

Thema 5**Speisung der Wasserstraßen, insbesondere der Kanäle mit Scheitelhaltung, unter Berücksichtigung der verschiedenen Verwendungszwecke des Wassers. Wasserwirtschaftliche und technische Aspekte**

Berichtersteller: Dr.-Ing. Friedrich Bassler, o. Professor für Wasserbau und Wirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt; Dr.-Ing. Rudolf Kuhn, Professor, Prokurist, Rhein-Main-Donau AG München; Dipl.-Ing. Volker Orlovius, Baudirektor, Bundesministerium für Verkehr, Bonn; Dr.-Ing. Ulrich Täubert, Handlungsbevollmächtigter, Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Dortmund; Dipl.-Ing. Theodor Thielemann, Bauoberrat, Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, Münster; Dr. Dieter Wulf, Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt e. V. Duisburg-Ruhrort.

Inhalt

	Seite
1. Allgemeine Gesichtspunkte	103
1.1. Arten der Wasserstraßen	103
1.1.1 Natürliche Wasserstraßen	103
1.1.2 Künstliche Wasserstraßen	104
1.2. Wassernutzungen und Wasserbedarf von Kanälen	104
1.2.1 Nutzungsarten des Kanalwassers	104
1.2.2 Nutzungen im Kanal	105
1.2.3 Nutzungen außerhalb des Kanals	106
1.2.4 Naturbedingte Wasserverluste	107
1.2.5 Gesamter Wasserbedarf	107
1.3. Deckung des Wasserbedarfs der Kanäle	108
1.3.1 Beschaffung von Speisewasser	108
1.3.2 Wasserbewirtschaftung	109
1.3.3 Technische Einrichtungen	110
1.3.4 Wirtschaftliche Aspekte	111
2. Die Binnenschifffahrtskanäle der Bundesrepublik Deutschland	111
2.1. Einführung	111
2.2. Kanäle in Norddeutschland	112
2.2.1 Westlicher Teil	112
2.2.2 Östlicher Teil	114
2.2.3 Nördlicher Teil	114
2.3. Main-Donau-Kanal in Süddeutschland	114

	Seite
3. Speisung der nordwestdeutschen Kanäle	114
3.1. Bauliche Entwicklung und zugeordnete Aufgaben	114
3.2. Wasserbedarf	115
3.3. Deckung des Wasserbedarfs	118
3.3.1 Die natürliche Speisung aus der Lippe	118
3.3.2 Die Pumpspeisung	120
3.3.3 Wasserspiegelschwankungen	123
3.3.4 Ferngesteuerte Speisung	125
3.3.5 Kosten der Speisung und Wasserpreis	126
4. Speisung des Main-Donau-Kanals	128
4.1. Allgemeine Gestaltung und besondere Kennzeichen des Kanals	128
4.2. Wasserbedarf	130
4.2.1 Schiffahrtsbetrieb	130
4.2.2 Landeswasserversorgung	131
4.2.3 Wasserverluste	131
4.2.4 Gesamtwasserbedarf	132
4.3. Deckung des Wasserbedarfs	132
4.3.1 Deckung des Gesamtbedarfs	132
4.3.2 Deckung der Bedarfsspitzen	133
4.3.3 Ausblick	134
Zusammenfassung	134
Schrifttumsverzeichnis	135

Hinweis: Im Berichtstext eingeklammerte Ziffern — [1] usw. — verweisen auf das Schrifttumsverzeichnis.

1. Allgemeine Gesichtspunkte

1.1 Arten von Wasserstraßen

Als Wasserstraßen für die Binnenschifffahrt eines Landes dienen Flüsse und Kanäle.

1.1.1 Natürliche Wasserstraßen

Flüsse sind in der Natur vorhandene Wasserläufe mit natürlichem Zufluß. Der für die Schifffahrt notwendige Fahrwasserquerschnitt kann entweder von Natur aus gegeben sein (Unterlauf großer Ströme) oder durch Baumaßnahmen wie Niedrigwasserregelung oder Einbau von Stufen (Stauregelung) künstlich herbeigeführt werden. Diese Maßnahmen reichen in der Regel für die Gewährleistung des Fahrwassers aus; in Sonderfällen kann der Fluß in Zeiten niedrigster Wasserführung mit Zuschußwasser aus Speichern versorgt werden.

1.1.2 Künstliche Wasserstraßen

Kanäle im Sinne dieser Untersuchung haben ein durch Aushub oder durch Auftrag künstlich hergestelltes Bett, das in der Regel künstlich mit Wasser gefüllt werden muß. Sie bedürfen zur Aufrechterhaltung eines Schiffahrtsbetriebes einer Speisung durch natürliche oder künstliche Zuleitung von Wasser.

Je nach der Topographie der von einem solchen Kanal durchschnittenen Landschaft unterscheidet man:

- stufenlose Kanäle
- Kanäle mit einseitigem Gefälle
- Kanäle mit zweiseitigem Gefälle.

Stufenlose Kanäle haben einen durchgehenden Wasserspiegel und schließen an beiden Enden an Gewässer mit gleich hohem Wasserspiegel an. Ihre Wasserversorgung wird damit von diesen Gewässern sichergestellt.

Bei einem Kanal mit einseitigem Gefälle, der Wasserstraßen miteinander verbindet oder von einer Wasserstraße abzweigt, richtet sich die Wasserversorgung nach der Höhenlage des für eine Speisung geeigneten Gewässers.

Ein Kanal mit zweiseitigem Gefälle ist erforderlich, wenn die beiden zu verbindenden Wasserstraßen durch eine Wasserscheide voneinander getrennt sind (Rhein/Weser, Main/Donau). Die beiden Äste der Kanaltreppe vereinigen sich in der gemeinsamen Scheitelhaltung. Da ihr nach beiden Richtungen Schleusungswasser entnommen wird, bildet sie den Ausgangspunkt für die Speisung des ganzen Kanals.

Wo höher gelegene natürliche Zuflüsse in ausreichendem Umfang fehlen, um mit natürlichem Gefälle in die Scheitelhaltung eingespeist zu werden, wird der Kanalwasserbedarf aus tiefer liegenden Flüssen mittels Pumpen gedeckt.

Die Scheitelhaltung soll grundsätzlich so dimensioniert werden, daß sie über die normalen Bedürfnisse der Schifffahrt hinaus als Speicher dient; dies ist auch notwendig, um Sunkspitzen bei starkem Verkehr niedrig zu halten. Wo zur Speisung gepumpt wird, muß sich der Pumpbetrieb in erster Linie auf die Niedrigtarifzeiten beschränken. Im Hinblick auf die beiden genannten Gesichtspunkte können sich neben der Scheitelhaltung zusätzliche Speicherbecken zur Aufnahme des Pumpwassers als zweckmäßig und wirtschaftlich erweisen.

Die Längsströmung in stufenförmig ausgebildeten Kanälen soll, sofern diese ausschließlich der Schifffahrt dienen, 1 m/s nicht übersteigen. Normalerweise liegt die Fließgeschwindigkeit zwischen 1 und 20 cm/s. Diese Kanäle werden daher oft „Stillwasser“-Kanäle genannt.

1.2 Wassernutzungen und Wasserbedarf von Kanälen

Der Wasserbedarf einer künstlichen Wasserstraße richtet sich nach dem Wasserverbrauch bei den verschiedenen Nutzungen, für die das einzuspeisende Wasser verwendet wird, und den naturbedingten Wasserverlusten.

1.2.1 Nutzungsarten des Kanalwassers

Den Wasserstraßen für die Schifffahrt werden in zunehmendem Maße andere Aufgaben zugeordnet, die das Wasser in verschiedenartiger Weise nutzen. In dieser Hinsicht stellt die Wasserstraße ein ideales Mehrzweckunternehmen dar, dessen Möglichkeiten im Interesse der Volkswirtschaft voll ausgenutzt werden sollen.

Eine Übersicht über die möglichen Nutzungen und ihre jeweilige Art der Beanspruchung des Kanalwassers gibt die folgende Gegenüberstellung:

Wassernutzung im Kanal selbst	Abgabe von Kanalwasser	
	mit Rückgabe	ohne Rückgabe
Schifffahrt	Wärme kraftwerke	Industrie
Fischerei	Pumpspeicherung	Landwirtschaft
Erholung	Fischzucht	Wasserwerke
Durchleitung		

1.2.2 Nutzungen im Kanal

Schifffahrt

Der Schifffahrtsbetrieb nutzt die physikalische Eigenschaft des in den Kanal eingespeisten Wassers. Von den hydrologisch und bodenmechanisch bedingten Verlusten abgesehen, bleibt das dafür bestimmte Wasser dauernd im Kanal. Die einzelne Haltung verbraucht jedoch einen Teil ihres Wassers an der Schleuse, und zwar

als Betriebswasser für die Schleusungen (Schleusungswasser) sowie durch Undichtigkeiten der Schleusentore und Umlaufverschlüsse.

Dieser Wasserverbrauch an den Schleusen kann durch Rückpumpen in die Haltung wiedergewonnen werden.

Der Wasserverbrauch einer Schleusung ist gleich dem Produkt der Gesamtlänge zwischen den Toren, der Gesamtbreite und der Stufenhöhe. Bei Sparschleusen sind entsprechende Abzüge zu machen. Für die Bemessung der Speisewassermenge ist die höchste Zahl der an einem Tag vorkommenden Schleusenfüllungen zu berücksichtigen.

Bei Kanälen mit Scheitelhaltung geht die Planung des Schleusungswasserbedarfs im allgemeinen von der Scheitelhaltung aus; sie führt den unteren Haltungen mit jedem durchfahrenden Schiff Wasser zu.

Der Wasserverbrauch infolge Undichtigkeiten (Leckwasser) an den Toren und Schützen der Schleusen hängt von der Ausführung und dem Betriebsalter dieser Teile ab.

In einer Schleusenketten ist er einmal zu berücksichtigen, weil der Leckwasserverlust der oberen Haltung der unteren Haltung zugute kommt.

Fischerei, Erholung

Die Nutzung von Schifffahrtskanälen als Fischgewässer sowie für Zwecke der Erholung im und auf dem Wasser hängt in erster Linie von der Wassergüte des Kanalwassers ab.

Die Speisungsmaßnahmen sollen den Interessen des Umweltschutzes Rechnung tragen.

Infolge der Vielzahl der Speisungsquellen mit ihren unterschiedlichen sekundlichen Speisungsmengen und beim (nicht zulässigen) Einbringen ölhaltiger Bilgen- und Ballastwässer durch die Schifffahrt bildet sich ein Mischwasser wechselnder Qualität. Die schlechteste Kanalwasserqualität ist in den Haltungen anzutreffen, die einer verschmutzten Speisungsquelle (Rhein) am nächsten liegen, besonders in Trockenzeiten.

Das Kanalnetz darf nicht als Abwasser-Sammler dienen. Die Einleitung von Regenwasser und von industriellen und häuslichen Abwässern kann deshalb nicht geduldet werden, auch wenn sie mechanisch oder biologisch geklärt sind.

Wegen der ständigen Umwälzung des Wassers an den Schleusen und durch Schiffsschrauben findet eine Belüftung des Kanalwassers statt, so daß trotz der geringen Fließgeschwindigkeit in der Kanalhaltung der Sauerstoffeintrag erheblich ist.

Durchleitung

Die Nutzung einer künstlichen Wasserstraße oder ihrer Teilstrecken zum Transport von Wasser ist in den folgenden Fällen möglich [12]:

- zur Hochwasserentlastung von kleineren Flüssen,
- als Vorfluter zur Entwässerung tiefliegender Landstriche,
- zur Versorgung von Entnehmern am Kanal und
- zum Transport von Wasser von einem Flußgebiet mit Wasserüberschuß in ein Mangelgebiet.

Diese wasserwirtschaftlichen Nebennutzungen eines Schiffahrtskanals bedürfen einer weitgehenden Anpassung an die Gesamtwasserversorgung mit Kanalwasser, da sie im allgemeinen ohne Querschnittserweiterungen erfolgen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die Durchleitungen nur zeitweilig stattfinden.

1.2.3 Nutzungen außerhalb des Kanals

Der Entnahme von Wasser aus künstlichen Wasserstraßen sind Grenzen gesetzt durch die Forderungen eines sicheren Schiffahrtsbetriebes. Diese Grenzen sind gegeben durch [2]:

- die zulässigen Wasserspiegelschwankungen im Hinblick auf die erforderlichen Tauchtiefen und lichten Brückendurchfahrthöhen sowie
- die tägliche Regelung der Zu- und Abflüsse der einzelnen Kanalhaltungen.

Die an der Wasserentnahme interessierten Kanalanelieger haben sich daher den Speisungsmaßnahmen anzupassen, die der Erhaltung der Schiffbarkeit dienen.

Es wird unterschieden zwischen Gebrauchswasser und Verbrauchswasser.

Gebrauchswasser

Als „Gebrauchswasser“ wird Kanalwasser bezeichnet, das aus einem Kanal entnommen und nach Gebrauch in sauberem Zustand mit nur unbedeutenden Verlusten im Betriebsnetz wieder in den Kanal zurückgegeben wird.

In erster Linie handelt es sich dabei um Kühlwasser für thermische Kraftwerke, das meist erwärmt, aber sonst unverändert, d. h. ohne Berührung mit schädigenden Fremdstoffen, teilweise wieder in den Kanal gelangt. Die Kanaloberfläche wirkt als Kühlfläche. Die dabei zusätzlich auftretende Verdunstung ist als Wasserverbrauch anzusehen. Hinzu kommen die Betriebswasserverluste, die je nach Kühlverfahren, elektrischer Leistung und Kraftwerkstyp sehr verschieden sind.

Bei der Verwendung von Gebrauchswasser zur Kühlwasserversorgung ist die Entfernung zwischen Kanal und Verwendungsstelle begrenzt. Hier spielt die Preisrelation zwischen Gebrauchswasser und Verbrauchswasser eine Rolle. Thermische Kraftwerke mit einem Wasserkreislauf Kanal-Betrieb-Kanal sind bisher nur in einer Entfernung bis zu 1 km vom Kanalufer erstellt worden.

Bezüglich des Wasserbedarfs und der Wasserverluste von Wärmekraftwerken wird auf [12] und [16] hingewiesen.

Die mit einer Rückgabe gekoppelte Wasserentnahme aus einem Kanal ist auch gegeben, wenn dieser als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks dient, welches Kanalwasser im Pendelbetrieb zu einem in Kanalnähe liegenden Oberbecken fördert. Die auf dessen Oberfläche stattfindende Verdunstung ist ebenfalls als Wasserverbrauch anzusetzen.

Über die für die Pumpspeicherung erforderliche Gebrauchswassermenge und ihre Auswirkungen auf die Schifffahrt gibt [13] Auskunft.

Als weitere Nutzung des Kanalwassers ist seine Verwendung in Fischteichen und sonstigen Fischzuchtanlagen zu nennen, die außerhalb des Kanals angelegt werden; ob es als Gebrauchswasser oder als Verbrauchswasser anzusehen ist, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Verbrauchswasser

Als „Verbrauchswasser“ wird Kanalwasser bezeichnet, das nach der Entnahme je nach Art der Nutzung außerhalb des Kanals nicht mehr in das Kanalnetz zurückgegeben werden kann, weil es verdampft (Industrie) oder weil es bei Bewässerungen versickert (Landwirtschaft) oder als Rohwasser (in Wasserwerken oder Schwimmbädern) verbraucht und anderen Vorflutern als Abwasser zugeleitet wird.

Der Abnahmebereich für Verbrauchswasser erstreckt sich auf eine wesentlich größere Bandbreite beiderseits des Kanalbettes als für Gebrauchswasser.

Dies gilt insbesondere für Verwendungszwecke, für die die Kanalwasserqualität ausreicht. Die Grenze der Entfernung vom Kanalufer liegt dort, wo die Gesteungskosten des Kanalwassers noch billiger sind als Wasser aus dem Trinkwassernetz.

Der Anteil der Verbrauchswasserentnahme an der Gesamtwasserentnahme ist im allgemeinen wesentlich niedriger als der der Entnahme von Gebrauchswasser.

1.2.4 Naturbedingte Wasserverluste

Als ständige Verluste des Kanalwassers sind die Verdunstungen an der Oberfläche der Kanäle und Häfen sowie die Versickerung in den Untergrund anzusehen.

Verdunstung

Die Verdunstungsmenge hängt unmittelbar ab von der Größe der Wasseroberfläche und der Verdunstungshöhe; letztere ist eine Funktion der Witterung, der Luftbewegung, der Sonnenbestrahlung und des umgebenden Bewuchses.

Es ist zweckmäßig, die Verdunstungshöhe während mehrerer Sommermonate zugrunde zu legen und einen mittleren Tageswert anzunehmen.

Versickerung

Die Versickerungsmenge ist hauptsächlich abhängig von der Beschaffenheit des Untergrunds, dem Druckgefälle zwischen Kanalwasserspiegel und Grundwasserspiegel sowie der Güte der Kanaldichtungen. Mit der Zeit können Veränderungen dieser Werte eintreten, vor allem bei Dichtungen aus Erdstoffen (Ton, Hydraton).

