

Studie zur Verbesserung der
Schifffahrt an der Donau unterhalb
der Staustufe Straubing

Auftrag
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Verkehr und Technologie

vom
17. Mai 2000

Bearbeitung:
Prof. Dr.-Ing. Dr. hc. Franz Nestmann
Dr.- Ing. Stephan Theobald

am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
der Universität Karlsruhe

Karlsruhe, April 2001

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Verwendete Unterlagen	1
3	Das HN-Modell der Stauhaltungen Geisling und Straubing	3
3.1	Modellbildung	3
3.2	Ermittlung charakteristischer Kenngrößen	5
3.2.1	Bewirtschaftungsvolumina	5
3.3.2	Laufzeiten	6
4	Auswertung charakteristischer Abflussszenarien aus den Jahren 1995/1996 hinsichtlich der Weitergabe des Sunks	8
4.1	Durchgang der Sunkwelle vom 13./14.10.1995	9
4.2	Durchgang der Sunkwelle vom 18./19.06.1996	11
4.3	Durchgang der Sunkwelle vom 19./20.06.1996	13
4.4	Zusammenfassung zur Auswertung charakteristischer Sunkereignisse 1995/1996	14
5	Auswertung charakteristischer Abflussszenarien aus dem Jahr 2000 hinsichtlich der Weitergabe des Sunks	15
5.1	Auswertung der Abflussganglinien an der Staustufe Abbach	15
5.2	Analyse der Niedrigwasserperioden im Jahr 2000	17
5.2.1	Untersuchungszeitraum D vom 27.6 - 4.7.2000	17
5.2.2	Untersuchungszeitraum E vom 25.8 - 2.9.2000	19
5.2.3	Untersuchungszeitraum F vom 25.10 - 31.10.2000	20
5.3	Zusammenfassung zur Auswertung charakteristischer Sunkereignisse 2000	21
6	Einbeziehen der Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals	21
7	Zusammenfassung	25

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

An der Donau sind in der Vergangenheit unterhalb der Staustufe Straubing in der freifliessenden Strecke bei Niedrigwasser Abflussschwankungen und damit verbunden Abflussminderungen derart aufgetreten, dass sich die Schifffahrtsverhältnisse verschlechterten. Es wird davon ausgegangen, dass diese Abflussschwankungen als Ergebnis der hydrologisch bedingten Zuflussänderungen der Donau im Oberlauf bei gleichzeitiger Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals und einer noch nicht optimierten Betriebsweise der Laufwasserkraftwerke auftreten.

Daher sollte untersucht werden, ob durch eine geänderte Betriebsweise der Kraftwerke und/oder der Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals eine Verminderung der Abflussschwankungen und somit eine Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zu erreichen ist.

Es wurden HN-Modelle der Stauhaltungen Geisling und Straubing erstellt, mit deren Hilfe charakteristische Grössen wie Bewirtschaftungsvolumina und Laufzeiten ermittelt wurden. (Kap. 3)

Eine Analyse charakteristischer Abfluss- und Wasserstandsganglinien hinsichtlich vorgenommener Betriebsweisen der Kraftwerke und der Weitergabe des Sunks wurden im Bereich Vohburg bis Pfelling anhand von 6 Ereignissen aus den Jahren 1995, 1996 und 2000 durchgeführt. (Kap. 4 und 5)

Die Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals und das Zusammenspiel mit hydrologisch bedingten Zuflussänderungen im Oberlauf der Donau wurde ebenfalls untersucht. (Kap. 6)

2. Verwendete Unterlagen

Folgende Unterlagen wurden zur Bearbeitung der genannten Aufgabenstellung herangezogen:

- S Lageskizze des gesamten Untersuchungsgebiets
- S Lagepläne der Stauhaltungen Geisling und Straubing
- S Querprofile der Stauhaltungen Geisling und Straubing
- S Abfluss-Wasserstands-Tabellen für die Pegel Kelheimwinzer, Oberndorf, Schwabelweis, Pfatter
- S Bericht über einen Naturversuch zur Abflussvergleichsmässigung des WSA Regensburg
- S Statusbericht: "Bewirtschaftung der Donau und ihrer Nebenflüsse oberhalb der Staustufe Straubing"
- S Pegel- und Abflussmessungen im 15min-Intervall vom Oktober 1995, Juni 1996 und März 1992
- S Pumpenwassermengen der MDK-Pumpen als Tagesmittel aus dem Jahr 1998
- S Abflussmessungen in Vohburg, Regensburg, Geisling und Straubing vom Juni bis November 2000 im 15min-Intervall

- S Oberwasser-Pegelmessungen in Geisling und Straubing vom Juni bis November 2000 im 15min-Intervall
- S Abflussjahresganglinien mit Tagesmittelwerten aus dem Jahr 2000 aller Stauhaltungen im Untersuchungsgebiet
- S Pumpbetriebsdaten Kelheim vom 18.6. bis 30.10.2000
- S Schreibstreifen der Abflüsse, Oberwasserpegel und Unterwasserpegel des Kraftwerks Abbach von 27.6. - 4.7.2000, 25.8. - 2.9.2000 und 25.10.-31.10.2000

Zusätzlich lagen noch weitere Unterlagen vor:

- S Wasserstandsganglinien OW/UW-Pegel KW Straubing 8.5.-14.5.2000 (15min-Intervall) (Tagesschwankungen bis zu 50 cm - allerdings vermutlich nicht im NQ-Bereich)
- S Wasserspiegelberechnungen für die Stauhaltungen Geisling und Straubing (RMD, Stand 1988)
- S Abflussdauerlinie 1926-98 Pegel Pfelling
- S Abflussjahrestabellen der Pegel Kelheimwinzer, Oberndorf, Schwabelweis und Hofkirchen im auf $\Delta Q \approx 10\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$ gerundeten Tagesmittel
- S Abflusstabellen des Gewässerkundlichen Jahrbuches für die Pegel Kelheim (1995-98), Oberndorf (1995-98), Schwabelweis (1995-98) und Pfelling (1995)

Die Lageskizze in Bild 1 zeigt den betrachteten Donauabschnitt mit Angabe der Staustufen, Pegel und seitlichen Zuflüsse.

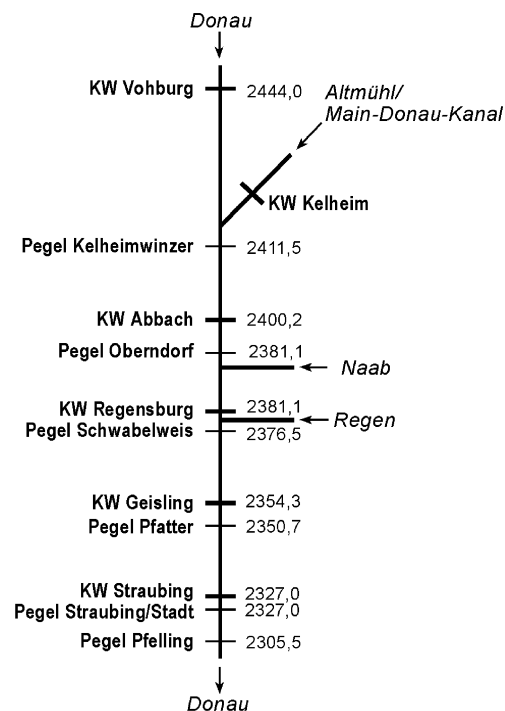


Bild 1: Lageskizze des Untersuchungsgebiets

3. HN-Modell der Stauhaltungen Geisling und Straubing

3.1 Modellbildung

Die zur Verfügung gestellten Querprofildaten der Stauhaltungen Geisling und Straubing wurden auf Plausibilität überprüft und mit Hilfe der Lagepläne für die Modellierung bearbeitet. Aufgrund fehlender Tiefeninformationen zu Seen- und Hafentflächen wurden diese vernachlässigt. Ferner fehlten die Uferanschlüsse bei den Querprofilen im Stauraum Straubing; eine Modellierung für die im Rahmen dieser Untersuchungen relevanten Niedrigwasserabflüsse ist jedoch auch ohne Berücksichtigung dieser Uferanschlüsse zulässig.

Eine Eichung der HN-Modelle im klassischen Sinn konnte aufgrund fehlender Wasserspiegel-fixierungen nicht erfolgen. In beiden Stauhaltungen liegt jedoch mit den Pegeln Schwabelweis und Pfatter pro Stauhaltung eine Wasserstands-Abfluss-Beziehung vor. Für die Abflüsse $Q = 200, 217$ (RNQ), $300, 400, 500$ und $600 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde jeweils eine stationäre Wasserspiegellagenberechnung durchgeführt und den Ergebnissen der Pegeldaten gegenüber gestellt. Die Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnungen für die Stauhaltung Geisling sind in Bild 2, für die Stauhaltung Straubing in Bild 3 dargestellt.

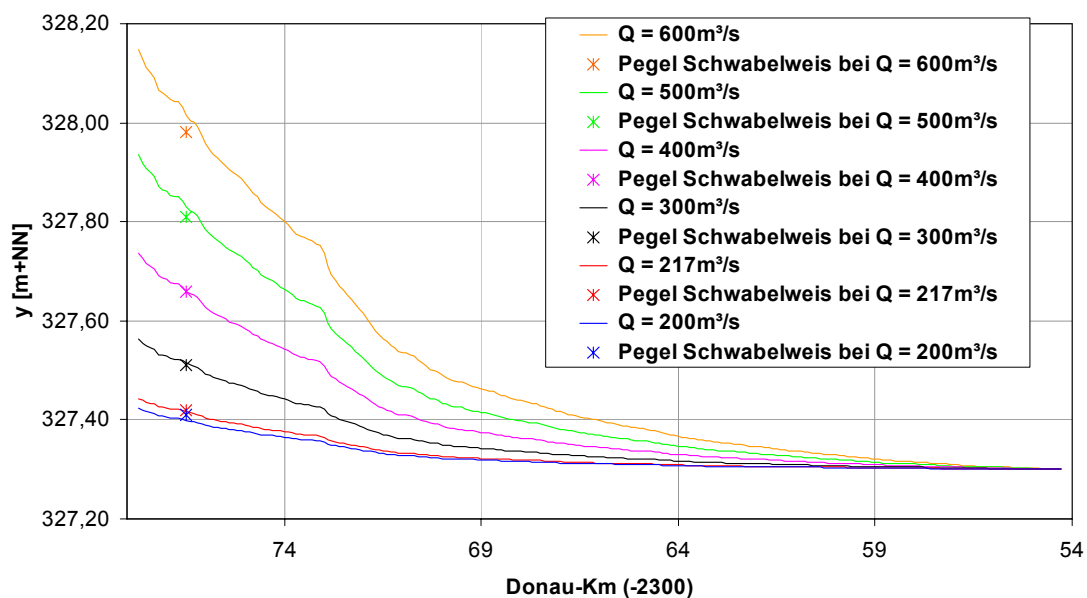


Bild 2: Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Geisling für verschiedene Abflüsse

