhang A.1.1):

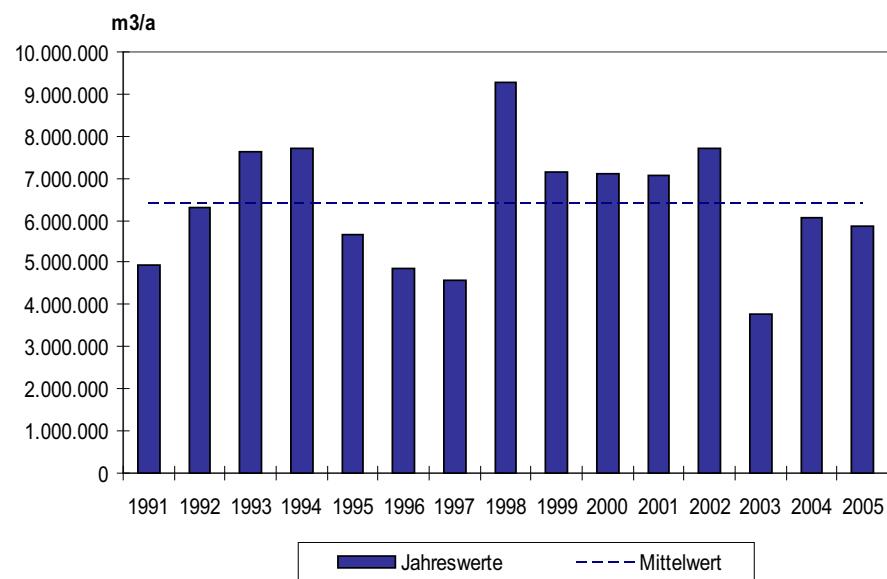
$$\begin{aligned} \text{Zufluss}_{(n-1)} = & \text{ Stauvolumen}_{(n)} - \text{Stauvolumen}_{(n-1)} \\ & + \text{Rohwasserentnahme}_{(n-1)} + \text{Abfluss}_{(n-1)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Dabei wird das Stauvolumen anhand der Stauhöhe und mittels einer Stauinhalttslinie (s. Anhang A.5 und Kapitel 5.1) ermittelt. Die täglich gemessenen Stauhöhen sowie die täglichen Rohwasserentnahmemengen wurden dem Betriebstagebuch der Talsperre entnommen.

Da der Abflusswert an der Pegelstation über den ganzen Tag gemittelt wird, der Ablesezeitpunkt der Stauhöhe (und damit des Stauvolumens) jedoch täglich gegen 8:00 Uhr ist, berechnet sich der Abfluss zu:

$$\text{Abfluss}_{(n-1)} = \frac{16}{24} \cdot \text{Abfluss}_{(n-1)} + \frac{8}{24} \cdot \text{Abfluss}_{(n)} \quad (4.2)$$

Das langjährige Mittel (1991-2005) aus Aufzeichnungen am Ablaufpegel und Zurückrechnen liegt somit im Gegensatz zur Schätzung im Jahr 1989 bei rund 6.380.000 m<sup>3</sup>/a bzw. 202 l/s (vgl. Abbildung 4.1).



**Abbildung 4.1:** Heilenbeck Talsperre: Jährliche Zuflussmengen

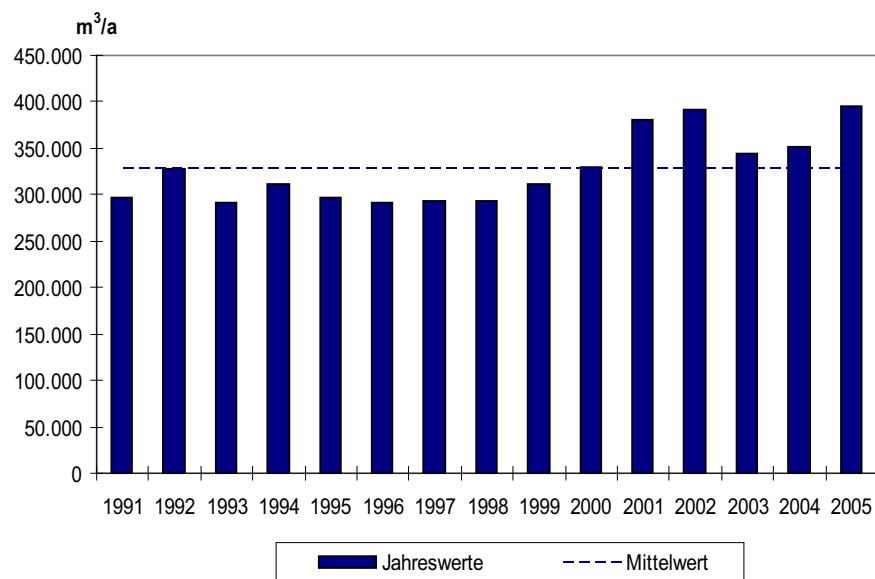
## 4.4 Abgabe

### 4.4.1 Rohwasserentnahme

Abnehmer des Rohwassers für die Trinkwasseraufbereitung ist heute der Wasserbeschaffungsverband Ennepetal-Milspe mit Sitz in Ennepetal. Bis 1966 entnahm das Versorgungsunternehmen Agfu<sup>1</sup>, jetzt AVU<sup>2</sup>, zeitweise Wasser aus der Talsperre, um die Stadt Gevelsberg mit Wasser zu versorgen. Als das Interesse jedoch erlosch, wurde mit dem WBV Ennepetal-Milspe ein Wasserbezugsvertrag geschlossen, so dass bestimmte Bezirke der Stadt Ennepetal nun von diesem Wasserbeschaffungsverband mit Trinkwasser versorgt werden.

Mittlerweile ist der Wasserbeschaffungsverband Mitglied im Heilenbecke-Wasserverband, da dieser das einzige Verbandsmitglied ist, das noch Nutzen aus der Talsperre ziehen kann.

Die jährliche Wasserentnahme aus der Talsperre lag in den Jahren 1991 - 2005 im Mittel bei rund 327.000 m<sup>3</sup>/a. Das entspricht einer Rohwasserabgabe von rund 10 l/s = 897 m<sup>3</sup>/d (s. Abbildung 4.2 und Anhang A.2.2).



**Abbildung 4.2:** Heilenbecke Talsperre: Jährliche Rohwasserentnahme

<sup>1</sup>Agfu = Aktiengesellschaft für wirtschaftliche Unternehmungen des Ennepe-Ruhr-Kreises

<sup>2</sup>AVU = Aktiengesellschaft für Versorgungsunternehmen

Betrachtet man in Abbildung 4.2 den Verlauf über die Jahre, so ist zu erkennen, dass die jährlichen Abgaben der letzten 5-6 Jahre über dem Mittel lagen und so der Rohwasserbedarf im Ganzen gestiegen ist. Das Jahresmittel von 2000 - 2005 liegt dann bei gut  $11 \text{ l/s} = 1.003 \text{ m}^3/\text{d} = 366.000 \text{ m}^3/\text{a}$ . Das entspricht einer Steigerung von ca. 12 %. Dies ist auch aus der Rohwasserentnahme-Ganglinie ersichtlich (s. Anhang A.2.1). Ein Wert von  $11 \text{ l/s}$  kann somit für weitere Berechnungen als konstant angesehen werden.

Im Trockenjahr 1996 betrug die Entnahmemenge lediglich  $9 \text{ l/s} = 797 \text{ m}^3/\text{d} = 291.000 \text{ m}^3/\text{a}$ . Die maximale Menge von rund  $13 \text{ l/s} = 1.085 \text{ m}^3/\text{d} = 396.000 \text{ m}^3/\text{a}$  wurde im Jahr 2005 entnommen.

Im Jahr 2003 sank die Rohwasserentnahme an ca. 25 Tagen auf rund  $2 \text{ l/s} = 170 \text{ m}^3/\text{d}$ , da die Talsperre nicht genug gefüllt war und lediglich eine Stauhöhe von 298,70 m ü. NN aufwies. Aufgrund der abnehmenden Wasserqualität in tieferen Bereichen wurde die Entnahme stark gedrosselt.

#### 4.4.2 Mindestwasserabgabe

Laut dem Genehmigungsbescheid der Bezirksregierung Arnsberg vom 19. September 1986 ist eine Mindestwasserabgabe zur Niedrigwasseraufhöhung des Unterlaufes von  $2 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$  festgelegt worden. Bei einem Einzugsgebiet von  $7,60 \text{ km}^2$  entspricht dies einem Abfluss von  $\geq 16 \text{ l/s}$ . Da diese Abgabe konstant anzusetzen ist, ergibt sich eine jährliche Wassermenge von  $504.500 \text{ m}^3/\text{a}$ . Dies entspricht rund 8 % des nach dem langjährigen Mittel zufließenden Wassers.

Der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ liegt im Gegensatz dazu bei lediglich  $12 \text{ l/s}$ . Laut des Gewässerkundlichen Jahrbuches (Anhang A.3.4) wird der Abfluss in Höhe von  $16 \text{ l/s}$  jedoch an nur etwa 10 Tagen unterschritten.

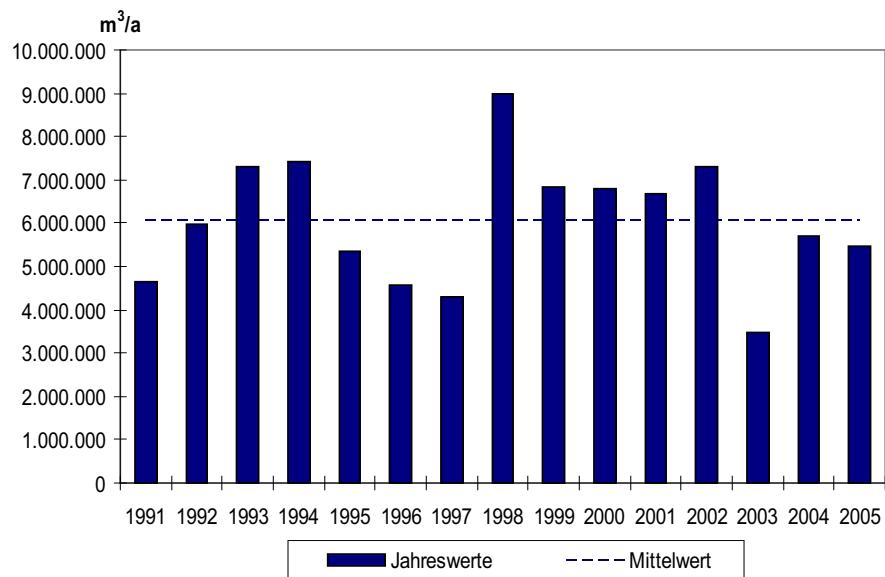
Im Unterlauf der Heilenbecke wird ein Forellenteich betrieben, so dass versucht wird, eine Mindestwasserabgabe in Höhe von  $20 \text{ l/s}$  in den Unterlauf abzugeben. Dieser Wert wird auch in den nachfolgenden Untersuchungen als Mindestwasserabgabe angenommen.

#### 4.4.3 Abfluss

Seit dem Wiedereinstau im Dezember 1989 werden im Ablauferinne unterhalb des Tosbeckens mit Hilfe einer Pegelstation Abflussmessungen durchgeführt. Die über diesen Pegel ermittelten Werte werden von dem Staatlichen Umweltamt (StUA) Hagen gesammelt und

verwaltet. In diesen Abflussdaten sind die Mindestwassermengen enthalten; die Rohwassermengen jedoch nicht.

In den Jahren 1991 - 2005 lag der mittlere jährliche Abfluss bei 192 l/s. Im Durchschnitt entspricht das einer Menge von etwa  $16.600 \text{ m}^3/\text{d} \approx 6.050.000 \text{ m}^3/\text{a}$  (vgl. Abbildung 4.3).



**Abbildung 4.3:** Heilenbecke Talsperre: Jährliche Abflussmengen

Aus Abbildung 4.3 ist zu erkennen, dass relativ starke Schwankungen in der Abflussmenge vorhanden sind. 1998 floss eine maximale Menge von  $285 \text{ l/s} = 24.616 \text{ m}^3/\text{d} = 8.985.000 \text{ m}^3/\text{a}$  ab; im Gegensatz dazu flossen im Jahr 2003 nur  $109 \text{ l/s} = 9.416 \text{ m}^3/\text{d} = 3.437.000 \text{ m}^3/\text{a}$  aus der Talsperre.

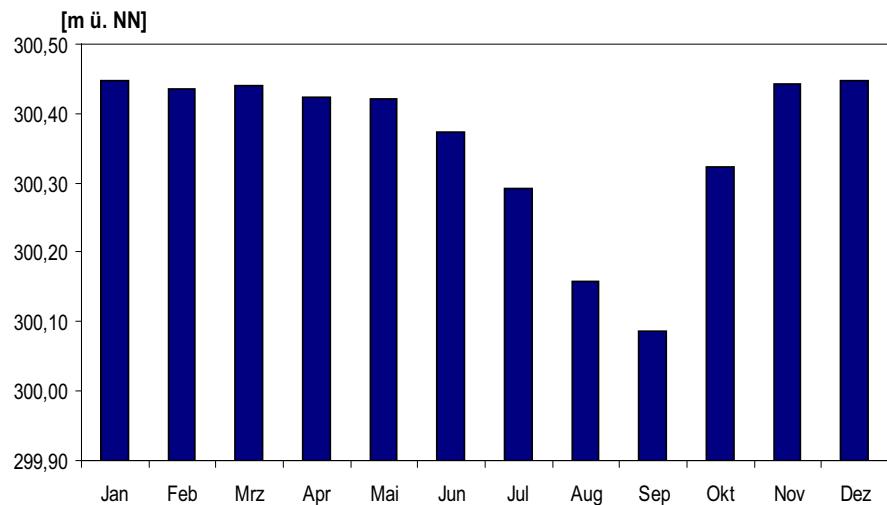
Monatlich betrachtet fließt im Durchschnitt im Januar die größte Menge aus der Talsperre ( $385 \text{ l/s} = 1.000.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$ ) und im Juni die geringste Menge ( $48 \text{ l/s} = 124.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$ ) (vgl. Anhang A.3.3). Im Winterhalbjahr (November bis April) wird im Schnitt  $296 \text{ l/s} = 780.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$  abgegeben; im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) lediglich  $114 \text{ l/s} = 300.000 \text{ m}^3/\text{Monat}$ .

## 5 Energetische Grundlagen

### 5.1 Stauhöhen

Die Beckensohle der Heilenbecke Talsperre liegt auf 284,20 m ü. NN, die Überlaufkrone und zugleich das Stauziel auf 300,42 m ü. NN. Die genauen Verhältnisse zwischen Stauhöhe und Wasservolumen sind der Stauinhaltlinie (Anhang A.5) zu entnehmen.

Monatlich betrachtet ist nach Abbildung 5.1 in den Monaten November bis Juni eine Stauhöhe von 300,39 - 300,45 m ü. NN vorhanden. In den Sommermonaten Juli bis Oktober kann der Wasserspiegel auf bis zu 300,09 m ü. NN sinken. Daraus ergibt sich eine Volumenänderung von ungefähr 22.000 m<sup>3</sup>.



**Abbildung 5.1:** Stauhöhenmittelwerte

Die maximal erreichte Stauhöhe lag in den letzten 15 Jahren bei 300,66 m ü. NN (Januar 1993), die geringste Stauhöhe bei 298,36 m ü. NN (Oktober 2003). Seitens des Trinkwasserversorgers ist diese geringe Stauhöhe in Bezug auf die Wasserqualität als kritisch

zu betrachten. Nach Rücksprache mit dem Wasserbeschaffungsverband Ennepetal-Milspe sollte aus diesen Gründen der Betrieb einer Wasserkraftanlage bei einer Stauhöhe von 299,00 m ü. NN eingestellt werden.

Bei Betrachtung der Stauhöhenganglinie (Anhang A.4.1) ist zu erkennen, dass die Talsperre i. d. R. im Vollstau betrieben wird, so dass das Wasser über die Hochwasserentlastung (300,42 m ü. NN) abgegeben wird. Auf diese Weise wird Treib- und Schwemmgut in das Unterwasser abgegeben.

Im Mittel (1991-2005) weist die Heilenbecke Talsperre eine Stauhöhe von 300,36 m ü. NN auf. Diese Stauhöhe wird in den folgenden Berechnungen als konstant angenommen. Anhand der Stauhöhendauerwerte (Anhang A.4.3) bzw. der Stauhöhendauerlinie (Anhang A.4.4) ist zu erkennen, dass diese Höhe an nur 115 Tagen unterschritten wird. Die für eine Wasserkraftanlage relevante Höhe von 299,00 m ü. NN wird im Durchschnitt sogar gar nicht unterschritten. Für den Betrieb einer Wasserkraftanlage steht eine Lamelle mit einer Mächtigkeit von etwa 1,42 m und einem Volumen von 98.000 m<sup>3</sup> zur Verfügung.

## 5.2 Strom

### 5.2.1 Netzanschluss

Stromnetzbetreiber und zugleich Abnehmer des ökologisch gewonnenen Stromes ist die AVU Gevelsberg. Die Einspeisung des Stromes in das öffentliche Netz ist laut Aussage der AVU abhängig von der Leistung sowie vom Standort einer Wasserkraftanlage. Mittels dieser Angaben muss dann geprüft werden, ob das vorhandene Stromnetz ausreichend dimensioniert ist oder erweitert werden muss. Grundsätzlich ist die Einspeisung über die an der Talsperre bereits bestehende Trafostation möglich. Diese Station befindet sich auf dem Parkplatz oberhalb des Trinkwasseraufbereitungsgebäudes.

### 5.2.2 Strombedarf der Trinkwasseraufbereitungsanlage

Der Eigenstrombedarf des Wasserbeschaffungsverbandes Ennepetal-Milspe liegt bei rund 42.500 kWh/Jahr. Dieser Wert wurde den Jahresstromrechnungen der Jahre 2004 und 2005 entnommen und kann als durchschnittlicher Jahresverbrauch angesehen werden. Lieferant des Stromes ist die AVU Gevelsberg.

Hauptsächlich entsteht der Eigenstromverbrauch durch die Förderung von Rohwasser in den oberhalb des Trinkwasseraufbereitunggebäudes gelegenen Wasserspeicher. Mittels Pumpen muss ein Höhenunterschied von ungefähr 2 m überwunden werden. Diese Pumpen benötigen eine Leistung von 6,3 kW.

### 5.2.3 Inselbetrieb - Parallelbetrieb

Unter Inselbetrieb versteht man Anlagen, die nicht an das öffentliche Stromnetz gekoppelt sind. Der durch Wasserkraft produzierte Strom wird für den Eigenbedarf genutzt.

Wird eine Anlage an ein vorhandenes Netz eines Elektrizitätswerkes angeschlossen, kann der produzierte Strom ins Netz eingespeist werden. Dies bezeichnet man als Parallelbetrieb. Im Fall der Heilenbecke Talsperre bestehen zwei Möglichkeiten den Strom zu nutzen. Einerseits könnte der Strom komplett in das öffentliche Netz eingespeist werden. Andererseits steht in Betracht, den Eigenbedarf des WBV Ennepetal-Milspe an der Talsperre zu decken und den überschüssigen Strom in das Netz zu geben.

Beide Varianten werden im weiteren Verlauf untersucht.



## 6 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien

### 6.1 Allgemeines

Das „Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich“ wurde am 21. Juli 2004 erlassen. Ziel des in Artikel 1 beschlossenen „Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (EEG) ist es, unter Berücksichtigung der Natur- und Umweltschutzziele die Nutzung regenerativer Energien zu fördern. So soll laut des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung von 10,2 % (2005) auf 12,5 % im Jahr 2010 und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 % steigen.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) regelt die Einspeisevergütung von Strom und berücksichtigt zugleich Natur und Umwelt. Mittels dieses Gesetzes werden Stromnetzbetreiber verpflichtet, den alternativ hergestellten Strom vorrangig abzunehmen und einen festgelegten Preis für diesen zu zahlen.

Anwendung findet das Gesetz bei den erneuerbaren Energien Windenergie, solare Strahlungsenergie, Geothermie, Energie aus Biomasse und Wasserkraft.

Die Vergütung für Strom aus Wasserkraft regelt §6 EEG. Darin werden Wasserkraftanlagen nach ihrer Leistung in drei Klassen unterschieden. In der ersten Klasse befinden sich Kleinanlagen mit bis zu 500 kW (0,5 MW). Anlagen mit einer Leistung von 0,5 - 5,0 MW und 5,0 - 150 MW bilden die anderen Klassen. Die Leistung einer Anlage berechnet sich nach §12 Abs. 2 EEG aus der eingespeisten Strommenge im Kalenderjahr dividiert durch die Betriebsstundenzahl.

## 6.2 Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis zu 500 kW

Nach GIESECKE & MOSONY (1998) kann für eine Vordimensionierung die Leistung einer Wasserkraftanlage mittels folgender Überschlagsformel ermittelt werden:

$$P = Q \cdot H \cdot c_p \quad [\text{kW}] \quad (6.1)$$

Mit  $Q = 0,192 \text{ m}^3/\text{s}$  (Abflussmittelwert aus 15 Jahren, s. Anhang A.3.3)

$H = 15,66 \text{ m}$  (300,36 m ü. NN (Mittelwert Stauhöhe)

- 284,70 m ü. NN (Höhe Einlauf Grundablass))

$c_p = 8,0$  (Leistungsüberschlagsbeiwert für Kleinwasserkraftanlagen)

ergibt sich im Fall der Heilenbecke Talsperre eine Leistung von  $P = 24 \text{ kW}$ . Somit würde eine Wasserkraftanlage zu der Gruppe mit einer Leistung bis zu 500 kW zählen.

Sollte die Anlage bis zum 31.12.2007 in Betrieb genommen oder zumindest genehmigt werden, liegt die Einspeisevergütung bei 9,67 ct/kWh.

Wird eine Genehmigung jedoch erst nach dem 31.12.2007 erteilt, erhält der Betreiber eine Vergütung von 9,67 ct/kWh nur dann, wenn „nachweislich ein guter ökologischer Zustand erreicht oder der ökologische Zustand gegenüber dem vorherigen Zustand wesentlich verbessert worden ist“ (§6 Abs. 1 EEG). Laut des *Leitfaden für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft* (BMU, 2005) ist der Begriff „ökologischer Zustand“ im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu verstehen. So werden auch künstliche oder erheblich veränderte Wasserkörper mit einbezogen. Das EEG bietet somit nicht nur ökonomische Anreize für die Nutzung der Wasserkraft, sondern verknüpft diese mit ökologischen Anforderungen. Als Nachweis des Erreichens eines guten ökologischen Zustandes oder der wesentlichen Verbesserung des ökologischen Zustandes gilt die Vorlage der wasserrechtlichen Zulassung der Anlage von der zuständigen Behörde (§6 Abs. 3 EEG).

Des Weiteren müssen nach §6 Abs. 1 EEG die Anlagen

1. in räumlichem Zusammenhang mit einer ganz oder teilweise bereits bestehenden oder vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft neu errichteten Staustufe oder Wehranlage oder
2. ohne eine durchgehende Querverbauung

in Betrieb genommen werden, um vergütungsfähig zu sein.

Diese Anforderungen in Bezug auf den Standort einer Wasserkraftanlage sollen verhindern, dass Stauanlagen ausschließlich bzw. vorrangig für den Betrieb einer Wasserkraftanlage neu errichtet werden. Vielmehr sollen bestehende Stau- oder Wehranlagen zur Erzeugung ökologischen Stromes genutzt werden oder aber neue Stauanlagen, die jedoch in erster Linie anderen Zwecken, insbesondere dem Hochwasserschutz oder der Verbesserung der Gewässerökologie, dienen.

Nach §12 Abs. 3 EEG wird die Vergütungsdauer auf 30 Jahre festgelegt und beginnt ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme einer Anlage.

Ausgenommen aus dem Anwendungsbereich des §6 EEG sind Speicherkraftwerke (§6 Abs. 5 EEG). Hierunter fallen Wasserkraftwerke, deren Zuflüsse einem oder mehreren Speichern entnommen wird. Damit sind insbesondere Pumpspeicherkraftwerke gemeint, deren Einsatz zeitlich unabhängig vom Zufluss in den Speicher ist. Dem gegenüber stehen die Laufwasserkraftwerke, die den anfallenden Zufluss weitestgehend unverzögert nutzen und weitergeben (BMU, 2005).

### **6.3 Kriterien für die Beurteilung der Verbesserung des ökologischen Zustandes**

Der gute ökologische Zustand ist nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erreicht, wenn der Zustand eines Gewässer nur in kleinem Maße von einem weitestgehend unbelasteten Zustand des betreffenden Oberflächengewässertyps abweicht (BMU, 2005). Die Bewertung ist abhängig von sogenannten Qualitätskomponenten. Dazu zählen die biologischen Komponenten (Fischfauna, Makrozoobenthos, Phytoplankton, etc.), die hydromorphologischen (Durchgängigkeit des Flusses, Wasserhaushalt, etc.) und die physikalisch-chemischen Komponenten (Temperatur, Sauerstoff, etc.). Dabei muss jeder Standort einer Wasserkraftanlage gesondert bewertet werden, da zu viele Einzelaspekte zu berücksichtigen und Verallgemeinerungen nicht möglich sind.

Des Weiteren wird zwischen dem Erreichen eines guten ökologischen Zustandes und einer wesentlichen Verbesserung unterschieden. Damit berücksichtigt der Gesetzgeber, dass auch unter Einhaltungen ökologischer Verbesserungen ein guter ökologischer Zustand nicht in jedem Fall erreicht werden kann. Mit Hilfe des EEG und mittels dieser Unterscheidung ist es möglich, sowohl die Wasserkraftnutzung als auch eine Verbesserung der Gewässerökologie im Einklang zu fördern (BMU, 2005).

Laut BMU (2005) dienen vier Fachkriterien der Beurteilung des Erreichens oder der Verbesserung eines ökologischen Zustandes:

#### 1. Biologische Durchgängigkeit

Unter der biologischen Durchgängigkeit ist die Gewährleistung der artspezifischen Wanderungen der naturraumtypischen Gewässerorganismen zu verstehen. Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit lassen sich zwischen Maßnahmen für stromauf- und -stromabwärts gerichtete Wanderungen unterscheiden.

Als Maßnahme für stromaufwärts gerichtete Wanderungen gelten Fischaufstiegsanlagen, in denen sich Fische entsprechend ihrem normalen Verhalten bewegen können sollten. Stromabwärts wandernden Organismen droht vor allem an Einlaufrechen von Wasserentnahmehbauwerken Gefahr, verletzt oder auch nicht zurückgehalten zu werden. In diesem Fall stellt auch die Turbine eine Gefahr dar. Maßnahmen zur Gefahrenminimierung für wandernde Fische können beispielsweise der Bau von standortangepassten Bypässen, die Regelung von Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel sowie verringerte Stababstände der Rechen sein.

#### 2. Mindestwasserabfluss

In Flussstrecken, denen dauerhaft Wasser entnommen wird, ist ein Mindestwasserabfluss erforderlich. Dieser ist ökologisch begründet. Ziel dieser Maßnahme ist es, den Erhalt standorttypischer Lebensraumgemeinschaften, die Dynamik naturnaher Abflussverhältnisse und Grundwasserstände in angrenzenden Flussauen zu gewährleisten.

#### 3. Feststoffbewirtschaftung

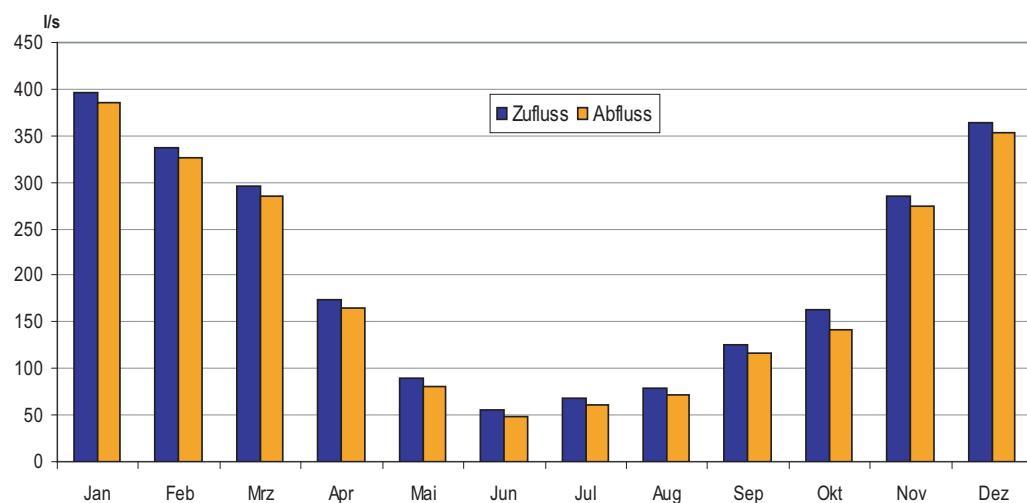
Unter Feststoffe versteht man alle im Gewässer mitgeführten Schweb- und Sinkstoffe sowie Geschiebe, Tot- und Treibholz. Sie prägen die Gewässergestalt, die Dynamik und sind gleichzeitig wichtiger Lebensraum. Im Interesse der ökologischen Funktion und der Verbesserung des ökologischen Zustands/Potentials sollte die Weitergabe des Geschiebes und des organischen Schwemmgutes mit der fließenden Welle in das Unterwasser gewährleistet werden. Totholz und organisches Schwemmgut müssen zusammen mit Zivilisationsmüll auf Kosten des Anlagenbetreibers entsorgt werden.

#### 4. Stauraumbewirtschaftung

Die Stauraumbewirtschaftung umfasst alle Maßnahmen, die nicht im Zusammenhang mit der Feststoffbewirtschaftung stehen. Ziel ist die Verbesserung der Hydromorphologie im Bereich der Stauhaltungen und die Verbindung von Fluss und Aue.

## 6.4 Heilenbecke Talsperre

Wie in Kapitel 6.2 erwähnt, handelt es sich bei der Heilenbecke Talsperre um eine Anlage mit einer Leistung von ungefähr 24 kW. Im Falle einer Vergütung nach dem EEG kann somit mit einer Vergütung in Höhe von 9,67 Cent pro Kilowattstunde gerechnet werden. Nach §6 Abs. 5 EEG finden Speicherkraftwerke keine Anwendung auf die Abs. 1 bis 4. Als Nachweis, dass die Heilenbecke Talsperre als Laufwasserkraftwerk gesehen werden kann, dient Abbildung 6.1.



**Abbildung 6.1:** Heilenbecke Talsperre: Verhältnis Zufluss zu Abfluss

Hieraus ist zu erkennen, dass im Laufe eines Jahres der Zufluss unverzögert und ohne große Verluste wieder abgegeben wird. Dies entspricht der Definition eines Laufwasserkraftwerkes. Der Speicher gewährleistet in diesem Fall lediglich die Fallhöhe. Des Weiteren weist die Talsperre einen Ausbaugrad von 7 % auf. Dies bedeutet, dass sich innerhalb eines Jahres die Talsperre bis zu 14-mal füllt.

## 6.5 Weitere Förderung von Wasserkraftanlagen

Zur Förderung der Nutzung regenerativer Energien entwickelte das Land Nordrhein-Westfalen bzw. das Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie (MWME) eine REN-Richtlinie. Dabei steht REN für *Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen*. Gefördert werden dabei u. a. Solar-, Fotovoltaik- und auch Wasserkraftanlagen. Ziel dieses Förderprogrammes ist es, die Markteinführung

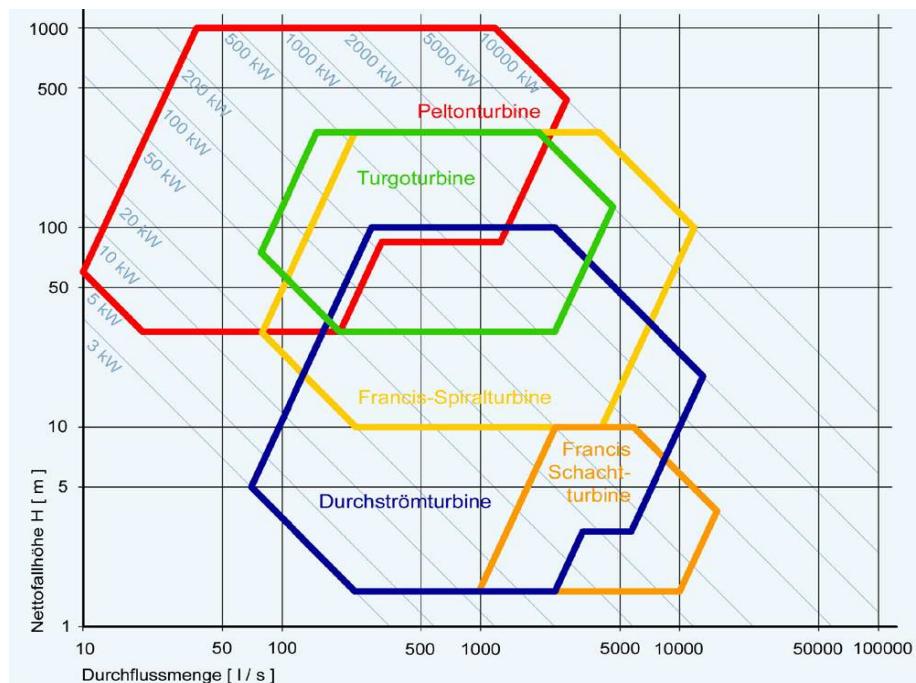
anwendbarer Techniken voranzutreiben, um so einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten (MWME, 2006). Nach einer erneuten Überarbeitung ist die REN-Richtlinie am 01.07.2006 in Kraft getreten und behält ihre Gültigkeit bis zum 31.12.2010.

Bei Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung von bis zu 1000 kW<sub>el</sub> beträgt der Fördersatz 20 % der zuwendungsfähigen Ausgaben. Für einen Zuwendungserhalt muss die Maßnahme bei der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 Bergbau und Energie, bis zum 31. November des jeweiligen Jahres eingereicht werden.

## 7 Turbinen

### 7.1 Turbinen an der Heilenbecke Talsperre

Welche Turbinenart einsetzbar ist und wie wirtschaftlich eine Wasserkraftanlage arbeiten kann, hängt sowohl von der Fallhöhe als auch von der Wassermenge ab. Im Falle der Heilenbecke Talsperre liegt nach Kapitel 6.2 eine Fallhöhe von ca. 15 m und ein Durchfluss von etwa 190 l/s vor.



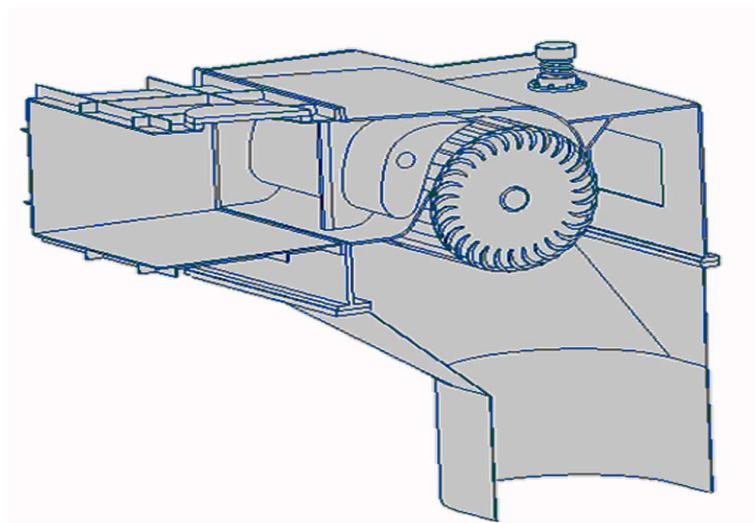
**Abbildung 7.1:** Einsatzbereiche von Turbinen; Quelle:WKV

Nach Abbildung 7.1 kommt somit eine Durchström- oder eine Francis-Spiralturbine in Frage. Neben diesen „echten“ Turbinen stehen noch sogenannte Pumpenturbinen zur Diskussion, die bei Anlagen unter 100 kW immer mehr Beachtung finden.

## 7.2 Durchströmturbine

### 7.2.1 Allgemeines

Durchströmturbinen eignen sich für Fallhöhen von 1,50 m bis ca. 80 m mit Durchflüssen zwischen 50 und 10.000 l/s und können Leistungen bis zu 2.000 kW erzeugen (WKV, 2003).



**Abbildung 7.2:** Aufbau einer Durchströmturbine; Quelle: WKV

Die Zuleitung des Wassers erfolgt über einen düsenartigen Leitapparat, durch den der Wasserstrahl beschleunigt und zu einem rechteckförmigen Querschnitt geformt wird. Mittels einer radialen Beaufschlagung und einer bestimmten Krümmung der Laufradschaufeln durchströmt das Wasser die walzenförmige Turbine zuerst von außen nach innen und nach Durchquerung des Radinneren nochmals von innen nach außen. Auf diese Weise wird die Energie sowohl beim Eintritt als auch beim Austritt abgegeben (ROTARIUS, 1991).

Der maximal erreichbare Wirkungsgrad einer Durchströmturbine liegt bei etwa 85 %. Durch eine Aufteilung des Leitapparates in einem Verhältnis von 1/3 zu 2/3 kann ein großer Arbeitsbereich abgedeckt werden. Somit wird auch bei 17 % des Schluckvermögens noch ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Mit Hilfe der zweizelligen Bauweise ist eine Nutzung schwankender Durchflüsse möglich (GIESECKE & MOSONY, 1998).

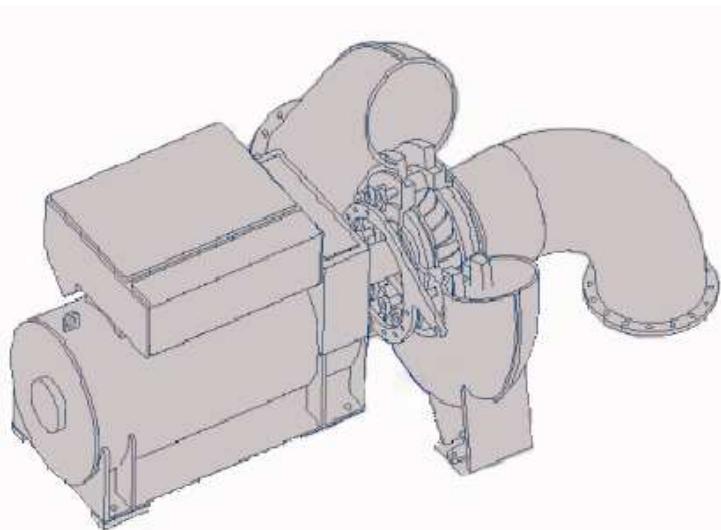
### 7.2.2 Leistungsverbesserung mittels eines Saugrohres

Durchströmturbinen zählen zu der Gruppe der Gleichdruckturbinen, auch unter dem Namen Freistrahlturbinen bekannt. Das bedeutet, dass das Wasser an dem Auslauf der Turbine keinem Unterdruck ausgesetzt ist und ins Freie fließt. Die anrechenbare Fallhöhe berechnet sich bei Freistrahlturbinen aus der Höhendifferenz zwischen Oberwasserspiegel und Laufradachse, abzüglich der Energieverluste. Die Anordnung eines Saugrohres führt zu einem Fallhöhengewinn. Durch die Verbindung von Laufradaustritt und Unterwasserspiegel herrscht am Turbinenaustritt ein Unterdruck (Sog). Das vorhandene Gefälle wird, auch bei Aufstellung der Turbine oberhalb des Unterwasserspiegels, voll wirksam, d. h. die Fallhöhe berechnet sich aus der Differenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel. Gerade im Bereich mittlerer und niedriger Fallhöhen ist die Anordnung eines Saugrohres notwendig.

## 7.3 Francis-Spiralturbine

### 7.3.1 Allgemeines

Nach WKV (2003) liegt der Einsatzbereich von Francis-Spiralturbinen bei einer Fallhöhe bis zu 300 m. Sie können Durchflüsse von 100 bis zu 10.000 l/s verarbeiten und erbringen Leistungen zwischen 20 und 10.000 kW.



**Abbildung 7.3:** Aufbau einer Francis-Spiralturbine; Quelle: WKV

Das durch die Spirale geleitete Wasser trifft radial auf das Laufrad und wird mittels geschwungener Laufradschaufeln aus der radialen Zuströmung in eine axiale Abströmung

umgelenkt. Mit Hilfe eines anschließenden Saugrohres bildet sich eine Saugwirkung, welche die Leistung einer Turbine vergrößert.

Francis-Turbinen gehören zu der Gruppe der einfachregulierten Turbinen, d. h. die Laufräder schaufeln stehen fest und sind nicht verstellbar, das Leitrad ist regulierbar. Die Aufgabe eines Leitrades besteht darin, die Fließgeschwindigkeit und die Richtung des zuströmenden Wassers sowie den Durchfluss zu regeln. Der erreichbare Wirkungsgrad einer Francis-Spiralturbine liegt bei bis zu 90 %. Aufgrund der Einfachregulierung ist eine Teilbeaufschlagung auf 40 % des Schluckvermögens begrenzt. Aus diesem Grund eignen sich Francis-Spiralturbinen vor allem bei konstanten Wassermengen (GIESECKE & MOSONY, 1998).

### 7.3.2 Leistungsverbesserung mittels eines Frequenzumrichters

In Wasserkraftanlagen wird dem Wasser die potentielle und kinetische Energie mittels Turbinen entzogen und mit Hilfe von Generatoren in elektrische Energie umgewandelt. Da bei Kleinwasserwerken Generatoren meist direkt mit der Turbine gekoppelt sind, muss die Drehzahl des Generators mit der Turbinendrehzahl  $n$  übereinstimmen. Durch die vorgegebene Frequenz des Netzes, in der Regel 50 Hz, besteht eine sogenannte Synchrongleichspannung  $n_{syn}$  zur Netzfrequenz, die auch von der Polpaarzahl des Generators abhängt. Das bedeutet jedoch, dass der Generator unabhängig von Wasserdargebot und/oder Leistung auch mit nahezu konstanter Drehzahl  $n_{syn}$  betrieben werden muss. Um dies zu sichern, läuft auch die Turbine mit einer konstanten Drehzahl. Damit ist jedoch eine Herabsetzung des Wirkungsgrades verbunden.

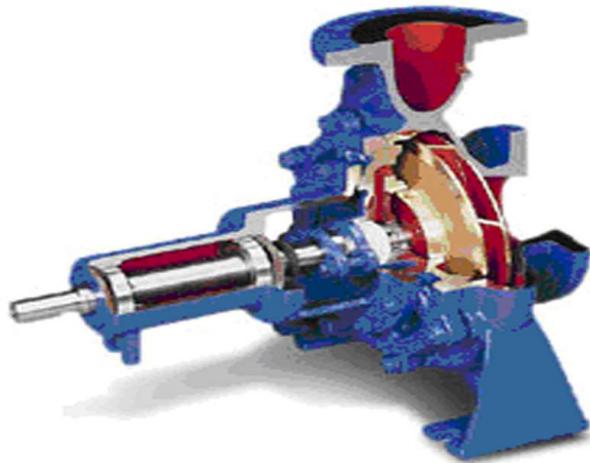
Eine Beibehaltung des Wirkungsgradoptimums würde im Gegensatz dazu zu einer Minderung der Drehzahl einer Turbine führen. Um das Energiepotenzial effektiv nutzen zu können, müsste die Generatordrehzahl dann herabgesetzt werden. Sinnvoll wäre somit eine Entkopplung der Turbinen- bzw. der Generatordrehzahl von der Netzfrequenz. Zu diesem Zweck kann zwischen Generator und Netz ein sogenannter Umrichter gesetzt werden, der den Energiefluss zwischen zwei Netzen mit unterschiedlichen Frequenzen und Spannungen steuert (MRUGOWSKY, 1999).

Gerade bei stark schwankenden Fallhöhen und Wasserdargeboten ist der Einsatz eines Umrichters interessant. Auch im Bereich unregulierter Turbinen oder für den Ersatz einer doppelt- in eine einfachregulierte Turbine ist ein drehzahlvariabler Generator eine genauere Untersuchung wert. Ein weiterer Vorteil eines Umrichters ist die Möglichkeit, Anlagen mit Asynchrongeneratoren auch im Inselbetrieb zu betreiben.

Nachteile bestehen jedoch in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit. Bei Kosten, die um die 5-10 % der Turbinenkosten betragen können, ist noch zu klären, ob sich der Einbau eines Umrichters wirklich rechnet. Denn die gewinnbringende Wirkungsgradverbesserung liegt lediglich bei etwa 2-3 %.

## 7.4 Pumpenturbine

Unter Pumpenturbinen versteht man Kreiselpumpen in ihrer umgekehrten Funktion als Turbinen. Laut der Firma RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co KG sind sogenannte einstufige Spiralgehäuse-Pumpen für Fallhöhen bis zu 80 m und Durchflussmengen bis zu 300 l/s geeignet. Mehrstufige Hochdruckpumpen werden bei Fallhöhen im Bereich von 300 - 400 m und Wassermengen bis zu 200 l/s eingesetzt.



**Abbildung 7.4:** Aufbau einer Spiralgehäuse-Pumpenturbine; Quelle: RITZ Pumpen

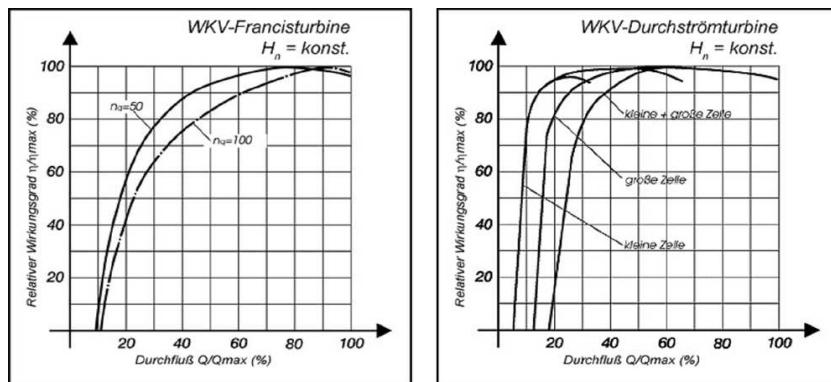
Bei einer rückwärtslaufenden Pumpe trifft das zufließende Wasser radial auf das Laufrad und tritt axial wieder aus. Der Wirkungsgrad einer Pumpenturbine liegt maximal bei etwa 80 %. Jedoch fällt dieser Wert bei geringeren Durchflussmengen bzw. geringeren Fallhöhen rapide ab. Da eine regelbare Leiteinrichtung nicht vorhanden ist, stellt eine Pumpenturbine bei konstantem Wasserangebot eine gute Lösung dar. Bei stark schwankenden Durchsatzmengen kann es vorteilhaft sein, mehrere größenmäßig unterschiedliche Turbinen einzubauen, um so den Bereich abzudecken.

Die Pumpe als Turbine unterscheidet sich zu den „klassischen“ Turbinen vor allem in ihrem geringeren Wirkungsgrad. Der Vorteil liegt jedoch in ihrer Wirtschaftlichkeit, da Kreiselpumpen ein preisgünstiges Serienprodukt darstellen.

## 7.5 Abgrenzungen und Auswahl – Heilenbecke Talsperre

Im Falle der Heilenbecke Talsperre kommen, wie bereits unter 7.1 erwähnt, drei Turbinen in Frage: eine Durchströmturbine, eine Francis-Spiralturbine und eine Pumpenturbine.

Im Vergleich zur Durchströmturbine weist eine Francis-Spiralturbine zwar in der Spitzte einen höheren Wirkungsgrad auf (ca. 5 - 7 %), jedoch liegt der Bereich der nutzbaren Durchflussmenge lediglich zwischen 100 und 40 % der Ausbauwassermenge. Die Durchströmturbine hingegen weist auch bei geringen Abflussmengen (100 - 17 %) annähernd gleich hohe Wirkungsgrade auf.



**Abbildung 7.5:** Vergleich der Wirkungsgrade; Quelle: WKV

Ein weiterer Nachteil liegt im Anschaffungspreis einer Francis-Turbine, der nach Aussage der Firma Wasserkraft Volk AG (WKV) 3-4-mal höher als der einer Durchströmturbine ist. Eine wirtschaftliche Alternative zu den „klassischen“ Turbinen stellen Pumpenturbinen dar und finden große Anwendung gerade im Bereich kleiner Anlagen. Aufgrund großer Fertigungsstückzahlen ist der Anschaffungspreis sehr gering.

Im weiteren Verlauf wird daher näher auf den Einsatz einer Durchströmturbine sowie einer Pumpenturbine eingegangen. Auf eine Francisturbine wird bei den folgenden Untersuchungen und Berechnungen verzichtet.

## 8 Erfahrungen an anderen Talsperren

### 8.1 Ennepetalsperre – Durchströmturbine

#### 8.1.1 Die Ennepetalsperre

Die Ennepetalsperre liegt in der Nähe der Städte Ennepetal und Breckerfeld. Die nach dem Prinzip von Prof. Otto Intze konzipierte Staumauer wurde zwischen 1902 und 1904 erbaut. 1912 wurde die gekrümmte Gewichtsstaumauer aus Bruchsteinen um 10 m erhöht, so dass die Stauhöhe um 2,50 m angehoben werden konnte und sich das Stauvolumen von 10,3 Mio. m<sup>3</sup> auf 12,6 Mio. m<sup>3</sup> vergrößerte. Heute ist vor der Niedrigwasseraufhöhung der Ennepe die Trinkwasserversorgung die wichtigste Aufgabe der Talsperre. Rohwasserentnehmer ist das Versorgungsunternehmen AVU Gevelsberg.

Tabelle 8.1 zeigt die hydrologischen Gegebenheiten im Vergleich zur Heilenbecke Talsperre auf.

**Tabelle 8.1:** Hydrologische Daten der Ennepe und der Heilenbecke Talsperre im Vergleich

	Einheit	Ennepetalsperre	Heilenbecke Talsperre
Einzugsgebiet	km <sup>2</sup>	48,2	7,6
Ausbaugrad	%	33	7
Stauinhalt	m <sup>3</sup>	12.600.000	450.000
Zufluss	m <sup>3</sup> /a	40.000.000	6.380.000
	l/s	1.270	202
Rohwasserentnahme	m <sup>3</sup> /a	8.000.000	350.000
	l/s	254	11
Mindestwasserabgabe (in Abhängigkeit d. Stauinhaltes)	l/s	100 - 600*	20*
für WKA zur Verfügung stehendes Wasser	m <sup>3</sup> /a	32.000.000	6.030.000
	l/s	1.015	192

\*Mindestwasserabgabe steht für die Erzeugung von Strom zur Verfügung.

### 8.1.2 Die Wasserkraftanlage

Seit 1997 ist der Ruhrverband Essen Eigentümer der Ennepetalsperre. Zuvor gehörte sie dem Ennepe-Wasserverband. Betreiber der Wasserkraftanlage sind die Lister- und Lennekraftwerke GmbH (LLK) mit Sitz in Olpe.

Der Einbau der Wasserkraftanlage erfolgte nach einigen Untersuchungen im Jahr 2005, so dass die Anlage im Dezember 2005 in Betrieb genommen werden konnte. Unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten wurde mittels einer Machbarkeitsstudie die linke Sperrenseite für einen Standort als günstig befunden, da an dieser Stelle der Grundablass direkt am Ennepebach liegt. Um u. a. die bestehenden Anlagen unverändert beibehalten zu können, wurde die Wasserkraftanlage als Unterflurkraftwerk ausgebildet. D. h. sie wurde direkt an der Staumauer unterirdisch eingebaut, so dass die Zufahrt zum Grundablassstollen unbehindert blieb.

Zur Ausführung kam eine Durchströmturbine der Firma WKV mit einer maximalen Durchflussmenge von 1.100 l/s (Abbildung 8.1). Da eine Durchströmturbine auch noch bis zu 17 % der Ausbauwassermenge verarbeiten kann, liegt die minimale Durchsatzmenge bei 190 l/s, wobei die in das Unterwasser abzugebende Mindestwassermenge mit zur Energiegewinnung herangezogen werden kann. Bei einer mittleren Stauhöhe von 32 m ergibt sich eine Turbinenleistung von 283 kW und eine Einspeiseleistung von 267 kW. Im Mittel liegt die zu erwartende Jahreserzeugung bei 1,2 MWh. Diese sollen abzüglich des Eigenstrombedarfes der Anlage (elektr. Hilfsantriebe, Licht, Belüftung, etc.) in das öffentliche Netz des AVU Gevelsberg eingespeist und nach dem EEG vergütet werden.

Die Investitionskosten der kompletten Anlage (Tabelle 8.2) belaufen sich auf etwa 700.000 EUR.

**Tabelle 8.2:** Investitionskosten für die Turbinenanlage an der Ennepetalsperre

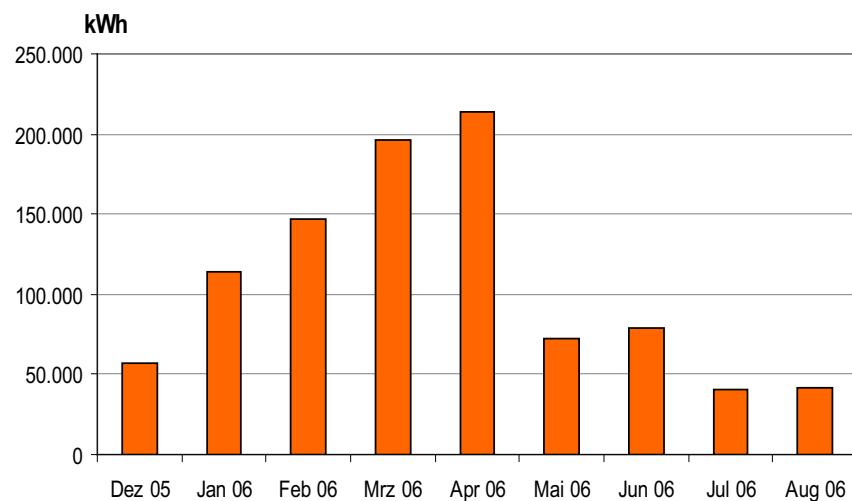
Investitionskosten unterteilt nach	[EUR]
Baukosten (Rohbau des Kraftwerkes)	149.000
Kosten der Verfahrenstechnik (Turbine, Armaturen, etc.)	215.000
Kosten der Elektrotechnik (Generator, Schaltanlage, etc.)	250.000
indirekte Baukosten, Erschließungskosten, Bau-Gemeinkosten	86.000
Summe [EUR]	700.000



**Abbildung 8.1:** Durchströmturbine an der Ennepetalsperre

### 8.1.3 Erfahrungen

Seit Inbetriebnahme der Anlage im Dezember 2005 wurden bis einschließlich August 2006 ungefähr 961.550 kWh erzeugt. Im Mittel sind das etwa 106.800 kWh/Monat und 3.500 kWh/Tag. Dabei weisen die Monate März und April mit jeweils rund 200.000 kWh/ Monat die höchsten Energieerzeugungswerte auf (s. Tabelle 8.3). Der monatliche Verlauf ist Abbildung 8.2 zu entnehmen.



**Abbildung 8.2:** Monatliche Energieerzeugung

**Tabelle 8.3:** Energieerzeugung an der Ennepetalsperre

Einheit	Dez 05	Jan 06	Feb 06	Mrz 06	Apr 06	Mai 06	Jun 06	Jul 06	Aug 06
[kWh/Monat]	56.787	114.171	147.405	196.246	213.418	71.893	78.981	40.703	41.944
[kWh/Tag]	1.832	3.683	5.083	6.331	7.114	2.320	2.633	1.313	1.354
[kW]	76,3	153,5	211,8	263,8	296,4	96,7	109,7	54,7	56,4

Nach dem heutigen Kenntnisstand wird die Anlage wie geplant ganzjährlich betrieben. Nur für Ausnahmen wie Reparatur- oder Wartungsarbeiten wird die Anlage außer Betrieb genommen. Dabei belaufen sich die Betriebskosten nach Angaben der LLK derzeit auf ca. 2.500 EUR/Monat.

## 8.2 Fuelbecke Talsperre – Pumpenturbine

### 8.2.1 Die Fuelbecke Talsperre

Die Fuelbecke Talsperre liegt ca. 7 km südlich der Stadt Altena. Wie die Heilenbecke Talsperre wurde sie als Kühl- und Triebwasserspeicher für Niedrigwasserzeiten in den Jahren 1894-1896 nach Plänen von Prof. Otto Intze erbaut. Seit 1959 dient sie nur noch der Trinkwasserversorgung. Im Zuge einer Sanierung wurde die bogenförmige Gewichtsstaumauer ebenfalls mit einer vorgesetzten Dichtwand versehen.

Alle hydrologischen Daten sind im Vergleich zur Heilenbecke Talsperre in Tabelle 8.4 dargestellt.

**Tabelle 8.4:** Hydrologische Daten der Fuelbecke und der Heilenbecke Talsperre im Vergleich

	Einheit	Fuelbecke Talsperre	Heilenbecke Talsperre
Einzugsgebiet	km <sup>2</sup>	4,7	7,6
Ausbaugrad	%	20	7
Stauinhalt	m <sup>3</sup>	700.000	450.000
Zufluss	m <sup>3</sup> /a	2.960.000	6.380.000
	l/s	94	202
Rohwasserentnahme	m <sup>3</sup> /a	1.000.000	350.000
	l/s	32	11
Mindestwasserabgabe	m <sup>3</sup> /a	284.000	631.000
	l/s	9**	20*
für WKA zur Verfügung stehendes Wasser	m <sup>3</sup> /a	1.680.000	6.030.000
	l/s	53	192

### 8.2.2 Die Wasserkraftanlage

Eigentümer und Betreiber der Fuelbecke Talsperre und der Wasserkraftanlage sind die Stadtwerke Altena GmbH mit Sitz in Altena. Erste Überlegungen im Jahr 1995 sahen den Standort der Turbine noch in der Staumauer vor. Aufgrund eines Neubaus einer Druckerhöhungsanlage, die ca. 300 m unterhalb der Staumauer gelegen ist, bestand schließlich die Möglichkeit die Wasserkraftanlage in dieses Gebäude zu platzieren. Im Jahr 2002 folgten daraufhin neue Untersuchungen. Diese sahen den Einsatz einer rückwärtslaufenden Pumpe zur Energieerzeugung vor. Die Bauausführung erfolgte schließlich 2004.

\*Mindestwasserabgabe steht für die Erzeugung von Strom zur Verfügung.

\*\*Mindestwasserabgabe steht für die Erzeugung von Strom nicht zur Verfügung.

Die Turbinenleitung ist in DN 200 ausgeführt und wird im Regelfall über den rechten Grundablass gespeist. Da der Auslauf der Turbine in den angrenzenden Fuelbecker Bach 300 m unterhalb der Staumauer erfolgt, ist die Nutzung der Mindestwasserangabe nicht möglich. Für die Ausführung wurde schließlich eine Turbine der Firma RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co KG, Typ Norma 125-315 in horizontaler Bauweise gewählt. Um den Vorrang der Mindest- und Rohwasserabgabe zu gewährleisten, muss der Betrieb der Anlage bei einer bestimmten Stauhöhe eingestellt werden. Dadurch steht der Energieerzeugung im Fall der Fuelbecke Talsperre eine minimale Fallhöhe von 22,90 m und eine maximale Druckhöhe von 27,50 m zur Verfügung. Bei dieser Höhe beträgt die Durchsatzmenge der Turbine 250 m<sup>3</sup>/h = 70 l/s. Die mechanische Turbinenleistung beträgt somit 15 kW, die Leistungsabgabe in das öffentliche Stromnetz 13,5 kW. Bei einer jährlichen Energieerzeugung von ungefähr 90.000 kWh sollen rund 45.000 kWh für den Eigenbedarf genutzt werden, die andere Hälfte bzw. der Rest in das öffentliche Netz eingespeist werden.

Die Investitionskosten in Höhe von rund 80.000 EUR setzen sich wie folgt zusammen:

**Tabelle 8.5: Investitionskosten für die Turbinenanlage an der Fuelbecke Talsperre**

Investitionskosten unterteilt nach	Netto [EUR]	Brutto [EUR]
Kosten der Verfahrenstechnik (Turbine, Armaturen, etc.)	24.721	28.676
Kosten der Elektrotechnik (Generator, Schaltanlage, etc.)	25.983	30.141
indirekte Baukosten (Ingenieurleistungen)	9.562	11.092
Bau-Gemeinkosten		
Wasserrechtsantrag	7.600	8.816
Verwaltungs-, Genehmigungsgebühren (Festbetrag)	937	937
Summe [EUR]	68.803	79.662

Zum Zeitpunkt der Planung im Jahr 2002 war das Gebäude der Druckerhöhungsanlage schon in Bestand, so dass keine zusätzlichen Baukosten entstanden. Da während des Baus des Gebäudes jedoch schon Überlegungen vorhanden waren, eine Wasserkraftanlage an der Fuelbecke Talsperre zu integrieren, wurde das Gebäude um den dafür notwendigen Raum vergrößert. Die daraus hervorgehenden Mehrkosten des Bauwerks belaufen sich auf etwa 16.000 EUR.

Man kann also sagen, dass sich die Gesamtkosten der Anlage auf 96.000 EUR belaufen.

Anfallende Betriebskosten pro Jahr wurden mit 52 Stunden je 33,00 EUR/h = 1.716,00 EUR angenommen. Bei Ansetzen einer Verzinsung von 5 % ergab sich somit eine Amortisationszeit von 22,34 Jahren.

Im Jahr 2003 wurde seitens der Stadtwerke Altena vor Baubeginn ein Antrag auf Gewährung einer Zuwendung im Rahmen des REN-Programmes gestellt. Zu diesem Zeitpunkt lag die maximale Förderquote noch bei 30 %. Da die geforderte Mindestamortisationszeit von 15 Jahren im Fall der Fuelbecke Talsperre überschritten wurde, konnte dieser Baumaßnahme der volle Fördersatz in Höhe von 30 % der zuwendungsfähigen Gesamtausgaben (68.803 EUR) zugesprochen werden. Daraus ergab sich aufgrund des REN-Programmes eine Zuwendung des Landes von 20.640 EUR.

### 8.2.3 Erfahrungen

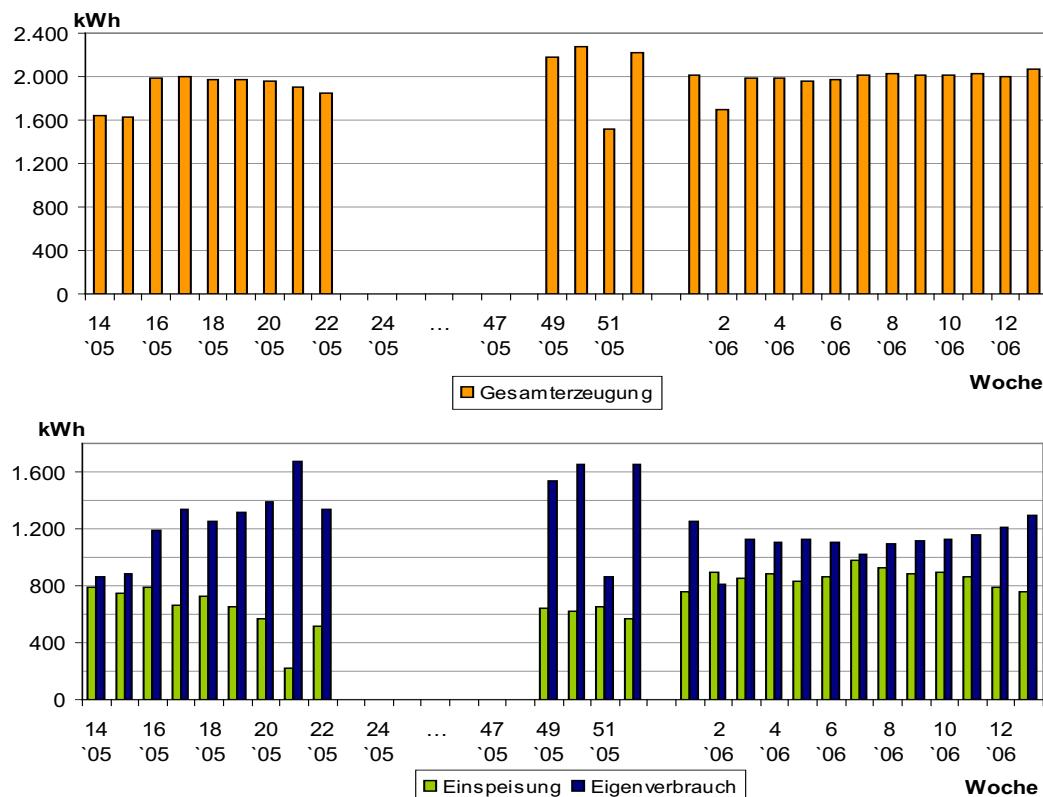


**Abbildung 8.3:** Turbinenanlage der Fuelbecke Talsperre

Seit Inbetriebnahme der Turbinenanlage am 28.05.2004 wurden bis Ende des Jahres 2004 7.300 kWh in das öffentliche Netz eingespeist und aufgrund des EEG mit 7,67 ct/kWh vergütet. Abnehmer des Stromes ist die Mark-E Aktiengesellschaft mit Sitz in Hagen. Die Höhe des insgesamt erzeugten Stromes im Jahr 2004 ist nicht bekannt, da erst seit dem 12.04.2005 Daten wöchentlich dokumentiert werden.