Die naturbedingten Wasserverluste am Beginn des Kanalbetriebs haben in der Regel auf die Speisung insofern wenig Einfluß, als der Wasserbedarf für die sich erst entwickelnde Schifffahrt zunächst gering sein wird.

1.2.5 Gesamter Wasserbedarf

Ständiger Bedarf

Aufgrund der vorangegangenen Feststellungen setzt sich der gesamte laufende Wasserbedarf aus konstanten und veränderlichen Komponenten zusammen, die auf folgende Weise gedeckt werden müssen bzw. können:

Verlauf	Kanalbedarfswasser für	Deckung durch
Konstant	naturbedingte Verluste	Ersatz
Konstant	Leckwasser an Schleusen	Rückpumpen bzw. Ersatz des Leckwassers der Schleuse mit der größten Stufenhöhe
Veränderlich	Schleusungswasser	Rückpumpen bzw. Ersatz des Schleusungswassers der Schleuse mit der größten Stufenhöhe
Veränderlich	Durchleitungswasser	Ersatz
Veränderlich	Gebrauchswasser	Rückgabe
Veränderlich	Verbrauchswasser	Ersatz

Verminderung des Bedarfs

Der Bedarf an Betriebswasser für die Schleusen kann durch folgende bauliche Anlagen eingeschränkt werden:

- Sparschleusen, Zwillingschleusen
- Rückpumpenanlagen
- Schiffshebwerke

Ihre Verwendung und Bauart richten sich nach den örtlichen Verhältnissen.

Außerordentlicher Bedarf

Ein außerordentlicher Wasserbedarf tritt ein bei der erstmaligen Füllung eines Kanals und bei zeitweiliger Wiederfüllung einzelner Kanalstrecken nach Trockenlegung für Instandsetzungszwecke; diese Maßnahmen wird man zweckmäßig in wasserreichen Zeiten vornehmen.

Dem Ausfall von Rückpumpenanlagen und von Sparbecken muß im Hinblick auf die Aufrechterhaltung der Schifffahrt durch geeignete Ersatzmaßnahmen Rechnung getragen werden.

Zur Eisminderung im Kanal kann das zurückgegebene Kühlwasser von thermischen Kraftwerken herangezogen werden. Zum Transport des erwärmten Wassers ist eine Längsströmung erforderlich, die meist zusätzliche Speisungsmaßnahmen notwendig macht.

1.3 Deckung des Wasserbedarfs der Kanäle

1.3.1 Beschaffung von Speisewasser

Direkte Speisung der Scheitelhaltung

Die Scheitelhaltungen des Kanalnetzes der Bundesrepublik Deutschland liegen so hoch, daß eine unmittelbare Wasserversorgung aus natürlichen Wasserläufen, die das ganze Jahr über ausreichende Speisungsmengen zur Verfügung stellen können, meist nicht möglich ist. Auch die Anlage von Staubecken zum Ausgleich vom natürlichen Zufluß und Kanalwasserbedarf genügt im allgemeinen nicht immer, um den Betrieb eines verkehrsreichen Kanals jederzeit zu gewährleisten.

Bei tief eingeschnittenen Kanalhaltungen kann die natürliche Speisung aus dem Grundwasser der unmittelbaren Umgebung in Betracht kommen, sofern der Kanalwasserspiegel tiefer liegt.

Auch sie wird aber meistens, besonders bei Scheitelhaltungen, für den vollen Wasserbedarf nicht ausreichen. Außerdem ist dabei die eventuelle Priorität der Trinkwasserversorgung zu prüfen.

Wo der natürliche Zufluß solcher ober- oder unterirdischer Quellen zu einer Scheitelhaltung nicht oder nur teilweise gegeben ist, kann die Zuleitung von Ersatzwasser aus in der Nähe und nicht viel tiefer liegenden Flußläufen oder Grundwasserströmen durch künstliche Hebung mittels Pumpen erfolgen.

Wenn im Idealfall die täglichen Schleusungszahlen an allen Staustufen sowie die Wasserflächen ihrer Kammern annähernd gleich sind und die Höhe der oberen Stufe jeweils etwas größer ist als die der nächst tiefer liegenden Schleuse, können die Füllmengen eines Betriebstages für die oberste Kammer den Wasserbedarf der tiefer liegenden Schleusen decken. In gleicher Weise können auch die Wasserverluste und die Verbrauchswassermengen in den tiefer liegenden Haltungen mit entsprechend größerer Einspeisung in die Scheitelhaltung ersetzt werden.

Wo diese idealen Verhältnisse nicht bestehen, ergeben sich teils Schleusen mit Überschußwasser, teils Stauhaltungen mit Fehlbedarf. In diesem Fall wird von der Scheitelhaltung bzw. den oberen Stufen nicht nur das jeweils erforderliche Schleusenbetriebswasser, sondern zusätzlich sogenanntes Freiwasser für die Auffüllung der tiefer liegenden Haltungen mit größerem Wasserbedarf abgelassen.

Grundsätzlich kann der Wasserbedarf des Kanals aber auch dadurch gedeckt werden, daß das Schleusungswasser an jeder Stufe wieder in die obere Haltung zurückgepumpt wird. In diesem Fall müssen nur die Wasserverluste und die Verbrauchswassermengen von der Scheitelhaltung her den einzelnen Haltungen zugeleitet werden.

Pumpförderung zur Scheitelhaltung

Wo eine direkte Einleitung von Wasser in höher gelegene Kanalstrecken einschließlich der Scheitelhaltung aus Mangel an ausreichendem Zufluß oder Gefälle nicht oder nicht immer möglich ist, muß die erforderliche bzw. fehlende Speisungswassermenge aus tiefer liegenden wasserreichen Flüssen (Rhein, Donau) entnommen und über die Kanalrampen zur Scheitelhaltung hinauf transportiert werden. In wirtschaftlicher Weise wird möglichst nur in Niedrigtarifzeiten gepumpt. Zum Ausgleich zwischen Pumpzeit und Verbrauchszeit muß die Scheitelhaltung entweder ein gewisses Speichervermögen besitzen, oder es muß neben der Haltung ein Speicher- bzw. Ausgleichsbecken angelegt werden.

Das Einspeisen oder Absaugen der durchflossenen Kanalhaltungen hat zur Folge, daß die mittlere Fließgeschwindigkeit des Wassers im Kanalquerschnitt stark schwanken und die Fließrichtung häufig wechseln können. Außerdem ist zu beachten, daß der Kanalwasserspiegel ein Speisungsgefälle für den Wassertransport benötigt, das unter Umständen noch von einem Windstaugefälle überlagert wird.

1.3.2 Wasserbewirtschaftung

Bewirtschaftungspläne

Speisungsanlagen haben den Wasserverbrauch zur Zeit des größten Bedarfs zu decken und müssen auch Verbrauchsschwankungen Rechnung tragen. Dazu sind Wasserbewirtschaftungspläne (Speisungspläne) aufzustellen; in ihnen sind für alle Haltungen Bedarf und Beschaffung des Speisewassers als Funktion der Zeit aufzutragen.

Neben der Bedarfsmenge spielt der momentane Wasserbedarf (m^3/s) eine Rolle. Das Leistungsvermögen der Zuleitungen bzw. Pumpen muß so hoch ausgelegt werden, daß der Gesamtpitzenbedarf gedeckt ist.

Spitzendeckung

Verbrauchsspitzen können bis zu einem bestimmten Umfang durch den Kanal selbst ausgeglichen werden, indem man die Wasserreserve zwischen dem Normalwasserstand und dem angespannten Wasserstand heranzieht. Bei der Wasserbeschaffung ist darauf zu achten, daß der Normalwasserstand nicht unterschritten wird.

Sofern die erforderliche Speicherung im Kanal selbst technisch nicht möglich oder unwirtschaftlich ist, kann die Anlage eines Seitenspeichers neben der Scheitelhaltung in Betracht kommen, der durch Pumpspeisung über die Kanalrampe gefüllt wird. Mit einem solchen Ausgleichsbecken werden nicht nur die Hochtarifzeiten der Pumpwerke überbrückt, sondern auch der Ausfall von Sparbecken oder Rückpumpenanlagen während der Schiffsfahrtsbetriebszeit.

1.3.3 Technische Einrichtungen

Abgesehen von den Schleusen und Rückpumpenanlagen sind eine Reihe anderer Einrichtungen am Kanal zu erstellen, um die reibungslose Wasserversorgung zu gewährleisten.

Bauwerke

Zur Einleitung natürlicher Zuflüsse in die Scheitelhaltung sind Speisungsbauwerke erforderlich. Sie sind so zu konstruieren, daß einerseits nur die zulässige Wassermenge aus dem Fluß entnommen werden kann und andererseits keine Feststoffe aus dem Fluß in den Kanal gelangen.

Haltungen, denen von oben her zu reichlich Wasser zugeflossen ist (Überschußhaltungen), oder Kanalhaltungen, die zur Hochwasserabfuhr herangezogen werden, müssen mit ausreichenden Entlastungsbauwerken ausgestattet werden. In Betracht kommen z. B. Überlaufschwelen am Kanalufer, die selbständig anspringen und das Überschußwasser nach einem benachbarten Vorfluter abschlagen. Eine Möglichkeit, überschüssiges Wasser talwärts nach Haltungen abzulassen, die es z. B. zur kontinuierlichen Industriewasserversorgung nach Schiffsfahrtsbetriebsschluß benötigen, besteht in Freiwasserleitungen, mit denen die Pumpwerke ausgerüstet werden.

Die Ableitung von Verbrauchswasser und Gebrauchswasser aus dem Kanal erfordert Entnahmehauwerke. Diese sind wegen der möglichen Auswirkungen auf die Schifffahrt so zu gestalten, daß die maximal zulässige Querkomponente der Strömung nicht überschritten wird. Das gleiche gilt für die Rückgabe von Gebrauchswasser an den Kanal über Wiedereinleitungsbauwerke.

Fernsteuerung

Um eine optimale Bewirtschaftung und möglichst geringe Schwankungen der Betriebswasserstände zu erreichen, ist eine zentrale Fernsteuerung der Speisungs- und Entlastungseinrichtung des Schiffsfahrtskanals erforderlich. Die zusammenfassende Übersicht der fernübertragenen Meßwerte aller Haltungswasserstände, Pumpen und Entlastungsanlagen ermöglicht eine kurzfristige Reaktion des zentral eingesetzten Bedienungspersonals in bezug auf die zweckmäßigste Änderung der Speisungsmaßnahmen.

Die Konzentration der Registrierung der Wasserstände, des Empfangs von Meldungen über den jeweiligen Betriebszustand und der Abgabe von Befehlen zur Einleitung der Schaltvorgänge am Empfangsort an einer einzigen Stelle des Kanalnetzes hat neben einer beachtlichen Personaleinsparung den Vorteil eines wesentlich elastischeren Einsatzes der Pumpen und Verschlußorgane gegenüber einer Einzelbedienung.

1.3.4 Wirtschaftliche Aspekte

Pumpstromkosten

Ein entscheidender Faktor bei der Wahl des Speisungssystems eines Kanals sind die Pumpstromkosten. Man wird daher versuchen, die Wasserversorgung nicht allein auf die künstliche Speisung abzustellen, sondern soweit als möglich — wenigstens in den wasserreichen Zeiten — auch die natürlichen Zubringer heranzuziehen. Angesichts des zunehmenden Speisungswasserbedarfs im deutschen Kanalnetz tritt der Anteil der natürlichen Speisung jedoch immer mehr zurück.

Soweit gepumpt werden muß, sind dafür nach Möglichkeit Zeiten mit Schwachlastbedarf an elektrischer Energie zu wählen und dafür mit den Elektrizitätsunternehmen Billigtarife zu vereinbaren.

Organisationsformen

Wo Schiffahrtskanäle als Nebenzweck Fernleitungen sind, durch die Wasser innerhalb der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung an andere Verbraucher herangeführt wird, kann die Heranziehung der Wasserstraßen nur in engem Einvernehmen zwischen den beteiligten Gruppen betrieben werden. Die Kosten, die im Rahmen der Mehrzwecknutzung eines Kanals entstehen, können nach der Theorie der Kostenzurechnung [11] in direkt zurechenbare Kosten und Gemeinkosten aufgeteilt werden.

Zu ersteren gehören die anteiligen Kosten für Pumpstrom, für besondere Anlagen zur Wasserversorgung, für die Unterhaltung und für Personal, zu letzteren Anteile an den Gesamtkosten der Wasserbauanlage. Die Frage eines Entgelts für die Durchleitung des Wassers durch die Wasserstraße, die allein für Schiffahrtzwecke erstellt worden ist, bedarf einer besonderen Behandlung.

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Beschaffung des Wassers für Schiffahrt Sache des Bundes („Bundeswasserstraßen“), die übrige Wasserwirtschaft Sache der Länder bzw. dafür gebildeter regionaler Wasserverbände.

Nach dem deutschen Wassergesetz hat jeder dem anderen einen Schaden bzw. Aufwand zu ersetzen, den jener für die Nutzung aufbringt.

2. Die Binnenschiffahrtskanäle der Bundesrepublik Deutschland

2.1 Einführung

Die Bundesrepublik Deutschland hat ein Binnenwasserstraßennetz von rd. 4870 km Länge. Davon sind rd. 3790 km natürliche Wasserstraßen mit zum Teil geregelten, zum Teil staugeregelten Flüssen. Für die Binnenschiffahrt haben ausschließlich die Flüsse mit größerem Verkehrsaufkommen Bedeutung:

der Rhein einschließlich der Nebenflüsse Main, Mosel und Neckar sowie die Ems, die Weser, die Elbe und die Donau.

Die Verbindung zwischen diesen Stromgebieten wurde durch den Bau von Binnenschiffahrtskanälen hergestellt. Die Länge dieser künstlichen Wasserstraßen beträgt zur Zeit rd. 1080 km.

Zeitlich gesehen wurden die einzelnen Stromgebieten nacheinander — von West nach Ost fortschreitend — an den bedeutendsten und verkehrsreichsten Strom, den Rhein, angeschlossen.

Es wurden erreicht

1914 der Anschluß der Ems (Rhein-Herne-Kanal, Dortmund-Ems-Kanal)

1915 der Anschluß der Weser (Mittellandkanal)

1938 der Anschluß der Elbe (Mittellandkanal).

Weitere Verbindungen zwischen den Stromgebieten wurden bis in neueste Zeit hin fertiggestellt (1935 Küstenkanal, 1976 Elbe-Seitenkanal). Das norddeutsche Wasserstraßennetz mit seinen überwiegend in Nord-Süd-Richtung verlaufenden natürlichen und in Ost-West-Richtung verlaufenden künstlichen Wasserstraßen bildet insgesamt eine Einheit und kann als im wesentlichen vollendet gelten.

In Süddeutschland ist die Verbindung der Stromgebiete von Rhein/Main mit der Donau zur Zeit im Bau.

Die im folgenden behandelten Binnenschiffahrtskanäle dienen zur Überwindung der Wasserscheiden zwischen den genannten Stromgebieten. Sie bestehen aus je zwei oder mehr Schleusentreppen und einer Scheitelhaltung und sind überwiegend auf eine künstliche Wassereinspeisung angewiesen.

Das Ziel der Ausbaumaßnahmen ist, den gesamten Bereich für das Schiff mit 1350 t Tragfähigkeit bei 2,50 m Abladetiefe zugänglich zu machen. Schubverkehr für Verbände mit 2 Leichtern vom Typ Europa II soll beim weiteren Ausbau dort berücksichtigt werden, wo ein größeres Aufkommen dieser Verkehrsart erwartet wird.

