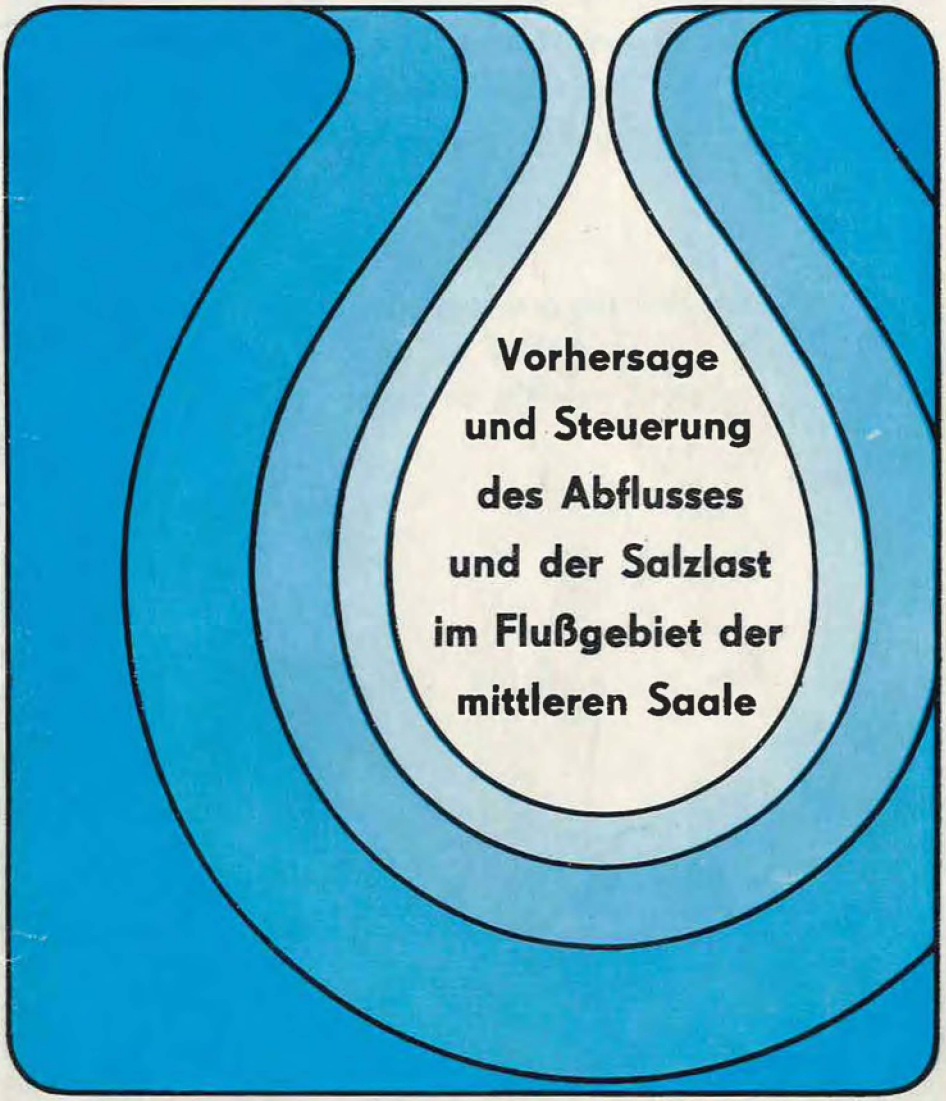
2

Höhere Effektivität
in der Wasserwirtschaft
durch Maßnahmen der
sozialistischen Intensivierung



Vorhersage und Steuerung des Abflusses und der Salzlast im Flußgebiet der mittleren Saale

Inhaltsverzeichnis

1.	Volkswirtschaftliche Notwendigkeit	5
2.	Regionale Voraussetzungen	6
3.	Wissenschaftlich-technische Lösungsmöglichkeiten	10
3.1	Hauptaspekte bei der Wasserbewirtschaftung in Flußgebieten	10
3.2	Charakter und Hauptschritte der zu lösenden Steuerungsaufgabe	11
4.	Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystem zur Prozeßbeobachtung	13
4.1	Grundsätze der Meßnetzgestaltung	13
4.2	Beim Aufbau des Meßsystems zu berücksichtigende Anforderungen	15
4.3	Spezielle Gestaltung des Meßsystems im Gebiet der mittleren Saale	18
4.3.1	Meßwerterfassung	18
4.3.2	Pegelhaus	18
4.3.3	Messung des Wasserstandes	20
4.3.4	Messung des Niederschlags	20
4.3.5	Messung von Wasserinhaltsstoffen	21
4.3.6	Meßwertfernübertragung	24
4.3.7	Einbeziehung konventionell ermittelter und übertragener Daten	28
5.	Modellsystem zur Prozeßvorhersage und -steuerung im Gebiet der mittleren Saale	28
5.1	Grundaufbau des Modellsystems	28
5.2	Struktur des Modellsystems	29
5.3	Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit des Modellsystems	31
6.	Einsatz der EDV	34
7.	Investitionsaufwand, Arbeitskräftebedarf und ökonomischer Nutzen	40
8.	Vorbereitung, Durchführung und Überleitung der Gesamtmaßnahme	41

Der IX. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands stellte in den Mittelpunkt der Politik die konsequente Verwirklichung der Hauptaufgabe, das materielle und kulturelle Lebensniveau des Volkes auf der Grundlage eines hohen Entwicklungstempos der sozialistischen Produktion, der Steigerung der Effektivität und der technologischen Anwendung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zur Steigerung der Arbeitsproduktivität weiter zu erhöhen.

Für die Wasserwirtschaft stellt dabei die Intensivierung der Dargebotsbewirtschaftung den Hauptweg zur Sicherung der weiteren volkswirtschaftlichen Entwicklung dar.

Die Prozeßführung in Fluß- und Versorgungsgebieten ermöglicht wissenschaftlich, fundierte, langfristig-planerische und kurzfristig-operative Entscheidungen zur Sicherung der Wasserversorgung in komplexen und komplizierten wasserwirtschaftlichen Systemen.

Die vorliegende Schrift ist ein Beitrag, der zur Vermittlung verallgemeinerungsfähiger Grundsätze und flußgebietsspezifischer Besonderheiten am Beispiel der mittleren Saale dient.

Zur breiten Nutzbarkeit der erreichten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse und der angewandten Leitungs- und Koordinierungsmethoden bei der forschungs-parallelen Errichtung eines Datenerfassungs-, -fernübertragungs- und -auswertungssystems wird allen Werktätigen der Wasserwirtschaft ein gründliches Studium dieser Broschüre mit dem Ziel empfohlen, Überlegungen anzustellen, wie diese Erfahrungen bei der Überleitung von anderen Forschungsergebnissen in die Praxis angewandt werden können.

1. Volkswirtschaftliche Notwendigkeit

Die Entwicklung der materiellen Produktivkräfte hat unter dem Einfluß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in den hochindustrialisierten Ländern einen Stand erreicht, bei dem die Rohstoffpotentiale im Vergleich zur Intensität und Zuwachsrate ihrer Inanspruchnahme nicht mehr unerschöpflich sind. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit

- der Erkundung und Erschließung bisher nicht bekannter bzw. bisher ökonomisch nicht nutzbarer Rohstoffressourcen sowie
- der rationellen Nutzung nichtreproduzierbarer und der Bewirtschaftung reproduzierbarer Ressourcen.