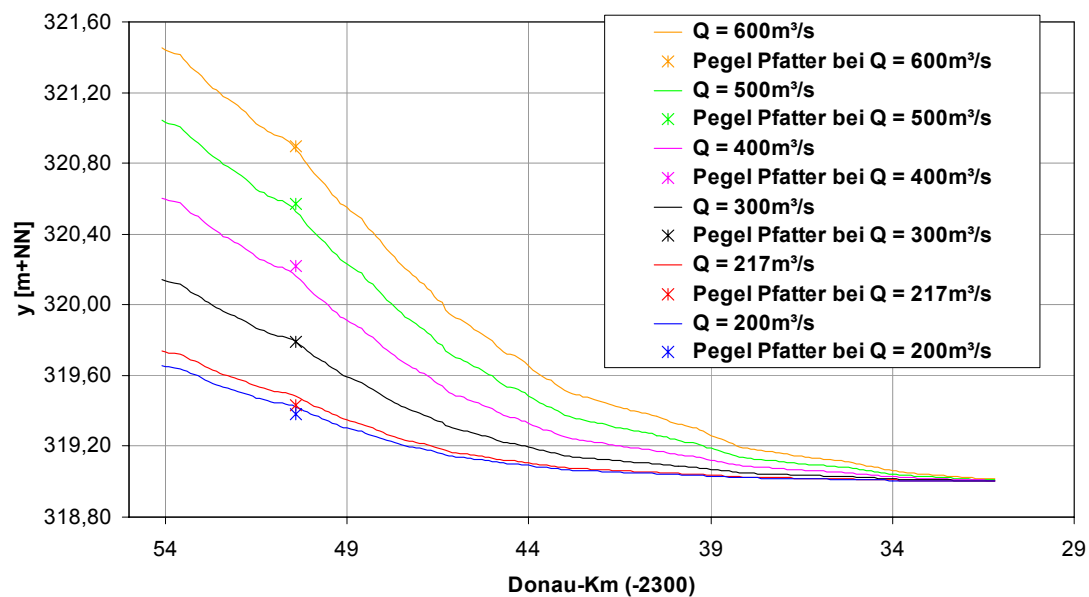


Bild 3: Wasserspiegellagen in der Stauhaltung Straubing für verschiedene Abflüsse

In den nachfolgenden Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse der berechneten und gemessenen Wasserstände an den Pegeln Schwabelweis (Stauhaltung Geisling) und Pegel Pfatter (Stauhaltung Straubing) gegenübergestellt. Obwohl die Unterschiede sehr gering sind, kann aufgrund fehlender Messwerte an weiteren Stationen nicht von einem geeichten Modell gesprochen werden. Für die im Rahmen dieser Untersuchung benötigten charakteristischen Kenngrößen ist die vorliegende Modellgenauigkeit aber ausreichend.

	Pegel Schwabelweis [Donau-km 2376.475]		
Q [m ³ /s]	gemessen [m+NN]	berechnet [m+NN]	Differenz [m]
200	327.40	327.40	0.00
217	327.42	327.42	0.00
300	327.50	327.51	0.01
400	327.66	327.66	0.00
500	327.81	327.83	0.02
600	327.98	328.02	0.04

Tabelle 1: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen am Pegel Schwabelweis

Pegel Pfatter [Donau-km 2350.4]			
Q [m ³ /s]	gemessen [m+NN]	berechnet [m+NN)	Differenz [m]
200	319.38	319.42	0.04
217	319.44	319.48	0.04
300	319.79	319.79	0.00
400	320.22	320.16	-0.06
500	320.57	320.53	-0.04
600	320.90	320.88	-0.02

Tabelle 2: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen am Pegel Pfatter

3.2 Ermittlung charakteristischer Kenngrößen

3.2.1 Bewirtschaftungsvolumina

Die Ermittlung der vorhandenen Bewirtschaftungsvolumina erfolgte bei einem Abfluss von $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$. Das HN-Modell der Stauhaltung Geisling endet bei Donau-km 2377,7. Die Wasseroberfläche der fehlenden Flussstrecke bis zur Staustufe Regensburg wurde aus der Karte abgeschätzt und in die Ermittlung der Bewirtschaftungsvolumina einbezogen. Ferner wurde bei der Stauhaltung Straubing die durch die fehlenden Uferanschlüsse verursachten Fehlvolumina ebenfalls abgeschätzt und zu den mit dem HN-Modell rechnerisch ermittelten Volumina addiert. Beide Stauhaltungen weisen noch angegliederte Retentionsflächen (Seen, Häfen) aus, die die Volumenbetrachtung beeinflussen.

In dem Bericht "Bewirtschaftung der Stauräume der Donau und ihrer Nebenflüsse oberhalb der Stufe Straubing" der RMD und der Anlage 15 des Berichts "Naturversuch zur Abflussvergleichsmässigung durch Stauraumbewirtschaftung Straubing" des WSA Regensburg sind Angaben zu den Speichervolumina der Stauhaltungen Geisling und Straubing enthalten. Die Untersuchungen des WSA Regensburg mit der abflussabhängigen Angabe des Speichervolumens zeigen Unterschiede zu einer generellen Aussage im RMD-Bericht zum Speichervolumen bei 10 cm Stauzieländerung. (Stauhaltung Straubing mit $\Delta V = 580000 \text{ m}^3$ oder 520000 m^3)

Die mit den HN-Modell durchgeführten Berechnungen beinhalten aufgrund der vorhandenen Datenmaterials (fehlende Uferanschlüsse, fehlende See- und Hafenflächen, Modell Geisling nur bis Donau-km 2377,7) grössere Unsicherheiten, die Grössenordnung wird aber bestätigt.

	Stauraumvolumen [Mio m ³]		Stauraumvolumen pro 10 cm Stauzieländerung [m ³]		
	RMD	IWK	RMD	WSA Regensburg	IWK
Geisling	36.2	33	610 000		ca. 600000
Straubing	23.0	23	580 000	520 000	ca. 550000

Tabelle 3: Stauraumvolumina Geisling und Straubing

3.3.2 Laufzeiten

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Definition der zwei unterschiedlichen Kenngrößen Fließzeit und Laufzeit vorzunehmen. Lauf- und Fließzeit sind zwei physikalisch unterschiedliche Phänomene. Die Fließzeit in einer Stauhaltung wird nur durch die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m bestimmt und errechnet sich aus dem Quotient von Weg (Länge der Stauhaltung) durch mittlere Fließgeschwindigkeit. Die mit Schwall- und Sunkwellen korrespondierende Laufzeit berechnet sich über die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit als Quotient aus Weg (Länge der Stauhaltung) und Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit v_w . Beim Betrieb von Staustufen wird als Laufzeit oft die Zeitspanne definiert, nach der eine Zuflussänderung (Abflussänderung der oberstrom gelegenen Staustufe) eine Wasserstandsänderung am Referenzpunkt (OW-Pegel) hervorruft. Beide Zeiten, Lauf- und Fließzeit, sind vom Abfluss abhängig. Für ein Gerinne mit der Querschnittsfläche A und der Wasserspiegelbreite B erhält man die von Lagrange gefundene Beziehung für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sehr kleiner Oberflächenwellen ($z = 0$):

$$c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}}$$

Für Gerinne mit Rechteckquerschnitt kann der Quotient aus Querschnittsfläche A und Wasserspiegelbreite B durch die mittlere Wassertiefe h_0 ersetzt werden. Hiermit erhält man folgende Relativgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{g \cdot h_0}$$

Zur Berechnung der absoluten Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit v_w gegenüber einem festen Beobachter bildet man die Summe aus Relativgeschwindigkeit c und der Fließgeschwindigkeit v_m .

$$v_w = v_m \pm c$$

Das positive Vorzeichen von c gilt bei einer Translation der Welle in Strömungsrichtung, das negative für eine entgegengesetzte Bewegung der Welle.

Zur Ermittlung der Laufzeit eines Sunks durch eine Stauhaltung wird im HN-Modell bei konstantem Abfluss eine Zuflussänderung erzeugt und die Zeitdauer bis zur nötigen Wasserstandsänderung im OW der Staustufe bestimmt. Nachfolgende Bilder zeigen das Ergebnis dieser Untersuchung für die Stauhaltung Straubing. In Bild 4 ist der Verlauf von Zu- und Abfluss dargestellt. Die Zuflusserhöhung wurde nach 1 h Simulationsdauer durchgeführt. Bild 5 zeigt den dazugehörigen Verlauf des OW-Standes. Das Ansteigen des OW-Standes (Eintreffen der Schwallwelle) erfolgt nach ca. 1,9 h Simulationsdauer.

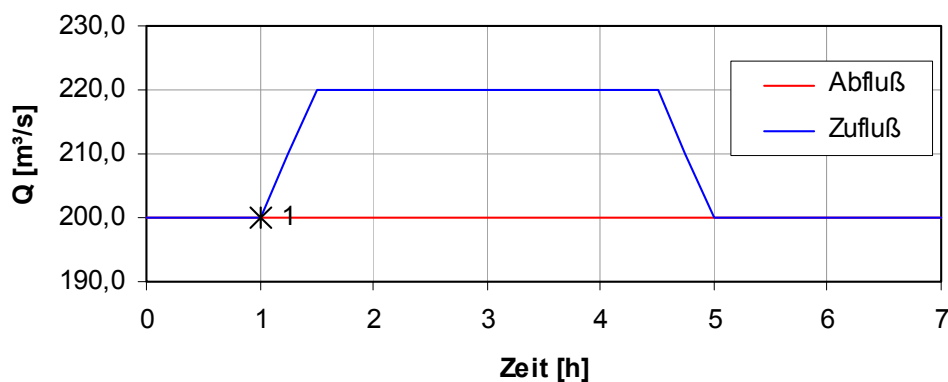


Bild 4: Ermittlung der Laufzeit in der Staustufe Straubing; Verlauf von Zu- und Abfluss

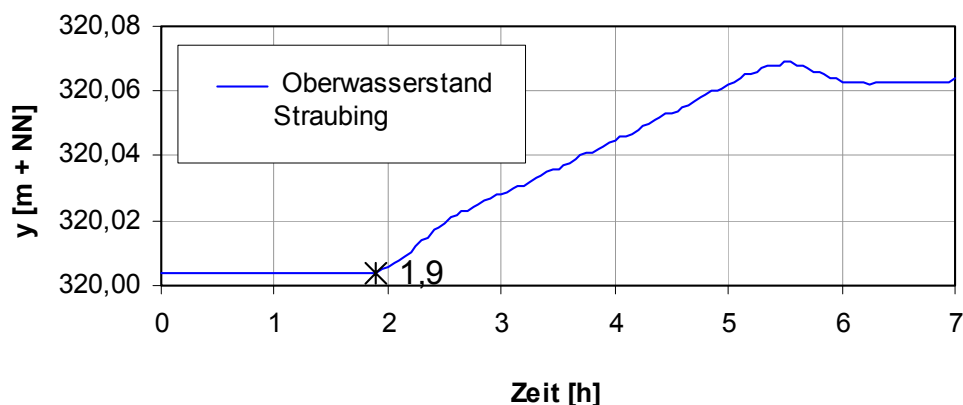


Bild 5: Ermittlung der Laufzeit in der Staustufe Straubing; Verlauf des OW-Standes

Es ergeben sich für die Stauhaltungen folgende Laufzeiten (bei ca. $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$):

- Regensburg - Geisling: 0,85 h

- Geisling - Straubing: 0,9 h

4. Auswertung charakteristischer Abflusszenarien aus den Jahren 1995 und 1996 hinsichtlich der Weitergabe des Sunks

Für die detaillierte Auswertung vergangener Abflussereignisse standen Wasserstands- und Abflussganglinien an allen relevanten Stellen des Untersuchungsgebiets für drei Ereignisse von Oktober 1995 und Juni 1996 zur Verfügung. Eine Auswertung älterer Daten (März 1992) konnte nicht durchgeführt werden, da diese unvollständig waren (u.a. fehlten Angaben zu Abflüssen in Abbach und Regensburg).