2.2 Kanäle in Norddeutschland

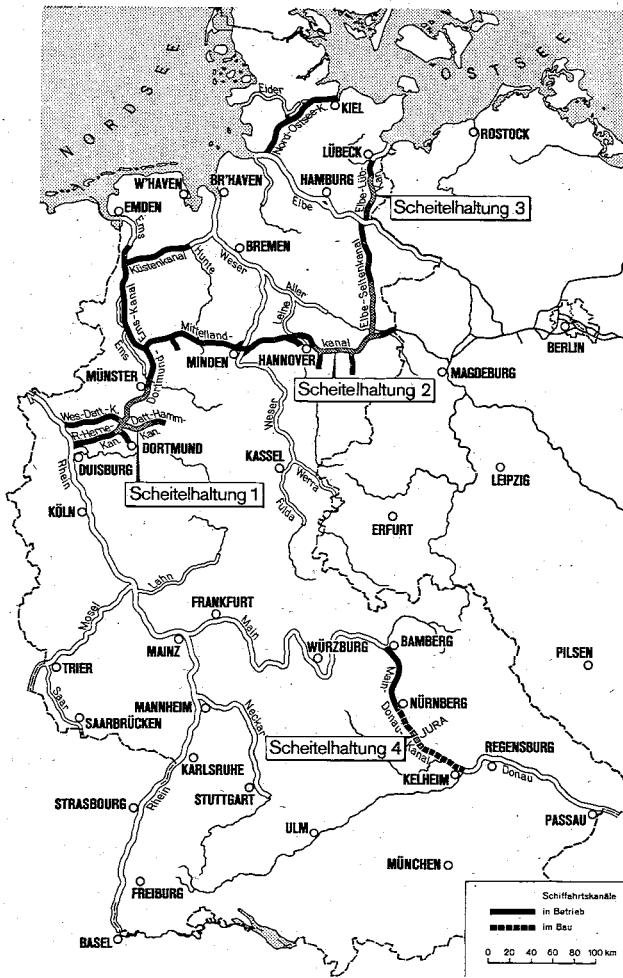
2.2.1 Westlicher Teil

Der westliche Teil (Abb. 1) verbindet das Stromgebiet des Rheins über zwei Schleusentreppen (Rhein-Herne-Kanal, Wesel-Datteln-Kanal), die Scheitelhaltung des Dortmund-Ems-Kanals und die absteigende Schleusentreppe des Dortmund-Ems-Kanals mit der Ems. Über die Weststrecke des Mittellandkanals und den Kanalabstieg in Minden wird die Weser erreicht. Dieser Teil wurde in seiner wesentlichen Form im Zeitraum von 1899 bis 1932 vollendet. Er weist den stärksten Binnenschiffsverkehr der hier betrachteten Kanäle auf. Die Höhenunterschiede zwischen Fluß und Scheitelhaltung werden überwiegend in zahlreichen Schleusenstufen mit geringer Fallhöhe ohne Anlagen zur Wasserersparnis überwunden. Die Scheitelhaltung wird zum Teil durch natürliche Zuflüsse, zum Teil durch Pumpspeisung mit Wasser versorgt (Tab. 1). Das Gesamtproblem der Speisung ist recht verwickelt. Es liegen jedoch infolge der langen Betriebsdauer zahlreiche Erfahrungen über Bau, Unterhaltung und Betrieb der Kanalspeisungsanlage vor. Hierüber wird im Teil 3 näher berichtet.

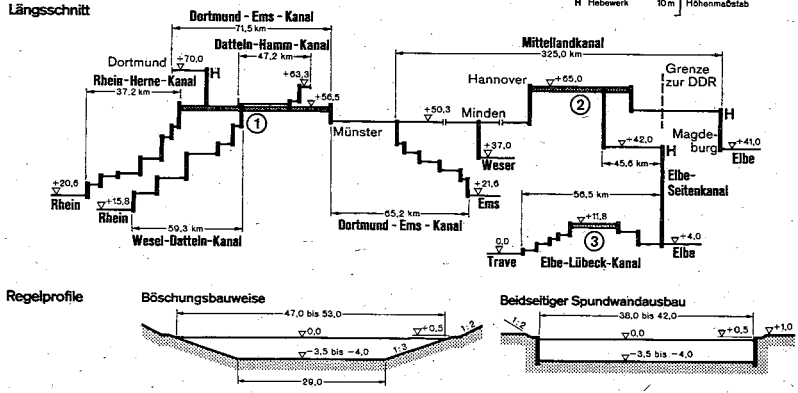
Scheitelhaltung Nr. nach Abb. 1		1	2	3	4
Vollendung	Jahr	1899	1938/76	1960	1965
Länge einschl. Zweigkanäle mit gleichem Niveau	km	102,1	128,4	29,8	16,5
Oberfläche	km ²	5,7	5,9	3,1 ¹⁾	0,8
Höhenlage	NN+	56,5	65,0	11,8	406,0
Pumpspeisung	%	45	90 ¹⁾	0	100
Natürlicher Zufluß	%	55	10 ¹⁾	100	0
min. Förderhöhe bei Pumpspeisung	m	31,5	28	—	67,8
Mittleres Verkehrs- aufkommen 1975	Mio Trag- fähigkeits- tonnen	26,4	14,5	2,2 ¹⁾	

1) Gesamtheit 2) mit Seen 3) 1973

Tabelle 1: Charakteristik der vier Scheitelhaltungen an Kanälen der Bundesrepublik Deutschland



Nordwestdeutsche Schiffahrtskanäle



Main - Donau - Kanal

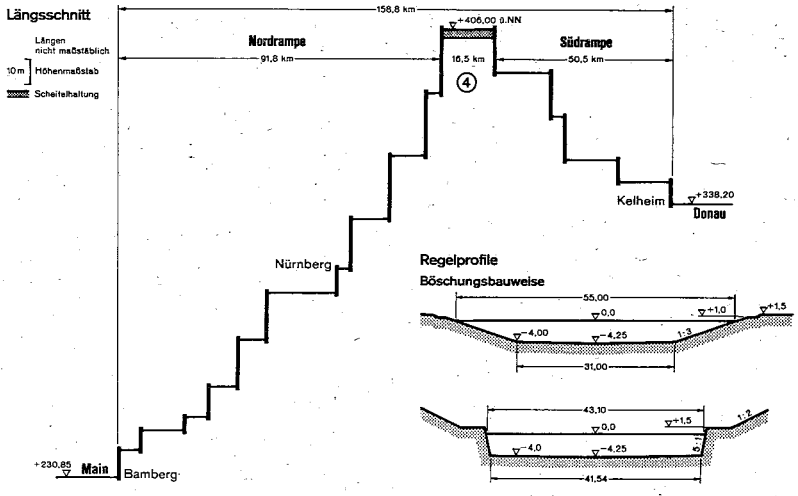


Abb. 1: Die Binnenschiffahrtskanäle der Bundesrepublik Deutschland

2.2.2 Östlicher Teil

Der östliche Teil (Abb. 1) verbindet das Stromgebiet der Weser über 2 Schleusenstufen in Minden und Hannover, die Scheitelhaltung des Mittellandkanals und 2 Schleusenstufen des Mittellandkanals und des Elbe-Seitenkanals mit der Elbe (dabei Abstieg vom Mittellandkanal zur Elbe auf dem Gebiet der DDR liegend). Ein direkter Anschluß an den westlichen Teil und damit auch an den Rhein wird durch eine Kanalbrücke in Minden über die Weser hergestellt. Dieser Teil wurde im wesentlichen ab 1914 gebaut und mit der Inbetriebnahme des Elbe-Seitenkanals vollendet. Im Gegensatz zum älteren westlichen Teil werden hier die Höhenunterschiede in nur wenigen Stufen mit durchweg großer Höhe, die als wassersparende Anlagen ausgebildet sind, überwunden.

Der Wasserbedarf dieses Bereiches muß überwiegend durch Pumpspeisung gedeckt werden (Tab. 1). Erfahrungen der im Verbund betriebenen Kanalspeisung dieses Bereiches liegen bisher noch nicht vor. Weitere Ausführungen werden daher hier nicht gebracht.

2.2.3 Nördlicher Teil

Im nördlichen Teil (Abb. 1) sind 2 Binnenschiffahrtskanäle zu nennen. Der Elbe-Lübeck-Kanal verbindet die Elbe mit dem Hafen Lübeck. Er wurde im Jahre 1900 in Betrieb genommen. Entsprechend dem Alter werden die Höhenunterschiede nur durch geringe Fallhöhen überwunden. Der Wasserbedarf des Kanals wird ganz durch natürliche Zuflüsse gedeckt (Tab. 1). In trockenen Jahren ist jedoch dieses Wasserdargebot nicht immer ausreichend.

Der Küstenkanal stellt eine weitere Verbindung zwischen Weser und Ems her. Er wurde 1935 in Betrieb genommen. Der Kanal besteht aus einer Haltung, die beidseitig durch eine Stufe begrenzt ist. Der Wasserbedarf wird voll durch natürliche Zuflüsse gedeckt. Eine wichtige Aufgabe des Kanals ist die Entwässerung der umgebenden Moorgebiete.

2.3 Der Main-Donau-Kanal in Süddeutschland

Im Rahmen der Wasserstraßenverbindung Rhein-Donau bildet der Main-Donau-Kanal (Abb. 1) das Bindeglied zwischen den natürlichen Wasserstraßen Main und Donau. Beide Stromgebiete sind durch die Wasserscheide des Jura voneinander getrennt.

Hinsichtlich der Kanalspeisung ist dieses Kanalsystem einfach und übersichtlich; wasserwirtschaftliche Belange spielen auch hier eine wichtige Rolle. Es wurde von Anbeginn nach einheitlichen Gesichtspunkten geplant und wird daher in Teil 4 näher erläutert.

3. Speisung der nordwestdeutschen Kanäle [2] [9] [14]

In diesem Teil wird der unter 2.2.1 angeführte westliche Abschnitt des norddeutschen Kanalsystems näher betrachtet (Abb. 2).

3.1 Bauliche Entwicklung und zugeordnete Aufgaben

Als erstes Teilstück wurde der Dortmund-Ems-Kanal im Jahre 1899 in Betrieb genommen, um der Industrie im östlichen Ruhrgebiet einen Wasserstraßenanschluß an einen deutschen Seehafen zu bieten. Damit begann die bedeutsame Entwicklung der Kanalschiffahrt als eine eigenständige, nach den besonderen Erfordernissen des Kanalbetriebes ausgerichtete Schiffahrt. Der Bau von Schiffahrtskanälen im westdeutschen Raum wurde fortgesetzt mit dem Ziel, das ständig an Bedeutung zunehmende Industriegebiet an der Ruhr durch Wasserstraßen zu erschließen und den Abtransport von Kohle wirtschaftlich zu ermöglichen. Im Jahre 1914 wurde der Rhein-Herne-Kanal fertiggestellt, der das kohlefördernde Ruhrgebiet unmittelbar durchquert und erstmals eine durchgehende Verbindung Rhein — Ems und damit Rhein — deutsche

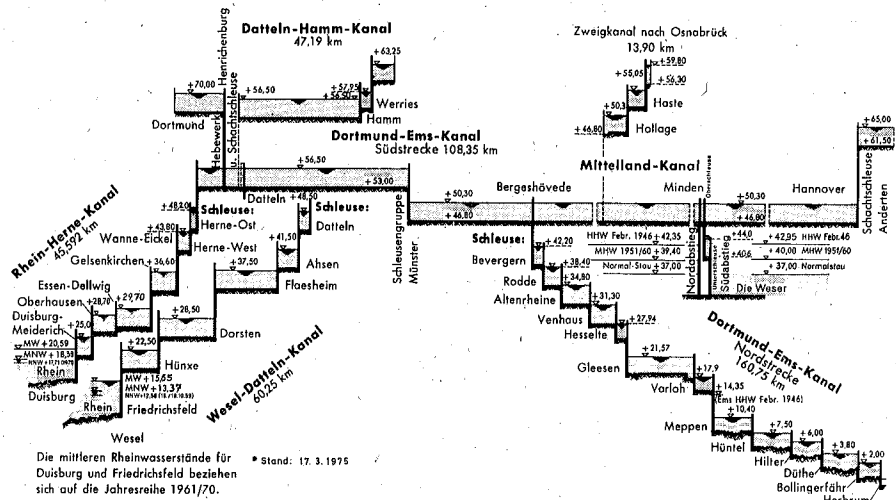


Abb. 2: Längsschnitt der nordwestdeutschen Kanäle

Nordseeküste schuf. Gleichzeitig wurde der Datteln-Hamm-Kanal bis Hamm eröffnet. Ihm wurden zwei wichtige Aufgaben zugewiesen: Eine weitere Erschließung des östlichen Ruhrgebietes sowie die Speisung des Kanalnetzes aus der Lippe bei Hamm mit natürlichem Gefälle.

Der Mittellandkanal wurde 1915 bis zur Weser für die Schifffahrt befahrbar. Er teilt den Dortmund-Ems-Kanal in eine südliche Hälfte, die als natürliche Fortsetzung des Mittellandkanals und Teilstück einer durchgehenden Ost-West-Wasserstraßenverbindung eine größere Bedeutung als der nördliche Teil erlangt hat. Bereits bei der Planung wurde dem Mittellandkanal die Aufgabe zugewiesen, schädliche Hochwasserspitzen der ihn kreuzenden Flüsse und Bäche aufzunehmen und anderen leistungsfähigeren Wasserläufen zuzuführen.

Der Wesel-Datteln-Kanal schließlich wurde 1931 dem Verkehr übergeben. Er stellt die kürzeste Verbindung zwischen den Rheinmündungshäfen und dem östlichen Ruhrgebiet her und dient zur Entlastung des Rhein-Herne-Kanals.

Das gegenüber der ursprünglichen Planung stark angestiegene Verkehrsaufkommen der nordwestdeutschen Kanäle machte wiederholt bauliche Maßnahmen, wie Vertiefung und Verbreiterung des Kanalbettes und den Bau neuer Abstiegsbauwerke, erforderlich. Sie sind noch nicht abgeschlossen. Es wird angestrebt, das Ausbauziel bis etwa 1985 zu erreichen.

Ursprünglich — bis auf geringe Ausnahmen — vornehmlich für Schifffahrtszwecke gebaut, ist das gesamte nordwestdeutsche Kanalnetz heute eine bedeutende wasserbauliche Mehrzweckanlage [12]. Neben Vorflutaufgaben dient es der weiträumigen Versorgung der Wasserwerke, der Wärmekraftwerke, der Industrie und der Landwirtschaft mit Verbrauchs- und Gebrauchswasser sowie allgemein der Überleitung von Wasser aus Flußgebieten mit ausreichendem Wasserdargebot in solche mit mangelndem Wasserdargebot. Wachsende Bedeutung gewinnen ferner die Funktionen Freizeit und Erholung, besonders wegen der Nähe des Ballungsgebietes Rhein—Ruhr.

3.2 Wasserbedarf

Der ideale Speisungszustand des beschriebenen Kanalnetzes wäre gegeben, wenn in den höchsten Haltungen ausreichend natürliche Zuflüsse zur Verfügung stünden und die Hubhöhen der einzelnen Haltungen nach unten langsam abnehmen. Dann stünde in jeder Haltung noch ein

gewisser Überschuß an Wasser zur Verfügung, um Wasserabgaben und Verluste decken zu können. Beim Bau des Rhein-Herne-Kanals versuchte man, diesem Idealzustand möglichst nahezukommen, indem man fast an allen Staustufen gleiche Hubhöhen vorsah. Durch Bergbaueinwirkungen haben sich jedoch im Laufe der Jahre die Hubhöhen und damit der Wasserbedarf — hier der Bedarf an Schleusenbetriebswasser — gegenüber der ursprünglichen Planung vollständig geändert, wie aus der Tab. 2 ersichtlich ist.

Stufenhöhe [m]

Schleuse	Jahr	1914	1974	1985
Duisburg - Meiderich		5,40	6,61	7,00
Oberhausen		5,00	3,70	4,10
Essen - Dellwig		5,00	1,10	—
Gelsenkirchen		5,00	6,80	6,70
Wanne - Eickel		5,00	7,20	8,00
Herne-West		5,00	4,40	—
Herne-Ost		6,00	8,30	12,70

Tabelle 2: Stufenhöhen am Rhein-Herne-Kanal

Um einen Überblick über die einzelnen Anteile des Wasserbedarfs der nordwestdeutschen Kanäle zu geben, sei als Beispiel der Wasserbedarf der Scheitelhaltung Herne-Hamm-Münster erläutert, deren Bereich in Abb. 7 punktiert dargestellt ist. In Abb. 3 sind über den einzelnen Jahreszahlen der Abszissenachse die jeweiligen Jahresdurchschnittswerke der Zu- und Abflüsse als Ordinaten aufgetragen.

Der größte Anteil des benötigten Wassers ist das verkehrabhängige Schleusenbetriebswasser. Seine vorherige Ermittlung ist einfach, wenn die maximalen Schleusenfüllungszahlen hinreichend genau abgeschätzt werden können (siehe Abschnitt 1.2.2). Während des Betriebes wird es durch Aufzeichnung der tatsächlichen Kammerfüllungen registriert. Den zweitgrößten Bedarfsposten stellen das Spaltwasserwerk und die Verluste dar, bestehend aus

- dem Spaltwasser an den beiden Schleusen Herne-Ost ($0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ je Schleuse), den Schleusen Datteln (große Schleuse $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, kleine Schleuse $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) und der Schleusengruppe Münster (3 Schleusen mit zusammen $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$),
- der Verdunstung an der Kanaloberfläche mit 635 mm/a , die jedoch in Strecken mit vermehrter Kühlwassereinleitung den 2,5fachen Wert annehmen kann (das entspricht 85 bis $330 \text{ m}^3/\text{km d}$) und
- der Versickerung mit etwa 5800 mm/a , die jedoch an Spitzentagen etwa das 1,5fache, nämlich rd. 24 mm/d erreichen kann (das entspricht 840 bis $1260 \text{ m}^3/\text{km d}$)

Ein mengenmäßig geringer, aber für die Anlieger außerordentlich bedeutungsvoller Anteil des Wasserbedarfs sind die Abgaben (Verbrauchs- und Gebrauchswasser) an Dritte. Die Entwicklung der Verbrauchs- und Gebrauchsabgaben aus dem nordwestdeutschen Kanalnetz südlich von Münster sind aus Abb. 4 ersichtlich. Die Verbrauchswassermengen werden in der Zukunft noch stark zunehmen. Über die in der Darstellung ab Juli 1973 angegebene Lippeanreicherung wird noch im Abschnitt 3.3.2 die Rede sein. In Abb. 3 sind lediglich die der Scheitelhaltung tatsächlich entzogenen Mengen (Verbrauchswasser + 3 % Gebrauchswasser einschl. einer Lippeanreicherung im Jahre 1973) angegeben.