Diese technischen Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse sind abhängig von

- den gesellschaftlichen und volkswirtschaftlichen Bedürfnissen, die als Versorgungs- und Schutzbedürfnisse vorhanden sind,
- dem naturgesetzlichen Erkenntnisvermögen, das sowohl die Voraussetzung der Erkundung als auch der Bewirtschaftung von Rohstoffressourcen darstellt, und
- der technisch-ökonomischen Entwicklung, die eine Erschließung und den Abbau bzw. die Bewirtschaftung von Rohstoffressourcen überhaupt erst ermöglicht.

Da alle in einem rezenten Kreislauf, wie z. B. dem Wasserkreislauf, befindlichen Rohstoffressourcen geophysikalischen Gesetzmäßigkeiten und stochastischen Prozeßabläufen unterworfen sind, gestaltet sich die Bewirtschaftung dynamischer, erneuerungsfähiger Ressourcen schwieriger als die Nutzung statischer, nichterneuerungsfähiger Ressourcen. Während technische Systeme zur Rohstoffnutzung durch ihre Bemessung und Strukturgestaltung in ihrer Funktionsfähigkeit und Funktionstüchtigkeit bestimmten Versorgungs- und Sicherheitsansprüchen der Gesellschaft entsprechend gestaltet werden können, müssen zu beanspruchende natürliche Systeme, wie z. B. hydrologische Systeme, durch eine anthropogene Steuerung den gesellschaftlichen Bedürfnissen angepaßt werden.

Die Entwicklung der Bewirtschaftung des Wasserdargebotes ist in den letzten Jahrzehnten durch einen stetig zunehmenden Wasserbedarf der Bevölkerung und durch einen infolge der Produktionsintensivierung der Industrie und Landwirtschaft rasch anwachsenden Widerspruch zwischen nutzbarem Wasserdargebot und Wasserbedarf gekennzeichnet. Für die Lösung dieser Widersprüche, die für die weitere Entwicklung der Volkswirtschaft notwendig ist, bieten sich folgende grundsätzliche Möglichkeiten an:

- die Verringerung des volkswirtschaftlich notwendigen Wasser-

bedarfs durch Anwendung wassersparender Technologien in der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion,
- die Erhöhung des technisch-ökonomisch nutzbaren Wasserdargebots durch Erschließung bisher ungenutzter Wasservorräte,
- die rationelle Bewirtschaftung des nutzbaren Wasserdargebots durch Anwendung der Prozeßführung in Fluß- und Versorgungsgebieten zur Gewährleistung einer optimalen zeitlichen und räumlichen Umverteilung und Mehrfachnutzung des Wasserdargebots.

2. Regionale Voraussetzungen

Als erste industrielle Hauptwassernutzer im Flußgebiet der mittleren Saale entstanden 1916/17 die Leuna- und 1936/37 die Buna-Werke. Im Zuge der Realisierung des Südflügels des Mittellandkanals wurden die Talsperren der oberen Saale errichtet; die TS Bleiloch wurde 1932, die TS Hohenwarte 1941 in Betrieb genommen. Beginnend mit der schrittweisen Inbetriebnahme des Südharz-Kalireviers ab 1893 (Sondershausen) nahmen die Salzabwassereinleitungen sowohl infolge der starken extensiven Produktionserweiterung als auch der Produktionskonzentration der Kaliindustrie stetig zu.
Die erste Überschreitung des derzeit gültigen Grenzwertes von 40 °dH Gesamthärte im Tagesmittel am Nutzungsquerschnitt Bad Dürrenberg/Saale erfolgte bereits am 22. 9. 1937 mit 43,4 °dH. Zur Einhaltung des für die Sicherung der Wasserversorgung der chemischen Großindustrie am 20. 6. 1963 festgelegten Grenzwertes in der mittleren Saale wird deshalb seit 16. 8. 1963 eine Steuerung der Salzlast mit Hilfe der Saaletalsperren (Abb. 1, Seiten 22–23), des seit 1968 zur Verfügung stehenden Stapelbeckens Wipperdorf und der seit 1969 angeschlossenen Stapeltankanlage Sondershausen durchgeführt.
Sie umfaßt:
- die Vorausberechnung des möglichen Salzabwasserabstoßes der Kaliindustrie in CaO $[kgs^{-1}]$ in Abhängigkeit von der zu erwartenden Wasserführung und des Mischungsverhältnisses Unstrut/Saale und
- die Vorausberechnung der Zuschußwasserabgaben $[m^3s^{-1}]$ aus dem Saaletalsperrensystem bei planmäßiger Erhöhung der Abstoßvorgabe für die Kaliindustrie und bei erkennbaren, durch unerwartete Durchflußänderungen oder Abwasserlasthavarien verursachten Grenzwertüberschreitungen am Nutzungsquerschnitt.

Im Zeitraum 1963–1975 sind durch insgesamt 498,6 Mio m^3 Zuschußwasser aus dem Saaletalsperrensystem an 465 Tagen Grenzwertüberschreitungen am Nutzungsquerschnitt vermieden worden

Bild 1 Bleilochtalsperre

(vgl. Tab. 1), die bei der chemischen Großindustrie Mehraufwendungen in Höhe von durchschnittlich 4,3 Mio M je Jahr verursacht hätten.

Zeitraum	Abgabe Zuschußwasser		Grenzwertüberschreitungen		
	Menge Mio m^3	Anzahl der Abgaben bzw. Veränderungen	ungesteuert d	gesteuert d	vermieden d
1963	13,4	25	60	22	38
1964	77,0	177	129	12	117
1965	51,5	82	33	0	33
1966	3,1	7	2	0	2
1967	42,0	105	43	4	39
1968	7,2	12	9	0	9
1969	52,3	60	22	2	20
1970	70,9	93	24	0	24
1971	34,2	92	27	0	27
1972	20,6	54	12	2	10
1973	40,2	65	26	1	25
1974	19,9	41	11	0	11
1975	66,3	98	67	1	66
1963–75	498,3	911	465	44	421

Tab. 1 Ergebnisse der Salzlaststeuerung im Zeitraum 16. 8. 1963 bis 31. 12. 1975 (nach unveröffentlichten Unterlagen der WWD Saale – Werra)

Entsprechend der skizzierten historischen Entwicklung ist das Ballungsgebiet Halle-Merseburg durch eine Standortkonzentration volkswirtschaftlich bedeutender wassernutzender Bereiche gekennzeichnet, die einen wesentlichen Teil ihres Wasserbedarfes aus der mittleren Saale (Saale zwischen Mündung der Unstrut und Mündung der Weißen Elster) decken. Die industriellen Hauptwassernutzer benötigen 1,84 Mio m^3d^{-1} Wasser. Für die Uferfiltratgewinnung zur zusätzlichen Wasserversorgung der Stadt Halle werden zwischen 0,04 und 0,06 Mio m^3d^{-1} entnommen; der landschaftsnotwendige Kleinstabfluß Q_L beträt 0,72 Mio m^3d^{-1}. Der derzeitige mittlere Bedarf beträgt unter Berücksichtigung der aufeinanderfolgenden Nutzungen durchschnittlich 1,73 Mio m^3d^{-1}. Die Hauptwassernutzer leiten durchschnittlich 1,48 Mio m^3d^{-1} Abwässer ein. Bei den Schadstoffeinleitungen der Hauptwassernutzer handelt es sich um organische, biologisch abbaubare Stoffe, suspendierte Feststoffe, Salze (Ammoniumsalze, Härtebildner), Ligninsulfosäuren und Tenside; durch Temperaturaufhöhung wird eine Abnahme der Sauerstoffkonzentration verursacht. Die organische Belastung beträgt durchschnittlich 154 t d^{-1} BSB_5, die anorganische Belastung 452 t d^{-1} CaO bzw. 1 688 t d^{-1} Cl. Eine bedeutende Rolle spielen neben der natürlichen Versalzung die Salzabwassereinleitungen aus dem Südharz-Kalirevier und dem Kupferschieferbergbau in der Sangerhäuser Mulde. Durch die Salzabwassereinleitungen wird der natürliche (physiogene) hydrochemische Typ $Ca–SO_4$ in der oberen Unstrut, oberen Helme und oberen Saale durch den anthropogenen Typ Na–Cl in der Wipper, unteren Helme, unteren Unstrut und mittleren Saale ersetzt.