Aus den vorhandenen Daten wurden 3 charakteristische Ereignisse ausgewählt, bei denen Sunkerscheinungen in der Donau bei Vohburg auftraten und entlang der Kraftwerkskette bis nach Straubing weitergegeben wurden. Es sind dies die folgenden Untersuchungszeiträume

Untersuchungszeitraum A: 13./14.10.1995

Untersuchungszeitraum B: 18./19.6.1996

Untersuchungszeitraum C: 19./20.6.1996

Die Ereignisse wurden hinsichtlich Dauer und Ausmass (Wasserspiegelabsenkung, Abflussminderung) des Sunks ausgewertet. Aus diesen Kenngrössen wurden Sunkvolumina bestimmt, die für eine Bewertung bezüglich einer möglichen Bewirtschaftung der Stauhaltungen Geisling und Straubing benötigt werden. Des weiteren wurden Auffälligkeiten in den Betriebsweisen der Kraftwerke notiert. Aussagen über Laufzeiten in den einzelnen Stauhaltungen waren aufgrund des Steuerungseingriffs in den Kraftwerken und der insgesamt nur schwach ausgeprägten Sunkerscheinungen nicht möglich. Derartige Aussagen müssen aufgrund von hydrodynamisch-numerischen Berechnungen getroffen werden (siehe Abschnitt 3.3.2).

Nachfolgend werden die 3 Ereignisse zunächst grafisch in Form von Abfluss- und Wasserstandsganglinien dargestellt. Anfang und Ende des maximalen Absunks sind dabei jeweils durch Kreuze gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung unterliegt subjektiven Kriterien und verdeutlicht die Schwierigkeit, den Durchgang einer Sunkwelle detailliert zu erfassen. Ebenfalls in die Abflussdarstellung eingetragen sind die jeweiligen Volumina der Sunkwellen (Fehlvolume) in Regensburg. Die Wasserstandsganglinien weisen aus Gründen der besseren Darstellung unterschiedliche Bezugshorizonte auf. Anschliessend erfolgt eine Analyse der Auffälligkeiten und eine tabellarische Darstellung der ereignisspezifischen Parameter.

4.1 Durchgang der Sunkwelle vom 13./14.10.1995

In den Bildern 6 und 7 sind die Abfluss- und Wasserstandsganglinien an den massgeblichen Stellen des Untersuchungsgebietes dargestellt.

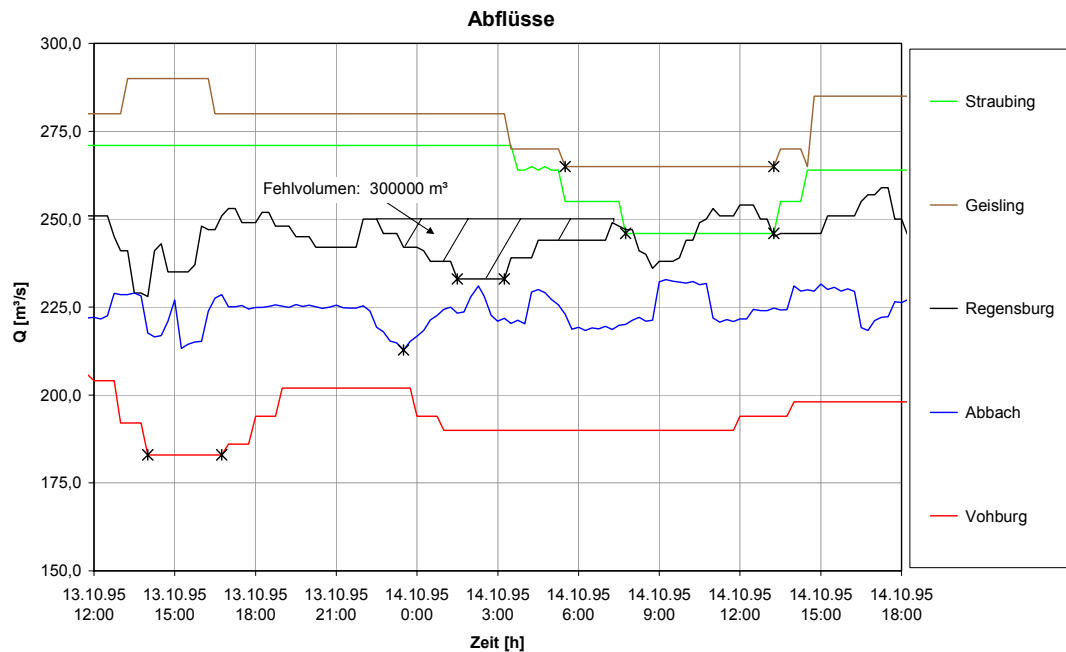


Bild 6: Abflussganglinien an den Staustufen Vohburg bis Straubing vom 13./14.10.1995

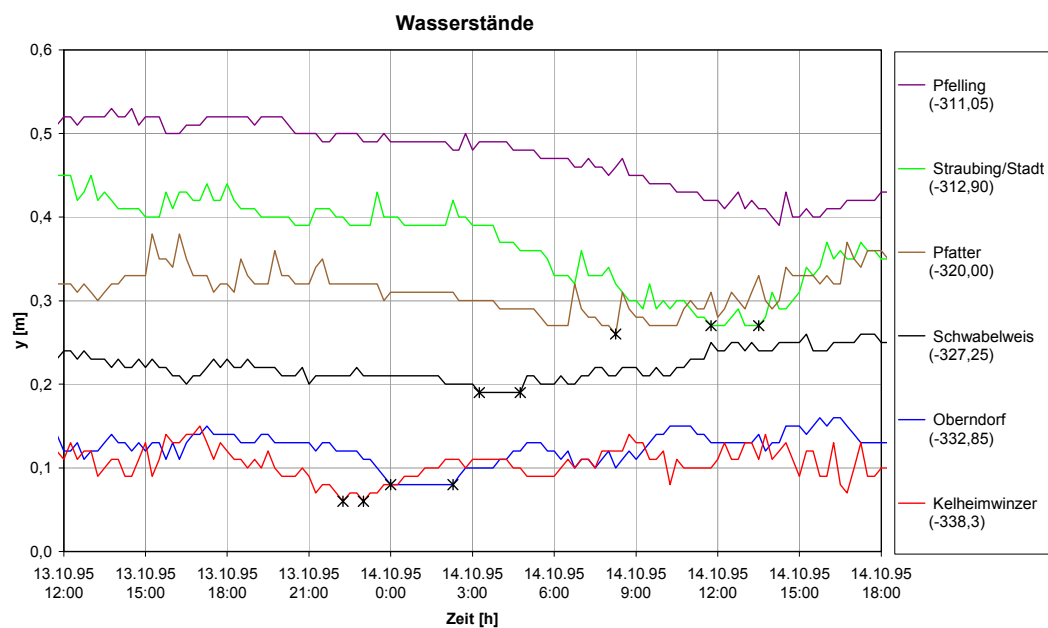


Bild 7: Wasserstandsganglinien an den Pegeln Kelheimwinzer bis Pfelling vom 13./14.10.1995

Die Abflussminderung an den Kraftwerken während der Sunkwelle am 13./14.10.1995 betrug in Vohburg $\Delta Q = 21 \text{ m}^3/\text{s}$, welche in Abbach auf $\Delta Q = 12 \text{ m}^3/\text{s}$ gedämpft und in Regensburg und Geisling mit $\Delta Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ nahezu unverändert weitergegeben wurde. An der Staustufe Straubing erfolgte dann eine starke Aufsteilung auf $\Delta Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Wasserstandsabsink variierte zwischen 2 und 9 cm mit einem geringen Absink in Schwabelweis von 2 cm und grösseren Wasserstandsänderungen unterhalb der Staustufe Straubing in der freifliessenden Donaustrecke mit 9 cm in Straubing/Stadt und 8 cm am Pegel Pfelling.

Auffällig ist, dass der Abfluss in Geisling permanent über dem in Straubing liegt, so dass in diesem Bereich auch ein Datenfehler vorliegen könnte. Ein solcher könnte durch einen systematischen Fehler bei der Abflussmessung oder durch Vertauschen der Abflussganglinien von Geisling und Straubing entstanden sein. Hier sollte eine Überprüfung der Daten durchgeführt werden.

Hinsichtlich der Betriebsweise der Kraftwerke ist festzustellen, dass die Abflüsse in Geisling und Straubing fast zeitgleich abgesenkt werden, was ein Charakteristikum der Betriebsweise der Staustufen ist.

Das Volumen der Sunkwelle an der Staustufe Regensburg als massgeblicher Zufluss in die hinsichtlich einer Bewirtschaftung zu untersuchenden Stauhaltungen Geisling und Straubing beträgt ca. 300000 m^3 .

Sunkereignis vom 13./14.10.95								
Ort	Donau-Km	Beginn Minimum	Ende Minimum	Mittel Minimum	Δt [h] ab Vohburg	ΔQ [m^3/s]	Δh_{Ab} [cm]	Δt [h] der Abflussminima zweier aufeinanderfolgender Staustufen
Vohburg	2444,0	14:00	16:45	15:30	-	21		
Kelheimwinzer	2414,8	22:15	23:00	22:45	7,25		6	
Abbach	2400,2	23:30	23:30	23:30	8	12		8,00
Oberndorf	2397,4	00:00	02:15	01:15	9,75		5	
Regensburg	2381,1	01:30	03:15	02:30	11	15		3,00
Schwabelweis	2376,5	03:30	04:45	04:15	12,75		2	
Geisling	2354,3	05:15	14:30	10:00	18,5	15		7,50
Pfatter	2350,7	08:15	08:15	08:15	16,75		6	
Straubing	2327,0	07:45	13:15	10:30	19	25		0,50
Straubing/Stadt	2327,0	11:45	13:45	12:45	21,25		9	
Pfelling	2305,5	14:15	14:15	14:15	22,75		8	