Der gesamte Speisungswasserbedarf der Scheitelhaltung wird durch die in Abb. 3 dick gestrichelte Linie dargestellt. Der über dieser Linie angegebene Wasserüberschuß ist Freiwasser, das von der Scheitelhaltung an niedriger gelegene Haltungen zusätzlich abgegeben werden konnte.

Im Jahre 1902 hatte man den Wasserbedarf des Dortmund-Ems-Kanals für die 150 km lange Strecke zwischen Dortmund, Herne und Gleesen noch zu $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen [14]. Demge-

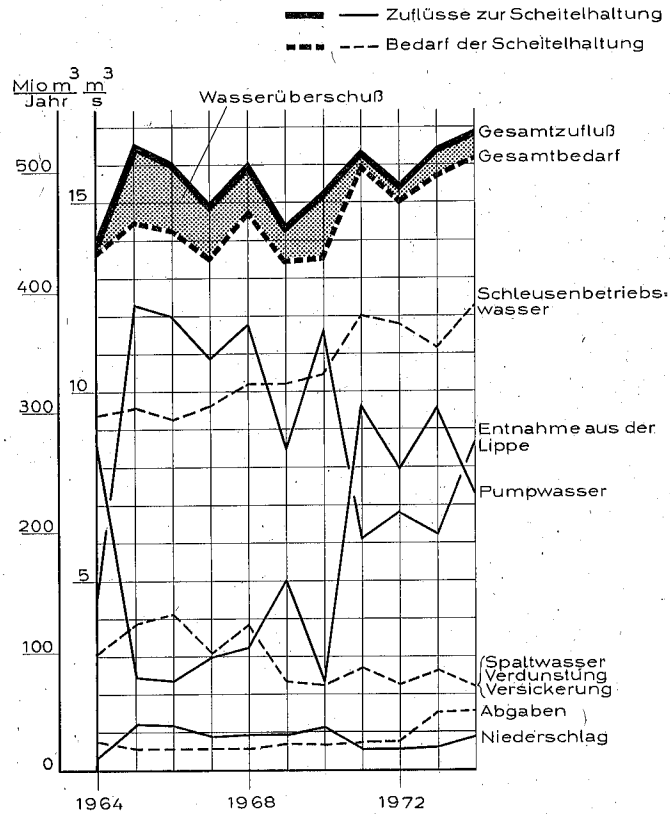


Abb. 3: Wasserbewirtschaftung der Scheitelhaltung Herne-Hamm-Münster 1964 — 1974 (Jahresmittel)

genüber ist der Bedarf der 124,6 km langen Scheitelhaltung Herne-Hamm-Münster im Laufe der Jahre wie folgt gestiegen:

Jahr	Wasserbedarf	
	$10^6 \text{ m}^3/\text{a}$	m^3/s
1926	212	6,74
1951	362	11,5
1964	460	14,5
1973	495	15,7

Dies ist vor allen Dingen auf den erhöhten Verbrauch an Schleusenbetriebswasser zurückzuführen.

Da an Sonn- und Feiertagen sowie in strengen Wintern wegen Vereisung der Kanäle die Schifffahrt zeitweise ruht, ergibt die Darstellung in m^3/s aber nur ein theoretisches Vergleichsbild. Die tatsächlichen Tagesspeisungsmengen liegen wesentlich höher, etwa bei 15 bis $19 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tagesspitzenwerte wurden z. B. am 25. 8. 1973 mit $25,07 \text{ m}^3/\text{s}$ und am 14. 10. 1974 mit $23,70 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht.

Bei allen Speisungsmaßnahmen ist auch auf eine ausreichende Qualität des in ein künstliches Kanalnetz eingespeisten Wassers zu achten. So wird z. B. an der Schleusungsgruppe Münster in

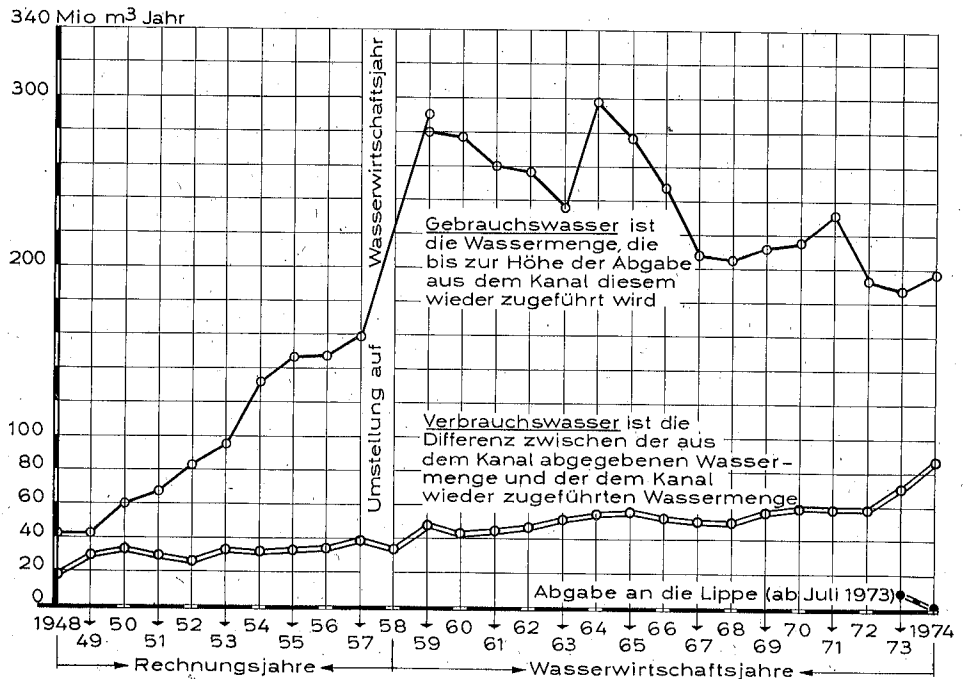


Abb. 4: Verbrauchs- u. Gebrauchswasserabgaben 1948 — 1974 an Wärmekraftwerke, Industrie, Landwirtschaft und Wasserwerke

der Regel nur das in das Unterwasser abfließende Schleusenbetriebswasser ins Oberwasser zurückgepumpt. Dadurch soll vermieden werden, daß über den Mittellandkanal das zwar relativ kostengünstige, aber sehr salzhaltige Weserwasser (bei niedriger Wasserführung über 3000 mg/l Cl) in die Scheitelhaltung gelangt, weil aus dieser Wasser entnommen wird, um das Grundwasser verschiedener Trinkwassergebiete anzureichern. Allgemein ist im Interesse des Umweltschutzes eine optimale Lösung zwischen den beiden Möglichkeiten einer kostengünstigen Wasserversorgung und einer guten Wasserqualität der Kanäle anzustreben.

3.3 Deckung des Wasserbedarfs

Der Wasserbedarf des nordwestdeutschen Kanalnetzes und insbesondere der Scheitelhaltung Herne-Hamm-Münster wird — wenn man von den im Jahresdurchschnitt geringfügigen Niederschlägen auf die Kanaloberfläche und das Kanaleinzugsgebiet absieht — auf zweierlei Weise gedeckt, einmal durch das mit natürlichem Gefälle in die Haltung Hamm-Werries des Datteln-Hamm-Kanals zufließende Lippewasser und zum anderen durch künstliche Speisung mit Pumpwasser aus der Weser bei Minden, aus der Ruhr bei Duisburg und aus dem Rhein bei Duisburg und Friedrichsfeld. In den Jahren 1964—1968 bestand das für das Kanalnetz südlich Münster benötigte Speisewasser durchschnittlich etwa zu 40 % aus Pumpwasser und zu 60 % aus Lippewasser und sonstigen Niederschlägen. 1969—1973 lag das Verhältnis bei 50 : 50. In Zukunft wird sich der Anteil des Pumpwassers wegen des steigenden Wasserbedarfs noch vergrößern. Aus den gegenläufigen Kurven der Abb. 3 ist ersichtlich, wie die Lippe- und Pumpwassermengen infolge der Witterungsverhältnisse voneinander abhängig sind.

3.3.1 Die natürliche Speisung aus der Lippe

Seit der Inbetriebnahme des Dattel-Hamm-Kanals besteht die Möglichkeit, Wasser aus der Lippe mit natürlichem Gefälle in die Haltung Hamm-Werries und damit in die Scheitelhaltung

Herne-Hamm-Münster einzuspeisen. Wie die schematische Darstellung in Abb. 5 zeigt, verläuft die Lippe bei Hamm etwa parallel zum Datteln-Hamm-Kanal, lediglich durch einen Schutzdamm gegen Hochwasser voneinander getrennt. Das am Wehr gestaute Lippewasser läuft dem Kanal oberhalb Hamm durch ein Speisungsbauwerk zu und wird teils über einen Leerschuß in der sogenannten Wasserverteilungsanlage, teils über die Schleuse Hamm der tiefergelegenen Scheitelhaltung zugeführt. Um die Wasserversorgung der an der Lippe gelegenen Industrie und den Gütezustand des mit Abwassereinleitungen stark beanspruchten Flusses nicht zu gefährden, muß jedoch immer eine bestimmte Mindestwasserführung in der Lippe verbleiben. Hierüber wurde bereits 1938 eine Vereinbarung getroffen, welche bis zum Jahre 1968 gültig war. Nach dieser Vereinbarung sollten mindestens $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Lippe bleiben. Bei ausreichender Wasserführung durften bis zu $20 \text{ m}^3/\text{s}$ in das Kanalnetz eingespeist werden.

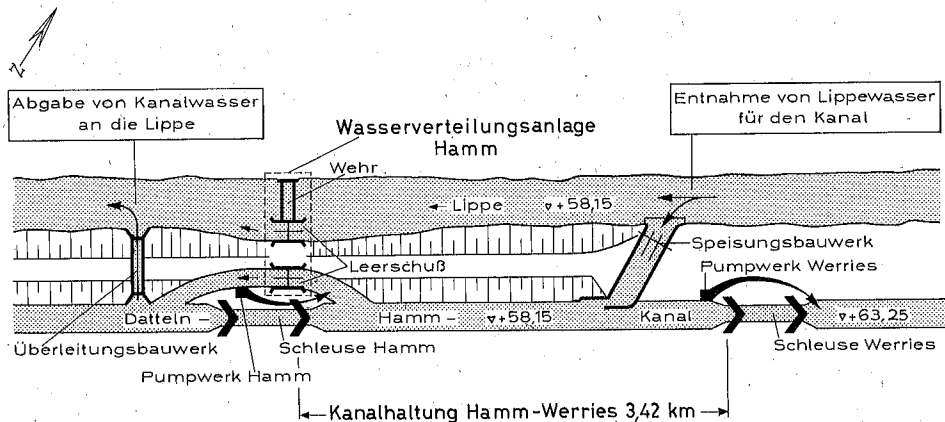


Abb. 5: Speisungseinrichtungen zwischen der Lippe und dem Datteln-Hamm-Kanal bei Hamm (schematischer Lageplan)

Bereits nach 1948 stellte sich aber heraus, daß mit dem Aufblühen der industriellen Produktion die Regelung von 1938 nicht mehr genügte, um den wachsenden Kühlwasserbedarf der an der Lippe unterhalb Hamm gelegenen Wärmekraftwerke und Industriebetriebe zu befriedigen. Mit dem wachsenden Wasserbedarf wuchsen für die Genossen des Lippeverbandes die Zeitspannen zu geringer Lippewasserführung, und durch die größeren Kühlwassermengen stiegen die Wassertemperaturen der Lippe an und nahm die Sauerstoffzehrung zu. Daher kam es 1968 zwischen der Bundesrepublik Deutschland (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung) und dem Land Nordrhein-Westfalen zu einem neuen „Abkommen über die Verbesserung der Lippewasserführung, die Speisung der westdeutschen Schifffahrtskanäle mit Wasser und die Wasserversorgung aus ihnen“. [3] [4] [10]

Die Aufteilung des Lippeabflusses seit 1968 sei an Hand der Abflußdauerlinie der Lippe oberhalb Hamm 1951/60 (Abb. 6) erläutert.

Der unverminderte Lippeabfluß beträgt rd. $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Der niedrigste Abfluß in Hamm wurde im Juli 1959 mit $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen. Zu dieser Zeit mußten jedoch noch bis zu $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ an das nordwestdeutsche Kanalnetz abgegeben werden, um die Schleuse Hamm, wo noch kein Pumpwerk existierte, und um die Schleuse Werries betreiben zu können.

Nach dem Abkommen von 1968 darf der Lippe bei einem Abfluß unter $10 \text{ m}^3/\text{s}$ kein Wasser für Speisungszwecke entnommen werden; bei einem Abfluß zwischen $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und $35 \text{ m}^3/\text{s}$ sollen mindestens $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Lippe verbleiben. Bei einem Lippeabfluß über $35 \text{ m}^3/\text{s}$ können bis zu $25 \text{ m}^3/\text{s}$ entnommen und in das Kanalnetz eingespeist werden.

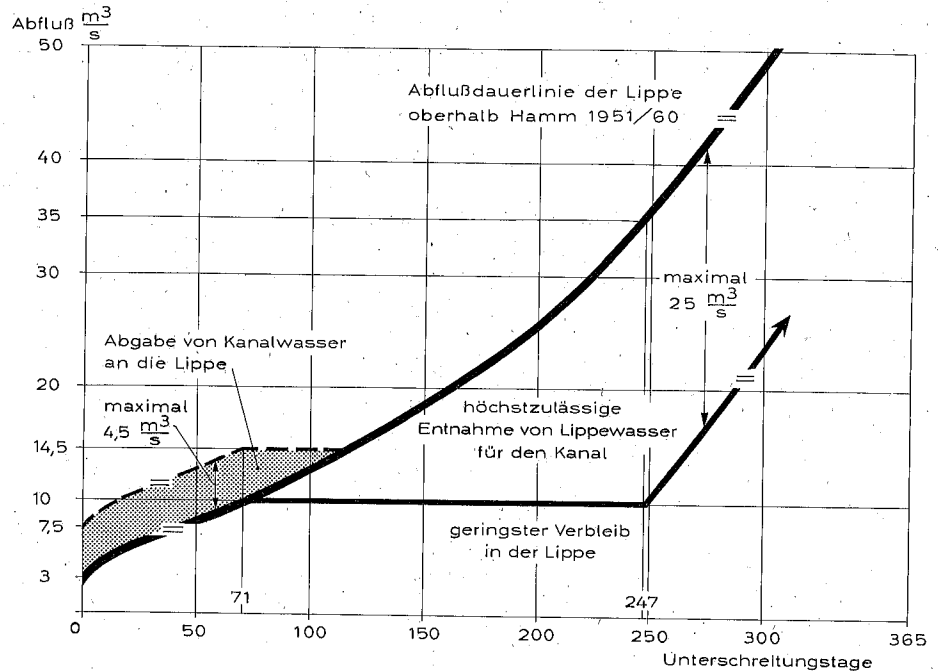


Abb. 6: Vertragliche Aufteilung des Lippeabflusses bei Hamm

3.3.2 Die Pumpspeisung

Die ältesten zur Zeit noch in Betrieb befindlichen Pumpwerke sind das Pumpwerk Münster und das Pumpwerk Henrichenburg (Baujahr 1914). Während das Pumpwerk Münster Wasser, das in Minden aus der Weser in den Mittellandkanal gepumpt wird, mit relativ geringer Hubhöhe und damit kostengünstig in die Scheitelhaltung weitertransportiert (Abb. 1), dient das Pumpwerk Henrichenburg (Abb. 7) der Versorgung der Dortmunder Haltung des Dortmund-Ems-Kanals. Der größte Anteil an Pumpwasser kommt heute jedoch nicht aus der Weser, sondern aus der unteren Ruhr bzw. aus dem Rhein, dem die benötigte Wassermenge auch unbedenklich entnommen werden kann, da sie diesem Fluß zu schätzungsweise über 80 % der Pumpförderung als Schleusenbetriebswasser oder industrielles Abwasser wieder zufließt. Beim Bau des Wesel-Datteln-Kanals (Inbetriebnahme 1930) wurden an dessen Staustufen insgesamt 6 Pumpwerke errichtet. Die meisten von ihnen mußten seit ihrer Inbetriebnahme noch verstärkt werden. Heute weisen sie je nach Hubhöhe und Wasserbedarf unterschiedliche Leistungsgrößen auf. Mit der größten Förderleistung von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ist das Pumpwerk Friedrichsfeld am Rhein ausgerüstet. Die Höhenlage der Saugtrompeten dieses 1962/1965 neu erbauten Pumpwerks trägt einer voraussichtlichen Rhein-Erosion bis etwa zum Jahre 2000 Rechnung.