Die vorliegenden Daten von der 14.KW 2005 (April 2005) an bis zur 13.KW 2006 (April 2006) geben Auskunft über die Energieerzeugung innerhalb eines Jahres (s. Abbildung 8.4). Dabei beträgt die Gesamtenergieerzeugung  $50.859 \text{ kWh/a} \approx 1.956 \text{ kWh/Monat}$ , was deutlich weniger ist als die berechnete mögliche Erzeugung in Höhe von  $90.000 \text{ kWh/a}$ . Dies lässt sich in der Fallhöhe begründen, über die zwar leider keine genauen Daten vorliegen, jedoch wurde festgehalten wieviel  $\text{m}^3$  Wasser monatlich der Erzeugung von Strom dienten. Statt der berechneten  $46.200 \text{ m}^3$  (maximale Durchsatzmenge) gingen rund  $41.000 \text{ m}^3$  Wasser

pro Monat durch die Turbine. Da zwischen Durchsatzmenge und Fallhöhe ein direkter Zusammenhang besteht, lässt sich daraus schließen, dass der Kraftanlage in diesem Jahr eine geringere Fallhöhe zur Verfügung stand.



**Abbildung 8.4:** Wöchentliche Energieerzeugung und Energienutzung

Aus Abbildung 8.4 lässt sich erkennen, dass die Anlage in diesem ersten aufgezeichneten Jahr von der 23.KW bis zur 48.KW stillstand. Die genaue Laufzeit der Anlage beträgt 177 Tage. Während dieser Betriebszeit konnte die Anlage mit einer Energieerzeugung von etwa 2.000 kWh/Monat relativ konstant betrieben werden. Der Eigenverbrauch lag dabei im Mittel mit 62 % der Gesamtenergie bei 1.212 kWh/Monat  $\approx 31.515 \text{ kWh/a}$ ; die Einspeisung beträgt mit 38 % etwa 744 kWh/Monat  $\approx 19.344 \text{ kWh/a}$ . Bei einer Vergütung von 7,67 ct/kWh macht dies eine direkte Einnahme von 1.484 EUR/a aus.

Da die Wasserkraftanlage mit der Druckerhöhungsanlage in einem Gebäude untergebracht wurde, werden die Daten bei Routinekontrollen der Druckerhöhungsanlage miterfasst. Aufgrund dessen wird davon ausgegangen, dass im Schnitt die so erlangte Zeitersparnis auf eine jährliche Wartung und Instandsetzung umgelegt werden kann.

## Teil III

# Vorplanerische Berechnungen



# 9 Einsatz einer Durchströmturbine

## 9.1 Mögliche Standorte

Im Nachfolgenden werden verschiedene Standortvarianten diskutiert, die sich mittels einer Ortsbesichtigung ergaben (siehe Abbildung 9.1).

### 9.1.1 Standort 1

Bei der ersten Lagevariante wird die vorhandene Rohwasserentnahmleitung (DN 400) für die Wasserzuleitung zur Turbine genutzt. Dies ist möglich, da die Rohwasserentnahme in Höhe von etwa 11 l/s auf die bestehende DN 150-Leitung umgeleitet werden kann.

Die Lage einer Wasserkraftanlage ist dabei kurz hinter der Schussrinne vorteilhaft. Für die Unterbringung der Turbine, des Generators und einer Schaltanlage muss ein Gebäude in Form eines Häuschens oder eines Schachtes errichtet werden. Die Turbine sollte mit einem Saugrohr ausgestattet werden, um so das gesamte Gefälle auszunutzen.

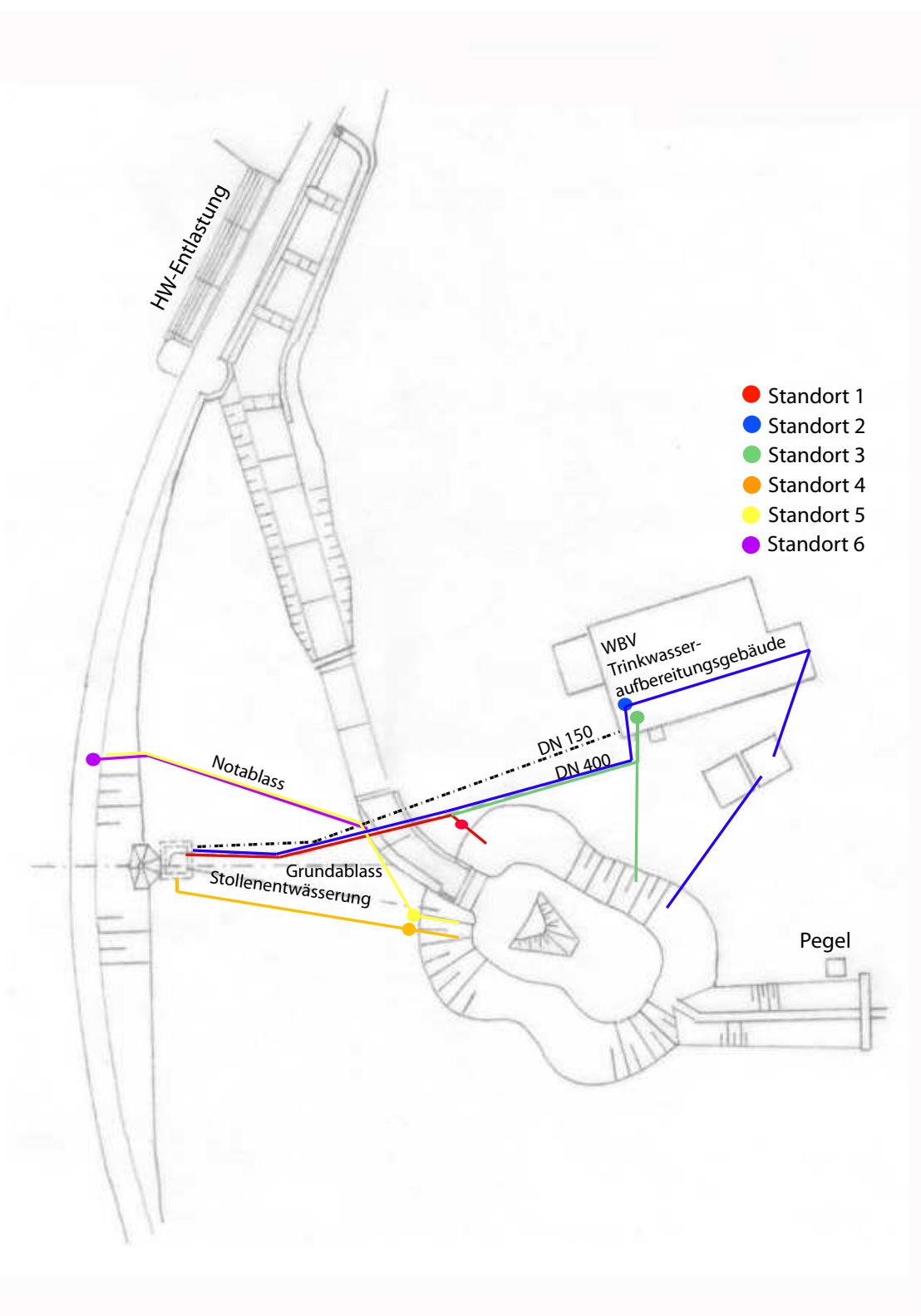
Vorteile:

- Nutzung vorhandener Rohrleitungen
- Gute Anbindung an das Unterwasser bzw. das Tosbecken
- Einfache Baustelleneinrichtung und -zufahrt

Nachteile:

- Hohe Reibungsverluste infolge langer und alter Rohrleitungen
- Änderung der Rohrleitungsverläufe im Schieberhaus infolge der Nutzungsänderung (DN 400 und DN 150)

Diese Möglichkeit wird im weiteren Verlauf vertieft untersucht.



**Abbildung 9.1:** Übersicht über die möglichen Standorte einer Durchströmturbine

### 9.1.2 Standort 2

Bei dieser Variante kann ebenfalls die vorhandene Rohwasserentnahmleitung (DN 400) genutzt werden. Die Turbine wird dabei im bestehenden Trinkwasseraufbereitungsgebäude des Wasserbeschaffungsverbandes Ennepetal-Milspe untergebracht. Für den Auslauf der Turbine dient ein im Gebäude gelegener 1,50 m breiter und 1,00 m hoher Kanal. Von diesem Kanal aus fließt das Wasser in eines der außerhalb des Gebäudes gelegenen Schlammbecken. Um eine bessere Fallhöhe erreichen zu können, muss der Wasserstand des Tosbeckens in der Grube (Schlammbecken) vorhanden sein. Mittels einer neu zu verlegenden Leitung wird das Wasser von dort in das Tosbecken abgeführt.

Da jedoch beide vorhandenen Schlammbecken für die Trinkwasseraufbereitung in Funktion sind und auch auf keines der beiden verzichtet werden kann, entfällt diese Variante.

### 9.1.3 Standort 3

Wie bei der unter Standort 2 vorgestellten Variante werden die vorhandene Rohrleitung und das Gebäude genutzt. Da nach WKV ein Höhenunterschied von 1,30 - 2,00 m zwischen Turbinenachse und Unterwasser vorhanden sein sollte, ist das Gebäude unterhalb der Anlage zu untergraben. Das Wasser muss dann druckfrei, z. B. über eine Freispiegelleitung, in das Tosbecken geleitet werden.

Das Problem dieses Standortes besteht darin, dass der Auslauf unter den Fundamenten des Gebäudes verlaufen würde und Pläne dieses Gebäudes nicht vorliegen. Kosten sind schlecht abzuschätzen und können aufgrund unvorhergesehener Probleme und Baumaßnahmen leicht ansteigen. Aus diesen Gründen wird diese Variante nicht weiter untersucht.

### 9.1.4 Standort 4

Wird die Grundablassleitung genutzt, muss vor dem Ringkolbenventil eine neue Rohrleitung abgehen, die bis zum Tosbecken reicht. Ein Schacht/ein Häuschen kurz vor dem Tosbecken dient der Unterbringung einer Wasserkraftanlage. Mittels eines Saugrohres kann das gesamte Gefälle genutzt werden.

Vorteile:

- Geringe Verlusthöhen aufgrund neuer Rohrleitungen
- Gute Anbindung an das Unterwasser bzw. das Tosbecken

Nachteile:

- Zusätzliche Kosten durch Verlegen einer neuen Rohrleitung
- Baustellenzugang gestaltet sich etwas schwieriger, da die Schussrinne zwischen der Wasserkraftanlage und der Zufahrt liegt.

Diese Variante wird als mögliche Lösung vertieft untersucht.

#### **9.1.5 Standort 5**

Bei Nutzung der Notablassleitung wird vor dem Auslauf des Rohres in die Schussrinne eine Klappe installiert und eine neue abzweigende Rohrleitung zum Tosbecken geführt. An diese Leitung muss ein Schacht/ein Häuschen gebaut werden, in dem zum einen die Wasserkraftanlage, zum anderen das Ringkolbenventil aus der Staumauer untergebracht ist. Die Verlegung des Ringkolbenventils gewährleistet eine bestehende Druckleitung.

Diese Variante hat Ähnlichkeit mit der Standortvariante 4. Da jedoch diese Maßnahme etwas aufwendiger wäre (Versetzen des Ringkolbenventils und infolgedessen größere Außenmaße eines Schachtes/eines Häuschens, Kreuzen der Grundablassleitung), wird diese Variante nicht weiter betrachtet.

#### **9.1.6 Standort 6**

In diesem Fall wird die Wasserkraftanlage innerhalb der Staumauer installiert. Mit Hilfe einer Bypass-Leitung und einer dementsprechenden Konstruktion befindet sich die Turbine oberhalb der Notablassleitung. Bei dieser Maßnahme ist aus konstruktiven Gründen kein Saugrohr möglich, so dass sich die nutzbare Fallhöhe aus der Höhendifferenz zwischen Oberwasserspiegel und Turbinenachse bzw. Achse des Notablasses berechnet. Nachdem das Wasser die Turbine durchlaufen hat, muss die Rohrleitung bis zur Schussrinne als Freispiegelleitung funktionieren.

Diese Variante birgt einige Probleme in sich:

- Fallhöhenminderung um  $\sim 20\%$  (s. dazu Anhang B.1.7)
- Schwierige Umsetzung aus technischen Gründen (Auslauf aus der Turbine und Anbindung an eine Rohrleitung)

- Zugang zum Notablass nur durch Kontrollgang; schwieriger Transport der WKA zum Notablass
- Geringes Platzangebot in der Staumauer.

Somit scheidet diese Lösung aus technischen Gründen aus.

## 9.2 Hydraulische Berechnungen

Die unter Abschnitt 9.1.1 und Abschnitt 9.1.4 aufgeführten Standorte 1 und 4 werden nun als mögliche Lösungen hydraulisch untersucht. Darunter ist die Ermittlung der zur Verfügung stehenden Fallhöhe zu verstehen, die die Leistung einer Turbine maßgebend mit beeinflusst.

### 9.2.1 Bruttofallhöhe

In beiden Fällen wird eine Durchströmturbine mit Saugrohr Anwendung finden. Somit berechnet sich die Bruttofallhöhe gleichermaßen. Sie ist definiert als die Differenz zwischen Ober- und Unterwasser.

$$\text{Bruttofallhöhe } H_B = \text{OW} - \text{UW} \quad [\text{m}]$$

Vereinfacht wird die mittlere Stauhöhe der letzten 15 Jahre (1991-2005) als Oberwasser angenommen (siehe Kapitel 5.1 und Anhang B.1.2).

$$\text{OW} = 300,36 \text{ m ü. NN}$$

Als Unterwasser wird in diesem Fall der Wasserspiegel im Tosbecken bezeichnet. Dieser lässt sich mit Hilfe von Wasserständen im Unterlauf zurückrechnen (siehe auch Anhang B.1.2) und beläuft sich im Mittel auf

$$\text{UW} = 283,19 \text{ m ü. NN.}$$

Für eine Durchströmturbine mit Saugrohr ergibt sich somit eine Bruttofallhöhe in Höhe von

$$\begin{aligned} H_B &= \text{OW} - \text{UW} \\ &= 300,36 \text{ m ü. NN} - 283,19 \text{ m ü. NN} \\ &= 17,17 \text{ m.} \end{aligned}$$

Um Schwankungen in der Durchsatzmenge zu berücksichtigen, wird in den folgenden Berechnungen der mittlere Durchfluss von  $Q = 192 \text{ l/s}$  (siehe Kap. 4.4.3) angesetzt. Da die Durchströmturbine über den Leitapparat regelbar ist und somit der Durchfluss nicht direkt von der Fallhöhe abhängig ist, ist eine Vereinfachung in Bezug auf die Stauhöhe sowie die Durchsatzmenge für Vorberechnungen ausreichend genau.

### 9.2.2 Nettofallhöhe – Variante I

#### Konstruktion

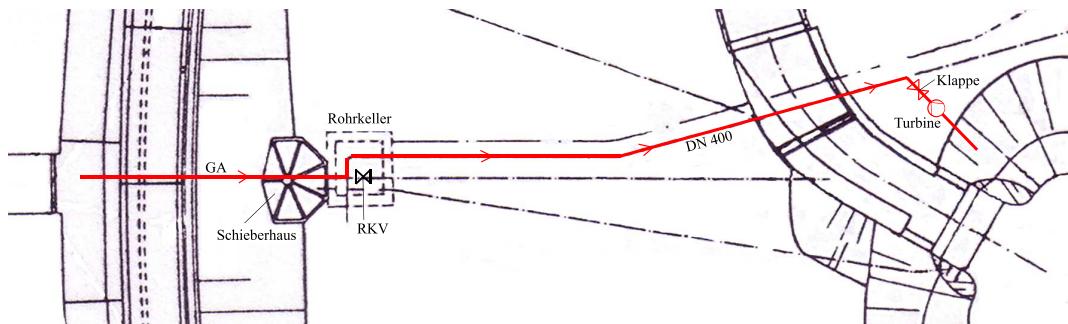


Abbildung 9.2: Lageplan – Variante I

Bei der unter Abschnitt 9.1.1 erwähnten Variante 1 wird in der Staumauer die vorhandene Grundablassleitung DN 400 genutzt. Kurz vor dem Ringkolbenventil (RKV), welches nur für größere Abflussmengen geöffnet wird, geht eine Verzweigung im 90°-Winkel von dieser Leitung ab und wird mit der schon bestehenden DN 300-Leitung verbunden. Hinter dem Rohrkeller geht diese in ein DN 400 Rohr über. Diese Leitung, die zum jetzigen Zeitpunkt der Rohwasserentnahme dient, verläuft quer zur Schussrinne bis zum Trinkwasseraufbereitungsgebäude. Ungefähr 5 m hinter der Schussrinne zweigt in einem ~60°-Winkel der Zulauf zur Turbine ab. Zur Sicherung der Rohwasserentnahme auch in Notfällen oder im Falle von Reparaturarbeiten an der DN 150-Leitung wird hinter der Verzweigung eine Absperrklappe oder ein Schieber angebracht. Diese sollte auch geschlossen werden, wenn die Turbine außer Betrieb genommen wird. Solch ein Absperrorgan kann gegebenenfalls entfallen, da die Fallhöhe unter 30 m liegt und somit der Leitapparat diese Funktion übernehmen kann. In den weiteren Berechnungen wird aber vorsichtshalber ein Absperrorgan mit betrachtet. Da im Trinkwasseraufbereitungsgebäude ein Absperrorgan an der DN 400-Leitung vorhanden ist, ist hinter der Verzweigung zur Turbine keine Klappe o. ä. notwendig. Um den Mindestabfluss von 20 l/s auch im Fall der Außerbetriebnahme der Turbine zu

gewährleisten, muss die Bypassleitung DN 80 an dem Ringkolbenventil in der Staumauer geöffnet werden.

Zusätzliche Stahlbauarbeiten bestehen in der notwendigen Änderung der Zuläufe im Rohrkeller. Um die vorrangige Rohwasserentnahme zu ermöglichen, muss im Rohrkeller eine neue Verbindung zwischen der bestehenden Rohwasserentnahmleitung DN 300 in der Staumauer und der sogenannten Notentnahmleitung DN 150 geschaffen werden.

### Kontinuierliche Verluste

Unter kontinuierlichen Verlusten versteht man die entlang einer Rohrleitung durch Reibung entstehende Verlusthöhe  $h_{v,R}$ . Diese lässt sich nach Darcy-Weisbach wie folgt berechnen:

$$h_{v,R} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (9.1)$$

Dabei bezeichnet  $\lambda$  den Widerstandsbeiwert der Reibung,  $L$  die Länge der Rohrleitung,  $D$  den Rohrdurchmesser,  $v$  die Fließgeschwindigkeit des Wasser in der Rohrleitung und  $g$  die Erdbeschleunigung. Der Widerstandsbeiwert  $\lambda$  ist unter anderem von der Rauheit des Rohres abhängig. Im Falle der Variante I sind gebrauchte Rohrleitungen aus Gusseisen vorhanden, was sich durch höhere  $\lambda$ -Werte (größerer Widerstand) auf die Reibungsverluste auswirkt. Die genaue Ermittlung der einzelnen Werte und somit der Verlusthöhe  $h_{v,R}$  ist Anhang B.1.3 zu entnehmen.

Demnach belaufen sich die kontinuierlichen Verluste auf  $h_{v,R} = 0,569$  m.

### Örtliche Verluste

Zusätzlich zu den kontinuierlichen Verlusten entstehen örtliche Verluste  $h_{v,O}$ . Diese werden durch sogenannte Unstetigkeitsstellen verursacht. Dazu gehören Leitungselemente wie Rohreinläufe, Rohrkrümmer, Verzweigungen und Armaturen. Örtlich auftretende Ablösungen der Strömung von der Rohrwand und Verwirbelungen führen zu hydraulischen Verlusten.

$$h_{v,O} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (9.2)$$

Die Verlustbeiwerte  $\zeta$  und damit die örtlichen Verluste lassen sich für jede Unstetigkeitsstelle ermitteln (Anhang B.1.3).

Bei Nutzung der vorhandenen DN 400-Rohrleitung entsteht ein Verlust in Höhe von 0,555 m.

### Nettofallhöhe

Die Nettofallhöhe bezeichnet die Fallhöhe, die für die Leistung einer Turbine anrechenbar ist. Im Fall der Variante I berechnet sich die nutzbare Fallhöhe zu

$$\begin{aligned}
 H_N &= H_B - (h_{v,R} + h_{v,O}) \\
 &= 17,17 \text{ m} - (0,569 \text{ m} + 0,555 \text{ m}) \\
 &= 17,17 \text{ m} - 1,12 \text{ m} \\
 &= 16,05 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

### 9.2.3 Nettofallhöhe – Variante II

#### Konstruktion

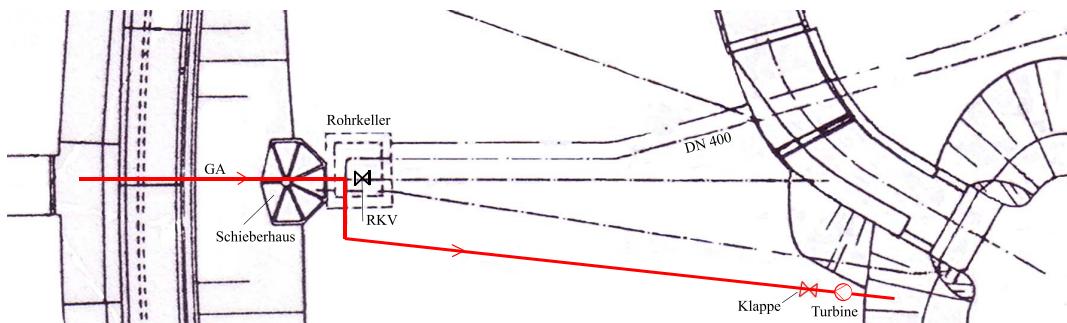


Abbildung 9.3: Lageplan – Variante II

Wie unter Abschnitt 9.1.4 erwähnt, wird auch bei dieser Standortwahl (Variante 4) der vorhandene Grundablass bis zum Ringkolbenventil im Rohrkeller genutzt. Von diesem geht dann eine neue Rohrleitung in DN 400 ab. Dazu muss durch die 35 cm starke Rohrkellerwand ein Durchbruch vorgenommen werden. Ungefähr 1 m hinter der Wand führt dann unter  $\sim 75^\circ$  die neue Rohrleitung bis zum Tosbecken. Die erdverlegte Leitung verläuft dabei fast parallel zur Stollenentwässerung DN 250 und unter einer Neigung von etwa 1 %. Um den notwendigen Abstand zwischen Unterwasser und Turbinenachse einzuhalten, kann die Leitung nicht gerade verlaufen, sondern muss um etwa 1 m nach oben verspringen.

Während des Betriebes der Turbine ist sowohl das Ringkolbenventil als auch die Umführungsleitung in der Staumauer geschlossen. So wird auch der Mindestabfluss für die Stromerzeugung genutzt. Kann die Turbine nicht mehr betrieben werden, wird eine Absperrklappe oder alternativ ein Schieber vor der Turbine geschlossen und die Umführungs-

leitung um das Ringkolbenventil geöffnet, um so die Mindestwasserabgabe in Höhe von 20 l/s zu gewährleisten.

### Kontinuierliche Verluste

Die kontinuierlichen Verluste  $h_{v,R}$  belaufen sich bei der Variante II auf 0,305 m.

Im Vergleich zur Variante I birgt diese Standortwahl eine Verbesserung um mehr als 25 cm. Dies ist vorrangig in der kürzeren Strecke bis zur Turbine und der geringeren Rauheit der Stahlrohrleitung begründet. Die genaue Berechnung ist Anhang B.1.5 zu entnehmen.

### Örtliche Verluste

Bei Anordnung einer Wasserkraftanlage an eine neue Stahlrohrleitung liegen die örtlichen Verluste  $h_{v,O}$  bei 0,424 m.

### Nettofallhöhe

Aus der Bruttofallhöhe  $H_B$ , den kontinuierlichen Verlusten  $h_{v,R}$  und den örtlichen Verlusten  $h_{v,O}$  berechnet sich die nutzbare Nettofallhöhe  $H_N$  in diesem Fall zu

$$\begin{aligned}
 H_N &= H_B - (h_{v,R} + h_{v,O}) \\
 &= 17,17 \text{ m} - (0,305 \text{ m} + 0,424 \text{ m}) \\
 &= 17,17 \text{ m} - 0,73 \text{ m} \\
 &= 16,44 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

### 9.3 Bestimmung der Ausbauwassermenge $Q_a$

Neben der nutzbaren Fallhöhe bestimmt die Ausbauwassermenge  $Q_a$  die Auswahl einer Turbine und die Leistung einer Wasserkraftanlage maßgebend. Dabei besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Ausbaumenge und Ausnutzungsdauer einer Anlage. Bei Vergrößerung der Ausbauwassermenge verkürzt sich die Ausbauzeit, bei Verkleinerung der Wassermenge verlängert sie sich. Nach PÁLFFY et al. (1991) sollte bei neuen Wasserkraftanlagen eine Ausbauzeit von 90-120 Tagen erreicht werden. Das bedeutet, dass eine Anlage mit einer Ausbauzeit von z. B. 90 Tagen 25 % aller Tage unter Vollast gefahren wird. Aus den Überschreitungsdauerwerten bzw. der Überschreitungsdauerlinie der Heilenbecke Talsperre (Anhang A.3.5 und A.3.6) lässt sich erkennen, dass bei 90-120 Tagen die Ausbauwassermenge zwischen 230 l/s und 165 l/s liegt. In der Regel wird bei einer flachen Abflussdauerlinie mit ausgeprägter Hochwasserspitze ein mittlerer Ausbaugrad gewählt. Dies entspricht nach GIESECKE & MOSONY (1998) einem Durchfluss von  $Q_{90} = 230$  l/s oder einem  $Q_{100} = 200$  l/s.

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers in den Rohrleitungen kann zusätzlich als Kriterium für eine sinnvolle Ausbauwassermenge herangezogen werden. Zur Vermeidung zu großer Verluste und unter Einhaltung einer gewissen Wirtschaftlichkeit sollte die Fließgeschwindigkeit in der Regel zwischen 1 und 7 m/s liegen. Bei steileren Rohrleitungen mit größerem Durchmesser wählt man den oberen Bereich, bei flachen Rohrleitungen mit kleinerem Durchmesser den unteren Bereich (GIESECKE & MOSONY, 1998). Mittels der Kontinuitätsgleichung  $Q = v \cdot A$  kann somit die größtmögliche Ausbaumenge bestimmt werden. Da sowohl bei Variante I als auch bei Variante II die vorhandene Grundablassleitung aus Gusseisen (DN 400) genutzt wird, ergibt sich bei einem Fließquerschnitt von  $A = 0,126$  m<sup>2</sup> und einer Fließgeschwindigkeit von z. B. 2 m/s eine Durchflussmenge von  $Q_{max} = 250$  l/s.

Als weiteres Kriterium kann der Einsatzbereich eines Generators gelten. Nach Kapitel 6.2 liegt die Leistung einer Wasserkraftanlage an der Heilenbecke Talsperre bei ungefähr 24 kW. Nach Angaben von Wasserkraft Volk AG (WKV) käme demnach ein Standard-Generator mit einer Leistung von 22 kW oder 30 kW zum Einsatz. Der nächstgrößere Generator liegt bei 45 kW.

Durch Umstellen der Gleichung zur Leistungsberechnung  $P = Q \cdot H \cdot g \cdot \eta_{tot}$  lassen sich für die jeweiligen Generatoren die maximal zulässigen Wassermengen berechnen, so dass die Umsetzung von der Turbine zum Generator gut ausgenutzt wird.

Dies hat Auswirkungen auf den Wirkungsgrad eines Generators.

$$Q = \frac{P}{g \cdot H \cdot \eta_{tot}} \quad (9.3)$$

Für eine grobe Abschätzung wird  $H = 16,25$  m als Mittelwert der Varianten I und II angesetzt. Der Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  liegt nach GIESECKE & MOSONY (1998) zwischen 70 und 80 % und wird mit 0,75 angenommen. Bei einem Generator mit 22 kW liegt somit die maximale Durchflussmenge bei  $Q_{max} = 180$  l/s und ist im Hinblick auf die Ausnutzungsdauer etwas zu gering. Ausbauwassermengen zwischen 180 l/s und 250 l/s benötigen einen Generator mit bis zu 30 kW. Durchflussmengen über 250 l/s führen zu einem Wechsel zu einem kostspieligeren 45 kW-Generator, was sich auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage auswirken kann.

Unter Beachtung dieser drei Kriterien wird somit die Ausbauwassermenge in Höhe von  $Q_a = Q_{90} = 230$  l/s festgelegt.

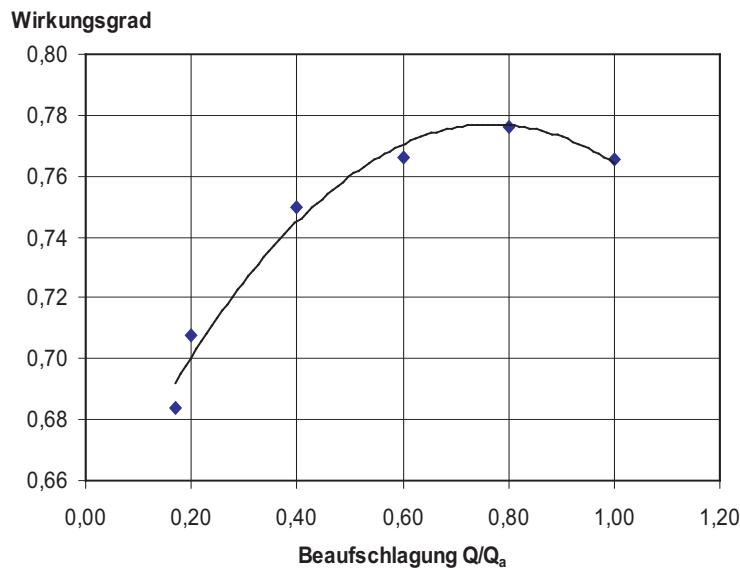
## 9.4 Energetische Berechnungen

Nach der Bestimmung einer Ausbauwassermenge und den sich einstellenden Nettofallhöhen, kann nun für jede Variante die Leistung der Anlage und die Jahresarbeit ermittelt werden. Grundlage dieser Berechnungen sind die Überschreitungsdauerwerte der Abflüsse (Anhang A.3.5) und die Wirkungsgradangaben der Firma Wasserkraft Volk AG (WKV) (Anhang B.1.1) für eine für die Heilenbecke Talsperre geeignete Turbine des Typs TD27. Die Wirkungsgrade sowohl der Turbine als auch des Generators sind abhängig von der Beaufschlagung der Turbine und können Tabelle 9.1 entnommen werden.

**Tabelle 9.1:** Wirkungsgrade der Durchströmturbine nach WKV

Beaufschlagung $Q/Q_a$	Durchfluss $Q$ in l/s	Turbinen- wirkungsgrad	Generator- wirkungsgrad	Gesamt- wirkungsgrad
1,00	230	0,830	0,922	0,765
0,80	184	0,840	0,924	0,776
0,60	138	0,830	0,923	0,766
0,40	92	0,830	0,903	0,749
0,20	46	0,810	0,874	0,708
0,17	39	0,800	0,855	0,684

Für die weitere Berechnung wurde aus den gegebenen Eckwerten des Gesamtwirkungsgrades eine polynomische Wirkungsgradlinie gebildet, die sich über das Verhältnis der vorhandenen Abflussmenge  $Q$  zur Ausbauwassermenge  $Q_a = 230 \text{ l/s}$  berechnet.



**Abbildung 9.4:** Gesamtwirkungsgradverlauf

Die Funktion zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades  $\eta_{tot}$  in Abhängigkeit von der Beaufschlagung lautet

$$\eta_{tot} = -0,2375 \cdot \left(\frac{Q}{Q_a}\right)^2 + 0,3646 \cdot \left(\frac{Q}{Q_a}\right) + 0,6371 \quad (9.4)$$

#### 9.4.1 Jahresenergieerzeugung – Variante I

Das maximale Schluckvermögen der Turbine beträgt  $Q_T = 230 \text{ l/s}$ ; die Mindestwassermenge der Turbine liegt bei 17 % der Ausbauleistung = 39 l/s, d. h. Abflüsse unter diesem Wert können von der Turbine nicht abgearbeitet werden. Betrachtet man die Überschreitungswerte in Anhang A.3.5, so ist zu erkennen, dass dieser Wert an 256 Tagen überschritten wird. Im Schnitt steht die Anlage also an 109 Tagen still.

Liegen die Abflusswerte zwischen der Mindestwassermenge und der Ausbauwassermenge ist der Durchfluss der Turbine gleich der Abflussmenge. Da das Schluckvermögen der Turbine auf 230 l/s begrenzt ist, läuft die Anlage 89 Tage unter Vollast, d. h. die Abflussmenge ist größer als das Schluckvermögen, kann aber nicht komplett zur Stromerzeugung herangezogen werden. Die Turbine läuft in dieser Zeit kontinuierlich mit 230 l/s.

Wie schon unter Kapitel 9.3 erwähnt, berechnet sich die Leistung  $P$  einer Anlage mittels folgender Formel:

$$P = Q_T \cdot H_N \cdot g \cdot \eta_{tot} \quad [\text{kW}] \quad (9.5)$$

Der Durchfluss  $Q_T$  richtet sich nach dem jeweiligen Wasserdargebot, die Nettofallhöhe  $H_N$  der Variante I beträgt 16,05 m und  $g$  ist die Erdbeschleunigung mit 9,81 m/s<sup>2</sup>. Setzt man die Durchsatzmenge nun ins Verhältnis zum Schluckvermögen, so erhält man die jeweilige Beaufschlagung der Turbine ( $Q_T/Q_a$ ) und kann laut (9.4) den Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  und somit die Leistung  $P$  ermitteln.

Für die Ausbauwassermenge von 230 l/s ergibt sich zum Beispiel ein Gesamtwirkungsgrad von

$$\begin{aligned} \eta_{tot(230)} &= -0,2375 \cdot (Q_T/Q_a)^2 + 0,3646 \cdot (Q_T/Q_a) + 0,6371 \\ &= 0,764 \end{aligned}$$

und eine Leistung von

$$\begin{aligned} P_{(230)} &= 0,230 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 16,05 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,764 \\ &= 27,67 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Multipliziert man die so ermittelten Leistungen  $P_{(Q_T)}$  mit der Laufzeit der Turbine (24 h), erhält man die Arbeit [kWh] pro Tag. Die Summe aller Tage ergibt das Jahresenergieerzeugung in kWh/a.

Laut der Berechnung in Anhang B.1.4 ergibt sich im Falle einer Durchströmturbine mit der Variante, die Anlage an die bestehende Rohrleitung DN 400 zu positionieren, eine Jahresenergieerzeugung von etwa 111.000 kWh.

#### 9.4.2 Jahresenergieerzeugung – Variante II

Die Bestimmung der Jahresarbeitsleistung im Falle der Variante II verläuft auf die gleiche Art und Weise wie sie unter Abschnitt 9.4.1 beschrieben wurde. Der einzige Unterschied liegt in der Nettofallhöhe  $H_N$ , die infolge der Anlagenpositionierung am tiefergelegenen Tosbecken 16,44 m aufweist. Aufgrund der Fallhöhenzunahme von ~40 cm ergibt sich auch eine Erhöhung des Jahresenergieeinkommens. Laut der Berechnung für eine Durchströmturbine am Tosbecken (Anhang B.1.6) ist eine Jahresenergieerzeugung von rund 114.000 kWh zu erwarten.

Der Unterschied zwischen den Standortvarianten beläuft sich also auf ungefähr 3.000 kWh.



# 10 Einsatz einer Pumpenturbine

## 10.1 Mögliche Standorte

Im Falle eines Einsatzes einer oder mehrerer Pumpenturbinen ergeben sich einige unterschiedliche Möglichkeiten einer nachträglichen Integration. Diese wurden mit Hilfe einer Besichtigung vor Ort ermittelt und werden im Folgenden kurz vorgestellt (s. Abb. 10.1). Da die Leistungsfähigkeit bei Pumpenturbinen stark von der Fallhöhe abhängt, wird diese nicht wie bei einer Durchströmturbine als konstant (Mittelwert der Stauhöhe) angenommen. Vielmehr wird sowohl die maximale als auch die minimale Bruttofallhöhe jeder Variante direkt betrachtet und gilt zugleich als Entscheidungskriterium.

### 10.1.1 Standort 1

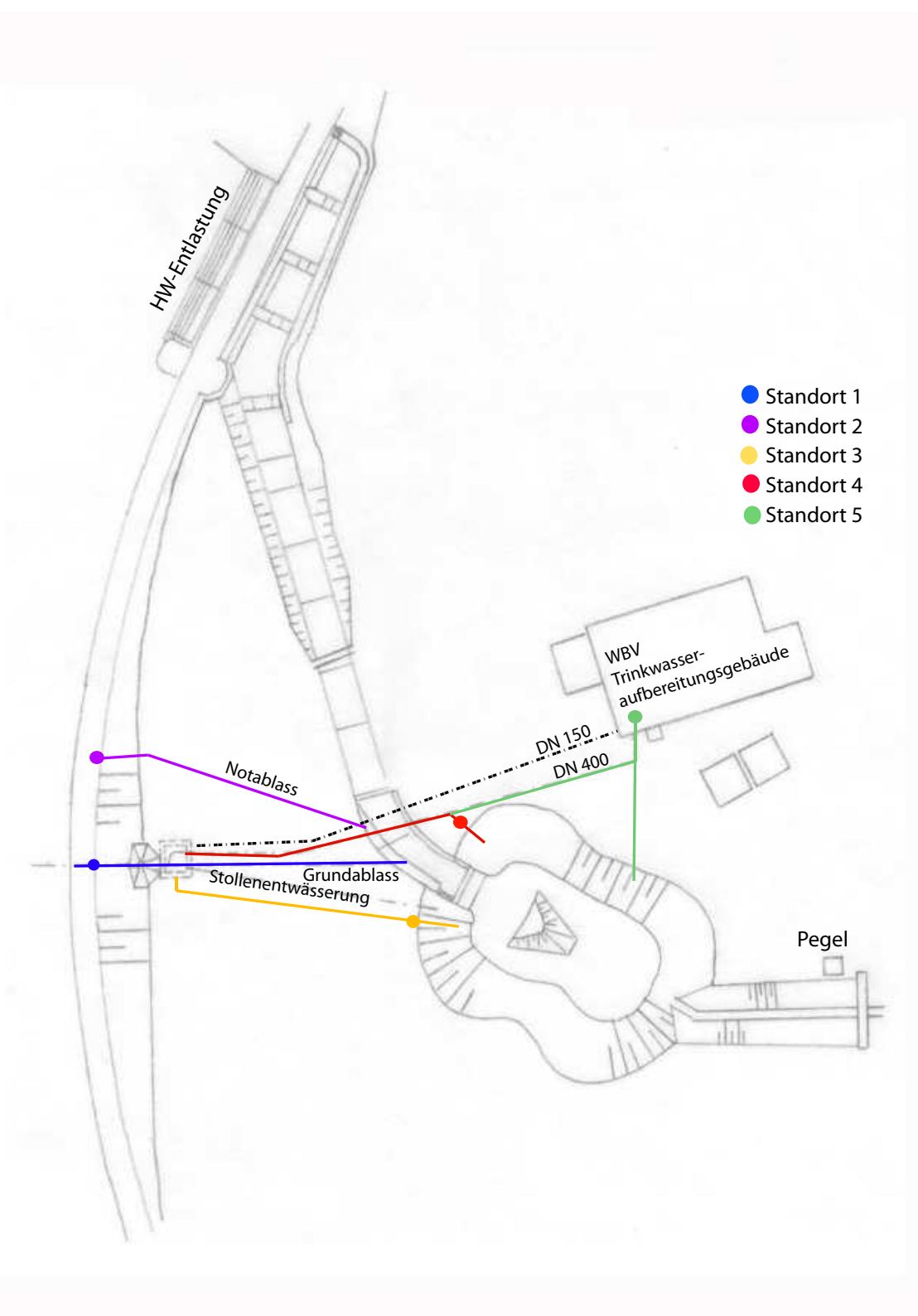
Als Erstes wird untersucht, die Anlage in der Staumauer unterzubringen. Bei einem Anschluss an den Grundablass, zweigt hinter der vorhandenen Absperrklappe eine Bypassleitung ab. Die Lage einer Turbine inklusive Generator ist dabei oberhalb der DN 400-Leitung und das aus der Turbine herausfließende Wasser wird wieder in den Grundablass geführt. Die maximale Bruttofallhöhe berechnet sich in diesem Fall zu

$$\begin{aligned} H_{B,max} &= \text{Stauziel} - \text{Achse Rohrleitung Grundablass} \\ &= 300,42 \text{ m ü. NN} - 284,70 \text{ m ü. NN} \\ &= 15,72 \text{ m} \end{aligned}$$

und die minimale Bruttofallhöhe zu

$$\begin{aligned} H_{B,min} &= \text{min. Stauhöhe für Betrieb einer Turbine} - \text{Achse Rohrleitung Grundablass} \\ &= 299,00 \text{ m ü. NN} - 284,70 \text{ m ü. NN} \\ &= 14,30 \text{ m.} \end{aligned}$$

Da der Anschluss der Turbine kurz hinter dem Einlauf positioniert ist, entstehen bei dieser Lösung geringe Fallhöhenverluste infolge Reibung. Jedoch muss die Auswirkung des in der



**Abbildung 10.1:** Übersicht über die möglichen Standorte einer Pumpenturbine

Staumauer tiefergelegenen Ringkolbenventils auf die Höhenverluste berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von der durch die Turbine fließenden Wassermenge entstehen in dem Ringkolbenventil Druckverluste. Das hat zur Folge, dass der Turbine eine geringere Fallhöhe zur Verfügung steht, nämlich die eigentliche Fallhöhe abzüglich des Druckverlustes. Sollten die Druckverluste also zu hoch sein, muss das Ringkolbenventil verlegt oder entfernt bzw. ersetzt werden.

In diesem Fall muss geprüft werden, ob das Platzangebot für die Montage einer Anlage ausreichend ist und in welcher Höhe Druckverluste infolge des Ringkolbenventils entstehen.

### 10.1.2 Standort 2

Bei einem Anschluss an die Notablassleitung liegt das gleiche System vor wie bei der Standortwahl 1. Vorteil dieses Standortes ist ein etwas größeres Platzangebot in der Staumauer als bei einem Anschluss an den Grundablass, da in diesem Bereich keine zusätzliche Rohrleitung für die Rohwassergewinnung verläuft. Nachteil ist aber die um ca. 1 m geringere Fallhöhe, da die Notablassleitung auf 285,70 m ü. NN liegt. Aus diesem Grund entfällt diese Lösung.

### 10.1.3 Standort 3

Um an Fallhöhe zu gewinnen, wird im Weiteren die Möglichkeit betrachtet, die Anlage in die Nähe des tiefergelegenen Tosbeckens zu setzen. Dazu wäre die Errichtung einer neuen Rohrleitung erforderlich, die vor dem Ringkolbenventil von der Grundablassleitung abzweigt und bis zum Tosbecken führt. Zur Unterbringung der Anlage wäre ein Schacht bzw. ein Häuschen notwendig. Da der Abzweig vor dem Ringkolbenventil liegt, hat dieser im Gegensatz zur Standortvariante 1 keine Auswirkungen auf die Druckhöhe.

In diesem Fall ergeben sich Bruttofallhöhen von ungefähr

$$\begin{aligned}
 H_{B,max} &= \text{Stauziel} - \text{Achse Rohr vor Tosbecken (Annahme)} \\
 &= 300,42 \text{ m ü. NN} - 283,50 \text{ m ü. NN} \\
 &= 16,92 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{B,min} &= \text{min. Stauhöhe für Betrieb einer Turbine} - \text{Achse Rohr vor Tosbecken} \\
 &= 299,00 \text{ m ü. NN} - 283,50 \text{ m ü. NN} \\
 &= 15,50 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

Zwar treten im Vergleich zum Standort 1 aufgrund der längeren Strecke größere Reibungsverluste auf, jedoch erhöht sich die Fallhöhe immerhin um ca. 1,20 m. Diese Lösung wird im weiteren Verlauf auf ihre Wirtschaftlichkeit hin genauer untersucht.

#### 10.1.4 Standort 4

Diese Variante nutzt die bestehende Rohwasserleitung (DN 400). Das bedeutet, dass die Rohwasserentnahme auf die DN 150-Leitung umgeleitet wird. Für die Unterbringung der Anlage ist ein Schacht notwendig. Die Bruttofallhöhe  $H_{B,max}$  liegt schätzungsweise bei 15,80 m. Vorteil dieses Standortes ist die Anbindung an eine bestehende Rohrleitung. Nachteil ist die relativ hohe Verlusthöhe, die aufgrund der längeren Strecke und alter Rohrleitungen auftreten wird.

Im Vergleich zum Standort 1, bei der sich eine ähnliche Fallhöhe einstellt, ist dieser Standort aufgrund der zusätzlichen Kosten für einen Schacht unwirtschaftlicher und entfällt als Lösung.

#### 10.1.5 Standort 5

Auch diese Variante nutzt die bestehende DN 400-Rohrleitung. Die Lage einer Anlage ist in diesem Fall in dem Trinkwasseraufbereitungsgebäude des Wasserbeschaffungsverbandes Ennepetal-Milspe, in dem die DN 400-Leitung endet. Da das Gebäude jedoch auf ungefähr 285,00 m ü. NN liegt, wäre die wahrscheinlich auftretende maximale Bruttofallhöhe mit etwa 15,42 m eine der Geringsten aller möglichen Fallhöhen. Hinzu kommen die großen Reibungsverluste infolge der langen Rohrleitung vom Einlauf bis zum Trinkwasseraufbereitungsgebäude. Von der Turbine aus würde das Wasser dann mittels einer neu zu verlegenden Rohrleitung in das Tosbecken geleitet werden. Aus Gründen der vergleichsweise geringen Druckhöhe wird diese Variante nicht weiter untersucht.

## 10.2 Bestimmung der Ausbauwassermenge $Q_a$

Ein großer Vorteil von Pumpenturbinen liegt in den günstigen Anschaffungskosten. Klassische Turbinen werden mit großem technischen Aufwand speziell angefertigt. Pumpenturbinen sind dagegen lediglich Kreiselpumpen in ihrer umgekehrten Funktion als Turbinen. Da Kreiselpumpen gebräuchliche Arbeitsmaschinen mit Serienanfertigung und Normung sind und unregulierbare Turbinen darstellen, ist die Ausbauwassermenge nicht frei wählbar, sondern abhängig vom Turbinentyp und der jeweils vorhandenen Fallhöhe. Mit Hilfe einer sogenannten Turbinenkennlinie lässt sich der Zusammenhang zwischen Durchsatzmenge und Fallhöhe einer Kreiselpumpe in der Funktion als Turbine erkennen. Von Bedeutung ist dabei die Betriebskennlinie, die sich bei einer bestimmten Betriebsdrehzahl einstellt.

Für erste Vorberechnungen und Anfragen bei der Firma RITZ<sup>1</sup> wurden die maximalen Bruttofallhöhen der Standorte 1 und 3 und eine Durchflussmenge von  $Q = 192 \text{ l/s} = \text{Mittelwert (1991-2005)}$  angegeben.

Nach Angaben der Firma RITZ ist im Fall der Heilenbecke Talsperre eine Pumpenturbine sinnvoll, die die mittleren Abflussmengen abdeckt. Dabei käme eine Pumpe der Baureihe Norma-Ergänzungsprogramm und daraus des Typs 250-300 zum Einsatz, die Fallhöhen von 8,20 m bis 22,00 m bei Durchsatzmengen von 97 l/s bis 203 l/s verarbeiten kann. Deren Leistungsabgaben liegen zwischen 2 und 33 kW.

An der unter Anhang B.2.1 dargestellten Turbinenkennlinie ist zu erkennen, dass die Turbine des Typs 250-300 / 361411 mit einer Betriebsdrehzahl von  $1015 \text{ min}^{-1}$  in Abhängigkeit von der Fallhöhe eine bestimmte Durchsatzmenge verarbeiten kann, die wiederum einen bestimmten Turbinenwirkungsgrad hervorruft.

Da bei Pumpenturbinen ein sehr großer Zusammenhang zwischen Nutzfallhöhe und Durchflussmenge besteht, werden die Berechnungen der Verlusthöhen und damit der Nutzfallhöhen jeweils in Abhängigkeit von der Durchsatzmenge durchgeführt.

---

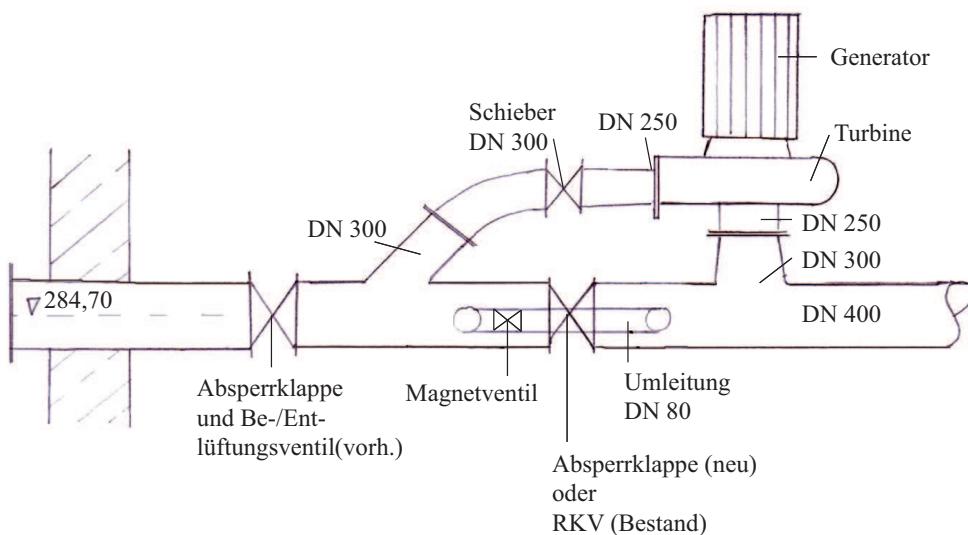
<sup>1</sup>RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co KG, Schwäbisch Gmünd

## 10.3 Hydraulische Berechnungen

Im weiteren Verlauf werden nun die oben erwähnten Standorte 1 und 3 auf ihre Hydraulik hin untersucht und laufen unter der Bezeichnung Variante III und Variante IV.

### 10.3.1 Nettofallhöhe – Variante III

#### Konstruktion



**Abbildung 10.2:** Lageplan – Variante III

Bei dem unter Abschnitt 10.1.1 vorgestellten Standort in der Staumauer, erhält die Turbine Zulauf über eine Bypassleitung in DN 300, die von der Grundablassleitung abzweigt. Diese beginnt ungefähr 1 m hinter der vorhandenen Absperrklappe und somit auch hinter dem Schieber und dem Be-/Entlüftungsventil. Vor die Turbine wird ein Absperrschieber gesetzt, der geschlossen wird, sobald die minimale Stauhöhe von 299,00 m ü. NN erreicht bzw. unterschritten wird. In diesem Fall öffnet sich das Magnetventil an der Bypassleitung DN 80, welches den Mindestwasserabfluss von 20 l/s gewährleistet.

Wie unter Abschnitt 10.1.1 kurz erläutert, muss nun für die genaue Anordnung der Anlagenteile (Armaturen usw.) der Einfluss des Ringkolbenventils auf die Druckhöhe bestimmt werden. Für eine grobe Abschätzung des Druckverlustes ist Betrachtung der Bruttofallhöhe ausreichend genau.

Für den Fall, dass das Ringkolbenventil (RKV) nur geringe Auswirkungen aufweisen würde, war die Konstruktion der Anlage so gedacht, das RKV im Fall des Stillstandes der Turbine

geschlossen zu halten und die Mindestwassermenge in Höhe von 20 l/s wie gehabt über die schon vorhandene Bypassleitung am RKV zu leiten. Während des Betriebes der Turbine wäre das RKV geöffnet. Eine Absperrklappe unterhalb der Turbine ist jederzeit geschlossen und wird nur im Hochwasserfall geöffnet.

Nach Angaben des Herstellers VAG<sup>2</sup> weist das eingebaute Ringkolbenventil DN 400, PN 10 mit Lochzylinder L30 jedoch einen sehr hohen Verlustbeiwert von  $\zeta = 35$  auf. Im Höchstfall ergibt sich nach der Turbinenkennlinie (Anhang B.2.1) bei einer Fallhöhe von 15,72 m eine Durchsatzmenge von ungefähr  $600 \text{ m}^3/\text{h} = 167 \text{ l/s}$ . Damit beläuft sich die Fließgeschwindigkeit in dem Grundablass DN 400 auf  $v = 1,33 \text{ m/s}$  und der Druckverlust  $h_v$  auf

$$\begin{aligned} h_v &= \zeta \cdot (v)^2 / (2 \cdot g) \\ &= 35 \cdot 1,33^2 / (2 \cdot 9,81) \\ &= 3,14 \text{ m.} \end{aligned}$$

Da dieser Wert sehr hoch ist und zu große Verluste in der Stromerzeugung hervorrufen würde, muss bei einer Wahl dieses Standortes der Einfluss des Ringkolbenventiles vermieden werden. Dies kann mittels folgender Möglichkeiten geschehen:

Das Rinkolbenventil wird

1. versetzt und zwar an die Stelle der Absperrklappe DN 400 unterhalb der Turbine;
2. entfernt; eine Absperrklappe DN 400 unterhalb der Turbine wird im Hochwasserfall geöffnet;
3. umgebaut, so dass der Verlustbeiwert gering ausfällt.

Welche der oben genannten Möglichkeiten umsetzbar und wirtschaftlich ist, lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht sagen und sollte erst im Falle einer Umsetzung dieser Variante genau untersucht werden. Für weitere Berechnungen der Verluste bleibt das Ringkolbenventil daher zunächst unberücksichtigt.

---

<sup>2</sup>VAG = Vereinigte Armaturen Gesellschaft mbH, Mannheim

## Kontinuierliche und Örtliche Verluste

Da das Wasser lediglich eine Rohrstrecke von ungefähr 3,50 m durchfließt, entstehen sehr geringe Verlusthöhen infolge Reibung ( $h_{v,R}$ ). Die örtlichen Verluste  $h_{v,O}$  werden durch die in der Zeichnung dargestellten Armaturen und Richtungsänderungen hervorgerufen. Die genaue Berechnung ist am Beispiel einer Durchflussmenge von 160 l/s unter Anhang B.2.3 dargestellt.

Die einzelnen Verluste in Abhängigkeit von der Durchsatzmenge  $Q$  sind in Tabelle 10.1 zusammengefasst.

**Tabelle 10.1:** Variante III – Verlusthöhen in Abhängigkeit von  $Q$

Durchfluss $Q$ [l/s]	kont. Verluste $h_{v,R}$ [m]	örtl. Verluste $h_{v,O}$ [m]	Gesamtverluste $h_v = h_{v,R} + h_{v,O}$ [m]
97	0,011	0,066	0,076
100	0,011	0,070	0,081
110	0,014	0,085	0,098
120	0,016	0,101	0,117
130	0,019	0,118	0,137
140	0,022	0,137	0,159
150	0,025	0,158	0,182
160	0,028	0,179	0,207
170	0,032	0,202	0,234

## Nettofallhöhe

Mit Hilfe dieser Verlusthöhen  $h_v(Q)$  kann nun für jede Bruttofallhöhe und jede Durchflussmenge die sich einstellende Nutzfallhöhe berechnet werden. Da für den Betrieb einer Turbine nur eine bestimmte Staulamelle zur Verfügung steht, liegt, wie schon unter Abschnitt 10.1.1 erwähnt, eine maximale Bruttofallhöhe von  $H_{B,max} = 15,72$  m und eine minimale Bruttofallhöhe von  $H_{B,min} = 14,30$  m vor. Aus den Eckkennwerten der Tabelle 10.1 kann nun eine polynomische Funktion erstellt werden, mit der sich die Nettofallhöhe berechnen lässt.

$$H_N = -8 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot Q + H_B \quad (10.1)$$

Abbildung 10.3 zeigt den Verlauf der Fallhöhe über den Durchfluss  $Q$ . Nur der Bereich zwischen den beiden dargestellten Kurven ist für den Betrieb einer Turbine nutzbar.

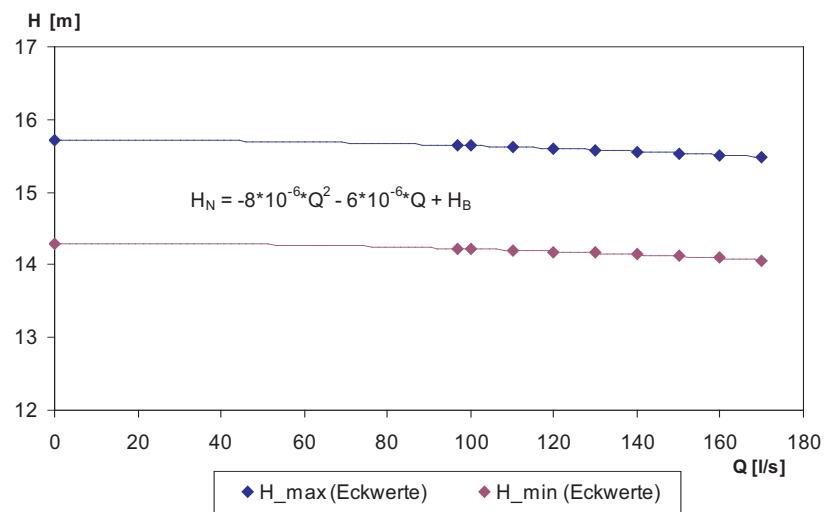


Abbildung 10.3: Variante III – Fallhöhenkurve in Abhängigkeit von  $Q$

### 10.3.2 Nettofallhöhe – Variante IV

#### Konstruktion

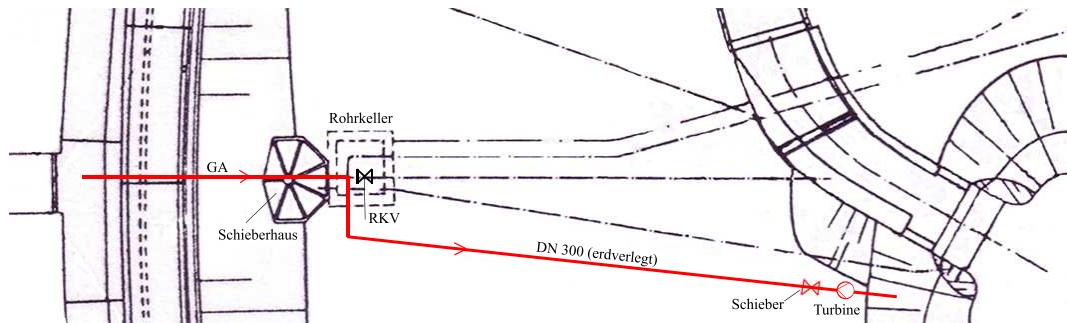


Abbildung 10.4: Lageplan – Variante IV

Diese Standortwahl führt zu einem Fallhöhengewinn von ungefähr 1 m. Bis zum Ringkolbenventil im Rohrkeller kann die Grundablassleitung DN 400 genutzt werden. Von dort aus ist ein Durchbruch durch die Rohrkellerwand ( $d = 35$  cm) für eine neue Rohrleitung (DN 300) notwendig, die bis zum Tosbecken führt. Für die Unterbringung der Anlage dient ein Schacht.

Während des Betriebes der Turbine ist sowohl das Ringkolbenventil als auch die Umleitung DN 80 um das RKV geschlossen. Sinkt die Stauhöhe in der Talsperre unter 299,00 m ü. NN, muss der Schieber vor der Turbine geschlossen werden und die vorhandene Umleitung um das Ringkolbenventil in dem Rohrkeller soweit geöffnet werden, dass ein Mindestwasserab-

fluss von 20 l/s gewährleistet werden kann. Das Ringkolbenventil hat keine Auswirkungen auf die Druckhöhe und wird nur im Hochwasserfall bzw. bei großen Wassermengen geöffnet.

### Kontinuierliche und Örtliche Verluste

Aufgrund der Positionierung der Anlage am Tosbecken ergeben sich größere Reibungsverluste als bei der Variante III. Aufgeteilt nach den kontinuierlichen Verlusten  $h_{v,R}$  und den örtlichen Verlusten  $h_{v,O}$  werden in Tabelle 10.2 die Verlustwerte in Abhängigkeit von  $Q$  zusammengefasst. Anhang B.2.5 ist eine beispielhafte Berechnung der Verlusthöhen bei einer Durchflussmenge von 160 l/s zugefügt.

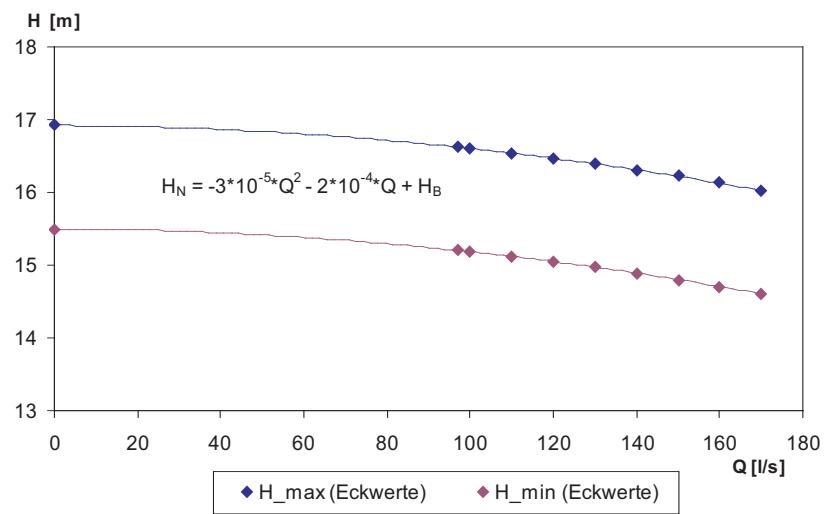
**Tabelle 10.2:** Variante IV – Verlusthöhen in Abhängigkeit von  $Q$

Durchfluss $Q$ [l/s]	kont. Verluste $h_{v,R}$ [m]	örtl. Verluste $h_{v,O}$ [m]	Gesamtverluste $h_v = h_{v,R} + h_{v,O}$ [m]
97	0,206	0,091	0,297
100	0,218	0,097	0,316
110	0,263	0,118	0,381
120	0,311	0,140	0,451
130	0,364	0,164	0,528
140	0,419	0,190	0,609
150	0,480	0,219	0,699
160	0,543	0,249	0,792
170	0,612	0,281	0,893

### Nettofallhöhe

Für alle möglichen Bruttofallhöhen zwischen  $H_{B,max} = 16,92$  m und  $H_{B,min} = 15,50$  m können in Abhängigkeit von der Durchsatzmenge  $Q$  die Nutzfallhöhen  $H_N$  mittels einer interpolierten polynomischen Funktion berechnet werden, die auf Eckdaten der Tabelle 10.2 basiert (s. auch Abbildung 10.5).

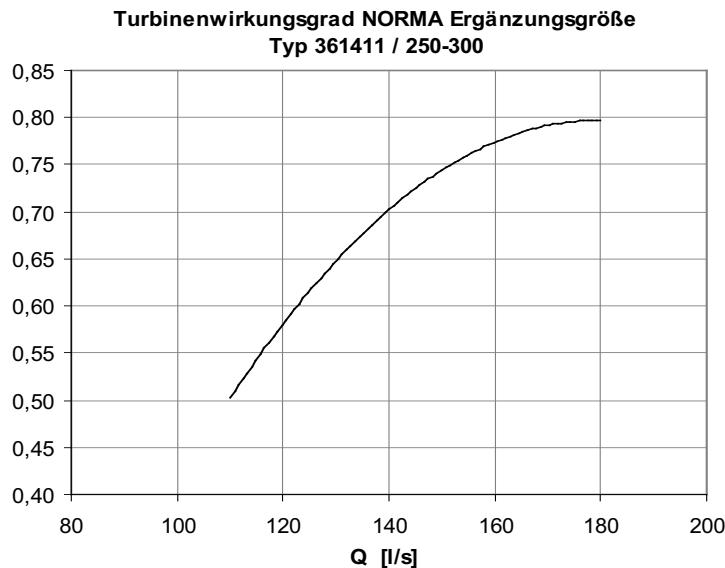
$$H_N = -3 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot Q + H_B \quad (10.2)$$



**Abbildung 10.5:** Variante IV – Fallhöhenkurve in Abhängigkeit von  $Q$

## 10.4 Energetische Berechnungen

Für die Ermittlung der genauen Leistung und damit der Jahresarbeit ist der vom Turbinentyp abhängige Wirkungsgrad von großer Wichtigkeit (vgl. Abbildung 10.6).