Tabelle 4: Kenngrössen der Sunkwelle vom 13./14. Oktober 1995

4.2 Durchgang der Sunkwelle vom 18./19.06.1996

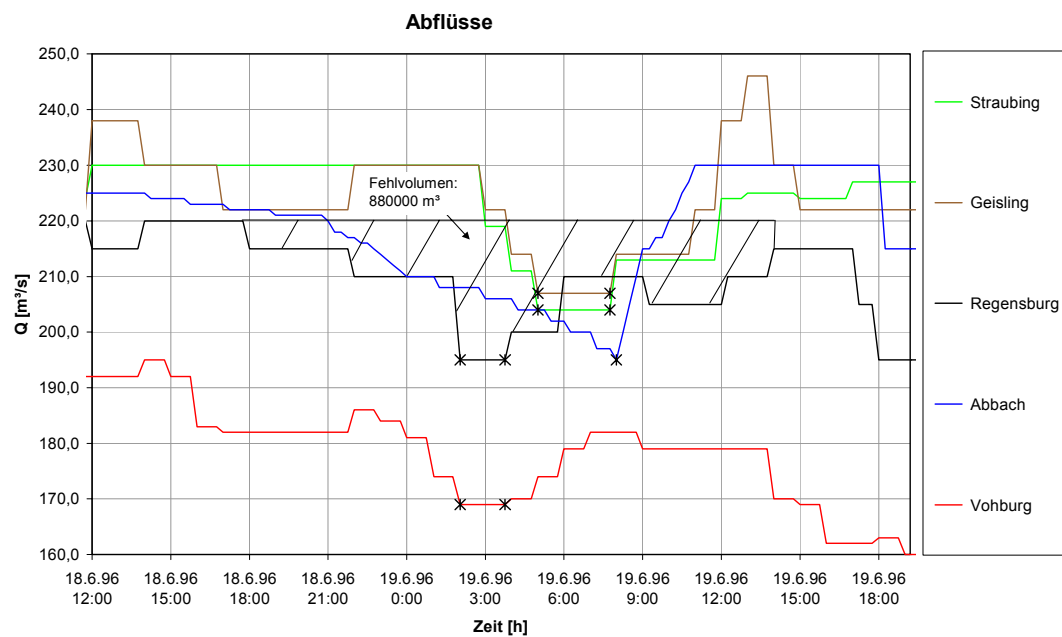


Bild 8: Abflussganglinien an den Staustufen Vohburg bis Straubing vom 18./19.6.1996

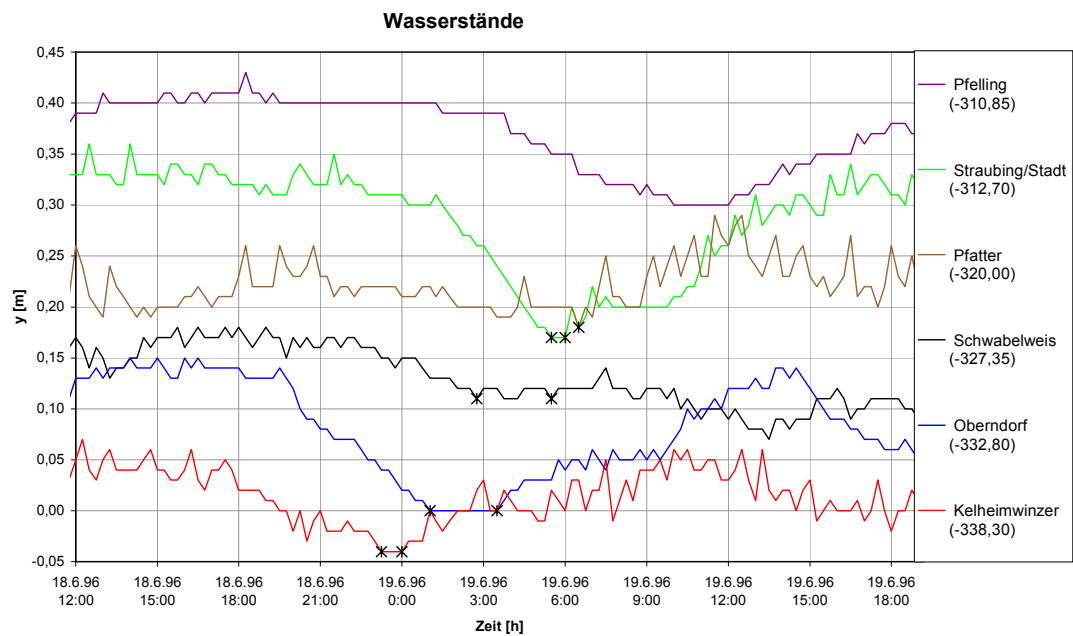


Bild 9: Wasserstandsganglinien an den Pegeln Kelheimwinzer bis Pfelling vom 18./19.6.1996

Die Abflussminderungen an den Kraftwerken während der Sunkwelle am 18./19.6.1996 haben Werte von $\Delta Q = 17$ bis $26 \text{ m}^3/\text{s}$. Dabei ist zu erkennen, dass der Absink von $17 \text{ m}^3/\text{s}$ in Vohburg durch Pumpbetrieb in Kelheim auf $26 \text{ m}^3/\text{s}$ in Abbach verstärkt wird. Diese Situation wird eingehend in Kap. 6 behandelt. Von Abbach bis nach Straubing wird der Abfluss relativ gleichbleibend nach unterstrom weitergegeben.

Die Wasserstandsänderung (Sunk) variierte stark zwischen 3 und 14 cm. Dabei sank der Wasserstand um 9 cm in Kelheimwinzer, um 14 cm in Oberndorf, am Pegel Pfatter um 3 cm. Unterhalb der Staustufe Straubing nahm die Wasserstandsabsenkung wieder deutlich zu (Straubing/Stadt 14 cm; Pfelling 9 cm). Dabei ist zu bemerken, dass in der freifliessenden Strecke unterhalb der Staustufe Straubing prinzipiell eine stärkere Abhängigkeit der Wasserstands-entwicklung vom Durchfluss als im durchgestauten Bereich oberstrom vorhanden ist. Zur genauen Analyse der Auswirkungen einer Abflussminderung in Straubing auf den Wasserstand am Pegel Pfelling kann auf die Wasserstands-Abflussbeziehung am Pegel Pfelling zurückgegriffen werden.

Hinsichtlich der Betriebsweise der Kraftwerke ist festzustellen, dass die Abflüsse in Geisling und Straubing fast zeitgleich abgesenkt werden, während in Regensburg das Abflussminimum früher als in Abbach erreicht wird. Dies bedeutet, dass durch das Betriebsreglement eine frühere Absenkung in Regensburg vorgenommen wurde.

Das Volumendefizit in Regensburg beträgt ca. 880000 m^3 .

Sunkereignis vom 18./19.06.1996								
Ort	Donau-Km	Beginn Minimum	Ende Minimum	Mittel Minimum	Δt [h] ab Vohburg	ΔQ [m^3/s]	Δh_{Ab} [cm]	Δt [h] der Abflußminima zweier aufeinanderfolgender Staustufen
Vohburg	2444,0	02:00	03:45	03:00	-	17		
Kelheimwinzer	2414,8	23:15	00:00	23:45	-		9	
Abbach	2400,2	08:00	08:00	08:00	5	26		5,00
Oberndorf	2397,4	01:00	03:30	02:15	-		14	
Regensburg	2381,1	02:00	03:45	03:00	-	25		-5,00
Schwabelweis	2376,5	02:45	05:30	04:15	1,25		6	
Geisling	2354,3	05:00	07:45	06:30	3,5	23		3,50
Pfatter	2350,7	03:30	04:00	03:45	-		3	
Straubing	2327,0	05:00	07:45	06:30	3,5	26		0,00
Straubing/Stadt	2327,0	05:30	06:00	05:45	2,75		14	
Pfelling	2305,5	10:00	12:00	11:00	8		9	

Tabelle 5: Kenngrößen der Sunkwelle vom 18./19. Juni 1996

4.3 Durchgang der Sunkwelle vom 19./20.06.1996

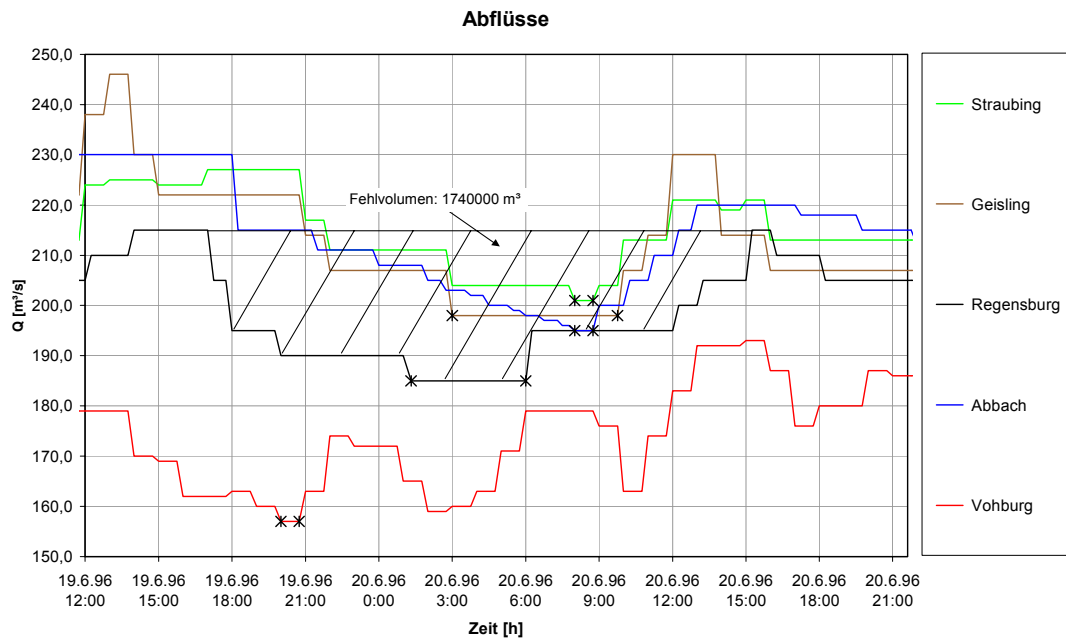


Bild 10: Abflussganglinien an den Staustufen Vohburg bis Straubing vom 19./20.6.1996

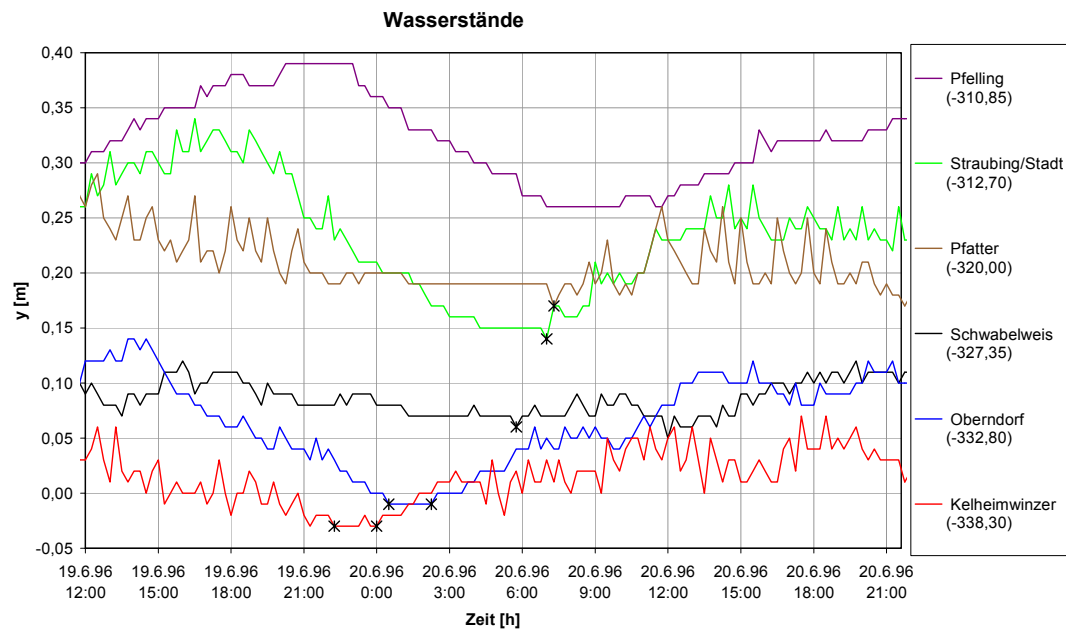


Bild 11: Wasserstandganglinien an den Pegeln Kelheimwinzer bis Pfelling vom 19./20.6.1996

Die Ergebnisse des Ereignisses C sind mit denen des Ereignisses B vergleichbar, zumal dieses sich zeitlich direkt anschliesst.