Obwohl die Pumpwerksreihe am Wesel-Datteln-Kanal seinerzeit für eine zu erwartende erhebliche Steigerung des Wasserbedarfs bemessen war, so ist doch in den 3 Jahrzehnten danach der Wasserbedarf derartig angestiegen, daß im Jahr 1958 mit dem Bau einer zweiten Pumpwerksreihe an den Staustufen des Rhein-Herne-Kanals mit durchgehend $10 \text{ m}^3/\text{s}$ Leistung begonnen werden mußte. Lediglich der Fuß dieser Pumpwerkskette, das Pumpwerk Duisburg-Ruhrschleuse, ist älteren Datums (Inbetriebnahme 1943). Mittlerweile sind durch den Abschluß des im Abschnitt 3.3.1 erwähnten Abkommens von 1968 weitere Pumpwerke geplant, bzw. ist deren Bau bereits in Angriff genommen worden. Nach diesem Abkommen wird zwischen folgenden Pumpwerksketten unterschieden:

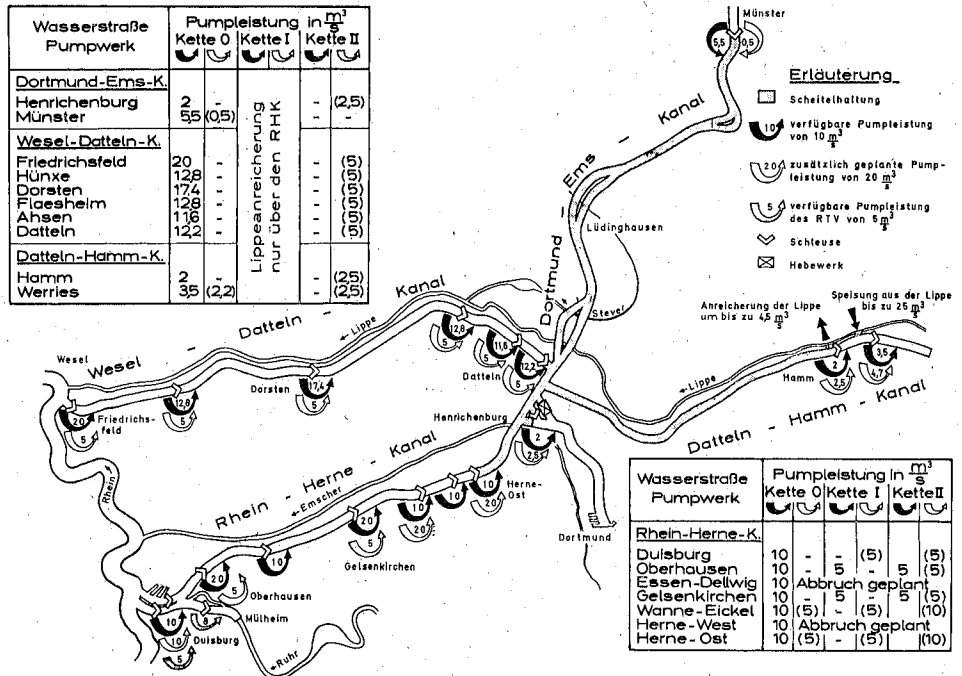


Abb. 7: Speisung der nordwestdeutschen Kanäle südlich von Münster

Pumpwerkskette 0

Sie besteht aus den vorhandenen, teilweise verstärkungsbedürftigen Pumpwerken und soll künftig nur noch Schiffahrtzwecken dienen.

Pumpwerkskette I

In Niedrigwasserzeiten (Abfluß der Lippe unter $14,5 \frac{m^3}{s}$) wird Wasser bis zu $4,5 \frac{m^3}{s}$ an die Lippe abgegeben (Abb. 6), um die Wassergüte dieses Flusses zu verbessern [15]. Für diese Anreicherung werden die Pumpwerkskette I mit einer Leistung von $5 \frac{m^3}{s}$ an allen Staustufen des Rhein-Herne-Kanals und ein Überleitungsbauwerk zwischen dem Datteln-Hamm-Kanal und der Lippe errichtet (Abb. 5).

Pumpwerkskette II

Bis zum Abschluß des Abkommens von 1968 wurde die Wasserabgabe aus den Kanälen an Verbraucher (Altentnehmer) mit Hilfe der vorhandenen, für Schiffahrtzwecke errichteten Pumpwerke durchgeführt. Künftig sollen die nach 1968 neu hinzugekommenen Verbraucher (Neuentnehmer) und später auch die Altentnehmer ausschließlich über die in Bau befindliche Pumpwerkskette II versorgt werden, die laut Abkommen zunächst am Rhein-Herne-Kanal (später auch am Wesel-Datteln-Kanal) errichtet wird. Die Betriebs- und Unterhaltungskosten dieser Kette werden durch das Wasserentgelt (s. Abschnitt 3.3.5) gedeckt. Die Durchführung der Wasserverteilung wurde einer Körperschaft des öffentlichen Rechts, dem „Wasserverband Westdeutsche Kanäle“ übertragen [6]. Mitglieder dieses nach geltendem Wasser- und Bodenverbandsrecht gegründeten Verbandes sind alle Entnehmer von Wasser. Sie mußten sich bei der Gründung für eine künftige Entnahmemenge entscheiden und sich verpflichten, entsprechend dieser festgelegten „Bezugsanteile“ zu der Finanzierung der Pumpwerkskette II beizutragen.

Die Abb. 7 gibt Auskunft über die zur Zeit vorhandenen und geplanten Pumpwerke und deren Leistung. In der Abbildung sind in der Regel die Nennleistungen der Pumpen angegeben worden. Die tatsächlichen Leistungen weichen — besonders in Bergsenkungsgebieten — davon ab.

Zu erwähnen bleibt, daß der Rhein-Herne-Kanal — oberhalb seiner Mündung in den Rhein — mit der Ruhr über einen Verbindungskanal zusammenhängt (Abb. 7). In der Ruhr betreibt der Ruhrtalesperrenverein (RTV) eine eigene Pumpwerkskette.

Wasserbewirtschaftungsplan

Ein besonderes Problem bei der Planung neuer Pumpwerke ist deren Auslegung. Um Fehlplanungen zu vermeiden, ist es erforderlich, den Wasserbedarf und seine Deckung in einem umfassenden Wasserbewirtschaftungsplan so genau wie möglich zu erfassen. Hierbei ist unter anderem abzuschätzen, wie sich die Abgaben an Verbrauchs- und Gebrauchswasser entwickeln werden. Es ist nicht angebracht, hierbei mit einem Abminderungsfaktor zu rechnen, der sich daraus ergibt, daß eine Firma vorläufig nur einen Teil ihrer künftig benötigten und vertraglich zugestandenen Tageswassermenge aus dem Kanal entnimmt. Berücksichtigt werden kann jedoch der Tatbestand, daß nicht alle Firmen gleichzeitig Spitzenentnahmen haben (Ungleichzeitigkeitsfaktor). Außerdem ist an jedem Pumpwerk für evtl. Pumpausfälle eine ausreichende Reserve vorzuhalten. Dies ist so gelöst worden, daß der im Kanalnetz vorhandene Wasserbedarf auch dann voll gedeckt werden kann, wenn im Rhein-Herne-Kanal oder im Wesel-Datteln-Kanal eine Pumpe ausfällt. Dies sei an Hand eines Ausschnittes aus dem Wasserbewirtschaftungsplan des Wesel-Datteln-Kanals, der Gegenüberstellung des Wasserbedarfs und der Pumpenleistung am Pumpwerk Dorsten, näher erläutert.

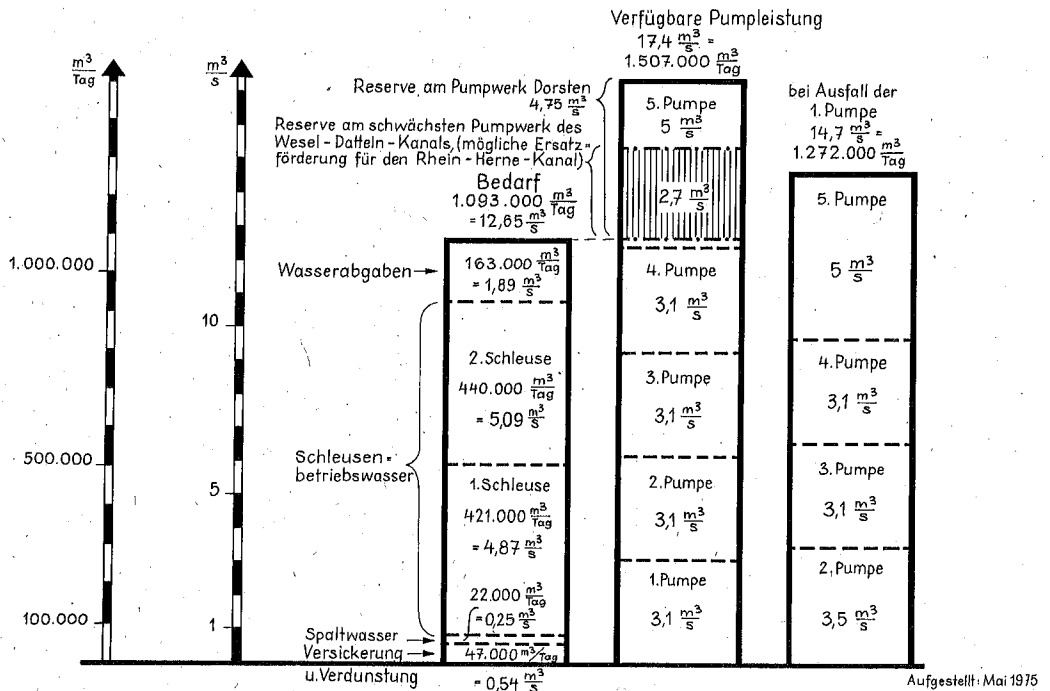


Abb. 8: Wasserbedarf und verfügbare Pumpleistung am Pumpwerk Dorsten

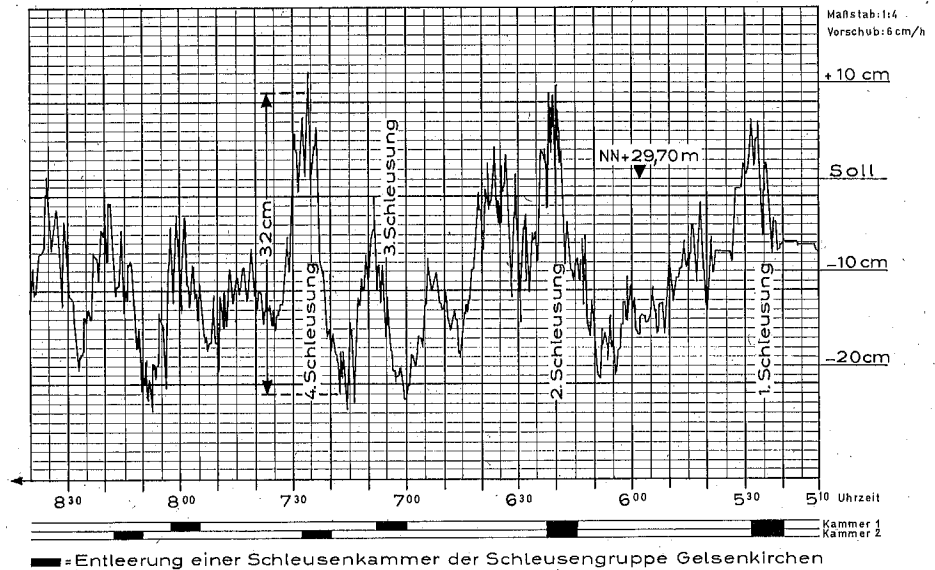


Abb. 9: Kurzfristige Wasserstandsschwankungen im Unterwasser der Schleusengruppe Gelsenkirchen am Freitag, dem 5. 9. 1975

In Abb. 8 ist in der niedrigsten Säule der Bedarf angegeben ($12,65 \text{ m}^3/\text{s}$). Er setzt sich zusammen aus der anteilig vom Pumpwerk Dorsten nach oben zu fördernden Verdunstung und Versickerung, aus den Verbrauchs- und Gebrauchswassermengen (Abgaben) sowie dem an beiden Schleusen der Staustufe Dorsten nach unten abfließenden Schleusenbetriebs- und Spaltwasser. Wenn alle 5 Pumpen des Pumpwerks Dorsten in Betrieb sind, beträgt die Pumpenleistung $17,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (zweite Säule in Abb. 8). Es ist also eine Überkapazität vorhanden, mit der Wasser an den Rhein-Herne-Kanal abgegeben werden kann, wenn dort eine Pumpe ausgefallen ist. Die tatsächlich mögliche Ersatzförderung beträgt jedoch nur $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$, weil an der schwächsten Staustufe des Wesel-Datteln-Kanals nur diese Überkapazität vorhanden ist. Ist schließlich eine Pumpe an der Staustufe Dorsten selbst ausgefallen und der Rhein-Herne-Kanal voll betriebsbereit, leistet das Pumpwerk Dorsten immer noch $14,7 \text{ m}^3/\text{s}$ und kann den Wasserbedarf voll decken.

3.3.3 Wasserspiegelschwankungen

Um die Schifffahrt in den Kanälen jederzeit sicher und leicht betreiben zu können, ist die Erhaltung eines bestimmten Wasserstandes unerlässlich. Hierbei sind jedoch Schwankungen des Wasserspiegels nicht zu vermeiden. Die größten Schwankungen entstehen durch Schwall und Sunk infolge des Schleusenbetriebes, bei dem große Wassermengen in relativ kurzer Zeit von einer Haltung in die nächst tiefer gelegene Haltung abgegeben werden. Hiergegen spielen Schwall und Sunk infolge des Pumpbetriebes oder evtl. Freiwasserabgaben eine geringere Rolle. Die Abb. 9 zeigt die praktisch ungedämpften Wasserspiegelschwankungen im Unterwasser der Schleuse Gelsenkirchen, die am 5. September 1975 mit einem Reiseschreibpegel mit Druckmeßgeber aufgenommen wurden. Der Schleusenbetrieb begann an diesem Tage zunächst mit zwei Doppelschleusungen (Nord- und Südschleuse wurden gleichzeitig entleert). Danach folgten Einzelschleusungen. Es ist aus der Abb. 9 zu sehen, wie sich die Wasserspiegelschwankungen zeitweise aufschaukeln können, besonders wenn sich ein Wellental oder ein Wellenberg einer in der Haltung hin- und herpendelnden Schleusungswassermenge mit einem Entnahmesunk der unterhalb gelegenen Schleuse oder mit einem Schwall aus der oberhalb gelegenen Schleuse

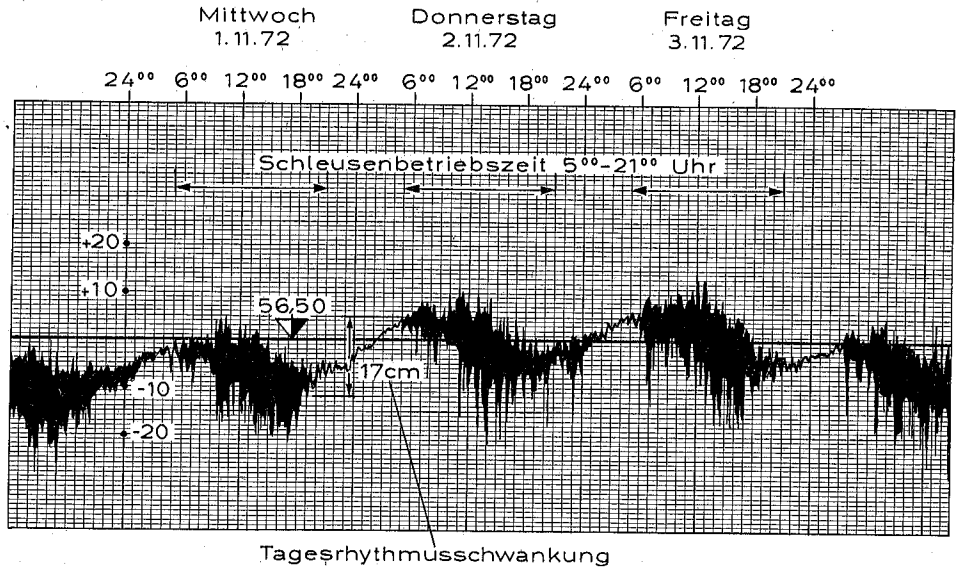


Abb. 10: Tagesrhythmuschwankungen am Pegel Waltrop des Datteln-Hamm-Kanals

zusammentrifft. In den kurzen Haltungen des Rhein-Herne-Kanals und des Wesel-Datteln-Kanals sind Schwankungen des Wasserspiegels aus Sunk und Schwall von 25 bis 30 cm und mehr üblich.

Weitere Schwankungen entstehen dadurch, daß in Trockenzeiten über 24 Stunden gepumpt werden muß, während die Schleusen lediglich 16 Stunden in Betrieb sind. Diese Schwankungen seien als Tagesrhythmuschwankungen bezeichnet. Sie treten in abgeschwächter Form auch bei geringeren Pumpzeiten auf, weil möglichst außerhalb der Schleusenbetriebszeit gepumpt wird, um die billigeren Nachtstromtarife auszunutzen. In der Regel wird das Kanalnetz so gespeist, daß Tagesrhythmuschwankungen fast ausschließlich in der Scheitelhaltung auftreten, die wegen ihrer großen Oberfläche allein in der Lage ist, den unterschiedlichen Pumpwasserzufluß und Schleusenbetriebswasserabfluß innerhalb von 24 Stunden auszugleichen.