**Abbildung 10.6:** Polynomischer Verlauf des Turbinenwirkungsgrades

Mit Hilfe einer polynomischen Gleichung (10.3) lässt sich der Turbinenwirkungsgrad  $\eta_T$  des Turbinentyps 250-300 mit der Durchflussmenge  $Q$  in Verbindung bringen und die Ermittlung vereinfachen.

$$\eta_T = -0,00006 \cdot Q^2 + 0,022 \cdot Q - 1,1754 \quad (10.3)$$

Da Pumpenturbinen unregulierbare Turbinen sind, stellen sich die Durchflüsse in Abhängigkeit von der Stauhöhe ein. Das bedeutet, je größer die Stauhöhe ist, desto größer ist auch die Durchsatzmenge der Turbine. Um nun für die Ermittlung der Jahresenergie diese Abhängigkeit zu berücksichtigen, dient ein sogenannter Wasserwirtschaftsplan, der für jede Standortvariante aufgestellt wird.

#### 10.4.1 Jahresenergieerzeugung – Variante III

Als erstes wird der Zusammenhang zwischen der Fallhöhenkurve und der Turbinen-Betriebskennlinie ermittelt, d. h. die Zusammenhänge zwischen der Bruttofallhöhe  $H_B$ , der Nettofallhöhe  $H_N$ , der Nutzfallhöhe der Turbine  $H_{Nutz}$  und der Durchflussmenge  $Q$ .

Nach (10.1) lässt sich die Nettofallhöhe  $H_N$  wie folgt berechnen:

$$H_N = -8 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot Q + H_B$$

Die Funktion der Turbinenkennlinie in Abhängigkeit von  $Q$  lautet:

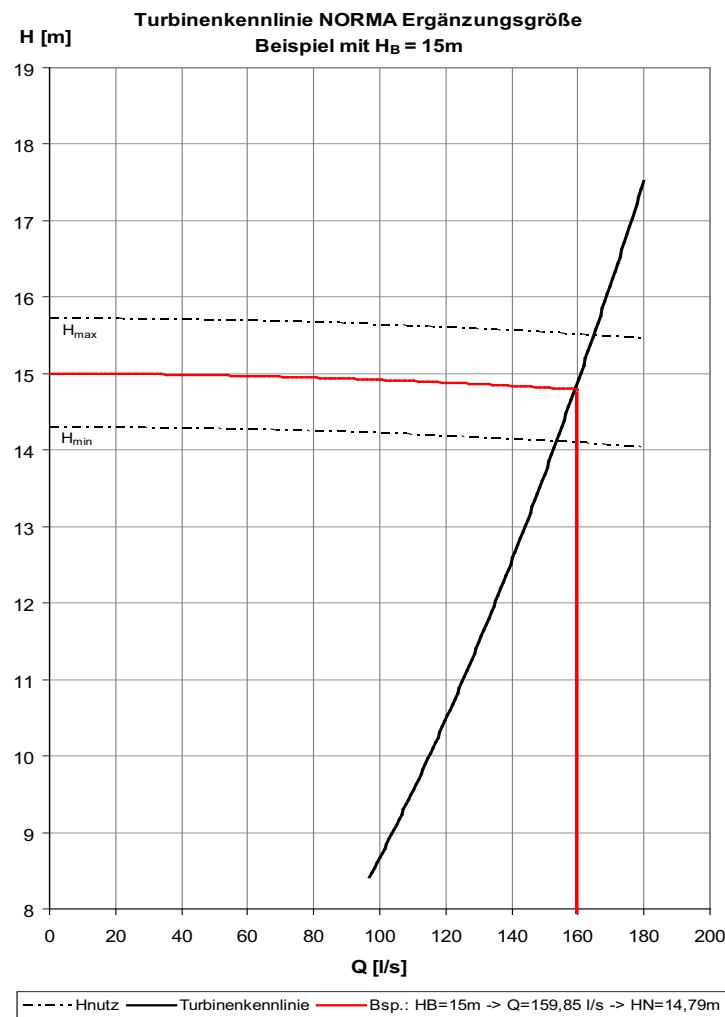
$$H_{Nutz} = 0,0004 \cdot Q^2 - 0,0021 \cdot Q + 4,9099 \quad (10.4)$$

Setzt man diese Funktionen gleich, erhält man die Funktion für  $Q$  in Abhängigkeit von  $H_B$ .

$$Q = 2,57 + \sqrt{2.450,98 \cdot H_B - 12.027,48} \quad (10.5)$$

Mit Hilfe der Gleichung (10.5) kann nun die Durchsatzmenge der Pumpenturbine ermittelt werden, die sich bei einer bestimmten Bruttofallhöhe unter Berücksichtigung der von  $Q$ -abhängigen Verluste einstellt.

Der Zusammenhang zwischen einer Fallhöhenkurve und der Turbinen-Betriebskennlinie ist an einem Beispiel in Abbildung 10.7 ersichtlich. Bei einer angenommenen Fallhöhe von  $H_B = 15,0$  m, ergibt sich nach Gleichung (10.5) eine Durchflussmenge der Turbine von  $Q = 159,9$  l/s. Die nutzbare Fallhöhe für die Ermittlung der erzeugbaren Energie beläuft sich auf  $H_N = H_{Nutz} = 14,79$  m.



**Abbildung 10.7:** Variante III – Fallhöhenkurve und Turbinenkennlinie

Die Aufgabe des Wasserwirtschaftsplanes liegt nun darin, unter Berücksichtigung einiger Randbedingungen die Bilanz zwischen Wasserdargebot und Wasserentnahme darzustellen und die Energieerzeugung zu ermitteln.

Folgende Randbedingungen sind einzuhalten:

- Einhaltung der Prioritäten bei der Nutzung des Wasserdargebots
  1. Trinkwasserversorgung
  2. Mindestwasserabgabe
  3. Erzeugung elektrischer Energie
- Rohwasserentnahme in Höhe von 11 l/s = 950 m<sup>3</sup>/d

- Mindestwasserabgabe mit  $20 \text{ l/s} = 1.728 \text{ m}^3/\text{d}$
- Einstellen des Turbinenbetriebes bei einer Stauhöhe von  $< 299,00 \text{ m ü. NN}$

Diese einfache Simulation erfolgte auf den tatsächlichen Zufluss-Tageswerten des Jahres 2004. Dieses Jahr liegt, wie in Abbildung 4.1 zu ersehen, mit dem Gesamtjahreszufluss in der Nähe des Mittelwertes.

Anhang B.2.4(a) zeigt einen Ausschnitt des Wasserwirtschaftsplans für die Variante III und die einzelnen Berechnungsschritte. Der gesamte Wasserwirtschaftsplan für die Standortvariante III liegt Anhang B.2.4(b) bei.

Anhand dieses Wasserwirtschaftsplans ist zu erkennen, dass eine Pumpenturbine des Typs 250-300 am Beispiel des Jahres 2004 eine Jahresarbeit von etwa 96.000 kWh aufweisen kann. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass diese Energiemenge lediglich mittels eines diskontinuierlichen Betriebes der Anlage erzeugt wird, wodurch Schwankungen in den Abflussmengen entstehen. Im Genauen bedeutet das, dass bei Erreichen einer Stauhöhe von 299,00 m ü. NN die Turbine ausgeschaltet wird und somit lediglich eine Mindestwassermenge von etwa 20 l/s in das Unterwasser geleitet wird. Weist die Stauhöhe nach einigen Tagen wieder mehr als 300,42 m ü. NN auf, kann die Turbine wieder eingeschaltet werden und die Abflussmenge erhöht sich auf ungefähr 160 l/s (siehe dazu Anhang B.2.4(b)).

Um diesen sich ökologisch negativ auswirkenden Effekt auf das Unterwasser zu vermeiden, wurde zusätzlich untersucht, die Turbine lediglich in den Wintermonaten zu betreiben und in den Sommermonaten auszuschalten (siehe Anhang B.2.4(c)). In diesem Fall weist die Turbine eine Jahresenergieerzeugung von rund 71.500 kWh auf. Die Laufzeit verkürzt sich dabei von 218 Tage auf 163 Tage.

Beide Betriebsarten werden im weiteren Verlauf auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

#### 10.4.2 Jahresenergieerzeugung – Variante IV

Auch bei dieser Standortvariante wird zuerst der Zusammenhang zwischen Fallhöhenkurve und Turbinenkennlinie ermittelt.

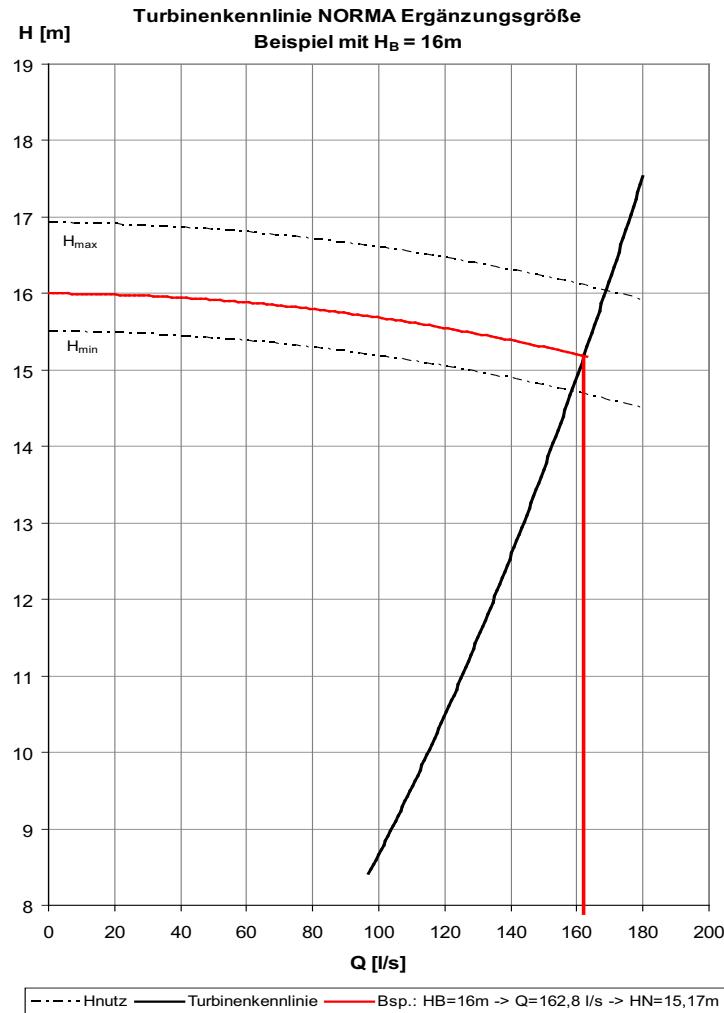
Nach (10.2) lautet die Gleichung zur Berechnung der Nettofallhöhe  $H_N$  :

$$H_N = -3 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot Q + H_B$$

Die Funktion der Turbinenkennlinie nach (10.4) bleibt bestehen, so dass sich wiederum mittels Gleichsetzen und Umformen der Funktionen, folgende Gleichung zur Ermittlung der Durchsatzmenge  $Q$  ergibt:

$$Q = 2,21 + \sqrt{2.325,58 \cdot H_B - 11.413,49} \quad (10.6)$$

Auch hier sei ein Beispiel gegeben (Abbildung 10.8). Anhand einer Bruttofallhöhe von beispielsweise  $H_B = 16,0$  m ergibt sich in diesem Fall mit (10.6) eine Durchsatzmenge  $Q$  von 162,8 l/s und mit Hilfe der Gleichung (10.2) eine Nettofallhöhe von  $H_N = 15,17$  m.



**Abbildung 10.8:** Variante IV – Fallhöhenkurve und Turbinenkennlinie

Unter Berücksichtigung der auf Seite 75 genannten Randbedingungen lässt sich auch für diese Standortvariante ein Wasserwirtschaftsplan erstellen.

Laut Anhang B.2.6(a) liegt bei Nutzung jeglicher zur Verfügung stehender Wassermengen, exemplarisch in dem Bezugsjahr 2004, die Jahresenergieerzeugung bei etwa 100.700 kWh mit einer Laufzeit von 213 Tagen. Bei Vermeidung des diskontinuierlichen Betriebes durch Ausschalten der Wasserkraftanlage in den Sommermonaten (Anhang B.2.6(b)) ergibt sich eine Energiemenge von rund 73.000 kWh und eine Laufzeit von 154 Tagen.

Diese Werte werden im Folgenden auch für die Wirtschaftlichkeitsberechnung angesetzt.



# 11 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

## 11.1 Kostenermittlung

Bei der Ermittlung der Kosten für die jeweiligen Turbinen- und Standortvarianten wurden die Kosten in die Kostenarten Baukosten, Kosten für die maschinenbauliche und elektrotechnische Ausrüstung (M.-E.-Kosten), Kosten der stahlwasserbaulichen Ausrüstung (StW.-Baul.-Kosten) und Baugemeinkosten (BG-Kosten) unterteilt. Dabei zählen zu den Baukosten die Aufwendungen infolge eines Neubaus oder Umbaus eines Bauwerkes für die Unterbringung einer Anlage. Zu der M.-E.-Ausrüstung gehören u. a. die Turbine, der Generator, die Maschinensteuerung und die Schaltanlage. Alle Stahlwasserrohrleitungen und Armaturen laufen unter dem Begriff stahlwasserbauliche Ausrüstung und unter Baugemeinkosten versteht man die anfallenden Kosten für den Verwaltungsaufwand (Genehmigungen, etc.).

Es sei darauf hingewiesen, dass alle folgenden Kostenangaben Schätzungen sind. Kosten infolge der Maschinen und der elektrotechnischen Ausrüstung konnten den Angeboten sowohl der Firma WKV als auch der Firma RITZ entnommen werden. Im Falle der Pumpenturbine wurden die Kosten der stahlwasserbaulichen Ausrüstung ebenfalls dem Angebot entnommen. Im Falle der Durchströmturbine und für die Ermittlung der Baukosten wurden die anfallenden Kosten mit Hilfe durchschnittlicher Preisangaben ähnlicher Projekte und mittels Erfahrungswerten des Ruhrverbands<sup>1</sup> ermittelt.

Die Kostenermittlungen der Varianten I - IV sind Anhang B.3.1 beigefügt.

Ebenfalls soll an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, dass im weiteren Verlauf sowohl Netto- als auch Bruttopreise angegeben werden, wobei der zu diesem Zeitpunkt noch gültige Mehrwertsteuersatz von 16 % angesetzt wird.

---

<sup>1</sup>Ruhrverband = Wasserwirtschaftsverband, Essen

## 11.2 Kostenvergleich

Nach Tabelle 11.1 ist die Variante II mit einer Durchströmturbine, vor dem Tosbecken angeordnet, die teuerste Variante und eine Pumpenturbine in der Staumauer (Variante III) die Günstigste.

**Tabelle 11.1:** Vergleich der Investitionskosten nach Kostenarten getrennt (Netto)

Turbinenbauart Standortvariante	Durchströmturbine		Pumpenturbine	
	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV
Bauliche Anlagen	20.098	17.548	0	8.084
M.-E.- Ausrüstung	60.800	60.800	16.600	16.600
StW.-Baul.-Ausrüstung	5.944	14.220	11.900	20.600
Baugemeinkosten	1.000	1.000	1.000	1.000
Investitionskosten [EUR]	87.842	95.568	29.500	46.284

Betrachtet man die Baukosten, so erkennt man große Unterschiede, die sich dadurch ergeben, dass im Falle einer Durchströmturbine bei beiden Standortvarianten ein Schacht bzw. ein kleines Gebäude für die Unterbringung der Wasserkraftanlage notwendig ist. Bei der Kostenaufstellung wurde dabei von einem Häuschen mit Wänden aus Stahlbeton aus gegangen, da diese gegen Erdreich anstehen. Das Dach kann in Holzbauweise als z. B. Pultdach mit einer Neigung von  $\sim 5^\circ$  ausgeführt werden. Je nach Lage und Ausführung ergeben sich Kosten in Höhe von etwa 19.000 EUR. Eine Pumpenturbine in der Staumauer erfordert keine baulichen Maßnahmen, so dass Baukosten in diesem Fall ganz entfallen. Bei der Variante IV, bei der eine Pumpenturbine an das Tosbecken positioniert wird, ist ebenfalls ein Bauwerk zur Unterbringung der Anlage erforderlich, jedoch fallen die Kosten im Vergleich zu Variante I und II geringer aus, da davon ausgegangen werden kann, dass, aufgrund des geringeren Platzbedarfs und laut RITZ, ein Schacht in Form eines Fertigteiles eingesetzt werden kann.

An der Position M.-E.-Ausrüstung spiegeln sich die Unterschiede in den Anschaffungskosten wieder. Aufgrund der Serienanfertigung beträgt der Anschaffungspreis einer Anlage mit einer „Serien-Turbine“ weniger als ein Drittel der Kosten für eine Anlage mit einer „klassischen“ Turbine.

Für die stahlwasserbauliche Ausrüstung entstehen bei der Variante I die geringsten Kosten, da diese die bestehenden Rohrleitungen nutzt und somit im Vergleich wenig zusätzliche

Kosten erzeugt. Auch Variante III nutzt bestehende Rohrleitungen bzw. den Grundablass, jedoch zieht u. a. das notwendige Versetzen des Ringkolbenventils höhere Kosten mit sich.

Die Baugemeinkosten wurden pauschal für alle Varianten mit 1.000 EUR (Netto) angesetzt.

Der Kostenvergleich zwischen den zwei Turbinentypen Durchströmturbine und Pumpenturbine zeigt, dass wie erwartet gerade bei Kleinwasserkraftanlagen mit geringen Leistungen Pumpenturbinen eine interessante Alternative zu den „konventionellen“ Turbinen darstellen.

Ein Kostenvergleich allein lässt aber noch keine Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage zu. Aufgrund dessen wird nun im Weiteren für jede Variante die Wirtschaftlichkeit untersucht, wobei im Groben zwischen Netzbetrieb und teilweisem Inselbetrieb unterschieden wird.

## 11.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

### 11.3.1 Jahresarbeit

Um bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung den anfallenden Kosten die Einnahmen gegenüberstellen zu können, werden die ermittelten möglichen Jahresarbeiten aller Varianten an dieser Stelle in Tabelle 11.2 zusammengefasst.

**Tabelle 11.2:** Vergleich der Jahresarbeit

Turbinenbauart Standortvariante	Durchströmturbine		Pumpenturbine			
	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV		
Jahresarbeit [kWh/a]	111.200	114.000	96.000	71.500	100.700	73.000
Verfügbarkeit (99 %) [kWh/a]	110.088	112.860	95.040	70.785	99.693	72.270

Daran ist zu erkennen, dass die Differenz zwischen zwei Standortvarianten des gleichen Turbinentypes von 2.800 kWh/a (Durchströmturbine) bis zu 4.700 kWh/a bzw. 1.500 kWh/a (Pumpenturbine) reicht. Der größte Unterschied ergibt sich bei Variante II und III (18.000 kWh/a bzw. 42.500 kWh/a). Dass sich jedoch auch bei einer Pumpenturbine erstaunlich hohe Werte ergeben, lässt sich auf den guten Ausbaugrad der Talsperre ( $\sim 7\%$ ) und darauf zurückführen, dass infolge der relativ konstanten Stauhöhe die Durchflussmenge auch annähernd konstant bleibt und dadurch ein guter Turbinenwirkungsgrad erreicht wird.

Diese Werte werden nun für die Vergütung nach dem EEG zugrunde gelegt, abzüglich einer gewissen „Nicht-Verfügbarkeit“. Diese berücksichtigt die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit einer Anlage infolge unerwarteter Ereignisse (Maschinenausfall, Netzzusammenbruch, etc.) und Wartungs- und Reparaturarbeiten. Nach GIESECKE & MOSONY (1998) beläuft sie sich bei deutschen Laufwasserkraftwerken auf etwa 1 %. Laut des Ruhrverbands ist dieser Wert bei Talsperren sehr gering angesetzt und beläuft sich normalerweise auf etwa 3 %. Da aber im Fall der Heilenbecke Talsperre die Turbine in den Sommermonaten einige Zeit außer Betrieb sein wird, können Wartungsarbeiten in dieser Zeit vorgenommen werden. Um unerwartete Ereignisse zu berücksichtigen werden die 1 % als „Nicht-Verfügbarkeit“ angesetzt, so dass sich etwas geringere Werte für die Vergütung nach dem EEG ergeben.

### 11.3.2 Komplette Einspeisung nach dem EEG

Im Fall der Heilenbecke Talsperre ergibt sich, wie unter Kapitel 6.2 bereits erwähnt, eine Vergütung gemäß des EEG / 2004 von 9,67 ct/kWh. Infolge der verfügbaren Energie fallen die Einnahmen in Abhängigkeit von der Turbinen- und Standortwahl in einer Höhe von etwa 7.000 bis zu 11.000 EUR pro Jahr aus.

**Tabelle 11.3:** Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei kompletter Netzeinspeisung

Turbinenbauart Standortvariante		Durchströmturbine		Pumpenturbine			
		Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV		
Jahresarbeit	[kWh/a]	110.088	112.860	95.040	70.785	99.693	72.270
Vergütung (gem. EEG/2004)	[EUR/a]	10.646	10.914	9.190	6.845	9.640	6.989
Kosten	[EUR/a]	4.009	4.141	2.537	2.466	2.839	2.760
Ertrag	[EUR/a]	6.637	6.773	6.653	5.080	6.801	5.219
Rendite	[%]	6,5	6,2	19,4	14,8	12,7	9,7

Dem gegenüber stehen Jahreskosten, die alle Ausgaben beinhalten, die jährlich bezahlt werden müssen. Darunter fallen Annuität, Unterhaltungskosten, Betriebs- und Nebenkosten. Da der Heilenbecke Wasserverband eine Körperschaft des öffentlichen Rechts ist, wird als kalkulatorischer Zinssatz 3,5 % angesetzt. Die Amortisationszeit der einzelnen Anlagenteile werden nach GIESECKE & MOSONY (1998) wie folgt festgelegt:

1. Bauliche Anlagen : 50 Jahre
2. M.-E.-Technik : 30 Jahre
3. StW.-Baul. Anlagen : 40 Jahre

Die Unterhaltungskosten wurden mit 0,5 % der Investitionskosten, die Nebenkosten, die Versicherung und Steuern beinhalten, mit 3,0 % der Einnahmen angenommen. Der jährliche

Betriebsaufwand wurde pauschal für alle Varianten auf 52 h  $\times$  30 EUR/h = 1.560 EUR geschätzt.

Tabelle 11.3 zeigt das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung im Falle einer kompletten Einspeisung des Stromes in das öffentliche Netz. Die gesamte Wirtschaftlichkeitsberechnung liegt Anhang B.3.2 bei.

### 11.3.3 Eigenbedarfsdeckung und Einspeisung nach dem EEG

Anhand folgender Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird die Nutzung des erzeugten Stromes für den Eigenstrombedarf berücksichtigt. Bei einem jährlichen Stromverbrauch seitens des Trinkwasserversorgers WBV Ennepetal-Milspe von etwa 45.000 kWh können Kosten infolge des Strombezuges von dem AVU Gevelsberg in Höhe von 12,5 ct/kWh = 5.625 EUR/a eingespart werden. Die überschüssige Strommenge wird in das öffentliche Netz eingespeist und gemäß des EEG mit 9,67 ct/kWh vergütet.

**Tabelle 11.4: Eigenbedarfsdeckung und Resteinspeisung**

Turbinenbauart Standortvariante		Durchströmturbine		Pumpenturbine			
		Var. I	Var. II	Var. III		Var. IV	
Jahresarbeit	[kWh/a]	110.088	112.860	95.040	70.785	99.693	72.270
Stromeigenbedarf	[kWh/a]	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000	45.000
Kostenersparnis (12,5 ct/kWh)	[EUR/a]	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625	5.625
Einspeisung	[kWh/a]	65.088	67.860	50.040	25.785	54.693	27.270
Vergütung (gem. EEG/2004)	[EUR/a]	6.294	6.562	4.839	2.493	5.289	2.637
Einnahmen	[EUR/a]	11.919	12.187	10.464	8.118	10.914	8.262

Im Vergleich zu einer Kompletteinspeisung ist zu erkennen, dass mittels solch eines Mischbetriebes von Insel- und Netzbetrieb der Ertrag um ungefähr 1.000 EUR pro Jahr steigt.

**Tabelle 11.5: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei Eigenbedarfsdeckung und Resteinspeisung**

Turbinenbauart Standortvariante		Durchströmturbine		Pumpenturbine			
		Var. I	Var. II	Var. III		Var. IV	
Einnahmen	[EUR/a]	11.919	12.187	10.464	8.118	10.914	8.262
Kosten	[EUR/a]	4.048	4.180	2.575	2.505	2.877	2.798
Ertrag	[EUR/a]	7.872	8.008	7.888	6.315	8.037	6.454
Rendite	[%]	7,7	7,4	23,0	18,4	15,0	12,0

## 11.4 Amortisation

Die Berechnung der Amortisationszeit erfolgt mittels einer Gegenüberstellung der Investitionskosten zu dem jährlichen „Gewinn“, der sich aus dem Ertrag und den kalkulatorischen AfA<sup>2</sup>-Wert (Abschreibung) errechnet. Daraus lässt sich erkennen, über welchen Zeitraum die Gewinne bereitgestellt werden müssen, um die Investitionskosten zu decken. Bei Wasserkraftanlagen sind im Normalfall Amortisationszeiten von 20 Jahren und mehr anzutreffen. Amortisationszeiten unter 20 Jahren werden in der Regel nur bei Eigenverwendung des Stromes oder mit Hilfe einer entscheidenden Anfangsinvestition erreicht (WBW, 1991).

Im Fall der Heilenbecke Talsperre ergeben sich bei allen Varianten Amortisationszeiten unter 20 Jahren. Aufgrund der unterschiedlich hohen Investitionskosten, vor allem im Vergleich einer Durchströmturbine zu einer Pumpenturbine, ergeben sich dementsprechend unterschiedliche Amortisationszeiten.

**Tabelle 11.6:** Vergleich der Amortisationszeiten

Turbinenbauart Standortvariante		Durchströmturbine		Pumpenturbine			
		Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV		
Kompletteinspeisung	[a]	11,2	10,8	4,4	5,5	6,4	7,8
Eigenverwendung und Einspeisung	[a]	9,4	9,7	3,9	4,7	5,7	6,8

<sup>2</sup>Afa = Absetzung für Abnutzung

## 12 Wahl einer Turbine und eines Standortes

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und der daraus resultierenden Auswahl einer Variante, werden als erstes die auftretenden Investitionskosten herangezogen. Dabei ist nach Tabelle 11.1 bereits ein großer Unterschied zwischen den Turbinenarten zu erkennen. Die Differenz zwischen einer Durchströmturbine und einer Pumpenturbine beläuft sich auf etwa 60.000 EUR.

Im Gegensatz dazu belaufen sich die Reinerträge unabhängig von der Turbinenart und ebenfalls unabhängig von der Standortwahl auf rund 6.800 EUR (Kompleteinspeisung) bzw. 8.000 EUR (Eigenverwendung und Einspeisung). Lediglich bei der Betriebsweise b), bei der im Falle einer Pumpenturbine die Anlage in den Sommermonaten stillsteht, liegen die Erträge etwas niedriger und zwar bei ungefähr 5.000 EUR bzw. 6.000 EUR.

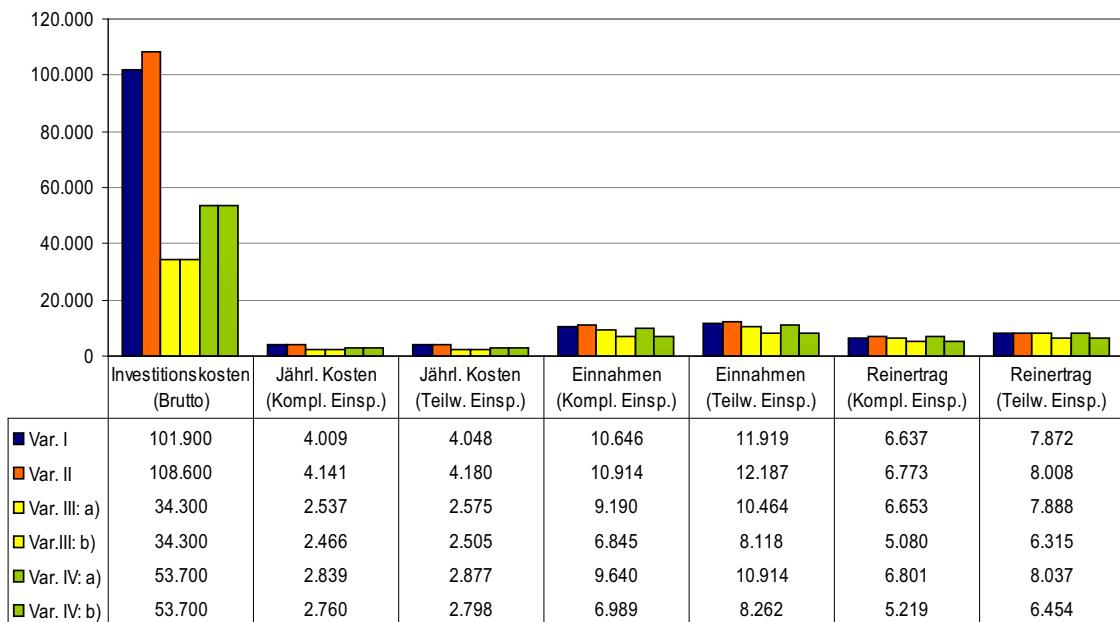


Abbildung 12.1: Vergleich der Varianten

Große Unterschiede entstehen demnach nur im Bereich der Kosten. Dazu zählen sowohl die Investitions- als auch die jährlich auftretenden Kosten. Dabei ist zu bemerken, dass die laufenden Kosten im Falle einer Durchströmturbine 60 - 70 % höher liegen als die einer Pumpenturbine.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass jede Variante und damit auch jede Turbinenart im Falle der Heilenbecke Talsperre technisch umsetzbarbar ist und sich wirtschaftlich rechnet. In allen Szenarien sind die Einnahmen höher als die Ausgaben und eine Amortisationszeit von mehr als 11 Jahren wird nicht erreicht.

Um nun jedoch eine gesamtwirtschaftliche Entscheidung zu treffen, werden die Amortisationszeiten nochmals genauer betrachtet. Nach Tabelle 11.6 liegen die Zeiten bei einer Pumpenturbine zwischen 3,9 und 7,8 Jahren. Bei einer Durchströmturbine treten Zeiten von minimal 9,4 und maximal 11,2 Jahren auf. Aufgrund der geringeren Investitionskosten und den niedrigen Amortisationszeiten fällt somit im Fall der Heilenbecke Talsperre die Wahl auf eine Pumpenturbine.

Da sich die Amortisationszeit bei einer Pumpenturbine innerhalb der Staumauer (Variante III) im Vergleich zur Variante IV nochmals um etwa 2 Jahre verkürzt und sich die Rendite um etwa 6-8 % erhöht, wird der Standort in der Staumauer bevorzugt.

An dieser Stelle sei nochmals der Unterschied zwischen der Betriebsweise a) und b) erwähnt. Bei der Betriebsweise a) wird bei ausreichenden Wasserständen in der Talsperre, d. h. bei Wasserständen zwischen 299,00 und 300,42 m ü. NN, die Anlage stets betrieben. Sinkt der Wasserstand unterhalb von 299,00 m ü. NN, muss die Anlage ausgeschaltet werden bis der Wasserstand nach einigen Tagen wieder mehr als 300,42 m ü. NN beträgt. Da ein Unterschied in den Abflussmengen von 160 l/s (Turbinendurchfluss) und 20 l/s (Mindestwasserabgabe) vorliegt und somit Schwankungen im Unterwasser entstehen, ist diese Betriebsweise aus ökologischer Sicht kritisch zu betrachten.

Um diese diskontinuierliche Betriebsweise zu vermeiden, wurde bei der Betriebsweise b) untersucht, die Anlage in den Wintermonaten, wie oben beschrieben, zu betreiben und in den trockenen Sommermonaten auszuschalten.

Aus ökologischer Sicht und auch unter Berücksichtigung des EEG wird im weiteren Verlauf die Betriebsweise b) der Variante III somit als sogenannte „Vorzugsvariante“ nochmals näher erläutert und zeichnerisch dargestellt.

## 13 Vorzugsvariante

Als Vorzugsvariante gilt nach Kapitel 12 eine Pumpenturbine der Firma RITZ, die innerhalb der Staumauer positioniert wird.

Da das Versetzen des Ringkolbenventils bereits mit im Angebot der Firma RITZ und somit auch in der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt wurde, wird an dieser Stelle die geringfügig geänderte Konstruktion nochmals erläutert (s. Abbildung 13). Die Pumpenturbine wird in der Staumauer hinter dem Einlauf installiert. Der Zulauf zur Turbine erfolgt über eine Bypassleitung in DN 300, die von der Grundablassleitung DN 400 abgeht. Nach Durchlaufen der Turbine fließt das Wasser wieder zurück in den Grundablass und über diese bestehende Leitung bis zur Schussrinne und damit in das Tosbecken. Um zu großen Druckverluste infolge des Ringkolbenventils zu vermeiden, wird nun das Ringkolbenventil (RKV) im Rohrkeller durch ein Zwischenstück ersetzt und an der Wasserseite der Staumauer zwischen dem Einlauf und dem Auslauf der Turbine in den Grundablass neu positioniert. Da die komplette Konstruktion kurz hinter dem Einlauf eingebaut wird, kann infolge des Versetzens des RKV auf das Be- und Entlüftungsventil verzichtet werden. Im Falle der Außerbetriebnahme der Turbine wird ein Schieber (DN 300) vor der Turbine geschlossen. Dieser wird elektrisch betrieben. Zugleich öffnet ein Magnetventil, welches stromlos geschlossen ist, die Umleitung in DN 80, um die Mindestwasserabgabe in Höhe von 20 l/s zu gewährleisten. Das Ringkolbenventil bleibt die ganze Zeit über geschlossen und wird nur im Hochwasserfall geöffnet.

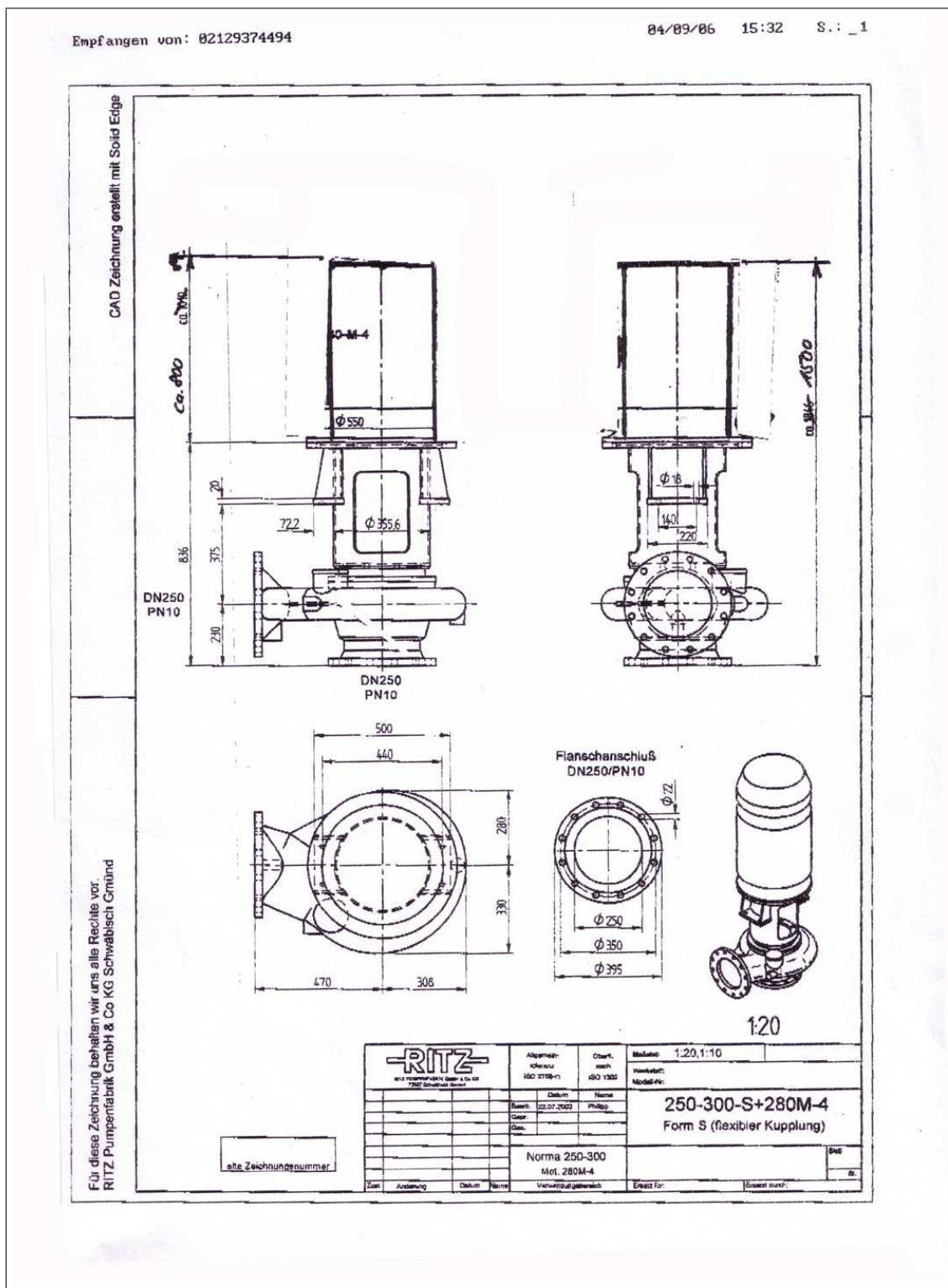
Zum Einsatz kommt laut RITZ eine Pumpenturbine des Typs 250-300/361411, die aus platzsparenden Gründen als Blockaggregat mit Generator in Vertikalbauweise eingesetzt wird. Die Abmessungen dieser Bauweise können Abbildung 13 entnommen werden.

Aufgrund der Standortwahl in der Staumauer liegt eine Bruttofallhöhe von maximal 15,72 m und minimal 14,30 m vor. Die Turbinenleistung reicht von 20,35 kW bis 25,14 kW und die Einspeiseleistung von 14,66 kW bis 19,12 kW. Der Generator weist eine Leistung von maximal 22 kW auf.

Aufgrund der Vorrangigkeit der Trinkwasserversorgung ist die minimale Stauhöhe von etwa 299,00 m ü. NN zu beachten. Bei Eintreten dieser Stauhöhe ist die Turbine außer Betrieb zu nehmen, um so eine gute Wasserqualität zu gewährleisten.

In den Sommermonaten ist die Turbine gegebenenfalls komplett auszuschalten, um Schwankungen im Unterwasser zu vermeiden.

Seitens des Strombeziehers, in diesem Fall das AVU Gevelsberg, muss für die Stromeinspeisung und -nutzung geprüft werden, inwiefern die vorhandenen Stromleitungen ausreichend dimensioniert sind und wie die elektrischen Anlagen sinnvoll angeordnet werden. Sollte Strom zur Eigenbedarfsdeckung des WBV Ennepetal-Milspe herangezogen werden, sollte dies keine große Probleme bereiten, da bereits eine Verbindung(Kabelkanal) zwischen der Staumauer und dem Trinkwasseraufbereitungsgebäude des WBV besteht.



**Abbildung 13.1:** Abmessungen einer Norma 250-300

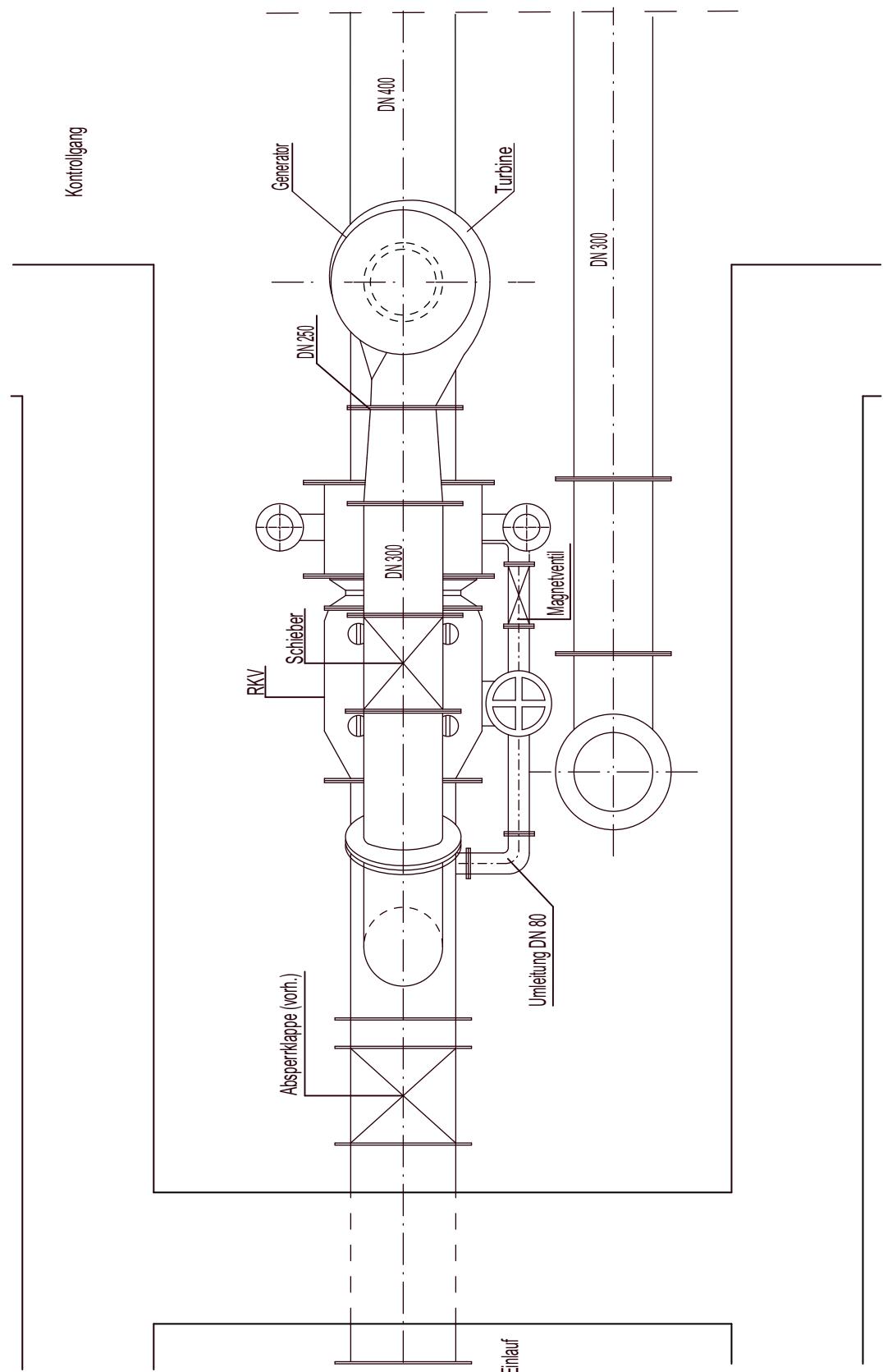


Abbildung 13.2: Vorzugsvariante / Variante III: Grundriss M.: 1:25

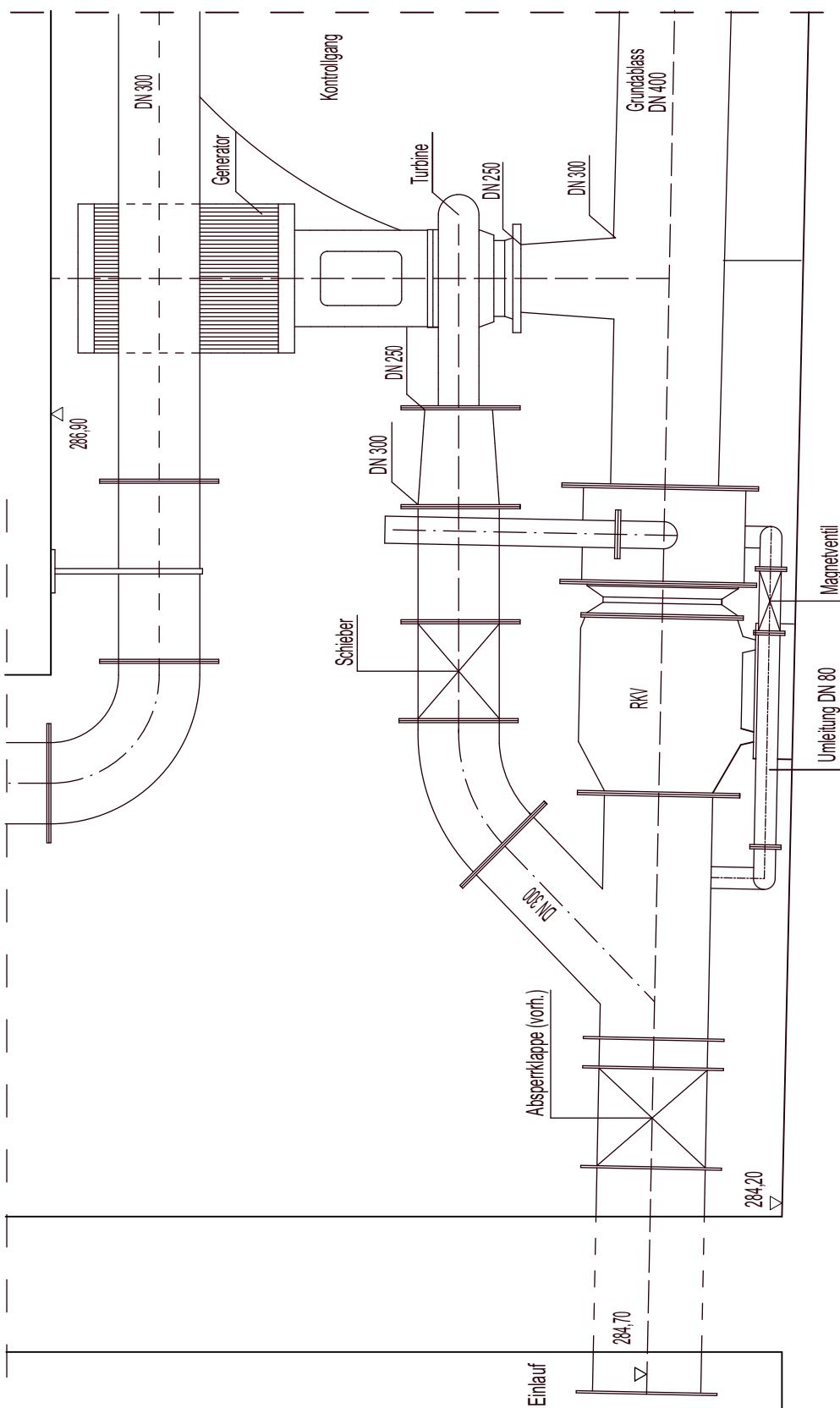


Abbildung 13.3: Vorzugsvariante / Variante III: Schnitt M.: 1:25



## Teil IV

# Zusammenfassung und Ausblick



## Zusammenfassung und Ausblick

Zur Schonung der Umwelt und Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung wurden mit der Novellierung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) Voraussetzungen geschaffen, den Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung zu steigern.

Wasserkraft stellt dabei, neben der Solar- und der Windenergie, einen großen Teil der regenerativen Energiequellen dar. Die Technologie in diesem Bereich ist schon seit langer Zeit ausgereift und hat sich bestens bewährt.

Die Heilenbecke Talsperre ist eine der ältesten Talsperren in Nordrhein-Westfalen und bietet sich geradezu für die Nutzung von Wasserkraft an. Aufgrund des langjährigen Bestehens der Stauanlage wird die Natur und das ökologische System im Falle einer Integration einer Wasserkraftanlage nicht negativ beeinflusst.

Als Grundlage für die Untersuchungen an der Heilenbecke Talsperre dienten vorhandene Daten im Bereich der Hydrologie, der stahlwasserbaulichen Konstruktionen und der Bauwerke. Dazu gehörte vor allem die Bestimmung des Durchflusses, der Abflussdauerlinie und der Fallhöhe sowie die genaue Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten.

**Tabelle 13.1: Hydrologische Daten der Heilenbecke Talsperre**

Einzugsgebiet	[km <sup>2</sup> ]	7,60	Ausbaugrad	[%]	7,00
Stauinhalt	[m <sup>3</sup> ]	450.000	Überstaute Fläche	[ha]	8,50
Zufluss	[m <sup>3</sup> /a]	6.380.000	Mindestwasserabgabe	[m <sup>3</sup> /a]	631.000
	[l/s]	202		[l/s]	20
Rohwasserentnahme	[m <sup>3</sup> /a]	350.000	WKA zur Verfügung	[m <sup>3</sup> /a]	6.030.000
	[l/s]	11	stehendes Wasser	[l/s]	192

Mittels einer Auswertung dieser Daten konnten eine Durchströmturbine und eine rückwärtslaufende Pumpe, eine sogenannte Pumpenturbine, als sinnvolle und möglich einzusetzende Turbinen bestimmt werden. Die Auswahl dieser Turbinenarten richtete sich nach den anzutreffenden örtlichen Randbedingungen und den technisch bedingten Einsatz-

und Verwendungsgrenzen dieser Turbinen. Speziell im Bereich von Klein- und Kleinstwasserkraftanlagen kommen diese Turbinenarten zum Einsatz.

Die Durchströmturbine eignet sich durch ihre zweizellige Bauweise hervorragend bei einem schwankenden Wasserdargebot, welches im Kleinwasserkraftbereich häufig vorkommt. Aufgrund der relativ unkomplizierten Konstruktion und der Möglichkeit einer Teilbeaufschlagung der Turbine kann ein großer Wassermengenbereich mit einem hohen Turbinenwirkungsgrad abgearbeitet werden.

Der Vorteil von Pumpenturbinen liegt in ihrer Serienfertigung und den daraus resultierenden günstigen Anschaffungskosten, da Pumpen gebräuchliche Arbeitsmaschinen sind, die in ihrer Technologie voll ausgereift sind. Aufgrund ihrer Konstruktion bzw. ihres Betriebverhaltens eignen sie sich vor allem bei einem konstanten Wasserdargebot oder bei konstanten Fallhöhen.

Beispiele für die Umsetzung solcher Turbinenanlagen stellen die Ennepetalsperre und die Füelbecke Talsperre dar. Im Jahr 2005 konnte an der Ennepetalsperre eine Wasserkraftanlage mit einer Durchströmturbine in Betrieb genommen werden. An der Füelbecke Talsperre kam eine Pumpenturbine zum Einsatz. Diese Anlage wird seit 2004 betrieben. In beiden Fällen bestehen keine langjährigen Ergebnisse und Erfahrungen, da sie erst vor ein bzw. zwei Jahren in Betrieb gegangen sind. Jedoch lässt sich sagen, dass beide Anlagen voraussichtlich wie erwartet betrieben werden können.

Vorplanerische Berechnungen dienten der Untersuchung unterschiedlicher Standorte sowohl beim Einsatz einer Durchströmturbine als auch einer Pumpenturbine. Für jede Turbinenart kamen letztendlich zwei Standortvarianten in die nähere Auswahl, so dass insgesamt vier Varianten genauer untersucht wurden. Jedoch wurde jede Turbinenart aufgrund ihres unterschiedlichen Betriebverhaltens auf eine etwas andere Art und Weise untersucht. Die Jahresenergieerzeugung einer Durchströmturbine konnte vereinfacht anhand einer konstant angenommenen Stauhöhe und der Abflussdauerlinie ermittelt werden. Zuvor wurde die Ausbauwassermenge auf  $Q_a = 230 \text{ l/s}$  festgelegt.

Im Gegensatz dazu wurde die Jahresarbeit, die mittels einer Pumpenturbine erzeugt wird, mit Hilfe eines sogenannten Wasserwirtschaftsplanes ermittelt. Dieser soll nachweisen, dass unter Berücksichtigung aller Nebenbedingungen die wasserwirtschaftlichen Aufgaben der Talsperre erfüllt werden können.

Für ein bestimmtes Bezugsjahr stellt der Wasserwirtschaftsplan eine Simulation der Bewirtschaftung der Talsperre dar. Hierbei wird auf die tatsächlich ermittelte Zuflussganglinie eines Jahres zugegriffen. Sowohl die Rohwasserentnahme als auch die Mindestwasserabgabe werden ebenfalls berücksichtigt. Aufgrund der starken Abhängigkeit zwischen der Fallhöhe

und der Durchflussmenge einer Pumpenturbine kann mittels dieser Simulation die tatsächlich eintretende Durchsatzmenge und daraus die Jahresarbeit bestimmt werden. Die maximale Durchflussmenge der Turbine liegt bei etwa 160 l/s.

Anhand des Wasserwirtschaftsplanes ist zu erkennen, dass bei einer Pumpenturbine zwei unterschiedliche Betriebsarten untersucht werden müssen. Bei konsequenter Nutzung der Wassermengen entstehen vor allem in den trockenen Sommermonaten Schwankungen im Unterwasser, die sich unter dem ökologischen Aspekt negativ auswirken können. Zur Vermeidung dieser diskontinuierlichen Betriebsweise wurde zusätzlich untersucht, wie sich eine Betriebsweise auf die Jahresarbeit auswirkt, bei der die Anlage lediglich in den Wintermonaten läuft und in den Sommermonaten außer Betrieb ist.

**Tabelle 13.2:** Vergleich der Jahresarbeit

Turbinenbauart Standortvariante	Durchströmturbine Var. I	Pumpenturbine				Var. IV
		Var. III				
Jahresarbeit [kWh/a]	111.200	114.000	96.000 <sup>1</sup>	71.500 <sup>2</sup>	100.700 <sup>1</sup>	73.000 <sup>2</sup>
Verfügbarkeit (99 %) [kWh/a]	110.088	112.860	95.040	70.785	99.792	72.270

Unabhängig von der Turbinenart und des Turbinenstandortes muss bei der Nutzung des Wasserdargebots berücksichtigt werden, dass die Trinkwasserversorgung Vorrang vor der Erzeugung elektrischer Energie hat. Aufgrund dessen darf eine Stauhöhe von 299,00 m ü. NN in der Talsperre während des Betriebes einer Wasserkraftanlage nicht unterschritten werden.

Mit Hilfe der ersten Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Heilenbecke Talsperre der Mehrfachnutzung Rechnung tragen kann. Eine Erzeugung elektrischen Stromes ist an dieser Talsperre technisch machbar.

Anschließend wurden alle Turbinen- und Standortvarianten einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen. Für die Ermittlung der jeweiligen Investitionskosten, wurden die Kosten unterteilt in Baukosten, die durch den Neubau eines Bauwerkes entstehen, Kosten der maschinenbaulichen und elektrotechnischen Ausrüstung, zu der vor allem die Turbine und der Generator zählen, Kosten der stahlwasserbaulichen Ausrüstung, womit Rohrleitungen und Armaturen gemeint sind, sowie Baugemeinkosten, die infolge Genehmigungen etc. entstehen.

<sup>1</sup>Betriebsweise a): diskontinuierlich

<sup>2</sup>Betriebsweise b): Stillstand in den Sommermonaten

Im Falle einer Durchströmturbine konnten für beide Standortvarianten die Kosten der maschinenbaulichen und elektrotechnischen Ausrüstung dem Angebot der Firma WKV<sup>1</sup> entnommen werden. Für die Ermittlung der Kosten bei einem Einsatz einer Pumpenturbine diente das Angebot der Firma RITZ<sup>2</sup>. Neben den Kosten der maschinenbaulichen und elektrotechnischen Ausrüstung beinhaltete dieses Angebot ebenfalls Angaben über die Kosten der stahlwasserbaulichen Ausrüstung.

Um die Baukosten, Baugemeinkosten und im Falle der Durchströmturbine auch die stahlwasserbaulichen Kosten abschätzen zu können, wurden einerseits Preisangaben sowohl der Ennepetalsperre als auch der Fuelbecke Talsperre verwendet, andererseits konnten Erfahrungswerte des Ruhrverbands für diesen Zweck herangezogen werden.

Im direkten Vergleich der Investitionskosten war ersichtlich, dass im Falle einer Durchströmturbine wesentlich höhere Kosten entstehen, was allein schon auf die höheren Anschaffungskosten der Turbine zurückzuführen ist. Die günstigste Auswahlvariante stellt eine Pumpenturbine, direkt in der Staumauer installiert (Variante III), dar. Aufgrund der Möglichkeit die Anlage in einem bestehenden Bauwerk zu integrieren, treten keine Baukosten auf. Die Investitionskosten bei einer Pumpenturbine betragen in etwa 40 % der Investitionskosten bei einer Durchströmturbine .

**Tabelle 13.3:** Vergleich der Investitionskosten nach Kostenarten getrennt (Netto)

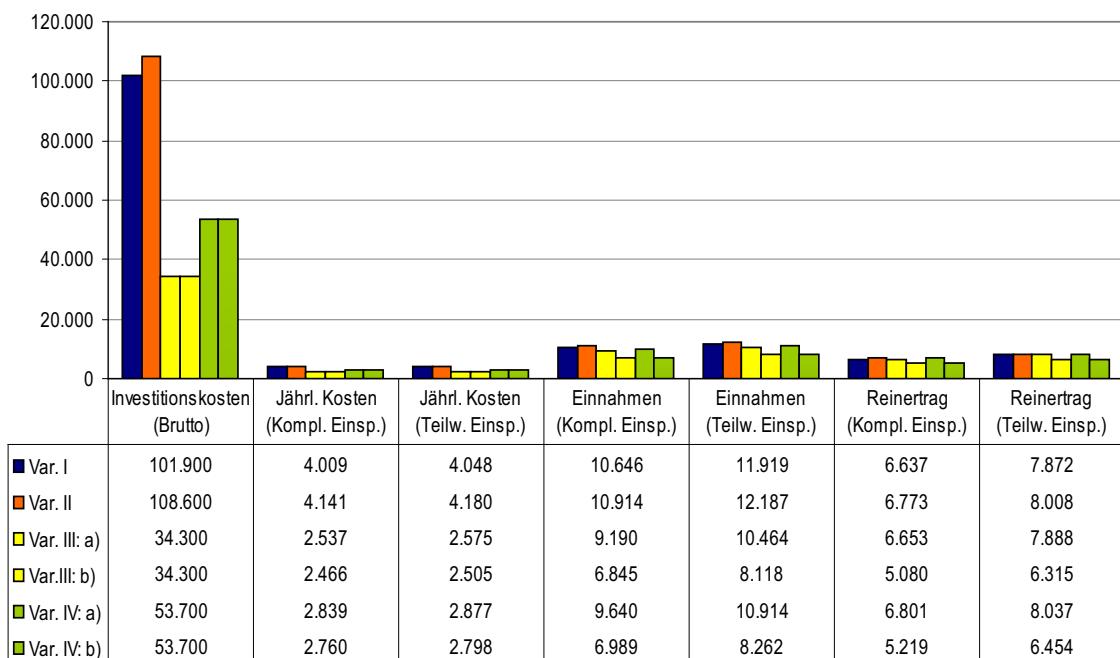
Turbinenbauart Standortvariante	Durchströmturbine		Pumpenturbine	
	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV
Bauliche Anlagen	20.098	17.548	0	8.084
M.-E.- Ausrüstung	60.800	60.800	16.600	16.600
StW.-Baul.-Ausrüstung	5.944	14.220	11.900	20.600
Baugemeinkosten	1.000	1.000	1.000	1.000
Investitionskosten [EUR]	87.842	95.568	29.500	46.284

Das im Jahr 2004 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) regelt u. a. die Vergütung von Strom. Mittels einer Bilanzbetrachtung des Zuflusses zum Abfluss konnte nachgewiesen werden, dass eine Wasserkraftanlage an der Heilenbecke Talsperre als Laufwasserkraftwerk zu bewerten ist und somit als vergütungsfähig anzusehen ist. Aufgrund dieser Tatsache kann mit einer Vergütung in Höhe von 9,67 ct/kWh gerechnet werden. Diese ist im Falle einer Einspeisung des Stromes in das öffentliche Netz von dem Energieversorgungs-

<sup>1</sup>Wasserkraft Volk AG, Gutach

<sup>2</sup>RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co KG, Schwäbisch Gmünd

unternehmen AVU<sup>3</sup> Gevelsberg zu entrichten. Neben der Möglichkeit den erzeugten Strom komplett einzuspeisen, wurde die Eigenversorgung und teilweise Einspeisung als weitere Möglichkeit betrachtet. Infolge der daraus resultierenden Einsparung der Kosten für die Strombeziehung bei dem AVU Gevelsberg erhöhen sich die jährlichen Einnahmen nochmals.



**Abbildung 13.4:** Übersicht der Kosten, Einnahmen und Erträge

Von Interesse sind in diesem Zusammenhang die bei allen Auswahlvarianten festgestellten Jahresarbeiten. Diese liegen nach Tabelle 13.2 in einem Bereich von 71.500 kWh/a bis zu 114.000 kWh/a. Im Mittel kann eine Durchströmturbine an der Heilenbecke Talsperre rund 13.000 kWh aufweisen. Bei einer Pumpenturbine liegt die mittlere Jahresarbeit je nach Betriebsart bei etwa 98.000 bzw 72.000 kWh. Bei einer Durchströmturbine wirkt sich die mögliche Teilbeaufschlagung, mit der ein großer Arbeitsbereich abgedeckt wird und somit hohe Wirkungsgrade erreicht werden, positiv auf die Energieerzeugung aus. Für eine Pumpenturbine bieten sich an der Heilenbecke Talsperre gute Umstände an. Als Erstes sei der gute Ausbaugrad der Talsperre erwähnt. Dieser beträgt lediglich 7 %, d. h. die Talsperre füllt sich bis zu 14-mal in einem Jahr. Im Vergleich dazu geschieht dies an der Ennepetalsperre nur um die 3-mal im Jahr (Ausbaugrad: 33 %). Da die Durchflussmenge einer Pumpenturbine von der vorhandenen Druckhöhe abhängig ist und an dieser Talsperre eine Fallhöhenänderung von mehr als 1,42 m aufgrund der minimalen Betriebsstauhöhe von

<sup>3</sup>AVU = Allgemeines Versorgungsunternehmen Gevelsberg

299,00 m ü. NN nicht möglich ist, läuft die Turbine in einem wirkungsvollen Arbeitsbereich mit guten Turbinenwirkungsgraden.

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit erfolgte schließlich unter Berücksichtigung der Amortisationszeiten einzelner Anlagen sowie eines kalkulatorischen Zinssatzes. Der erste Schritt in dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse beinhaltet die Gegenüberstellung der jährlich auftretenden Kosten zu den potentiellen Jahreseinnahmen (vgl. Abbildungen 13.4). Die Kosten setzen sich dabei aus der Annuität, den Unterhaltungskosten, den Betriebs- und Nebenkosten zusammen. Für die Ermittlung der Annuität wurde ein kalkulatorischer Zinssatz in Höhe von 3,5 % angesetzt. Die Amortisationszeiten beliefen sich bei den baulichen Anlagen auf 50 Jahre, bei den maschinenbaulichen und elektrotechnischen Anlagen auf 30 Jahre und für die stahlwasserbaulichen Anlagen wurden 40 Jahre angesetzt. Die Unterhaltungskosten wurden vereinfacht mit pauschal 0,5 % der Investitionskosten anberaumt. Steuern, Versicherung, etc. laufen unter Nebenkosten und wurden mit 3 % der Einnahmen angenommen. Die jährlichen Betriebskosten beliefen sich bei allen Varianten auf angenommene 52h á 30 EUR/h.

Das Ergebnis dieser Berechnung ist der Vergleich der Reinerträge jeder Variante. Dabei ist festzustellen, dass eine Durchströmturbine und eine Pumpenturbine in Betriebsweise a) ähnlich hohe Reinerträge erwirtschaften. Im Fall einer kompletten Einspeisung liegen die Erträge bei etwa 6.800 EUR und bei einer teilweisen Einspeisung bei etwa 8.000 EUR. Unterschiede entstehen bei einer Pumpenturbine in Betriebsart b). Hier beträgt der Reinertrag bei Kompleteinspeisung rund 5.100 EUR und bei Teileinspeisung 6.3000 EUR.

Als wesentliches Entscheidungskriterium zählte am Ende der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Bestimmung der Amortisationszeit. Dabei gibt die Amortisationszeit an, wieviele Jahre benötigt werden, um mittels eines jährlichen Gewinnes, der sich aus dem Reinertrag und einem kalkulatorischen AfA-Wert (Abschreibung) errechnet, die Investitionskosten zu decken.

**Tabelle 13.4:** Vergleich der Amortisationszeiten

Turbinenbauart Standortvariante	Durchströmturbine		Pumpenturbine			
	Var. I	Var. II	Var. III	Var. IV		
Kompleteinspeisung [a]	11,2	10,8	4,4	5,5	6,4	7,8
Eigenverwendung und Einspeisung [a]	9,4	9,7	3,9	4,7	5,7	6,8

Mit dieser Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde festgestellt, dass alle vier Varianten an der Heilenbecke Talsperre sowohl technisch umsetzbar als auch wirtschaftlich sind. Dabei stellt

eine Pumpenturbine direkt in der Staumauer (Variante III) die wirtschaftlichste und in Betriebsweise b) zusätzlich die ökologischste Ausführungsvariante dar.