Die Abflussminderungen an den Kraftwerken während der Sunkwelle am 19./20.6.1996 betragen zwischen $\Delta Q = 20$ bis $30 \text{ m}^3/\text{s}$; das höchste Abflussdefizit wurde dabei in Regensburg mit $\Delta Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht, das geringste Wert in Abbach mit $\Delta Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Wasserstandsminimierung variierte zwischen 3 und 13 cm, wobei zunächst eine Dämpfung des Absunks von 6 bzw. 7 cm in Kelheimwinzer und Oberndorf auf je 3 cm in Schwabelweis und Pfatter erfolgte. Unterstrom der Staustufe Straubing liegen Wasserstandsänderungen von 13 cm in Straubing/Stadt und Pfelling vor.

Die Betriebsweise der Kraftwerke zeichnet sich durch fast zeitgleiches Absenken der Abflüsse in Geisling und Straubing aus, während in Abbach das Abflussminimum später als in Regensburg erreicht wird (vgl. Ereignis B).

Das Volumendefizit in Regensburg beträgt ca. $1,74 \text{ Mio m}^3$.

Sunkereignis vom 19./20.6.1996								
Ort	Donau-Km	Beginn Minimum	Ende Minimum	Mittel Minimum	Δt [h] ab Vohburg	ΔQ [m^3/s]	Δh_{Ab} [cm]	Δt [h] der Abflussminima zweier aufeinanderfolgender Staustufen
Vohburg	2444,0	20:00	20:45	20:30	-			
Kelheimwinzer	2414,8	22:15	00:00	23:15	2,75		6	
Abbach	2400,2	08:15	09:00	08:30	12	20		12,00
Oberndorf	2397,4	00:30	02:15	01:30	5		7	
Regensburg	2381,1	01:15	06:00	03:45	7,25	30		-4,75
Schwabelweis	2376,5	05:45	05:45	05:45	9,25		3	
Geisling	2354,3	03:00	09:45	06:30	10	24		2,75
Pfatter	2350,7	07:30	07:30	07:30	11		3	
Straubing	2327,0	08:15	08:45	08:30	12	26		2,00
Straubing/Stadt	2327,0	07:00	07:00	07:00	10,5		13	
Pfelling	2305,5	07:00	11:45	09:30	13		13	

Tabelle 6: Kenngrößen der Sunkwelle vom 19./20. Juni 1996

4.4 Zusammenfassung zur Auswertung charakteristischer Sunkereignisse 1995/1996

- S Das maximale Fehlvolumen durch die Sunkwellen der 3 Ereignisse betrug $1,74 \text{ Mio m}^3$ (Ereignis C). Gemäss Tabelle 3 stehen bei einer Bewirtschaftung der Stauräume Geisling und Straubing mit jeweils 60 cm OW-Standsänderung ein Volumen von mehr als 6 Mio. m^3 zur Verfügung. Daher könnte bei vorheriger Speicherung das bei den Sunkwellen auftretende Fehlvolumen problemlos abgegeben werden.
- S Die Wasserstandsminimierungen am Pegel Pfelling betragen für die 3 untersuchten Ereignisse maximal 13 cm.

-
- S Fehlende Informationen über die Betriebsvorschriften der einzelnen Staustufen erschweren die Analyse; folgende Besonderheiten sind aufgefallen:
 - S Abflussänderung in Regensburg früher als in Abbach
 - S gleichzeitige Abflussänderungen an den Staustufen Geisling und Straubing
 - S Generelle Abflussaufteilung in der Staustufenkette
 - S in Straubing (Ereignis A, Geisling $\Delta Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$, Straubing $\Delta Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - S in Abbach (Ereignis B, Vohburg $\Delta Q = 17 \text{ m}^3/\text{s}$, Abbach $\Delta Q = 26 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - S in Regensburg (Ereignis C, Abbach $\Delta Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$, Regensburg $\Delta Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - S Der Pumpbetrieb in Kelheim kann zu einer Aufteilung des Sunk beitragen.

5. Auswertung charakteristischer Abflussszenarien aus dem Jahr 2000 hinsichtlich der Weitergabe des Sunks

Aus den Abflussjahresganglinien des Jahres 2000 wurden drei Niedrigwasserperioden zur genaueren Untersuchung hinsichtlich einer Bewertung der Weitergabe von Sunkwellen ausgewählt.

Untersuchungszeitraum D: 27.6. - 4.7.2000

Untersuchungszeitraum E: 25.8. - 2.9.2000

Untersuchungszeitraum F: 25.10. - 31.10.2000

5.1 Auswertung der Abflussganglinien an der Staustufe Abbach

Die Stauhaltung Abbach ist die erste Stauhaltung unterhalb der Einmündung des Main-Donau-Kanals in die Donau. Die Auswirkungen des Pumpbetriebs in Kelheim sind hier deshalb am deutlichsten zu erkennen. Eine umfassende Analyse der Auswirkungen des Pumpbetriebs auf die unterstromige Staustufenkette ist folglich nur unter Kenntnis der genauen Abflussganglinie des Gesamtabflusses Abbach möglich. Der Abfluss an der Staustufe Abbach setzt sich aus dem Abfluss des Kraftwerkes, des Wehres und des sogenannten Triebwerkes, einem zusätzlichen Kraftwerk im Schleusenkanal, zusammen. Für die relevanten Zeiträume des Jahres 2000 liegen jedoch nur Abflussdaten für das Kraftwerk Abbach vor.

Die generelle Betriebsstrategie der Abflusssteuerung an der Staustufe Abbach (Kraftwerk, Triebwerk, Wehr) sieht nach Information der RMD wie folgt aus:

Donauabfluss: 0 - 160 m^3/s : gesamter Abfluss über Kraftwerk

Donauabfluss: 160 - 240 m^3/s : konstant 160 m^3/s über Kraftwerk
Rest über Triebwerk

Donauabfluss: über 240 m³/s: konstant 90 m³/s über Triebwerk
 Rest bis maximal 240 m³/s über Kraftwerk
 Überschuss über Wehr (> 330 m³/s Donauabfluss)

Nachfolgende Analyse versucht mit Hilfe dieser generellen Betriebsweise lediglich aus dem Abfluss des Kraftwerkes Abbach den Gesamtabfluss an der Staustufe Abbach (mit dem Abfluss des Triebwerkes) zu ermitteln. Die Donauabflüsse in Regensburg, welche i.a. eine ähnliche Größenordnung wie die in Abbach aufweisen, schwanken während der Ereignisse D und E zwischen 220 und 300 m³/s, beim Ereignis F zwischen 250 und 320 m³/s, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der Abfluss in Abbach entsprechend der genannten Betriebsstrategie über das Kraftwerk und das Triebwerk abgeführt wurde.

Eine konsequente Umsetzung dieser Betriebsstrategie erscheint allerdings nicht plausibel, da bei einem konstanten Aufschlag von $\Delta Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ auf die Kraftwerksdaten starke Abweichungen im Verhältnis zu der Abflussganglinie der Staustufe Regensburg auftreten.

Weitere Variationen eines konstanten Abflusses am Triebwerk mit unterschiedlich angenommenen Werten - Triebwerksabflüssen von $Q_{\text{TR}} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ereignis D), $Q_{\text{TR}} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ereignis E) und $Q_{\text{TR}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Ereignis F) zeigen keine zufriedenstellende Übereinstimmung mit dem Abfluss an der Staustufe Regensburg.

Bild 12 zeigt Ereignis D, Bild 13 zeigt Ereignis F, jeweils mit den veränderten Abflüssen Abbach im Vergleich zu den Abflüssen Regensburg und Vohburg.