Abb. 10 gibt die Aufzeichnungen des Pegels Waltrop im Datteln-Hamm-Kanal wieder. Durch den geringen Papiervorschub dieses in der Scheitelhaltung gelegenen Pegels sind die Tagesrhythmuschwankungen von rd. 17 cm deutlich zu erkennen. Bei längerfristigen Aufzeichnungen zeigt sich, daß der Wasserspiegel zum Wochenende hin einen Tiefstpunkt erreicht. In der verkehrsarmen Zeit des Samstags und Sonntags wird er dann regelmäßig angehoben, um an den darauffolgenden Wochentagen abzusinken (Wochenrhythmuschwankungen).

Schließlich sind beim Ausbau einzelner Wasserstraßenabschnitte und bei der Planung neuer Brücken wegen der erforderlichen Festlegung von Wassertiefen und lichten Durchfahrtshöhen evtl. Einspeisungsgefälle und Wasserspiegelanhebungen aus Windstau zu berücksichtigen. Um z. B. in Hamm $25 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Lippe in den Datteln-Hamm-Kanal einspeisen zu können, ist auf der rd. 50 km langen Strecke zwischen Hamm und Herne ein Speisungsgefälle bis zu 40 cm erforderlich. Der Windstau bereitet vor allen Dingen an langen Haltungen in westöstlicher Richtung Schwierigkeiten, also z. B. im Datteln-Hamm-Kanal und besonders im Mittellandkanal, in dem bei starken Westwinden Wasserspiegelschwankungen zwischen den Anfangs- und Endstrecken der Kanalhaltungen von nahezu 1 m schon häufig aufgetreten sind. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, dem Kanal soviel weiteres Speisungswasser zuzuführen, daß das abgelassene Windstauwasser ersetzt und nach Abflauen des Windes der normale Kanalwasserstand wieder hergestellt wird.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß auch ungleichmäßige Entnahmen Dritter oder starke Niederschläge Wasserspiegelschwankungen hervorrufen können.

3.3.4 Ferngesteuerte Speisung

Die in den Jahren 1958 bis 1965 errichtete Pumpwerkskette am Rhein-Herne-Kanal erhielt die Aufgabe, den gestiegenen Wasserbedarf der Scheitelhaltung und des Rhein-Herne-Kanals auf kürzestem Wege und mit möglichst geringem Energieaufwand (geringer Gesamthubhöhe), also wirtschaftlich zu decken.

Wegen der unterschiedlichen Hubhöhen der einzelnen Schleusen des Rhein-Herne-Kanals (unterschiedliche Kammerinhalte) und der ungleichen Längen der einzelnen Haltungen sind die auftretenden Wasserspiegelschwankungen sehr verschieden. Es kommt hinzu, daß der Rhein-Herne-Kanal nicht nur Durchgangswasserstraße ist, sondern einen großen Anteil an Ziel-, Quell- und Lokalverkehr aufweist, der an den einzelnen Schleusenstufen ungleichmäßig und zeitlich nicht vorhersehbare Schleusungszahlen verursacht. Es ist deshalb nicht möglich, die Pumpwerke (oder deren Freiwasserschieber) nach einem vorgegebenen Zeitplan in Betrieb zu setzen oder abzustellen. Man muß die jeweiligen Verhältnisse auf der ganzen Kanalstrecke laufend beobachten, um den Betrieb der Pumpwerke den ständig wechselnden Anforderungen anpassen und wirtschaftlich durchführen zu können. Selbst wenn die vorzunehmenden Schalthandlungen von einer Zentralstelle angeordnet würden, aber örtlich ausgeführt werden müßten, ergäben sich wegen des unregelmäßigen Arbeitseinsatzes erhebliche personelle Schwierigkeiten. Aus diesen Gründen wurde die Pumpwerkskette am Rhein-Herne-Kanal von vornherein an eine Fernwirkanlage angeschlossen [1]. Als Standort für diese Fernsteuerungszentrale wurde die Schleusen- gruppe Gelsenkirchen gewählt, die etwa in der Mitte der rund 37 km langen Kanalstrecke Herne—Duisburg liegt.

Die örtliche Steuerung der Maschinensätze für Pumpen und Freiwasserschieber wurde so gestaltet, daß durch eine einzige Kontaktgabe der Fernsteuerungszentrale Gelsenkirchen bewirkt wird, daß alle zum Anlassen oder Abstellen nötigen Schalthandlungen in der richtigen Reihenfolge unter gegenseitiger Verblockung ablaufen. Fernüberwacht werden alle für den Betrieb wichtigen Größen, wie Lagertemperaturen, Wicklungstemperaturen der Motoren, Leistungsaufnahme der Motoren, Schmierung, Druckluft für Hochspannungsschalter und Ladezustand der Batterie. Unregelmäßigkeiten lösen Warnmeldungen aus.

Der Fernsteuerungszentrale sind damit folgende Aufgaben zugewiesen:

- a) Dauernde Übertragung und Registrierung der maßgeblichen Wasserstände.
- b) Befehle von der Zentrale zu den Pumpwerken und Entlastungsanlagen auszusenden zwecks Einleitung der Schaltvorgänge am Empfangsort.
- c) Meldungen von den Pumpwerken und Entlastungsanlagen als optische oder akustische Signale zu empfangen, welche die Änderung von örtlichen Betriebszuständen infolge ausgeführter Befehle und Schalthandlungen bestätigen. Außerdem sind Warnungen bei Unregelmäßigkeiten zu übermitteln.

Die Fernsteuerungszentrale ist in der Regel 24 Stunden mit Bedienungspersonal besetzt. Damit erübrigt sich eine Einzelüberwachung der 7 Pumpwerke, die einen bedeutend größeren Personaleinsatz erfordert hätte. Als weiterer Vorteil ist zu werten, daß sich Störungen durch die Kontrollgeräte und deren ständige Beobachtung in der Zentrale rechtzeitig erkennen lassen, so daß ihre vollen Auswirkungen durch gezielte Maßnahmen verhindert werden können. Der größte Vorteil einer ferngesteuerten Pumpwerkskette liegt jedoch in dem wesentlich elastischeren Einsatz der Pumpen und Entlastungsleitungen gegenüber einer Einzelbedienung. Die zusammenfassende Übersicht der Meßwerte aller Haltungswasserstände und Pumpwerke gestattet eine so kurzfristige Reaktion in bezug auf die zweckmäßigste Änderung der Speisungsmaßnah-

men und bewirkt so erhebliche Ersparnisse bei den Pumpkosten, daß nunmehr auch sämtliche Pumpwerke am Wesel-Datteln-Kanal, die Pumpwerke Henrichenburg und Münster am Dortmund-Ems-Kanal, die Wasserabschlagsvorrichtungen in Olfen in die Lippe und die Pumpwerke Hamm und Werries sowie das Speisungs- und Überleitungsbauwerk am Datteln-Hamm-Kanal an eine in Datteln zu errichtende neue Fernsteuerungszentrale angeschlossen werden sollen. Von dieser Zentrale werden künftig über 70 Pumpen, 25 Freiwasseranlagen, 5 Klappen, 12 Schütze und 1 Walzenwehr ferngesteuert werden. Außerdem werden in dieser Anlage rd. 60 Anzeigegeräte (Pegelmeßschreiber und Stellungszeiger) sowie ein Warmmeßgerät zur Überwachung des Lippewassers auf Radioaktivität angeschlossen sein.

Für die Datenerfassung wird in der neuen Fernsteuerungszentrale eine leistungsfähige Rechenanlage mit 2 angeschlossenen Schreibmaschinen installiert. Die bei der Zentrale eingehenden Daten werden von der Rechenanlage aufgenommen, fortlaufend geschrieben, gespeichert, teilweise ausgewertet und im Klartext ausgedruckt. Außerdem ist ein sofortiger Datenabruf — zur Ermittlung des Augenblickzustandes und als Kontrollmöglichkeit — gegeben.

Der gewählte Prozeßrechner wird so ausgelegt, daß er künftig weitere Aufgaben übernehmen kann. So ist geplant, das ganze System schrittweise zu optimieren und — wenn eines Tages möglich — zu automatisieren. Das letztere wird jedoch — aus heutiger Sicht — wegen der Kompliziertheit des Systems und der Unmenge der benötigten Informationen (z. B. voraussichtliche Schleusungszahlen und voraussichtliche Entnahmemengen Dritter) in absehbarer Zeit wirtschaftlich nicht verwirklicht werden können, zumal auch bei voller Automatisierung auf die ständige Besetzung der Zentrale nicht verzichtet werden kann.

3.3.5 Kosten der Speisung und Wasserpreis

Um einen Überblick über die Kosten für die Wasserbewirtschaftung der nordwestdeutschen Kanäle zu erhalten, wurden als Beispiel die entstandenen Aufwendungen für den Bereich der nordwestdeutschen Kanäle südlich von Münster ermittelt. Hierbei wurde zwischen 5 Kostenarten unterschieden.

Kostenart	Pumpwerke und Wasserbewirtschaftungs-Anlagen		Schleusen, Hebewerk		Strecke und sonstige Anlagen		Summe Kostenart	
	MioDM	%	MioDM	%	MioDM	%	MioDM	%
Stromkosten	3,7	23,7	0,3	0,4	—	—	4,0	2,2
Personalkosten	1,1	7,1	5,0	7,5	9,9	9,9	16,0	8,8
Betrieb und Unterhaltung	0,7	4,5	3,0	4,5	6,9	6,9	10,6	5,6
Kapitaldienstleistungen	8,8	56,4	51,3	76,8	72,1	72,2	132,2	72,5
Verwaltungs- und Gemeinkosten	1,3	8,3	7,2	10,8	11,0	11,0	19,5	10,7
Summe Kostenstellen	15,6	100	66,8	100	99,9	100	182,3	100

Tabelle 3: Durchschnittliche Jahreskosten für die Speisung der nordwestdeutschen Kanäle südlich Münster 1964 – 1973

Jede einzelne Kostenart wurde auf drei verschiedene Kostenstellen verteilt. Die Tabelle 3 gibt das Ergebnis dieser Untersuchung wieder. Sie enthält die durchschnittlichen Jahreskosten aus dem Zeitraum 1964—1973. Will man die tatsächlichen Pumpkosten in DM/m³ errechnen, ist die jährliche Aufstellung von Wasserbilanzen unerlässlich. Die Bilanzen für die Jahre 1964—1973 haben ergeben, daß bei allen Pumpwerken des oben abgegrenzten Kanalgebietes jährlich durchschnittlich 1210 x 10⁶m³ Wasser gepumpt wurden. Dem System flossen aus der Lippe 249 x 10⁶m³/a zu, während die Niederschläge und sonstigen Zuflüsse 27 x 10⁶m³/a betragen. Insgesamt wurden also jährlich

$$1210 + 249 + 27 = 1486 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Wasser bewegt. Die durchschnittlichen Pumpkosten betragen somit an jeder Staustufe

$$\frac{15\ 600\ 200\ \text{DM}}{1\ 210\ 000\ 000\ \text{m}^3} = 0,0129\ \text{DM/m}^3$$

Bei der Abgabe von Wasser an Dritte sind jedoch nicht die Kosten für das Pumpen des Wassers an einem einzelnen Pumpwerk interessant, sondern diejenigen Kosten, die aufgewendet werden müssen, um 1 m³ Wasser am Entnahmebauwerk des Entnehmers bereitzustellen. Maßgeblich hierfür sind die anteiligen Pumpkosten und die anteiligen Streckenkosten für das Vorhalten des Gerinnes, auch Durchleitungsentgelt genannt:

$$w = p + s$$

w = Wasserpreis [DM/m³]; p = Pumpkosten [DM/m³]; s = Streckenkosten [DM/m³]

Die Pumpkosten errechnen sich aus der Formel:

$$p = \frac{P \cdot \frac{Q_{pc}}{\sum Q_p}}{Q_v}$$

P = Pumpkosten [DM/a]; Q_{pc} = für Entnehmer gepumpte Wassermenge [m³/a];
 ΣQ_p = gesamte gepumpte Wassermenge [m³/a]; Q_v = Wasserverbrauchsmenge [m³/a]

Dabei ist:

Q_{pc} = Q_{pa} · v · b; Q_{pa} = an Entnehmer abgegebene Pumpwassermenge [m³/a] (zur Zeit 50 % von Q_v);
 Z = Zuflüsse in das betrachtete System [m³/a]; V = Verluste in dem betrachteten System [m³/a];

v = Wasserverlustfaktor = $\frac{Z}{Z - V}$; b = durchschnittlicher Bewegungsfaktor

Der durchschnittliche Bewegungsfaktor entspricht der durchschnittlichen Zahl der Staustufen zwischen dem Rhein oder der Ruhr und den einzelnen Wasserentnahmebauwerken.

Die Streckenkosten errechnen sich aus der Formel:

$$s = \frac{S \cdot \frac{Q_{bc}}{\sum Q_b}}{Q_v}$$

S = Streckenkosten [DM/a] Q_{bc} = für Entnehmer bewegte Wassermenge [m³/a]
 ΣQ_b = gesamte bewegte Wassermenge [m³/a]

Die für die Entnehmer bewegte Wassermenge setzt sich zusammen aus:

$$Q_{bc} = Q_{pc} + Q_{L,a} \cdot v$$

Q_{L,a} = an Entnehmer abgegebene Lippwassermenge [m³/a] (zur Zeit 50 % von Q_v)

Bei der Ermittlung der Streckenkosten [DM/m³] besteht das Problem, welche Streckenkosten Entnehmern angelastet werden können. Es sind jedenfalls solche spezifische Kosten auszusondern, die ausschließlich anderen Zwecken dienen (zum Beispiel das Setzen, Betreiben und Unterhalten von Schiffahrtszeichen).

Der Preis für 1 m³ Verbrauchswasser beträgt zur Zeit

$$w = 0,065 \text{ DM/m}^3 \text{ (6,5 Pf/m}^3\text{)}.$$

4. Speisung des Main-Donau-Kanals

4.1 Allgemeine Gestaltung und besondere Kennzeichen des Kanals

Der Main-Donau-Kanal ist ein Bestandteil der Rhein-Main-Donau-Wasserstraße, welche die Stromgebiete von Rhein und Donau über die Wasserscheide des Jura hinweg miteinander verbindet (Abb. 1). Die Nordrampe dieses Scheitelkanals von Bamberg am Main bis zum Jura überwindet über eine Länge von 91,8 km mit 11 Stufen einen Höhenunterschied von 175,15 m; die Südrampe vermittelt durch 5 Stufen den 67,80 m hohen Abstieg vom Jura nach Kelheim an der Donau über 50,5 km Länge (Abb. 11).

In der Nordrampe ist die unterste Haltung Bamberg ein Stillwasserkanal.

Die folgende Haltung Strullendorf verläuft in ihrem oberen Teil in dem staugeregelten Fluß Regnitz; im unteren Teil zweigt sie seitlich nach Osten ab und bildet als Seitenkanal auch den Zubringer von maximal 50 m³/s zum Kraftwerk Hirschaid.

Die Haltung Forchheim verläuft nahezu auf der ganzen Länge in der staugeregelten Regnitz; sie hat einen mittleren Niedrigwasserabfluß von 7 m³/s.

Die anschließenden Haltungen des Kanals von der Stufe Hausen an über die Scheitelhaltung hinweg bis zur Stufe Dietfurt mit einer Gesamtlänge von 103 km verlaufen abseits der natürlichen Gewässer als künstliche Wasserstraße teils im Einschnitt, teils im Auftrag. Kreuzende Gewässer werden in der Regel unterführt; Ausnahmen bilden in der Haltung Hausen der Seebach mit einem maximalen Abfluß von 28 m³/s, der in den Kanal eingeleitet wird, und einige kleine Bäche mit geringem Abfluß, die ebenfalls in den Kanal münden.

Neben der Scheitelhaltung in unmittelbarer Nähe der Schleuse Bachhausen wird ein Speicherbecken mit 2,5 Mio m³ Nutzraum zur Wasserversorgung der Schiffsstraße angelegt.