Gerade im Hinblick auf die nicht einzuschätzenden Strompreise der nächste Jahre und Jahrzehnte erscheint eine Errichtung einer Wasserkraftanlage an der Heilenbecke Talsperre sinnvoll. Im Falle einer Strompreisseigerung kann der Bau einer Anlage zu einer noch höheren Wirtschaftlichkeit führen. Des Weiteren ist das Interesse der Öffentlichkeit groß, sich in den nächsten Jahrzehnten von den fossilen Brennstoffen weiter zu lösen. Die Errichtung einer Wasserkraftanlage könnte somit also auch einen, wenn auch kleinen, Beitrag zur nachhaltigen Energieerzeugung in Deutschland leisten.



## Literaturverzeichnis

- BMU (2004), *Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- BMU (2005), *Leitfaden für die Vergütung von Strom aus Wasserkraft*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- BMU (2006) *Erneuerbare Energien - Innovationen für die Zukunft*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- BMU & AGEE (2006) *Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2005 in Deutschland*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik (AGEE), Berlin.
- BMU & BMWI (2006), *Energieversorgung für Deutschland – Statusbericht für den Energiegipfel am 03. April 2006*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin.
- GIESECKE, J. & MOSONY, E. (1998) *Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb*, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- HEILENBECKE WASSERVERBAND (1995), *Sicherheitsbericht Heilenbecktalsperre 1995, Teil A*, Ennepetal.
- KACZYNISKI, J. (1994), *Stauanlagen, Wasserkraftanlagen*, 2. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf.
- MRUGOWSKY, HARTMUT (1999), *Drehzahlvariable Kleinstwasserkraftwerke für Netz- und Inselbetrieb*, Magdeburg.

MWME (2003), *Zukunftsenergien aus Nordrhein-Westfalen*, Landesinitiative Zukunftsenergien NRW c/o Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWME), Düsseldorf.

MWME (2006), *Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen*, Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWME), Düsseldorf.

PÁLFFY, S.O. & PUCHER, E. & WALCHER, H. & NOWOTNY, G. & PARTZSCH, P. & SCHLIMGEN W. & K.H. RÖMER & TRATZ, D. (1991), *Wasserkraftanlagen: Klein- und Kleinstkraftwerke*, 1.Auflage, expert-Verlag, Ehningen.

RITZ (2001), *Turbinenpumpen – Einsatz von rückwärtslaufenden Turbinenpumpen und Betriebserfahrungen*, RITZ Pumpenfabrik GmbH & Co KG (RITZ), Schwäbisch Gmünd.

ROTARIUS, T. (1991) *Wasserkraft nutzen – Ratgeber für Technik und Praxis*, 2.Auflage, Rotarius Verlag, Cölbe.

WBW (1991), *Leitfaden für den Bau von Kleinwasserkraftanlagen*, Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V. (WBW),1.Auflage, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co, Stuttgart.

WKV (2003), *Energie für eine lebenswerte Zukunft*, Wasserkraft Volk AG (WKV), Freiburg.

**Teil V**

**Anhang**



## A Grundlagen

## A.1 Zufluss an der Heilenbecke Talsperre

### A.1.1 Berechnung des Zuflusses

Spalte 3: Stauhöhen; entnommen aus dem Betriebstagebuch der Talsperre

Spalte 4: Stauvolumen abhängig von der Stauhöhe;  
ermittelt aus der Stauinhaltslinie der Talsperre (s. Anhang A.5)

Spalte 5: Rohwasserentnahmemenge; entnommen aus dem Betriebstagebuch

Spalte 6: Abflusspegeldaten; umgerechnet auf 8:00 (s. Anhang A.3.1)

Spalte 7: Zufluss berechnet nach (in  $\text{m}^3/\text{d}$ )

$$\begin{aligned} \text{Zufluss}_{(n-1)} &= \text{Stauvolumen}_{(n)} - \text{Stauvolumen}_{(n-1)} \\ &+ \text{Rohwasserentnahme}_{(n-1)} + \text{Abfluss}_{(n-1)} \end{aligned}$$

Spalte 8: Zufluss in  $1/\text{s}$  umgerechnet

Spalte 9/10: Korrektur der Daten

Berechnete „negative“ Zuflüsse können durch Ableseungenaugkeiten in der Stauhöhe entstehen.

Eine Ungenauigkeit von 1 cm macht ein Volumen von etwa  $800 \text{ m}^3$  aus.

Dies entspricht rund 0,18 % des Gesamtvolumens und liegt innerhalb einer Toleranz (10 %).

Somit sind die berechneten „negativen“ Zuflüsse = 0 zu setzen.

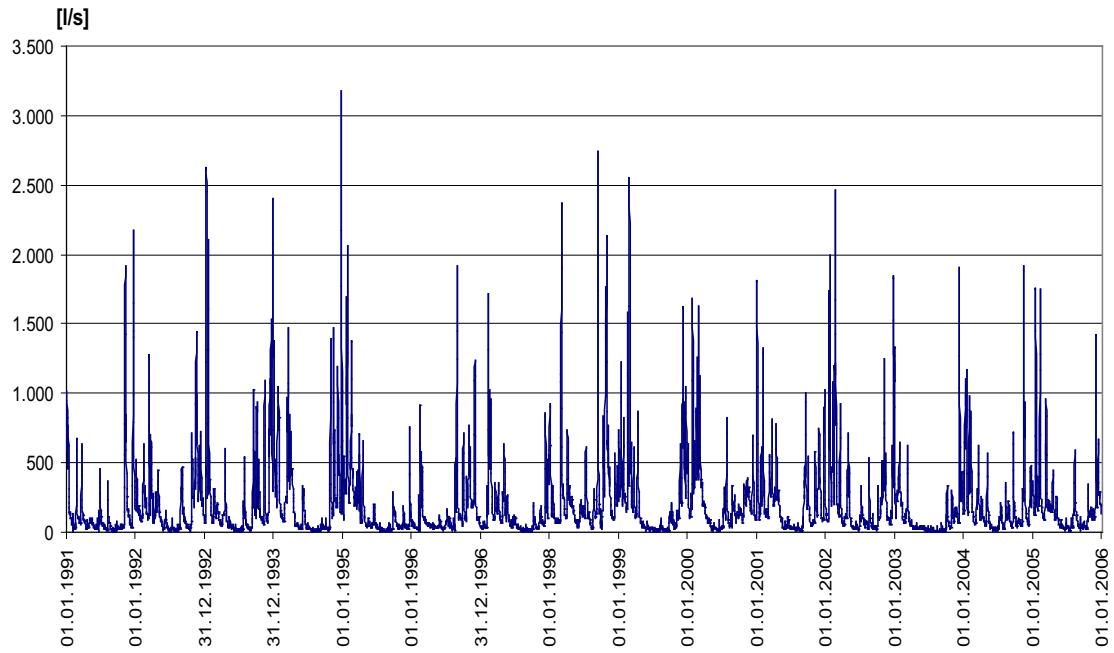
Datum	Stau-	Stau-	RW-	Abfluss	Zufluss		Zufluss	
	höhe	volumen	entnahme	[ $\text{m}^3/\text{d}$ ]	(berechnet)	(Korrektur)	[ $\text{m}^3/\text{d}$ ]	[ $1/\text{s}$ ]
	[m ü. NN]	[ $\text{m}^3$ ]						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01.01.1991	300,31	441.900	700	53.655	50.455	583,98	50.455	583,98
02.01.1991	300,26	438.000	700	52.130	69.630	805,90	69.630	805,90
03.01.1991	300,48	454.800	700	80.993	81.693	945,52	81.693	945,52
04.01.1991	300,48	454.800	760	86.434	87.194	1.009,19	87.194	1009,19
05.01.1991	300,48	454.800	760	70.468	71.228	824,40	71.228	824,40
06.01.1991	300,48	454.800	760	57.653	56.813	657,56	56.813	657,56
07.01.1991	300,46	453.200	760	45.173	45.133	522,37	45.133	522,37
08.01.1991	300,45	452.400	765	38.267	39.032	451,76	39.032	451,76
09.01.1991	300,45	452.400	765	41.856	43.421	502,56	43.421	502,56
10.01.1991	300,46	453.200	765	62.426	65.591	759,15	65.591	759,15
11.01.1991	300,49	455.600	765	71.028	66.193	766,12	66.193	766,12
12.01.1991	300,42	450.000	820	52.328	53.948	624,40	53.948	624,40
13.01.1991	300,43	450.800	820	39.598	40.418	467,80	40.418	467,80
14.01.1991	300,43	450.800	820	27.918	27.138	314,09	27.138	314,09
15.01.1991	300,41	449.200	735	20.119	22.454	259,88	22.454	259,88
16.01.1991	300,43	450.800	735	17.373	18.108	209,59	18.108	209,59

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Datum	Stau-	Stau-	RW-	Abfluss	Zufluss		Zufluss	
	höhe	volumen	entnahme	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	(berechnet)	[l/s]	[m <sup>3</sup> /d]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
17.01.1991	300,43	450.800	735	14.562	15.297	177,04	15.297	177,04
18.01.1991	300,43	450.800	735	12.571	12.506	144,75	12.506	144,75
19.01.1991	300,42	450.000	735	10.631	11.366	131,55	11.366	131,55
20.01.1991	300,42	450.000	735	9.760	10.495	121,47	10.495	121,47
21.01.1991	300,42	450.000	735	10.785	12.320	142,59	12.320	142,59
22.01.1991	300,43	450.800	739	11.160	11.899	137,72	11.899	137,72
23.01.1991	300,43	450.800	739	8.935	8.874	102,71	8.874	102,71
24.01.1991	300,42	450.000	739	7.795	8.534	98,77	8.534	98,77
25.01.1991	300,42	450.000	739	6.840	8.379	96,98	8.379	96,98
26.01.1991	300,43	450.800	849	7.618	8.467	98,00	8.467	98,00
27.01.1991	300,43	450.800	849	7.500	7.549	87,38	7.549	87,38
28.01.1991	300,42	450.000	849	6.829	8.478	98,13	8.478	98,13
29.01.1991	300,43	450.800	849	5.814	6.663	77,12	6.663	77,12
30.01.1991	300,43	450.800	849	5.080	5.129	59,36	5.129	59,36
31.01.1991	300,42	450.000	849	4.562	6.211	71,89	6.211	71,89
01.02.1991	300,43	450.800	849	4.008	4.057	46,96	4.057	46,96
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Die komplette Reihe der Jahre 1991-2005 liegt der CD bei

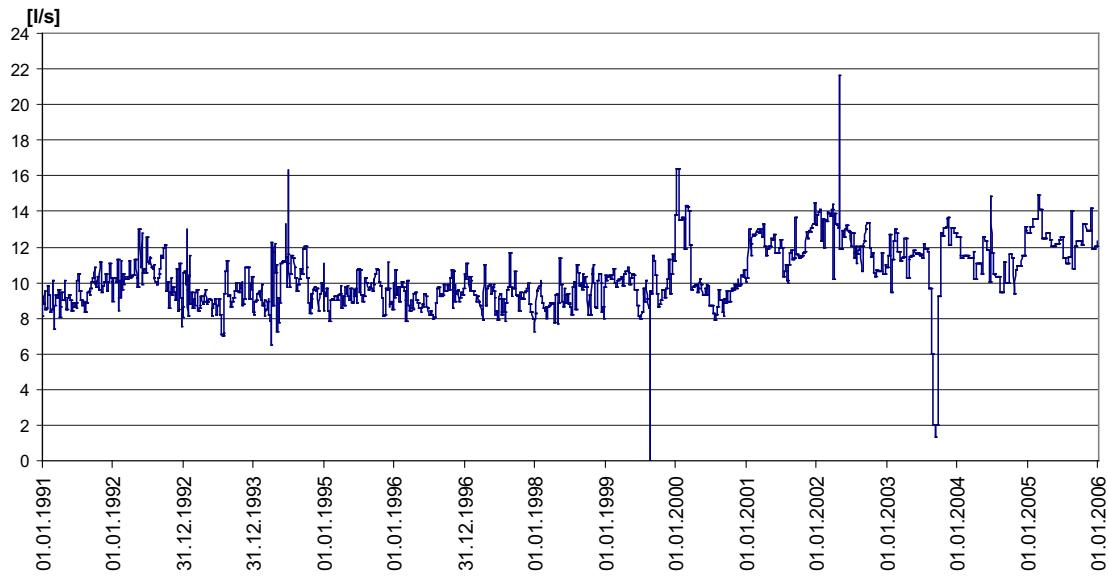
### A.1.2 Zufluss – Ganglinie



### A.1.3 Zufluss – Monatsmittelwerte

## A.2 Rohwasserentnahme an der Heilenbecke Talsperre

### A.2.1 Rohwasserentnahme – Ganglinie



## A.2.2 Rohwasserentnahme – Monatsmittelwerte

## A.3 Abfluss an der Heilenbecke Talsperre

### A.3.1 Umrechnung der Abflussdaten

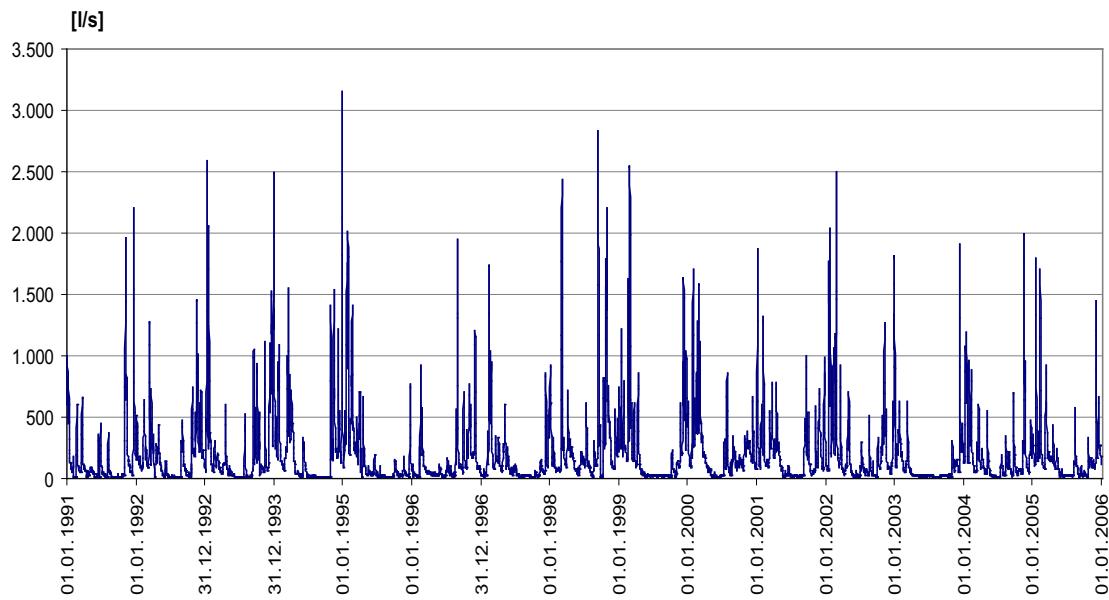
Umrechnung der Tagesmittelwerte unter Berücksichtigung des Ablesezeitpunktes der Stauhöhe:

$$\text{Abfluss}_{(n-1)} \text{ (8:00-8:00)} = \frac{16}{24} \cdot \text{Abfluss}_{(n-1)} + \frac{8}{24} \cdot \text{Abfluss}_{(n)}$$

Datum	Abfluss	Abfluss	Abfluss	Abfluss
	am Pegel [l/s]	(8:00 - 8:00) [l/s]	am Pegel [m <sup>3</sup> /d]	(8:00 - 8:00) [m <sup>3</sup> /d]
1	2	3	4	5
31.12.1990	990,48			
01.01.1991	696,81	621,01	60.205	53.655
02.01.1991	469,41	603,36	40.557	52.130
03.01.1991	871,25	937,42	75.276	80.993
04.01.1991	1.069,77	1.000,40	92.428	86.434
05.01.1991	861,65	815,60	74.447	70.468
06.01.1991	723,49	667,28	62.510	57.653
07.01.1991	554,85	522,84	47.939	45.173
08.01.1991	458,81	442,91	39.641	38.267
09.01.1991	411,11	484,45	35.520	41.856
10.01.1991	631,12	722,52	54.528	62.426
11.01.1991	905,33	822,09	78.220	71.028
12.01.1991	655,60	605,65	56.644	52.328
13.01.1991	505,74	458,31	43.696	39.598
14.01.1991	363,45	323,12	31.402	27.918
15.01.1991	242,46	232,86	20.948	20.119
16.01.1991	213,65	201,08	18.459	17.373
17.01.1991	175,94	168,54	15.201	14.562
18.01.1991	153,72	145,50	13.282	12.571
19.01.1991	129,06	123,04	11.151	10.631
20.01.1991	111,00	112,97	9.590	9.760
...	...	...	...	...

Die komplette Reihe der Jahre 1991-2005 liegt der CD bei

### A.3.2 Abfluss – Ganglinie



### A.3.3 Abfluss – Monatsmittelwerte

### A.3.4 Gewässerkundliches Jahrbuch

Abflüsse			Rheingebiet, Teil III												2005			
			Q															
			Gewässer: Heilenbecke															
			Gebiet : Ruhr															
			I/s															
Taggewerte	Tag	2004	2005	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez			
	1.	62,8	124	245	327	98,7	211	85,1	29,2	20,4	22,8	40,3	66,5	82,9	124			
	2.	36,7	112	359	398	96,8	189	75,6	24,0	19,4	19,7	33,5	52,3	127	143			
	3.	38,5	103	347	376	85,5	168	66,2	23,5	19,4	17,4	45,3	52,4	110	214			
	4.	45,4	92,0	286	347	85,6	153	114	24,1	21,5	28,5	27,1	31,8	123	967			
	5.	34,0	89,3	263	287	82,5	155	83,0	51,9	21,7	28,0	25,9	30,3	159	1670			
	6.	37,8	81,1	265	236	72,3	133	89,3	83,1	21,4	38,6	24,0	29,9	166	999			
	7.	54,4	87,4	203	195	71,5	156	137	50,7	21,1	116	18,5	32,2	167	639			
	8.	31,0	71,6	253	180	79,7	132	174	28,7	22,2	116	11,2	33,0	153	504			
	9.	38,9	66,3	210	155	106	155	223	24,0	147	19,4	32,7	138	327				
	10.	78,3	61,3	166	224	129	162	249	24,4	21,5	137	19,8	24,1	134	260			
	11.	58,0	71,8	149	834	247	162	235	27,2	23,3	111	22,2	25,0	114	218			
	12.	71,4	40,3	150	1778	630	182	218	24,4	19,4	119	22,8	23,1	107	193			
	13.	274	54,0	138	1563	591	187	192	22,8	27,5	107	19,1	19,4	99,4	168			
	14.	30,6	37,8	138	106	521	168	181	24,8	18,9	166	25,9	21,5	87,6	161			
	15.	246	57,3	104	547	455	149	150	17,4	18,9	569	31,6	19,0	97,3	167			
	16.	197	53,5	118	429	890	160	132	15,6	24,7	599	117	17,8	124	556			
	17.	219	105	100	298	987	143	112	16,2	21,4	373	63,8	18,7	130	742			
	18.	1481	154	295	241	609	105	91,3	23,7	20,2	222	45,0	17,6	156	511			
	19.	2421	204	540	221	425	202	81,6	22,2	18,4	192	34,0	17,8	146	322			
	20.	1119	222	947	202	283	351	77,8	22,5	23,2	171	34,2	17,0	129	287			
	21.	664	196	2120	176	238	465	76,5	22,3	19,4	136	27,9	18,2	116	245			
	22.	777	178	1162	166	207	379	68,3	21,4	19,2	113	25,6	18,1	97,4	271			
	23.	1062	314	643	145	165	289	55,9	24,0	20,8	105	28,0	7,0	87,9	278			
	24.	715	382	442	132	158	231	58,5	26,0	19,4	101	27,5	83,5	95,0	266			
	25.	492	489	299	122	176	180	52,3	26,7	19,4	108	21,9	245	114	268			
	26.	326	447	219	123	160	161	51,2	29,1	21,6	95,2	20,6	367	107	252			
	27.	243	329	189	106	137	163	32,0	25,9	19,5	82,6	19,6	275	88,2	244			
	28.	182	259	167	93,6	171	121	20,0	28,2	21,1	77,6	20,9	190	76,1	214			
	29.	146	182	146	184	117	14,4	27,5	24,9	61,1	19,4	139	77,8	189				
	30.	132	162	127	207	100	32,8	20,6	21,7	53,5	18,5	106	105	175				
	31.	183	183	177	231	43,5						94,3		176				
Hauptwerte	Tag	8.	14.	17.	28.	7.	30.	29.	16.	19.	3.	8.	20.	28.	1.			
	NQ	31.0	37,9	100	93,6	71,5	100	14,4	15,6	18,4	17,4	17,2	17,0	76,1	124			
	MQ	388	162	356	382	278	187	105	27,5	21,2	137	30,5	70,4	117	379			
	HQ	3272	835	2414	2381	1239	685	353	579	411	1304	319	915	800	1955			
	Tag	19.	25.	21.	12.	16.+	11.	11.	28.	29.	16.	14.+	26.	6.	5.			
	$h_N$ mm	132	57	126	122	98	64	37	9	7	48	10	25	40	134			
		1990/2004			1991/2005												15 Kalenderjahre	
	Jahr	1995	1995	1996	1991	1992	1995	1991	1991	1991	1991	1993	1994	1995	1995	1995		
	NQ	16,3	15,4	10,3	10,7	34,4	12,5	10,9	8,90	9,29	7,44	9,97	7,01	16,3	15,4	15,4		
	MNQ	72,7	67,5	62,2	87,9	74,2	47,9	20,7	17,1	20,7	15,3	20,9	23,5	71,8	69,1	69,1		
	MQ	291	364	386	328	289	164	81,3	47,7	60,0	71,7	116	139	277	351			
	MHQ	1669	1879	1824	1431	1323	670	448	348	665	848	898	909	1606	1855			
	HQ	3270	4200	3940	3540	3400	2020	1690	787	1630	2740	4060	2410	3270	4200			
	Jahr	2004	1994	1993	2002	1998	1999	1997	1994	1998	1996	1998	1998	1998	2004	1994		
	$Mh_N$ mm	99	125	136	106	101	56	29	16	21	25	40	49	94	124			
		Abflussjahr (*)			Kalenderjahr 2005												Unterschritten Abflüsse I/s	
	Jahr	2005	Datum	Winter	Sommer	Jahr	Datum	Unterschreitende Kalenderjahr 2005	Abflussjahr in Tagen	Abflussjahr 2005	Kalenderjahr 2005	Oberre. Mittlere Untere						
	NQ	14,4	am 29.05.2005	31,0	14,4	14,4	am 29.05.2005	364	2421	2120	3670	2419	1448					
	MQ	177		291	65,7	174		363	2178	3042	1947	1431						
	HQ	3272	am 19.11.2004	3272	1304	2414	am 21.01.2005	362	1778	2548	1672	1096						
	$Na$ l/s	1,89		4,08	1,89	1,89		363	1778	1670	1721	1496	979					
	$Mq$ l/s	23,4		38,3	8,66	22,9		361	1563	2101	2020	1391	953					
	$Hq$ l/s	431		431	172	318		360	1481	1162	1030	867	734					
	$h_N$ mm	736		599	138	721		359	1119	987	1779	1178	736					
								368	1119	987	1779	1178	736					
								357	1062	967	1687	1103	679					
								356	987	947	1607	1058	653					
								350	715	643	1138	819	457					
								330	521	511	848	615	340					
								320	329	298	575	419	244					
								300	265	245	416	310	179					
								270	190	169	302	212	198					
								240	161	162	241	156	70,7					
								210	132	137	186	117	39,1					
								183	101	113	152	88,9	23,5					
								150	71,5	85,6	119	63,0	21,3					
								130	52,3	66,5	104	51,1	20,4					
								120	40,3	52,3	100	45,8	19,2					
								110	34,9	43,9	93,6	39,9	18,6					

Wasserstände			Rheingebiet, Teil III											2005			
			W														
A <sub>eo</sub> : 7.59 km <sup>2</sup> PNP : NN+282.00 m Lage : 6.50 km oberhalb der Mündung links			Pegel : Heilenbecke_Ab Nr. 2768883000100 Gewässer: Heilenbecke Gebiet : Ruhr														
Tag	2004	2005	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1.	17	21	26	28	20	25	19	14	11	12	16	17	19	21	21	22	
2.	16	21	29	30	20	24	18	13	11	11	15	17	21	21	22	22	
3.	15	20	29	30	19	23	18	12	11	10	16	17	20	22	25	25	
4.	16	19	27	29	19	22	21	12	11	14	14	15	21	21	24	40	
5.	15	19	26	27	19	22	19	17	12	14	13	15	22	22	52	52	
6.	15	19	26	26	18	21	19	19	12	16	12	15	22	22	41	41	
7.	17	19	26	24	18	22	21	16	12	18	11	15	23	23	35	35	
8.	16	18	26	23	19	21	23	15	13	11	21	10	15	22	22	32	
9.	16	18	24	22	20	22	25	25	13	11	22	11	14	22	22	32	
10.	18	23	25	25	21	23	26	12	12	22	11	13	21	21	26	26	
11.	17	18	22	38	25	23	26	14	11	20	12	13	21	21	25	25	
12.	18	16	22	53	35	23	25	13	11	21	12	13	20	20	24	24	
13.	27	17	22	50	34	24	24	12	13	20	11	11	20	23	23	23	
14.	29	15	23	38	33	23	23	10	12	23	11	11	19	23	23	23	
15.	26	17	20	33	32	22	22	10	11	34	12	11	20	23	23	23	
16.	24	17	21	31	39	22	21	9	9	34	21	10	23	23	37	37	
17.	25	20	20	27	41	22	21	10	11	29	17	11	21	21	21	26	
18.	48	22	27	26	35	20	19	11	11	25	16	10	22	22	33	33	
19.	63	24	33	25	31	24	19	11	11	24	15	10	22	22	28	28	
20.	43	25	40	24	27	29	18	11	11	23	15	10	21	21	27	27	
21.	36	24	59	23	26	32	18	11	11	22	14	10	21	21	26	26	
22.	37	23	44	23	25	30	18	11	11	21	13	10	20	20	27	27	
23.	42	27	35	22	23	27	17	13	11	20	14	18	19	19	27	27	
24.	37	30	31	21	22	25	17	12	20	13	19	20	20	26	26	26	
25.	32	32	27	21	23	23	17	11	11	20	12	26	21	26	26	26	
26.	28	31	25	21	23	23	17	11	11	20	11	29	20	20	26	26	
27.	26	28	24	20	22	23	14	11	11	19	11	27	19	19	26	26	
28.	23	26	23	20	23	21	11	11	12	18	11	24	18	18	25	25	
29.	22	23	22	20	23	21	9	11	12	17	11	22	18	18	24	24	
30.	21	23	21	25	25	20	13	11	12	17	11	20	20	20	23	23	
31.	24	23	25	25	25	20	16	12	12	16	11	19	19	19	23	23	
Tag	8.+	14.	17.+	28.+	7.+	30.+	29.	16.	19.+	3.	8.	20.+	28.+	1.			
NW	15	15	20	20	18	20	9	9	10	10	10	10	18				
MNW	16	16	17	18	18	16	10	10	11	11	11	11	18				
MW	26	22	27	28	25	23	19	12	11	11	17	19	24				
HW	76	39	63	63	45	36	29	34	31	46	28	40	38				
Tag	19.	25.	21.	12.	16.+	11.	11.	28.	29.	16.	14.+	26.	6.	5.			
1995/2004			1996/2005											10 Kalenderjahre			
Jahr	1995	1995	1996	1996	1996	2003	2000	1996	2004	2003	2003	2003	1997	1996+			
NW	10	9	7	8	15	11	8	9	6	9	5	5	10	15			
MNW	16	16	17	18	18	16	10	10	10	10	11	11	17	18			
MW	24	25	25	27	25	21	17	13	15	15	17	19	24	26			
MHW	48	48	50	51	47	33	31	26	36	38	39	38	48	49			
HW	76	61	72	80	78	57	52	36	51	68	88	63	76	61			
Jahr	2004	2002	2002	1998	1999	1997	1998	1998	1996	1998	1998	1998	2004	2002			
			Abflussjahr (*)											Unterschrittene Wasserstände cm			
			Jahr	Datum	Winter	Sommer	Jahr	Datum	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Abfluss- jahr (*)	Kalender- jahr 2005	1995/2005	10 Kalenderjahre	Ober- Hüllkurve	Mittlere Werte	Untere Hüllkurve	
Hauptwerte			NW cm	9	am 29.05.2005	15	9	am 29.05.2005	364	63	59	76	62	54			
			MW cm	20	am 19.11.2004	76	46	63	363	59	53	69	54	48			
			HW cm	76					362	53	52	65	51	43			
			Dauertabelle														
			NW cm	5	am 14.10.2003	7	5	5 am 14.10.2003	183	20	21	22	21	15			
			MNW cm	8		13	8	8	180	19	21	21	17	12			
			MW cm	20		24	16	20	130	17	18	20	16	11			
			MHW cm	69		67	51	69	120	16	17	20	16	11			
			HW <sub>1</sub> cm	88	am 15.09.1998	80	88	am 15.09.1998	110	15	15	20	15	11			
			HW <sub>2</sub> cm	9					108	14	14	15	15	11			
			Extremwerte														
			Niedrigwasser			Hochwasser											
			cm	Datum	cm	Datum	cm	Datum	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			1	5	14.10.2003	88	88	15.09.1998	9	10	10	10	10	10	10	10	10
			2	7	09.01.1996	80	80	26.02.2002	8	10	10	10	10	10	10	10	10
			3	8	12.05.2000	78	78	07.03.1998	7	10	10	10	10	10	10	10	10
			4	8	03.08.2001	76	76	19.11.2004	6	10	10	10	10	10	10	10	10
			5	8	01.10.2005	75	75	07.11.1998	5	10	10	10	10	10	10	10	10
			6	9	29.05.2005	72	72	27.02.2002	4	10	10	10	10	10	10	10	10
			7	9	13.07.2004	72	72	03.03.1999	3	10	10	10	10	10	10	10	10
			8	9	25.08.1999	68	68	30.08.1996	2	10	10	10	10	10	10	10	10
			9	9	15.10.1997	66	66	06.01.2001	1	9	9	9	10	10	10	10	10
			10	9	12.06.1996	63	63	21.01.2005	0	9	9	9	10	8	5	5	5

(\*) Abflussjahr: 1.11. des Vorjahres bis 31.10. mittlere Werte der Dauertabelle: Mittel der Dauerlinien aller Einzeljahre

Niedrigwasser-Ereignisdefinition: mindestens 7 Tage < MW(1996/2005), aus allen unabhängigen Ereignissen

Grundmeßstelle des Landes (GL): Talsperrenablaufpegel

Reihe: Wasserstand, kontinuierlich, ZRFolge (freie); Reihe komplett lückenfrei im Zeitraum 1996/2005

Kein Eis

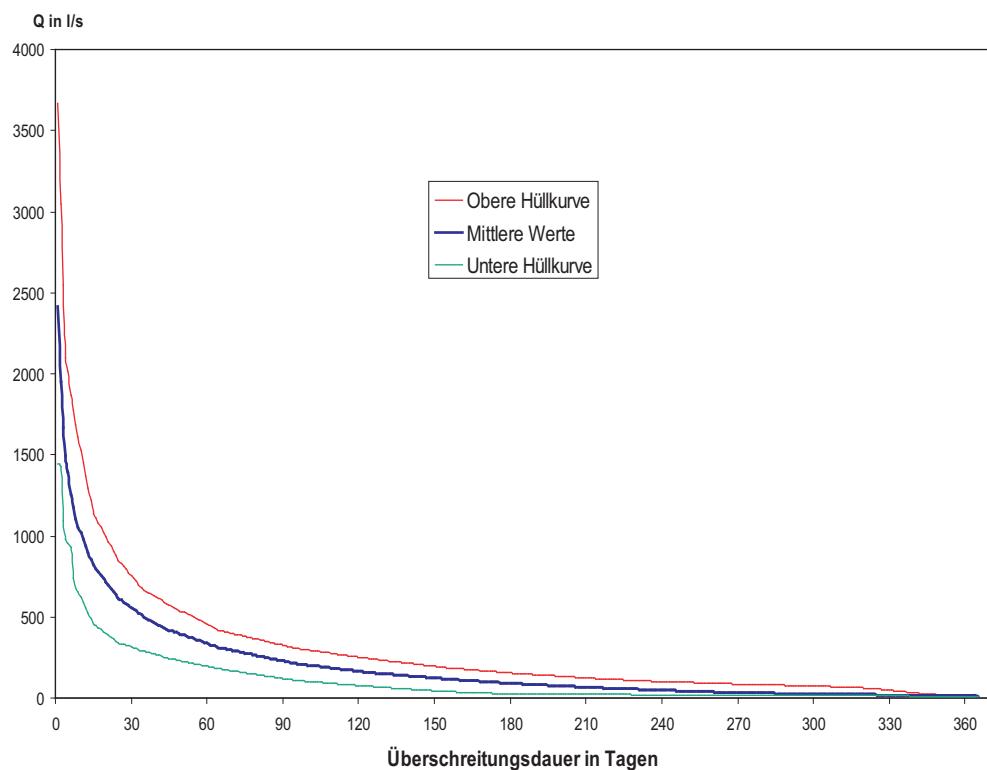
### A.3.5 Überschreitungsdauerwerte (1991-2005)

Dauer	Q								
[d]	[l/s]								
365	12,00	325	20,70	285	29,00	245	45,80	205	70,85
364	13,10	324	20,86	284	29,28	244	46,33	204	71,64
363	13,60	323	21,02	283	29,56	243	46,86	203	72,42
362	14,00	322	21,18	282	29,84	242	47,39	202	73,21
361	14,30	321	21,34	281	30,12	241	47,92	201	73,99
360	14,50	320	21,50	280	30,40	240	48,45	200	74,78
359	14,90	319	21,66	279	30,68	239	48,98	199	75,56
358	15,00	318	21,82	278	30,96	238	49,51	198	76,35
357	15,20	317	21,98	277	31,24	237	50,04	197	77,13
356	15,30	316	22,14	276	31,52	236	50,57	196	77,92
355	15,50	315	22,30	275	31,80	235	51,10	195	78,70
354	15,60	314	22,46	274	32,14	234	51,70	194	79,49
353	15,70	313	22,62	273	32,48	233	52,29	193	80,27
352	15,80	312	22,78	272	32,82	232	52,89	192	81,06
351	15,90	311	22,94	271	33,16	231	53,48	191	81,84
350	16,00	310	23,10	270	33,50	230	54,08	190	82,63
349	16,16	309	23,26	269	33,84	229	54,67	189	83,41
348	16,32	308	23,42	268	34,18	228	55,27	188	84,20
347	16,48	307	23,58	267	34,52	227	55,86	187	84,98
346	16,64	306	23,74	266	34,86	226	56,46	186	85,77
345	16,80	305	23,90	265	35,20	225	57,05	185	86,55
344	16,96	304	24,11	264	35,67	224	57,65	184	87,34
343	17,12	303	24,32	263	36,14	223	58,24	183	88,12
342	17,28	302	24,53	262	36,61	222	58,84	182	88,90
341	17,44	301	24,74	261	37,08	221	59,43	181	89,94
340	17,60	300	24,95	260	37,55	220	60,03	180	90,98
339	17,78	299	25,16	259	38,02	219	60,62	179	92,02
338	17,96	298	25,37	258	38,49	218	61,22	178	93,06
337	18,14	297	25,58	257	38,96	217	61,81	177	94,10
336	18,32	296	25,79	256	39,43	216	62,41	176	95,14
335	18,50	295	26,00	255	39,90	215	63,00	175	96,18
334	18,72	294	26,30	254	40,49	214	63,79	174	97,22
333	18,94	293	26,60	253	41,08	213	64,57	173	98,26
332	19,16	292	26,90	252	41,67	212	65,36	172	99,30
331	19,38	291	27,20	251	42,26	211	66,14	171	100,34
330	19,60	290	27,50	250	42,85	210	66,93	170	101,38
329	19,82	289	27,80	249	43,44	209	67,71	169	102,42
328	20,04	288	28,10	248	44,03	208	68,50	168	103,46
327	20,26	287	28,40	247	44,62	207	69,28	167	104,50
326	20,48	286	28,70	246	45,21	206	70,07	166	105,54

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

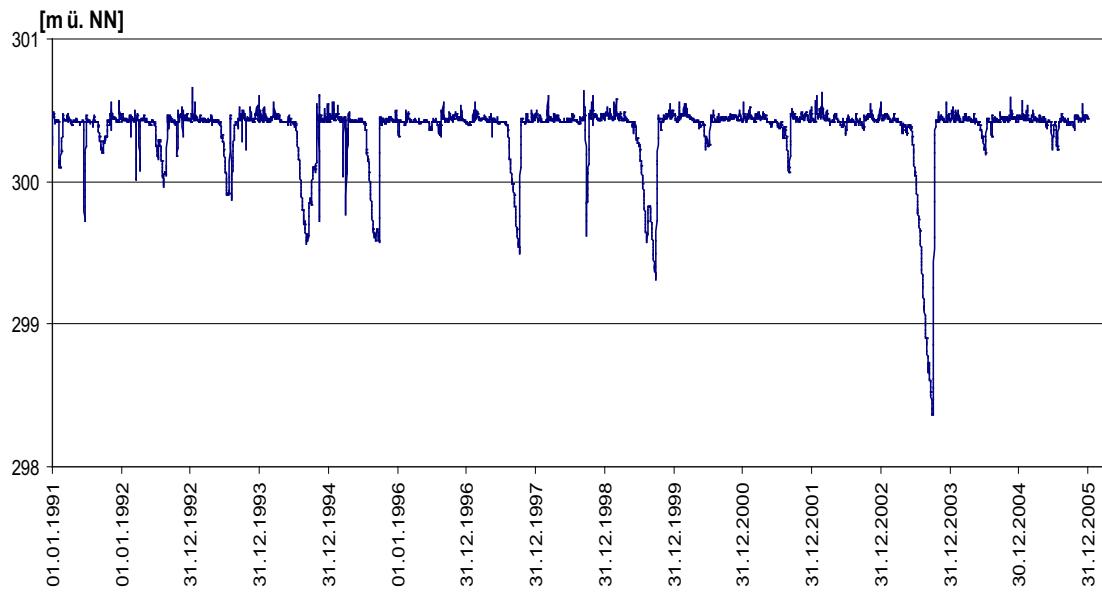
Dauer	Q								
[d]	[l/s]								
165	106,58	132	146,90	99	204,54	66	306,74	33	524,60
164	107,62	131	148,20	98	206,41	65	310,00	32	535,90
163	108,66	130	149,50	97	208,28	64	315,45	31	547,20
162	109,70	129	150,80	96	210,14	63	320,90	30	558,50
161	110,74	128	152,10	95	212,00	62	326,35	29	569,80
160	111,78	127	153,40	94	215,27	61	331,80	28	581,10
159	112,82	126	154,70	93	218,53	60	337,25	27	592,40
158	113,86	125	156,00	92	221,80	59	342,70	26	603,70
157	114,90	124	157,87	91	225,07	58	348,15	25	615,00
156	115,94	123	159,73	90	228,34	57	353,60	24	635,40
155	117,00	122	161,60	89	231,60	56	359,05	23	655,80
154	118,30	121	163,47	88	234,87	55	364,50	22	676,20
153	119,60	120	165,34	87	238,14	54	369,95	21	696,60
152	120,90	119	167,20	86	241,40	53	375,40	20	717,00
151	122,20	118	169,07	85	244,67	52	380,85	19	737,40
150	123,50	117	170,94	84	247,94	51	386,30	18	757,80
149	124,80	116	172,80	83	251,20	50	391,75	17	778,20
148	126,10	115	174,67	82	254,47	49	397,20	16	798,60
147	127,40	114	176,54	81	257,74	48	402,65	15	819,00
146	128,70	113	178,40	80	261,01	47	408,10	14	858,83
145	130,00	112	180,27	79	264,27	46	413,55	13	898,66
144	131,30	111	182,14	78	267,54	45	419,00	12	938,49
143	132,60	110	184,01	77	270,81	44	427,30	11	978,32
142	133,90	109	185,87	76	274,07	43	435,60	10	1018,15
141	135,20	108	187,74	75	277,34	42	443,90	9	1058,00
140	136,50	107	189,61	74	280,61	41	452,20	8	1103,00
139	137,80	106	191,47	73	283,87	40	460,50	7	1178,00
138	139,10	105	193,34	72	287,14	39	468,80	6	1254,00
137	140,40	104	195,21	71	290,41	38	477,10	5	1391,00
136	141,70	103	197,07	70	293,68	37	485,40	4	1496,00
135	143,00	102	198,94	69	296,94	36	493,70	3	1672,00
134	144,30	101	200,81	68	300,21	35	502,00	2	1947,00
133	145,60	100	202,68	67	303,48	34	513,30	1	2419,00

### A.3.6 Überschreitungsdauerlinie (1991-2005)



#### A.4 Stauhöhen an der Heilenbecke Talsperre

#### A.4.1 Stauhöhenganglinie (1991-2005)



#### A.4.2 Stauhöhen – Monatsmittelwerte

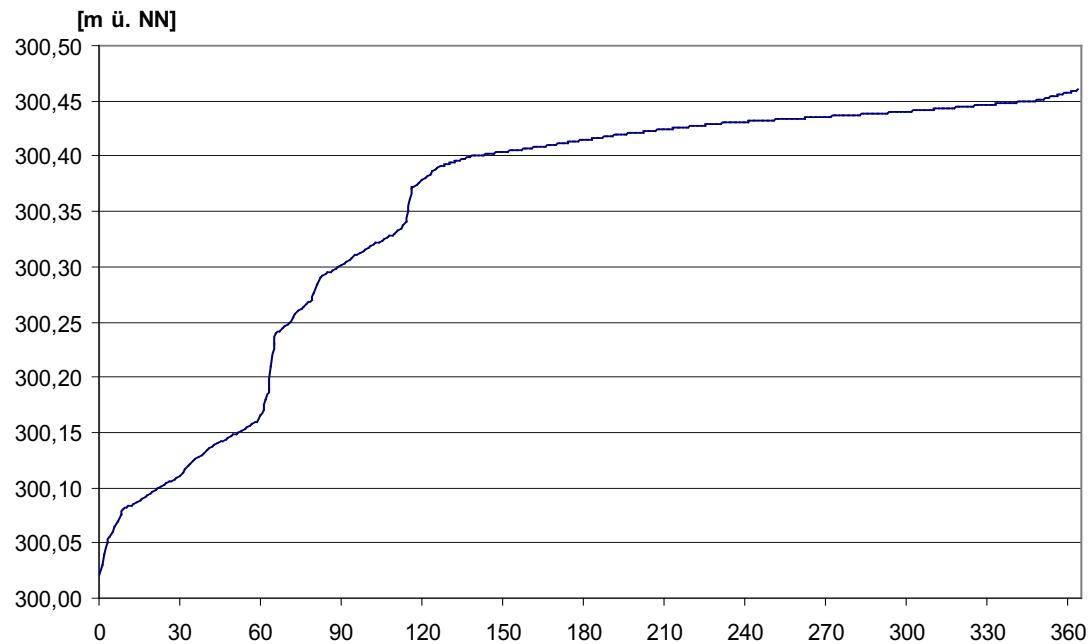
### A.4.3 Stauhöhendauerwerte (1991-2005)

Dauer	Stauhöhe								
[d]	[mü.NN]								
0	300,020	40	300,133	80	300,277	120	300,378	160	300,407
1	300,030	41	300,135	81	300,283	121	300,380	161	300,407
2	300,040	42	300,137	82	300,290	122	300,382	162	300,408
3	300,050	43	300,138	83	300,291	123	300,384	163	300,408
4	300,055	44	300,140	84	300,293	124	300,386	164	300,409
5	300,060	45	300,141	85	300,294	125	300,388	165	300,409
6	300,065	46	300,143	86	300,296	126	300,390	166	300,409
7	300,070	47	300,144	87	300,297	127	300,391	167	300,410
8	300,075	48	300,145	88	300,299	128	300,392	168	300,410
9	300,080	49	300,146	89	300,300	129	300,392	169	300,410
10	300,081	50	300,148	90	300,302	130	300,393	170	300,411
11	300,083	51	300,149	91	300,303	131	300,394	171	300,411
12	300,084	52	300,150	92	300,305	132	300,395	172	300,411
13	300,086	53	300,151	93	300,307	133	300,395	173	300,412
14	300,087	54	300,153	94	300,308	134	300,396	174	300,412
15	300,089	55	300,154	95	300,310	135	300,397	175	300,413
16	300,090	56	300,156	96	300,311	136	300,398	176	300,413
17	300,092	57	300,157	97	300,313	137	300,398	177	300,413
18	300,093	58	300,159	98	300,314	138	300,399	178	300,414
19	300,095	59	300,160	99	300,316	139	300,400	179	300,414
20	300,097	60	300,165	100	300,317	140	300,400	180	300,414
21	300,098	61	300,170	101	300,319	141	300,401	181	300,415
22	300,100	62	300,180	102	300,320	142	300,401	182	300,415
23	300,101	63	300,190	103	300,321	143	300,401	183	300,416
24	300,103	64	300,210	104	300,323	144	300,402	184	300,416
25	300,104	65	300,230	105	300,324	145	300,402	185	300,416
26	300,105	66	300,240	106	300,325	146	300,402	186	300,417
27	300,106	67	300,242	107	300,326	147	300,403	187	300,417
28	300,108	68	300,244	108	300,328	148	300,403	188	300,417
29	300,109	69	300,246	109	300,329	149	300,403	189	300,418
30	300,110	70	300,248	110	300,330	150	300,404	190	300,418
31	300,113	71	300,250	111	300,333	151	300,404	191	300,419
32	300,117	72	300,253	112	300,335	152	300,404	192	300,419
33	300,120	73	300,257	113	300,338	153	300,405	193	300,419
34	300,122	74	300,260	114	300,340	154	300,405	194	300,420
35	300,124	75	300,262	115	300,350	155	300,405	195	300,420
36	300,126	76	300,264	116	300,370	156	300,406	196	300,420
37	300,128	77	300,266	117	300,372	157	300,406	197	300,421
38	300,130	78	300,268	118	300,374	158	300,406	198	300,421
39	300,132	79	300,270	119	300,376	159	300,407	199	300,421

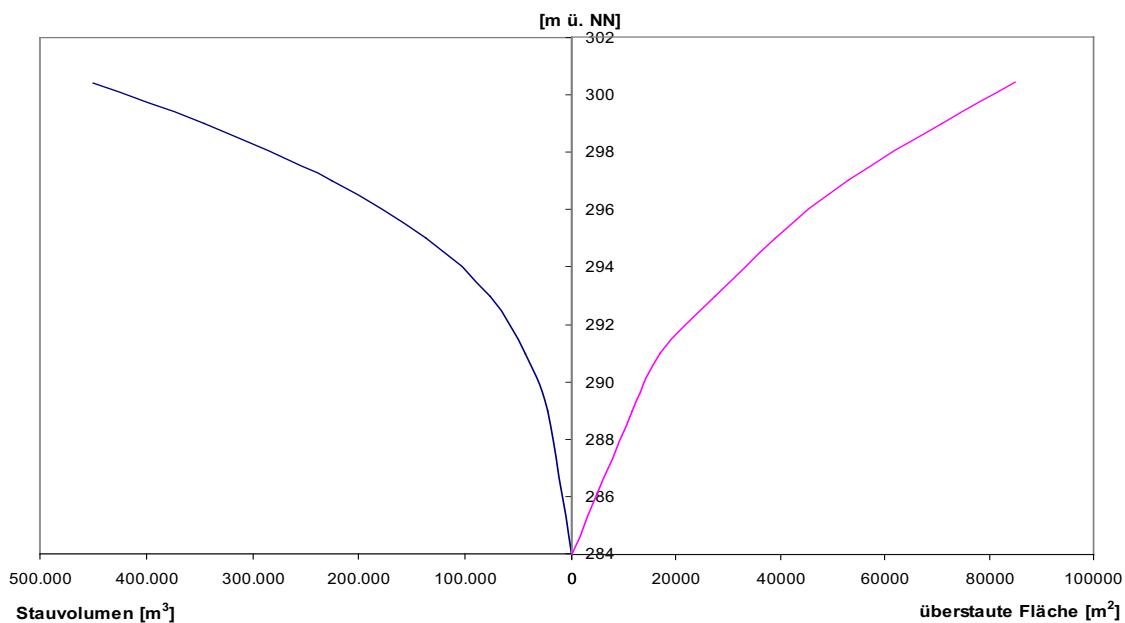
Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite

Dauer	Stauhöhe								
[d]	[mü.NN]								
200	300,421	233	300,430	266	300,435	299	300,440	332	300,447
201	300,422	234	300,430	267	300,435	300	300,440	333	300,447
202	300,422	235	300,430	268	300,435	301	300,441	334	300,447
203	300,422	236	300,431	269	300,436	302	300,441	335	300,447
204	300,422	237	300,431	270	300,436	303	300,441	336	300,448
205	300,423	238	300,431	271	300,436	304	300,441	337	300,448
206	300,423	239	300,431	272	300,436	305	300,441	338	300,448
207	300,423	240	300,431	273	300,436	306	300,442	339	300,448
208	300,424	241	300,431	274	300,436	307	300,442	340	300,448
209	300,424	242	300,432	275	300,436	308	300,442	341	300,449
210	300,424	243	300,432	276	300,437	309	300,442	342	300,449
211	300,424	244	300,432	277	300,437	310	300,442	343	300,449
212	300,425	245	300,432	278	300,437	311	300,443	344	300,449
213	300,425	246	300,432	279	300,437	312	300,443	345	300,449
214	300,425	247	300,432	280	300,437	313	300,443	346	300,450
215	300,425	248	300,432	281	300,437	314	300,443	347	300,450
216	300,426	249	300,433	282	300,438	315	300,443	348	300,450
217	300,426	250	300,433	283	300,438	316	300,444	349	300,451
218	300,426	251	300,433	284	300,438	317	300,444	350	300,451
219	300,426	252	300,433	285	300,438	318	300,444	351	300,452
220	300,427	253	300,433	286	300,438	319	300,444	352	300,453
221	300,427	254	300,433	287	300,438	320	300,444	353	300,453
222	300,427	255	300,433	288	300,438	321	300,445	354	300,454
223	300,428	256	300,434	289	300,439	322	300,445	355	300,454
224	300,428	257	300,434	290	300,439	323	300,445	356	300,455
225	300,428	258	300,434	291	300,439	324	300,445	357	300,456
226	300,428	259	300,434	292	300,439	325	300,445	358	300,456
227	300,429	260	300,434	293	300,439	326	300,446	359	300,457
228	300,429	261	300,434	294	300,439	327	300,446	360	300,458
229	300,429	262	300,435	295	300,439	328	300,446	361	300,458
230	300,429	263	300,435	296	300,440	329	300,446	362	300,459
231	300,430	264	300,435	297	300,440	330	300,446	363	300,459
232	300,430	265	300,435	298	300,440	331	300,447	364	300,460

#### A.4.4 Stauhöhendauerlinie (1991-2005)



#### A.5 Speicherkennlinie



Höhe	[m ü. NN]	284,00	289,00	291,00	293,00	295,00	297,00	299,00	300,42
Inhalt	[m³]	0	22.000	44.000	76.000	137.000	225.000	346.000	450.000
Fläche	[m²]	0	11.500	17.000	27.500	39.000	53.000	71.000	85.000

## B Vorplanerische Berechnungen

## B.1 Durchströmturbine

### B.1.1 Angebot der Firma WKV



**Wasserkraft Volk AG  
Turbinenfabrik  
und Ingenieurbüro**

Wasserkraft Volk AG · Am Stollen 13 · D-79261 Gutach/Brsg.

Frau  
Daniela Henning  
Kleffweg 20  
  
58313 Herdecke

Ihre Zeichen  
Your reference

Ihre Nachricht vom  
Your report

Unsere Zeichen  
Our reference

**Ausgezeichnet mit dem Deutschen Solarpreis 2003**

Am Stollen 13  
D-79261 Gutach/Brsg.  
Tel.: +49 (0) 76 85 - 91 06-0  
Fax: +49 (0) 76 85 - 91 06-10  
E-Mail: [mail@wkv-ag.com](mailto:mail@wkv-ag.com)  
Internet: [www.wkv-ag.com](http://www.wkv-ag.com)

Ø Josef Hiery  
Tel./Fax (0 91 31) 5 27 08  
e-mail: [Josef.Hiry@t-online.de](mailto:Josef.Hiry@t-online.de)  
Ø Wasserbeschaffungsverband  
Ennepetal-Milspe  
Voerder Straße 9, 58256 Ennepetal  
Datum  
Date

24.08.2006

Hi/Vo/fr

25.08.2006/ Hi

**Richtpreisangebot 4386 Rev. I für Turbinenanlage an der  
Heilenbecke - Talsperre**

Sehr geehrte Frau Henning,

für Ihre Diplomarbeit über die Turbinenanlage an der Heilenbecke – Talsperre haben wir Ihnen gerne das folgende Richtangebot erarbeitet. Eine Kopie des Angebots haben wir an den Wasserbeschaffungsverband weitergeleitet.

Entsprechend Ihren Angaben haben wir die Turbine für eine Netto- Fallhöhe von 16,1 m und eine Wassermenge von 230 l/s ausgelegt. Dabei beträgt die abgegebene Leistung ca. 28,6 kW<sub>el</sub>. Die best geeignete Turbine für diese Aufgabenstellung ist eine WKV Durchströmturbine in zweizelliger Ausführung. Diese Turbine kann den gesamten Durchflussbereich von 100 % bis herunter zu etwa 17% mit einem Wirkungsgrad von über 80 % verarbeiten.

Bei einer höheren Netto- Fallhöhe von 16,6 m beträgt die abgegebene Leistung ca. 28,6 kW. Da sich an der Maschinen- Konzeption hierdurch kein Änderungen ergeben, bleibt der Preis gleich.

Bei einer Netto Fallhöhe von 16,1 m und einer Wassermenge von 200 l/s ergibt sich eine Abgabeleistung von ca. 24,2 kW<sub>el</sub>. Bei einer Netto- Fallhöhe von 16,6 m und einer Wassermenge von 200 l/s ergibt sich eine Abgabeleistung von 24,9 kW<sub>el</sub>.

Auch für die 200 l/s Varianten ergeben sich keine Preisänderungen, da jeweils ein 30 kW Generator und die entsprechende Schalt- und Kompensationsanlage vorgesehen wird.

Für den Betrieb der Anlage im „Schwallbetrieb-Modus“ kann optional eine SPS Steuerung vorgesehen werden. Der Mehrpreis hierfür beträgt ca. EUR 5.000,00.

Unser Angebot im einzelnen:

Volksbank Freiburg BLZ 680 900 00 Kto. 20 325 801	Landesbank Baden-Württemberg BLZ 600 501 01 Kto. 4 040 592	Sparkasse Freiburg BLZ 680 501 01 Kto. 12 297 100	Bankhaus Mayer, Freiburg BLZ 680 300 00 Kto. 1 399 977
---	--	---	--

Vorstand:  
Josef Haas, Technik (Vorsitzender)  
Thomas Bub, Finanzen  
Vors. d. Aufsichtsrates: Manfred Volk  
Handelsregister:  
Emmendingen HRB 379 W  
USt.-Ident-Nr. DE 200314668

2  
30.08.2006  
Frau Daniela Henning, Kleffweg 20, 58313 Herdecke



**WKV-Durchströmturbinenanlage für**

$H_{\text{Netto}}$	=	16,1	m
$Q$	=	230	l/sec
$P_{\text{Turb}}$	=	30,1	kW
$n_{\text{Gen}}$	=	610	UpM
$P_{\text{Gen}}$	=	27,8	kW
Durchgangsdrehzahl: 2fach			

Bei einer Fallhöhe von 16,1 Metern garantieren wir folgende Werte (vorläufige Richtwerte):

Wassermenge (l/sec)	Turb.Wirk.Gr. (%)	Turb.Leistung (kW)	Gen.Wirk.Gr. (%) (ca.)	Einsp.Leist. (kW)
230	83,0	30,1	92,2	27,8
184	84,0	24,4	92,4	22,5
138	83,0	18,1	92,3	16,7
92	83,0	12,1	90,3	10,9
46	81,0	5,9	87,4	5,1
39	80,0	4,9	ca. 85,5	4,2

**Hinweis:** Die Turbine ist direkt mit dem Generator gekuppelt.

**Bestehend aus:**

### Pos. 1 Turbine

- **WKV-Durchströmturbine** zweizellig
  - \* Typ TD 27
  - \* seitlich abnehmbare Lagerträger aus Gußeisen
  - \* Pendelrollenlager
  - \* Laufrad mit Spezialprofilschaufeln
  - \* gußeiserne Regelklappen
  - \* Regelwellen aus rostfreiem Stahl
  - \* komplett mit Saugrohr und Zulauftrichter, mit Vorschweißflansch DN 300, PN 10, DIN 2672
  - \* Zulauf horizontal
  - \* Läuferdurchmesser: 270 mm
  - \* Wellendurchmesser: 60 mm
  - \* Turbinenwälzlager für eine **rechnerische Lebensdauer größer 100.000 Stunden**

3  
30.08.2006  
Frau Daniela Henning, Kleffweg 20, 58313 Herdecke



- \* Korrosionsschutz:
  - Turbine und Stahlteile sandgestrahlt nach SA 2.5
  - Innen: dreifach Innertol Poxitar 2 Komponenten- Bitumen mit einer Schichtdicke von 300  $\mu$
  - Außen: Spezialgrundierung EG-Phosphat, danach Icosit EG 1 und Decklack RAL 1004 goldgelb mit einer Gesamtschichtdicke von 240  $\mu$
- 1 Satz **Schrauben und Dichtungen** für Flanschverbindungen am Einlauf sowie Saugrohr
- **Vorschweißflansch** DN 300 PN 10 zum Anschweißen an das Druckrohrende im Krafthaus
- **Manometer** 0 – 25 m Wassersäule, Durchmesser 100 mm komplett mit Manometerhahn, Leitungen und Zubehör sowie Wandhalter
- **WKV-Asynchronregler**  
Wasserstandsregler, Elektrostellantriebe an Turbine angebaut, automatisches Abschalten bei Netzausfall, Wiederzuschalten bei Netzrückkehr.  
Die Antriebe sind speziell für den Einsatz unter extremen Umweltbedingungen entwickelt und **völlig wartungsfrei**.

## Pos. 2 Generator

- **Drehstromasynchron-Wasserkraftgenerator**
  - \* 30 kW, 610 UpM, 400 V, 50 Hz
  - \* Bauform IMB3
  - \* Schutzart IP 54
  - \* Isoklasse F
  - \* mit **erhöhtem Wirkungsgrad**
  - \* mit nachschmierbaren Lagern, ausgelegt für eine **rechnerische Lebensdauer größer 100.000 Betriebsstunden**
  - \* mit angebautem Drehzahlgeber
- **Grundrahmen** zum Generator, inkl. Schrauben und Befestigungsmaterial.
- **Elastische Kupplung** zwischen Turbine und Generator inkl. Kupplungsschutz.

4  
30.08.2006  
Frau Daniela Henning, Kleffweg 20, 58313 Herdecke



### Pos. 3 Schaltanlage

- **WKV-Schaltanlage** für den vollautomatischen Netzparallelbetrieb mit dem öffentlichen Netz, gemäß den Vorschriften des EVUs, im Wesentlichen mit
  - \* NH-Sicherungstrenner
  - \* Leistungsschütz mit Überstromauslösung
  - \* Kompensationskondensator für  $\cos \phi = 0,95$
  - \* Sicherungen für Kompensationskondensator
  - \* Kondensatorschütz
  - \* Sicherungen für Kondensator
  - \* Energiemultimeter mit Anzeige von
    - Phasenspannungen
    - Phasenströmen
    - Leistung
    - $\cos \phi$
    - kWh
  - \* Asymmetrieschutz
  - \* Über-/ Unterfrequenzschutz
  - \* Über-/ Unterspannungsschutz
  - \* Rückleistungsschutz
  - \* Schlüsselschalter "Generator Ein" für Notbetrieb
  - \* Störmeldetableau mit Anzeige von:
    - Überstrom
    - Rückleistung
    - Über-/ Unterspannung
    - Asymmetrie
    - Über-/ Unterfrequenz
    - Störung Stellantrieb
  - \* Sammelstörmeldung auf potentialfreie Kontakte
  - \* **PID Präzisionswasserstandsregler mit Vorrangsteuerung eingebaut**

### Pos. 4

- Sämtliches **Montagematerial**
- **Einbau- und Fundamentpläne**
- **Betriebsanleitung** 2fach

**Richtpreis:**

**EUR 56.000,00 + MwSt. ab Werk**

5  
30.08.2006  
Frau Daniela Henning, Kleffweg 20, 58313 Herdecke



Gestatten Sie uns an dieser Stelle den Hinweis auf die besonderen **Vorteile der WKV-Durchströmturbine:**

- Massive gußeiserne Regelklappen anstatt einer Blechkonstruktion.
- Regulierwellen aus rostfreiem Stahl anstatt normalem Baustahl (dadurch kann die Klappe nie festrosten).
- Starke Wellenkonstruktion.
- Wellenabdichtung mittels Stopfbüchsen. Die Stopfbüchse läuft auf einer Einsatzgehärteten austauschbaren Laufbüchse aus rostfreiem Stahl, nicht, wie sonst üblich, direkt auf der Welle. Dadurch wird verhindert, daß die Welle an der Stopfbüchse einläuft und dort u. U. bricht.
- Stabile, äußerst robuste Lagerung mit Rollenlagern im Messingkäfig.
- Einfacher Zugang zum Putzen des Laufrades durch leicht abschraubbaren Putzdeckel.
- Ausgereiftes solides Schaufelprofil.
- Absolut robustes und verwindungsstarkes Gehäuse.

**Außerdem gibt nur WKV eine Garantie von 5 Jahren auf die Turbine.**

#### MONTAGE

- **Lieferung** von Pos. 1 - 3 **frei Baustelle** durch Speditionssammeltransport
- **Leitmontage der Turbine** in das gemäß unseren Plänen vorbereitete Krafthaus durch einen WKV Monteur zusammen mit Ihrem Personal
- **Inbetriebnahme und Einweisung**
- **Bauseits:**
  - \* Gestellung eines Maurers inklusive Material zum Anfertigen der Maschinenfundamente gemäß Anweisung unserer Monteure
  - \* Gestellung von Hilfs- und Fachkräften
  - \* Komplette elektrische Verkabelung gemäß Plänen, inkl. Kabellieferung

**Pauschal-Richtpreis**

**EUR 4.800,00 + MwSt. ab Werk**

6  
30.08.2006  
Frau Daniela Henning, Kleffweg 20, 58313 Herdecke



### **Kommerzielle Bedingungen**

**Lieferzeit:** 4 - 6 Monate

**Zahlung:**  
30 % bei Auftragserteilung,  
30 % nach halber Lieferzeit,  
35 % bei Versandbereitschaft,  
5 % nach Inbetriebnahme, jedoch spätestens  
drei Monate nach Lieferung.

**Gewährleistungsfrist:** Turbine 5 Jahre  
Rest 1 Jahr

**Materialpreise:** Das Angebot wurde auf der Basis der Materialpreise am Tage der Angebotslegung kalkuliert. Sollten am Tage der Auftragserteilung die Materialpreise um mehr als 8% abweichen, so behalten wir uns eine Preisangleichung vor.

**Unfallverhütungsvorschrift:** Der Käufer ist verantwortlich für die Sicherung der Anlage (oder einzelnen Bauelementen) gegenüber unbeabsichtigtem Berühren (Gemäß Unfallverhütungsvorschrift UVV).

Wir liefern ausschließlich zu den allgemeinen Bedingungen für Lieferung von Maschinen für Inlandsgeschäfte (VDMA) mit jeweils neuester Gültigkeit.

Gerichtsstand für beide Seiten ist Freiburg im Breisgau.

Wir hoffen, daß Ihnen das vorliegende Angebot zusagt. Sollten Sie irgendwelche Fragen zum Angebot haben oder eine weitergehende Beratung wünschen, stehen wir selbstverständlich jederzeit zu Ihrer Verfügung. Bitte sprechen Sie uns an wenn Sie mit der exakten Planung beginnen, so daß wir exakt kalkulieren können.

Wir würden uns freuen, demnächst wieder von Ihnen zu hören.