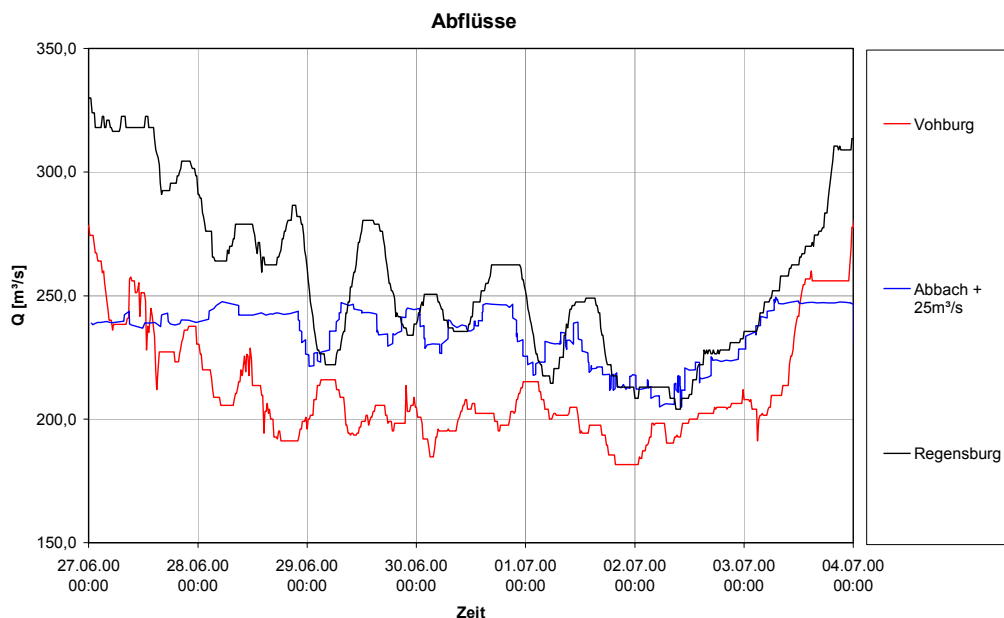


Bild 12: Abflussganglinien während des Ereignisses D vom 27.6. bis 4.7.2000

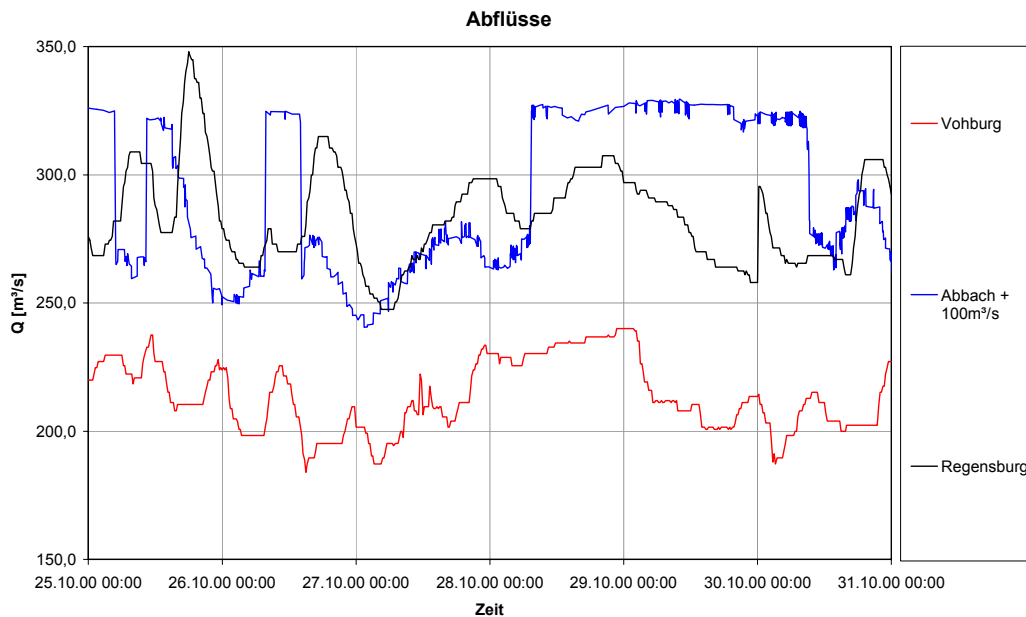


Bild 13: Abflussganglinien während des Ereignisses F vom 25.10. bis 31.10.2000

Lediglich abschnittsweise ist eine Übereinstimmung gegeben (Bild 12, Ereignis D, Zeitraum vom 1.7 bis 3.7). Als Ergebnis ist festzuhalten, dass allein aus Kenntnis des allgemeinen Betriebsreglements (Durchflussaufteilung zwischen Kraftwerk und Triebwerk in Abhängigkeit des Donauabflusses) und des Kraftwerksabflusses der Gesamtabfluss an der Staustufe Abbach nicht zu ermitteln ist.

Für die weiteren Untersuchungen muss daher bei der Analyse auf die Abflussdaten der Staustufe Abbach verzichtet werden.

5.2 Analyse der Niedrigwasserperioden im Jahr 2000

5.2.1 Untersuchungszeitraum D vom 27.6. - 4.7.2000

Das Abflussspektrum der Sunkwelle(n) unterhalb Regensburg reicht bei diesem Ereignis von ca. $Q = 205 \text{ m}^3/\text{s}$ bis ca. $290 \text{ m}^3/\text{s}$. Anhand der Abflussganglinien Geisling und Straubing lässt sich dieses Ereignis in zwei Teilbereiche unterteilen.

Zeitraum D1: 28.6 bis 2.7 und Zeitraum D2: 2.7 bis 4.7

Während des ersten Teilabschnitts treten in Vohburg mittlere Abflussschwankungen von durchschnittlich ca. $\Delta Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. (Zuerst erfolgt ein Anstieg auf $Q = 229 \text{ m}^3/\text{s}$, dann ein Absink auf $191 \text{ m}^3/\text{s}$, dann wieder ein Anstieg auf $216 \text{ m}^3/\text{s}$, gefolgt von einem Absink auf $185 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Anstieg auf $215 \text{ m}^3/\text{s}$). Diese Schwankungen werden bis Regensburg deutlich verstärkt auf ca. $\Delta Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$. (Abflussspitzen Regensburg: $Q = 287 \text{ m}^3/\text{s}$; $222 \text{ m}^3/\text{s}$; $281 \text{ m}^3/\text{s}$; $234 \text{ m}^3/\text{s}$; $263 \text{ m}^3/\text{s}$; $215 \text{ m}^3/\text{s}$; $249 \text{ m}^3/\text{s}$).

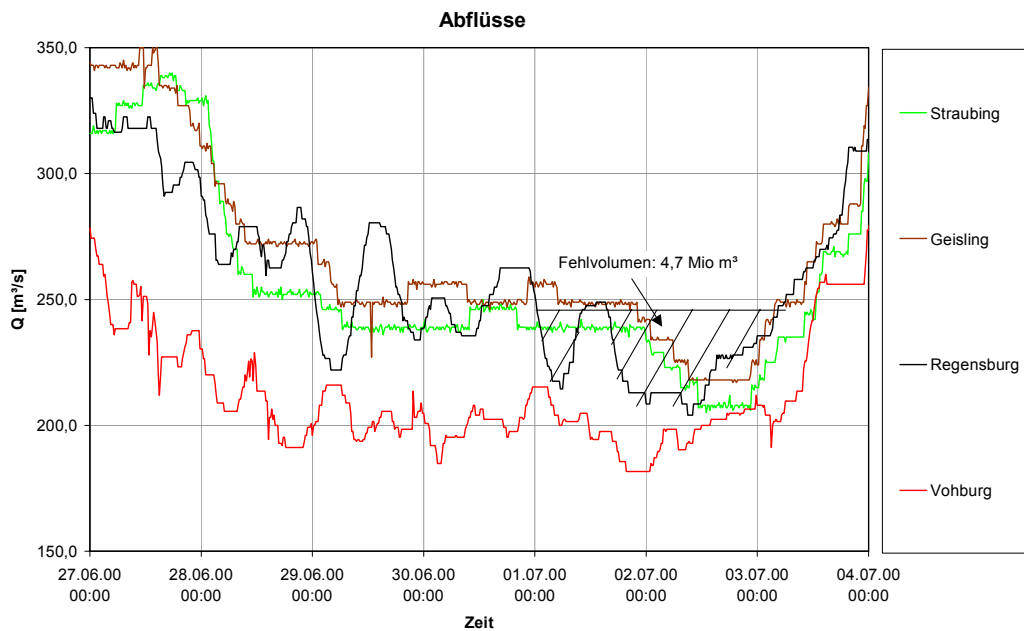


Bild 14: Abflussganglinien der Staustufen Vohburg, Regensburg, Geisling und Straubing vom 27.6. - 4.7.2000

Die Schwankungen in Geisling und Straubing sind dahingegen während dieses ersten Teilabschnitts gering und betragen durchschnittlich ca. $\Delta Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$. (Abflussspitzen Straubing: $Q = 253 \text{ m}^3/\text{s}$; $239 \text{ m}^3/\text{s}$; $247 \text{ m}^3/\text{s}$; $239 \text{ m}^3/\text{s}$).

Somit ist eine Aufsteilung der Sunkwelle(n) von Vohburg bis Regensburg zu erkennen, welche allerdings schon durch die Stauhaltung Geisling sehr gut gedämpft wird. In diesem Zeitraum ist somit eine Abflussvergleichsmässigung durch den Betrieb der Staustufe Geisling feststellbar.

Im zweiten Zeitraum D2 vom 2.7. bis 4.7. wird der Sunk in Vohburg von $\Delta Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ ($215 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $182 \text{ m}^3/\text{s}$) bis Regensburg auf $\Delta Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ ($249 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $204 \text{ m}^3/\text{s}$) verstärkt und bis Straubing mit $\Delta Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ ($239 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $206 \text{ m}^3/\text{s}$) wieder auf das Niveau von Vohburg gedämpft. Auch hier erfolgt die Dämpfung bereits in Geisling; sie ist jedoch im Vergleich zum ersten Teilbereich deutlich schwächer.

Während des 1. und 2. Juli 2000 fand in Kelheim starker Pumpbetrieb statt.

Das Fehlvolumen während der Zeit vom 1.7. bis 3.7.2000 betrug insgesamt $4,7 \text{ Mio m}^3$.

Die Abflusssteuerungen in Geisling und Straubing erfolgen fast zeitgleich.

Der Abfluss in Straubing zeigt i.d.R. kleinere Werte als der Abfluss in Geisling.

5.2.2 Untersuchungszeitraum E vom 25.8. - 2.9.2000

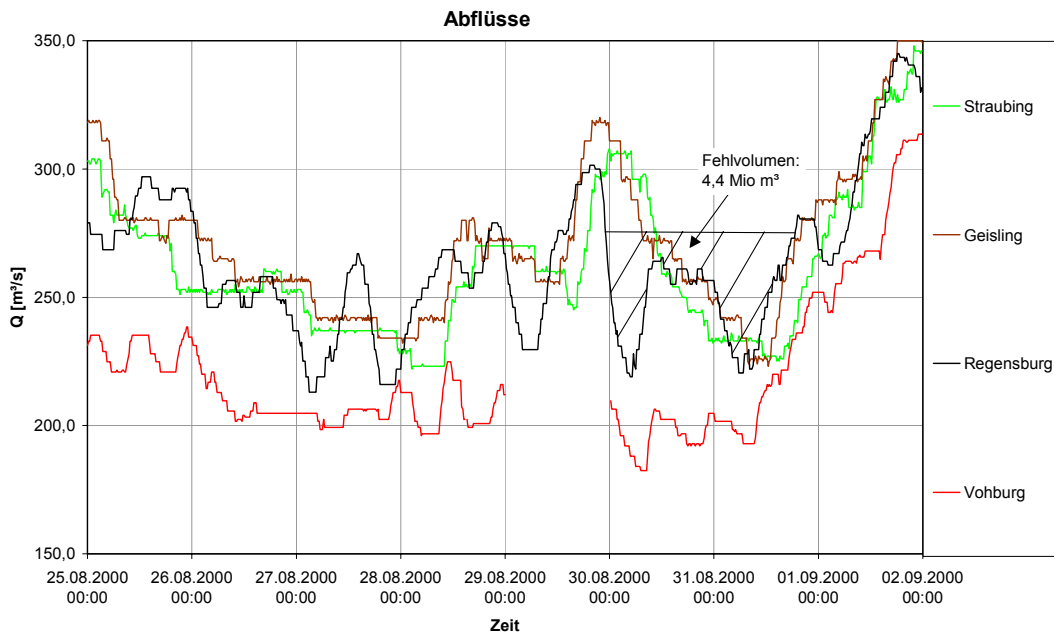


Bild 15: Abflussganglinien der Staustufen Vohburg, Regensburg, Geisling und Straubing vom 25.8. - 2.9.2000

Das Abflussspektrum der Sunkwelle(n) unterhalb Regensburg reicht bei diesem Ereignis von ca. $Q = 215 \text{ m}^3/\text{s}$ bis ca. $310 \text{ m}^3/\text{s}$.

Während dieses Ereignisses treten in Vohburg mittlere Abflussschwankungen von durchschnittlich ca. $\Delta Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. (Abflussspitzen Vohburg: $Q = 238 \text{ m}^3/\text{s}$; $197 \text{ m}^3/\text{s}$; $225 \text{ m}^3/\text{s}$; $182 \text{ m}^3/\text{s}$). Diese werden bis Regensburg deutlich verstärkt auf ca. $\Delta Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$. (Abflussspitzen Regensburg: $Q = 267 \text{ m}^3/\text{s}$; $216 \text{ m}^3/\text{s}$; $278 \text{ m}^3/\text{s}$; $230 \text{ m}^3/\text{s}$; $302 \text{ m}^3/\text{s}$; $219 \text{ m}^3/\text{s}$; $264 \text{ m}^3/\text{s}$; $221 \text{ m}^3/\text{s}$). Diese Schwankungen sind während des gesamten Ereignisses auch in Straubing deutlich zu erkennen und betragen durchschnittlich ca. $\Delta Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$, wobei zunächst eine recht gute Dämpfung erfolgt; die Sunkwelle vom 30./31.8.2000 jedoch wird nur sehr gering gedämpft. (Abflussspitzen Straubing: $Q = 260 \text{ m}^3/\text{s}$; $223 \text{ m}^3/\text{s}$; $270 \text{ m}^3/\text{s}$; $246 \text{ m}^3/\text{s}$; $307 \text{ m}^3/\text{s}$; $225 \text{ m}^3/\text{s}$).