Zur Sicherung ihrer volkswirtschaftlich wichtigen Produktion ist der Kaliindustrie des Südharzkalireviers derzeit die Einleitung von 48,5 Mio m^3 a^{-1} Salzabwässer genehmigt, wobei 47,3 Mio m^3 a^{-1} auf leichte Salzabwässer (≤ 250 gl^{-1} Gesamtmineralisation) und 1,2 Mio m^3 a^{-1} auf schwere Salzabwässer (> 250 gl^{-1} Gesamtmineralisation) entfallen. 67 Prozent der Salzabwässer können in den Salzabwasserstapeleinrichtungen zwischengespeichert werden, 33 Prozent werden direkt in Fließgewässer eingeleitet.

Die Elektroenergieerzeugung im Saaletalsperrensystem beträgt mit einer installierten Leistung von 13,1 MW (Grundlast) und 403,3 MW (Spitzenlast) 685 GWh a^{-1}, wobei derzeit das einem Inhalt von 210,3 Mio m^3 entsprechende normale Absenkziel der Saaletalsperren nicht unterschritten werden soll.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Nutzungsansprüche müssen in der Steuerstrecke der mittleren Saale folgende Führungsgrößen eingehalten werden:

Wasserstandsbereich (Naumburg-Grochlitz)		Durchflußbereich		Konzentrationsbereich (Bad Dürrenberg)			
	W [cm]		Q [m^3s^{-1}]		GH [°dH]		Cl [mgl^{-1}]
HHW	576 (12. 2. 1946)	HHQ	684 (12. 2. 1946)	HHC	57,5 (8. 12. 1973)	HHC	1086 (8. 12. 1973)
HW*	475	HQ*	250	HC*	40,0	HC*	500
NW*	145	NQ*	20	NC	–	NC	–
NNW	121 (9. 7. 1934)	NNQ	6,72 (9. 7. 1934)	NNC	12,6 (1. 4. 1965)	NNC	95 (1. 4. 1965)

HHW, HHQ, HHC – oberster bekannter Grenzwert
HW, HQ, HC – oberer, noch schadloser Grenzwert
NW, NQ, NC – unterer, noch schadloser Grenzwert
NNW, NNQ, NNC – niedrigster bekannter Grenzwert

Tab. 2 Führungsgrößen im Wasserstands-, Durchfluß- und Konzentrationsbereich in der Steuerungsstrecke der mittleren Saale (als * gekennzeichnet)

Das Flußgebiet der mittleren Saale stellt somit ein hochbeanspruchtes wasserwirtschaftliches System dar, dessen mit herkömmlichen Bewirtschaftungsverfahren zu gewährleistende Stabilität bereits 1975 nicht mehr den geforderten Versorgungs- und Sicherheitsansprüchen der Volkswirtschaft genügte.

Statt der international üblichen 98prozentigen Versorgungssicherheit für volkswirtschaftlich bedeutende Bedarfsträger kann zur Befriedigung aller angeführten Anforderungen nur eine 95prozentige Versorgungssicherheit für die Deckung des Wasserbedarfes in der Flußstrecke der mittleren Saale gewährleistet werden. Es wird deshalb durch eine Intensivierung der Dargebotsbewirtschaftung mit Hilfe der Prozeßführung eine Effektivierung der bisherigen Steuerungen zur

- Dämpfung der Hochwasserdurchflüsse,
- Aufhöhung der Niedrigwasserdurchflüsse,
- Verdünnung anorganischer Wasserinhaltsstoffe

angestrebt.

Das Unstrut-Saale-Gebiet bietet auf Grund seiner räumlichen Struktur (vgl. Abb. 1) und des zeitlichen Ablaufs der Prozesse günstige Voraussetzungen, diese Prozeßführung vornehmen zu können. Da die Wassermenge als Trägermedium der Salzlast fungiert, können sowohl die Struktur des komplexen Flußgebietsmodells als auch Abwasserlasthavarien anorganischer Wasserinhaltsstoffe hinsichtlich ihrer Steuerungsmethodik nach den Grundsätzen der Wassermengensteuerung behandelt werden.

3. Wissenschaftlich-technische Lösungsmöglichkeiten

3.1 Hauptaspekte bei der Wasserbewirtschaftung in Flußgebieten

Bei der Bewirtschaftung der Wasserressourcen in den Flußgebieten sind drei wesentliche Schwerpunkte zu unterscheiden:

- Der Kurzfristvorhersage- und operative Steuerungsfall (Prozeßführungs- oder Leitungsaspekt).

  Hierbei geht es um die Ermittlung derjenigen operativen Steuerungen der wasserwirtschaftlichen Anlagen in einem gegebenen wasserwirtschaftlichen System, durch die die Steuerungsziele (Führungsgrößen in Form der aktuellen Versorgungs- und Schutzanforderungen der Nutzer) optimal erreicht werden. Hierzu dient das sogenannte Kurzfrist- oder Echtzeitsteuerungsmodell.

- Der Langfristbewirtschaftungsaspekt
  Mit Hilfe des sogenannten Langfristbewirtschaftungsmodells

wird die langfristige Auslastung und Effektivität eines bestimmten (vorhandenen oder geplanten) wasserwirtschaftlichen Systems bzw. der in diesem System vorhandenen wasserwirtschaftlichen Anlagen ermittelt.

– Der Planungsaspekt

  Es sind aus den möglichen Steuereinrichtungen eines wasserwirtschaftlichen Systems diejenigen auszuwählen, die den perspektivisch vorgegebenen Steuerungszielen entsprechen und minimale gesamtvolkswirtschaftliche Aufwendungen erfordern. Hierzu dienen Varianten des Langfristbewirtschaftungsmodells.

Als wasserwirtschaftliches System gilt im allgemeinen Sinne die Gesamtheit der im betrachteten Gebiet vorhandenen Gewässer und des sie tragenden Teils der Erdkruste sowie der zur Nutzung und Bewirtschaftung der verfügbaren Wasserressourcen und zur Steuerung der ablaufenden Prozesse dienenden wasserwirtschaftlichen Anlagen (Steuereinrichtungen, Stellglieder).

Beim hier betrachteten Einzugsgebiet der mittleren Saale sind alle drei genannten Aspekte von besonderem Interesse. Deshalb wurden für dieses Gebiet aufeinander abgestimmt ein Kurzfriststeuerungs- und ein Langfristbewirtschaftungsmodell erarbeitet.