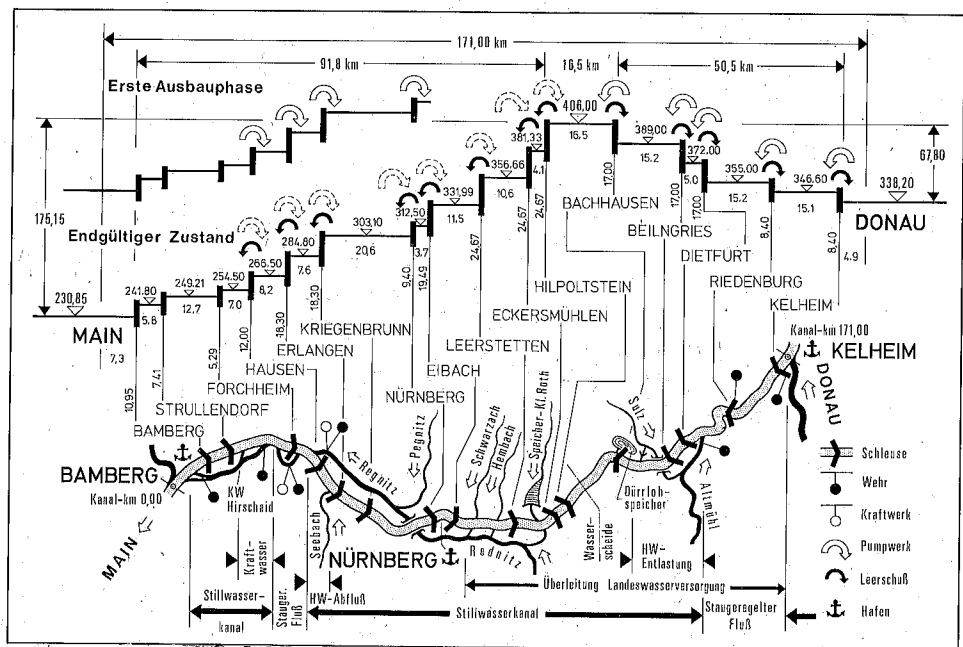


Abb. 11: Main-Donau-Kanal

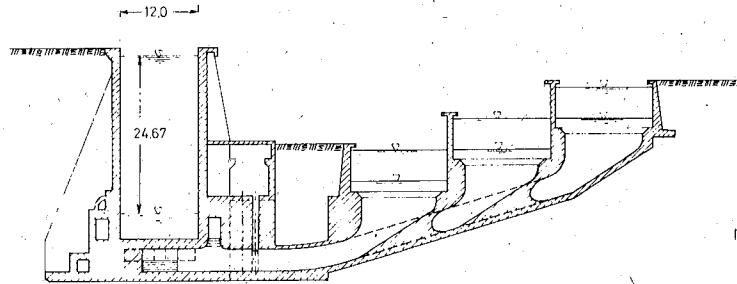


Abb. 12: Sparschleuse Leerstetten

Die Haltung Beilngries nimmt bei einem größeren Hochwasser der Sulz zur Entlastung der Talaue eine gewisse Wassermenge auf und gibt sie zum Teil nach einigen Kilometern wieder an die Sulz ab; der Rest wird über die Schleusen Beilngries und Dietfurt in die Altmühl weitergeleitet.

An die beschriebene Stillwasserstrecke des Kanals schließt die staugeregelte Altmühl mit den beiden südlichsten Haltungen Riedenburg und Kelheim an. Die Altmühl führt bei einem mittleren Niedrigwasserabfluß $2 \text{ m}^3/\text{s}$, bei einem mittleren Abfluß $17 \text{ m}^3/\text{s}$ und bei maximalem Dargebot $218 \text{ m}^3/\text{s}$.

Das Regelprofil des Kanals ist ein Trapez mit einer Wasserspiegelbreite von $55,0 \text{ m}$, einer Wassertiefe von $4,0 \text{ m}$ am Fuß der $1 : 3$ geneigten Böschungen und von $4,25 \text{ m}$ in Kanalmitte; die Querschnittsfläche beträgt $175,8 \text{ m}^2$. Die 3 Flußstufen, nämlich Forchheim an der Regnitz sowie Riedenburg und Kelheim an der Altmühl, haben Kammerschleusen, die ihre ganze Füllung dem Oberwasser entnehmen. Alle übrigen Schleusen haben seitlich angeordnete Becken (Abb. 12), die bis zu 60% der Füllwassermenge einsparen [8].

Neben seinem Hauptzweck als Schiffsstraße kommt dem Kanal noch eine wesentliche Aufgabe im Rahmen der Landeswasserversorgung zu: Die Anlagen des Kanals sind darauf ausgerichtet, dem wasserarmen fränkischen Gebiet um Nürnberg Zusatzwasser aus dem Donaoraum, d. h. Donau- und Altmühlwasser zuzuführen [5, 7]. Als zusätzliche Einrichtung für diesen Zweck legt die Landeswasserversorgung u. a. neben der Schleuse Eckersmühlen ein Speicherbecken mit $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Nutzraum an, das über den Kanal mit Donauwasser gespeist wird. Die Donau hat bei der Mündung des Kanals in Kelheim einen mittleren Niedrigwasserabfluß von $140 \text{ m}^3/\text{s}$ und einen mittleren Abfluß von $322 \text{ m}^3/\text{s}$.

Im Regelfall, d. h. bei ausreichender Wasserführung der Donau, wird für die Landesversorgung über die Südrampe des Kanals Wasser in den Speicher „Kleine Ronh“ hochgepumpt und bei Bedarf der Kleinen Roth, dem Hembach und der Schwarzach zugeleitet, auf diese Weise die Wasserführung des fränkischen Gewässersystems anreichernd (Abb. 13). Sinkt der Abfluß der Donau unter $140 \text{ m}^3/\text{s}$, dann muß die Entnahme eingestellt werden.

Der Bau des Kanals gliedert sich räumlich und zeitlich in zwei Teile. In den Jahren 1961 bis 1972 wurde die Nordstrecke von Bamberg bis Nürnberg erstellt und abschnittsweise in Betrieb genommen. Die Bauarbeiten an der Südstrecke von Nürnberg bis Kelheim sind im Gang und sollen Mitte der 80er Jahre abgeschlossen werden.

Die Wasserkraftnutzung im Bereich des Kanals umfaßt die oben erwähnte Zuleitung zum Kraftwerk Hirschaid, die Energiegewinnung im staugeregelten Bereich der Regnitz durch Kraftwerke in Forchheim und Hausen und schließlich im staugeregelten Bereich der Altmühl an den Stufen Riedenburg und Kelheim, soweit die Wasserführung der Altmühl den Bedarf für Schifffahrt und Landeswasserversorgung übersteigt. In keinem Fall wird die Wasserversorgung des Kanals durch diese Wassernutzung beeinflusst.

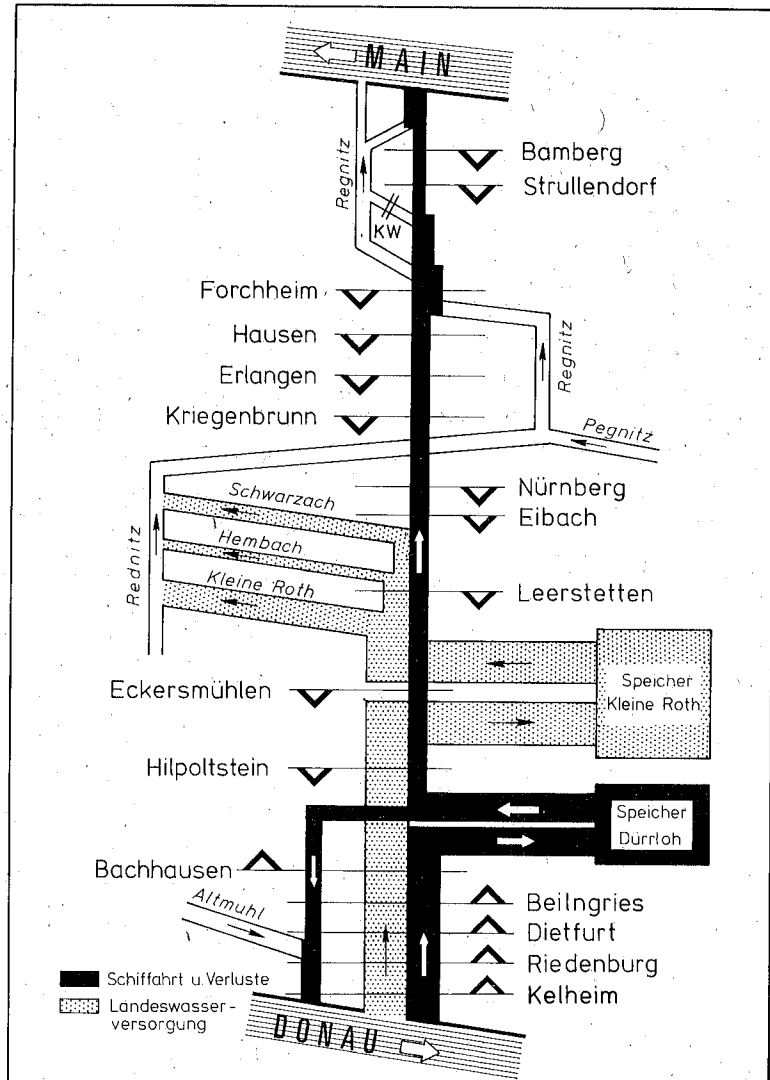


Abb. 13: Schema der Speisung des Main-Donau-Kanals

4.2 Wasserbedarf

Der Wasserbedarf des Kanals setzt sich zusammen aus den 3 Anteilen: Schiffahrtsbetrieb, Landeswasserversorgung und Wasserverluste. Geringfügige Wasserentnahmen aus dem Kanal für die Landwirtschaft auf der Nordstrecke können im Rahmen dieses Berichtes vernachlässigt werden.

4.2.1 Schiffahrtsbetrieb

Der Wasserbedarf auf der Nordrampe beträgt bei den 3 größten, 24,67 m hohen Stufen Hilpoltstein, Eckersmühlen und Leerstetten je 25 000 m³ für eine Schleusung. Von den restlichen Stufen hat Eibach mit 20 000 m³ den höchsten Bedarf; diese Menge wird der Berechnung des Wasserbedarfs für die Nordrampe zugrundegelegt, weil der Mehrverbrauch von 5000 m³ bei den

zuerst genannten Schleusen aus dem Durchleitungswasser der Landesversorgung gedeckt werden kann. Unterhalb der Stillwasserstrecke benötigt Forchheim $13\,000\text{ m}^3$; in Strullendorf und Bamberg ist der Bedarf durch entsprechende Bemessung der Sparbecken mit $11\,000\text{ m}^3$ je Schleusung einander angeglichen.

Auf der Stillwasserstrecke der Südrampe ist der Bedarf der 3 Sparschleusen Bachhausen, Beilngries und Dietfurt mit je $17\,000\text{ m}^3$ für eine Schleusung gleich groß. Die beiden gleich hohen Stufen Riedenburg und Kelheim in der Altmühl benötigen je $21\,000\text{ m}^3$ für eine Schleusung. Der Berechnung für die Südrampe kann die geringe Menge von $17\,000\text{ m}^3$ zugrundegelegt werden, weil der Mehrverbrauch der Altmühlschleusen von 4000 m^3 aus der fließenden Welle des Flusses gedeckt wird.

Der Berechnung des Wasserbedarfs allein aus der Schifffahrt wird ein 24stündiger Betrieb mit insgesamt 22 Schleusenfüllungen zugrundegelegt. Damit ergibt sich eine tägliche Schleusungswassermenge von $(20\,000 + 17\,000) \cdot 22 = \text{rd. } 810\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Neben der ermittelten Gesamtmenge in m^3 ist der Wasserbedarf aus dem Schifffahrtsbetrieb gekennzeichnet durch die Unstetigkeit der jeweiligen Bedarfsmenge in m^3/s . Bei dem rund einstündigen Schleusungsrhythmus wird die Füllungswassermenge mit einer zunächst geplanten Spitze von $70\text{ m}^3/\text{s}$ in wenigen Minuten der Haltung entnommen. Dadurch entsteht eine mehrere Kilometer lange Sunkwelle, welche in den verhältnismäßig kurzen Haltungen des Kanals hin- und herpendelt. Wegen der geringen Reibung an den Kanalwandungen baut sie sich nur langsam ab und überlagert sich deshalb mit den Sunkwellen folgender Schleusungen. Eingehende Berechnungen und Naturversuche haben ergeben, daß in diesen Sunkwellen nicht nur die Absenkung des Schiffes bis auf $0,9\text{ m}$ wachsen kann, sondern daß auch die Kursstabilität in einem bedenklichen Maße verringert wird [17]. Kritisch wird dieses Problem in der Scheitelhaltung, wo Sunkwellen an beiden Enden entstehen und sich gegenseitig überlagern. Diesem Gesichtspunkt muß bei der Wasserbedarfsdeckung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

4.2.2 Landeswasserversorgung

Die Wasserwirtschaftsverwaltung plant für die Niedrigwasseraufhöhung im fränkischen Raum um Nürnberg eine mittlere jährliche Entnahme aus dem Donaugebiet von $105 \cdot 10^6\text{ m}^3/\text{a}$ bei Betriebsbeginn Anfang der 80er Jahre, dann ansteigend bis $250 \cdot 10^6\text{ m}^3/\text{a}$ im Jahre 2001 und maximal $425 \cdot 10^6\text{ m}^3/\text{a}$.

Die größte Entnahmemenge ist auf $21\text{ m}^3/\text{s}$ und im Tagesmittel auf $15\text{ m}^3/\text{s}$ festgesetzt; bei einer zusätzlichen Sicherheit von $0,75\text{ m}^3/\text{s}$ entspricht dies einem maximalen Tagesvolumen von $1,36 \cdot 10^6\text{ m}^3/\text{d}$.

4.2.3 Wasserverluste

Die Verdunstung an der Kanaloberfläche wurde aufgrund von Gutachten zu 950 mm/a angenommen. Damit ergibt sich für den Stillwasserbereich von Hausen bis Dietfurt ein Tagesverlust von $15\,000\text{ m}^3/\text{d}$, entsprechend $146\text{ m}^3/\text{km d}$.

Die Versickerung wird in den rd. 70 km langen Strecken angesetzt, wo der Grundwasserspiegel unter dem Kanalwasserspiegel liegt. Der Verlust schwankt je nach Dichtungsart und Druckhöhe. Die Beobachtungen an bisher ausgeführten Dichtungen liegen zwischen einer nicht meßbar geringen Menge und $3,5\text{ l/s/km}$. Mit einem ungünstig angenommenen Mittelwert von 3 l/s/km entsprechend $260\text{ m}^3/\text{km d}$ beträgt der tägliche Sickerverlust $18\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Weitere Verluste treten durch Undichtigkeiten an Toren, Verschlüssen und Fugen der Schleusen auf. Setzt man hierfür zusammen 10 l/s m Stufenhöhe an, so ergibt sich für beide Rampen mit rd. 25 m bzw. 17 m Stufenhöhe ein täglicher Verlust von $36\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Damit beträgt der Gesamtverlust rd. $70\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

4.2.4 Gesamtwasserbedarf

Faßt man den Wasserbedarf für Schiffahrtsbetrieb und aus Verlusten zusammen, so ergeben sich 880 000 m³/d; davon entfallen auf die Nordrampe 480 000 m³/d und auf die Südrampe 400 000 m³/d.

Dazu kommt der Bedarf der Landeswasserversorgung mit 1 360 000 m³/d.

4.3 Deckung des Wasserbedarfs

4.3.1 Deckung des Gesamtbedarfs

Wenn man das Dargebot der natürlichen Gewässer im Bereich des Kanals (4.1) dem Wasserbedarf (4.2.4) gegenüberstellt, so wird deutlich, daß die Donau der wichtigste Wasserspender ist. Selbstverständlich werden die Dargebote von Altmühl, Regnitz und kleineren Gewässern ebenfalls genützt; sie treten jedoch in ihrer Bedeutung hinter der Donau zurück.

Somit sieht das Grundkonzept vor, den Wasserbedarf in erster Linie aus dem Dargebot der Donau zu decken. Die erforderlichen Wassermengen werden zusammen mit dem Dargebot der Altmühl über die Südrampe zur Scheitelhaltung hinaufgepumpt und fließen von dort nach beiden Seiten ab, nach Süden für die Schifffahrt allein und nach Norden für die Schifffahrt und die Landeswasserversorgung.

Die Donau hat eine Jahresfracht von $10\,160 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$. Für die äußerste Entnahmemenge, welche ihr durch die Schifffahrt verloren geht, braucht nur der über die Nordrampe abfließende Teil angesetzt zu werden, weil das Schleusungswasser der Südrampe wieder dem Strom zufließt bzw. bei vollem Schleusungs- und Pumpbetrieb ständig um die Stufen kreist. Bei 22 Schleusungen an 320 Tagen werden also $320 \cdot 480\,000 = 153 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ entnommen, was nur 1,5 % der Jahresfracht der Donau ausmacht. An einem Tag mit mittlerem Niedrigabfluß von 140 m³/s entspricht der maximale Tagesbedarf der Schifffahrt mit 480 000 m³/d einem Anteil von 4 % der Donautagesfracht. Somit bestehen keine Bedenken gegen eine Entnahme des Schifffahrtsbedarfes aus dem Strom.

Gemäß dem dargestellten Grundkonzept werden die 5 Stufen der Südrampe mit Pumpwerken ausgestattet. Die 3 Stufen der Stillwasserstrecke zwischen Dietfurt und Bachhausen müssen die gesamte Bedarfsmenge bewältigen, während bei den Altmühlstufen das Dargebot des Flusses abgesetzt werden kann. Mit Rücksicht auf die geringe Größe des minimalen Abflusses der Altmühl und den Mehrbedarf der Schleusen in der Altmühlstrecke werden jedoch auch diese Pumpwerke für die volle Bedarfsmenge ausgelegt.