Mit freundlichen Grüßen

W K V  
WASSERKRAFT VOLK AG

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Manfred Volk'.  
M. Volk  
Vorsitzender des Aufsichtsrates

### B.1.2 Berechnung der Bruttofallhöhe

$$H_B = \text{OW} - \text{UW}$$

$$\text{OW} = \text{Stauhöhe (Mittelwert)} = 300,36 \text{ m ü. NN}$$

$$\text{UW} = \text{Höhe Tosbecken}$$

$$\text{Tosbecken} = 282,80 \text{ m ü. NN}$$

$$\text{Pegel/Bachsohle} = 282,70 \text{ m ü. NN}$$

(Werte sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen)

Wasserstände: (Werte sind dem gewässerkundlichen Jahrbuch 2005 entnommen)

$$\text{MNW} = 8 \text{ cm}$$

$$\text{MHW} = 69 \text{ cm}$$

$$\text{Mittelwert} = 38,5 \text{ cm}$$

$$\text{Höhe Tosbecken} = \text{Tosbecken} + \text{Wasserstand (Mittelwert)}$$

$$= 282,80 \text{ m ü. NN} + 0,385 \text{ m}$$

$$= 283,19 \text{ m ü. NN}$$

$$H_B = \text{OW} - \text{UW}$$

$$= 300,36 \text{ m ü. NN} - 283,19 \text{ m ü. NN}$$

$$= 17,17 \text{ m}$$

### B.1.3 Variante I – Berechnung der Verlusthöhe und Nettofallhöhe

**Ermittlung der kontinuierlichen Reibungsverluste  $h_{v,R}$**

$$h_{v,R} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{nach Darcy-Weisbach})$$

alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\begin{aligned}
 h_{v,R} &= h_{v,R,1} + h_{v,R,2} + h_{v,R,3} \\
 &= 0,162 \text{ m} + 0,132 \text{ m} + 0,275 \text{ m} \\
 &= 0,569 \text{ m}
 \end{aligned}$$

1) Abschnitt: Einlauf Grundablass bis Ringkolbenventil bzw. Abzweig Rohrleitung

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_1 = 19,50 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_1 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,53 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,35 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 452.792,8 = 4,53 \cdot 10^5$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei  $9^\circ\text{C}$  Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in 10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)

$$= 1,50 \text{ mm}$$

$$k/D = \text{relative Rauheit}$$

$$= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00375 = 3,75 \cdot 10^{-3}$$

mit Re und k/D in Diagramm auf Seite 134

$$\text{Abgelesen:} \quad \lambda_1 = 0,028$$

$$\text{Probe (rauer Bereich):} \quad 1/\sqrt{\lambda_1} = 1,14 - 2 \lg (k/D)$$

$$= 5,992$$

$$\lambda_1 = 0,028$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad h_{v,R,1} &= \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \\ &= 0,028 \cdot \frac{19,5 \cdot 1,53^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81} \\ &= 0,162 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Abschnitt: Zwischenstück im Schieberhaus

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_2 = 3,50 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_2 = 0,30 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{0,071 \text{ m}^2} = 2,72 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{2,72 \text{ m/s} \cdot 0,30 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 603.723,7 = 6,04 \cdot 10^5$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei 9°C Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in 10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)

$$= 1,50 \text{ mm}$$

$$k/D = \text{relative Rauheit}$$

$$= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,3000 \text{ m}} = 0,0050 = 5,00 \cdot 10^{-3}$$

mit Re und k/D in Diagramm auf Seite 134

$$\text{Abgelesen:} \quad \lambda_2 = 0,030$$

$$\text{Probe (rauer Bereich):} \quad 1/\sqrt{\lambda_2} = 1,14 - 2 \lg (k/D)$$

$$= 5,74$$

$$\lambda_2 = 0,030$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad h_{v,R,2} &= \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \\ &= 0,030 \cdot \frac{3,5 \cdot 2,72^2}{0,30 \cdot 2 \cdot 9,81} \\ &= 0,132 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Abschnitt: Schieberhaus bis Turbine

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_3 = 33,00 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_3 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_3 = \frac{Q}{A_3} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,53 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,53 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 452.792,8 = 4,53 \cdot 10^5$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei  $9^\circ\text{C}$  Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in

10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$k$  = absolute Rauheit

(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)

$$= 1,50 \text{ mm}$$

$k/D$  = relative Rauheit

$$= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00375 = 3,75 \cdot 10^{-3}$$

mit Re und  $k/D$  in Diagramm auf Seite 134

$$\text{Abgelesen:} \quad \lambda_3 = 0,028$$

$$\text{Probe (rauer Bereich):} \quad 1/\sqrt{\lambda_3} = 1,14 - 2 \lg (k/D)$$

$$= 5,99$$

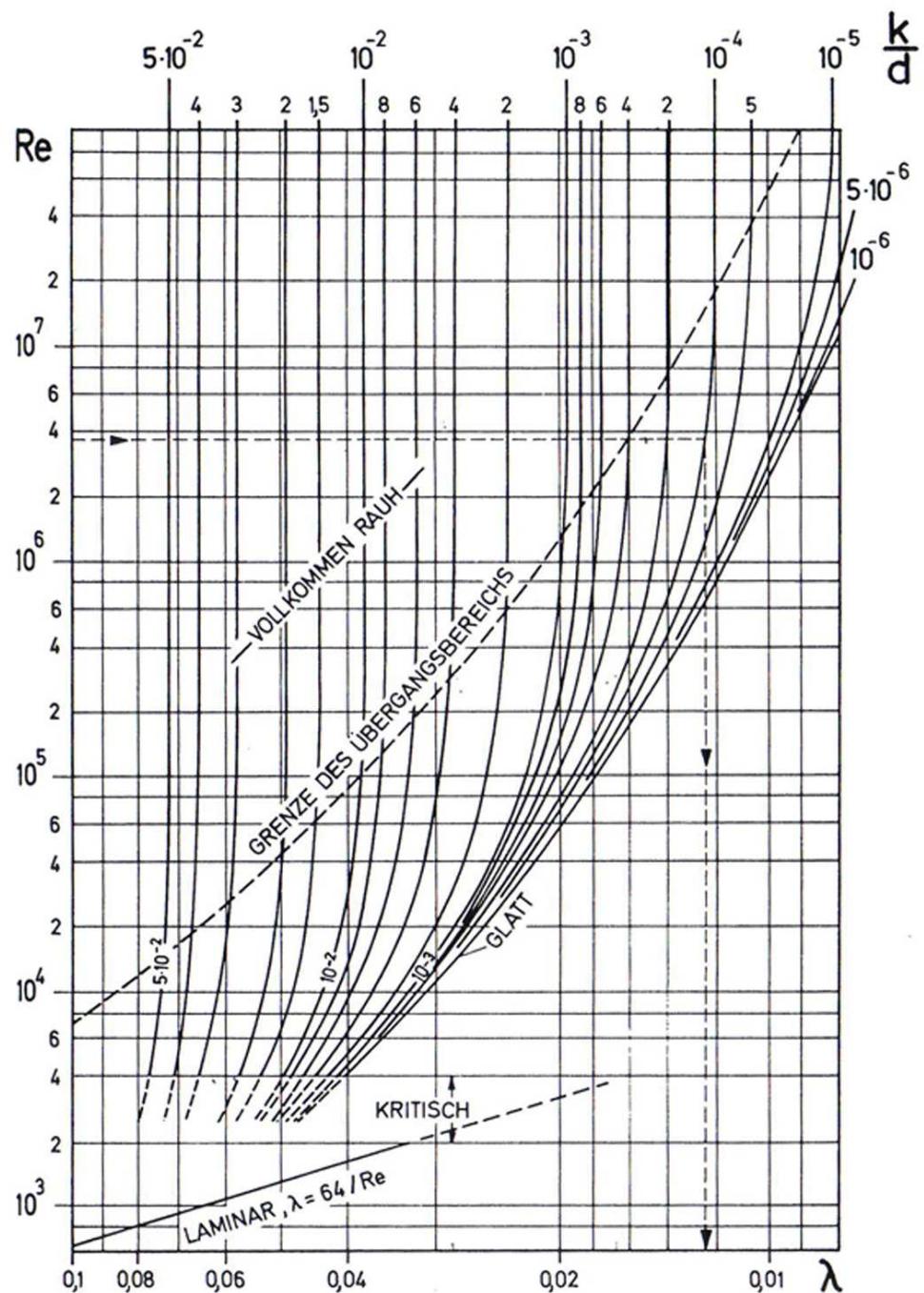
$$\lambda_3 = 0,028$$

$$\longrightarrow \quad h_{v,R,3} = \lambda_3 \cdot \frac{L_3}{D_3} \cdot \frac{v_3^2}{2g}$$

$$= 0,028 \cdot \frac{33,00 \cdot 1,53^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,275 \text{ m}$$

Widerstandsbeiwerte  $\lambda$  (aus SCHNEIDER Bautabellen für Ingenieure, 14. Aufklage)



### Ermittlung der örtlichen Reibungsverluste $h_{v,O}$

$$h_{v,O} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\boxed{\begin{aligned} h_{v,O} &= h_{v,O,a} + h_{v,O,c} + h_{v,O,d} + h_{v,O,e} \\ &= 0,095 \text{ m} + 0,314 \text{ m} + 0,006 \text{ m} + 0,139 \text{ m} \\ &= 0,555 \text{ m} \end{aligned}}$$

a) Einlauf (siehe dazu Seite 138)

dünnwandiges Rohr, aus einer senkrechten Wand herausragend

$$\zeta = 0,6 - 1,0$$

wähle:  $\zeta_a = 0,8$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad h_{v,O,a} &= \zeta_a \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,8 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\ &= 0,095 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Rechen (siehe dazu Seite 138)

$$\text{Stabdicke} \quad d = 12 \text{ mm}$$

$$\text{lichte Stabweite} \quad a = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Rechenneigung} \quad \alpha = 60^\circ$$

$$\text{Projektionsfläche} \quad A' = 2,80 \times 2,20 \text{ m}$$

$$\perp \text{ zur Ström.richtung} \quad = 6,16 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Fließgeschwindigkeit} \quad v &= \frac{Q}{A'} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{6,160 \text{ m}^2} \\ &= 0,031 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Formbeiwert} \quad \delta = 2,42$$

$$\begin{aligned} \text{Verlustbeiwert} \quad \zeta_b &= 2,42 \cdot \left(\frac{12}{100}\right)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ \\ &= 0,124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad h_{v,O,b} &= \zeta_b \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,124 \cdot \frac{0,031^2}{2 \cdot 9,81} \\ &= 0,000006139 \text{ m} \end{aligned}$$

(vernachlässigbar)

c) Richtungsänderung / Verzweigung

I) Kreisrohr-Krümmer: DN 300 (siehe dazu Seite 138)

• im Schieberhaus, Umlenkung Zwischenstück

$$\text{Umlenkwinkel} \quad \alpha = 90^\circ$$

$$\text{wähle schlechten Wert mit} \quad \frac{r}{D} = 2$$

$$\zeta_{c,I} = 0,14$$

$$\begin{aligned}
 h_{v,O,cI} &= \zeta_{c,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,14 \cdot \frac{2,72^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,053 \text{ m}
 \end{aligned}$$

II) Kreisrohr-Kniestück: DN 400 (siehe dazu Seite 138)

- vorhanden, im weiteren Verlauf, Unterführung der Schussrinne

$$\begin{array}{lll}
 \text{Umlenkwinkel 2x} & \alpha = 5^\circ & \zeta_{II,1} = 0,044 \\
 \text{Umlenkwinkel} & \alpha = 15^\circ & \zeta_{II,2} = 0,062 \\
 \text{Umlenkwinkel} & \alpha = 13^\circ & \zeta_{II,3} = 0,055 \\
 \hline
 & & \zeta_{c,II} = 0,161
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 h_{v,O,cII} &= \zeta_{c,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,161 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,019 \text{ m}
 \end{aligned}$$

III) Verzweigung (siehe dazu Seite 139)

- neu, Schieberhaus, Übergang von GA zum Zwischenstück

$$\begin{array}{lll}
 \text{Umlenkwinkel} & \alpha = 90^\circ & \zeta_{III,1} = 1,28 \\
 \text{(da } d \approx d_a, Q_a/Q=1 \text{ und scharfkantige Verzweigung)} & & 
 \end{array}$$

- neu, Abzweig von DN 400 zur Turbine

$$\begin{array}{lll}
 \text{Umlenkwinkel} & \alpha = 60^\circ & \zeta_{III,2} = 0,75 \\
 \text{(Interpolation)} & & \\
 \hline
 & & \zeta_{c,III} = 2,03
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 h_{v,O,cIII} &= \zeta_{c,III} \cdot \frac{v^2}{2g} = 2,03 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,242 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,O,c} &= h_{v,O,cI} + h_{v,O,cII} + h_{v,O,cIII} \\
 &= 0,053 \text{ m} + 0,019 \text{ m} + 0,242 \text{ m} \\
 &= 0,314 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d) Querschnittsänderung

- vorhanden, konische Erweiterung im Schieberhaus, DN 300→DN 400

$$\begin{array}{lll}
 \alpha & \approx 23^\circ & > 8^\circ \\
 & & < 30^\circ
 \end{array}$$

nach BOLLRICH(2000):  $c \approx \sin \alpha = \sin 23^\circ = 0,39$

oder

$$\begin{aligned}
 c &= c \cdot \tan(\alpha/2) \cdot (\tan(\alpha/2))^{1/4} \\
 &= 0,437
 \end{aligned}$$

Verlustbeiwert

$$\zeta_d = c \cdot \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

$$= 0,437 \cdot \left(1 - \frac{0,40}{0,30}\right)^2$$

$$= 0,049$$

→

$$h_{v,O,d} = \zeta_d \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,049 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

e) Armaturen (siehe dazu Seite 139)

- Wasserseite in der Staumauer:

Absperrklappe	$\zeta = 0,30$	(im geöffneten Zustand; Angabe der Herstellerfirma VAG)
---------------	----------------	---

Schieber	$\zeta = 0,12$	(Schieber schließt nur im Notfall; kann als offen angesehen werden)
----------	----------------	---

- neu, vor der Turbine:

Absperrklappe	$\zeta = 0,75$	(wähle schlechtesten Wert; laut Schneider Bautabellen)
---------------	----------------	--

---


$$\zeta_e = 1,17$$

→

$$h_{v,O,e} = \zeta_e \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,17 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,139 \text{ m}$$

### Ermittlung der Nettofallhöhe $H_N$

$$\text{Nettofallhöhe } H_N = H_B - h_v$$

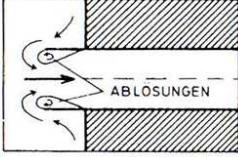
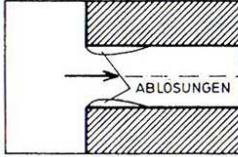
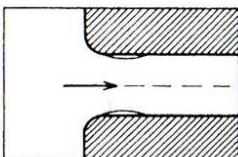
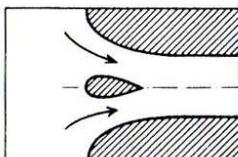
$$\text{Bruttofallhöhe } H_B = 17,17 \text{ m} \quad (\text{s. unter B.1.2})$$

$$\begin{aligned} \text{Verlusthöhe } h_v &= h_{v,R} + h_{v,O} \\ &= 0,569 \text{ m} + 0,555 \text{ m} \\ &= 1,124 \text{ m} \end{aligned}$$

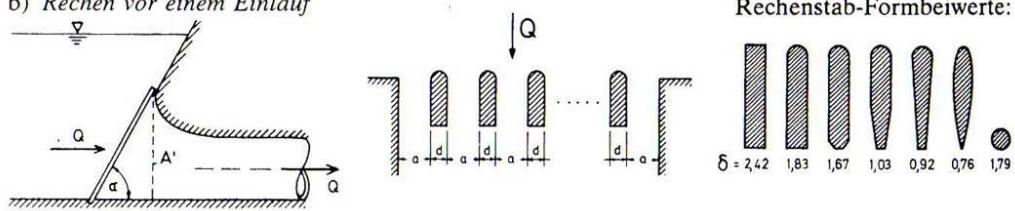
$$\begin{aligned} \text{Nettofallhöhe } H_N &= 17,17 \text{ m} - 1,12 \text{ m} \\ &= \mathbf{16,05 \text{ m}} \end{aligned}$$

Verlustbeiwerte  $\zeta$  (aus SCHNEIDER Bautabellen für Ingenieure, 14. Auflage)

## a) Einlauf aus einem Becken in ein Rohr

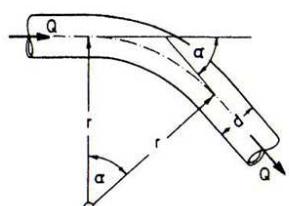
	
Dünnwandiges Rohr, aus einer senkrechten Wand herausragend: $\zeta = 0,60$ bis $1,00$	Nicht erweiterter Einlauf mit rechtwinkligen Kanten: $\zeta \approx 0,50$
	
Nicht erweiterter Einlauf mit geringer Kanten-ausrundung: $\zeta \approx 0,25$	Gut ausgebildete Einlauftrumpete mit stark ausgerundeten Kanten, ggf. mit günstig geformtem Zwischenpfeiler: $\zeta = 0,06$ bis $0,10$

## b) Rechen vor einem Einlauf



$$\zeta = \delta \cdot \left( \frac{d}{a} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha$$

Als Fließgeschwindigkeit ist in diesem Fall einzusetzen:  $v = Q/A'$

d) Richtungsänderung<sup>1)</sup>  
(ohne Reibungsverluste)

$r$  Krümmungsradius  
der Rohrachse

Durchschnittliche Verlustbeiwerte  $\zeta$  für glatte Kreisrohr-Krümmungen:

$\frac{r}{d}$	Umlenkwinkel $\alpha$					
	$15^\circ$	$22,5^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
2	0,030	0,045	0,060	0,090	0,120	0,140
3	0,030	0,045	0,055	0,080	0,100	0,130
5	0,030	0,045	0,050	0,070	0,080	0,110
10	0,030	0,045	0,050	0,070	0,070	0,110

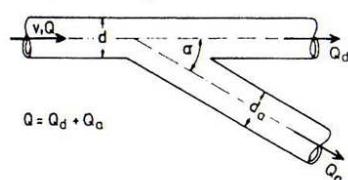
Bei rauher Wandung siehe [13.13]

Durchschnittliche Verlustbeiwerte  $\zeta$  für Kreisrohr-Kniestücke:

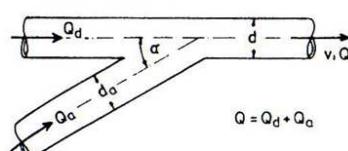
Wan-dung	Umlenkwinkel $\alpha$						
	$10^\circ$	$15^\circ$	$22,5^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
glatt	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
rauh	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

## e) Verzweigung

Stromtrennung:



Stromvereinigung:

Stromtrennung für Kreisrohre bei einer Kantenausrundung von  $0,1 d_a$  unter hydraulisch günstigsten Verhältnissen:

$\alpha$	90°	60°	45°	$\zeta_a$	
$Q_a/Q = 0,3$					
$d_a/d$	1 0,76	0,61 0,59	0,58 0,35		
$Q_a/Q = 0,5$				$\zeta_a$	
$d_a/d$	1 0,74	0,79 0,54	0,75 0,32		
$Q_a/Q = 0,7$					
$d_a/d$	1 0,88	1 0,52	1 0,30		

Verlustbeiwerte für scharfkantige Kreisrohr-Verzweigungen mit Durchmessern  $d = d_a$ :

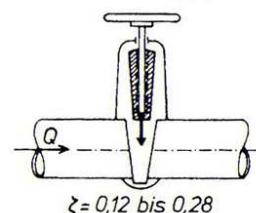
$\frac{Q_a}{Q}$	Stromtrennung – Verzweigungswinkel $\alpha$				Stromvereinigung – Verzweigungswinkel $\alpha$			
	90°		45°		90°		45°	
	$\zeta_a$	$\zeta_d$	$\zeta_a$	$\zeta_d$	$\zeta_a$	$\zeta_d$	$\zeta_a$	$\zeta_d$
0	0,95	0,04	0,90	0,04	-1,20	0,04	-0,92	0,04
0,2	0,88	-0,08	0,68	-0,06	-0,40	0,17	-0,38	0,17
0,4	0,89	-0,05	0,50	-0,04	0,08	0,30	0	0,19
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07	0,47	0,41	0,22	0,09
0,8	1,10	0,21	0,35	0,20	0,72	0,51	0,37	-0,17
1	1,28	0,35	0,48	0,33	0,91	0,60	0,37	-0,54

## g) Armaturen (Verschlußorgane)

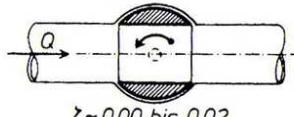
Verschlüsse von Großrohrleitungen (voll geöffnet):

Kegelstrahlschieber:  $\zeta = 0,4$  bis 0,6

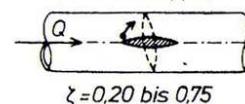
## Flachschieber:



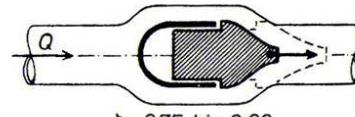
## Kugelhahn (Kugelventil, Kugelschieber):



## Absperrklappe (Drosselklappe):



## Ringventil (Ringschieber):



### B.1.4 Variante I – Jahresenergieerzeugung

$$\text{Ausbauwassermenge - Turbine} \quad Q_a = 230 \text{ l/s}$$

$$\text{Mindestwassermenge - Turbine} \quad 17\% Q_a = 39 \text{ l/s}$$

$$\text{Bruttofallhöhe} \quad H_B = 17,17 \text{ m}$$

$$\text{Nettofallhöhe} \quad H_N = 16,05 \text{ m}$$

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
365	12,00	-	-	-	-	-	-	-
364	13,10	-	-	-	-	-	-	-
363	13,60	-	-	-	-	-	-	-
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
259	38,02	-	-	-	-	-	-	-
258	38,49	-	-	-	-	-	-	-
257	38,96	-	-	-	-	-	-	-
256	39,43	39,43	6,21	0,171	0,803	0,693	4,30	103,17
255	39,90	39,90	6,28	0,173	0,804	0,693	4,35	104,49
254	40,49	40,49	6,37	0,176	0,804	0,694	4,42	106,15
253	41,08	41,08	6,47	0,179	0,804	0,695	4,49	107,81
252	41,67	41,67	6,56	0,181	0,805	0,695	4,56	109,47
251	42,26	42,26	6,65	0,184	0,805	0,696	4,63	111,13
250	42,85	42,85	6,75	0,186	0,805	0,697	4,70	112,80
249	43,44	43,44	6,84	0,189	0,806	0,697	4,77	114,47
248	44,03	44,03	6,93	0,191	0,806	0,698	4,84	116,14
247	44,62	44,62	7,02	0,194	0,806	0,699	4,91	117,81
246	45,21	45,21	7,12	0,197	0,807	0,700	4,98	119,49
245	45,80	45,80	7,21	0,199	0,807	0,700	5,05	121,17
244	46,33	46,33	7,29	0,201	0,807	0,701	5,11	122,68
243	46,86	46,86	7,38	0,204	0,808	0,702	5,17	124,19
242	47,39	47,39	7,46	0,206	0,808	0,702	5,24	125,71
241	47,92	47,92	7,54	0,208	0,808	0,703	5,30	127,22
240	48,45	48,45	7,63	0,211	0,809	0,703	5,36	128,74
239	48,98	48,98	7,71	0,213	0,809	0,704	5,43	130,26
238	49,51	49,51	7,79	0,215	0,809	0,705	5,49	131,79
237	50,04	50,04	7,88	0,218	0,810	0,705	5,55	133,31
236	50,57	50,57	7,96	0,220	0,810	0,706	5,62	134,84
235	51,10	51,10	8,04	0,222	0,810	0,706	5,68	136,37
234	51,70	51,70	8,14	0,225	0,810	0,707	5,75	138,08
233	52,29	52,29	8,23	0,227	0,811	0,708	5,83	139,81
232	52,89	52,89	8,32	0,230	0,811	0,708	5,90	141,53
231	53,48	53,48	8,42	0,233	0,811	0,709	5,97	143,25
230	54,08	54,08	8,51	0,235	0,812	0,710	6,04	144,98
229	54,67	54,67	8,61	0,238	0,812	0,710	6,11	146,71
228	55,27	55,27	8,70	0,240	0,812	0,711	6,19	148,44
227	55,86	55,86	8,79	0,243	0,813	0,712	6,26	150,18
226	56,46	56,46	8,89	0,245	0,813	0,712	6,33	151,92

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
225	57,05	57,05	8,98	0,248	0,813	0,713	6,40	153,65
224	57,65	57,65	9,07	0,251	0,814	0,714	6,47	155,40
223	58,24	58,24	9,17	0,253	0,814	0,714	6,55	157,14
222	58,84	58,84	9,26	0,256	0,814	0,715	6,62	158,88
221	59,43	59,43	9,35	0,258	0,814	0,715	6,69	160,63
220	60,03	60,03	9,45	0,261	0,815	0,716	6,77	162,38
219	60,62	60,62	9,54	0,264	0,815	0,717	6,84	164,13
218	61,22	61,22	9,64	0,266	0,815	0,717	6,91	165,89
217	61,81	61,81	9,73	0,269	0,816	0,718	6,99	167,64
216	62,41	62,41	9,82	0,271	0,816	0,719	7,06	169,40
215	63,00	63,00	9,92	0,274	0,816	0,719	7,13	171,16
214	63,79	63,79	10,04	0,277	0,817	0,720	7,23	173,49
213	64,57	64,57	10,16	0,281	0,817	0,721	7,33	175,81
212	65,36	65,36	10,29	0,284	0,817	0,722	7,42	178,15
211	66,14	66,14	10,41	0,288	0,818	0,722	7,52	180,48
210	66,93	66,93	10,53	0,291	0,818	0,723	7,62	182,82
209	67,71	67,71	10,66	0,294	0,818	0,724	7,72	185,16
208	68,50	68,50	10,78	0,298	0,819	0,725	7,81	187,51
207	69,28	69,28	10,91	0,301	0,819	0,725	7,91	189,85
206	70,07	70,07	11,03	0,305	0,819	0,726	8,01	192,20
205	70,85	70,85	11,15	0,308	0,820	0,727	8,11	194,56
204	71,64	71,64	11,28	0,311	0,820	0,728	8,20	196,91
203	72,42	72,42	11,40	0,315	0,820	0,728	8,30	199,27
202	73,21	73,21	11,52	0,318	0,821	0,729	8,40	201,64
201	73,99	73,99	11,65	0,322	0,821	0,730	8,50	204,00
200	74,78	74,78	11,77	0,325	0,821	0,731	8,60	206,37
199	75,56	75,56	11,89	0,329	0,822	0,731	8,70	208,74
198	76,35	76,35	12,02	0,332	0,822	0,732	8,80	211,11
197	77,13	77,13	12,14	0,335	0,822	0,733	8,90	213,49
196	77,92	77,92	12,26	0,339	0,822	0,733	8,99	215,87
195	78,70	78,70	12,39	0,342	0,823	0,734	9,09	218,25
194	79,49	79,49	12,51	0,346	0,823	0,735	9,19	220,63
193	80,27	80,27	12,64	0,349	0,823	0,735	9,29	223,02
192	81,06	81,06	12,76	0,352	0,824	0,736	9,39	225,40
191	81,84	81,84	12,88	0,356	0,824	0,737	9,49	227,79
190	82,63	82,63	13,01	0,359	0,824	0,737	9,59	230,19
189	83,41	83,41	13,13	0,363	0,824	0,738	9,69	232,58
188	84,20	84,20	13,25	0,366	0,825	0,739	9,79	234,98
187	84,98	84,98	13,38	0,369	0,825	0,739	9,89	237,38
186	85,77	85,77	13,50	0,373	0,825	0,740	9,99	239,78
185	86,55	86,55	13,62	0,376	0,826	0,741	10,09	242,18
184	87,34	87,34	13,75	0,380	0,826	0,741	10,19	244,59
183	88,12	88,12	13,87	0,383	0,826	0,742	10,29	246,99
182	88,90	88,90	13,99	0,387	0,826	0,743	10,39	249,39
181	89,94	89,94	14,16	0,391	0,827	0,743	10,52	252,58
180	90,98	90,98	14,32	0,396	0,827	0,744	10,66	255,78
179	92,02	92,02	14,48	0,400	0,827	0,745	10,79	258,98
178	93,06	93,06	14,65	0,405	0,828	0,746	10,92	262,18

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite . . .

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
177	94,10	94,10	14,81	0,409	0,828	0,747	11,06	265,38
176	95,14	95,14	14,98	0,414	0,828	0,747	11,19	268,59
175	96,18	96,18	15,14	0,418	0,828	0,748	11,33	271,80
174	97,22	97,22	15,30	0,423	0,829	0,749	11,46	275,02
173	98,26	98,26	15,47	0,427	0,829	0,750	11,59	278,23
172	99,30	99,30	15,63	0,432	0,829	0,750	11,73	281,45
171	100,34	100,34	15,79	0,436	0,830	0,751	11,86	284,67
170	101,38	101,38	15,96	0,441	0,830	0,752	12,00	287,89
169	102,42	102,42	16,12	0,445	0,830	0,752	12,13	291,11
168	103,46	103,46	16,29	0,450	0,830	0,753	12,26	294,34
167	104,50	104,50	16,45	0,454	0,831	0,754	12,40	297,56
166	105,54	105,54	16,61	0,459	0,831	0,754	12,53	300,79
165	106,58	106,58	16,78	0,463	0,831	0,755	12,67	304,02
164	107,62	107,62	16,94	0,468	0,831	0,756	12,80	307,25
163	108,66	108,66	17,10	0,472	0,831	0,756	12,94	310,48
162	109,70	109,70	17,27	0,477	0,832	0,757	13,07	313,71
161	110,74	110,74	17,43	0,481	0,832	0,758	13,21	316,95
160	111,78	111,78	17,60	0,486	0,832	0,758	13,34	320,18
159	112,82	112,82	17,76	0,491	0,832	0,759	13,48	323,41
158	113,86	113,86	17,92	0,495	0,833	0,759	13,61	326,65
157	114,90	114,90	18,09	0,500	0,833	0,760	13,75	329,89
156	115,94	115,94	18,25	0,504	0,833	0,761	13,88	333,12
155	117,00	117,00	18,42	0,509	0,833	0,761	14,02	336,42
154	118,30	118,30	18,62	0,514	0,833	0,762	14,19	340,47
153	119,60	119,60	18,83	0,520	0,833	0,762	14,35	344,51
152	120,90	120,90	19,03	0,526	0,834	0,763	14,52	348,56
151	122,20	122,20	19,24	0,531	0,834	0,764	14,69	352,60
150	123,50	123,50	19,44	0,537	0,834	0,764	14,86	356,64
149	124,80	124,80	19,64	0,543	0,834	0,765	15,03	360,69
148	126,10	126,10	19,85	0,548	0,834	0,766	15,20	364,73
147	127,40	127,40	20,05	0,554	0,835	0,766	15,37	368,77
146	128,70	128,70	20,26	0,560	0,835	0,767	15,53	372,80
145	130,00	130,00	20,46	0,565	0,835	0,767	15,70	376,84
144	131,30	131,30	20,67	0,571	0,835	0,768	15,87	380,87
143	132,60	132,60	20,87	0,577	0,835	0,768	16,04	384,91
142	133,90	133,90	21,08	0,582	0,835	0,769	16,21	388,94
141	135,20	135,20	21,28	0,588	0,835	0,769	16,37	392,96
140	136,50	136,50	21,49	0,593	0,836	0,770	16,54	396,99
139	137,80	137,80	21,69	0,599	0,836	0,770	16,71	401,01
138	139,10	139,10	21,90	0,605	0,836	0,771	16,88	405,02
137	140,40	140,40	22,10	0,610	0,836	0,771	17,04	409,04
136	141,70	141,70	22,31	0,616	0,836	0,772	17,21	413,04
135	143,00	143,00	22,51	0,622	0,836	0,772	17,38	417,05
134	144,30	144,30	22,71	0,627	0,836	0,772	17,54	421,05
133	145,60	145,60	22,92	0,633	0,836	0,773	17,71	425,05
132	146,90	146,90	23,12	0,639	0,836	0,773	17,88	429,04
131	148,20	148,20	23,33	0,644	0,836	0,773	18,04	433,02
130	149,50	149,50	23,53	0,650	0,836	0,774	18,21	437,01

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Dauer [d]	Durchfluss $Q$ [l/s]	Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
129	150,80	150,80	23,74	0,656	0,836	0,774	18,37	440,98
128	152,10	152,10	23,94	0,661	0,836	0,774	18,54	444,95
127	153,40	153,40	24,15	0,667	0,837	0,775	18,70	448,91
126	154,70	154,70	24,35	0,673	0,837	0,775	18,87	452,87
125	156,00	156,00	24,56	0,678	0,837	0,775	19,03	456,82
124	157,87	157,87	24,85	0,686	0,837	0,775	19,27	462,49
123	159,73	159,73	25,14	0,694	0,837	0,776	19,51	468,14
122	161,60	161,60	25,44	0,703	0,837	0,776	19,74	473,77
121	163,47	163,47	25,73	0,711	0,837	0,776	19,97	479,39
120	165,34	165,34	26,03	0,719	0,837	0,776	20,21	484,99
119	167,20	167,20	26,32	0,727	0,837	0,777	20,44	490,58
118	169,07	169,07	26,61	0,735	0,837	0,777	20,67	496,14
117	170,94	170,94	26,91	0,743	0,836	0,777	20,90	501,69
116	172,80	172,80	27,20	0,751	0,836	0,777	21,13	507,23
115	174,67	174,67	27,50	0,759	0,836	0,777	21,36	512,74
114	176,54	176,54	27,79	0,768	0,836	0,777	21,59	518,23
113	178,40	178,40	28,08	0,776	0,836	0,777	21,82	523,70
112	180,27	180,27	28,38	0,784	0,836	0,777	22,05	529,15
111	182,14	182,14	28,67	0,792	0,836	0,777	22,27	534,57
110	184,01	184,01	28,96	0,800	0,836	0,777	22,50	539,98
109	185,87	185,87	29,26	0,808	0,836	0,777	22,72	545,36
108	187,74	187,74	29,55	0,816	0,836	0,776	22,95	550,71
107	189,61	189,61	29,85	0,824	0,836	0,776	23,17	556,04
106	191,47	191,47	30,14	0,832	0,835	0,776	23,39	561,35
105	193,34	193,34	30,43	0,841	0,835	0,776	23,61	566,63
104	195,21	195,21	30,73	0,849	0,835	0,775	23,83	571,88
103	197,07	197,07	31,02	0,857	0,835	0,775	24,05	577,11
102	198,94	198,94	31,32	0,865	0,835	0,775	24,26	582,30
101	200,81	200,81	31,61	0,873	0,835	0,774	24,48	587,47
100	202,68	202,68	31,90	0,881	0,834	0,774	24,69	592,61
99	204,54	204,54	32,20	0,889	0,834	0,774	24,90	597,72
98	206,41	206,41	32,49	0,897	0,834	0,773	25,12	602,79
97	208,28	208,28	32,78	0,906	0,834	0,773	25,33	607,84
96	210,14	210,14	33,08	0,914	0,834	0,772	25,54	612,85
95	212,00	212,00	33,37	0,922	0,833	0,771	25,74	617,81
94	215,27	215,27	33,89	0,936	0,833	0,770	26,10	626,44
93	218,53	218,53	34,40	0,950	0,833	0,769	26,46	634,97
92	221,80	221,80	34,91	0,964	0,832	0,768	26,81	643,40
91	225,07	225,07	35,43	0,979	0,832	0,766	27,15	651,70
90	228,34	228,34	35,94	0,993	0,831	0,765	27,50	659,89
89	231,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
88	234,87	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
87	238,14	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
86	241,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
85	244,67	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
84	247,94	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
83	251,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
82	254,47	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite . . .

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
81	257,74	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
80	261,01	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
79	264,27	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
78	267,54	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
77	270,81	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
76	274,07	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
75	277,34	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
74	280,61	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
73	283,87	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
72	287,14	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
71	290,41	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
70	293,68	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
69	296,94	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
68	300,21	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
67	303,48	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
66	306,74	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
65	310,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
64	315,45	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
63	320,90	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
62	326,35	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
61	331,80	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
60	337,25	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
59	342,70	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
58	348,15	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
57	353,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
56	359,05	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
55	364,50	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
54	369,95	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
53	375,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
52	380,85	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
51	386,30	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
50	391,75	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
49	397,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
48	402,65	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
47	408,10	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
46	413,55	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
45	419,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
44	427,30	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
43	435,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
42	443,90	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
41	452,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
40	460,50	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
39	468,80	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
38	477,10	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
37	485,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
36	493,70	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
35	502,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
34	513,30	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Dauer [d]	Durchfluss $Q$ [l/s]	Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
33	524,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
32	535,90	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
31	547,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
30	558,50	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
29	569,80	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
28	581,10	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
27	592,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
26	603,70	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
25	615,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
24	635,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
23	655,80	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
22	676,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
21	696,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
20	717,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
19	737,40	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
18	757,80	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
17	778,20	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
16	798,60	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
15	819,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
14	858,83	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
13	898,66	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
12	938,49	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
11	978,32	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
10	1018,15	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
9	1058,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
8	1103,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
7	1178,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
6	1254,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
5	1391,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
4	1496,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
3	1672,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
2	1947,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02
1	2419,00	230,00	36,20	1,000	0,831	0,764	27,67	664,02

### B.1.5 Variante II – Berechnung der Verlusthöhe und Nettofallhöhe

$$\text{Nettofallhöhe } H_N = H_B - h_v$$

$$\text{Bruttofallhöhe } H_B = 17,17 \text{ m} \quad (\text{s. unter B.1.2})$$

$$\begin{aligned} \text{Verlusthöhe } h_v &= h_{v,R} + h_{v,O} \\ &= 0,305 \text{ m} + 0,424 \text{ m} \\ &= 0,729 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nettofallhöhe } H_N &= 17,17 \text{ m} - 0,73 \text{ m} \\ &= \mathbf{16,44 \text{ m}} \end{aligned}$$

**Ermittlung der kontinuierlichen Reibungsverluste  $h_{v,R}$**

$$h_{v,R} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{nach Darcy-Weisbach})$$

alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\begin{aligned} h_{v,R} &= h_{v,R,1} + h_{v,R,2} \\ &= 0,162 \text{ m} + 0,143 \text{ m} \\ &= 0,305 \text{ m} \end{aligned}$$

1) Abschnitt: Einlauf Grundablass bis Ringkolbenventil bzw. Abzweig Rohrleitung

$$\text{Rohrleitungslänge } L_1 = 19,50 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser } D_1 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit } v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,53 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert } \lambda :$$

$$\text{abhängig von } \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,35 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 452.792,8 = 4,53 \cdot 10^5 \end{aligned}$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei 9°C Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in 10m Tiefe)  
 $= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$k$  = absolute Rauheit  
(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)  
 $= 1,50 \text{ mm}$

$k/D$  = relative Rauheit  
 $= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00375 = 3,75 \cdot 10^{-3}$

mit  $Re$  und  $k/D$  in Diagramm auf Seite 134

Abgelesen:  $\lambda_1 = 0,028$

$$\text{Probe (rauer Bereich): } 1/\sqrt{\lambda_1} = 1,14 - 2 \lg(k/D) \\ = 5,992 \\ \lambda_1 = 0,028$$

$$\longrightarrow h_{v,R,1} = \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \\ = 0,028 \cdot \frac{19,5 \cdot 1,53^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81} \\ = 0,162 \text{ m}$$

2) Abschnitt: neue Rohrleitung ab Rohrkeller bis Turbine

Rohrleitungslänge  $L_2 = 30,00 \text{ m}$

Rohrdurchmesser  $D_2 = 0,40 \text{ m}$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit } v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,53 \text{ m/s}$$

Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Widerstandsbeiwert  $\lambda$  :

abhängig von  $Re$  = Reynolds-Zahl

$$= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,53 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

- $= 452.792,8 = 4,53 \cdot 10^5$   
 $> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung  
 mit  $v$  = kinematische Viskosität bei 9°C Wasser-  
 temperatur (mittlere Wassertemperatur in  
 10m Tiefe)  
 $= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$   
 $k$  = absolute Rauheit (Rohrleitungen aus Stahl, neu, geschweißt;)  
 $= 0,10 \text{ mm}$  (schlechterer Wert wg. kleinem Durchmesser)  
 $k/D$  = relative Rauheit  
 $= \frac{0,0001 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00025 = 2,50 \cdot 10^{-4}$

mit  $Re$  und  $k/D$  in Diagramm auf Seite 134

Abgelesen:

$$\lambda_2 = 0,016$$

Probe :  $1/\sqrt{\lambda_2} = -2lg \cdot \left( \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda_2}} + \frac{k/d}{3,71} \right)$   
 (Übergangsbereich)

einsetzen von  $\lambda_2 = 0,016$  ergibt

$$7,91 = 7,91$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow \quad h_{v,R,2} &= \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \\ &= 0,016 \cdot \frac{30,00 \cdot 1,53^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81} \\ &= 0,143 \text{ m} \end{aligned}$$

### Ermittlung der örtlichen Reibungsverluste $h_{v,O}$

$$h_{v,O} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\boxed{\begin{aligned} h_{v,O} &= h_{v,O,a} + h_{v,O,c} + h_{v,O,d} \\ &= 0,095 \text{ m} + 0,189 \text{ m} + 0,139 \text{ m} \\ &= 0,424 \text{ m} \end{aligned}}$$

a) Einlauf (siehe dazu Seite 138)

dünnwandiges Rohr, aus einer senkrechten Wand herausragend

$$\zeta = 0,6 - 1,0$$

wähle:

$$\zeta_a = 0,8$$

$$\longrightarrow \quad h_{v,O,a} = \zeta_a \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,8 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} = 0,095 \text{ m}$$

b) Rechen (siehe dazu Seite 138)

$$\begin{aligned} \text{Stabdicke} & \quad d = 12 \text{ mm} \\ \text{lichte Stabweite} & \quad a = 100 \text{ mm} \\ \text{Rechenneigung} & \quad \alpha = 60^\circ \\ \text{Projektionsfläche} & \quad A' = 2,80 \times 2,20 \text{ m} \\ \perp \text{zur Ström.richtung} & \quad = 6,16 \text{ m}^2 \\ \text{Fließgeschwindigkeit} & \quad v = \frac{Q}{A'} = \frac{0,192 \text{ m}^3/\text{s}}{6,160 \text{ m}^2} \\ & \quad = 0,031 \text{ m/s} \\ \text{Formbeiwert} & \quad \delta = 2,42 \\ \text{Verlustbeiwert} & \quad \zeta_b = 2,42 \cdot \left(\frac{12}{100}\right)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ \\ & \quad = 0,124 \end{aligned}$$

$$\longrightarrow \quad h_{v,O,b} = \zeta_b \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,124 \cdot \frac{0,031^2}{2 \cdot 9,81} = 0,000006139 \text{ m}$$

(vernachlässigbar)

c) Richtungsänderung / Verzweigung

I) Kreisrohr-Krümmer: DN 300 (siehe dazu Seite 138)

$$\text{wähle schlechten Wert mit } \frac{r}{D} = 2$$

• neu, Umlenkung von Schieberhaus zum Tosbecken

$$\text{Umlenkwinkel} \quad \alpha \approx 75^\circ \quad \zeta_{I,1} = 0,130$$

• neu, Umlenkung vor der Turbine, 2x

$$\begin{aligned} \text{Umlenkwinkel} & \quad \alpha \approx 45^\circ \quad \zeta_{I,2} = 0,180 \\ & \quad \hline \\ & \quad \zeta_{c,I} = 0,310 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{v,O,cI} & = \zeta_{c,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,310 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\ & = 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

II) Verzweigung (siehe dazu Seite 139)

• neu, Schieberhaus, Übergang von GA zur neuen Rohrleitung

$$\text{Umlenkwinkel} \quad \alpha = 90^\circ \quad \zeta_{c,II} = 1,28$$

$$\begin{aligned} h_{v,O,cII} & = \zeta_{c,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,28 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\ & = 0,152 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\longrightarrow \quad h_{v,O,c} = h_{v,O,cI} + h_{v,O,cII} \\ = 0,037 \text{ m} + 0,152 \text{ m} \\ = 0,189 \text{ m}$$

d) Armaturen (siehe dazu Seite 139)

- Wasserseite in der Staumauer:

Absperrklappe	$\zeta$	= 0,30 (im geöffneten Zustand; Angabe der Herstellerfirma VAG)
---------------	---------	---

Schieber	$\zeta$	= 0,12 (Schieber schließt nur im Notfall; kann als geöffnet angesehen werden)
----------	---------	--

- neu, vor der Turbine:

Absperrklappe	$\zeta$	= 0,75 (wähle schlechtesten Wert; laut Schneider Bautabellen)
---------------	---------	--

---

$$\zeta_d = 1,17$$

$$\longrightarrow \quad h_{v,O,d} = \zeta_d \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,17 \cdot \frac{1,53^2}{2 \cdot 9,81} \\ = 0,139 \text{ m}$$

### B.1.6 Variante II – Jahresenergieerzeugung

Ausbauwassermenge - Turbine	$Q_a =$	230	l/s
Mindestwassermenge - Turbine	17% $Q_a =$	39	l/s
Bruttofallhöhe	$H_B =$	17,17	m
Nettofallhöhe	$H_N =$	16,44	m

Dauer	$Q$	Durchfluss	hydr.	$Q_T/Q_a$	Turbinen-	Gesamt-	erbrachte	Energie
[d]	[l/s]	Turbine	Leistung	[-]	wirk.grad	wirk.grad	Leistung	pro Tag
365	12,00	-	-	-	-	-	-	-
364	13,10	-	-	-	-	-	-	-
363	13,60	-	-	-	-	-	-	-
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
259	38,02	-	-	-	-	-	-	-
258	38,49	-	-	-	-	-	-	-
257	38,96	-	-	-	-	-	-	-
256	39,43	39,43	6,36	0,171	0,803	0,693	4,40	105,71
255	39,90	39,90	6,43	0,173	0,804	0,693	4,46	107,06
254	40,49	40,49	6,53	0,176	0,804	0,694	4,53	108,75
253	41,08	41,08	6,63	0,179	0,804	0,695	4,60	110,45
252	41,67	41,67	6,72	0,181	0,805	0,695	4,67	112,15
251	42,26	42,26	6,82	0,184	0,805	0,696	4,74	113,86
250	42,85	42,85	6,91	0,186	0,805	0,697	4,82	115,57
249	43,44	43,44	7,01	0,189	0,806	0,697	4,89	117,28
248	44,03	44,03	7,10	0,191	0,806	0,698	4,96	118,99
247	44,62	44,62	7,20	0,194	0,806	0,699	5,03	120,70
246	45,21	45,21	7,29	0,197	0,807	0,700	5,10	122,42
245	45,80	45,80	7,39	0,199	0,807	0,700	5,17	124,14
244	46,33	46,33	7,47	0,201	0,807	0,701	5,24	125,69
243	46,86	46,86	7,56	0,204	0,808	0,702	5,30	127,24
242	47,39	47,39	7,64	0,206	0,808	0,702	5,37	128,79
241	47,92	47,92	7,73	0,208	0,808	0,703	5,43	130,35
240	48,45	48,45	7,81	0,211	0,809	0,703	5,50	131,90
239	48,98	48,98	7,90	0,213	0,809	0,704	5,56	133,46
238	49,51	49,51	7,98	0,215	0,809	0,705	5,63	135,02
237	50,04	50,04	8,07	0,218	0,810	0,705	5,69	136,58
236	50,57	50,57	8,16	0,220	0,810	0,706	5,76	138,15
235	51,10	51,10	8,24	0,222	0,810	0,706	5,82	139,71
234	51,70	51,70	8,34	0,225	0,810	0,707	5,89	141,48
233	52,29	52,29	8,43	0,227	0,811	0,708	5,97	143,24
232	52,89	52,89	8,53	0,230	0,811	0,708	6,04	145,00
231	53,48	53,48	8,63	0,233	0,811	0,709	6,12	146,77
230	54,08	54,08	8,72	0,235	0,812	0,710	6,19	148,54
229	54,67	54,67	8,82	0,238	0,812	0,710	6,26	150,31
228	55,27	55,27	8,91	0,240	0,812	0,711	6,34	152,09
227	55,86	55,86	9,01	0,243	0,813	0,712	6,41	153,87
226	56,46	56,46	9,10	0,245	0,813	0,712	6,49	155,65
225	57,05	57,05	9,20	0,248	0,813	0,713	6,56	157,43

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite · · ·

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
224	57,65	57,65	9,30	0,251	0,814	0,714	6,63	159,21
223	58,24	58,24	9,39	0,253	0,814	0,714	6,71	161,00
222	58,84	58,84	9,49	0,256	0,814	0,715	6,78	162,79
221	59,43	59,43	9,58	0,258	0,814	0,715	6,86	164,58
220	60,03	60,03	9,68	0,261	0,815	0,716	6,93	166,37
219	60,62	60,62	9,78	0,264	0,815	0,717	7,01	168,16
218	61,22	61,22	9,87	0,266	0,815	0,717	7,08	169,96
217	61,81	61,81	9,97	0,269	0,816	0,718	7,16	171,76
216	62,41	62,41	10,06	0,271	0,816	0,719	7,23	173,56
215	63,00	63,00	10,16	0,274	0,816	0,719	7,31	175,36
214	63,79	63,79	10,29	0,277	0,817	0,720	7,41	177,75
213	64,57	64,57	10,41	0,281	0,817	0,721	7,51	180,13
212	65,36	65,36	10,54	0,284	0,817	0,722	7,61	182,52
211	66,14	66,14	10,67	0,288	0,818	0,722	7,70	184,91
210	66,93	66,93	10,79	0,291	0,818	0,723	7,80	187,31
209	67,71	67,71	10,92	0,294	0,818	0,724	7,90	189,71
208	68,50	68,50	11,05	0,298	0,819	0,725	8,00	192,11
207	69,28	69,28	11,17	0,301	0,819	0,725	8,10	194,51
206	70,07	70,07	11,30	0,305	0,819	0,726	8,21	196,92
205	70,85	70,85	11,43	0,308	0,820	0,727	8,31	199,33
204	71,64	71,64	11,55	0,311	0,820	0,728	8,41	201,75
203	72,42	72,42	11,68	0,315	0,820	0,728	8,51	204,17
202	73,21	73,21	11,81	0,318	0,821	0,729	8,61	206,59
201	73,99	73,99	11,93	0,322	0,821	0,730	8,71	209,01
200	74,78	74,78	12,06	0,325	0,821	0,731	8,81	211,44
199	75,56	75,56	12,19	0,329	0,822	0,731	8,91	213,86
198	76,35	76,35	12,31	0,332	0,822	0,732	9,01	216,30
197	77,13	77,13	12,44	0,335	0,822	0,733	9,11	218,73
196	77,92	77,92	12,57	0,339	0,822	0,733	9,22	221,17
195	78,70	78,70	12,69	0,342	0,823	0,734	9,32	223,61
194	79,49	79,49	12,82	0,346	0,823	0,735	9,42	226,05
193	80,27	80,27	12,95	0,349	0,823	0,735	9,52	228,49
192	81,06	81,06	13,07	0,352	0,824	0,736	9,62	230,94
191	81,84	81,84	13,20	0,356	0,824	0,737	9,72	233,39
190	82,63	82,63	13,33	0,359	0,824	0,737	9,83	235,84
189	83,41	83,41	13,45	0,363	0,824	0,738	9,93	238,29
188	84,20	84,20	13,58	0,366	0,825	0,739	10,03	240,75
187	84,98	84,98	13,71	0,369	0,825	0,739	10,13	243,20
186	85,77	85,77	13,83	0,373	0,825	0,740	10,24	245,66
185	86,55	86,55	13,96	0,376	0,826	0,741	10,34	248,13
184	87,34	87,34	14,09	0,380	0,826	0,741	10,44	250,59
183	88,12	88,12	14,21	0,383	0,826	0,742	10,54	253,06
182	88,90	88,90	14,34	0,387	0,826	0,743	10,65	255,51
181	89,94	89,94	14,51	0,391	0,827	0,743	10,78	258,78
180	90,98	90,98	14,67	0,396	0,827	0,744	10,92	262,06
179	92,02	92,02	14,84	0,400	0,827	0,745	11,06	265,33
178	93,06	93,06	15,01	0,405	0,828	0,746	11,19	268,62
177	94,10	94,10	15,18	0,409	0,828	0,747	11,33	271,90

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
176	95,14	95,14	15,34	0,414	0,828	0,747	11,47	275,19
175	96,18	96,18	15,51	0,418	0,828	0,748	11,60	278,48
174	97,22	97,22	15,68	0,423	0,829	0,749	11,74	281,77
173	98,26	98,26	15,85	0,427	0,829	0,750	11,88	285,06
172	99,30	99,30	16,01	0,432	0,829	0,750	12,01	288,36
171	100,34	100,34	16,18	0,436	0,830	0,751	12,15	291,66
170	101,38	101,38	16,35	0,441	0,830	0,752	12,29	294,96
169	102,42	102,42	16,52	0,445	0,830	0,752	12,43	298,26
168	103,46	103,46	16,69	0,450	0,830	0,753	12,57	301,56
167	104,50	104,50	16,85	0,454	0,831	0,754	12,70	304,87
166	105,54	105,54	17,02	0,459	0,831	0,754	12,84	308,18
165	106,58	106,58	17,19	0,463	0,831	0,755	12,98	311,48
164	107,62	107,62	17,36	0,468	0,831	0,756	13,12	314,79
163	108,66	108,66	17,52	0,472	0,831	0,756	13,25	318,10
162	109,70	109,70	17,69	0,477	0,832	0,757	13,39	321,42
161	110,74	110,74	17,86	0,481	0,832	0,758	13,53	324,73
160	111,78	111,78	18,03	0,486	0,832	0,758	13,67	328,04
159	112,82	112,82	18,20	0,491	0,832	0,759	13,81	331,36
158	113,86	113,86	18,36	0,495	0,833	0,759	13,94	334,67
157	114,90	114,90	18,53	0,500	0,833	0,760	14,08	337,99
156	115,94	115,94	18,70	0,504	0,833	0,761	14,22	341,30
155	117,00	117,00	18,87	0,509	0,833	0,761	14,36	344,68
154	118,30	118,30	19,08	0,514	0,833	0,762	14,53	348,83
153	119,60	119,60	19,29	0,520	0,833	0,762	14,71	352,97
152	120,90	120,90	19,50	0,526	0,834	0,763	14,88	357,11
151	122,20	122,20	19,71	0,531	0,834	0,764	15,05	361,26
150	123,50	123,50	19,92	0,537	0,834	0,764	15,22	365,40
149	124,80	124,80	20,13	0,543	0,834	0,765	15,40	369,54
148	126,10	126,10	20,34	0,548	0,834	0,766	15,57	373,68
147	127,40	127,40	20,55	0,554	0,835	0,766	15,74	377,82
146	128,70	128,70	20,76	0,560	0,835	0,767	15,91	381,96
145	130,00	130,00	20,97	0,565	0,835	0,767	16,09	386,09
144	131,30	131,30	21,18	0,571	0,835	0,768	16,26	390,23
143	132,60	132,60	21,39	0,577	0,835	0,768	16,43	394,36
142	133,90	133,90	21,59	0,582	0,835	0,769	16,60	398,49
141	135,20	135,20	21,80	0,588	0,835	0,769	16,78	402,61
140	136,50	136,50	22,01	0,593	0,836	0,770	16,95	406,73
139	137,80	137,80	22,22	0,599	0,836	0,770	17,12	410,85
138	139,10	139,10	22,43	0,605	0,836	0,771	17,29	414,97
137	140,40	140,40	22,64	0,610	0,836	0,771	17,46	419,08
136	141,70	141,70	22,85	0,616	0,836	0,772	17,63	423,19
135	143,00	143,00	23,06	0,622	0,836	0,772	17,80	427,29
134	144,30	144,30	23,27	0,627	0,836	0,772	17,97	431,39
133	145,60	145,60	23,48	0,633	0,836	0,773	18,15	435,48
132	146,90	146,90	23,69	0,639	0,836	0,773	18,32	439,57
131	148,20	148,20	23,90	0,644	0,836	0,773	18,49	443,66
130	149,50	149,50	24,11	0,650	0,836	0,774	18,66	447,74
129	150,80	150,80	24,32	0,656	0,836	0,774	18,83	451,81

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite . . .

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
128	152,10	152,10	24,53	0,661	0,836	0,774	18,99	455,88
127	153,40	153,40	24,74	0,667	0,837	0,775	19,16	459,94
126	154,70	154,70	24,95	0,673	0,837	0,775	19,33	463,99
125	156,00	156,00	25,16	0,678	0,837	0,775	19,50	468,04
124	157,87	157,87	25,46	0,686	0,837	0,775	19,74	473,84
123	159,73	159,73	25,76	0,694	0,837	0,776	19,98	479,63
122	161,60	161,60	26,06	0,703	0,837	0,776	20,23	485,40
121	163,47	163,47	26,36	0,711	0,837	0,776	20,47	491,16
120	165,34	165,34	26,66	0,719	0,837	0,776	20,70	496,90
119	167,20	167,20	26,97	0,727	0,837	0,777	20,94	502,62
118	169,07	169,07	27,27	0,735	0,837	0,777	21,18	508,33
117	170,94	170,94	27,57	0,743	0,836	0,777	21,42	514,01
116	172,80	172,80	27,87	0,751	0,836	0,777	21,65	519,68
115	174,67	174,67	28,17	0,759	0,836	0,777	21,89	525,33
114	176,54	176,54	28,47	0,768	0,836	0,777	22,12	530,95
113	178,40	178,40	28,77	0,776	0,836	0,777	22,36	536,56
112	180,27	180,27	29,07	0,784	0,836	0,777	22,59	542,14
111	182,14	182,14	29,37	0,792	0,836	0,777	22,82	547,70
110	184,01	184,01	29,68	0,800	0,836	0,777	23,05	553,23
109	185,87	185,87	29,98	0,808	0,836	0,777	23,28	558,75
108	187,74	187,74	30,28	0,816	0,836	0,776	23,51	564,23
107	189,61	189,61	30,58	0,824	0,836	0,776	23,74	569,70
106	191,47	191,47	30,88	0,832	0,835	0,776	23,96	575,13
105	193,34	193,34	31,18	0,841	0,835	0,776	24,19	580,54
104	195,21	195,21	31,48	0,849	0,835	0,775	24,41	585,92
103	197,07	197,07	31,78	0,857	0,835	0,775	24,64	591,28
102	198,94	198,94	32,08	0,865	0,835	0,775	24,86	596,60
101	200,81	200,81	32,39	0,873	0,835	0,774	25,08	601,89
100	202,68	202,68	32,69	0,881	0,834	0,774	25,30	607,16
99	204,54	204,54	32,99	0,889	0,834	0,774	25,52	612,39
98	206,41	206,41	33,29	0,897	0,834	0,773	25,73	617,60
97	208,28	208,28	33,59	0,906	0,834	0,773	25,95	622,77
96	210,14	210,14	33,89	0,914	0,834	0,772	26,16	627,90
95	212,00	212,00	34,19	0,922	0,833	0,771	26,37	632,98
94	215,27	215,27	34,72	0,936	0,833	0,770	26,74	641,83
93	218,53	218,53	35,24	0,950	0,833	0,769	27,11	650,57
92	221,80	221,80	35,77	0,964	0,832	0,768	27,47	659,19
91	225,07	225,07	36,30	0,979	0,832	0,766	27,82	667,70
90	228,34	228,34	36,83	0,993	0,831	0,765	28,17	676,10
89	231,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
88	234,87	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
87	238,14	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
86	241,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
85	244,67	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
84	247,94	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
83	251,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
82	254,47	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
81	257,74	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite ...

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
80	261,01	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
79	264,27	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
78	267,54	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
77	270,81	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
76	274,07	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
75	277,34	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
74	280,61	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
73	283,87	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
72	287,14	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
71	290,41	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
70	293,68	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
69	296,94	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
68	300,21	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
67	303,48	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
66	306,74	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
65	310,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
64	315,45	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
63	320,90	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
62	326,35	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
61	331,80	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
60	337,25	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
59	342,70	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
58	348,15	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
57	353,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
56	359,05	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
55	364,50	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
54	369,95	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
53	375,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
52	380,85	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
51	386,30	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
50	391,75	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
49	397,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
48	402,65	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
47	408,10	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
46	413,55	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
45	419,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
44	427,30	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
43	435,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
42	443,90	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
41	452,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
40	460,50	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
39	468,80	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
38	477,10	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
37	485,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
36	493,70	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
35	502,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
34	513,30	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
33	524,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite . . .