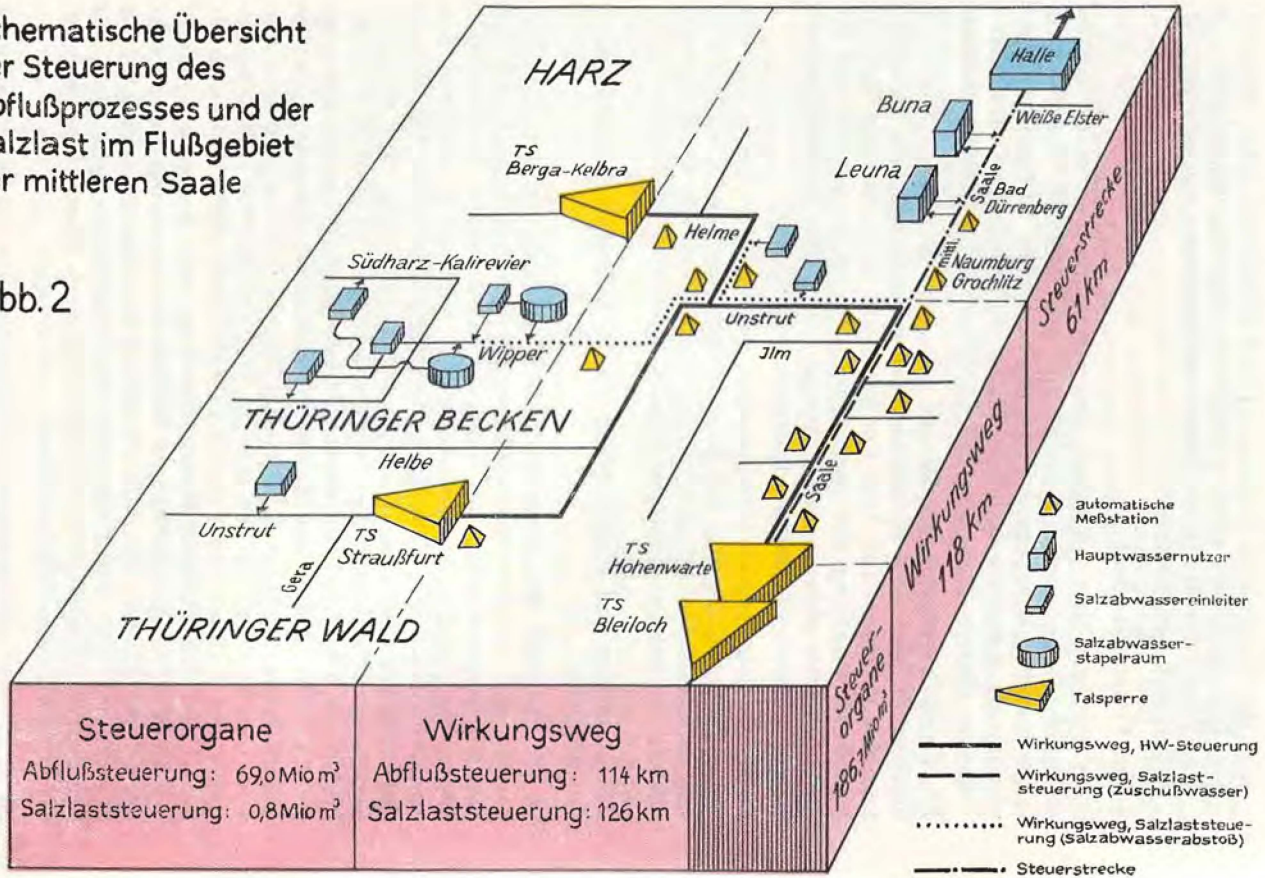
3.2 Charakter und Hauptschritte der zu lösenden Steuerungsaufgabe

Es ist für viele Steuerungsaufgaben in Flußgebieten charakteristisch, daß zwischen den Steuerorganen (Stellglieder) und den Steuerungsquerschnitten (Zielpegel) beträchtliche Entfernungen liegen. So beträgt beispielsweise die Entfernung zwischen den Saaletalsperren und dem Hauptsteuerungsquerschnitt Dürrenberg rund 150 km (vgl. Abb. 1). Geht man davon aus, daß Abgabeänderungen der Saaletalsperren diese Distanz in etwa 30 h durchlaufen, so folgt, daß die aktuelle Steuerung der Saaletalsperren jeweils unter Bezug auf Zustandsverhältnisse festgelegt werden muß, die erst in 1½ bis 2 Tagen am Pegel Dürrenberg zu erwarten sind. Das heißt, es werden ständig Vorhersagen der in den bevorstehenden 2 Tagen (oder mehr) an den Steuerquerschnitten zu erwartenden Zustandsverhältnisse benötigt, von denen ausgehend die Steueranweisungen für die Stellglieder im Flußgebiet berechnet werden können (vgl. Abb. 2). Dies gilt in gleicher Weise für die Berechnung der Salzabwassereinleitungsmengen wie auch der Hochwassersteuerung. Steuerungsaufgaben dieses Typs werden als Vorwärtssteuerung bezeichnet.

Im 12 080 km² umfassenden Einzugsgebiet der mittleren Saale ist diese Steuerung auf die Einhaltung der in Tab. 2 angeführten

Schematische Übersicht der Steuerung des Abflußprozesses und der Salzlast im Flußgebiet der mittleren Saale

Abb. 2



nutzungsabhängigen Wasserstands-, Durchfluß- und Konzentrationsbereiche als Führungsgrößen bei Hoch- und Niedrigwasserereignissen sowie Abwasserlasthavarien bzw. auf die Minimierung der Häufigkeit und Ausdauer dieser Ereignisse gerichtet.

Dabei können folgende wesentliche drei Arbeitsschritte unterschieden werden:

- Prozeßbeobachtung
  Automatisierte meßtechnische Erfassung und Fernübertragung der wesentlichen Systemzustände und Prozeßabläufe mit hinreichender Genauigkeit und zeitlicher Auflösung
- Prozeßvorhersage
  Vorhersage der zu erwartenden Zustandsverhältnisse und Prozeßabläufe mit einer für die Steuerung erforderlichen Genauigkeit und ausreichendem Zeitvorsprung
- Prozeßsteuerung
  Berechnung und Realisierung der zur Einhaltung der vorgegebenen Steuerungsziele (Führungsgrößen) erforderlichen Steuerungen der Stellglieder.

Zur Lösung dieser 3 Teilaufgaben wurde ein komplexes System entwickelt, das aus einem automatisierten Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystem und einem damit gekoppelten einheitlichen, kontinuierlich abarbeitbaren mathematischen Modell- und Rechenprogrammsystem besteht.

Darauf wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

4. Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystem zur Prozeßbeobachtung

4.1 Grundsätze der Meßnetzgestaltung

Zur Lösung der Steuerungsaufgaben im Gebiet der mittleren Saale wurde in mehreren Arbeitsetappen bis zur Bestätigung der durchzuführenden Investitionsmaßnahme am 2. 11. 1973 die Errichtung von insgesamt 18 automatischen Meßstationen als Bestandteil eines Gewässerüberwachungssystems festgelegt (vgl. Abb. 1).