Somit ist eine Aufsteilung der Sunkwelle(n) von Vohburg bis Regensburg zu erkennen, welche durch die Stauhaltung Geisling nur geringfügig gedämpft wird. Durch die relativ gleichzeitige Steuerung der Stauhaltungen Geisling und Straubing erfolgt in Straubing keine weitere Dämpfung.

Die gesamte Zeit über fand in Kelheim Pumpbetrieb mit Maximum am 26./27.8.2000 statt. Das Fehlvolumen während der Zeit vom 30. bis 31.8.2000 betrug insgesamt $4,4 \text{ Mio m}^3$.

5.2.3 Untersuchungszeitraum F vom 25.10. - 31.10.2000

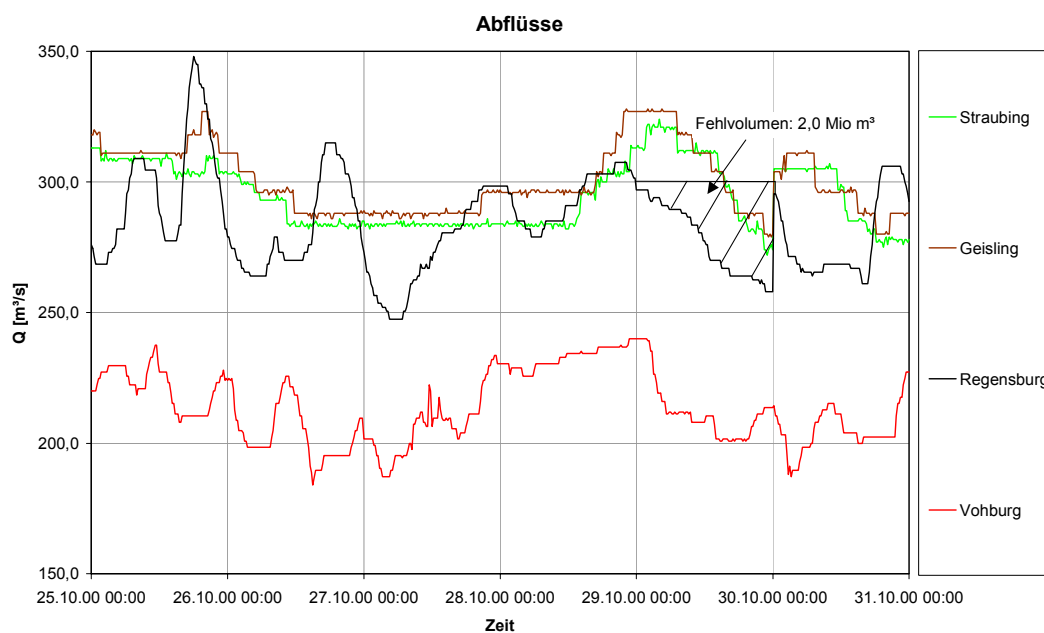


Bild 16: Abflussganglinien der Staufstufen Vohburg, Regensburg, Geisling und Straubing vom 25.10. - 31.10.2000

Das Abflussspektrum der Sunkwelle(n) unterhalb Regensburg reicht bei diesem Ereignis von ca. $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ bis ca. $315 \text{ m}^3/\text{s}$, ist somit deutlich höher als bei den Ereignissen D und E. Während dieses Ereignisses treten in Vohburg mittlere Abflussschwankungen von durchschnittlich ca. $\Delta Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. (Abflussspitzen Vohburg: $Q = 228 \text{ m}^3/\text{s}$; $184 \text{ m}^3/\text{s}$; $210 \text{ m}^3/\text{s}$; $187 \text{ m}^3/\text{s}$; $240 \text{ m}^3/\text{s}$; $187 \text{ m}^3/\text{s}$). Diese werden bis Regensburg deutlich verstärkt auf ca. $\Delta Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$. (Abflussspitzen Regensburg: $Q = 348 \text{ m}^3/\text{s}$; $264 \text{ m}^3/\text{s}$; $315 \text{ m}^3/\text{s}$; $248 \text{ m}^3/\text{s}$; $308 \text{ m}^3/\text{s}$; $258 \text{ m}^3/\text{s}$). Im Zeitraum vom 26. bis 28.10.2000 werden die Schwankungen in Geisling zunächst deutlich gedämpft auf $\Delta Q = 24 \text{ m}^3/\text{s}$; vom 29.10.2000 wird jedoch die Sunkwelle mit $\Delta Q = 52 \text{ m}^3/\text{s}$ nahezu unverändert weitergegeben. (Abflussspitzen Straubing: $Q = 310 \text{ m}^3/\text{s}$; $284 \text{ m}^3/\text{s}$; $324 \text{ m}^3/\text{s}$; $272 \text{ m}^3/\text{s}$).

Somit ist eine Aufsteilung der Sunkwelle(n) von Vohburg bis Regensburg zu erkennen, welche dann durch die Stauhaltung Geisling anfangs sehr gut, am 29.10.2000 jedoch nicht mehr gedämpft wird. Durch die relativ gleichzeitige Steuerung der Stauhaltungen Geisling und Straubing erfolgt in Straubing keine weitere Dämpfung.

Das Fehlvolumen am 29.10.2000 betrug insgesamt $2,0 \text{ Mio m}^3$.

Auffällig hier ist noch die grosse Abflussänderung von ca. $\Delta Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ binnen 15 Minuten am 30.10.2000, 0:15 Uhr. Dies ist auf eine gezielte Abflusserhöhung zur Beseitigung einer Havarie zurückzuführen.

5.3 Zusammenfassung zur Auswertung charakteristischer Sunkereignisse 2000

- S Das maximale Fehlvolumen durch die Sunkwellen der 3 Ereignisse betrug 4,7 Mio m³ (Ereignis D). Dieses Volumen könnte bei Bewirtschaftung der Stauhaltungen theoretisch gespeichert werden.
- S Fehlende Informationen bezüglich des Abflusses an der Staustufe Abbach erschweren die Analyse. Aussagen zum Betrieb der Staustufe Abbach sind daher nicht möglich.
- S An der Staustufe Regensburg sind generell Abflussaufsteilungen zu erkennen
- S An der Staustufe Geisling werden Abflussschwankungen teilweise gedämpft, teilweise nahezu unverändert weitergegeben.
- S Die Betriebsweisen der Staustufen Geisling und Straubing zeichnen sich durch fast gleichzeitige Änderung des Abflusses aus. In der Stauhaltung Straubing wird somit keine Bewirtschaftung durchgeführt. Durch eine individuellere (Bewirtschaftungs-) steuerung wäre eine Verbesserung der Abflusssituation unterhalb der Staustufe Straubing möglich.
- S Die Abflusswerte von Geisling liegen über den Werten von Straubing.
- S Der Pumpbetrieb in Kelheim kann zu einer Aufsteilung des Sunks beitragen.
- S Das Abflussspektrum aller untersuchten Ereignisse lag relativ hoch. Es gab kaum Unterschreitungen des RNQ von 217 m³/s.

6. Einbeziehen der Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals

Um die wasserwirtschaftliche Situation im Main-Regnitz-Gebiet zu verbessern wird u.a. mittels einer Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals bei Niedrigwasser Wasser aus der Donau entnommen und ins Main-Regnitz-Gebiet übergeleitet. Diese Entnahme erfolgt durch das Pumpwerk Kelheim mit 5 Pumpturbinen á $Q = 7 \text{ m}^3/\text{s}$, wovon 2 für den Schleusenbetrieb genutzt und die restlichen drei nach wasserwirtschaftlichen Aspekten betrieben werden. Diese Entnahme wird nur bei einer Wasserführung der Donau (Kelheim) größer als $Q = 140 \text{ m}^3/\text{s}$ durchgeführt. Die maximale Tagesleistung der Pumpen beträgt 3,024 Mio m³. Die Auswertung der Pumpwassermengen aus dem Jahr 1998 ergab, dass die maximale tatsächliche Pumpmenge eines Tages am 9.5.1998 mit 2,65 Mio m³ erreicht wurde. Der Betrieb der Pumpen wird aus Kostengründen vorwiegend mit Nachtstrom durchgeführt.

Zur Analyse des Zusammenspiels von hydrologisch bedingten Zuflussänderungen im Oberlauf der Donau und der Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals standen nur Ganglinien für ein

Ereignis vom Juni 1996 zur Verfügung; die folgenden Aussagen beziehen sich daher auf dieses Ereignis.

Um die Auswirkungen der MDK-Bewirtschaftung auf ein Donau-Niedrigwasser beurteilen zu können, ist es notwendig die exakte Wasserführung der Donau im Entnahmbereich bei Kelheim genau zum Entnahmezeitpunkt zu kennen. Da hier jedoch keine genauen Abflussmessungen möglich sind, muss auf die Messungen im Kraftwerk Vohburg ca. 30 km stromauf zurückgegriffen werden. Dabei ist die Ermittlung der Laufzeit von Vohburg bis zur MDK-Einmündung von grosser Bedeutung, da sich bei unterschiedlicher Annahme dieser Laufzeit unterschiedliche Abflussverläufe unterstrom der MDK-Einmündung ergeben.

In den zur Verfügung stehenden Datensätzen wurde von der RMD als massgebliche Zeitverschiebung eine Zeit von 5 Stunden angenommen. Diese Zeit entspricht aber nicht der Laufzeit, sondern der Fliesszeit. Als massgebliche Grösse ist aber die Laufzeit zu berücksichtigen. Vergleichbare Untersuchungen zur Laufzeit in den Stauhaltungen Geisling und Straubing (siehe Abschnitt 3.3.2) ergeben für diese Stauhaltungen Laufzeiten von ca. 1 Stunde. Bei Annahme eines gestauten Flussabschnittes ähnlich Geisling würde sich für die Strecke von der Staustufe Vohburg bis zur Mündung des MDK eine Laufzeit von 1 bis 1,5 Stunden ergeben. Bei Annahme einer freifliessenden Flussstrecke mit einer Wassertiefe von 1 m und einer mittleren Fliessgeschwindigkeit von 1 m/s ergibt sich eine Laufzeit von ca. 2 Stunden.