Dauer [d]	$Q$ [l/s]	Durchfluss Turbine [l/s]	hydr. Leistung [kW]	$Q_T/Q_a$ [-]	Turbinen- wirk.grad [-]	Gesamt- wirk.grad [-]	erbrachte Leistung [kW]	Energie pro Tag [kWh/d]
32	535,90	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
31	547,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
30	558,50	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
29	569,80	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
28	581,10	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
27	592,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
26	603,70	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
25	615,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
24	635,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
23	655,80	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
22	676,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
21	696,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
20	717,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
19	737,40	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
18	757,80	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
17	778,20	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
16	798,60	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
15	819,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
14	858,83	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
13	898,66	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
12	938,49	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
11	978,32	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
10	1018,15	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
9	1058,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
8	1103,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
7	1178,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
6	1254,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
5	1391,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
4	1496,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
3	1672,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
2	1947,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33
1	2419,00	230,00	37,09	1,000	0,831	0,764	28,35	680,33

### B.1.7 Variante 6 – Fallhöhe und Vergleich

$$\text{Nettofallhöhe} \quad H_N = H_B - h_v$$

$$\text{Bruttofallhöhe} \quad H_B = \text{OW} - \text{Achse Turbine}$$

$$\begin{aligned} \text{OW} &= \text{Stauhöhe (Mittelwert)} = 300,36 \text{ m ü. NN} \\ \text{Achse Turbine} &= \text{Achse DN 400} + \text{Abstand zur Achse Turbine (geschätzt)} \\ &= 285,70 \text{ m ü. NN} + 1,30 \text{ m} \\ &= 287,00 \text{ m ü. NN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_B &= 300,36 \text{ m ü. NN} - 287,00 \text{ m ü. NN} \\ &= 13,36 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verlusthöhe} \quad h_v &= h_{v,R} + h_{v,O} \\ &= 0,038 \text{ m} + 0,249 \text{ m} \\ &= 0,287 \text{ m} \end{aligned}$$

(Berechnung der Fallhöhenverluste liegt der CD bei)

$$\begin{aligned} \text{Nettofallhöhe} \quad H_N &= 13,36 \text{ m} - 0,29 \text{ m} \\ &= \mathbf{13,07 \text{ m}} \end{aligned}$$

Vergleich zu Variante 1 bzw. I:

$$\begin{aligned} \text{Variante 1} \quad H_{N,1} &= 16,05 \text{ m} \\ \text{Variante 6} \quad H_{N,6} &= 13,07 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Differenz} \quad \Delta H &= 2,97 \text{ m} \\ \text{anteilig} &= 19 \% \end{aligned}$$

Vergleich zu Variante 2 bzw. II:

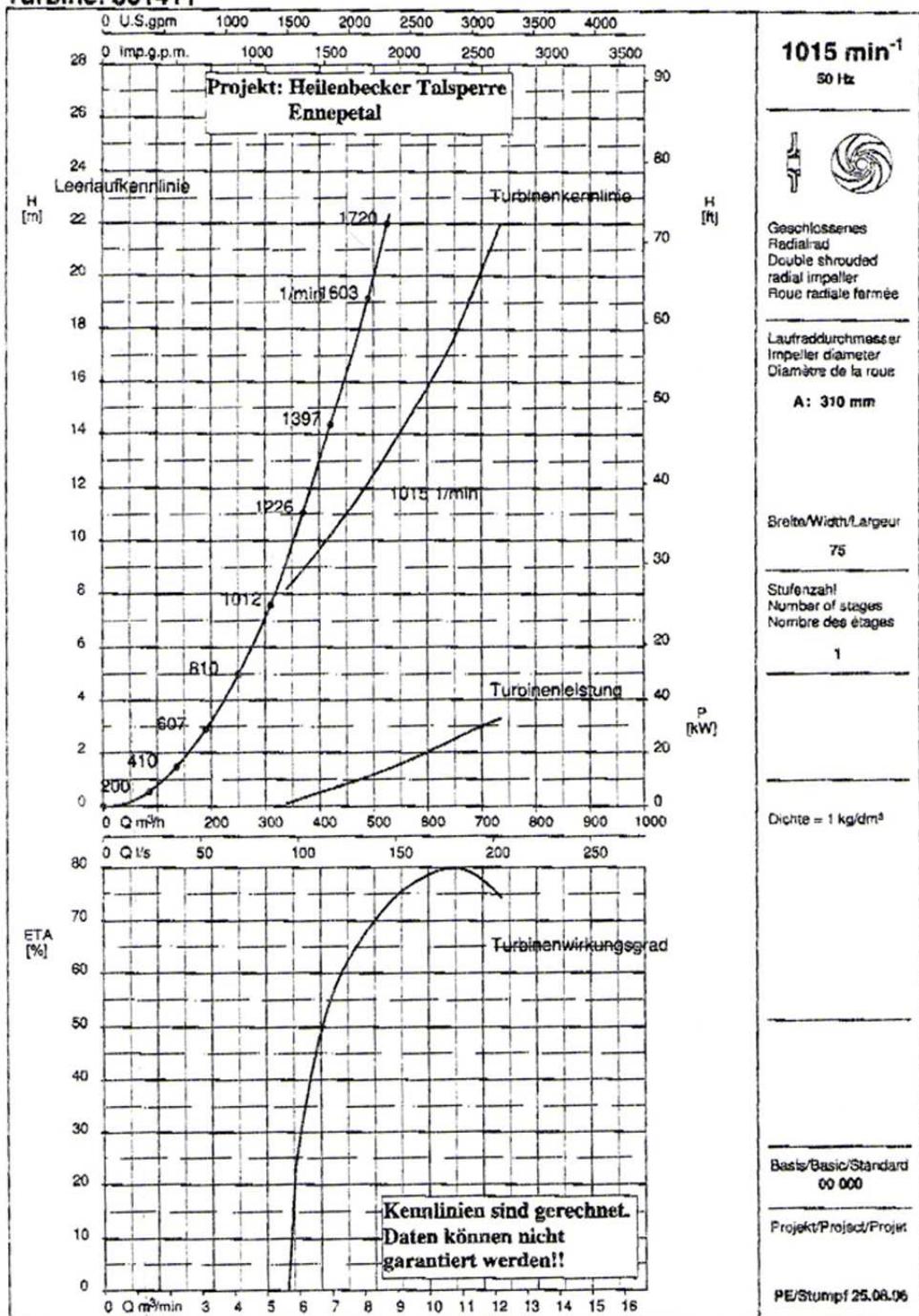
$$\begin{aligned} \text{Variante 4} \quad H_{N,4} &= 16,44 \text{ m} \\ \text{Variante 6} \quad H_{N,6} &= 13,07 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Differenz} \quad \Delta H &= 3,37 \text{ m} \\ \text{anteilig} &= 20 \% \end{aligned}$$

## B.2 Pumpenturbine

### B.2.1 Ritz – Turbinenkennlinien

Turbine: 361411



### B.2.2 Angebot der Firma RITZ

Angebot Wegema / Mülheim

Wasserbeschaffungsverband Ennepetal  
Voerde Str.9  
58256 Ennepetal

Fax 02333 88751

Proj: Heilenbecker Talsperre Turbine

Wir bieten an:

- 1 Stk. Turbinenpumpe Typ Ritz 361411 Durchsatz 160 l/s bei 15 m Fallhöhe  
Leistung: 18 kW, 1510 / min,  
Einbau als Blockaggregat vertikal mit Generator  
Leistung 22 kW.  
Preis: 9.800,- EUR
- 1 Stk. Rohrleitung DN 400 mit Bypass DN 300 für Turbine und DN 80 für Magnetventil  
einschl. Montage der Rohrleitung, Armaturen, Turbine und Umsetzung des Ring-  
kolbenventils unter die Turbine. Einbau in den Begehungsschächten der Staumauer.  
Preis: 9.000,- EUR
- 1 Stk. Schaltanlage für eine Generatorleistung 22 kW, Wandschrank 800 x 800 mm,  
Stahlblech IP 55 mit speicherprogr. Steuerung, Leistungstrenner mit Überlast- und  
Kurzschlussauslöser, Leistungsschütz, Blindleistungskompensation.  
Ansteuerung Absperrschieber 230 V DC, 3ph-Spannungsüberwachung,  
1 ph.-Frequenzüberwachung, Rückleistungsschutz, indukt. Näherungsschalter,  
Bedien- und Anzeigenfeld in der Schaltschrantür, Drehstromzähler.  
Preis: 3.100,- EUR
- 1 Stk. Absperrschieber DN 300, PN 10 mit Auma Stellmotor  
Preis: 2.900,- EUR
- 1 Stk. Magnetventil 3 Zoll (80 mm) für Bypass DN 80  
Preis: 900,- EUR
- 1 Stk. Programmierung Steuerung, Dokumentation, Einweisung Personal, Inbetriebnahme  
Preis: 2.800,- EUR

**Gesamt: 28.500 EUR**, Netto ab Werk ohne MwSt., Zahlung: 40 % Anzahlung,  
Rest nach Auslieferung 30 Tage Netto, Lieferzeit: 12 Wochen, Angebotsgültigkeit: 31.12.06

### B.2.3 Variante III – Berechnung des Fallhöhenverlustes

Berechnung der Verlusthöhe an einem Beispiel mit einem Durchfluss von  $Q = 160 \text{ l/s}$

$$\begin{aligned} \text{Verlusthöhe } h_v &= h_{v,R} + h_{v,O} \\ &= 0,028 \text{ m} + 0,179 \text{ m} \\ &= 0,207 \text{ m} \end{aligned}$$

**Ermittlung der kontinuierlichen Reibungsverluste  $h_{v,R}$**

$$h_{v,R} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{nach Darcy-Weisbach})$$

Alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\boxed{\begin{aligned} h_{v,R} &= h_{v,R,1} + h_{v,R,2} \\ &= 0,014 \text{ m} + 0,014 \text{ m} \\ &= 0,028 \text{ m} \end{aligned}}$$

1) Abschnitt: Einlauf Grundablass bis Abzweig zur Turbine

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_1 = 2,40 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_1 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,27 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,27 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 377.327,3 = 3,77 \cdot 10^5 \end{aligned}$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

$$\begin{aligned} \text{mit } v &= \text{kinematische Viskosität bei } 9^\circ\text{C Wasser-} \\ &\quad \text{temperatur (mittlere Wassertemperatur in} \\ &\quad \text{10m Tiefe)}} \end{aligned}$$

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)

$$= 1,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 k/D &= \text{relative Rauheit} \\
 &= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00375 = 3,75 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}$$

mit Re und k/D in Diagramm auf Seite 134

$$\text{Abgelesen: } \lambda_1 = 0,028$$

$$\begin{aligned}
 \text{Probe (rauer Bereich): } 1/\sqrt{\lambda_1} &= 1,14 - 2 \lg(k/D) \\
 &= 5,992
 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = 0,028$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,R,1} &= \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \\
 &= 0,028 \cdot \frac{2,4 \cdot 1,27^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,014 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2) Abschnitt: Abzweig von Grundablass zur Turbine

$$\text{Rohrleitungslänge } L_2 = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser } D_2 = 0,30 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit } v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,071 \text{ m}^2} = 2,26 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert } \lambda :$$

$$\text{abhängig von } \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{2,26 \text{ m/s} \cdot 0,30 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 503.103,1 = 5,03 \cdot 10^5$$

> 2.300 → turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei 9°C Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in 10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Stahl, neu, geschweißt;)

$$= 0,10 \text{ mm} \quad (\text{schlechterer Wert wg. kleinem Durchmesser})$$

$$\begin{aligned}
 k/D &= \text{relative Rauheit} \\
 &= \frac{0,0001 \text{ m}}{0,3000 \text{ m}} = 0,00033 = 3,30 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

mit  $Re$  und  $k/D$  in Diagramm auf Seite 134

Abgelesen:  $\lambda_2 = 0,0165$

Probe :  $1/\sqrt{\lambda_2} = -2lg \cdot \left( \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda_2}} + \frac{k/d}{3,71} \right)$   
(Übergangsbereich)

einsetzen von  $\lambda_2 = 0,0165$  ergibt  
 $7,78 = 7,78$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,R,2} &= \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \\
 &= 0,0165 \cdot \frac{1,00 \cdot 2,26^2}{0,30 \cdot 2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,014 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Ermittlung der örtlichen Reibungsverluste $h_{v,O}$

$$h_{v,O} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\boxed{
 \begin{aligned}
 h_{v,O} &= h_{v,O,a} + h_{v,O,c} + h_{v,O,d} \\
 &= 0,066 \text{ m} + 0,047 \text{ m} + 0,066 \text{ m} \\
 &= 0,179 \text{ m}
 \end{aligned}
 }$$

a) Einlauf (siehe dazu Seite 138)

dünnwandiges Rohr, aus einer senkrechten Wand herausragend

$$\zeta = 0,6 - 1,0$$

wähle:

$$\zeta_a = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,O,a} &= \zeta_a \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,8 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,066 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b) Rechen (siehe dazu Seite 138)

$$\text{Stabdicke} \quad d = 12 \text{ mm}$$

$$\text{lichte Stabweite} \quad a = 100 \text{ mm}$$

Rechenneigung	$\alpha = 60^\circ$
Projektionsfläche	$A' = 2,80 \times 2,20 \text{ m}$
$\perp$ zur Ström.richtung	$= 6,16 \text{ m}^2$
Fließgeschwindigkeit	$v = \frac{Q}{A'} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{6,160 \text{ m}^2}$
	$= 0,026 \text{ m/s}$
Formbeiwert	$\delta = 2,42$
Verlustbeiwert	$\zeta_b = 2,42 \cdot \left(\frac{12}{100}\right)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ$
	$= 0,124$
—————	
	$h_{v,O,b} = \zeta_b \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,124 \cdot \frac{0,026^2}{2 \cdot 9,81}$
	$= 0,0000042638 \text{ m}$
	(vernachlässigbar)

c) Richtungsänderung / Verzweigung

I) Kreisrohr-Krümmer: (siehe dazu Seite 138)

wähle schlechten Wert mit  $\frac{r}{D} = 2$

- neu, Zulauf zur Turbine

Rohrdurchmesser  $D = 0,30 \text{ m}$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

Fließgeschwindigkeit  $v = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,071 \text{ m}^2} = 2,26 \text{ m}^2$

Umlenkwinkel  $\alpha \approx 45^\circ \quad \zeta_{I,2} = 0,090$

$$h_{v,O,cI} = \zeta_{c,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,090 \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,007 \text{ m}$$

II) Verzweigung (siehe dazu Seite 139)

- Bypassleitung, von GA abgehend

Umlenkwinkel  $\alpha = 45^\circ \quad \zeta_c = 0,48$   
(da  $d \approx d_a$ ,  $Q_a/Q=1$  und scharfkantige Verzweigung)

$$h_{v,O,cII} = \zeta_{c,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,48 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,040 \text{ m}$$

$$\longrightarrow \begin{aligned} h_{v,O,c} &= h_{v,O,cI} + h_{v,O,cII} \\ &= 0,007 \text{ m} + 0,040 \text{ m} \\ &= 0,047 \text{ m} \end{aligned}$$

d) Armaturen (siehe dazu Seite 139)

• vorh.:

Absperrklappe	$\zeta = 0,30$ (im geöffneten Zustand; Angabe der Herstellerfirma VAG)
Schieber	$\zeta = 0,12$ (Schieber schließt nur im Notfall; kann als geöffnet angesehen werden)
<hr style="border: 0.5px solid black; margin-bottom: 5px;"/>	
	$\zeta_{d,I} = 0,42$

$$(\text{DN } 400 \rightarrow v = 1,27 \text{ m/s}) \quad h_{v,O,d,I} = \zeta_{d,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,42 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} = 0,035 \text{ m}$$

• neu:

Schieber	$\zeta_{d,II} = 0,12$ (Schieber schließt nur im Notfall; kann als geöffnet angesehen werden)
<hr style="border: 0.5px solid black; margin-bottom: 5px;"/>	
(DN 300 $\rightarrow v = 2,26 \text{ m/s}$ )	$h_{v,O,d,II} = \zeta_{d,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,12 \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,81} = 0,031 \text{ m}$

$$\longrightarrow \begin{aligned} h_{v,O,d} &= h_{v,O,dI} + h_{v,O,dII} \\ &= 0,035 \text{ m} + 0,031 \text{ m} \\ &= 0,066 \text{ m} \end{aligned}$$

## B.2.4 Variante III – Wasserwirtschaftsplan

### (a) WW-Plan: Arbeitsschritte

Bezugsjahr 2004		Höhe Grundablass: 284,7 m ü. NN		Stauinhalt: 450.000 m <sup>3</sup>		1.728 m <sup>3</sup> /d		Mindestwasserabgabe: 1.728 m <sup>3</sup> /d		Wirkungsgrad Generator: 0,925								
Datum	Zu- fuss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> m <sup>3</sup> /d	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub>	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01.01.2004	17.852	950	16.902	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	2.615	452.615	450.000	2.615	25,14	0,82	20.67	19,12	459
02.01.2004	14.698	950	13.748	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-540	449.460	449.460	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
03.01.2004	11.821	950	10.871	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	-3.410	446.051	446.051	0	25,12	0,82	20,64	19,09	458
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Sp. 2 : ermittelte Zuflussmengen ; siehe Anhang																		
Sp. 3 : fester Wert für Rohwasserentnahme 11 l/s = 950 m <sup>3</sup> /d																		
Sp. 4 : Überschuss = Zufluss (Sp.2) - Rohwasser (Sp.3)																		
Sp. 5 : Ermittlung der Stauhöhen(n) mittels des Stauvolumens(n-1) (Sp.13) und der Staumühlkurve																		
Sp. 6 : Bruttofallhöhe = Stauhöhe (Sp.5) - 284,70 m ü. NN																		
Sp. 7 : Nettofallhöhe = Berechnung mittels Gleichung mit Q <sub>T</sub> (Sp.8)																		
Sp. 8 : möglicher Turbindurchfluss infolge der vorhandenen Fallhöhe; Berechnung mittels Gleichung und Bruttofallhöhe (Sp.6)																		
Sp. 9 : Laufzeit = manuell einzugeben; wenn (Sp.5) > 299,00 m ü. NN, dann Laufzeit = 24h (ein)																		
Sp. 10 : = manuell einzugeben; wenn (Sp.5) < 299,00 m ü. NN, dann Laufzeit = 0 (aus), solange bis (Sp.5) wieder auf 300,42 m ü. NN																		
Sp. 11 : Turbindenialgab = (Sp.8) * 3,6 * Laufzeit																		
Sp. 12 : Einstau(+) / Entnahme(-) = Überschuss (Sp.4) - Turbinenabgabe (Sp.10), wenn Turbine in Betrieb (Sp.9 = 24)																		
Sp. 13 : = Überschuss (Sp.4) - Mindestwasserabgabe (20 l/s = 1.728 m <sup>3</sup> /d), wenn Turbine außer Betrieb (Sp.9 = 0)																		
Sp. 14 : möglicher Inhalt (n) = Inhalt(n-1) (Sp.13) + Einstau/Entnahme (Sp.11)																		
Sp. 15 : Stauinhalt = möglicher Inhalt (Sp.12), wenn (Sp.12) < 450.000 m <sup>3</sup>																		
Sp. 16 : Überlauf = Inhalt (Sp.13) - möglicher Inhalt (Sp.12)																		
Sp. 17 : hydr. Leistung = Q <sub>T</sub> (Sp.8) * 1.000 * g * Nettofallhöhe (Sp.7)																		
Sp. 18 : Turbinenwirkungsgrad = Berechnung mittels Gleichung mit Q <sub>T</sub> (Sp.8)																		
Sp. 19 : Turbinenleistung = hyd. Leistung (Sp.15) * Turbinenwirkungsgrad (Sp.16)																		
Sp. 20 : elektr. Leistung = Turbinenleistung (Sp.17) * Generatorwirkungsgrad (=0,925)																		
Sp. 21 : erbrachte Energie am Tag = elektr. Leistung (Sp.18) * Laufzeit (Sp.9)																		
06.03.2004	6.171	950	5.221	299,06	14,36	14,17	154,8	24	13,373	-8.152	343.656	343.656	0	21,51	0,79	17,04	15,77	378
07.03.2004	5.589	950	4.639	298,93	14,23	14,04	153,7	0	0	2.911	346.567	346.567	0	21,17	0,79	16,70	15,45	0
08.03.2004	5.871	950	4.921	298,98	14,28	14,09	154,1	0	0	3.193	349.760	349.760	0	21,30	0,79	16,83	15,57	0

## (b) WW-Plan Variante III – Betriebsweise a): Diskontinuierlicher Betrieb

Datum	Zu- fluss $\text{m}^3/\text{d}$	Roh- wasser $\text{m}^3/\text{d}$	Über- schuss $\text{m}^3/\text{d}$	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $\text{m}^3/\text{d}$	Einstau/ Entnahme $\text{m}^3/\text{d}$	Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf $\text{m}^3/\text{d}$	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
01.01.2004	17.852	950	16.902	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	2,615	452,615	450,000	2,615	25,14	0,82	20,67	19,12	459
02.01.2004	14.638	950	13.748	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-540	449,460	449,460	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
03.01.2004	11.821	950	10.871	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	-3,410	446,051	446,051	0	25,12	0,82	20,64	19,09	458
04.01.2004	12.032	950	11.082	300,36	15,66	15,44	164,9	24	14,248	-3,166	442,885	442,885	0	24,98	0,82	20,51	18,97	455
05.01.2004	11.752	950	10.802	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14,222	-3,420	439,465	439,465	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
06.01.2004	13.659	950	12.709	300,27	15,57	15,35	164,2	24	14,189	-1,481	437,984	437,984	0	24,74	0,82	20,27	18,75	450
07.01.2004	13.225	950	12.275	300,25	15,55	15,33	164,1	24	14,176	-1,901	436,083	436,083	0	24,68	0,82	20,21	18,70	449
08.01.2004	16.957	950	16.007	300,23	15,53	15,31	163,9	24	14,163	1,844	437,927	437,927	0	24,63	0,82	20,16	18,65	448
09.01.2004	26.525	950	25.575	300,25	15,55	15,33	164,1	24	14,176	11,399	449,326	449,326	0	24,68	0,82	20,21	18,70	449
10.01.2004	38.822	950	37.872	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	23,592	472,917	450,000	22,917	25,12	0,82	20,64	19,09	458
11.01.2004	55.402	950	54.452	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	40,165	490,165	450,000	40,165	25,14	0,82	20,67	19,12	459
12.01.2004	77.105	950	76.155	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	61,868	511,868	450,000	61,868	25,14	0,82	20,67	19,12	459
13.01.2004	95.049	950	94.099	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	79,812	529,812	450,000	79,812	25,14	0,82	20,67	19,12	459
14.01.2004	85.123	950	84.173	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	69,886	519,886	450,000	69,886	25,14	0,82	20,67	19,12	459
15.01.2004	78.783	950	77.833	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	63,546	513,546	450,000	63,546	25,14	0,82	20,67	19,12	459
16.01.2004	85.986	950	85.036	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	70,749	520,749	450,000	70,749	25,14	0,82	20,67	19,12	459
17.01.2004	73.956	950	73.006	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	58,719	508,719	450,000	58,719	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.01.2004	52.390	950	51.440	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	37,153	487,153	450,000	37,153	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.01.2004	76.451	950	76.501	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	61,214	511,214	450,000	61,214	25,14	0,82	20,67	19,12	459
20.01.2004	101.296	950	100.346	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	86,059	536,059	450,000	86,059	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.01.2004	65.027	950	64.077	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	49,790	499,790	450,000	49,790	25,14	0,82	20,67	19,12	459
22.01.2004	36.856	950	35.906	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	21,618	471,618	450,000	21,618	25,14	0,82	20,67	19,12	459
23.01.2004	22.446	950	21.496	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	7,209	457,209	450,000	7,209	25,14	0,82	20,67	19,12	459
24.01.2004	18.386	950	17.436	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	3,149	453,149	450,000	3,149	25,14	0,82	20,67	19,12	459
25.01.2004	15.781	950	14.831	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	544	450,544	450,000	544	25,14	0,82	20,67	19,12	459
26.01.2004	13.142	950	12.192	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-2,095	447,905	447,905	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.01.2004	12.713	950	11.763	300,39	15,69	15,47	165,1	24	14,268	-2,505	445,400	445,400	0	25,06	0,82	20,59	19,04	457
28.01.2004	12.498	950	11.500	300,35	15,65	15,43	164,8	24	14,242	-2,693	442,707	442,707	0	24,95	0,82	20,48	18,94	455
29.01.2004	10.903	950	9.953	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14,222	-4,269	438,438	438,438	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
30.01.2004	11.271	950	10.321	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14,183	-3,862	434,576	434,576	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
31.01.2004	36.239	950	35.289	300,21	15,51	15,29	163,8	24	14,150	21,140	455,716	450,000	5,716	24,57	0,82	20,67	19,12	459
01.02.2004	72.105	950	71.155	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	18,054	468,054	450,000	18,054	25,14	0,82	20,67	19,12	459
02.02.2004	84.409	950	83.459	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	8,678	458,678	450,000	8,678	25,14	0,82	20,67	19,12	459
03.02.2004	75.707	950	74.757	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	60,470	450,000	60,470	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
04.02.2004	48.487	950	47.537	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	33,250	483,250	450,000	33,250	25,14	0,82	20,67	19,12	446
05.02.2004	33.291	950	32.341	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	18,054	468,054	450,000	18,054	25,14	0,82	20,67	19,12	459
06.02.2004	23.915	950	22.965	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	8,678	458,678	450,000	8,678	25,14	0,82	20,67	19,12	459
07.02.2004	25.174	950	24.224	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	9,937	459,937	450,000	9,937	25,14	0,82	20,67	19,12	459
08.02.2004	25.348	950	24.398	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	10,110	460,110	450,000	10,110	25,14	0,82	20,67	19,12	459
09.02.2004	26.567	950	25.617	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	11,330	461,330	450,000	11,330	25,14	0,82	20,67	19,12	459

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
10.02.2004	39.714	950	38.764	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	24,477	474,477	450,000	24,477	25,14	0,82	20,67	19,12	459
11.02.2004	71.697	950	70.747	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	56,460	506,460	450,000	56,460	25,14	0,82	20,67	19,12	459
12.02.2004	75.169	950	74.219	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	59,932	509,332	450,000	59,932	25,14	0,82	20,67	19,12	459
13.02.2004	56.073	950	55.123	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	40,836	490,836	450,000	40,836	25,14	0,82	20,67	19,12	459
14.02.2004	47.161	950	46.211	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	31,924	481,924	450,000	31,924	25,14	0,82	20,67	19,12	459
15.02.2004	37.231	950	36.281	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	21,993	471,993	450,000	21,993	25,14	0,82	20,67	19,12	459
16.02.2004	26.453	950	25.503	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	11,216	461,216	450,000	11,216	25,14	0,82	20,67	19,12	459
17.02.2004	22.397	950	21.447	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	7,160	457,160	450,000	7,160	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.02.2004	17.584	950	16.634	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	2,347	452,347	450,000	2,347	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.02.2004	15.754	950	14.804	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	517	450,517	450,000	517	25,14	0,82	20,67	19,12	459
20.02.2004	12.542	950	11.592	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-2,695	447,305	447,305	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.02.2004	12.552	950	11.602	300,38	15,68	15,46	165,1	24	14,261	-2,660	444,645	444,645	0	25,03	0,82	20,56	19,02	456
22.02.2004	12.834	950	11.884	300,34	15,64	15,42	164,8	24	14,235	-2,351	442,294	442,294	0	24,93	0,82	20,45	18,92	454
23.02.2004	10.927	950	9.971	300,31	15,61	15,39	164,5	24	14,215	-4,435	438,056	438,056	0	24,84	0,82	20,37	18,85	452
24.02.2004	10.076	950	9.126	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14,183	-5,057	432,999	432,999	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
25.02.2004	9.710	950	8.760	300,19	15,49	15,27	163,6	24	14,137	-5,377	427,622	427,622	0	24,52	0,82	20,05	18,55	445
26.02.2004	8.527	950	7.577	300,12	15,42	15,21	163,1	24	14,091	-6,514	421,108	421,108	0	24,33	0,82	19,87	18,38	441
27.02.2004	7.941	950	6.991	300,03	15,33	15,12	162,4	24	14,031	-7,040	414,068	414,068	0	24,08	0,81	19,63	18,16	436
28.02.2004	6.969	950	6.019	299,93	15,23	15,02	161,6	24	13,965	-7,945	406,123	406,123	0	23,82	0,81	19,36	17,91	430
29.02.2004	5.766	950	4.816	299,82	15,12	14,91	160,8	24	13,891	-9,076	397,047	397,047	0	23,52	0,81	19,07	17,64	423
01.03.2004	4.966	950	4.016	299,69	14,99	14,78	159,8	24	13,804	-9,788	387,260	387,260	0	23,17	0,81	18,72	17,32	416
02.03.2004	5.040	950	4.090	299,55	14,95	14,85	158,7	24	13,709	-9,619	377,640	377,640	0	22,80	0,80	18,35	16,97	407
03.03.2004	5.607	950	4.657	299,42	14,72	14,52	157,6	24	13,621	-8,964	368,677	368,677	0	22,46	0,80	18,00	16,65	400
04.03.2004	5.854	950	4.904	299,30	14,60	14,40	156,7	24	13,539	-8,635	360,042	360,042	0	22,14	0,80	17,68	16,36	393
05.03.2004	6.172	950	5.222	299,18	14,48	14,29	155,7	24	13,456	-8,234	351,808	351,808	0	21,83	0,80	17,36	16,06	385
06.03.2004	6.171	950	5.221	299,06	14,36	14,17	154,8	24	13,373	-8,152	343,656	343,656	0	21,51	0,79	17,04	15,77	378
07.03.2004	5.589	950	4.639	298,93	14,23	14,04	153,7	0	0	0	346,567	346,567	0	21,17	0,79	16,70	15,45	0
08.03.2004	5.871	950	4.921	298,98	14,28	14,09	154,1	0	0	3,193	349,760	349,760	0	21,30	0,79	16,83	15,57	0
09.03.2004	6.873	950	5.923	299,03	14,33	14,14	154,5	0	0	4,195	353,954	353,954	0	21,43	0,79	16,96	15,69	0
10.03.2004	7.745	950	6.795	299,10	14,40	14,21	155,1	0	0	5,067	359,021	359,021	0	21,62	0,79	17,15	15,86	0
11.03.2004	7.195	950	6.245	299,17	14,47	14,28	155,7	0	0	4,517	363,538	363,538	0	21,80	0,80	17,34	16,04	0
12.03.2004	10.936	950	9.986	299,23	14,53	14,33	156,1	0	0	8,258	371,795	371,795	0	21,96	0,80	17,50	16,18	0
13.03.2004	18.283	950	17.333	299,34	14,64	14,44	157,0	0	0	15,605	387,401	387,401	0	22,25	0,80	17,79	16,46	0
14.03.2004	27.091	950	26.141	299,56	14,86	14,66	158,8	0	0	24,413	411,814	411,814	0	22,83	0,81	18,38	17,00	0
15.03.2004	24.368	950	23.418	299,90	14,99	14,99	161,4	0	0	21,690	433,503	433,503	0	23,73	0,81	19,28	17,84	0
16.03.2004	19.444	950	18.494	300,20	15,50	15,28	163,7	0	0	16,766	450,269	450,269	0	24,54	0,82	20,08	18,57	0
17.03.2004	16.524	950	15.574	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	1,287	451,287	450,000	1,287	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.03.2004	14.238	950	13.288	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-999	449,001	449,001	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.03.2004	16.403	950	15.453	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14,274	1,179	450,180	450,000	1,179	25,09	0,82	20,61	19,07	458
20.03.2004	23.831	950	22.881	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	8,594	458,534	450,000	8,594	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.03.2004	36.819	950	35.869	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	21,582	471,582	450,000	21,582	25,14	0,82	20,67	19,12	459
22.03.2004	53.573	950	52.623	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	38,336	488,336	450,000	38,336	25,14	0,82	20,67	19,12	459
23.03.2004	48.862	950	47.912	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	33,625	483,625	450,000	33,625	25,14	0,82	20,305	470,305	35,542
24.03.2004	35.542	950	34.592	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	20,305	450,000	20,305	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459

Datum	Zu- fluss $m^3/d$	Roh- wasser $m^3/d$	Über- schuss $m^3/d$	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $m^3/d$	Einstau/ Entnahme $m^3/d$	mögl. Inhalt $m^3$	Über- lauf $m^3/d$	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d		
25.03.2004	25.807	950	24.857	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	10,570	460,000	10,570	25,14	0,82	20,67	19,12	459	
26.03.2004	20.519	950	19,589	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	5,282	455,282	450,000	5,282	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.03.2004	16.490	950	15,540	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	1,253	451,253	450,000	1,253	25,14	0,82	20,67	19,12	459
28.03.2004	14.057	950	13,107	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-1,180	448,820	448,820	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
29.03.2004	12.652	950	11,702	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14,274	-2,572	446,247	446,247	0	25,09	0,82	20,61	19,07	458
30.03.2004	11.559	950	10,609	300,37	15,67	15,45	165,0	24	14,255	-3,646	442,602	442,602	0	25,01	0,82	20,53	18,99	456
31.03.2004	10,761	950	9,811	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14,222	-4,411	438,191	438,191	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
01.04.2004	9,293	950	8,343	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14,183	-5,840	432,351	432,351	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
02.04.2004	8,136	950	7,186	300,18	15,48	15,27	163,5	24	14,130	-6,945	425,406	425,406	0	24,49	0,82	20,03	18,53	445
03.04.2004	7,813	950	6,863	300,09	15,39	15,18	162,9	24	14,071	-7,208	418,199	418,199	0	24,25	0,82	19,79	18,30	439
04.04.2004	8,350	950	7,400	299,98	15,28	15,07	162,0	24	13,998	-6,598	411,601	411,601	0	23,95	0,81	19,50	18,03	433
05.04.2004	11,831	950	10,881	299,89	15,19	14,98	161,3	24	13,938	-3,057	408,543	408,543	0	23,71	0,81	19,26	17,81	427
06.04.2004	13,234	950	12,284	299,85	15,15	14,94	161,0	24	13,911	-1,628	406,916	406,916	0	23,60	0,81	19,15	17,71	425
07.04.2004	15,395	950	14,445	299,83	15,13	14,92	160,9	24	13,898	-547	407,463	407,463	0	23,55	0,81	19,10	17,66	424
08.04.2004	19,454	950	18,504	299,83	15,13	14,92	160,9	24	13,898	4,606	412,069	412,069	0	23,55	0,81	19,10	17,66	424
09.04.2004	22,077	950	21,127	299,90	15,20	14,99	161,4	24	13,945	7,182	419,251	419,251	0	23,73	0,81	19,28	17,84	428
10.04.2004	20,233	950	19,283	300,00	15,30	15,09	162,2	24	14,011	5,272	424,522	424,522	0	24,00	0,81	19,55	18,08	434
11.04.2004	18,173	950	17,223	300,07	15,37	15,16	162,7	24	14,058	3,166	427,688	427,688	0	24,19	0,82	19,73	18,25	438
12.04.2004	15,907	950	14,957	300,12	15,42	15,21	163,1	24	14,091	866	428,554	428,554	0	24,33	0,82	19,87	18,38	441
13.04.2004	13,646	950	12,696	300,13	15,43	15,22	163,2	24	14,097	-1,401	427,153	427,153	0	24,36	0,82	19,89	18,40	442
14.04.2004	11,359	950	10,409	300,11	15,41	15,20	163,0	24	14,084	-3,675	423,478	423,478	0	24,30	0,82	19,84	18,35	440
15.04.2004	10,246	950	9,296	300,06	15,36	15,15	162,6	24	14,051	-4,755	418,723	418,723	0	24,17	0,82	19,71	18,23	438
16.04.2004	8,922	950	7,972	299,99	15,29	15,08	162,1	24	14,005	-6,033	412,690	412,690	0	23,98	0,81	19,52	18,06	433
17.04.2004	8,864	950	7,914	299,91	15,21	15,00	161,5	24	13,951	-6,037	406,653	406,653	0	23,76	0,81	19,31	17,86	429
18.04.2004	9,639	950	8,689	299,82	15,12	14,91	160,8	24	13,891	-5,202	401,451	401,451	0	23,52	0,81	19,07	17,64	423
19.04.2004	9,108	950	8,158	299,75	15,05	14,84	160,2	24	13,844	-5,687	395,764	395,764	0	23,33	0,81	18,88	17,47	419
20.04.2004	7,076	950	6,126	299,67	14,97	14,77	159,6	24	13,791	-7,665	388,099	388,099	0	23,12	0,81	18,67	17,27	414
21.04.2004	6,378	950	5,428	299,56	14,86	14,66	158,8	24	13,716	-8,288	379,811	379,811	0	22,83	0,81	18,38	17,00	408
22.04.2004	8,392	950	7,442	299,45	14,75	14,55	157,9	24	13,641	-6,200	373,611	373,611	0	22,54	0,80	18,08	16,73	401
23.04.2004	6,418	950	5,468	299,37	14,67	14,47	157,3	24	13,587	-8,118	365,493	365,493	0	22,32	0,80	17,87	16,53	397
24.04.2004	5,504	950	5,554	299,25	14,55	14,35	156,3	24	13,504	-8,950	356,543	356,543	0	22,01	0,80	17,55	16,23	390
25.04.2004	4,413	950	3,463	299,13	14,43	14,24	155,3	24	13,421	-9,958	346,585	346,585	0	21,69	0,79	17,23	15,94	383
30.04.2004	7,201	950	3,374	298,98	14,28	14,09	154,1	0	0	1,646	348,231	348,231	0	21,30	0,79	16,83	15,57	0
01.05.2004	6,770	950	3,569	299,01	14,31	14,12	154,4	0	0	1,841	350,072	350,072	0	21,38	0,79	16,91	15,64	0
27.04.2004	4,519	950	4,267	299,23	14,53	14,33	156,1	0	0	1,944	352,016	352,016	0	21,43	0,79	16,96	15,69	0
28.04.2004	4,622	950	3,672	299,03	14,33	14,14	154,5	0	0	2,539	366,704	366,704	0	21,43	0,79	16,76	16,28	0
29.04.2004	6,213	950	5,263	299,07	14,37	14,18	154,9	0	0	3,130	369,534	369,534	0	21,54	0,79	17,07	15,79	0
04.05.2004	4,132	950	3,182	299,31	14,61	14,41	156,8	0	0	1,454	371,288	371,288	0	22,17	0,80	17,71	16,38	0
05.05.2004	4,441	950	3,491	299,33	14,63	14,43	156,9	0	0	1,763	373,051	373,051	0	22,22	0,80	17,76	16,43	0
06.05.2004	10,586	950	9,636	299,36	14,66	14,46	157,2	0	0	7,908	380,959	380,959	0	22,30	0,80	17,84	16,50	0
07.05.2004	34,545	950	33,595	299,47	14,77	14,57	158,0	0	0	31,867	412,826	412,826	0	22,59	0,80	18,14	16,78	0

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kWh/d	Energie	
08.05.2004	49.014	950	48.064	299,91	15,21	15,00	161,5	0	0	46.336	459.162	450.000	9.162	23,76	0,81	19,31	17,86	0
09.05.2004	34.841	950	33.891	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	19.604	469.604	450.000	19.604	25,14	0,82	20,67	19,12	459
10.05.2004	26.760	950	25.810	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	11.523	461.523	450.000	11.523	25,14	0,82	20,67	19,12	459
11.05.2004	18.203	950	17.253	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	2.965	452.965	450.000	2.965	25,14	0,82	20,67	19,12	459
12.05.2004	13.760	950	12.810	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	-1.477	448.523	448.523	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
13.05.2004	15.137	950	14.187	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14.274	-87	448.436	448.436	0	25,09	0,82	20,61	19,07	458
14.05.2004	12.880	950	11.930	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14.274	-2.344	446.092	446.092	0	25,09	0,82	20,61	19,07	458
15.05.2004	10.843	950	9.893	300,36	15,66	15,44	164,9	24	14.248	-4.355	441.737	441.737	0	24,98	0,82	20,51	18,97	455
16.05.2004	10.426	950	9.476	300,30	15,60	15,38	164,5	24	14.209	-4.733	437.004	437.004	0	24,82	0,82	20,35	18,82	452
17.05.2004	8.526	950	7.576	300,24	15,54	15,32	164,0	24	14.170	-6.594	430.410	430.410	0	24,65	0,82	20,19	18,67	448
18.05.2004	6.709	950	5.759	300,16	15,46	15,25	163,4	24	14.117	-8.358	422.052	422.052	0	24,44	0,82	19,97	18,48	443
19.05.2004	6.461	950	5.511	300,04	15,34	15,13	162,5	24	14.038	-8.527	413.526	413.526	0	24,11	0,82	19,66	18,18	436
20.05.2004	6.081	950	5.131	299,92	15,22	15,01	161,6	24	13.958	-8.827	404.699	404.699	0	23,79	0,81	19,34	17,89	429
21.05.2004	5.520	950	4.570	299,80	15,10	160,6	24	13.878	-9.308	395.391	395.391	0	23,47	0,81	19,02	17,59	422	
22.05.2004	4.734	950	3.784	299,67	14,97	14,77	159,6	24	13.791	-10.007	385.384	385.384	0	23,12	0,81	18,67	17,27	414
23.05.2004	4.292	950	3.342	299,53	14.83	14.63	158,5	24	13.696	-10.354	375.030	375.030	0	22,75	0,80	18,30	16,92	406
24.05.2004	3.520	950	2.570	299,39	14.69	14,49	157,4	24	13.600	-11.030	364.000	364.000	0	22,38	0,80	17,92	16,58	398
25.05.2004	2.620	950	1.670	299,23	14.53	14,33	156,1	24	13.491	-11.820	352.179	352.179	0	21,96	0,80	17,50	16,18	388
26.05.2004	3.320	950	2.370	299,07	14,37	14,18	154,9	24	13.380	-11.009	341.170	341.170	0	21,54	0,79	17,07	15,79	379
27.05.2004	2.246	950	1.296	298,89	14.19	14,00	153,4	0	0	-432	340.738	340.738	0	21,07	0,79	16,59	15,35	0
28.05.2004	2.756	950	1.806	298,89	14.19	14,00	153,4	0	0	78	340.817	340.817	0	21,07	0,79	16,59	15,35	0
29.05.2004	2.772	950	1.820	298,89	14.19	14,00	153,4	0	0	94	340.911	340.911	0	21,07	0,79	16,59	15,35	0
30.05.2004	2.778	950	1.828	298,89	14.19	14,00	153,4	0	0	100	341.011	341.011	0	21,07	0,79	16,59	15,35	0
31.05.2004	4.625	950	3.675	298,89	14.19	14,00	153,4	0	0	1.947	342.957	342.957	0	21,07	0,79	16,59	15,35	0
01.06.2004	3.349	950	2.399	298,92	14.22	14,03	153,6	0	0	671	343.628	343.628	0	21,15	0,79	16,67	15,42	0
02.06.2004	2.958	950	2.008	298,93	14.23	14,04	153,7	0	0	280	343.909	343.909	0	21,17	0,79	16,70	15,45	0
03.06.2004	2.975	950	2.028	298,94	14.24	14,05	153,8	0	0	300	344.209	344.209	0	21,20	0,79	16,73	15,47	0
04.06.2004	2.785	950	1.835	298,94	14.24	14,05	153,8	0	0	107	344.316	344.316	0	21,20	0,79	16,73	15,47	0
05.06.2004	2.660	950	1.710	298,94	14.24	14,05	153,8	0	0	-18	344.298	344.298	0	21,20	0,79	16,73	15,47	0
06.06.2004	986	950	36	298,94	14.24	14,05	153,8	0	0	-1.692	342.606	342.606	0	21,20	0,79	16,73	15,47	0
07.06.2004	2.535	950	1.585	298,92	14.22	14,03	153,6	0	0	-143	342.463	342.463	0	21,15	0,79	16,67	15,42	0
08.06.2004	1.838	950	888	298,91	14.21	14,02	153,6	0	0	-840	341.623	341.623	0	21,12	0,79	16,65	15,40	0
09.06.2004	1.119	950	169	298,90	14.20	14,01	153,5	0	0	-1.559	340.064	340.064	0	21,10	0,79	16,62	15,37	0
10.06.2004	1.915	950	965	298,88	14.18	13,99	153,3	0	0	-763	339.301	339.301	0	21,04	0,79	16,57	15,32	0
11.06.2004	2.590	950	1.640	298,87	14.17	13,98	153,2	0	0	-88	339.213	339.213	0	21,02	0,79	16,54	15,30	0
12.06.2004	2.567	950	1.617	298,86	14.16	13,97	153,2	0	0	-111	339.102	339.102	0	20,99	0,79	16,51	15,27	0
13.06.2004	2.580	950	1.630	298,86	14.16	13,97	153,2	0	0	-98	339.004	339.004	0	20,99	0,79	16,51	15,27	0
14.06.2004	1.918	950	968	298,86	14.16	13,97	153,2	0	0	-760	338.245	338.245	0	20,99	0,79	16,51	15,27	0
15.06.2004	1.884	950	934	298,85	14.15	13,96	153,1	0	0	-794	337.451	337.451	0	20,97	0,79	16,49	15,25	0
16.06.2004	1.430	950	480	298,84	14.14	13,95	153,0	0	0	-1.248	336.203	336.203	0	20,94	0,79	16,46	15,23	0
17.06.2004	2.652	950	1.702	298,82	14.12	13,93	152,8	0	0	-26	336.177	336.177	0	20,89	0,79	16,41	15,18	0
18.06.2004	3.214	950	2.264	298,82	14.12	13,93	152,8	0	0	536	336.712	336.712	0	20,89	0,79	16,41	15,18	0
19.06.2004	1.644	950	694	298,83	14.13	13,94	152,9	0	0	-1.034	335.678	335.678	0	20,91	0,79	16,43	15,20	0
20.06.2004	879	950	-71	298,81	14.11	13,92	152,8	0	0	-1.799	333.879	333.879	0	20,86	0,79	16,38	15,15	0

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d
21.06.2004	2.406	950	1.456	298,78	14,08	13,89	152,5	0	0	-272	333,607	0	20,79	0,78	16,30	15,08	0
22.06.2004	3.217	950	2.267	298,78	14,08	13,89	152,5	0	0	539	334,146	0	20,79	0,78	16,30	15,08	0
23.06.2004	2.477	950	1.527	298,79	14,09	13,90	152,6	0	0	-201	333,945	0	20,81	0,78	16,33	15,10	0
24.06.2004	2.446	950	1.496	298,78	14,08	13,89	152,5	0	0	-232	333,713	0	20,79	0,78	16,30	15,08	0
25.06.2004	1.603	950	653	298,78	14,08	13,89	152,5	0	0	-1.075	332,638	0	20,79	0,78	16,30	15,08	0
26.06.2004	1.692	950	742	298,76	14,06	13,87	152,3	0	0	-986	331,652	0	20,73	0,78	16,25	15,03	0
27.06.2004	2.040	950	1.090	298,75	14,05	13,86	152,3	0	0	-638	331,014	0	20,71	0,78	16,22	15,00	0
28.06.2004	1.206	950	256	298,74	14,04	13,85	152,2	0	0	-1.472	329,542	0	20,68	0,78	16,19	14,98	0
29.06.2004	1.972	950	1.022	298,71	14,01	13,82	151,9	0	0	-706	328,836	0	20,60	0,78	16,12	14,91	0
30.06.2004	1.180	950	230	298,70	14,00	13,81	151,9	0	0	-1.498	327,338	0	20,58	0,78	16,09	14,88	0
01.07.2004	1.642	950	692	298,68	13,98	13,80	151,7	0	0	-1.036	326,301	0	20,53	0,78	16,04	14,83	0
02.07.2004	4.004	950	3.054	298,66	13,96	13,78	151,5	0	0	1.326	327,627	0	20,48	0,78	15,98	14,78	0
03.07.2004	2.445	950	1.495	298,68	13,98	13,80	151,7	0	0	-233	327,394	0	20,53	0,78	16,04	14,83	0
04.07.2004	1.668	950	718	298,68	13,98	13,80	151,7	0	0	-1.010	326,385	0	20,53	0,78	16,04	14,83	0
05.07.2004	1.646	950	696	298,66	13,96	13,78	151,5	0	0	-1.032	325,353	0	20,48	0,78	15,98	14,78	0
06.07.2004	945	950	-5	298,65	13,95	13,77	151,4	0	0	-1.733	323,620	0	20,45	0,78	15,96	14,76	0
07.07.2004	2.486	950	1.536	298,62	13,92	13,74	151,2	0	0	-192	323,427	0	20,37	0,78	15,88	14,69	0
08.07.2004	1.800	950	850	298,62	13,92	13,74	151,2	0	0	-878	322,550	0	20,37	0,78	15,88	14,69	0
09.07.2004	9.519	950	8.569	298,61	13,91	13,73	151,1	0	0	6.841	329,391	0	20,35	0,78	15,85	14,66	0
10.07.2004	3.188	950	2.238	298,71	14,01	13,82	151,9	0	0	510	329,900	0	20,60	0,78	16,12	14,91	0
11.07.2004	3.857	950	2.907	298,72	14,02	13,83	152,0	0	0	1.179	331,079	0	20,63	0,78	16,14	14,93	0
12.07.2004	6.603	950	5.653	298,74	14,04	13,85	152,2	0	0	3.925	335,004	0	20,68	0,78	16,19	14,98	0
13.07.2004	5.654	950	4.704	298,80	14,10	13,91	152,7	0	0	2.976	337,980	0	20,84	0,78	16,35	15,13	0
14.07.2004	7.968	950	7.018	298,84	14,14	13,95	153,0	0	0	5.290	343,270	0	20,94	0,79	16,46	15,23	0
15.07.2004	8.319	950	7.369	298,93	14,23	14,04	153,7	0	0	5.641	348,911	0	21.17	0,79	16,70	15,45	0
16.07.2004	9.498	950	8.548	299,02	14,32	14,13	154,5	0	0	6.820	355,731	0	21,41	0,79	16,94	15,67	0
17.07.2004	8.339	950	7.389	299,12	14,42	14,23	155,3	0	0	5.661	361,392	0	21,67	0,79	17,20	15,91	0
18.07.2004	9.203	950	8.253	299,20	14,50	14,30	155,9	0	0	6.525	367,917	0	21,88	0,80	17,42	16,11	0
19.07.2004	12.389	950	11.439	299,29	14,59	14,39	156,6	0	0	9.711	377,628	0	22,11	0,80	17,66	16,33	0
20.07.2004	18.001	950	17.051	299,42	14,72	14,52	157,6	0	0	15.323	392,951	0	22,46	0,80	18,00	16,65	0
21.07.2004	15.012	950	14.062	299,63	14,93	14,73	159,3	0	0	16.334	405,285	0	23,01	0,81	18,56	17,17	0
22.07.2004	13.159	950	12.209	299,80	15,10	14,89	160,6	0	0	10.481	415,766	0	23,47	0,81	19,02	17,59	0
23.07.2004	10.148	950	9.198	299,95	15,25	15,04	161,8	0	0	7.470	423,236	0	23,87	0,81	19,42	17,96	0
24.07.2004	8.736	950	7.786	300,06	15,36	15,15	162,6	0	0	6.058	429,294	0	24,17	0,82	19,71	18,23	0
25.07.2004	10.420	950	9.470	300,14	15,44	15,23	163,2	0	0	7.742	437,036	0	24,38	0,82	19,92	18,43	0
26.07.2004	8.694	950	7.744	300,24	15,54	15,32	164,0	0	0	6.016	443,051	0	24,65	0,82	20,27	18,75	450
27.07.2004	7.018	950	6.068	300,32	15,62	15,40	164,6	0	0	4.340	447,391	0	24,87	0,82	20,40	18,87	0
28.07.2004	5.521	950	4.571	300,38	15,68	15,46	165,1	0	0	2.843	450,000	0	234	0,82	20,56	19,02	0
29.07.2004	4.563	950	3.613	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	-10.674	439,326	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
30.07.2004	4.564	950	3.614	300,27	15,57	15,35	164,2	24	14.189	-10.575	428,751	0	24,74	0,82	20,27	18,75	450
31.07.2004	3.725	950	2.775	300,13	15,43	15,22	163,2	24	14.097	-11.322	417,429	0	24,36	0,82	20,19	18,67	0
01.08.2004	3.259	950	2.309	299,97	15,27	15,06	161,9	24	13.991	-11.683	405,747	0	23,92	0,81	19,47	18,01	442
02.08.2004	2.571	950	1.621	299,81	15,11	14,90	160,7	24	13.885	-12.263	393,483	0	23,49	0,81	19,04	17,61	432
03.08.2004	2.256	950	1.306	299,64	14,94	14,74	159,4	24	13.770	-12.464	381,019	0	23,04	0,81	18,59	17,19	413

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
04.08.2004	2.716	950	1.766	299,47	14.77	158,0	24	13.655	-11.889	369.130	0	22.59	0.80	18.14	16.78	403		
05.08.2004	2.299	950	1.349	299,30	14.60	14,40	24	13.539	-12.190	356.940	0	22.14	0.80	17.68	16.36	393		
06.08.2004	2.085	950	1.135	299,14	14.44	14,25	24	13.428	-12.293	344.647	0	21.72	0.79	17.26	15.96	383		
07.08.2004	2.599	950	1.649	298,95	14.25	14,06	24	153,9	0	0	0	21.23	0.79	16.75	15,50	0		
08.08.2004	4.501	950	3.551	298,95	14.25	14,06	24	153,9	0	0	1.823	346.391	0	21.23	0.79	16.75	15,50	
09.08.2004	2.139	950	1.189	298,98	14.28	14,09	24	154,1	0	0	-539	345.852	0	21.30	0.79	16.83	15,57	
10.08.2004	2.492	950	1.542	298,97	14.27	14,08	24	154,1	0	0	-186	345.666	0	21.28	0.79	16.81	15,54	
11.08.2004	7.403	950	6.453	298,97	14.27	14,08	24	154,1	0	0	4.725	350.391	0	21.28	0.79	16.81	15,54	
12.08.2004	25.727	950	24.777	299,04	14.34	14,15	24	154,6	0	0	23.049	373.440	0	21.46	0.79	16.99	15,72	
13.08.2004	27.906	950	26.956	299,36	14.66	14,46	24	157,2	0	0	25.228	398.668	0	22.30	0.80	17.84	16,50	
14.08.2004	30.915	950	29.965	299,71	15.01	14,80	24	159,9	0	0	28.237	426.905	0	23.23	0.81	18.78	17,37	
15.08.2004	24.860	950	23.910	300,11	15.41	15,20	24	163,0	0	0	22.182	449.087	0	24.30	0.82	19.84	18,35	
16.08.2004	19.555	950	18.605	300,40	15.70	15,48	24	165,2	0	0	16.877	465.964	450.000	25,09	0.82	20.61	19,07	
17.08.2004	16.829	950	15.879	300,42	15.72	15,50	24	165,4	24	14.287	1.592	451.592	0	25,14	0.82	20.67	19,12	
18.08.2004	15.107	950	14.157	300,42	15.72	15,50	24	165,4	24	14.287	-130	449.870	0	25,14	0.82	20.67	19,12	
19.08.2004	10.902	950	9.952	300,41	15.71	15,49	24	165,3	24	14.281	-4.328	445.542	445.542	0	25,12	0.82	20.64	19,09
20.08.2004	9.591	950	8.641	300,36	15.66	15,44	24	164,9	24	14.248	-5.607	439.935	439.935	0	24.98	0.82	20.51	18,97
21.08.2004	10.764	950	9.814	300,28	15.58	15,36	24	164,3	24	14.196	-4.382	435.553	435.553	0	24.76	0.82	20.29	18,77
22.08.2004	9.275	950	8.325	300,22	15.52	15,30	24	163,8	24	14.156	-5.832	429.722	429.722	0	24.60	0.82	20.13	18,62
23.08.2004	7.919	950	6.969	300,15	15.45	15,24	24	163,3	24	14.110	-7.141	422.581	422.581	0	24.41	0.82	19.95	18,45
24.08.2004	8.308	950	7.358	300,05	15.35	15,14	24	162,6	24	14.044	-6.686	415.894	415.894	0	24.14	0.82	19.68	18,21
25.08.2004	8.037	950	8.037	299,95	15.25	15,04	24	161,8	24	13.978	-5.941	409.954	409.954	0	23.87	0.81	19.42	17,96
26.08.2004	11.815	950	10.865	299,87	15.17	14,96	24	161,2	24	13.925	-3.059	406.894	406.894	0	23.65	0.81	19.20	17,76
27.08.2004	8.219	950	7.269	299,83	15.13	14,92	24	160,9	24	13.898	-6.629	400.265	400.265	0	23.55	0.81	19.10	17,66
28.08.2004	15.740	950	14.790	299,73	15.03	14,82	24	160,1	24	13.831	959	401.224	401.224	0	23.28	0.81	18.83	17,42
29.08.2004	18.913	950	17.963	299,75	15.05	14,84	24	160,2	24	13.844	4.119	405.343	405.343	0	23.33	0.81	18.88	17,47
30.08.2004	19.138	950	18.188	299,81	15.11	14,90	24	160,7	24	13.885	4.304	409.647	409.647	0	23.49	0.81	19.04	17,61
31.08.2004	16.477	950	15.527	299,87	15.17	14,96	24	161,2	24	13.925	1.602	411.249	411.249	0	23.65	0.81	19.20	17,76
01.09.2004	14.759	950	13.759	299,89	15.19	14,98	24	161,3	24	13.938	-179	411.071	411.071	0	23.71	0.81	19.26	17,81
02.09.2004	13.333	950	12.383	299,88	15.18	14,97	24	161,2	24	13.931	-1.548	409.572	409.572	0	23.68	0.81	19.23	17,79
03.09.2004	11.697	950	10.747	299,86	15.16	14,95	24	161,1	24	13.918	-3.171	406.351	406.351	0	23.63	0.81	19.18	17,74
04.09.2004	10.004	950	9.054	299,82	15.12	14,91	24	160,8	24	13.891	-4.838	401.513	401.513	0	23.52	0.81	19.07	17,64
05.09.2004	8.227	950	7.277	299,75	15.05	14,84	24	160,2	24	13.844	-6.568	394.946	394.946	0	23.33	0.81	18.88	17,47
06.09.2004	7.482	950	6.532	299,66	14.96	14,76	24	159,5	24	13.784	-7.252	387.694	387.694	0	23.09	0.81	18.64	17,24
07.09.2004	5.843	950	4.893	299,56	14.86	14,66	24	158,8	24	13.716	-8.824	375.870	375.870	0	22.83	0.81	18.38	17,00
08.09.2004	5.460	950	4.510	299,44	14.74	14,54	24	157,8	24	13.635	-9.125	369.745	369.745	0	22.51	0.80	18.06	16,70
09.09.2004	4.780	950	3.830	299,31	14.61	14,41	24	156,8	24	13.546	-9.716	360.029	360.029	0	22.17	0.80	17.71	16,38
10.09.2004	5.239	950	4.289	299,18	14.48	14,29	24	155,7	24	13.456	-9.167	350.862	350.862	0	21.83	0.80	17,36	16,06
11.09.2004	7.148	950	6.198	299,05	14.35	14,16	24	154,7	24	13.366	-7.168	343.694	343.694	0	21.49	0.79	17.02	15,74
12.09.2004	4.235	950	3.285	298,93	14.23	14,04	24	153,7	0	0	1.557	345.251	345.251	0	21.17	0.79	16,70	15,45
13.09.2004	5.597	950	4.647	298,96	14.26	14,07	24	154,0	0	0	2.919	348.170	348.170	0	21.25	0.79	16,75	15,52
14.09.2004	3.096	950	2.146	299,00	14.30	14,11	24	154,3	0	0	418	348.587	348.587	0	21.36	0.79	16,88	15,62
15.09.2004	2.983	950	2.033	299,01	14.31	14,12	24	154,4	0	0	305	348.892	348.892	0	21.38	0.79	16,91	15,64
16.09.2004	3.969	950	3.019	299,02	14.32	14,13	24	154,5	0	0	1.291	350.183	350.183	0	21.41	0.79	16,94	15,67

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögli- cher Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
17.09.2004	2.611	950	1.661	299,04	14,34	14,15	154,6	0	0	-67	350,116	0	21,46	0,79	16,99	15,72	0	
18.09.2004	2.447	950	1.497	299,04	14,34	14,15	154,6	0	0	-231	349,885	0	21,46	0,79	16,99	15,72	0	
19.09.2004	2.740	950	1.790	299,03	14,33	14,14	154,5	0	0	62	349,947	0	21,43	0,79	16,96	15,69	0	
20.09.2004	3.371	950	2.421	299,03	14,33	14,14	154,5	0	0	693	350,640	0	21,43	0,79	16,96	15,69	0	
21.09.2004	6.834	950	5.884	299,04	14,34	14,15	154,6	0	0	4.156	354,796	0	21,46	0,79	16,99	15,72	0	
22.09.2004	31.966	950	31.016	299,11	14,41	14,22	155,2	0	0	29,288	384,084	0	21,64	0,79	17,18	15,89	0	
23.09.2004	61.686	950	60.736	299,51	14,81	14,61	158,4	0	0	59,008	443,092	0	22,69	0,80	18,24	16,87	0	
24.09.2004	54.813	950	53.863	300,32	15,62	15,40	164,6	0	0	52,135	495,227	450,000	45,227	0,82	20,40	18,87	0	
25.09.2004	38.650	950	37.700	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	23,413	473,413	450,000	23,413	0,82	20,67	19,12	459	
26.09.2004	30.155	950	29.205	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	14,918	464,918	450,000	14,918	0,82	20,67	19,12	459	
27.09.2004	21.997	950	21.047	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	6,760	456,760	450,000	6,760	0,82	20,67	19,12	459	
28.09.2004	18.751	950	17.801	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	3,514	453,514	450,000	3,514	0,82	20,67	19,12	459	
29.09.2004	16.665	950	15.715	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	1,427	451,427	450,000	1,427	0,82	20,67	19,12	459	
30.09.2004	15.148	950	14.198	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-89	449,911	449,911	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
01.10.2004	13.835	950	12.885	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	-1.396	448,515	448,515	0	25,12	0,82	20,64	19,09	458
02.10.2004	13.149	950	12.199	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14,274	-2.075	446,440	446,440	0	25,09	0,82	20,61	19,07	458
03.10.2004	9.930	950	8.980	300,37	15,67	15,45	165,0	24	14,255	-5.275	441,166	441,166	0	25,01	0,82	20,53	18,99	456
04.10.2004	8.827	950	7.877	300,30	15,60	15,38	164,5	24	14,209	-6.332	434,834	434,834	0	24,82	0,82	20,35	18,82	452
05.10.2004	9.618	950	8.668	300,22	15,52	15,30	163,8	24	14,156	-5,488	429,346	429,346	0	24,60	0,82	20,13	18,62	447
06.10.2004	8.372	950	7.422	300,14	15,44	15,23	163,2	24	14,104	-6,682	422,664	422,664	0	24,38	0,82	19,92	18,43	442
07.10.2004	7.194	950	6.244	300,05	15,35	15,14	162,6	24	14,044	-7,800	414,863	414,863	0	24,14	0,82	19,68	18,21	437
08.10.2004	5.594	950	4.644	299,94	15,24	15,03	161,7	24	13,971	-9,327	405,536	405,536	0	23,84	0,81	19,39	17,93	430
09.10.2004	5.231	950	4.281	299,81	15,11	14,90	160,7	24	13,885	-9,604	395,932	395,932	0	23,49	0,81	19,04	17,61	423
10.10.2004	3.740	950	2.790	299,67	14,97	14,77	159,6	24	13,791	-11,001	384,932	384,932	0	23,12	0,81	18,67	17,27	414
11.10.2004	4.510	950	3.560	299,52	14,82	14,62	158,4	24	13,689	-10,129	374,802	374,802	0	22,72	0,80	18,27	16,90	406
12.10.2004	4.091	950	3.141	299,38	14,68	14,48	157,3	24	13,594	-10,453	364,350	364,350	0	22,35	0,80	17,90	16,55	397
13.10.2004	3.403	950	2.453	299,24	14,54	14,34	156,2	24	13,497	-11,045	353,305	353,305	0	21,98	0,80	17,52	16,21	389
14.10.2004	3.362	950	2.412	299,09	14,39	14,20	155,0	24	13,394	-10,982	342,323	342,323	0	21,59	0,79	17,12	15,84	380
15.10.2004	3.895	950	2.945	298,91	14,21	14,02	153,6	0	0	1,217	343,541	343,541	0	21,12	0,79	16,65	15,40	0
16.10.2004	6.478	950	5.528	298,93	14,23	14,04	153,7	0	0	3,800	347,341	0	21,17	0,79	16,70	15,45	0	
17.10.2004	6.640	950	5.690	298,99	14,29	14,0	154,2	0	0	3,962	351,303	0	21,33	0,79	16,86	15,59	0	
18.10.2004	6.470	950	5.250	299,05	14,35	14,16	154,7	0	0	3,792	355,095	0	21,49	0,79	17,02	15,74	0	
19.10.2004	5.481	950	4.531	299,11	14,41	14,22	155,2	0	0	2,803	357,898	0	21,64	0,79	17,18	15,89	0	
20.10.2004	6.000	950	5.050	299,15	14,45	14,26	155,5	0	0	3,322	361,221	0	21,75	0,79	17,28	15,99	0	
21.10.2004	7.493	950	6.543	299,20	14,50	14,30	155,9	0	0	4,815	366,036	0	21,88	0,80	17,42	16,11	0	
22.10.2004	7.249	950	6.299	299,26	14,56	14,36	156,4	0	0	4,571	370,607	0	22,03	0,80	17,58	16,26	0	
23.10.2004	7.845	950	6.895	299,32	14,62	14,42	156,9	0	0	5,167	375,774	0	22,19	0,80	17,74	16,41	0	
24.10.2004	8.699	950	7.749	299,39	14,69	14,49	157,4	0	0	6,021	381,795	0	22,38	0,80	17,92	16,58	0	
25.10.2004	7.683	950	6.753	299,48	14,78	14,58	158,1	0	0	5,005	386,800	0	22,61	0,80	18,16	16,80	0	
26.10.2004	7.434	950	6.484	299,55	14,85	14,65	158,7	0	0	4,756	391,556	0	22,80	0,80	18,35	16,97	0	
27.10.2004	5.855	950	4.905	299,61	14,91	14,71	159,1	0	0	3,177	394,733	0	22,96	0,81	18,51	17,12	0	
28.10.2004	8.012	950	7.062	299,66	14,96	14,76	159,5	0	0	5,334	400,067	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0	
29.10.2004	7.625	950	6.675	299,73	15,03	14,82	160,1	0	0	4,947	405,014	0	23,28	0,81	18,83	17,42	0	
30.10.2004	5.938	950	4.988	299,80	15,10	14,89	160,6	0	0	3,260	408,275	0	23,47	0,81	19,02	17,59	0	

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einbau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kWh/d	Energie kWh/d		
31.10.2004	5.940	950	4.990	299,85	15,15	14,94	161,0	0	0	3.262	411,537	0	23,60	0,81	19,15	17,71	0	
01.11.2004	4.004	950	3.054	299,89	15,19	14,98	161,3	0	0	1.326	412,863	0	23,71	0,81	19,26	17,81	0	
02.11.2004	4.151	950	3.201	299,91	15,21	15,00	161,5	0	0	1.473	414,336	0	23,76	0,81	19,31	17,86	0	
03.11.2004	6.053	950	5.103	299,93	15,23	15,02	161,6	0	0	3.375	417,711	0	23,82	0,81	19,36	17,91	0	
04.11.2004	3.720	950	2.770	299,98	15,28	15,07	162,0	0	0	1.042	418,753	0	23,95	0,81	19,50	18,03	0	
05.11.2004	3.973	950	3.023	299,99	15,29	15,08	162,1	0	0	1.295	420,048	0	23,98	0,81	19,52	18,06	0	
06.11.2004	5.413	950	4.463	300,01	15,31	15,10	162,2	0	0	2.735	422,783	0	24,03	0,81	19,58	18,11	0	
07.11.2004	4.038	950	3.088	300,05	15,35	15,14	162,6	0	0	1.360	424,143	0	24,14	0,82	19,68	18,21	0	
08.11.2004	3.832	950	2.882	300,07	15,37	15,16	162,7	0	0	1.154	425,297	0	24,19	0,82	19,73	18,25	0	
09.11.2004	6.243	950	5.293	300,08	15,38	15,17	162,8	0	0	3.565	428,862	0	24,22	0,82	19,76	18,28	0	
10.11.2004	7.129	950	6.179	300,13	15,43	15,22	163,2	0	0	4.451	433,313	0	24,36	0,82	19,89	18,40	0	
11.11.2004	6.344	950	5.394	300,20	15,50	15,28	163,7	0	0	3.686	436,979	0	24,54	0,82	20,08	18,57	0	
12.11.2004	14.543	950	13.593	300,24	15,54	15,32	164,0	0	0	11.865	448,844	0	24,65	0,82	20,19	18,67	0	
13.11.2004	26.692	950	25.742	300,40	15,70	15,48	165,2	0	0	24,014	472,858	0	25,09	0,82	20,61	19,07	0	
14.11.2004	27.176	950	26.226	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	11.939	461,939	450,000	11.939	25,14	0,82	20,67	19,12	459
15.11.2004	20.776	950	19.826	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	5,538	455,538	450,000	5,538	25,14	0,82	20,67	19,12	459
16.11.2004	19.406	950	18.456	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	4,168	454,168	450,000	4,168	25,14	0,82	20,67	19,12	459
17.11.2004	59.401	950	58.451	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	44,164	494,164	450,000	44,164	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.11.2004	163.136	950	162.186	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	147,899	597,899	450,000	147,899	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.11.2004	165.406	950	164.456	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	150,169	600,169	450,000	150,169	25,14	0,82	20,67	19,12	459
20.11.2004	81.352	950	80.402	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	66,115	516,115	450,000	66,115	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.11.2004	59.980	950	59.030	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	44,743	494,743	450,000	44,743	25,14	0,82	20,67	19,12	459
22.11.2004	81.061	950	80.111	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	65,823	515,823	450,000	65,823	25,14	0,82	20,67	19,12	459
23.11.2004	77.906	950	76.956	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	62,669	512,669	450,000	62,669	25,14	0,82	20,67	19,12	459
24.11.2004	58.706	950	57.756	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	43,469	493,469	450,000	43,469	25,14	0,82	20,67	19,12	459
25.11.2004	38.647	950	37.697	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	23,410	473,410	450,000	23,410	25,14	0,82	20,67	19,12	459
26.11.2004	25.123	950	24.173	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	9,885	459,885	450,000	9,885	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.11.2004	20.172	950	19.222	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	4,934	454,934	450,000	4,934	25,14	0,82	20,67	19,12	459
28.11.2004	14.828	950	13.878	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-409	449,591	449,591	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
29.11.2004	13.165	950	12.215	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	-2.066	447,525	447,525	0	25,12	0,82	20,64	19,09	458
30.11.2004	12.102	950	11.152	300,38	15,68	15,46	165,1	24	14,261	-3.109	444,416	444,416	0	25,03	0,82	20,56	19,02	456
01.12.2004	11.328	950	10.378	300,34	15,64	15,42	164,8	24	14,235	-3.857	440,559	440,559	0	24,93	0,82	20,45	18,92	454
02.12.2004	11.190	950	10.240	300,29	15,59	15,37	164,4	24	14,202	-3.962	436,597	436,597	0	24,79	0,82	20,32	18,80	451
03.12.2004	8.731	950	7.781	300,24	15,54	15,32	164,0	24	14,170	-6.389	430,209	430,209	0	23,71	0,81	19,26	17,81	427
04.12.2004	9.617	950	8.667	300,15	15,45	15,24	163,3	24	14,110	-5,444	424,765	424,765	0	24,41	0,82	19,95	18,45	443
05.12.2004	7.680	950	6.730	300,08	15,38	15,17	162,8	24	14,064	-7.334	417,431	417,431	0	24,22	0,82	19,76	18,28	439
06.12.2004	8.987	950	8.037	299,97	15,27	15,06	161,9	24	13,991	-5,954	411,477	411,477	0	23,92	0,81	19,47	18,01	432
07.12.2004	7.296	950	6.346	299,89	15,19	14,98	161,3	24	13,938	-7,592	403,884	403,884	0	23,71	0,81	19,26	17,81	427
08.12.2004	7.032	950	6.082	299,78	15,08	14,87	160,5	24	13,865	-7,783	396,101	396,101	0	23,41	0,81	18,96	17,54	421
09.12.2004	6.579	950	5.629	299,68	14,98	14,78	159,7	24	13,797	-8,168	387,933	387,933	0	23,15	0,81	18,70	17,29	415
10.12.2004	6.595	950	5.645	299,56	14,86	14,66	158,8	24	13,716	-8,071	379,862	379,862	0	22,83	0,81	18,38	17,00	408
11.12.2004	6.291	950	5.341	299,45	14,75	14,55	157,9	24	13,641	-8,301	371,561	371,561	0	22,54	0,80	18,08	16,73	401
12.12.2004	4.114	950	3.164	299,34	14,64	14,44	157,0	24	13,566	-10,402	361,159	361,159	0	22,25	0,80	17,79	16,46	395
13.12.2004	4.480	950	3.530	299,19	14,49	14,29	155,8	24	13,463	-9,933	351,226	351,226	0	21,85	0,80	16,09	17,39	386