- Systemeingangspegel
  Kaulsdorf / Saale
  Straußfurt / Unstrut
  Hachelbich / Wipper
  Bennungen / Helme
- Zwischengebietseingangspegel
  Kaulsdorf-Eichicht / Loquitz
  Bad Blankenburg – Weidmannsheil / Schwarza

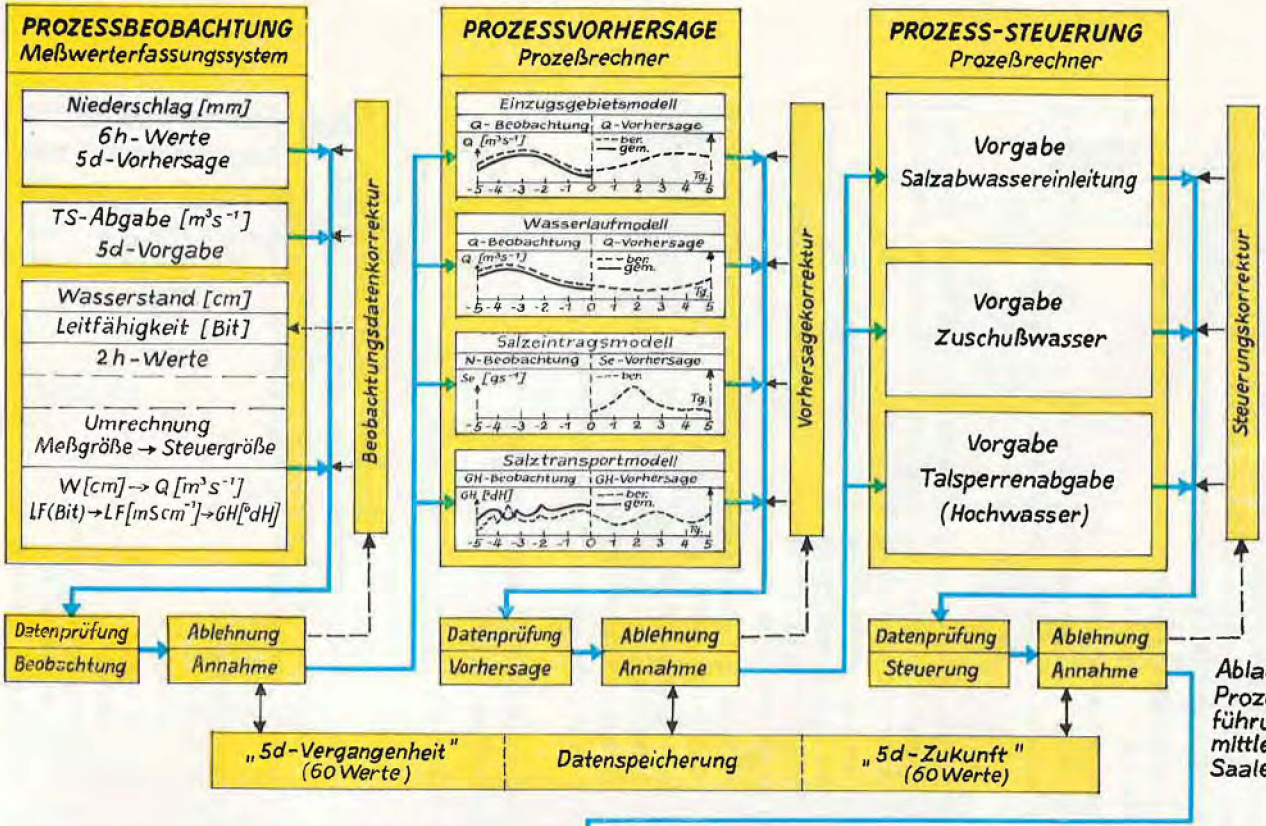

PROZESSBEOBACHTUNG
Meßwerterfassungssystem
Niederschlag [mm]
6h-Werte
5d-Vorhersage
TS-Abgabe [m³s⁻¹]
5d-Vorgabe
Wasserstand [cm]
Leitfähigkeit [Bit]
2h-Werte
Umrechnung
Meßgröße → Steuergröße
W[cm] → Q [m³s⁻¹]
LF(Bit) → LF[mScm⁻¹] → GH[°dH]
Beobachtungsdatenkorrektur
PROZESSVORHERSAGE
Prozeßrechner
Einzugsgebietsmodell
Q-Beobachtung
Q-Vorhersage
Wasserlaufmodell
Salzeintragsmodell
N-Beobachtung
Se-Vorhersage
Salztransportmodell
GH-Beobachtung
GH-Vorhersage
Vorhersagekorrektur
PROZESS-STEUERUNG
Prozeßrechner
Vorgabe
Salzabwassereinleitung
Vorgabe
Zuschußwasser
Vorgabe
Talsperrenabgabe
(Hochwasser)
Steuerungskorrektur
Datenprüfung
Beobachtung
Ablehnung
Annahme
Datenprüfung
Vorhersage
Ablehnung
Annahme
Datenprüfung
Steuerung
Ablehnung
Annahme
Ablauf
Prozeß-
führung
mittlere
Saale
„5d-Vergangenheit"
(60 Werte)
Datenspeicherung
„5d-Zukunft"
(60 Werte)
STEUERUNGSENTSCHEIDUNGEN
Salzlaststeuerung
Abflußsteuerung
Abstoßvorgabe
Kaliindustrie
natürlicher
Salzeintrag
Kaliindustrie
Abruf
Zuschußwasserabgabe
Saaletalsperren
Warnung
Abwasserlasthavarien
Vorgabe
Talsperrenabgabe
Hochwasser
Warnung
Hochwasser

Abb. 3

Freienorla / Orla
Zöllnitz / Roda
Niedertrebra / Ilm
Nikolausrieth / Helme
– Zwischengebietskontrollpegel
Rudolstadt / Saale
Camburg-Stöben / Saale
Saaleck / Saale
Oldisleben / Unstrut
Artern / Unstrut
Laucha / Unstrut
– Systemausgangspegel
Naumburg-Grochlitz / Saale
Bad Dürrenberg / Saale

Von diesen automatischen Meßstationen werden für die Prozeßführung die Meß-Kriterien Wasserstand und Leitfähigkeit anstatt der Steuer-Kriterien Durchfluß und Gesamthärte bzw. Gesamtsalzgehalt übertragen.

An Meßstationen in den Hauptabflußentstehungsgebieten werden mit Hilfe automatischer Regenmesser die Niederschlagsmenge und -intensität ermittelt.

Für die Belange der operativen Gewässeraufsicht ist es darüber hinaus notwendig, eine möglichst umfassende Skala der an den einzelnen Pegeln wichtigen Inhaltsstoffe zur rechtzeitigen Havarieerkennung zu ermitteln und zu übertragen. Zur Zeit werden die Kriterien O_2 (gelöst), pH, Temperatur und Leitfähigkeit übertragen.

Die Kontrolle des gelösten Sauerstoffs erfolgt zur Beurteilung der Gewässerqualität, in Niedrigwasserperioden z. B. als Voraussetzung für die Nutzung als Trinkwasser über Uferfiltration.

Der pH-Wert wird gemessen, um bei Abweichungen bzw. bei Grenzwertüberschreitungen mögliche Havarien durch Abwassereinleitungen frühzeitig erkennen und gefährdete Unterlieger warnen zu können.