Nachfolgende Analyse zeigt sehr deutlich, welchen Einfluss eine falsche Wahl als massgebliche Zeitverschiebung auf die Abflussermittlung der Donau im Mündungsbereich des MDK hat. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich vom 16. bis zum 22.6.1996. Im oberen Teil von Bild 17 ist die Pumpenganglinie in Kelheim dargestellt. Deutlich erkennbar ist der Einsatz der Pumpen im Nachtstrombetrieb. Die mittlere Grafik in Bild 17 zeigt die Abflussganglinie Vohburg (schwarze Linie), die um 5 Stunden verschobene Abflussganglinie Vohburg als geschätzter Abfluss der Donau oberstrom der Einmündung des MDK (rote Linie) und die Summenlinie von Abfluss Kelheim mit dieser um 5 Stunden verschobenen Abflussganglinie Vohburg (blaue Linie). Diese Linie stellt somit den Abfluss der Donau unterstrom der Einmündung des MDK dar. Für den Zeitraum vom 18./19.6.1996 (vgl. auch Kap. 4.2) ergibt sich unterstrom der MDK-Mündung (blaue Linie) eine Abflussverminderung von $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $162 \text{ m}^3/\text{s}$, was einem $\Delta Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ entspricht. Ohne Pumpbetrieb ergibt sich ein minimaler Wert von $Q = 169 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies bedeutet, dass der Pumpbetrieb eine Verstärkung in der Spitze um ca. $7 \text{ m}^3/\text{s}$ bewirkte.

Die Situation für eine angenommene Zeitverschiebung des Abflusses Vohburg bis zur Einmündung MDK von 1.5 Stunden ist in der unteren Grafik von Bild 17 dargestellt. Dargestellt sind der Abfluss Vohburg (schwarze Linie), der um 1,5 Stunden verschobene Abfluss Vohburg

als Abfluss der Donau oberstrom der Mündung des MDK (rote Linie) und die Summe aus dem um 1,5 Stunden verschobenen Abfluss Vohburg mit dem Abfluss Kelheim (blaue Linie) als Abfluss der Donau unterstrom der Mündung der MDK. Für den Zeitraum 18./19.1996 ergibt sich eine Abflussverminderung von $Q = 195 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $150 \text{ m}^3/\text{s}$, d.h. eine Reduzierung um $\Delta Q = 45 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies ist ein bedeutend grösserer Sunk als der für eine Laufzeit von 5 Stunden ermittelte Sunk von $\Delta Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Analyse zeigt ferner, dass sich der Pumpbetrieb in diesem Fall sehr nachteilig auf die Abflussverhältnisse mit einer Reduzierung von $Q = 169 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ auswirkt.

Als Ergebnis ist festzuhalten:

- 1) Der Pumpbetrieb in Kelheim führt im analysierten Beispiel zu einer Verstärkung des Sunks.
- 2) Zur Ermittlung des Donauabflusses im Mündungsbereich des MDK muss die Laufzeit von der Staustufe Vohburg bis zur Mündung MDK bekannt sein. Eine falsche Annahme (5 h) und die anschliessende Superposition mit der Pumpmenge in Kelheim führt dann zu fehlerhaften Ergebnissen ($Q = 162 \text{ m}^3/\text{s}$ anstatt $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$).
- 3) Eine Abflussaufteilung von Vohburg nach Abbach muss ihre Ursache nicht in einer ungeeigneten Steuerung des Kraftwerks Abbach haben, sondern kann auf den Pumpbetrieb in Kelheim zurückzuführen sein.

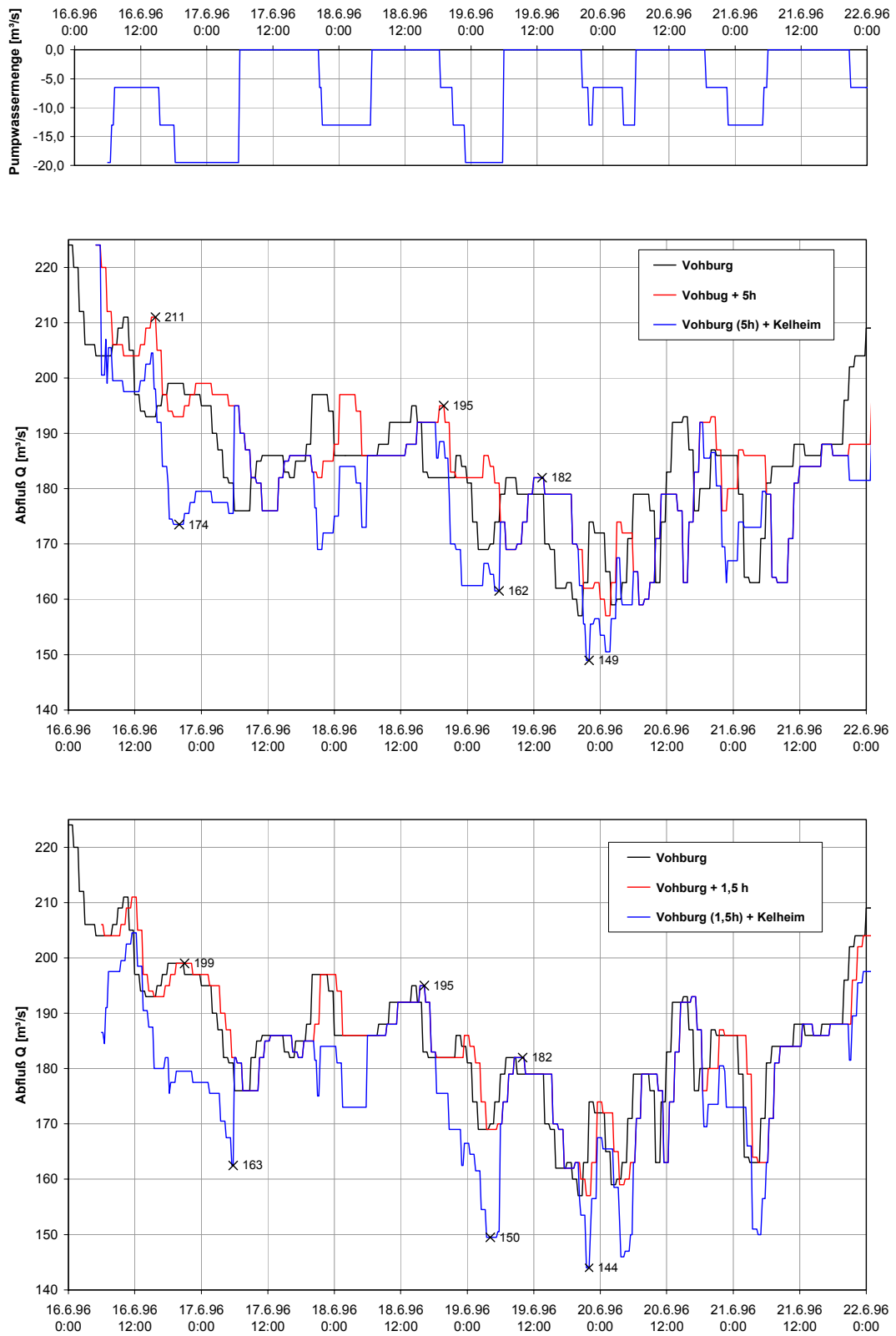


Bild 17: Pumpbetrieb am MDK, Abflussverhältnisse im Mündungsbereich MDK- Donau

7 Zusammenfassung

An der Donau sind in der Vergangenheit unterhalb der Staustufe Straubing in der freifliessenden Strecke bei Niedrigwasser Abflussschwankungen und damit verbundenen Abflussminderungen derart aufgetreten, dass sich die Schifffahrtsverhältnisse verschlechterten. Es wird davon ausgegangen, dass diese Abflussschwankungen als Ergebnis der hydrologisch bedingten Zuflussänderungen der Donau im Oberlauf bei gleichzeitiger Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals und einer noch nicht optimierten Betriebsweise der Laufwasserkraftwerke auftreten.

Daher wurde anhand charakteristischer Sunkereignisse untersucht, ob durch eine geänderte Betriebsweise der Kraftwerke und/oder der Bewirtschaftung des Main-Donau-Kanals eine Verminderung der Abflussschwankungen und somit eine Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zu erreichen ist.

Zur Auswertung standen insgesamt 3 Ereignisse aus den Jahren 1995/96 und 3 Ereignisse aus dem Jahr 2000 zur Verfügung.

Wesentliche Ergebnisse sind:

- S Bei einer Bewirtschaftung der Stauräume Geisling und Straubing von jeweils 60 cm OW-Standsänderung steht ein Volumen von ca. 6 Mio. m³ zur Verfügung.
- S Das maximale Fehlvolumen durch die Sunkwellen der 3 Ereignisse aus den Jahren 1995/1996 betrug 1,74 Mio m³ (Ereignis C). Bei einer übergeordneten Bewirtschaftungsstrategie könnte bei vorheriger Speicherung das bei den Sunkwellen auftretende Fehlvolumen problemlos abgegeben und somit grössere Abflussschwankungen vermieden werden. Bei den Ereignissen aus den Jahren 2000 betragen die Fehlvolumina bis zu 4,7 Mio m³. Hier wäre durch eine entsprechende Bewirtschaftungsstrategie eine verminderte Abflussänderung (kleinerer Sunk) erreichbar.
- S Bei den 3 Ereignissen aus den Jahren 1995/96 ist eine generelle Abflussaufteilung in der Staustufenkette feststellbar
 - S in Straubing (Ereignis A, Geisling $\Delta Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$, Straubing $\Delta Q = 25 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - S in Abbach (Ereignis B, Vohburg $\Delta Q = 17 \text{ m}^3/\text{s}$, Abbach $\Delta Q = 26 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - S in Regensburg (Ereignis C, Abbach $\Delta Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$, Regensburg $\Delta Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$)
- S Bei den 3 Ereignissen aus dem Jahr 2000 ist folgendes festzuhalten:
 - S An der Staustufe Regensburg sind generell Abflussaufteilungen zu erkennen
 - S An der Staustufe Geisling werden Abflussschwankungen teilweise gedämpft, teilweise nahezu unverändert weitergegeben.
- S Die Betriebsweisen der Staustufen Geisling und Straubing zeichnen sich durch fast gleich-

zeitige Änderung des Abflusses aus. In der Stauhaltung Straubing wird somit keine Bewirtschaftung durchgeführt. Durch eine individuellere (Bewirtschaftungs-) steuerung wäre eine Verbesserung der Abflusssituation unterhalb der Staustufe Straubing möglich.

- S Die Abflusswerte von Geisling liegen über den Werten von Straubing.
- S Bei der Ermittlung des Donauabflusses nach der MDK-Mündung (Einfluss des Pumpbetriebs) ist nicht von einer Zeitverschiebung von 5 Stunden für den Abfluss Vohburg auszugehen, sondern die Laufzeit als massgebende Grösse zu berücksichtigen. Diese wird wohl Werte von ca. 2 Stunden annehmen (Schätzwert). Eine genaue Ermittlung ist durch eine entsprechende Modellierung des entsprechenden Flussabschnittes möglich.
- S Der Pumpbetrieb in Kelheim kann zu einer Verstärkung der Sunkwelle führen.
- S In den Stauhaltungen Abbach (Abfluss Vohburg und MDK) und Regensburg findet öfters eine Verstärkung des Sunks statt. Es empfiehlt sich daher, diese Stauräume und die dazugehörige Wasserhaushaltsregelung näher zu untersuchen, um schon am Anfang der Stauhaltungskette die Abflussschwankungen zu minimieren.
- S Fehlende Informationen über die Betriebsvorschriften der einzelnen Staustufen erschweren die Analyse.

Karlsruhe, April 2001

Prof. Dr.-Ing. Franz Nestmann

Dr.-Ing. Stephan Theobald