Datum	Zu- fluss $m^3/d$	Roh- wasser $m^3/d$	Über- schuss $m^3/d$	Strau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $m^3/d$	Einstau/ Entnahme $m^3/d$	Inhalt m <sup>3</sup>	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf $m^3/d$	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ kW	$P_e$ kW	Energie kWh/d
14.12.2004	4.829	950	3.879	299,05	14,35	14,16	154,7	24	13,366	-9,487	341,739	0	21,49	0,79	17,02	15,74	378
15.12.2004	5.839	950	4.889	298,90	14,20	14,01	153,5	0	0	3,161	344,900	0	21,10	0,79	16,62	15,37	0
16.12.2004	7.090	950	6.140	298,95	14,25	14,06	153,9	0	0	4,412	349,312	0	21,23	0,79	16,75	15,50	0
17.12.2004	13.063	950	12.113	299,02	14,32	14,13	154,5	0	0	10,385	359,696	0	21,41	0,79	16,94	15,67	0
18.12.2004	16.551	950	15.601	299,17	14,47	14,28	155,7	0	0	13,873	373,569	0	21,80	0,80	17,34	16,04	0
19.12.2004	19.128	950	18.178	299,37	14,67	14,47	157,3	0	0	16,450	390,019	0	22,32	0,80	17,87	16,53	0
20.12.2004	19.393	950	18.443	299,59	14,89	14,69	159,0	0	0	16,715	406,734	0	22,91	0,81	18,46	17,07	0
21.12.2004	16.593	950	15.643	299,82	15,12	14,91	160,8	0	0	13,915	420,649	0	23,52	0,81	19,07	17,64	0
22.12.2004	20.302	950	19.352	300,02	15,32	15,11	162,3	0	0	17,624	438,273	0	24,06	0,81	19,60	18,13	0
23.12.2004	31.673	950	30.723	300,26	15,56	15,34	164,2	0	0	28,995	467,268	0	24,71	0,82	20,24	18,72	0
24.12.2004	37.243	950	36.293	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	22,006	472,006	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
25.12.2004	41.390	950	40.440	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	26,153	476,153	0	26,153	0,82	20,67	19,12	459
26.12.2004	35.537	950	34.587	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	20,300	470,300	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.12.2004	26.764	950	25.814	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	11,526	461,526	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
28.12.2004	20.535	950	19.585	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	5,297	455,297	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
29.12.2004	17.902	950	16.952	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	2,665	452,665	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
30.12.2004	15.689	950	14.739	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	452	450,452	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
31.12.2004	19.489	950	18.539	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	4,252	454,252	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459

Jahresarbeitsvermögen [kWh/a] 95.978

218 Tage läuft die Anlage

## (c) WW-Plan Variante III – Betriebsweise b): Außerbetriebsnahme der Anlage in den Sommermonaten

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ kW	$P_e$ kW	Energie kWh/d		
01.01.2004	17.852	950	16.902	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	2.615	452,615	2.615	25,14	0,82	20,67	19,12	459	
02.01.2004	14.698	950	13.748	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	-540	449,460	449,460	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
03.01.2004	11.821	950	10.871	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14.281	-3.410	446,051	446,051	0	25,12	0,82	20,64	19,09	458
04.01.2004	12.032	950	11.082	300,36	15,66	15,44	164,9	24	14.248	-3.166	442,885	442,885	0	24,98	0,82	20,51	18,97	455
05.01.2004	11.752	950	10.802	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14.222	-3.420	439,465	439,465	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
06.01.2004	13.659	950	12.709	300,27	15,57	15,35	164,2	24	14.189	-1.481	437,984	437,984	0	24,74	0,82	20,27	18,75	450
07.01.2004	13.225	950	12.275	300,25	15,55	15,33	164,1	24	14.176	-1.901	436,083	436,083	0	24,68	0,82	20,21	18,70	449
08.01.2004	16.957	950	16.007	300,23	15,53	15,31	163,9	24	14.163	-1.844	437,927	437,927	0	24,63	0,82	20,16	18,65	448
09.01.2004	26.525	950	25,575	300,25	15,55	15,33	164,1	24	14.176	-1.399	449,326	449,326	0	24,68	0,82	20,21	18,70	449
10.01.2004	38.822	950	37.872	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14.281	23.592	472,917	472,917	0	22,917	0,82	20,64	19,09	458
11.01.2004	55.402	950	54.452	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	40.165	490,165	490,165	0	40,165	0,82	20,67	19,12	459
12.01.2004	77.105	950	76.155	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	61.868	511,868	511,868	0	61,868	0,82	20,67	19,12	459
13.01.2004	95.049	950	94.099	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	79.812	529,812	529,812	0	79,812	0,82	20,67	19,12	459
14.01.2004	85.123	950	84.173	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	69.886	519,886	519,886	0	69,886	0,82	20,67	19,12	459
15.01.2004	78.783	950	77.833	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	63.546	513,546	513,546	0	63,546	0,82	20,67	19,12	459
16.01.2004	85.986	950	85.036	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	70.749	520,749	520,749	0	70,749	0,82	20,67	19,12	459
17.01.2004	73.956	950	73.006	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	58.719	508,719	508,719	0	58,719	0,82	20,67	19,12	459
18.01.2004	52.390	950	51.440	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	37.153	487,153	487,153	0	37,153	0,82	20,67	19,12	459
19.01.2004	76.451	950	75.501	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	61.214	511,214	511,214	0	61,214	0,82	20,67	19,12	459
20.01.2004	101.296	950	100.346	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	86.059	536,059	536,059	0	86,059	0,82	20,67	19,12	459
21.01.2004	65.027	950	64.077	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	49.790	499,790	499,790	0	49,790	0,82	20,67	19,12	459
22.01.2004	36.856	950	35.906	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	21.618	471,618	471,618	0	21,618	0,82	20,67	19,12	459
23.01.2004	22.446	950	21.496	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	7,209	457,209	457,209	0	7,209	0,82	20,67	19,12	459
24.01.2004	18.386	950	17.436	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	3.149	453,149	453,149	0	3,149	0,82	20,67	19,12	459
25.01.2004	15.781	950	14.831	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	544	450,544	450,544	0	544	0,82	20,67	19,12	459
26.01.2004	13.142	950	12.192	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	-2.095	447,905	447,905	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.01.2004	12.713	950	11.763	300,39	15,69	15,47	165,1	24	14.268	-2.505	445,400	445,400	0	25,06	0,82	20,59	19,04	457
28.01.2004	12.498	950	11.548	300,35	15,65	15,43	164,8	24	14.242	-2.693	442,707	442,707	0	24,95	0,82	20,48	18,94	455
29.01.2004	10.903	950	9.953	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14.222	-4.269	438,438	438,438	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
30.01.2004	11.271	950	10.321	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14.183	-3.862	434,576	434,576	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
31.01.2004	36.239	950	35.289	300,21	15,51	15,29	163,8	24	14.150	21.140	455,716	455,716	0	5,716	0,82	20,67	18,60	446
01.02.2004	72.105	950	71.155	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	56,868	450,000	450,000	0	56,868	0,82	20,67	19,12	459
02.02.2004	84.409	950	83.439	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	69,172	519,172	519,172	0	69,172	0,82	20,67	19,12	459
03.02.2004	75.707	950	74.757	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	60,470	510,470	510,470	0	60,470	0,82	20,67	19,12	459
04.02.2004	48.487	950	47.537	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	33,250	483,250	483,250	0	33,250	0,82	20,67	19,12	459
05.02.2004	33.291	950	32.341	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	18,054	468,054	468,054	0	18,054	0,82	20,67	19,12	459
06.02.2004	23.915	950	22.965	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	8,678	458,678	458,678	0	8,678	0,82	20,67	19,12	459
07.02.2004	25.174	950	24.224	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	9,937	459,937	459,937	0	9,937	0,82	20,67	19,12	459
08.02.2004	25.348	950	24.398	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	10,110	460,110	460,110	0	10,110	0,82	20,67	19,12	459
09.02.2004	26.567	950	25.617	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14.287	11,330	461,330	461,330	0	11,330	0,82	20,67	19,12	459

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
10.02.2004	39.714	950	38.764	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	24,477	474,477	450,000	24,477	25,14	0,82	20,67	19,12	459
11.02.2004	71.697	950	70.747	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	56,460	506,460	450,000	56,460	25,14	0,82	20,67	19,12	459
12.02.2004	75.169	950	74.219	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	59,932	509,932	450,000	59,932	25,14	0,82	20,67	19,12	459
13.02.2004	56.073	950	55.123	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	40,836	490,836	450,000	40,836	25,14	0,82	20,67	19,12	459
14.02.2004	47.161	950	46.211	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	31,924	481,924	450,000	31,924	25,14	0,82	20,67	19,12	459
15.02.2004	37.231	950	36.281	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	21,993	471,993	450,000	21,993	25,14	0,82	20,67	19,12	459
16.02.2004	26.453	950	25.503	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	11,216	461,216	450,000	11,216	25,14	0,82	20,67	19,12	459
17.02.2004	22.397	950	21.447	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	7,160	457,160	450,000	7,160	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.02.2004	17.584	950	16.634	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	2,347	452,347	450,000	2,347	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.02.2004	15.754	950	14.804	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	517	450,000	0	517	25,14	0,82	20,67	19,12	459
20.02.2004	12.542	950	11.592	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-2,695	447,305	447,305	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.02.2004	12.552	950	11.602	300,38	15,68	15,46	165,1	24	14,261	-2,660	444,645	444,645	0	25,03	0,82	20,56	19,02	456
22.02.2004	12.834	950	11.884	300,34	15,64	15,42	164,8	24	14,235	-2,351	442,294	442,294	0	24,93	0,82	20,45	18,92	454
23.02.2004	10.927	950	9.977	300,31	15,61	15,39	164,5	24	14,215	-4,238	438,056	438,056	0	24,84	0,82	20,37	18,85	452
24.02.2004	10.076	950	9.126	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14,183	-5,057	432,999	432,999	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
25.02.2004	9.710	950	8.767	300,19	15,49	15,27	163,6	24	14,137	-5,377	427,622	427,622	0	24,52	0,82	20,05	18,55	445
26.02.2004	8.527	950	7.577	300,12	15,42	15,21	163,1	24	14,091	-6,514	421,108	421,108	0	24,33	0,82	19,87	18,38	441
27.02.2004	7.941	950	6.991	300,03	15,33	15,12	162,4	24	14,031	-7,040	414,068	414,068	0	24,08	0,81	19,63	18,16	436
28.02.2004	6.969	950	6.019	299,93	15,23	15,02	161,6	24	13,965	-7,945	406,123	406,123	0	23,82	0,81	19,36	17,91	430
29.02.2004	5.766	950	4.816	299,82	15,12	14,91	160,8	24	13,891	-9,076	397,047	397,047	0	23,52	0,81	19,07	17,64	423
01.03.2004	4.966	950	4.016	299,69	14,99	14,78	159,8	24	13,804	-9,788	387,260	387,260	0	23,17	0,81	18,72	17,32	416
02.03.2004	5.040	950	4.090	299,55	14,85	14,65	158,7	24	13,709	-9,619	377,640	377,640	0	22,80	0,80	18,35	16,97	407
03.03.2004	5.607	950	4.657	299,42	14,72	14,52	157,6	24	13,621	-8,964	368,677	368,677	0	22,46	0,80	18,00	16,65	400
04.03.2004	5.854	950	4.904	299,30	14,60	14,40	156,0	24	13,539	-8,635	360,042	360,042	0	22,14	0,80	17,68	16,36	393
05.03.2004	6.172	950	5.222	299,18	14,48	14,29	155,7	24	13,456	-8,234	351,808	351,808	0	21,83	0,80	17,36	16,06	385
06.03.2004	6.171	950	5.221	299,06	14,36	14,17	154,8	24	13,373	-8,152	343,656	343,656	0	21,51	0,79	17,04	15,77	378
07.03.2004	5.589	950	4.639	298,93	14,23	14,04	153,7	0	0	2,911	346,567	346,567	0	21,17	0,79	16,70	15,45	0
08.03.2004	5.871	950	4.921	298,98	14,28	14,09	154,1	0	0	3,193	349,760	349,760	0	21,30	0,79	16,83	15,57	0
09.03.2004	6.873	950	5.923	299,03	14,33	14,14	154,5	0	0	4,195	353,954	353,954	0	21,43	0,79	16,96	15,69	0
10.03.2004	7.745	950	6.795	299,10	14,40	14,21	155,1	0	0	5,067	359,021	359,021	0	21,62	0,79	17,15	15,86	0
11.03.2004	7.195	950	6.245	299,17	14,47	14,28	155,7	0	0	4,517	363,538	363,538	0	21,34	0,80	17,34	16,04	0
12.03.2004	10.936	950	9.986	299,23	14,53	13,33	156,1	0	0	8,258	371,795	371,795	0	21,96	0,80	17,50	16,18	0
13.03.2004	18.283	950	17.333	299,34	14,64	14,44	157,0	0	0	15,605	387,401	387,401	0	22,25	0,80	17,79	16,46	0
14.03.2004	27.091	950	26.141	299,56	14,86	14,66	158,8	0	0	24,413	411,814	411,814	0	22,83	0,81	18,38	17,00	0
15.03.2004	24.368	950	23.418	299,90	15,20	14,99	161,4	0	0	21,690	433,503	433,503	0	23,73	0,81	19,28	17,84	0
16.03.2004	19.444	950	18.494	300,20	15,50	15,28	163,7	0	0	16,766	450,269	450,000	269	24,54	0,82	20,08	18,57	0
17.03.2004	16.524	950	15.574	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	1,287	451,287	450,000	1,287	25,14	0,82	20,67	19,12	459
18.03.2004	14.238	950	13.288	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-999	449,001	449,001	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
19.03.2004	16.403	950	15.453	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14,274	1,179	450,180	450,000	180	25,09	0,82	20,61	19,07	458
20.03.2004	23.831	950	22.881	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	8,594	458,594	450,000	8,594	25,14	0,82	20,67	19,12	459
21.03.2004	36.819	950	35.869	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	21,582	471,582	450,000	21,582	25,14	0,82	20,67	19,12	459
22.03.2004	53.573	950	52.623	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	38,336	488,336	450,000	38,336	25,14	0,82	20,67	19,12	459
23.03.2004	48.862	950	47.912	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	33,625	483,625	450,000	33,625	25,14	0,82	20,67	19,12	459
24.03.2004	35.542	950	34.592	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	20,305	470,305	450,000	20,305	25,14	0,82	20,67	19,12	459

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Ein- stau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kWh/d	Energie	
25.03.2004	25,807	950	24,857	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	10,570	460,570	450,000	10,570	25,14	0,82	20,67	19,12	459
26.03.2004	20,519	950	19,569	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	5,282	455,282	450,000	5,282	25,14	0,82	20,67	19,12	459
27.03.2004	16,490	950	15,540	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	1,253	451,253	450,000	1,253	25,14	0,82	20,67	19,12	459
28.03.2004	14,057	950	13,107	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-1,180	448,820	448,820	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
29.03.2004	12,652	950	11,702	300,40	15,70	15,48	165,2	24	14,274	-2,572	446,247	446,247	0	25,09	0,82	20,61	19,07	458
30.03.2004	11,539	950	10,609	300,37	15,67	15,45	165,0	24	14,255	-3,646	442,602	442,602	0	25,01	0,82	20,53	18,99	456
31.03.2004	10,761	950	9,811	300,32	15,62	15,40	164,6	24	14,222	-4,411	438,191	438,191	0	24,87	0,82	20,40	18,87	453
01.04.2004	9,293	950	8,343	300,26	15,56	15,34	164,2	24	14,183	-5,840	432,351	432,351	0	24,71	0,82	20,24	18,72	449
02.04.2004	8,136	950	7,186	300,18	15,48	15,27	163,5	24	14,130	-6,945	425,406	425,406	0	24,49	0,82	20,03	18,53	445
03.04.2004	7,813	950	6,863	300,09	15,39	15,18	162,9	24	14,071	-7,208	418,199	418,199	0	24,25	0,82	19,79	18,30	439
04.04.2004	8,350	950	7,400	299,98	15,28	15,07	162,0	24	13,998	-6,598	411,601	411,601	0	23,95	0,81	19,50	18,03	433
05.04.2004	11,831	950	10,881	299,89	15,19	14,98	161,3	24	13,938	-3,057	408,543	408,543	0	23,71	0,81	19,26	17,81	427
06.04.2004	13,234	950	12,284	299,85	15,15	14,94	161,0	24	13,911	-1,628	406,916	406,916	0	23,60	0,81	19,15	17,71	425
07.04.2004	15,395	950	14,445	299,83	15,13	14,92	160,9	24	13,898	547	407,463	407,463	0	23,55	0,81	19,10	17,66	424
08.04.2004	19,454	950	18,504	299,83	15,13	14,92	160,9	24	13,898	4,606	412,069	412,069	0	23,55	0,81	19,10	17,66	424
09.04.2004	22,077	950	21,127	299,90	15,20	14,99	161,4	24	13,945	7,182	419,251	419,251	0	23,73	0,81	19,28	17,84	428
10.04.2004	20,233	950	19,283	300,00	15,30	15,09	162,2	24	14,011	5,272	424,522	424,522	0	24,00	0,81	19,55	18,08	434
11.04.2004	18,173	950	17,223	300,07	15,37	15,16	162,7	24	14,058	3,166	427,688	427,688	0	24,19	0,82	19,73	18,25	438
12.04.2004	15,907	950	14,957	300,12	15,42	15,21	163,1	24	14,091	866	428,554	428,554	0	24,33	0,82	19,87	18,38	441
13.04.2004	13,646	950	12,696	300,13	15,43	15,22	163,2	24	14,097	-1,401	427,153	427,153	0	24,36	0,82	19,89	18,40	442
14.04.2004	11,359	950	10,409	300,11	15,41	15,20	163,0	24	14,084	-3,675	423,478	423,478	0	24,30	0,82	19,84	18,35	440
15.04.2004	10,246	950	9,296	300,06	15,36	15,15	162,6	24	14,051	-4,755	418,723	418,723	0	24,17	0,82	19,71	18,23	438
16.04.2004	8,922	950	7,972	299,99	15,29	15,08	162,1	24	14,005	-6,033	412,690	412,690	0	23,98	0,81	19,52	18,06	433
17.04.2004	8,864	950	7,914	299,91	15,21	15,00	161,5	24	13,951	-6,037	406,653	406,653	0	23,76	0,81	19,31	17,86	429
18.04.2004	9,639	950	8,689	299,82	15,12	14,91	160,8	24	13,891	-5,202	401,451	401,451	0	23,52	0,81	19,07	17,64	423
19.04.2004	9,108	950	8,158	299,75	15,05	14,84	160,2	24	13,844	-5,687	395,764	395,764	0	23,33	0,81	18,88	17,47	419
20.04.2004	7,076	950	6,126	299,67	14,97	14,77	159,6	24	13,791	-7,665	388,099	388,099	0	23,12	0,81	18,67	17,27	414
21.04.2004	6,378	950	5,428	299,56	14,86	14,66	158,8	24	13,716	-8,288	379,811	379,811	0	22,83	0,81	18,38	17,00	408
22.04.2004	8,392	950	7,442	299,45	14,75	14,55	157,9	24	13,641	-6,200	373,611	373,611	0	22,54	0,80	18,08	16,73	401
23.04.2004	6,418	950	5,468	299,37	14,67	14,47	157,3	24	13,587	-8,118	365,493	365,493	0	22,32	0,80	17,87	16,53	397
24.04.2004	5,504	950	4,554	299,25	14,55	14,35	156,3	24	13,504	-8,950	356,543	356,543	0	22,01	0,80	17,55	16,23	390
25.04.2004	4,413	950	3,463	299,13	14,43	14,24	155,3	24	13,421	-9,958	346,585	346,585	0	21,69	0,79	17,23	15,94	383
26.04.2004	4,324	950	3,374	298,98	14,28	14,09	154,1	0	0	1,646	348,231	348,231	0	21,30	0,79	16,83	15,57	0
27.04.2004	4,519	950	3,569	299,01	14,31	14,12	154,4	0	0	1,841	350,072	350,072	0	21,38	0,79	16,91	15,64	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
31.10.2004	5,940	950	4,990	300,42	15,72	15,50	165,4	0	0	3,262	453,262	450,000	3,262	25,14	0,82	20,67	19,12	0
01.11.2004	4,004	950	3,054	300,42	15,72	15,50	165,4	0	0	1,326	451,326	450,000	1,326	25,14	0,82	20,67	19,12	0
02.11.2004	4,151	950	3,201	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-11,086	438,914	438,914	0	25,14	0,82	20,67	19,12	459
03.11.2004	6,053	950	5,103	300,27	15,57	15,35	164,2	24	14,189	-9,086	429,828	429,828	0	24,74	0,82	20,27	18,75	450
04.11.2004	3,720	950	2,770	300,15	15,45	15,24	163,3	24	14,110	-11,340	418,488	418,488	0	24,41	0,82	19,95	18,45	443

Datum	Zu- fluss $m^3/d$	Roh- wasser $m^3/d$	Über- schuss $m^3/d$	Strau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $m^3/d$	Einstau/ Entnahme $m^3/d$	mögl. Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf $m^3/d$	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ kW	$P_e$ kW	Energie kWh/d
05.11.2004	3.973	950	3.023	299,99	15,29	15,08	162,1	24	14.005	-10,982	407.506	0	23,98	0,81	19,52	18,06
06.11.2004	5.413	950	4.463	299,84	15,14	14,93	160,9	24	13,905	-9,442	398.064	0	23,57	0,81	19,12	17,69
07.11.2004	4.038	950	3.088	299,70	15,00	14,79	159,8	24	13,811	-10,723	387.341	0	23,20	0,81	18,75	17,34
08.11.2004	3.832	950	2.882	299,55	14,85	14,65	158,7	24	13,709	-10,827	376.514	0	22,80	0,80	18,35	16,97
09.11.2004	6.243	950	5.293	299,41	14,71	14,51	157,6	24	13,614	-8,321	368.193	0	22,43	0,80	17,98	16,63
10.11.2004	7.129	950	6.179	299,29	14,59	14,39	156,6	24	13,532	-7,353	360.840	0	22,11	0,80	17,66	16,33
11.11.2004	6.344	950	5.394	299,19	14,49	14,29	155,8	24	13,463	-8,069	352.771	0	21,85	0,80	17,39	16,09
12.11.2004	14.543	950	13.593	299,08	14,38	14,19	154,9	24	13,387	206	352.978	0	21,56	0,79	17,10	15,82
13.11.2004	26.692	950	25.742	299,08	14,38	14,19	154,9	24	13,387	12,355	365.333	0	21,56	0,79	17,10	15,82
14.11.2004	27.176	950	26.226	299,25	14,55	14,35	156,3	24	13,504	12,721	378.054	0	22,01	0,80	17,55	16,23
15.11.2004	20.776	950	19.826	299,43	14,73	14,53	157,7	24	13,628	6,198	384.252	0	22,48	0,80	18,03	16,68
16.11.2004	19.406	950	18.456	299,51	14,81	14,61	158,4	24	13,682	4,773	389.025	0	22,69	0,80	18,24	16,87
17.11.2004	59.401	950	58.451	299,58	14,88	14,68	158,9	24	13,730	44,722	433.747	0	22,88	0,81	18,43	17,05
18.11.2004	163.136	950	162.186	300,20	15,50	15,28	163,7	24	14,143	148,042	581.789	450.000	131.789	24,54	0,82	20,08
19.11.2004	165.406	950	164.456	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	150,169	600,169	450.000	150,169	25,14	0,82	20,67
20.11.2004	81.352	950	80.402	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	66,115	516,115	450.000	66,115	25,14	0,82	20,67
21.11.2004	59.980	950	59.030	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	44,743	494,743	450.000	44,743	25,14	0,82	20,67
22.11.2004	81.061	950	80.111	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	65,823	515,823	450.000	65,823	25,14	0,82	20,67
23.11.2004	77.906	950	76.956	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	62,669	512,669	450.000	62,669	25,14	0,82	20,67
24.11.2004	58.706	950	57.756	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	43,469	493,469	450.000	43,469	25,14	0,82	20,67
25.11.2004	38.647	950	37.697	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	23,410	473,410	450.000	23,410	25,14	0,82	20,67
26.11.2004	25.123	950	24.173	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	9,885	459,585	450.000	9,885	25,14	0,82	20,67
27.11.2004	20.172	950	19.222	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	4,934	454,934	450.000	4,934	25,14	0,82	20,67
28.11.2004	14.828	950	13.878	300,42	15,72	15,50	165,4	24	14,287	-409	449,591	450.000	0	25,14	0,82	20,67
29.11.2004	13.165	950	12.215	300,41	15,71	15,49	165,3	24	14,281	-2,066	447,525	447,525	0	25,12	0,82	20,64
30.11.2004	12.102	950	11.152	300,38	15,68	15,46	165,1	24	14,261	-3,109	444,416	444,416	0	25,03	0,82	20,56
01.12.2004	11.328	950	10.378	300,34	15,64	15,42	164,8	24	14,235	-3,857	440,559	440,559	0	24,93	0,82	20,45
02.12.2004	11.190	950	10.240	300,29	15,59	15,37	164,4	24	14,202	-3,962	436,597	436,597	0	24,79	0,82	20,32
03.12.2004	8.731	950	7.781	300,24	15,54	15,32	164,0	24	14,170	-6,389	430,209	430,209	0	24,65	0,82	20,19
04.12.2004	9.617	950	8.667	300,15	15,45	15,24	163,3	24	14,110	-6,444	424,765	424,765	0	24,41	0,82	19,95
05.12.2004	7.680	950	6.730	300,08	15,38	15,17	162,8	24	14,064	-7,334	417,431	417,431	0	24,22	0,82	19,76
06.12.2004	8.987	950	8.037	299,97	15,27	15,06	161,9	24	13,991	-5,954	411,477	411,477	0	23,92	0,81	19,47
07.12.2004	7.296	950	6.346	299,89	15,19	14,98	161,3	24	13,938	-7,592	403,884	403,884	0	23,71	0,81	19,26
08.12.2004	7.032	950	6.082	299,78	15,08	14,87	160,5	24	13,865	-7,783	396,101	396,101	0	23,41	0,81	18,96
09.12.2004	6.579	950	5.629	299,68	14,98	14,78	159,7	24	13,797	-8,168	387,933	387,933	0	23,15	0,81	18,70
10.12.2004	6.595	950	5.645	299,56	14,86	14,66	158,8	24	13,716	-8,071	379,862	379,862	0	22,83	0,81	18,38
11.12.2004	6.291	950	5.341	299,45	14,75	14,55	157,9	24	13,641	-8,301	371,561	371,561	0	22,54	0,80	18,08
12.12.2004	4.114	950	3.164	299,34	14,64	14,44	157,0	24	13,566	-10,402	361,159	361,159	0	22,25	0,80	17,79
13.12.2004	4.480	950	3.530	299,19	14,49	14,29	155,8	24	13,463	-9,933	351,226	351,226	0	21,85	0,80	17,39
14.12.2004	4.829	950	3.879	299,05	14,35	14,16	154,7	24	13,366	-9,487	341,739	341,739	0	21,49	0,79	17,02
15.12.2004	5.839	950	4.889	298,90	14,20	14,01	153,5	0	0	3,161	344,900	344,900	0	21,10	0,79	16,62
16.12.2004	7.090	950	6.140	298,95	14,25	14,06	153,9	0	0	4,412	349,312	349,312	0	21,23	0,79	16,75
17.12.2004	13.063	950	12.113	299,02	14,32	14,13	154,5	24	13,345	-1,232	348,079	348,079	0	21,41	0,79	16,94
18.12.2004	16.551	950	15.601	299,00	14,30	14,11	154,3	0	0	13,873	361,952	361,952	0	21,36	0,79	16,88

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kWh/d	Energie kWh/d	
19.12.2004	19.128	950	18.178	299,21	14.51	14.31	156,0	24	13.477	4.701	366.653	366.653	0	21.90	0.80	17.44	16.14	387
20.12.2004	19.393	950	18.443	299,27	14.57	14.37	156,5	24	13.518	4.925	371.578	371.578	0	22.06	0.80	17.60	16.28	391
21.12.2004	16.593	950	15.643	299,34	14.64	14.44	157,0	24	13.566	2.077	373.655	373.655	0	22.25	0.80	17.79	16.46	395
22.12.2004	20.302	950	19.352	299,37	14.67	14.47	157,3	24	13.587	5.765	379.420	379.420	0	22.32	0.80	17.87	16.53	397
23.12.2004	31.673	950	30.723	299,45	14.75	14.55	157,9	24	13.641	17.081	396.502	396.502	0	22.54	0.80	18.08	16.73	401
24.12.2004	37.243	950	36.293	299,68	14.98	14.78	159,7	24	13.797	22.496	418.997	418.997	0	23.15	0.81	18.70	17.29	415
25.12.2004	41.390	950	40.440	300,00	15.30	15.09	162,2	24	14.011	26.429	445.426	445.426	0	24.00	0.81	19.55	18.08	434
26.12.2004	35.537	950	34.587	300,35	15.65	15.43	164,8	24	14.242	20.345	465.772	450.000	15.772	24.95	0.82	20.48	18.94	455
27.12.2004	26.764	950	25.814	300,42	15.72	15,50	165,4	24	14.287	11.526	461.526	450.000	11.526	25,14	0.82	20.67	19.12	459
28.12.2004	20.535	950	19.585	300,42	15.72	15,50	165,4	24	14.287	5.297	455.297	450.000	5.297	25,14	0.82	20.67	19.12	459
29.12.2004	17.902	950	16.952	300,42	15.72	15,50	165,4	24	14.287	2.665	452.665	450.000	2.665	25,14	0.82	20.67	19.12	459
30.12.2004	15.689	950	14.739	300,42	15.72	15,50	165,4	24	14.287	452	450.452	450.000	452	25,14	0.82	20.67	19.12	459
31.12.2004	19.489	950	18.539	300,42	15.72	15,50	165,4	24	14.287	4.252	454.252	450.000	4.252	25,14	0.82	20.67	19.12	459

Jahresarbeitsvermögen [kWh/a] 71.540

163 Tage läuft die Anlage

### B.2.5 Variante IV – Berechnung des Fallhöhenverlustes

Berechnung der Verlusthöhe an einem Beispiel mit einem Durchfluss von  $Q = 160 \text{ l/s}$

$$\begin{aligned} \text{Verlusthöhe } h_v &= h_{v,R} + h_{v,O} \\ &= 0,543 \text{ m} + 0,249 \text{ m} \\ &= 0,792 \text{ m} \end{aligned}$$

**Ermittlung der kontinuierlichen Reibungsverluste  $h_{v,R}$**

$$h_{v,R} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{nach Darcy-Weisbach})$$

Alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\begin{aligned} h_{v,R} &= h_{v,R,1} + h_{v,R,2} \\ &= 0,112 \text{ m} + 0,431 \text{ m} \\ &= 0,543 \text{ m} \end{aligned}$$

1) Abschnitt: Einlauf Grundablass bis Ringkolbenventil bzw. Abzweig Rohrleitung

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_1 = 19,50 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_1 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,126 \text{ m}^2} = 1,27 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad \text{Re} = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{1,27 \text{ m/s} \cdot 0,40 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 377.327,3 = 3,77 \cdot 10^5 \end{aligned}$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei  $9^\circ\text{C}$  Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in 10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Gusseisen, gebraucht)

$$= 1,50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 k/D &= \text{relative Rauheit} \\
 &= \frac{0,0015 \text{ m}}{0,4000 \text{ m}} = 0,00375 = 3,75 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}$$

mit  $Re$  und  $k/D$  in Diagramm auf Seite 134

$$\text{Abgelesen: } \lambda_1 = 0,028$$

$$\begin{aligned}
 \text{Probe (rauer Bereich): } 1/\sqrt{\lambda_1} &= 1,14 - 2 \lg (k/D) \\
 &= 5,992
 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = 0,028$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,R,1} &= \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \\
 &= 0,028 \cdot \frac{19,5 \cdot 1,27^2}{0,40 \cdot 2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,112 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2) Abschnitt: neue Rohrleitung ab Rohrkeller bis Turbine

$$\text{Rohrleitungslänge} \quad L_2 = 30,00 \text{ m}$$

$$\text{Rohrdurchmesser} \quad D_2 = 0,30 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,071 \text{ m}^2} = 2,26 \text{ m/s}$$

$$\text{Erdbeschleunigung} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Widerstandsbeiwert} \quad \lambda :$$

$$\text{abhängig von} \quad Re = \text{Reynolds-Zahl}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{v \cdot D}{v} = \frac{2,26 \text{ m/s} \cdot 0,30 \text{ m}}{1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 503.103,1 = 5,03 \cdot 10^5
 \end{aligned}$$

$> 2.300 \rightarrow$  turbulente Strömung

mit  $v$  = kinematische Viskosität bei  $9^\circ\text{C}$  Wasser-temperatur (mittlere Wassertemperatur in

10m Tiefe)

$$= 0,00000135 \text{ m}^2/\text{s} = 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = \text{absolute Rauheit}$$

(Rohrleitungen aus Stahl, neu, geschweißt;)

$$= 0,10 \text{ mm} \quad (\text{schlechterer Wert wg. kleinem Durchmesser})$$

$$\begin{aligned}
 k/D &= \text{relative Rauheit} \\
 &= \frac{0,0001 \text{ m}}{0,3000 \text{ m}} = 0,00033 = 3,30 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

mit Re und k/D in Diagramm auf Seite 134

Abgelesen:

$$\begin{aligned}
 \text{Probe :} \quad \lambda_2 &= 0,0165 \\
 (\text{Übergangsbereich}) \quad 1/\sqrt{\lambda_2} &= -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_2}} + \frac{k/d}{3,71} \right)
 \end{aligned}$$

einsetzen von  $\lambda_2 = 0,0165$  ergibt

$$7,78 = 7,78$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,R,2} &= \lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} \\
 &= 0,0165 \cdot \frac{30,00 \cdot 2,26^2}{0,30 \cdot 2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,431 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Ermittlung der örtlichen Reibungsverluste  $h_{v,O}$**

$$h_{v,O} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

alle Angaben sind Plänen des Heilenbecke Wasserverbandes entnommen

$$\begin{aligned}
 h_{v,O} &= h_{v,O,a} + h_{v,O,c} + h_{v,O,d} \\
 &= 0,066 \text{ m} + 0,117 \text{ m} + 0,066 \text{ m} \\
 &= 0,249 \text{ m}
 \end{aligned}$$

a) Einlauf (siehe dazu Seite 138)

dünnwandiges Rohr, aus einer senkrechten Wand herausragend

$$\zeta = 0,6 - 1,0$$

wähle:

$$\zeta_a = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,O,a} &= \zeta_a \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,8 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,066 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b) Rechen (siehe dazu Seite 138)

$$\text{Stabdicke} \quad d = 12 \text{ mm}$$

$$\text{lichte Stabweite} \quad a = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Rechenneigung} \quad \alpha = 60^\circ$$

$$\begin{aligned}
\text{Projektionsfläche} & A' = 2,80 \times 2,20 \text{ m} \\
\perp \text{zur Ström.richtung} & = 6,16 \text{ m}^2 \\
\text{Fließgeschwindigkeit} & v = \frac{Q}{A'} = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{6,160 \text{ m}^2} \\
& = 0,026 \text{ m/s} \\
\text{Formbeiwert} & \delta = 2,42 \\
\text{Verlustbeiwert} & \zeta_b = 2,42 \cdot \left(\frac{12}{100}\right)^{4/3} \cdot \sin 60^\circ \\
& = 0,124 \\
\longrightarrow & h_{v,O,b} = \zeta_b \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,124 \cdot \frac{0,026^2}{2 \cdot 9,81} \\
& = 0,0000042638 \text{ m} \\
& \quad (\text{vernachlässigbar})
\end{aligned}$$

c) Richtungsänderung / Verzweigung

I) Kreisrohr-Krümmer: (siehe dazu Seite 138)

$$\text{wähle schlechten Wert mit } \frac{r}{D} = 2$$

• neu, Umlenkung von Rohrkeller zum Tosbecken

$$\begin{aligned}
\text{Rohrdurchmesser} & D = 0,30 \text{ m} \\
& A_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} \quad v = \frac{0,160 \text{ m}^3/\text{s}}{0,071 \text{ m}^2} = 2,26 \text{ m/s}$$

$$\text{Umlenkwinkel} \quad \alpha \approx 75^\circ \quad \zeta_{I,2} = 0,13$$

$$\begin{aligned}
h_{v,O,cI} & = \zeta_{c,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,13 \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,81} \\
& = 0,011 \text{ m}
\end{aligned}$$

II) Verzweigung (siehe dazu Seite 139)

• neu, Rohrkeller, Übergang von GA zur neuen Rohrleitung

$$\begin{aligned}
\text{Umlenkwinkel} & \alpha = 90^\circ \quad \zeta_c = 1,28 \\
(\text{da } d \approx d_a, Q_a/Q=1 \text{ und scharfkantige Verzweigung})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_{v,O,cII} & = \zeta_{c,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,28 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} \\
& = 0,106 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,O,c} &= h_{v,O,cI} + h_{v,O,cII} \\
 &= 0,011 \text{ m} + 0,106 \text{ m} \\
 &= 0,117 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d) Armaturen (siehe dazu Seite 139)

• vorh.:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Absperrklappe} & \zeta = 0,30 \quad (\text{im geöffneten Zustand;}) \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{Angabe der Herstellerfirma VAG} \\
 \text{Schieber} & \zeta = 0,12 \quad (\text{Schieber schließt nur im Notfall;}) \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{kann als geöffnet angesehen werden}) \\
 \hline
 & \zeta_{d,I} = 0,42
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 (\text{DN } 400 \rightarrow v = 1,27 \text{ m/s}) & h_{v,O,d,I} = \zeta_{d,I} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,42 \cdot \frac{1,27^2}{2 \cdot 9,81} \\
 & = 0,035 \text{ m}
 \end{array}$$

• neu:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Schieber} & \zeta_{d,II} = 0,12 \quad (\text{Schieber schließt nur im Notfall;}) \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{kann als geöffnet angesehen werden}) \\
 \text{DN } 300 \rightarrow v = 2,26 \text{ m/s} & h_{v,O,d,II} = \zeta_{d,II} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,12 \cdot \frac{2,26^2}{2 \cdot 9,81} \\
 & = 0,031 \text{ m}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \longrightarrow \quad h_{v,O,d} &= h_{v,O,dI} + h_{v,O,dII} \\
 &= 0,035 \text{ m} + 0,031 \text{ m} \\
 &= 0,066 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## B.2.6 Variante IV – Wasserkirtschaftsplan

### (a) WW-Plan Variante IV – Betriebsweise a): Diskontinuierlicher Betrieb

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hy,dr</sub> kW	$\eta_{Turb}$	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
01.01.2004	17.852	950	16.902	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	2.270	450,00	2.270	26,62	0,83	22,09	20,43	490	
02.01.2004	14.698	950	13.748	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	-884	449,116	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490	
03.01.2004	11.821	950	10.871	300,40	16.90	16,01	169,2	24	14.620	-3.749	445,367	0	26,57	0,83	22,04	20,38	489	
04.01.2004	12.032	950	11.082	300,35	16.85	15,96	168,9	24	14.590	-3.7507	441,860	0	26,44	0,83	21,91	20,27	486	
05.01.2004	11.752	950	10.802	300,30	16.80	15,91	168,5	24	14.559	-3.7558	438,102	0	26,31	0,83	21,79	20,15	484	
06.01.2004	13.659	950	12.709	300,26	16.76	15,88	168,2	24	14.535	-1.826	436,276	0	26,20	0,83	21,69	20,06	481	
07.01.2004	13.225	950	12.275	300,23	16.73	15,85	168,0	24	14.517	-2.242	434,034	0	26,12	0,83	21,61	19,99	480	
08.01.2004	16.957	950	16.007	300,20	16.70	15,82	167,8	24	14.499	1.508	435,542	0	26,05	0,83	21,53	19,92	478	
09.01.2004	26.525	950	25.575	300,22	16.72	15,84	168,0	24	14.511	11.064	446,606	0	26,10	0,83	21,59	19,97	479	
10.01.2004	38.822	950	37.872	300,37	16.87	15,98	169,0	24	14.602	23,271	469,876	450,00	19,876	26,49	0,83	21,96	20,31	488
11.01.2004	55.402	950	54.452	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	39,821	489,821	450,00	39,821	26,62	0,83	22,09	20,43	490
12.01.2004	77.105	950	76.155	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	61,524	511,524	450,00	61,524	26,62	0,83	22,09	20,43	490
13.01.2004	95.049	950	94.094	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	79,467	529,467	450,00	79,467	26,62	0,83	22,09	20,43	490
14.01.2004	85.123	950	84.173	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	69,541	519,541	450,00	69,541	26,62	0,83	22,09	20,43	490
15.01.2004	78.783	950	77.833	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	63,201	513,201	450,00	63,201	26,62	0,83	22,09	20,43	490
16.01.2004	85.986	950	85.036	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	70,404	520,404	450,00	70,404	26,62	0,83	22,09	20,43	490
17.01.2004	73.956	950	73.006	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	58,374	508,374	450,00	58,374	26,62	0,83	22,09	20,43	490
18.01.2004	52.390	950	51.440	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	36,808	486,808	450,00	36,808	26,62	0,83	22,09	20,43	490
19.01.2004	76.451	950	75.501	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	60,869	510,869	450,00	60,869	26,62	0,83	22,09	20,43	490
20.01.2004	101.296	950	100.346	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	86,714	535,714	450,00	85,714	26,62	0,83	22,09	20,43	490
21.01.2004	65.027	950	64.077	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	49,446	499,446	450,00	49,446	26,62	0,83	22,09	20,43	490
22.01.2004	36.856	950	35.906	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	21,274	471,274	450,00	21,274	26,62	0,83	22,09	20,43	490
23.01.2004	22.446	950	21.496	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	6,865	456,865	450,00	6,865	26,62	0,83	22,09	20,43	490
24.01.2004	18.386	950	17.436	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	2,804	452,804	450,00	2,804	26,62	0,83	22,09	20,43	490
25.01.2004	15.781	950	14.831	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	200	450,200	450,00	200	26,62	0,83	22,09	20,43	490
26.01.2004	13.142	950	12.192	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	-2,440	447,560	447,560	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
27.01.2004	12.713	950	11.763	300,38	16.88	15,99	169,1	24	14.608	-2,845	444,716	444,716	0	26,52	0,83	21,99	20,34	488
28.01.2004	12.498	950	11.548	300,34	16.84	15,95	168,8	24	14.584	-3,035	441,681	441,681	0	26,41	0,83	21,89	20,24	486
29.01.2004	10.903	950	9.953	300,30	16.80	15,91	168,5	24	14.559	-4,607	437,074	437,074	0	26,31	0,83	21,79	20,15	484
30.01.2004	11.271	950	10.321	300,24	16.74	15,86	168,1	24	14.523	-4,202	432,872	432,872	0	26,15	0,83	21,64	20,01	480
31.01.2004	36.239	950	35.289	300,19	16.69	15,81	167,7	24	14.493	20,797	453,668	450,00	3,668	26,02	0,83	21,51	19,90	478
01.02.2004	72.105	950	71.155	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	56,523	506,523	450,00	56,523	26,62	0,83	22,09	20,43	490
02.02.2004	84.409	950	83.459	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	68,827	518,827	450,00	68,827	26,62	0,83	22,09	20,43	490
03.02.2004	75.707	950	74.757	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	60,125	510,125	450,00	60,125	26,62	0,83	22,09	20,43	490
04.02.2004	48.487	950	47.537	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	32,905	482,905	450,00	32,905	26,62	0,83	22,09	20,43	490
05.02.2004	33.291	950	32.341	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	17,709	467,709	450,00	17,709	26,62	0,83	22,09	20,43	490

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d	
06.02.2004	23.915	950	22.965	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	8.333	458.333	450.000	8.333	26,62	0,83	22,09	20,43
07.02.2004	25.174	950	24.224	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	9.502	459.502	450.000	9.502	26,62	0,83	22,09	20,43
08.02.2004	25.348	950	24.398	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	9.766	459.766	450.000	9.766	26,62	0,83	22,09	20,43
09.02.2004	26.567	950	25.617	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	10.985	460.985	450.000	10.985	26,62	0,83	22,09	20,43
10.02.2004	39.714	950	38.764	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	24.133	474.133	450.000	24.133	26,62	0,83	22,09	20,43
11.02.2004	71.697	950	70.747	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	56.115	506.115	450.000	56.115	26,62	0,83	22,09	20,43
12.02.2004	75.169	950	74.219	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	59.587	509.587	450.000	59.587	26,62	0,83	22,09	20,43
13.02.2004	56.073	950	55.123	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	40.491	490.491	450.000	40.491	26,62	0,83	22,09	20,43
14.02.2004	47.161	950	46.211	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	31.579	481.579	450.000	31.579	26,62	0,83	22,09	20,43
15.02.2004	37.231	950	36.281	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	21.649	471.649	450.000	21.649	26,62	0,83	22,09	20,43
16.02.2004	26.453	950	25.503	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	10.872	460.872	450.000	10.872	26,62	0,83	22,09	20,43
17.02.2004	22.397	950	21.447	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	6.815	456.815	450.000	6.815	26,62	0,83	22,09	20,43
18.02.2004	17.584	950	16.634	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	2.002	452.002	450.000	2.002	26,62	0,83	22,09	20,43
19.02.2004	15.754	950	14.804	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	173	450.173	450.000	173	26,62	0,83	22,09	20,43
20.02.2004	12.542	950	11.592	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-3.040	446.960	446.960	0	26,62	0,83	22,09	20,43
21.02.2004	12.552	950	11.602	300,38	16,88	15,99	169,1	24	14,608	-3.006	443.954	443.954	0	26,52	0,83	21,99	20,34
22.02.2004	12.834	950	11.884	300,33	16,83	15,94	168,7	24	14,577	-2.694	441.261	441.261	0	26,39	0,83	21,86	20,22
23.02.2004	10.927	950	9.977	300,30	16,80	15,91	168,5	24	14,559	-4.582	436.679	436.679	0	26,31	0,83	21,79	20,15
24.02.2004	10.076	950	9.126	300,24	16,74	15,86	168,1	24	14,523	-5.397	431.281	431.281	0	26,15	0,83	21,64	20,01
25.02.2004	9.710	950	8.760	300,17	16,67	15,79	167,6	24	14,481	-5.720	425.561	425.561	0	25,97	0,83	21,46	19,85
26.02.2004	8.527	950	7.577	300,09	16,59	15,72	167,0	24	14,432	-6.855	418.705	418.705	0	25,76	0,83	21,26	19,66
27.02.2004	7.941	950	6.991	299,99	16,49	15,63	166,3	24	14,371	-7.380	411.326	411.326	0	25,50	0,82	21,01	19,43
28.02.2004	6.969	950	6.019	299,89	16,39	15,53	165,6	24	14,309	-8.290	403.036	403.036	0	25,24	0,82	20,76	19,20
29.02.2004	5.766	950	4.816	299,77	16,27	15,42	164,8	24	14,236	-9.420	393.616	393.616	0	24,93	0,82	20,46	18,92
01.03.2004	4.966	950	4.016	299,64	16,14	15,30	163,8	24	14,155	-10.139	383.477	383.477	0	24,59	0,82	20,13	18,62
02.03.2004	5.040	950	4.090	299,50	16,00	15,17	162,8	24	14,068	-9.978	373.500	373.500	0	24,23	0,82	19,78	18,29
03.03.2004	5.607	950	4.657	299,36	15,86	15,04	161,8	24	13,980	-9.322	364.177	364.177	0	23,88	0,81	19,42	17,97
04.03.2004	5.854	950	4.904	299,23	15,73	14,92	160,9	24	13,898	-8.994	355.183	355.183	0	23,55	0,81	19,09	17,66
05.03.2004	6.172	950	5.222	299,11	15,61	14,81	160,0	24	13,822	-8.600	346.583	346.583	0	23,24	0,81	18,79	17,38
06.03.2004	6.171	950	5.221	298,98	15,48	14,69	159,0	0	0	3.493	350.076	350.076	0	22,91	0,81	18,46	17,08
07.03.2004	5.589	950	4.639	299,03	15,53	14,74	159,4	0	0	2.911	352.988	352.988	0	23,04	0,81	18,59	17,00
08.03.2004	5.871	950	4.921	299,08	15,58	14,78	159,7	0	0	3.193	356.180	356.180	0	23,17	0,81	18,72	17,31
09.03.2004	6.873	950	5.923	299,13	15,63	14,83	160,1	0	0	4.195	360.375	360.375	0	23,29	0,81	18,84	17,43
10.03.2004	7.745	950	6.795	299,18	15,68	14,88	160,5	0	0	5.067	365.442	365.442	0	23,42	0,81	18,97	17,55
11.03.2004	7.195	950	6.245	299,25	15,75	14,94	161,0	0	0	4.517	369.959	369.959	0	23,60	0,81	19,14	17,71
12.03.2004	10.936	950	9.986	299,32	15,82	15,01	161,5	0	0	8.258	378.216	378.216	0	23,77	0,81	19,32	17,87
13.03.2004	18.283	950	17.333	299,43	15,93	15,11	162,3	0	0	15.605	393.821	393.821	0	24,05	0,81	19,60	18,13
14.03.2004	27.091	950	26.141	299,64	16,14	15,30	163,8	0	0	24.413	418.234	418.234	0	24.59	0,82	20,13	18,62
15.03.2004	24.368	950	23.418	299,99	16,49	15,63	166,3	0	0	21.690	439.924	439.924	0	25,50	0,82	21,01	19,43
16.03.2004	19.444	950	18.494	300,28	16,78	15,90	168,4	0	0	16.766	456.590	456.590	0	26,26	0,83	21,74	20,11
17.03.2004	16.524	950	15.574	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	942	450.942	450.942	942	26,62	0,83	22,09	20,43
18.03.2004	14.238	950	13.288	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-1.344	448.656	448.656	0	26,62	0,83	22,09	20,43
19.03.2004	16.403	950	15.453	300,40	16,90	16,01	169,2	24	14,620	833	449.490	449.490	0	26,57	0,83	22,04	20,38
20.03.2004	23.831	950	22.881	300,41	16,91	16,02	169,3	24	14,626	8.256	457.745	450.000	7.745	26,60	0,83	22,06	20,41

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kWh/d	Energie kWh/d	
21.03.2004	36.819	950	35.869	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	21.237	471.237	450.000	21.237	26.62	0.83	22.09	20.43	490
22.03.2004	53.573	950	52.623	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	37.992	487.992	450.000	37.992	26.62	0.83	22.09	20.43	490
23.03.2004	48.862	950	47.912	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	33.281	483.281	450.000	33.281	26.62	0.83	22.09	20.43	490
24.03.2004	35.542	950	34.592	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	19.960	469.960	450.000	19.960	26.62	0.83	22.09	20.43	490
25.03.2004	25.807	950	24.857	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	10.226	460.226	450.000	10.226	26.62	0.83	22.09	20.43	490
26.03.2004	20.519	950	19.569	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	4.938	454.938	450.000	4.938	26.62	0.83	22.09	20.43	490
27.03.2004	16.490	950	15.540	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	908	450.908	450.000	908	26.62	0.83	22.09	20.43	490
28.03.2004	14.057	950	13.107	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	-1.525	448.475	448.475	0	26.62	0.83	22.09	20.43	490
29.03.2004	12.652	950	11.702	300,40	16.90	16.01	169,2	24	14.620	-2.918	445.557	445.557	0	26.57	0.83	22.04	20.38	489
30.03.2004	11.559	950	10.609	300,36	16.86	15.97	168,9	24	14.596	-3.987	441.570	441.570	0	26.47	0.83	21.94	20.29	487
31.03.2004	10.761	950	9.811	300,30	16.80	15.91	168,5	24	14.559	-4.748	436.822	436.822	0	26.31	0.83	21.79	20.15	484
01.04.2004	9.293	950	8.343	300,24	16.74	15.86	168,1	24	14.523	-6.180	430.642	430.642	0	26.15	0.83	21.64	20.01	480
02.04.2004	8.136	950	7.186	300,16	16.66	15.78	167,5	24	14.475	-7.289	423.353	423.353	0	25.94	0.83	21.43	19.83	476
03.04.2004	7.813	950	6.863	300,06	16.56	15.90	166,8	24	14.414	-7.550	415.803	415.803	0	25.68	0.82	21.18	19.60	470
04.04.2004	8.350	950	7.400	299,95	16.45	15.59	166,0	24	14.346	-6.946	408.856	408.856	0	25.39	0.82	20.91	19.34	464
05.04.2004	11.831	950	10.881	299,85	16.35	15.50	165,3	24	14.285	-3.404	405.452	405.452	0	25.13	0.82	20.66	19.11	459
06.04.2004	13.234	950	12.284	299,81	16.31	15.46	165,0	24	14.260	-1.976	403.476	403.476	0	25.03	0.82	20.56	19.01	456
07.04.2004	15.395	950	14.445	299,78	16.28	15.43	164,8	24	14.242	203	403.679	403.679	0	24.95	0.82	20.48	18.94	455
08.04.2004	19.454	950	18.504	299,75	16.28	15.43	164,8	24	14.242	4.262	407.941	407.941	0	24.95	0.82	20.48	18.94	455
09.04.2004	22.077	950	21.127	299,84	16.34	15.49	165,3	24	14.279	6.848	414.789	414.789	0	25.11	0.82	20.63	19.08	458
10.04.2004	20.233	950	19.283	299,94	16.44	15.58	166,0	24	14.340	4.943	419.732	419.732	0	25.37	0.82	20.88	19.32	464
11.04.2004	18.173	950	17.223	299,81	16.31	15.46	165,1	24	14.383	2.840	422.572	422.572	0	25.55	0.82	21.06	19.48	467
12.04.2004	15.907	950	14.957	300,05	16.55	15.68	166,8	24	14.408	549	423.122	423.122	0	25.65	0.82	21.16	19.57	470
13.04.2004	13.646	950	12.696	300,05	16.55	15.68	166,8	24	14.408	-1.712	421.410	421.410	0	25.65	0.82	21.16	19.57	470
14.04.2004	11.359	950	10.409	300,03	16.53	15.66	166,6	24	14.395	-3.986	417.424	417.424	0	25.60	0.82	21.11	19.53	469
15.04.2004	10.246	950	9.296	299,97	16.47	15.61	166,2	24	14.359	-5.063	412.361	412.361	0	25.45	0.82	20.96	19.39	465
16.04.2004	8.922	950	7.972	299,90	16.40	15.54	165,7	24	14.316	-6.344	406.017	406.017	0	25.26	0.82	20.75	19.22	461
17.04.2004	8.864	950	7.914	299,81	16.31	15.46	165,0	24	14.260	-6.346	399.671	399.671	0	25.03	0.82	20.56	19.01	456
18.04.2004	9.639	950	8.158	299,73	16.23	15.39	164,5	24	14.211	-5.522	394.150	394.150	0	24.82	0.82	20.35	18.83	452
19.04.2004	9.108	950	8.158	299,65	16.15	15.31	163,9	24	14.161	-6.004	388.146	388.146	0	24.62	0.82	20.15	18.64	447
20.04.2004	7.076	950	6.126	299,57	16.07	15.24	163,3	24	14.111	-7.986	380.161	380.161	0	24.41	0.82	19.95	18.46	443
21.04.2004	6.378	950	5.428	299,46	15.96	15.14	162,5	24	14.043	-8.615	371.546	371.546	0	24.13	0.82	19.67	18.20	437
22.04.2004	8.392	950	7.442	299,34	15.84	15.02	161,7	24	13.967	-6.525	365.021	365.021	0	23.83	0.81	19.37	17.92	430
23.04.2004	6.418	950	5.468	299,25	15.75	14.94	161,0	24	13.910	-8.442	356.579	356.579	0	23.60	0.81	19.14	17.71	425
24.04.2004	5.504	950	4.554	299,13	15.63	14.83	160,1	24	13.834	-9.280	347.298	347.298	0	23.29	0.81	18.84	17.43	418
25.04.2004	4.413	950	3.463	298,99	15.49	14.70	159,1	0	0	1.735	349.034	349.034	0	22.94	0.81	18.49	17.10	0
26.04.2004	4.324	950	3.374	299,02	15.52	14.73	159,3	0	0	1.646	350.680	350.680	0	23.01	0.81	18.56	17.17	0
27.04.2004	4.519	950	3.569	299,04	15.54	14.75	159,5	0	0	1.841	352.521	352.521	0	23.07	0.81	18.62	17.22	0
28.04.2004	4.622	950	3.672	299,07	15.57	14.77	159,7	0	0	1.944	354.465	354.465	0	23.14	0.81	18.69	17.29	0
29.04.2004	6.213	950	5.263	299,10	15.60	14.80	159,9	0	0	3.535	358.000	358.000	0	23.22	0.81	18.77	17.36	0
30.04.2004	7.201	950	6.251	299,15	15.65	14.85	160,3	0	0	4.523	362.523	362.523	0	23.34	0.81	18.89	17.48	0
01.05.2004	6.770	950	5.820	299,21	15.71	14.90	160,7	0	0	4.092	366.614	366.614	0	23.50	0.81	19.04	17.62	0
02.05.2004	5.217	950	4.267	299,27	15.77	14.96	161,1	0	0	2.539	369.153	369.153	0	23.65	0.81	19.20	17.76	0
03.05.2004	5.808	950	4.858	299,30	15.80	14.99	161,4	0	0	3.130	372.283	372.283	0	23.72	0.81	19.27	17.83	0

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögli- cher Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
04.05.2004	4.132	950	3.182	299,35	15,85	15,03	161,7	0	0	1.454	373,737	373,737	0	23,85	0,81	19,40	17,94	0
05.05.2004	4.441	950	3.491	299,37	15,87	15,05	161,9	0	0	1.763	375,500	375,500	0	23,90	0,81	19,45	17,99	0
06.05.2004	10.586	950	9.636	299,39	15,89	15,07	162,0	0	0	7,908	383,408	383,408	0	23,95	0,81	19,50	18,04	0
07.05.2004	34.545	950	33.595	299,50	16,00	15,17	162,8	0	0	31,867	415,275	415,275	0	24,23	0,82	19,78	18,29	0
08.05.2004	49.014	950	48.064	299,94	16,44	15,58	166,0	0	0	46,336	461,611	450,000	11,611	25,37	0,82	20,88	19,32	0
09.05.2004	34.841	950	33.891	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	19,260	469,260	450,000	19,260	26,62	0,83	22,09	20,43	490
10.05.2004	26.760	950	25.810	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	11,178	461,178	450,000	11,178	26,62	0,83	22,09	20,43	490
11.05.2004	18.203	950	17.253	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	1.632	452,621	450,000	2.621	26,62	0,83	22,09	20,43	490
12.05.2004	13.760	950	12.810	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-1.822	448,178	447,752	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
13.05.2004	15.137	950	14.187	300,39	16,89	16,00	169,1	24	14,614	-426	447,752	447,752	0	26,54	0,83	22,01	20,36	489
14.05.2004	12.880	950	11.930	300,39	16,89	16,00	169,1	24	14,614	-2,684	445,068	445,068	0	26,54	0,83	22,01	20,36	489
15.05.2004	10.843	950	9.893	300,35	16,85	15,96	168,9	24	14,590	-4,697	440,372	440,372	0	26,44	0,83	21,91	20,27	486
16.05.2004	10.426	950	9.476	300,28	16,78	15,90	168,4	24	14,547	-5,071	435,301	435,301	0	26,26	0,83	21,74	20,11	483
17.05.2004	8.526	950	7.576	300,22	16,72	15,84	168,0	24	14,511	-6,935	428,366	428,366	0	26,10	0,83	21,59	19,97	479
18.05.2004	6.709	950	5.759	300,13	16,63	15,76	167,3	24	14,456	-8,697	419,668	419,668	0	25,86	0,83	21,36	19,76	474
19.05.2004	6.461	950	5.511	300,00	16,50	15,64	166,4	24	14,377	-8,866	410,803	410,803	0	25,52	0,82	21,03	19,46	467
20.05.2004	6.081	950	5.131	299,88	16,38	15,52	165,5	24	14,303	-9,172	401,630	401,630	0	25,21	0,82	20,73	19,18	460
21.05.2004	5.520	950	4.570	299,75	16,25	15,40	164,6	24	14,223	-9,653	391,977	391,977	0	24,88	0,82	20,40	18,87	453
22.05.2004	4.734	950	3.784	299,62	16,12	15,28	163,7	24	14,143	-10,359	381,618	381,618	0	24,54	0,82	20,08	18,57	446
23.05.2004	4.292	950	3.342	299,48	15,98	15,15	162,7	24	14,055	-10,713	370,905	370,905	0	24,18	0,82	19,72	18,25	438
24.05.2004	3.520	950	2.570	299,33	15,83	15,01	161,6	24	13,961	-11,391	359,514	359,514	0	23,80	0,81	19,35	17,90	429
25.05.2004	2.620	950	1.670	299,17	15,67	14,87	160,4	24	13,860	-12,189	347,325	347,325	0	23,39	0,81	18,94	17,52	421
26.05.2004	3.320	950	2.370	298,99	15,49	14,70	159,1	0	0	642	347,967	347,967	0	22,94	0,81	18,49	17,10	0
27.05.2004	2.246	950	1.296	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	-432	347,536	347,536	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
28.05.2004	2.756	950	1.806	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	78	347,614	347,614	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
29.05.2004	2.772	950	1.822	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	94	347,708	347,708	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
30.05.2004	2.778	950	1.828	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	100	347,808	347,808	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
31.05.2004	4.625	950	3.675	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	1.947	349,755	349,755	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
01.06.2004	3.349	950	2.399	299,03	15,53	14,74	159,4	0	0	671	350,426	350,426	0	23,04	0,81	18,59	17,20	0
02.06.2004	2.958	950	2.008	299,04	15,54	14,75	159,5	0	0	280	350,706	350,706	0	23,07	0,81	18,62	17,22	0
03.06.2004	2.978	950	2.028	299,05	15,55	14,75	159,5	0	0	300	351,006	351,006	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0
04.06.2004	2.785	950	1.835	299,05	15,55	14,75	159,5	0	0	107	351,113	351,113	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0
05.06.2004	2.660	950	1.710	299,05	15,55	14,75	159,5	0	0	-18	351,095	351,095	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0
06.06.2004	986	950	36	299,05	15,55	14,75	159,5	0	0	-1.692	349,403	349,403	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0
07.06.2004	2.535	950	1.585	299,03	15,53	14,74	159,4	0	0	-143	349,260	349,260	0	23,04	0,81	18,59	17,20	0
08.06.2004	1.838	950	888	299,02	15,52	14,73	159,3	0	0	-840	348,420	348,420	0	23,01	0,81	18,56	17,17	0
09.06.2004	1.119	950	169	299,01	15,51	14,72	159,2	0	0	-1.559	346,861	346,861	0	22,99	0,81	18,54	17,15	0
10.06.2004	1.915	950	965	298,98	15,48	14,69	159,0	0	0	-763	346,098	346,098	0	22,91	0,81	18,46	17,08	0
11.06.2004	2.590	950	1.640	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	-88	346,010	346,010	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0
12.06.2004	2.567	950	1.617	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	-111	345,899	345,899	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0
13.06.2004	2.580	950	1.630	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	-98	345,802	345,802	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0
14.06.2004	1.918	950	968	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	-760	345,042	345,042	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0
15.06.2004	1.884	950	934	298,96	15,46	14,67	158,9	0	0	-794	344,248	344,248	0	22,86	0,81	18,41	17,03	0
16.06.2004	1.430	950	480	298,94	15,44	14,65	158,7	0	0	-1.248	343,000	343,000	0	22,81	0,80	18,36	16,99	0