Neben diesen Kriterien, für die die meß- und übertragungstechnischen Voraussetzungen bereits gegeben sind, wird die automatische, kontinuierliche Wasserprobenahme, die für den Fall einer Grenzwertüberschreitung von der Zentrale ausgelöst werden kann, vorbereitet.

In Vorbereitung befindet sich weiterhin die Messung und Übertragung des Cl-Gehaltes und der Karbonathärte.

4.2 Beim Aufbau des Meßsystems zu berücksichtigende Anforderungen

Obwohl im allgemeinen auf ein bereits vorhandenes Meßnetz zurückgegriffen werden kann, sind bei der Entscheidung für die Ein-

beziehung von Pegelstationen in die automatische Meßwerterfassung folgende Gesichtspunkte bei der Wahl des Makrostandortes zu berücksichtigen:

- Alle steuerbaren Systemeingänge (Speicherabgabe, Abwassereinleitungen) sind meßtechnisch durch Systemeingangspegel zu erfassen, die mit entsprechenden Zulaufpegeln gekoppelt werden können,
- alle nichtsteuerbaren, jedoch wesentlichen Systemeingänge (Hauptabflußentstehungs- und Zwischenzuflußgebiete) sind meßtechnisch durch Zwischengebietseingangspegel zu erfassen,
- die im Längsschnitt erfolgenden Prozeßabläufe sind meßtechnisch durch Zwischengebietskontrollpegel zu erfassen,
- die Steuerungseinwirkungen in der Steuerungsstrecke sind meßtechnisch durch Systemausgangspegel zu erfassen.

Für die Festlegung der Mikrostandorte sind folgende Gesichtspunkte maßgebend:

- Der Pegel sollte den gesamten Durchfluß in einem eindeutig begrenzten Abflußquerschnitt erfassen (keine Umfluter, keine Versinkungsstrecke),
- das Durchflußprofil sollte so gestaltet sein, daß eine gleichmäßige Strömung und damit günstige Voraussetzungen für Durchflußmessungen und stabile Durchflußkurven gegeben sind (keine Wirbelbildung, kein Rückstaubereich von Wehren u.a.m.),
- im Durchflußquerschnitt sollte eine möglichst gleichmäßige Durchmischung aller Inhaltsstoffe erfolgt sein bzw. es muß ein für den gesamten Querschnitt repräsentativer Bereich im Profil existieren, in welchem die Wasserentnahme für die Gütemeßgeräte des Pegels erfolgen kann (repräsentativer Entnahmepunkt),
- der Standort muß für die Niederschlagsmessung geeignet sein,
- durch Funkausbreitungsmessungen muß die einwandfreie Funkverbindung zwischen dem ausgewählten Standort und der Zentrale nachgewiesen werden, wenn die Informationsübertragung auf dem Funkweg erfolgen soll; bei Kabelanschluß ist die Anschlußmöglichkeit zu berücksichtigen,
- der Pegelstandort sollte weiterhin so ausgewählt werden, daß ein minimaler bautechnischer Aufwand für den Tiefbauteil, den Elektroanschluß und Zufahrtsweg entsteht.

Beim Aufbau des zur Prozeßführung im Gebiet der mittleren Saale erforderlichen Meßnetzes von 18 Pegelstationen waren außerdem folgende technische Randbedingungen zu beachten, die auch für den Aufbau des Einheitlichen Kontroll- und Überwachungssystems der Wasserwirtschaft in der DDR (EKS) Gültigkeit haben:

- Es ist die ständige Meßwertabfrage per Hand und eine automatische Meßwertabfrage im vorgeschriebenen Zeitabstand – z. B. 2 Stunden– zu gewährleisten. Die kontinuierliche Abfrage muß in Extremsituationen in kürzeren Zeitabständen erfolgen können. Es müssen dabei auf Entfernungen zwischen Pegel und Zentrale bis zu 80 km stabile Übertragungen möglich sein (bei Funk durch zwischengeschaltete Relaisstationen technisch möglich; Kabelverbindungen über solche Entfernungen erscheinen sehr schwer realisierbar).
- Das System muß so aufgebaut werden, daß außer den zur Zeit notwendigen und meßbaren auch zukünftig erforderliche und mögliche Kriterien erfaßt werden können.
  Im betrachteten System ist die Erweiterung der Übertragung von z. Z. 5 auf bis zu 10 Kriterien von einem Pegel zur Zentrale möglich.
- Die einzusetzenden Meßgeräte sind so auszuwählen, daß eine Anpassung an die örtlichen Meßbereiche möglich ist.
- Es muß eine Erweiterung des Meßsystems durch Anschluß weiterer Pegel möglich sein.
- Es muß eine Kontrolle der Meßwerte am Pegel und in der Zentrale möglich sein (Einsatz registrierender Geräte am Pegel).
- Die Daten müssen in der Zentrale auf Lochband zur Weiterverarbeitung in einer EDVA aufbereitet und als Journalausdruck, Leuchtziffernanzeige o. ä. für den operativen Grenzwertvergleich vorliegen.
- Das System muß ausreichende Eingriffs- und Kontrollmöglichkeiten zulassen:

  Dazu gehören im Meßsystem der mittleren Saale
  - der Niveauwächter für den Heber zum Schwimmerschacht des Wasserstandpegels,
  - die Kontrolle des Durchflusses im Wasserkreislauf der Gütemessung,
  - der Startbefehl für das Wasserprobenahmegerät,
  - die Funkgeräteän- und -abschaltung,
  - die Sprechfunkverbindung zwischen Zentrale und Pegel,
  - die Einbruchsicherung für die Tür des Pegelhauses.
- Die einzelnen Pegel sind so auszurüsten, daß nach dem Baukastensystem einzelne Bauteile ausgewechselt bzw. in jedem Pegel die gleichen Geräte eingesetzt werden können.
- Der Wartungs- und Reparaturaufwand aller Elemente des Systems ist durch qualifizierte, kontinuierlich arbeitende Brigaden zu minimieren.
- Eine umfassende und langfristige Ersatzteilbeschaffung für alle Elemente des Systems ist vertraglich abzusichern.

– Es ist zu gewährleisten, daß der Aufbau des gesamten Meßsystems durch einen Hauptauftragnehmer erfolgt, damit die technisch aufwendige Anpassung der Meßgeräte an das Übertragungssystem durch entsprechende Sonderkassetten und Anpassungseinheiten nicht vom zukünftigen Betreiber selbst durchgeführt werden muß.

Die Erfüllung dieser Anforderungen an das technische System der Meßwerterfassung und -fernübertragung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß der relativ hohe materielle Aufwand sich in wasserwirtschaftlichen und damit gesamtvolkswirtschaftlichen Nutzen umschlägt.

4.3 Spezielle Gestaltung des Meßsystems im Gebiet der mittleren Saale

4.3.1 Meßwerterfassung

Das Meßsystem im Bereich der mittleren Saale basiert auf der vom VEB Steremat gefertigten Meßwerterfassungseinrichtung ZME 241. Die ZME 241 ist eine typisierte Anlage des Systems „ursamat" (Bild 2). Sie besteht aus einer Zentrale mit 3 Sitzpultschränken und 7 Schrankgefäßen sowie 20 Unterstationen für die Pegel. Die Anlage kann bis zu 480 analoge und 120 digitale Meßwerte in einem Abfragezyklus verarbeiten. Durch Einfügen des Ton-Multiplex-Frequenz-Übertragungssystems (TMF) ist die ursprünglich für Kabelverbindung ausgelegte Anlage auf Funkverbindung umgestellt worden. Über Relaisstellen ist es möglich, Entfernungen bis zu 80 km zwischen Pegel und Zentrale zu überbrücken.