Die Bemessung der Pumpleistung geht davon aus, daß die Betriebszeit mit Rücksicht auf eine wirtschaftliche Beschaffung des Pumpstromes auf 18 Stunden pro Tag begrenzt wird. Damit ergeben sich folgende größten Einzelwerte: Schifffahrt-Nordrampe 7,4 m³/s, Schifffahrt-Südrampe 6,2 m³/s, Landeswasserversorgung 21,0 m³/s. Rundet man den Gesamtbedarf für die Schifffahrt auf 14,0 m³/s (7,75 m³/s Nordrampe, 6,25 m³/s Südrampe) auf, so beträgt die gesamte maximale Pumpleistung 35 m³/s.

Damit sind die wesentlichen Züge der Kanalspeisung festgelegt. Sie sind in Abb. 13 schematisch dargestellt; die Breite der angedeuteten Ströme entspricht nicht einem bestimmten Betriebszustand, sondern gibt die Größenordnung der jeweiligen maximalen Wassermenge der künstlichen Förderung und die minimalen Dargebote von Regnitz und Altmühl in m³/s. Das Schema zeigt auch, in welchem Umfang der Kanal noch unterhalb des Speichers Kleine Roth der Landeswasserversorgung und damit dem Schifffahrtsbedarf der drei hohen Schleusen Hilpoltstein bis Leerstetten dient (siehe Abschnitt 4.2.1).

Auf der Südrampe war der Bedarf mit 17 000 m³ je Schleusung auf die Sparsysteme abgestimmt worden. Dem stehen 21 000 m³ als Bedarf für die Altmühl-Schleusen gegenüber. Bei einem etwa einstündigen Schleusungsrythmus ist auch bei einem mittleren Niedrigwasserabfluß der Altmühl von 2 m³/s eine ausreichende Ergänzungswassermenge vorhanden.

Auf der Nordrampe ist die Kanalspeisung der Stufen unterhalb des Stillwasserbereichs allein schon durch die Regnitz gesichert. Der Bedarf mit $13\,000\text{ m}^3$ bzw. $11\,000\text{ m}^3$ je Schleusung ist auch bei einem mittleren Niedrigwasserabfluß von $7\text{ m}^3/\text{s}$ und einem etwa einstündigen Schleusungsrhythmus reichlich gedeckt. Diese Bedingungen verbessern sich wesentlich durch die Schleusungswassermenge, welche von der Nordrampe des Stillwasserbereiches bei Hausen in die Regnitz einfließt.

An dieser Stelle sei kurz die Kanalspeisung des ersten Bauabschnittes von Bamberg bis Nürnberg gestreift. Die Speisung der unteren Strecke durch Regnitzwasser entspricht dem eben geschilderten Fall. Die Stufen von Hausen bis Nürnberg sind mit Pumpwerken ausgerüstet, welche die Entleerungsmenge des Schleusungsvorgangs wieder in die obere Haltung zurückbefördern (Abb. 11). Diese Entleerungsmengen sind trotz der verschiedenen Stufenhöhen durch die Wahl der Sparsysteme mit $15\,000\text{ m}^3$ bis $18\,000\text{ m}^3$ je Schleusung weitgehend aufeinander abgestimmt. Die Stufen konnten daher einheitlich mit Pumpanlagen von $6,4\text{ m}^3/\text{s}$ ausgerüstet werden; lediglich bei der Stufe Nürnberg genügen $5,2\text{ m}^3/\text{s}$. Der Wasserverlust der Strecke von Hausen bis Nürnberg muß der Regnitz unterhalb Hausen entnommen und in die Haltungen hochgepumpt werden; einen zeitweiligen Beitrag hierzu leistet noch der Seebach, der, wie anfangs erwähnt, in die Haltung eingeleitet wird.

4.3.2 Deckung der Bedarfsspitzen

Wie in 4.2.1 dargelegt, darf sich die Speisung des Kanals nicht nur mit der Deckung der Gesamtbedarfsmengen begnügen, sondern muß auch die kurzfristigen Belastungsspitzen mit in Betracht ziehen. Dazu gehört neben dem erwähnten Sunk auch der Sonderbedarf bei Ausfall von Sparbecken. Schließlich kommen noch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen über eine Beschaffung des Speisungswassers möglichst in Niedrigtarifzeiten hinzu; dieser Zeitraum mußte zwar in der Gesamtbemessung schematisch zu 18 Stunden angenommen werden, weicht jedoch je nach dem Stromlieferungsvertrag für die Pumpstationen davon ab.

Um diesen Anforderungen zu genügen, ist die Anlage eines Ausgleichs- und Speicherbeckens „Dürrloh“ am oberen Ende der Pumpstrecke neben der Schleuse Bachhausen vorgesehen.

Durch die Konzentration der Niedrigtarifzeiten am Wochenende erhält die Anlage den Charakter eines Wochenspeichers; das am Montag früh gefüllte Becken wird im Laufe der Woche abgearbeitet bis zu einem Tiefpunkt am Freitag, um dann über das Wochenende wieder gefüllt zu werden. Abb. 14 zeigt als Beispiel einerseits den Pumpplan und den Schleusungsplan für 16

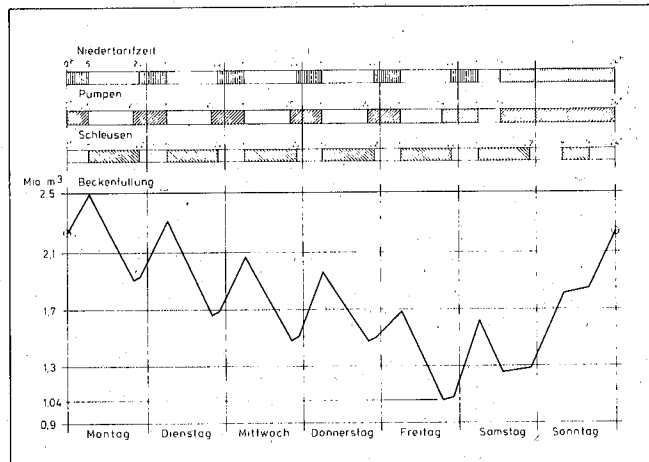


Abb. 14: Speicher- und Ausgleichsbecken „Dürrloh“. Beispiel eines Wochen-Betriebsplanes.

Schleusungen je Werktag und 8 am Sonntag und andererseits die daraus sich ergebenden Schwankungen der Beckenfüllung. In diesem Beispiel muß schon 11 Stunden außerhalb der Niedrigtarifzeiten gepumpt werden; im Extremfall von 22 Schleusungen beträgt diese Überschreitung 84 Stunden.

4.3.3 Ausblick

Die baulichen Einrichtungen zur Speisung des Kanals müssen dem Maximalbedarf angepaßt sein; nach diesem Gesichtspunkt wurde das hier dargestellte Grundkonzept entwickelt. Die praktische Abwicklung dagegen wird sich nach der Dichte des Schiffsverkehrs und nach der wirtschaftlichsten Beschaffung der Pumpenergie richten. Die Steuerung, für die eine zentrale Stelle in Nürnberg geplant ist, wird sich die Erfahrungen des anlaufenden Betriebes zunutze machen und Abweichungen von dem hier skizzierten Verlauf im Rahmen des Möglichen entwickeln.

Zusammenfassung

Die Speisung von Schiffahrtskanälen muß in erster Linie die Verkehrsbereitschaft der Wasserstraße sicherstellen. Darüber hinaus kommt ihr eine wachsende Bedeutung für die Volkswirtschaft zu, weil das Wasser nicht nur in den Trockengebieten der Erde, sondern auch in der Kulturlandschaft zu einem wertvollen Stoff geworden ist.

In dem ersten Abschnitt des Berichtes werden die allgemeinen Gesichtspunkte für die Speisung der Kanäle behandelt. Zunächst werden die Arten der Wasserstraße als natürliche oder künstliche Systeme aufgezeigt und ihre Elemente unter besonderer Betonung des Scheitelkanals definiert. Anschließend werden die Wassernutzungen und der Wasserbedarf der Kanäle behandelt. Die Schifffahrt benötigt Betriebswasser für die Schleusungen; außerdem treten Verluste durch Verdunstung und Versickerung sowie durch Undichtigkeiten an Schleusen auf. Die Nutzung der Wasserstraße für Fischerei und Erholung stellt Anforderungen an die Reinheit des Wassers. Ein Kanal kann weiterhin der Durchleitung von Wasser zu Zwecken der Landeswasserversorgung dienen. Bei der Entnahme von Kanalwasser zur Nutzung außerhalb der Wasserstraße wird unterschieden zwischen dem Gebrauchswasser, das im wesentlichen wieder dem Kanal zurückgegeben wird, und dem Verbrauchswasser, das der Wasserstraße verloren geht. Der danach in Rechnung zu setzende gesamte Wasserbedarf kann durch technische Maßnahmen in einem gewissen Rahmen vermindert werden. Schließlich werden die Mittel und Wege der Speisung betrachtet, wobei der Schwerpunkt auf den Kanälen mit Scheitelhaltung liegt. Probleme der Speisung ergeben sich, wenn natürliche Zuflüsse vor allen in den oberen Haltungen fehlen. Das dann notwendige Pumpsystem kann entweder darauf ausgerichtet sein, an jeder Stufe Wasser von der unteren Haltung in die obere Haltung zu fördern, oder den gesamten Bedarf durch Pumpen in die Scheitelhaltungen zu decken; von wo das Wasser über beide Rampen ablaufend die Schleusen und Haltungen versorgt. Bewirtschaftungspläne steuern Bedarf und Deckung; sie sind nicht nur auf die Gesamtmengen z. B. eines Tages, sondern auch auf momentane Bedarfsspitzen ausgerichtet. An technischen Einrichtungen sind eine Reihe von Speisungs- und Entnahmebauwerken und die Fernsteuerungsanlagen erforderlich. Wirtschaftliche Aspekte über die Wege zu einer Begrenzung der Pumpstromkosten und über die zweckmäßige Organisationsform der Bedarfsdeckung im Hinblick auf die Mehrzwecknutzung der Wasserstraße schließen den einleitenden Abschnitt ab.

Der zweite Abschnitt des Berichtes leitet die konkrete Behandlung des Themas einer Übersicht über die Binnenschiffahrtskanäle der Bundesrepublik Deutschland ein. Anschließend konzentriert sich das Interesse auf zwei Gebiete im Norden und im Süden des Landes. Im Norden hat sich aufgrund der wirtschaftlichen und geographischen Gegebenheiten ein organisch

gewachsenes dichtes Netz von Schiffahrtskanälen entwickelt, das zahlreiche Probleme der Speisung und sehr interessante Lösungen bietet. Dazu trägt auch der Umstand bei, daß in dem industriell hochentwickelten Gebiet der Charakter der Wasserstraßen als Mehrzweckunternehmen besonders stark ausgeprägt ist. Hier liegen jahrzehntelange Erfahrungen über den Betrieb und die Anpassung an die Entwicklung von Schiffahrt und Industrie vor. Im Gegensatz dazu ist der Main-Donau-Kanal im Süden das Beispiel eines einzelnen durchgehenden Verkehrsstranges, der einheitlich und systematisch auf das Ganze ausgerichtet geplant wird und zum Teil schon dem Verkehr übergeben werden konnte, zum Teil aber erst in der Ausführung begriffen ist.

Der dritte Abschnitt des Berichtes ist der Speisung der nordwestdeutschen Kanäle gewidmet. Hier liegt der sehr interessante Fall vor, daß sich in einer Scheitelhaltung 5 Kanäle treffen. Neben den Schiffahrtszwecken dient das System zahlreichen zusätzlichen Aufgaben der Vorflut, der Wasserversorgung für Städte, Industrie und Landwirtschaft und nicht zuletzt der Erholung und Freizeitgestaltung in einem dichtbesiedelten Gebiet. Damit kann der Wasserbedarf der Kanäle nur durch ein äußerst kompliziertes System von Pump- und Speichereinrichtungen gedeckt werden. Der Bericht muß sich deshalb auf die Darstellung einiger weniger Charakteristiken des Speisungssystems beschränken, die aber so ausgewählt wurden, daß sie stellvertretend für die übrigen Teile sind. Anhand von Einzelheiten des Wasserbedarfs und der Bedarfsdeckung sind die notwendigen Einrichtungen und Anlagen beschrieben. Dabei werden neben der Darstellung der zeitlichen Entwicklung auch die Fragen der übersehbaren zukünftigen Aufgaben und ihrer Berücksichtigung behandelt. Die große Zahl der Beteiligten und die Vielfalt ihrer Interessen erfordert sehr differenzierte Wasserbewirtschaftungspläne, ein ausgedehntes Netz von Registriereinrichtungen, zentrale Fernsteuerungen und schließlich ein wohl abgewogenes System der Kostenerfassung und Kostenverteilung.

Der vierte und letzte Abschnitt des Berichtes vermittelt einen Überblick über die Entwurfsgrundlagen des Main-Donau-Kanals, der die Höhen des Jura überschreitend die Stromgebiete des Rheins und der Donau miteinander verbindet. Hier ist die Nutzung des Kanals zur Überleitung von Wasser aus dem wasserreicheren Donaauraum über den Jura in den wasserärmeren fränkischen Raum um Nürnberg von hervorragender Bedeutung. Dieses Vorhaben zur Verbesserung der Landeswasserversorgung findet seinen Niederschlag in zusätzlichen Pumpanlagen und Ausleitungsbauwerken des Kanals. Der Wasserarmut des vom Kanal durchquerten Gebietes wird durch Anwendung von Sparschleusen Rechnung getragen. Besondere Aufmerksamkeit mußte bei den verhältnismäßig kurzen Haltungen auf die Sunkwellen durch die Wasserentnahme für die Restfüllung der Schleusen verwendet werden; zu ihrer Beherrschung und zur Kosteneinsparung an den Pumpanlagen unter Ausnutzung der Niedrigtarifzeiten wird neben der Scheitelhaltung ein Speicherbecken angelegt.

Schriftumsverzeichnis

- [1] ROLLE, H./LÜCKGENS, F.: Fernwirkanlage für die Pumpwerksreihe am Rhein-Herne-Kanal. SEL-Nachrichten 11 (1963), Heft 2, Seite 68
- [2] PIETZNER, W.: Die Wasserbewirtschaftung der westdeutschen Schiffahrtskanäle, gwf-wasser/abwasser I. Teil 1967, Heft 36, S. 997; II. Teil 1968 H. 38 S. 1040.
- [3] Abkommen vom 8. August 1968 zwischen der Bundesrepublik und dem Land Nordrhein-Westfalen über die Verbesserung der Lippewasserführung, die Speisung der westdeutschen Schiffahrtskanäle mit Wasser und die Versorgung aus ihnen. (GV. NW. 1968 S. 343)
- [4] Durchführungsvereinbarung vom 14. Februar 1969 zum Abkommen vom 8. August 1968 (MBI. NW. S 731)
- [5] Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, Mai 1970
- [6] ZANDER, H.: Die Gründung des Wasserverbandes Westdeutsche Kanäle. gwf-wasser/abwasser 111 (1970) H. 10

- [7] BÜTTNER, L.: Die Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet. Die Wasserwirtschaft 4 (1971) S. 97 – 103
- [8] KUHN, R.: Die Schleusen des Main-Donau-Kanals. Der Bauingenieur 46. Jhg. (1971), H. 5, S. 163 – 184
- [9] PIETZNER, W.: Möglichkeiten der Versorgung mit Kühlturmzusatzwasser durch künstliche Bundeswasserstraßen. Technische Mitteilungen, Essen, 1972 H. 5
- [10] Abkommen vom 19. Februar 1973 zur Änderung des Abkommens vom 8. August 1968 (GV. NW 1973 S.63)
- [11] SCHMIDTKE, R. F.: Ein Kostenzurechnungsmodell für wasserwirtschaftliche Mehrzweckprojekte. Darmstädter Wasserbau-Mitteilungen, Nr. 10/1972
- [12] RÜMELIN, B.: Mehrzweck-Aufgaben der Binnenwasserstraßen. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen, Nr. 3/1973
- [13] BASSLER, F., u. a.: Pumpspeicherwerke an schiffbaren Wasserstraßen. Deutsche Berichte zum XXIII. Intern. Schiffahrtskongreß Ottawa 1973
- [14] PIETZNER, W.: Wasser für den Dortmund-Ems-Kanal. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen Nr. 8/1974 Seite 337
- [15] ANNEN, G.: Niedrigwasseranreicherung als Mittel der Güteverbesserung am Beispiel der Lippe. Wasserwirtschaft 64 (1974) H. 9 S. 259
- [16] KROLEWSKI, H.: Wärmekraftwerke an Wasserstraßen. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen Nr. 3/1975
- [17] SCHÄLE, E.: Einfluß von Schleusensunkwellen auf das fahrende Typschiff Johann Welker in der Südstrecke des Main-Donau-Kanals. 163. Mitteilung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e. V., Duisburg 1976