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögl. Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kWh/d	Energie
17.06.2004	2.652	950	1.702	298,92	15,42	14,63	158,6	0	0	-26	342,974	342,974	0	22,76	0,80	16,94	0
18.06.2004	3.214	950	2.264	298,92	15,42	14,63	158,6	0	0	-536	343,510	343,510	0	22,76	0,80	16,94	0
19.06.2004	1.644	950	694	298,93	15,43	14,64	158,6	0	0	-1.034	342,476	342,476	0	22,79	0,80	16,96	0
20.06.2004	879	950	-71	298,91	15,41	14,62	158,5	0	0	-1.799	340,677	340,677	0	22,74	0,80	16,92	0
21.06.2004	2.406	950	1.456	298,89	15,39	14,61	158,3	0	0	-272	340,405	340,405	0	22,69	0,80	16,87	0
22.06.2004	3.217	950	2.267	298,88	15,38	14,60	158,3	0	0	-539	340,943	340,943	0	22,66	0,80	16,85	0
23.06.2004	2.477	950	1.527	298,89	15,39	14,61	158,3	0	0	-201	340,742	340,742	0	22,69	0,80	16,87	0
24.06.2004	2.446	950	1.496	298,89	15,39	14,61	158,3	0	0	-232	340,510	340,510	0	22,69	0,80	16,87	0
25.06.2004	1.603	950	653	298,88	15,38	14,60	158,3	0	0	-1.075	339,435	339,435	0	22,66	0,80	16,85	0
26.06.2004	1.692	950	742	298,87	15,37	14,59	158,2	0	0	-986	338,449	338,449	0	22,64	0,80	16,82	0
27.06.2004	2.040	950	1.090	298,85	15,35	14,57	158,0	0	0	-638	337,811	337,811	0	22,59	0,80	16,78	0
28.06.2004	1.206	950	256	298,84	15,34	14,56	158,0	0	0	-1.472	336,339	336,339	0	22,56	0,80	16,75	0
29.06.2004	1.972	950	1.022	298,82	15,32	14,54	157,8	0	0	-706	335,633	335,633	0	22,51	0,80	16,71	0
30.06.2004	1.180	950	230	298,81	15,31	14,53	157,7	0	0	-1.498	334,135	334,135	0	22,49	0,80	16,68	0
01.07.2004	1.642	950	692	298,79	15,29	14,51	157,6	0	0	-1.036	333,099	333,099	0	22,44	0,80	16,64	0
02.07.2004	4.004	950	3.054	298,77	15,27	14,49	157,4	0	0	1.326	334,425	334,425	0	22,39	0,80	16,59	0
03.07.2004	2.445	950	1.495	298,79	15,29	14,51	157,6	0	0	-233	334,192	334,192	0	22,44	0,80	16,64	0
04.07.2004	1.668	950	718	298,79	15,29	14,51	157,6	0	0	-1.010	333,182	333,182	0	22,44	0,80	16,64	0
05.07.2004	1.646	950	696	298,77	15,27	14,49	157,4	0	0	-1.032	332,150	332,150	0	22,39	0,80	16,59	0
06.07.2004	945	950	-5	298,75	15,25	14,48	157,3	0	0	-1.733	330,417	330,417	0	22,34	0,80	16,54	0
07.07.2004	2.486	950	1.536	298,73	15,23	14,46	157,1	0	0	-192	330,225	330,225	0	22,29	0,80	16,50	0
08.07.2004	1.800	950	850	298,72	15,22	14,45	157,1	0	0	-878	329,347	329,347	0	22,26	0,80	16,47	0
09.07.2004	9.519	950	8.569	298,71	15,21	14,44	157,0	0	0	6.841	336,188	336,188	0	22,24	0,80	16,45	0
10.07.2004	3.188	950	2.238	298,82	15,32	14,54	157,8	0	0	510	336,698	336,698	0	22,21	0,80	16,71	0
11.07.2004	3.857	950	2.907	298,82	15,32	14,54	157,8	0	0	1.179	337,876	337,876	0	22,15	0,80	16,71	0
12.07.2004	6.603	950	5.653	298,84	15,34	14,56	158,0	0	0	3.925	341,801	341,801	0	22,56	0,80	16,75	0
13.07.2004	5.654	950	4.704	298,90	15,40	14,62	158,4	0	0	2.976	344,777	344,777	0	22,71	0,80	16,89	0
14.07.2004	7.968	950	7.018	298,95	15,45	14,66	158,8	0	0	5.290	350,067	350,067	0	22,84	0,81	16,89	0
15.07.2004	8.319	950	7.369	299,03	15,53	14,74	159,4	0	0	5.641	355,709	355,709	0	23,04	0,81	16,59	0
16.07.2004	9.498	950	8.548	299,12	15,62	14,82	160,0	0	0	6.820	362,529	362,529	0	23,27	0,81	16,82	0
17.07.2004	8.339	950	7.389	299,21	15,71	14,90	160,7	0	0	5.661	368,189	368,189	0	23,50	0,81	16,76	0
18.07.2004	9.203	950	8.253	299,29	15,79	14,98	161,3	0	0	6.525	374,714	374,714	0	23,70	0,81	16,89	0
19.07.2004	12.389	950	11.439	299,38	15,88	15,06	161,9	0	0	9.711	384,425	384,425	0	23,93	0,81	16,83	0
20.07.2004	18.001	950	17.051	299,51	16,01	15,18	162,9	0	0	15.323	399,748	399,748	0	24,26	0,82	17,20	0
21.07.2004	15.012	950	14.062	299,73	16,23	15,39	164,5	0	0	12.334	412,082	412,082	0	24,82	0,82	17,41	0
22.07.2004	13.159	950	12.209	299,90	16,40	15,54	165,7	0	0	10.481	422,563	422,563	0	25,26	0,82	17,83	0
23.07.2004	10.148	950	9.198	300,05	16,55	15,58	166,8	0	0	7.470	430,033	430,033	0	25,65	0,82	19,22	0
24.07.2004	8.736	950	7.786	300,15	16,65	15,78	167,5	0	0	6.058	436,091	436,091	0	25,92	0,83	19,80	0
25.07.2004	10.420	950	9.470	300,23	16,73	15,85	168,0	0	0	7.742	443,833	443,833	0	26,12	0,83	19,99	0
26.07.2004	8.694	950	7.744	300,33	16,83	15,94	168,7	0	0	6.016	449,849	449,849	0	26,39	0,83	20,22	0
27.07.2004	7.018	950	6.068	300,41	16,91	16,02	169,3	0	0	4.340	454,188	454,188	0	26,60	0,83	22,06	0
28.07.2004	5.521	950	4.571	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	-10.060	439,940	439,940	0	26,62	0,83	22,09	490
29.07.2004	4.563	950	3.613	300,28	16,78	15,90	168,4	24	14.547	-10.934	429,006	429,006	0	26,26	0,83	21,74	20,11
30.07.2004	4.564	950	3.614	300,14	16,64	15,77	167,4	24	14.462	-10.848	418,158	418,158	0	25,89	0,83	21,38	19,78

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögli- cher Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d		
31.07.2004	3.725	950	2.775	299,98	16,48	15,62	166,3	24	14,365	-1,589	406,569	0	25,47	0,82	20,98	19,41	466	
01.08.2004	3.259	950	2.309	299,82	16,32	15,47	165,1	24	14,266	-11,958	394,611	0	25,06	0,82	20,58	19,04	457	
02.08.2004	2.571	950	1.621	299,66	16,16	15,32	164,0	24	14,167	-12,546	382,064	0	24,64	0,82	20,18	18,67	448	
03.08.2004	2.256	950	1.306	299,48	15,98	15,15	162,7	24	14,055	-12,749	369,315	0	24,18	0,82	19,72	18,25	438	
04.08.2004	2.716	950	1.766	299,31	15,81	15,00	161,4	24	13,948	-12,182	357,133	0	23,75	0,81	19,30	17,85	428	
05.08.2004	2.299	950	1.349	299,14	15,64	14,84	160,2	24	13,841	-12,492	344,642	0	23,32	0,81	18,87	17,45	419	
06.08.2004	2.085	950	1.135	298,95	15,45	14,66	158,8	0	0	-593	344,049	0	22,84	0,81	18,39	17,01	0	
07.08.2004	2.599	950	1.649	298,94	15,44	14,65	158,7	0	0	-79	343,970	0	22,81	0,80	18,36	16,99	0	
08.08.2004	4.501	950	3.551	298,94	15,44	14,65	158,7	0	0	1,823	345,793	0	22,81	0,80	18,36	16,99	0	
09.08.2004	2.139	950	1.189	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	-539	345,254	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0	
10.08.2004	2.492	950	1.542	298,96	15,46	14,67	158,9	0	0	-186	345,068	0	22,86	0,81	18,41	17,03	0	
11.08.2004	7.403	950	6.453	298,96	15,46	14,67	158,9	0	0	4,725	349,793	0	22,86	0,81	18,41	17,03	0	
12.08.2004	25.727	950	24.777	299,03	15,53	14,74	159,4	0	0	23,049	372,841	0	23,04	0,81	18,59	17,20	0	
13.08.2004	27.906	950	26.956	299,35	15,85	15,03	161,7	0	0	25,228	398,069	0	23,85	0,81	19,40	17,94	0	
14.08.2004	30.915	950	29.965	299,70	16,20	15,36	164,3	0	0	28,237	426,306	0	24,75	0,82	20,28	18,76	0	
15.08.2004	24.860	950	23.910	300,10	16,60	15,73	167,1	0	0	22,182	448,389	0	25,78	0,83	21,28	19,69	0	
16.08.2004	19.555	950	18.605	300,40	16,90	16,01	169,2	0	0	16,877	465,365	0	26,57	0,83	22,04	20,38	0	
17.08.2004	16.829	950	15.879	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	1,247	451,247	450,000	1,247	26,62	0,83	22,09	20,43	490
18.08.2004	15.107	950	14.157	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-474	449,526	449,526	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
19.08.2004	10.902	950	9.952	300,41	16,91	16,02	169,3	24	14,626	-4,673	444,852	444,852	0	26,60	0,83	22,06	20,41	490
20.08.2004	9.591	950	8.641	300,35	16,85	15,96	168,9	24	14,590	-5,948	438,904	438,904	0	26,44	0,83	21,91	20,27	486
21.08.2004	10.764	950	9.814	300,27	16,77	15,89	168,3	24	14,541	-4,727	434,177	434,177	0	26,23	0,83	21,71	20,08	482
22.08.2004	9.275	950	8.325	300,21	16,71	15,83	167,9	24	14,505	-6,180	427,997	427,997	0	26,07	0,83	21,56	19,94	479
23.08.2004	7.919	950	6.969	300,12	16,62	15,75	167,2	24	14,450	-7,481	420,516	420,516	0	25,84	0,83	21,33	19,73	474
24.08.2004	8.308	950	7.358	300,02	16,52	16,65	166,5	24	14,389	-7,031	413,485	413,485	0	25,58	0,82	21,08	19,50	468
25.08.2004	8.987	950	8.037	299,92	16,42	15,56	165,8	24	14,328	-6,290	407,194	407,194	0	25,32	0,82	20,83	19,27	462
26.08.2004	11.815	950	10.865	299,83	16,33	15,48	165,2	24	14,273	-3,407	403,787	403,787	0	25,08	0,82	20,61	19,06	457
27.08.2004	8.219	950	7.269	299,78	16,28	15,43	164,8	24	14,242	-6,973	396,815	396,815	0	24,95	0,82	20,48	18,94	455
28.08.2004	15.740	950	14.790	299,69	16,19	15,35	164,2	24	14,186	604	397,418	397,418	0	24,72	0,82	20,25	18,73	450
29.08.2004	18.913	950	17.963	299,69	16,19	15,35	164,2	24	14,186	3,777	401,196	401,196	0	24,72	0,82	20,25	18,73	450
30.08.2004	19.138	950	18.188	299,75	16,25	15,40	164,6	24	14,223	3,965	405,161	405,161	0	24,88	0,82	20,40	18,87	453
31.08.2004	16.477	950	15.527	299,80	16,33	15,45	165,0	24	14,254	1,273	406,434	406,434	0	25,01	0,82	20,53	18,99	456
01.09.2004	14.709	950	13.759	299,82	16,32	15,47	165,1	24	14,266	-507	405,927	405,927	0	25,06	0,82	20,58	19,04	457
02.09.2004	13.333	950	12.383	299,81	16,31	15,46	165,0	24	14,260	-1,877	404,050	404,050	0	25,03	0,82	20,56	19,01	456
03.09.2004	11.697	950	10.747	299,79	16,29	15,44	162,6	24	14,248	-3,501	400,549	400,549	0	24,98	0,82	20,51	18,97	455
04.09.2004	10.004	950	9.054	299,74	16,24	15,39	164,5	24	14,217	-5,163	395,385	395,385	0	24,85	0,82	20,38	18,85	452
05.09.2004	8.227	950	7.277	299,67	16,17	15,33	164,0	24	14,174	-6,897	388,488	388,488	0	24,67	0,82	20,20	18,69	449
06.09.2004	14.709	950	13.759	299,57	16,07	15,24	163,3	24	14,111	-7,579	380,909	380,909	0	24,41	0,82	19,95	18,46	443
07.09.2004	5.843	950	4.893	299,47	15,97	15,14	162,6	24	14,049	-9,156	371,753	371,753	0	24,16	0,82	19,70	18,22	437
08.09.2004	5.460	950	4.510	299,34	15,84	15,02	161,7	24	13,967	-9,458	362,295	362,295	0	23,83	0,81	19,37	17,92	430
09.09.2004	4.780	950	3.830	299,21	15,71	14,90	160,7	24	13,885	-10,055	352,240	352,240	0	23,50	0,81	19,04	17,62	423
10.09.2004	5.239	950	4.289	299,07	15,57	14,77	159,7	24	13,796	-9,507	342,733	342,733	0	23,14	0,81	18,69	17,29	415
11.09.2004	7.148	950	6.198	298,92	15,42	14,63	158,6	0	0	4,470	347,202	347,202	0	22,76	0,80	18,31	16,94	0
12.09.2004	4.235	950	3.285	298,99	15,49	14,70	159,1	0	0	1,557	348,759	348,759	0	22,94	0,81	18,49	17,10	0

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kWh/d	Energie kWh/d	
13.09.2004	5.597	950	4.647	299,01	15,51	14,72	159,2	0	0	2.919	351.678	0	22,99	0,81	18,54	17,15	0	
14.09.2004	3.096	950	2.146	299,06	15,56	14,76	159,6	0	0	418	352.096	0	23,12	0,81	18,67	17,27	0	
15.09.2004	2.983	950	2.033	299,07	15,57	14,77	159,7	0	0	305	352.401	0	23,14	0,81	18,69	17,29	0	
16.09.2004	3.969	950	3.019	299,07	15,57	14,77	159,7	0	0	1.291	353.691	0	23,14	0,81	18,69	17,29	0	
17.09.2004	2.611	950	1.661	299,09	15,59	14,79	159,8	0	0	-67	353.624	0	23,19	0,81	18,74	17,34	0	
18.09.2004	2.447	950	1.497	299,09	15,59	14,79	159,8	0	0	-231	353.393	0	23,19	0,81	18,74	17,34	0	
19.09.2004	2.740	950	1.790	299,09	15,59	14,79	159,8	0	0	62	353.455	0	23,19	0,81	18,74	17,34	0	
20.09.2004	3.371	950	2.421	299,09	15,59	14,79	159,8	0	0	693	354.148	0	23,19	0,81	18,74	17,34	0	
21.09.2004	6.834	950	5.884	299,10	15,60	14,80	159,9	0	0	4.156	358.304	0	23,22	0,81	18,77	17,36	0	
22.09.2004	31.966	950	31.016	299,16	15,66	14,86	160,3	0	0	29.288	387.592	0	23,37	0,81	18,92	17,50	0	
23.09.2004	61.686	950	60.736	299,56	16,06	15,23	163,3	0	0	59.008	446.601	0	24,39	0,82	19,93	18,43	0	
24.09.2004	54.813	950	53.863	300,37	16,87	15,98	169,0	0	0	52.135	498.735	450.000	26,49	0,83	21,96	20,31	0	
25.09.2004	38.650	950	37.700	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	23.068	473.068	450.000	23.068	26,62	0,83	22,09	20,43	490
26.09.2004	30.155	950	29.205	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	14.574	464.574	450.000	14.574	26,62	0,83	22,09	20,43	490
27.09.2004	21.997	950	21.047	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	6.415	456.415	450.000	6.415	26,62	0,83	22,09	20,43	490
28.09.2004	18.751	950	17.801	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	3.170	453.170	450.000	3.170	26,62	0,83	22,09	20,43	490
29.09.2004	16.665	950	15.715	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	1.083	451.083	450.000	1.083	26,62	0,83	22,09	20,43	490
30.09.2004	15.148	950	14.198	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-434	449.566	449.566	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
01.10.2004	13.835	950	12.885	300,41	16,91	16,02	169,3	24	14,626	-1.741	447.826	447.826	0	26,60	0,83	22,06	20,41	490
02.10.2004	13.149	950	12.199	300,39	16,89	16,00	169,1	24	14,614	-2.414	445.411	445.411	0	26,54	0,83	22,01	20,36	489
03.10.2004	9.930	950	8.980	300,35	16,85	15,96	168,9	24	14,590	-5.610	439.802	439.802	0	26,44	0,83	21,91	20,27	486
04.10.2004	8.827	950	7.877	300,28	16,78	15,90	168,4	24	14,547	-6.670	433.131	433.131	0	26,26	0,83	21,74	20,11	483
05.10.2004	9.618	950	8.668	300,19	16,69	15,81	167,7	24	14,493	-5.824	427.307	427.307	0	26,02	0,83	21,51	19,90	478
06.10.2004	8.372	950	7.422	300,11	16,61	15,74	167,2	24	14,444	-7.022	420.284	420.284	0	25,81	0,83	22,31	19,71	473
07.10.2004	7.194	950	6.244	300,01	16,51	15,65	166,5	24	14,383	-8.139	412.146	412.146	0	25,55	0,82	21,06	19,48	467
08.10.2004	5.594	950	4.644	299,90	16,40	15,54	165,7	24	14,316	-9.671	402.474	402.474	0	25,26	0,82	20,78	19,22	461
09.10.2004	5.231	950	4.281	299,76	16,26	15,41	164,7	24	14,229	-11.413	348.451	348.451	0	23,42	0,81	18,97	17,55	421
10.10.2004	3.740	950	2.790	299,63	16,13	15,29	163,8	24	14,149	-11.359	381.167	381.167	0	24,57	0,82	20,10	18,60	446
11.10.2004	4.510	950	3.560	299,47	15,97	15,14	162,6	24	14,049	-10.489	370.678	370.678	0	24,16	0,82	19,70	18,22	437
12.10.2004	4.091	950	3.141	299,32	15,82	15,01	161,5	24	13.955	-10.814	359.864	359.864	0	23,77	0,81	19,32	17,87	429
13.10.2004	3.403	950	2.453	299,18	15,68	14,88	160,5	24	13.866	-11.413	348.451	348.451	0	23,42	0,81	18,97	17,55	421
14.10.2004	3.362	950	2.412	299,01	15,51	14,72	159,2	24	13.758	-11.346	337.105	337.105	0	22,99	0,81	18,54	17,15	412
15.10.2004	3.895	950	2.945	298,83	15,33	14,55	157,9	0	0	1.217	338.322	338.322	0	22,54	0,80	18,09	16,73	0
16.10.2004	6.478	950	5.528	298,85	15,35	14,57	158,0	0	0	3.322	342.122	342.122	0	22,59	0,80	18,14	16,78	0
21.10.2004	7.493	950	6.543	299,12	15,62	14,82	160,0	0	0	4.815	360.818	360.818	0	23,27	0,81	18,82	17,41	0
22.10.2004	7.249	950	6.299	299,19	15,69	14,88	160,6	0	0	4.571	365.389	365.389	0	23,44	0,81	18,99	17,57	0
23.10.2004	7.845	950	6.895	299,25	15,75	14,94	161,0	0	0	5.167	370.556	370.556	0	23,60	0,81	19,14	17,71	0
24.10.2004	8.699	950	7.749	299,32	15,82	15,01	161,5	0	0	6.021	376.577	376.577	0	23,77	0,81	19,32	17,87	0
25.10.2004	7.683	950	6.733	299,41	15,91	15,09	162,2	0	0	5.005	381.582	381.582	0	24,00	0,81	19,55	18,08	0
26.10.2004	7.434	950	6.484	299,47	15,97	15,14	162,6	0	0	4.756	386.338	386.338	0	24,16	0,82	19,70	18,22	0

Datum	Zu- fuss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	H <sub>B</sub> m	H <sub>N</sub> m	Q <sub>T</sub> 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	P <sub>hydr</sub> kW	η <sub>Turb</sub> %	P <sub>e</sub> kW	Energie kWh/d	
27.10.2004	5.855	950	4.905	299,54	16,04	15,21	163,1	0	0	3.177	389,515	389,515	0	24,34	0,82	19,88	18,39	0
28.10.2004	8.012	950	7.062	299,58	16,08	15,25	163,4	0	0	5.334	394,849	394,849	0	24,44	0,82	19,98	18,48	0
29.10.2004	7.625	950	6.675	299,66	16,16	15,32	164,0	0	0	4.947	399,796	399,796	0	24,64	0,82	20,18	18,67	0
30.10.2004	5.938	950	4.988	299,73	16,23	15,39	164,5	0	0	3.260	403,056	403,056	0	24,82	0,82	20,35	18,83	0
31.10.2004	5.940	950	4.990	299,77	16,27	15,42	164,8	0	0	3.262	406,319	406,319	0	24,93	0,82	20,46	18,92	0
01.11.2004	4.004	950	3.054	299,82	16,32	15,47	165,1	0	0	1.326	407,644	407,644	0	25,06	0,82	20,58	19,04	0
02.11.2004	4.151	950	3.201	299,84	16,34	15,49	165,3	0	0	1.473	409,118	409,118	0	25,11	0,82	20,63	19,08	0
03.11.2004	6.053	950	5.103	299,86	16,36	15,51	165,4	0	0	3.375	412,493	412,493	0	25,16	0,82	20,68	19,13	0
04.11.2004	3.720	950	2.770	299,90	16,40	15,54	165,7	0	0	1.042	413,535	413,535	0	25,26	0,82	20,78	19,22	0
05.11.2004	3.973	950	3.023	299,92	16,42	15,56	165,8	0	0	1.295	414,830	414,830	0	25,32	0,82	20,83	19,27	0
06.11.2004	5.413	950	4.463	299,94	16,44	15,58	166,0	0	0	2.735	417,565	417,565	0	25,37	0,82	20,88	19,32	0
07.11.2004	4.038	950	3.088	299,98	16,48	15,62	166,3	0	0	1.360	418,925	418,925	0	25,47	0,82	20,98	19,41	0
08.11.2004	3.832	950	2.882	300,00	16,50	15,64	166,4	0	0	1.154	420,079	420,079	0	25,52	0,82	21,03	19,46	0
09.11.2004	6.243	950	5.293	300,01	16,51	15,65	166,5	0	0	3.565	423,644	423,644	0	25,55	0,82	21,06	19,48	0
10.11.2004	7.129	950	6.179	300,06	16,56	15,69	166,8	0	0	4.451	428,095	428,095	0	25,68	0,82	21,18	19,60	0
11.11.2004	6.344	950	5.394	300,12	16,62	15,75	167,2	0	0	3.666	431,761	431,761	0	25,84	0,83	21,33	19,73	0
12.11.2004	14.543	950	13.593	300,17	16,67	15,79	167,6	0	0	11.865	443,626	443,626	0	25,97	0,83	21,46	19,85	0
13.11.2004	26.692	950	25.742	300,33	16,83	15,94	168,7	0	0	24,014	467,640	467,640	0	26,39	0,83	21,86	20,22	0
14.11.2004	27.176	950	26.226	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	11.594	450,000	11.594	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
15.11.2004	20.776	950	19.826	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	5.194	455,194	455,194	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
16.11.2004	19.406	950	18.456	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	3.824	453,824	453,824	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
17.11.2004	59.401	950	58.451	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	43.820	493,820	493,820	0	43,820	0,83	22,09	20,43	490
18.11.2004	163.136	950	162.186	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	147.554	597.554	597.554	0	147.554	0,83	22,09	20,43	490
19.11.2004	165.406	950	164.456	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	149.824	599.824	599.824	0	149.824	0,83	22,09	20,43	490
20.11.2004	81.352	950	80.402	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	65.770	515.770	515.770	0	65.770	0,83	22,09	20,43	490
21.11.2004	59.980	950	59.030	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	44.398	494,398	494,398	0	450,000	0,83	22,09	20,43	490
22.11.2004	81.061	950	80.111	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	65.479	515.479	515.479	0	65.479	0,83	22,09	20,43	490
23.11.2004	77.906	950	76.956	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	62.325	512.325	512.325	0	62.325	0,83	22,09	20,43	490
24.11.2004	58.706	950	57.756	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	43.124	493.124	493.124	0	450,000	0,83	22,09	20,43	490
25.11.2004	38.647	950	37.697	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	23.065	473.065	473.065	0	23.065	0,83	22,09	20,43	490
26.11.2004	25.123	950	24.173	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	9.541	459.541	459.541	0	9.541	0,83	22,09	20,43	490
27.11.2004	20.172	950	19.220	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	4.590	454.590	454.590	0	4.590	0,83	22,09	20,43	490
28.11.2004	14.828	950	13.878	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-753	449.247	449.247	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
29.11.2004	13.165	950	12.215	300,41	16,91	16,02	169,3	24	14,626	-2.411	446.836	446.836	0	26,60	0,83	22,06	20,41	490
30.11.2004	12.102	950	11.152	300,37	16,87	15,98	169,0	24	14,602	-3.450	443.386	443.386	0	26,62	0,83	21,96	20,31	488
01.12.2004	11.328	950	10.378	300,33	16,83	15,94	168,7	24	14,577	-4.200	439.186	439.186	0	26,39	0,83	21,86	20,22	485
02.12.2004	11.190	950	10.240	300,27	16,77	15,89	168,3	24	14,541	-4.301	434.886	434.886	0	26,23	0,83	21,71	20,08	482
03.12.2004	8.731	950	7.781	300,22	16,72	15,84	168,0	24	14,511	-6.730	428.156	428.156	0	26,10	0,83	21,59	19,97	479
04.12.2004	9.617	950	8.667	300,12	16,62	15,75	167,2	24	14,450	-5.784	422.372	422.372	0	25.84	0,83	21,33	19,73	474
05.12.2004	7.680	950	6.730	300,04	16,54	15,67	166,7	24	14,401	-7.672	414.701	414.701	0	25.63	0,82	21,13	19,55	469
06.12.2004	8.987	950	8.037	299,94	16,44	15,58	166,0	24	14,340	-6.303	408.398	408.398	0	25.37	0,82	20,88	19,32	464
07.12.2004	7.296	950	6.346	299,85	16,35	15,50	165,3	24	14,285	-7.939	400.459	400.459	0	25.13	0,82	20,66	19,11	459
08.12.2004	7.032	950	6.082	299,74	16,24	15,39	164,5	24	14,217	-8.135	392.324	392.324	0	24.85	0,82	20,38	18,85	452
09.12.2004	6.579	950	5.629	299,62	16.12	15,28	163,7	24	14.143	-8.514	383.810	383.810	0	24.54	0,82	20,08	18,57	446

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögl. Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kWh/d	Energie kWh/d	
10.12.2004	6.595	950	5.645	299,51	16.01	15.18	162,9	24	14.074	-8.429	375.381	0	24.26	0.82	19.80	18.32	440	
11.12.2004	6.291	950	5.341	299,39	15.89	15.07	162,0	24	13.999	-8.658	366.723	0	23.95	0.81	19.50	18.04	433	
12.12.2004	4.114	950	3.164	299,27	15.77	14.96	161,1	24	13.923	-10.759	355.964	0	23.65	0.81	19.20	17.76	426	
13.12.2004	4.480	950	3.530	299,12	15.62	14.82	160,0	24	13.828	-10.298	345.666	0	23.27	0.81	18.82	17.41	418	
14.12.2004	4.829	950	3.879	298,97	15.47	14.68	158,9	0	0	2.151	347.817	347.817	0	22.89	0.81	18.44	17.06	0
15.12.2004	5.839	950	4.889	299,00	15.50	14.71	159,2	0	0	3.161	350.978	350.978	0	22.96	0.81	18.51	17.13	0
16.12.2004	7.090	950	6.140	299,05	15.55	14.75	159,5	0	0	4.412	355.390	355.390	0	23.09	0.81	18.64	17.24	0
17.12.2004	13.063	950	12.113	299,11	15.61	14.81	160,0	0	0	10.385	365.774	365.774	0	23.24	0.81	18.79	17.38	0
18.12.2004	16.551	950	15.601	299,26	15.76	14.95	161,1	0	0	13.873	379.647	379.647	0	23.62	0.81	19.17	17.73	0
19.12.2004	19.128	950	18.178	299,45	15.95	15.13	162,5	0	0	16.450	396.097	396.097	0	24.11	0.82	19.65	18.18	0
20.12.2004	19.393	950	18.443	299,68	16.18	15.34	164,1	0	0	16.715	412.812	412.812	0	24.70	0.82	20.23	18.71	0
21.12.2004	16.593	950	15.643	299,91	16.41	15.55	165,8	0	0	13.915	426.728	426.728	0	25.29	0.82	20.81	19.25	0
22.12.2004	20.302	950	19.352	300,10	16.60	15.73	167,1	0	0	17.624	444.351	444.351	0	25.78	0.83	21.28	19.69	0
23.12.2004	31.673	950	30.723	300,34	16.84	15.95	168,8	0	0	28.995	473.346	473.346	0	26.41	0.83	21.89	20.24	0
24.12.2004	37.243	950	36.293	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	21.661	471.661	450.000	21.661	26.62	0.83	22.09	20.43	490
25.12.2004	41.390	950	40.440	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	25.809	475.809	450.000	25.809	26.62	0.83	22.09	20.43	490
26.12.2004	35.537	950	34.587	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	19.955	469.955	450.000	19.955	26.62	0.83	22.09	20.43	490
27.12.2004	26.764	950	25.814	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	11.182	461.182	450.000	11.182	26.62	0.83	22.09	20.43	490
28.12.2004	20.535	950	19.585	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	4.953	454.953	450.000	4.953	26.62	0.83	22.09	20.43	490
29.12.2004	17.902	950	16.952	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	2.320	452.320	450.000	2.320	26.62	0.83	22.09	20.43	490
30.12.2004	15.689	950	14.739	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	108	450.108	450.000	108	26.62	0.83	22.09	20.43	490
31.12.2004	19.489	950	18.539	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	3.907	453.907	450.000	3.907	26.62	0.83	22.09	20.43	490

Jahresarbeitsvermögen [kWh/a] 100.710

213 Tage läuft die Anlage

## (b) WW-Plan Variante IV – Betriebsweise b): Außerbetriebnahme der Anlage in den Sommermonaten

Datum	Zu- fuss $m^3/d$	Roh- wasser $m^3/d$	Über- schuss $m^3/d$	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $m^3/d$	Einstau/ Entnahme $m^3/d$	Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$	$P_{Turb}$ kW	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
01.01.2004	17.852	950	16.902	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	2.270	450,000	2.270	26,62	0,83	22,09	20,43	490		
02.01.2004	14.698	950	13.748	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	-884	449,116	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490		
03.01.2004	11.821	950	10.871	300,40	16,90	16,01	169,2	24	14.620	-3.749	445,367	0	26,57	0,83	22,04	20,38	489		
04.01.2004	12.032	950	11.082	300,35	16,85	15,96	168,9	24	14.590	-3.507	441,860	0	26,44	0,83	21,91	20,27	486		
05.01.2004	11.752	950	10.802	300,30	16,80	15,91	168,5	24	14.559	-3.758	438,102	0	26,31	0,83	21,79	20,15	484		
06.01.2004	13.659	950	12.709	300,26	16,76	15,88	168,2	24	14.535	-1.826	436,276	0	26,20	0,83	21,69	20,06	481		
07.01.2004	13.225	950	12.275	300,23	16,73	15,85	168,0	24	14.517	-2.242	434,034	0	26,12	0,83	21,61	19,99	480		
08.01.2004	16.957	950	16.007	300,20	16,70	15,82	167,8	24	14.499	1.508	435,542	0	26,05	0,83	21,53	19,92	478		
09.01.2004	26.525	950	25.575	300,22	16,72	15,84	168,0	24	14.511	11.064	446,606	0	26,10	0,83	21,59	19,97	479		
10.01.2004	38.822	950	37.872	300,37	16,87	15,98	169,0	24	14.602	23,271	469,876	0	19,876	26,49	0,83	21,96	20,31	488	
11.01.2004	55.402	950	54.452	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	39,821	489,821	0	39,821	0	22,09	20,43	490		
12.01.2004	77.105	950	76.155	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	61,524	511,524	0	61,524	0	26,62	0,83	21,43	490	
13.01.2004	95.049	950	94.099	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	79,467	529,467	0	79,467	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
14.01.2004	85.123	950	84.173	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	69,541	519,541	0	69,541	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
15.01.2004	78.783	950	77.833	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	63,201	513,201	0	63,201	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
16.01.2004	85.986	950	85.036	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	70,404	520,404	0	70,404	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
17.01.2004	73.956	950	73.006	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	58,374	508,374	0	58,374	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
18.01.2004	52.390	950	51.440	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	36,808	486,808	0	36,808	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
19.01.2004	76.451	950	75.501	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	60,869	510,869	0	60,869	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
20.01.2004	101.296	950	100.346	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	85,714	535,714	0	85,714	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
21.01.2004	65.027	950	64.077	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	49,446	499,446	0	49,446	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
22.01.2004	36.856	950	35.906	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	21,274	471,274	0	21,274	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
23.01.2004	22.446	950	21.496	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	6,865	456,865	0	6,865	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
24.01.2004	18.386	950	17.436	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	2,804	452,804	0	2,804	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
25.01.2004	15.781	950	14.831	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	200	450,000	200	200	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
26.01.2004	13.142	950	12.192	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	-2.440	447,560	0	447,560	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
27.01.2004	12.713	950	11.763	300,38	16,88	15,99	169,1	24	14.608	-2,845	444,716	0	444,716	0	26,52	0,83	21,99	20,34	488
28.01.2004	12.498	950	11.545	300,34	16,84	15,95	168,8	24	14.584	-3,035	441,681	0	441,681	0	26,41	0,83	21,89	20,24	486
29.01.2004	10.903	950	9.953	300,30	16,80	15,91	168,5	24	14.559	-4,607	437,074	0	437,074	0	26,31	0,83	21,79	20,15	484
30.01.2004	11.271	950	10.321	300,24	16,74	15,86	168,1	24	14.523	-4,202	432,872	0	432,872	0	26,15	0,83	21,64	20,01	480
31.01.2004	36.239	950	35.289	300,19	16,69	15,81	167,7	24	14.493	20,797	453,668	0	453,668	0	26,62	0,83	21,51	19,90	478
01.02.2004	72.105	950	71.155	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	17,709	467,709	0	467,709	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
02.02.2004	84.409	950	83.459	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	8,333	458,333	0	458,333	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
03.02.2004	75.707	950	74.757	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	9,592	459,592	0	459,592	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
04.02.2004	48.487	950	47.537	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	32,905	482,905	0	482,905	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
05.02.2004	33.291	950	32.341	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	17,709	467,709	0	467,709	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
06.02.2004	23.915	950	22.965	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	8,333	458,333	0	458,333	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
07.02.2004	25.174	950	24.224	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	9,766	459,766	0	459,766	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
08.02.2004	25.348	950	24.398	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	10,985	460,985	0	460,985	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
09.02.2004	26.567	950	25.617	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14.632	10,985	460,985	0	460,985	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490

Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Einstau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup> /d	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
10.02.2004	39.714	950	38.764	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	24.133	474.133	450.000	24.133	26.62	0.83	22.09	20.43	490
11.02.2004	71.697	950	70.747	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	56.115	506.115	450.000	56.115	26.62	0.83	22.09	20.43	490
12.02.2004	75.169	950	74.219	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	59.587	509.587	450.000	59.587	26.62	0.83	22.09	20.43	490
13.02.2004	56.073	950	55.123	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	40.491	490.491	450.000	40.491	26.62	0.83	22.09	20.43	490
14.02.2004	47.161	950	46.211	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	31.579	481.579	450.000	31.579	26.62	0.83	22.09	20.43	490
15.02.2004	37.231	950	36.281	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	21.649	471.649	450.000	21.649	26.62	0.83	22.09	20.43	490
16.02.2004	26.453	950	25.503	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	10.872	460.872	450.000	10.872	26.62	0.83	22.09	20.43	490
17.02.2004	22.397	950	21.447	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	6.815	456.815	450.000	6.815	26.62	0.83	22.09	20.43	490
18.02.2004	17.584	950	16.634	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	2.002	452.002	450.000	2.002	26.62	0.83	22.09	20.43	490
19.02.2004	15.754	950	14.804	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	173	450.173	450.000	173	26.62	0.83	22.09	20.43	490
20.02.2004	12.542	950	11.592	300,42	16.92	16.03	169,3	24	14.632	-3.040	446.960	446.960	0	26.62	0.83	22.09	20.43	490
21.02.2004	12.552	950	11.602	300,38	16.88	15.99	169,1	24	14.608	-3.006	443.954	443.954	0	26.52	0.83	21.99	20.34	488
22.02.2004	12.834	950	11.884	300,33	16.83	15.94	168,7	24	14.577	-2.694	441.261	0	26.39	0.83	21.86	20.22	485	
23.02.2004	10.927	950	9.977	300,24	16.80	15.91	168,5	24	14.559	-4.582	436.679	436.679	0	26.31	0.83	21.79	20.15	484
24.02.2004	10.076	950	9.126	300,24	16.74	15.86	168,1	24	14.523	-5.397	431.281	431.281	0	26.15	0.83	21.64	20.01	480
25.02.2004	9.710	950	8.760	300,17	16.67	15.79	167,6	24	14.481	-5.720	425.561	425.561	0	25.97	0.83	21.46	19.85	476
26.02.2004	8.527	950	7.577	300,09	16.59	15.72	167,0	24	14.432	-6.855	418.705	418.705	0	25.76	0.83	21.26	19.66	472
27.02.2004	7.941	950	6.991	299,99	16.49	15.63	166,3	24	14.371	-7.380	411.326	411.326	0	25.50	0.82	21.01	19.43	466
28.02.2004	6.969	950	6.019	299,89	16.39	15.53	165,6	24	14.309	-8.290	403.036	403.036	0	25.24	0.82	20.76	19.20	461
29.02.2004	5.766	950	4.816	299,77	16.27	15.42	164,8	24	14.236	-9.420	393.616	393.616	0	24.93	0.82	20.46	18.92	454
01.03.2004	4.966	950	4.016	299,64	16.14	15.30	163,8	24	14.155	-10.139	383.477	383.477	0	24.59	0.82	20.13	18.62	447
02.03.2004	5.040	950	4.090	299,50	16.00	15.17	162,8	24	14.068	-9.978	373.500	373.500	0	24.23	0.82	19.78	18.29	439
03.03.2004	5.607	950	4.657	299,36	15.86	15.04	161,8	24	13.980	-9.322	364.177	364.177	0	23.88	0.81	19.42	17.97	431
04.03.2004	5.854	950	4.904	299,23	15.73	14.92	160,9	24	13.898	-8.994	355.183	355.183	0	23.55	0.81	19.09	17.66	424
05.03.2004	6.172	950	5.222	299,11	15.61	14.81	160,0	24	13.822	-8.600	346.533	346.533	0	23.24	0.81	18.79	17.38	417
06.03.2004	6.171	950	5.221	298,98	15.48	14.69	159,0	0	0	3.493	350.076	350.076	0	22.91	0.81	18.46	17.08	0
07.03.2004	5.589	950	4.639	299,03	15.53	14.74	159,4	0	0	2.911	352.988	352.988	0	23.04	0.81	18.59	17.20	0
08.03.2004	5.871	950	4.921	299,08	15.58	14.78	159,7	0	0	3.193	355.180	355.180	0	23.17	0.81	18.72	17.31	0
09.03.2004	6.873	950	5.923	299,13	15.63	14.83	160,1	0	0	4.195	360.375	360.375	0	23.29	0.81	18.84	17.43	0
10.03.2004	7.745	950	6.795	299,18	15.68	14.88	160,5	0	0	5.067	365.442	365.442	0	23.42	0.81	18.97	17.55	0
11.03.2004	7.195	950	6.245	299,25	15.75	14.94	161,0	0	0	4.517	369.959	369.959	0	23.60	0.81	19.14	17.71	0
12.03.2004	10.936	950	9.986	299,32	15.82	15,01	161,5	0	0	8.258	378.216	378.216	0	23.77	0.81	19.32	17.87	0
13.03.2004	18.283	950	17.333	299,43	15.93	15,11	162,3	0	0	15.605	393.821	393.821	0	24.05	0.81	19.60	18.13	0
14.03.2004	27.091	950	26.141	299,64	16.14	15,30	163,8	0	0	24.413	418.234	418.234	0	24.59	0.82	20.13	18.62	0
15.03.2004	24.368	950	23.418	299,99	16.49	15,63	166,3	0	0	21.690	439.324	439.324	0	25.50	0.82	21.01	19.43	0
16.03.2004	19.444	950	18.494	300,28	16,78	15,90	168,4	0	0	16.766	456.690	456.690	0	26.26	0.83	21.74	20.11	0
17.03.2004	16.524	950	15.574	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	942	450.942	450.942	942	26.62	0.83	22.09	20.43	490
18.03.2004	14.238	950	13.288	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	-1.344	448.656	448.656	0	26.62	0.83	22.09	20.43	490
19.03.2004	16.403	950	15.453	300,40	16.90	16,01	169,2	24	14.620	833	449.490	449.490	0	26.57	0.83	22.04	20.38	489
20.03.2004	23.831	950	22.881	300,41	16.91	16,02	169,3	24	14.626	8.256	457.745	457.745	0	26.60	0.83	22.06	20.41	490
21.03.2004	36.819	950	35.869	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	21.237	471.237	450.000	21.237	26.62	0.83	22.09	20.43	490
22.03.2004	53.573	950	52.623	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	37.992	487.992	450.000	37.992	26.62	0.83	22.09	20.43	490
23.03.2004	48.862	950	47.912	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	33.281	483.281	450.000	33.281	26.62	0.83	22.09	20.43	490
24.03.2004	35.542	950	34.592	300,42	16.92	16,03	169,3	24	14.632	19.960	469.960	450.000	19.960	26.62	0.83	22.09	20.43	490



Datum	Zu- fluss m <sup>3</sup> /d	Roh- wasser m <sup>3</sup> /d	Über- schuss m <sup>3</sup> /d	Stau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb.- abgabe m <sup>3</sup> /d	Ein- stau/ Entnahme m <sup>3</sup> /d	Inhalt m <sup>3</sup>	mögliche Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf m <sup>3</sup> /d	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ %	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
06.11.2004	5.413	950	4.463	299,82	16,32	15,47	165,1	24	14,266	-9,804	396,306	396,306	0	25,06	0,82	20,58	19,04	457
07.11.2004	4.038	950	3.088	299,68	16,18	15,34	164,1	24	14,180	-11,092	385,214	385,214	0	24,70	0,82	20,23	18,71	449
08.11.2004	3.832	950	2.882	299,53	16,03	15,20	163,0	24	14,086	-11,204	374,010	374,010	0	24,31	0,82	19,85	18,36	441
09.11.2004	6.243	950	5.293	299,37	15,87	15,05	161,9	24	13,986	-8,693	365,317	365,317	0	23,90	0,81	19,45	17,99	432
10.11.2004	7.129	950	6.179	299,25	15,75	14,94	161,0	24	13,910	-7,731	357,586	357,586	0	23,60	0,81	19,14	17,71	425
11.11.2004	6.344	950	5.394	299,14	15,64	14,84	160,2	24	13,841	-8,447	349,139	349,139	0	23,32	0,81	18,87	17,45	419
12.11.2004	14.543	950	13.593	299,02	15,52	15,73	159,3	24	13,764	-171	348,968	348,968	0	23,01	0,81	18,56	17,17	412
13.11.2004	26.692	950	25.742	299,02	15,52	14,73	159,3	24	13,764	11,978	360,946	360,946	0	23,01	0,81	18,56	17,17	412
14.11.2004	27.176	950	26.226	299,19	15,69	14,88	160,6	24	13,872	12,353	373,299	373,299	0	23,44	0,81	18,99	17,57	422
15.11.2004	20.776	950	19.826	299,36	15,86	15,04	161,8	24	13,980	5,846	379,145	379,145	0	23,88	0,81	19,42	17,97	431
16.11.2004	19.406	950	18.456	299,44	15,94	15,12	162,4	24	14,030	4,426	383,571	383,571	0	24,08	0,81	19,62	18,15	436
17.11.2004	59.401	950	58.451	299,50	16,00	15,17	162,8	24	14,068	44,384	427,954	427,954	0	24,23	0,82	19,78	18,29	439
18.11.2004	163.136	950	162.186	300,12	16,62	15,75	167,2	24	14,450	147,736	575,690	450,000	125,690	25,84	0,83	24,33	19,73	474
19.11.2004	165.406	950	164.406	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	149,824	599,324	450,000	149,824	26,62	0,83	22,09	20,43	490
20.11.2004	81.352	950	80.402	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	65,770	515,770	450,000	65,770	26,62	0,83	22,09	20,43	490
21.11.2004	59.980	950	59.030	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	44,398	494,398	450,000	44,398	26,62	0,83	22,09	20,43	490
22.11.2004	81.061	950	80.111	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	65,479	515,479	450,000	65,479	26,62	0,83	22,09	20,43	490
23.11.2004	77.906	950	76.956	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	62,325	512,325	450,000	62,325	26,62	0,83	22,09	20,43	490
24.11.2004	58.706	950	57.756	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	43,124	493,124	450,000	43,124	26,62	0,83	22,09	20,43	490
25.11.2004	38.647	950	37.697	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	23,005	473,065	450,000	23,005	26,62	0,83	22,09	20,43	490
26.11.2004	25.123	950	24.173	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	9,541	459,541	450,000	9,541	26,62	0,83	22,09	20,43	490
27.11.2004	20.172	950	19.222	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	4,590	454,590	450,000	4,590	26,62	0,83	22,09	20,43	490
28.11.2004	14.828	950	13.878	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	-753	449,247	449,247	0	26,62	0,83	22,09	20,43	490
29.11.2004	13.165	950	12.215	300,41	16,91	16,02	169,3	24	14,626	-2,411	446,836	446,836	0	26,60	0,83	22,06	20,41	490
30.11.2004	12.102	950	11.152	300,37	16,87	15,98	169,0	24	14,602	-3,450	443,386	443,386	0	26,49	0,83	21,96	20,31	488
01.12.2004	11.328	950	10.378	300,33	16,83	15,94	168,7	24	14,577	-4,200	439,186	439,186	0	26,39	0,83	21,86	20,22	485
02.12.2004	11.190	950	10.240	300,27	16,77	15,89	168,3	24	14,541	-4,301	434,886	434,886	0	26,23	0,83	22,09	20,43	482
03.12.2004	8.731	950	7.781	300,22	16,72	15,84	168,0	24	14,511	-6,730	428,156	428,156	0	26,10	0,83	21,59	19,97	479
04.12.2004	9.617	950	8.667	300,12	16,62	15,75	167,7	24	14,450	-5,784	422,372	422,372	0	25,84	0,83	21,33	19,73	474
05.12.2004	7.680	950	6.730	300,04	16,54	15,67	166,7	24	14,401	-7,672	414,701	414,701	0	25,63	0,82	21,13	19,55	469
06.12.2004	8.987	950	8.037	299,94	16,44	15,58	166,0	24	14,340	-6,303	408,398	408,398	0	25,37	0,82	20,88	19,32	464
07.12.2004	7.296	950	6.346	299,85	16,35	15,50	165,3	24	14,285	-7,939	400,459	400,459	0	25,13	0,82	20,66	19,11	459
08.12.2004	7.032	950	6.082	299,74	16,24	15,39	164,5	24	14,217	-8,135	392,324	392,324	0	24,85	0,82	20,38	18,85	452
09.12.2004	6.579	950	5.629	299,62	16,12	15,28	163,7	24	14,143	-8,514	383,810	383,810	0	24,54	0,82	20,08	18,57	446
10.12.2004	6.595	950	5.645	299,51	16,01	15,18	162,9	24	14,074	-8,429	375,381	375,381	0	24,26	0,82	19,80	18,32	440
11.12.2004	6.291	950	5.341	299,39	15,89	15,07	162,0	24	13,999	-8,658	366,723	366,723	0	23,95	0,81	19,50	18,04	433
12.12.2004	4.114	950	3.164	299,27	15,77	14,96	161,1	24	13,923	-10,759	355,964	355,964	0	23,65	0,81	19,20	17,76	426
13.12.2004	4.480	950	3.530	299,12	15,62	14,82	160,0	24	13,828	-10,298	345,666	345,666	0	23,27	0,81	18,82	17,41	418
14.12.2004	4.829	950	3.879	298,97	15,47	14,68	158,9	0	0	2,151	347,817	347,817	0	22,89	0,81	18,44	17,06	0
15.12.2004	5.839	950	4.889	299,00	15,50	14,71	159,2	0	0	3,161	350,978	350,978	0	22,96	0,81	18,51	17,13	0
16.12.2004	7.090	950	6.140	299,05	15,55	14,75	159,5	0	0	4,412	355,390	355,390	0	23,09	0,81	18,64	17,24	0
17.12.2004	13.063	950	12.113	299,11	15,61	14,81	160,0	0	0	10,385	365,774	365,774	0	23,24	0,81	18,79	17,38	0
18.12.2004	16.551	950	15.601	299,26	15,76	14,95	161,1	0	0	13,873	379,647	379,647	0	23,62	0,81	19,17	17,73	0
19.12.2004	19.128	950	18.178	299,45	15,95	15,13	162,5	0	0	16,450	396,097	396,097	0	24,11	0,82	19,65	18,18	0

Datum	Zu- fluss $m^3/d$	Roh- wasser $m^3/d$	Über- schuss $m^3/d$	Strau- höhe m ü.NN	$H_B$ m	$H_N$ m	$Q_T$ 1/s	Lauf- zeit h	Turb- abgabe $m^3/d$	Einstau- Entnahme $m^3/d$	mögl. Inhalt m <sup>3</sup>	Inhalt m <sup>3</sup>	Über- lauf $m^3/d$	$P_{hydr}$ kW	$\eta_{Turb}$ kW	$P_e$ kW	Energie kWh/d	
20.12.2004	19.393	950	18.443	299,68	16,18	15,34	164,1	0	0	16,715	412,812	0	24,70	0,82	20,23	18,71	0	
21.12.2004	16.533	950	15,643	299,91	16,41	15,55	165,8	0	0	13,915	426,728	0	25,29	0,82	20,81	19,25	0	
22.12.2004	20.302	950	19,352	300,10	16,60	15,73	167,1	0	0	17,624	444,351	0	25,78	0,83	21,28	19,69	0	
23.12.2004	31,673	950	30,723	300,34	16,84	15,95	168,8	0	0	28,995	473,346	450,000	23,346	26,41	0,83	21,89	20,24	0
24.12.2004	37,243	950	36,293	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	21,661	471,661	450,000	21,661	26,62	0,83	22,09	20,43	490
25.12.2004	41,390	950	40,440	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	25,809	475,809	450,000	25,809	26,62	0,83	22,09	20,43	490
26.12.2004	35,537	950	34,587	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	19,955	469,955	450,000	19,955	26,62	0,83	22,09	20,43	490
27.12.2004	26,764	950	25,814	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	11,182	461,182	450,000	11,182	26,62	0,83	22,09	20,43	490
28.12.2004	20,535	950	19,585	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	4,953	454,953	450,000	4,953	26,62	0,83	22,09	20,43	490
29.12.2004	17,902	950	16,952	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	2,320	452,320	450,000	2,320	26,62	0,83	22,09	20,43	490
30.12.2004	15,689	950	14,739	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	108	450,108	450,000	108	26,62	0,83	22,09	20,43	490
31.12.2004	19,489	950	18,539	300,42	16,92	16,03	169,3	24	14,632	3,907	453,907	450,000	3,907	26,62	0,83	22,09	20,43	490

Jahresarbeitsvermögen [kWh/a] 72.913

154 Tage läuft die Anlage

## B.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

### B.3.1 Kostenermittlung

#### Variante I

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
Baukosten					
Allgemein					
1.1	Einrichten der Baustelle	psch.	1,00	1.200,00	1.200,00
1.2	Räumen der Baustelle	psch.	1,00	400,00	400,00
Erdbau					
1.3	Aushaub der Baugrube	$m^3$	70,00	7,00	490,00
1.4	Boden verarbeiten	$m^3$	70,00	15,00	1.050,00
Beton- und Stahlbeton					
1.5	Bodenplatte, Beton(z. B. C25/30, XC4)	$m^3$	4,10	120,00	492,00
1.6	Wände, Beton	$m^3$	33,00	120,00	3.960,00
1.7	Sauberkeitsschicht (z.B. C8/10)	$m^3$	0,70	110,00	77,00
1.8	Wandschalung (innen)	$m^2$	31,50	60,00	1.890,00
1.9	Wandschalung (außen)	$m^2$	37,50	50,00	1.875,00
1.10	Betonstahl (mit 0,1 t/m <sup>3</sup> )	t	3,70	900,00	3.330,00
1.11	Maschinenfundamente, Beton	$m^3$	0,30	160,00	48,00
1.12	Schalung für Maschinenfundamente	$m^2$	1,50	60,00	90,00
Dacharbeiten					
1.13	Holz, Montage, Dachdeckung, etc.	$m^2$	22,00	120,00	2.640,00
Sonstiges					
1.14	Türe	Stk.	1,00	200,00	200,00
1.15	Belüftung	psch.	1,00	150,00	150,00
Zugang					
1.16	Aushub	$m^3$	11,00	7,00	77,00
1.17	Boden verarbeiten	$m^3$	11,00	15,00	165,00
1.18	Stützwände, Beton (z. B. C25/30, XC4)	$m^3$	3,20	120,00	384,00
1.19	Schalung	$m^2$	21,60	50,00	1.080,00
1.20	Treppe oder Rampe	psch.	1,00	500,00	500,00
					<b>Baukosten: 20.098,00</b>
M.-E.Kosten (laut Angebot WKV )					
2.1	Turbine, Generator, Schaltschrank, etc.	psch.	1,00	56.000,00	56.000,00
2.2	Montage	psch.	1,00	4.800,00	4.800,00
					<b>M.-E.-Kosten: 60.800,00</b>

Fortsetzung der Auflistung auf der nächsten Seite . . .

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
Stahlwasserbauliche Kosten					
3.1	Abzweigungsstück	Stk.	1,00	300,00	300,00
3.2	Rohr DN 300	m	2,00	192,00	384,00
3.3	Zulaufleitung zur Turbine DN 400	m	1,00	260,00	260,00
3.4	Umbau der Anschlüsse im Rohrkeller	psch.	1,00	3.000,00	3.000,00
3.5	Schieber DN 400 vor der Turbine	Stk.	1,00	2.000,00	2.000,00
				<b>StW.-Kosten:</b>	<b>5.944,00</b>
Baugemeinkosten					
4.1	Genehmigungen, Verwaltung	psch.	1,00	1.000,00	1.000,00
				<b>BG-Kosten:</b>	<b>1.000,00</b>
					<b>Endsumme:</b> <b>87.842,00</b>
					Mehrwertsteuer 16 % 14.054,72
					<b>Investitionskosten:</b> <b>101.896,72</b>

## Variante II

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
Baukosten					
Baukosten					
Allgemein					
1.1	Einrichten der Baustelle	psch.	1,00	1.200,00	1.200,00
1.2	Räumen der Baustelle	psch.	1,00	400,00	400,00
Erbau					
1.3	Aushaub der Baugrube	m <sup>3</sup>	18,00	7,00	126,00
1.4	Boden verarbeiten	m <sup>3</sup>	18,00	15,00	270,00
Beton- und Stahlbeton					
1.5	Bodenplatte, Beton (z. B. C25/30, XC4)	m <sup>3</sup>	4,10	120,00	492,00
1.6	Wände, Beton	m <sup>3</sup>	33,00	120,00	3.960,00
1.7	Sauberkeitsschicht (z.B. C8/10)	m <sup>3</sup>	0,70	110,00	77,00
1.8	Wandschalung (innen)	m <sup>2</sup>	31,50	60,00	1.890,00
1.9	Wandschalung (außen)	m <sup>2</sup>	37,50	50,00	1.875,00
1.10	Betonstahl (mit 0,1 t/m <sup>3</sup> )	t	3,70	900,00	3.330,00
1.11	Maschinenfundamente, Beton	m <sup>3</sup>	0,30	160,00	48,00
1.12	Schalung für Maschinenfundamente	m <sup>2</sup>	1,50	60,00	90,00
Dacharbeiten					
1.13	Holz, Montage, Dachdeckung, etc.	m <sup>2</sup>	22,00	120,00	2.640,00
Sonstiges					
1.14	Türe	Stk.	1,00	200,00	200,00
1.15	Belüftung	psch.	1,00	150,00	150,00
1.16	Zugang	psch.	1,00	800,00	800,00
					<b>Baukosten:</b> <b>17.548,00</b>

Fortsetzung der Auflistung auf der nächsten Seite . . .

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
M.-E.Kosten (laut Angebot WKV )					
2.1	Turbine, Generator, Schaltschrank, etc.	psch.	1,00	56.000,00	56.000,00
2.2	Montage	psch.	1,00	4.800,00	4.800,00
					<b>M.-E.-Kosten:</b> <b>60.800,00</b>
Stahlwasserbauliche Kosten					
3.1	Abzweigungsstück	Stk.	1,00	300,00	300,00
3.2	Zulauf zur Turbine DN 400 (erdverlegt)	m	30,00	380,00	11.400,00
3.3	Zulauf zur Turbine im Schacht DN 400	m	2,00	260,00	520,00
3.4	Schieber DN 400 vor der Turbine	Stk.	1,00	2.000,00	2.000,00
					<b>StW.-Kosten:</b> <b>14.220,00</b>
Baugemeinkosten					
4.1	Genehmigungen, Verwaltung	psch.	1,00	1.000,00	1.000,00
					<b>BG-Kosten:</b> <b>1.000,00</b>
					<b>Endsumme:</b> <b>93.568,00</b>
					Mehrwertsteuer 16 % 14.970,88
					<b>Investitionskosten:</b> <b>108.538,88</b>

### Variante III

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
Baukosten					
					<b>Baukosten:</b> <b>0,00</b>
M.-E.Kosten (laut Angebot RITZ )					
2.1	Turbine, Generator	psch.	1,00	9.800,00	9.800,00
2.2	Schaltschrank	psch.	1,00	3.100,00	3.100,00
2.3	Programmierung, Einweisung, Ě	psch.	1,00	2.800,00	2.800,00
2.4	Magnetventil	Stk.	1,00	900,00	900,00
					<b>M.-E.-Kosten:</b> <b>16.600,00</b>
Stahlwasserbauliche Kosten (laut Angebot RITZ)					
3.1	Schieber DN 300	Stk.	1,00	2.900,00	2.900,00
3.2	Rohrleitungen DN 300, DN 400, DN 80; Montage aller Rohrleitungen, Armaturen, Turbine; Versetzen des Ringkolbenventils, Ě	psch.	1,00	9.000,00	9.000,00
					<b>StW.-Kosten:</b> <b>11.900,00</b>
Baugemeinkosten					
4.1	Genehmigungen, Verwaltung	psch.	1,00	1.000,00	1.000,00
					<b>BGKosten:</b> <b>1.000,00</b>
					<b>Endsumme:</b> <b>29.500,00</b>
					Mehrwertsteuer 16 % 4.720,00
					<b>Investitionskosten:</b> <b>34.220,00</b>

**Variante IV**

Pos.	Leistung	Einh.	Menge	EP	GP
<b>Baukosten</b>					
Allgemein					
1.1	Einrichten der Baustelle	psch.	1,00	1.200,00	1.200,00
1.2	Räumen der Baustelle	psch.	1,00	400,00	400,00
Erdbau					
1.3	Aushaub der Baugrube	m <sup>3</sup>	22,00	7,00	154,00
1.4	Boden verarbeiten	m <sup>3</sup>	22,00	15,00	330,00
Schacht					
1.5	Fertigteilbetonschacht	Stk.	1,00	6.000,00	6.000,00
					<b>Baukosten: 8.084,00</b>
M.-E.Kosten (laut Angebot RITZ)					
2.1	Turbine, Generator	psch.	1,00	9.800,00	9.800,00
2.2	Schaltschrank	psch.	1,00	3.100,00	3.100,00
2.3	Programmierung, Einweisung, Ě	psch.	1,00	2.800,00	2.800,00
2.4	Magnetventil	Stk.	1,00	900,00	900,00
					<b>M.-E.-Kosten: 16.600,00</b>
Stahlwasserbauliche Kosten (laut Angebot RITZ)					
3.1	Abzweigungsstück	Stk.	1,00	300,00	300,00
3.2	Zulauf zur Turbine DN 300 (erdverlegt)	m	30,00	280,00	8.400,00
3.3	Schieber DN 300	Stk.	1,00	2.900,00	2.900,00
3.4	Rohrleitungen DN 300, DN 400, DN 80; Montage aller Rohrleitungen, Armaturen, Turbine; Versetzen des Ringkolbenventils, Ě	psch.	1,00	9.000,00	9.000,00
					<b>StW.-Kosten: 20.600,00</b>
Baugemeinkosten					
4.1	Genehmigungen, Verwaltung	psch.	1,00	1.000,00	1.000,00
					<b>BGKosten: 1.000,00</b>
					<b>Endsumme: 46.284,00</b>
					Mehrwertsteuer 16 % 7.405,44
					<b>Investitionskosten: 53.689,44</b>

### B.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

#### Komplette Einspeisung in das öffentliche Netz

	[EUR]	Var. I	Var. II	Var. III		Var. IV	
				a)	b)	a)	b)
Baukosten		23.314	20.356	0	0	9.377	9.377
M.-E.-Kosten		70.528	70.528	19.256	19.256	19.256	19.256
StW.-Baul.-Kosten		6.895	16.495	13.804	13.804	23.896	23.896
BG-Kosten		1.160	1.160	1.160	1.160	1.160	1.160
<b>Investitionskosten (Brutto)</b>		101.900	108.600	34.300	34.300	53.700	53.700
<b>Einnahmen</b>							
Jahresarbeit	kWh/a	111.200	114.000	96.000	71.500	100.700	73.000
Verfügbarkeit	99,0%	110.088	112.860	95.040	70.785	99.693	72.270
Vergütung (EEG 2004)	0,0967 EUR/kWh	10.646	10.914	9.190	6.845	9.640	6.989
<b>Kosten</b>							
<b>Annuität</b>							
Zinsen (Körperschaft öff. Rechts)	3,5%						
Laufzeit							
Baukosten	50 a	0,763%	178	155	0	0	72
M.-E.-Kosten	30 a	1,937%	1.366	1.366	373	373	373
StW.-Baul.-Kosten	40 a	1,183%	82	195	163	163	283
Summe			1.626	1.717	536	536	727
<b>Unterhaltungskosten</b>							
Baukosten		0,5%	117	102	0	0	47
M.-E.-Kosten		0,5%	353	353	96	96	96
StW.-Baul.-Kosten		0,5%	34	82	69	69	119
Summe			504	537	165	165	263
<b>Betriebsaufwand</b>	52h á 30 EUR/h		1.560	1.560	1.560	1.560	1.560
<b>Nebenkosten</b>	3,0%		319	327	276	205	289
<b>Reinertrag</b>		6.637	6.773	6.653	5.080	6.801	5.219
<b>Rendite</b>		6,5%	6,2%	19,4%	14,8%	12,7%	9,7%
<b>Abschreibung</b>		Laufzeit					
Baukosten	50 a		466	407	0	0	188
M.-E.-Kosten	30 a		1.763	2.351	642	642	642
StW.-Baul.-Kosten	40 a		230	550	460	460	797
Summe			2.459	3.308	1.102	1.102	1.626
<b>Amortisationszeit</b>	[a]	11,2	10,8	4,4	5,5	6,4	7,8

## Eigenbedarfsdeckung und Einspeisung