4.3.2 Pegelhaus

Alle Pegelstationen sind nach einem einheitlichen Projekt für den Hochbauteil errichtet worden. Die Grundfläche des gesamten Gebäudes beträgt 25 m² für Pegel mit Mengen- und Gütemessung bzw. 16 m² für Pegel, die nur für Mengen- oder Gütemessung eingerichtet wurden (Bild 3).

Für jeden Pegel wurde der Tiefbauteil als Anpassung gesondert projektiert, wobei die aufwendigen Ausschachtungsarbeiten für den Einlauf zum Schwimmerschacht durch Einbau eines Hebers mit Vakuumbehälter im Durchschnitt um 50 TM pro Pegel reduziert werden konnten. Der Schwimmerschacht selbst wurde durch eine Bohrfirma gebohrt.

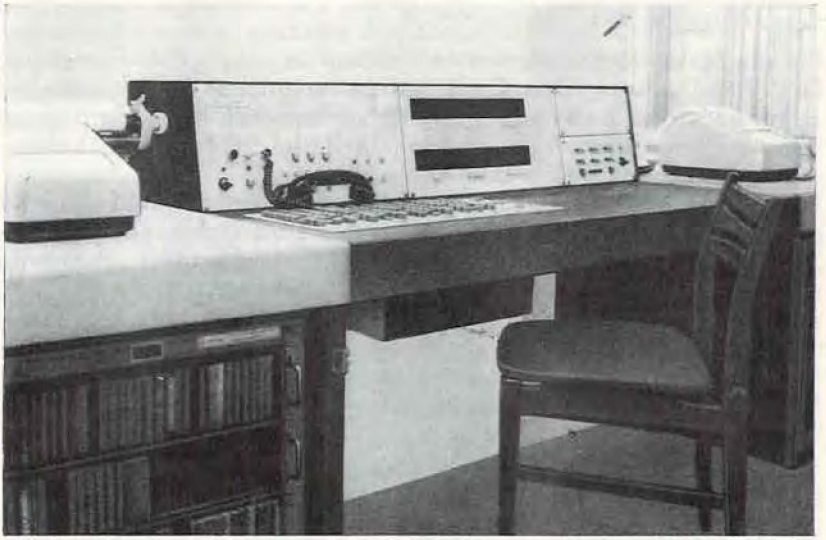


Bild 2 Teilansicht der Meßwerterfassungszentrale mit Bedienpult der ZME 241

Bild 3 Gesamtansicht der Pegelstation Saaleck zur Wasserstands- und Wasserbeschaffenheitsmessung (mit Funkfernübertragung der Meßwerte)

4.3.3 Messung des Wasserstandes

Für die Messung des Wasserstandes wurde der digitale Fernpegel DFP 73 eingesetzt. Das Gerät wurde im Institut für Wasserwirtschaft entwickelt und im Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau der Akademie der Wissenschaften in Berlin-Schöneweide serienmäßig hergestellt (siehe Bild 4).
Der gemessene Wasserstand wird über Schwimmer und Gegengewicht auf eine Seilscheibe übertragen. Die Winkeländerung der Seilscheibe ist die Eingangsgröße für den mechanisch-elektronischen A/D-Umsetzer des DFP 73. Der Pegel besitzt einen Meßbereich von 0 . . . 99,99 m bei einem Meßfehler von ± 1 cm. Der Wasserstand wird vom DFP 73 digital im BCD-Code ausgegeben und über eine Anpassungseinheit in einer Sonderkassette in Signale für die Fernübertragung umgeformt.

4.3.4 Messung des Niederschlags

Der Regengeber wird im Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau in Berlin-Schöneweide hergestellt.
Das Niederschlagswasser läuft in einen Meßzylinder; beim Erreichen einer definierten Menge von 2 cm^3, die einer Niederschlagshöhe von 0,1 mm entspricht, wird durch das Wasser ein Kontakt geschlossen. Die Zahl der Kontakte dient als Maß für die Niederschlagsmenge und wird durch einen Zähler im BMSR-Teil der

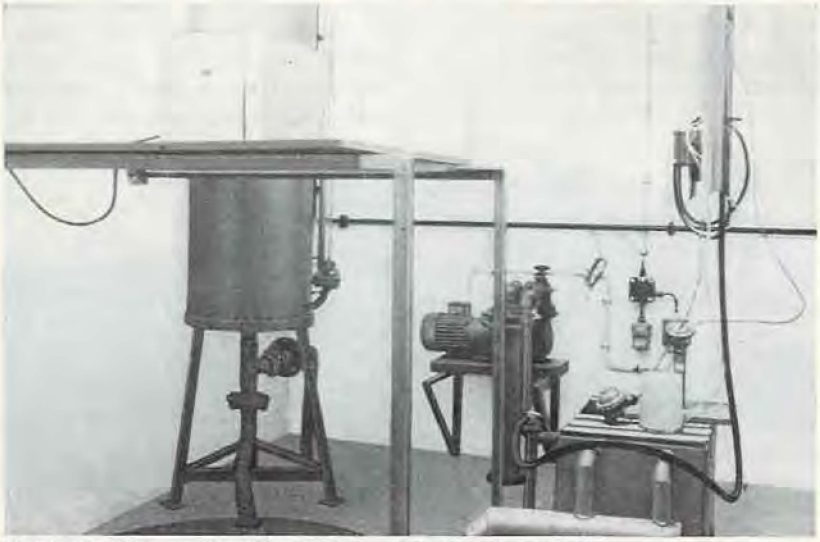


Bild 4 Einrichtung der Pegelstation mit Wasserstandsgeber

Unterstation registriert und übertragen. Der Impulsausgang erfordert ebenfalls eine spezielle Anpassungseinheit, die in der Sonderkassette enthalten ist. In der Zentrale kann außerdem abgefragt werden:
Regen ja/nein? (Zeitkassette 4 Min.). Weiterhin kann der Löschbefehl für den Zähler des Regengebers erteilt werden.

4.3.5 Messung von Wasserinhaltsstoffen

Entscheidend für die Entnahme des Flußwassers zur Ermittlung der für das gesamte Profil repräsentativen Beschaffenheitswerte ist die richtige Anordnung des Entnahmepunktes bzw. der richtige Einbau des Entnahmebauwerkes im Fluß. Im in Frage kommenden Durchflußprofil wurde an jedem Pegel jeweils die Geschwindigkeitsverteilung ermittelt und graphisch aufgetragen. Gleichmäßig über das Profil verteilt wurden 15 Proben entnommen und auf Temperatur, pH-Wert, Sink- und Schwebstoffgehalt, Chlorid, Gesamthärte, O_2-sofort, $KMnO_4$-Verbrauch und CSV-Mn untersucht. Das Mittel aus den 15 Werten ergab für jedes Kriterium den Bereich im Durchflußprofil, der als repräsentativ anzusehen ist. Durch Überlagerung der einzelnen Kriterien konnte der Bereich im Durchflußprofil bestimmt werden, der insgesamt für die Entnahme am geeignetsten ist.
Für die endgültige Stationierung des Entnahmebauwerkes sind noch folgende Randbedingungen zu beachten:
- Entnahmepunkt muß unterhalb NNW liegen,
- Entnahmepunkt muß soweit über der Sohle liegen, daß ein Schlamm- und Geschiebeeintrag unmöglich ist; jedoch nicht höher als 50 cm über der Sohle,
- Entnahmepunkt muß so tief liegen, daß möglicher Bootsbetrieb nicht gefährdet ist.

Als Entnahmebauwerk wurde ein hydraulisch günstig gestalteter Betonkörper entwickelt, der die Lage des stromabwärts gerichteten Einlaufrohres (PE-Rohr) stabilisiert. Das Flußwasser wird durch eine Sternradpumpe MiCo KSE 25 (Hersteller VEB Magdeburger Pumpenwerke), die sich im Pegelhaus befindet, angesaugt und in den Geberkasten mit den Meßelektroden gedrückt. Der Geberkasten ist in einzelne Kammern für die Meßelektroden eingeteilt und so gestaltet, daß das Wasser von unten nach oben an diesen vorbeiströmt. Da eine gegenseitige elektronische Beeinflussung der Meßelektroden bei dieser Anordnung nicht völlig ausgeschlossen werden kann, ist die zwar materialaufwendigere aber elektronisch abgeschirmte Einordnung der Meßelektroden in getrennte Rohrleitungen ebenfalls möglich (Bild 4).
Die Messung der einzelnen Beschaffenheitskriterien wird wie folgt durchgeführt:

Abb. 1:

Übersicht zur Prozeßführung in der mittleren Saale

M 1:500 000

Die Leitfähigkeit wird mit dem Gerät LM 201 des VEB Hydromat Bannewitz gemessen. Das Gerät besitzt eine Temperaturkompensation von maximal ± 20 °C. Für jeden Pegel war eine Anpassung des Meßbereiches an die aufgetretene Salzkonzentration notwendig.

Das Gerät LM 201 hat einen nichtlinearen Ausgang von 0 . . . 150 A. Durch einen Meßumformer wird ein Gleichstrom von 0 . . . 5 mA erzeugt, der über Anpassungsbausteine in die BMSR-Einheit der ZME 241 eingespeist werden kann.

Die Temperatur wird mit Hilfe eines Widerstandsthermometers Pt 100 gemessen (Hersteller VEB Thermometerwerk Geraberg). Dieser Meßwertgeber wird direkt an den BMSR-Schrank angeschlossen.

Der pH-Wert wird durch ein pH-Meter MV 830 der Firma Clamann und Grahnert mit einem Arbeitstemperaturbereich von 0–50 °C und einem Meßbereich $4 < pH < 9$ gemessen.
Als Elektroden werden die Glaselektroden TGA 50 und die Silber/Silberchlorid-Elektrode TSE 20 vom Forschungsinstitut Meinsberg verwendet.

Das zur Zeit zur O_2-Messung eingesetzte Meßgerät M 65 F des VEB Metra-Meß- und Frequnztechnik Radebeul ist nicht temperaturkompensiert und nicht zweckmäßig, da es ursprünglich nur für Laborbetrieb entwickelt wurde.

Hersteller des zum Einsatz vorgesehenen Wasserprobenahmegerätes WPG 24 ist der VEB Kombinat Technisches Glas Ilmenau – Betrieb Glaswerke Ilmenau. Das Gerät ist mit 24 Flaschen zu je 1000 cm^3 bestückt, wobei die Füllzeit der Flaschen und die Anzahl der zu füllenden Flaschen eingestellt werden können. Bei Grenzwertverletzungen wird das WPG von der Zentrale aus gestartet.

4.3.6 Meßwertfernübertragung

Das Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystem im Bereich der mittleren Saale ist so konzipiert worden, daß sowohl eine kontinuierliche automatisierte Meßwertübertragung erfolgen als auch von der Zentrale aus bei Bedarf auf Abruf eine Übertragung durchgeführt werden kann.

Von der Zentrale wird nach dem automatischen oder per Hand erfolgten Start die erste Adresse bzw. der erste Befehl für einen Meßwert ausgegeben. Dieser Befehl wird in der FCS-Sendekassette im BMSR-Schrank in ein Niederfrequenzgemisch gewandelt. Das NF-Gemisch wird im Funkgerät auf die Ultrakurzwelle der vorgegebenen Sendefrequenz moduliert und zur Relaisstation bzw. bei kurzen Entfernungen zum Pegel direkt gesendet.

Die Relaisstation, die die Verbindung zu ein bis fünf Pegeln her-

stellen kann, sondert den anstehenden Befehl aus und schaltet über ein Antennenrelais die notwendige Richtantenne zum gewünschten Pegel ein, so daß die Funkverbindung zwischen Zentrale und Pegel hergestellt ist (Bild 5). Im Pegelhaus erfolgt nach dem Empfang des Funkimpulses die Demodulation des NF-Gemisches und in der FCS-Empfangskassette die Rückverwandlung in die Meßstellenadresse. Die Meßstellenadresse schaltet über einen Meßstellenschalter das gewünschte Meßgerät an. Die Ermittlung der Meßwerte erfolgt im Pegelhaus, wobei Wasserstand und die Gütekriterien in getrennten Wasserkreisläufen gemessen werden. Jedes Pegelhaus besteht aus dem sogenannten Elektronikraum und je nach Art der zu übertragenden Meßwerte aus dem Meßraum für die Wassergüte und dem Raum für die Wasserstandsmessung.

Für die Messung des Wasserstandes wird die Verbindung zwischen Gewässer und Schwimmerschacht im Pegel durch einen Heber mit Vakuumbehälter hergestellt. Im Schwimmerschacht wird der Wasserstand, der sich über den Heber mit dem des Gewässers ausspiegelt, über Schwimmer und Gegengewicht auf den digitalen Fernpegel DFP 73 übertragen und von dort als elektrischer Impuls in das Übertragungssystem eingespeist.

Der Wasserkreislauf für die Messung der Gütekriterien beginnt im Gewässer im Entnahmebauwerk. Das Wasser wird durch das Entnahmebauwerk über einen Spiralsaug- oder PE-Schlauch durch eine Pumpe im Pegelhaus angesaugt und in den Geberkasten gepumpt. Im Geberkasten befinden sich die Meßelektroden der einzelnen Meßgeräte. Aus dem Geberkasten fließt das Wasser über einen Überlauf durch ein Gerinne in das Gewässer zurück. Der Regengeber befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft des Pegels. Die Regengaben werden als elektrische Impulse ebenfalls unmittelbar in den BMSR-Schrank des Pegels zur Fernübertragung eingespeist.

Während die Meßgeräte zur Erfassung des Wasserstandes und des Niederschlages digitale Meßwerte liefern, sind bei den Meßgeräten für Leitfähigkeit, Sauerstoff, Temperatur und pH-Wert die Meßwerte analog. Deshalb ist für diese Geräte im BMSR-Raum ein Analog-Digital-Umsetzer zwischengeschaltet, so daß generell digitale Meßwerte zur Zentrale übermittelt werden. Das Übermitteln des Befehls von der Zentrale und des Meßwertes erfolgt über je einen Kanal, deshalb sind 2 Frequenzen bzw. Frequenzkanäle notwendig (Duplexbetrieb).

Die Übertragung des abgefragten Meßwertes vom Pegel zur Zentrale erfolgt über die beschriebene Funkbrücke auf dem zweiten Kanal.

In der Zentrale wird der Meßwert in drei Formen erfaßt:

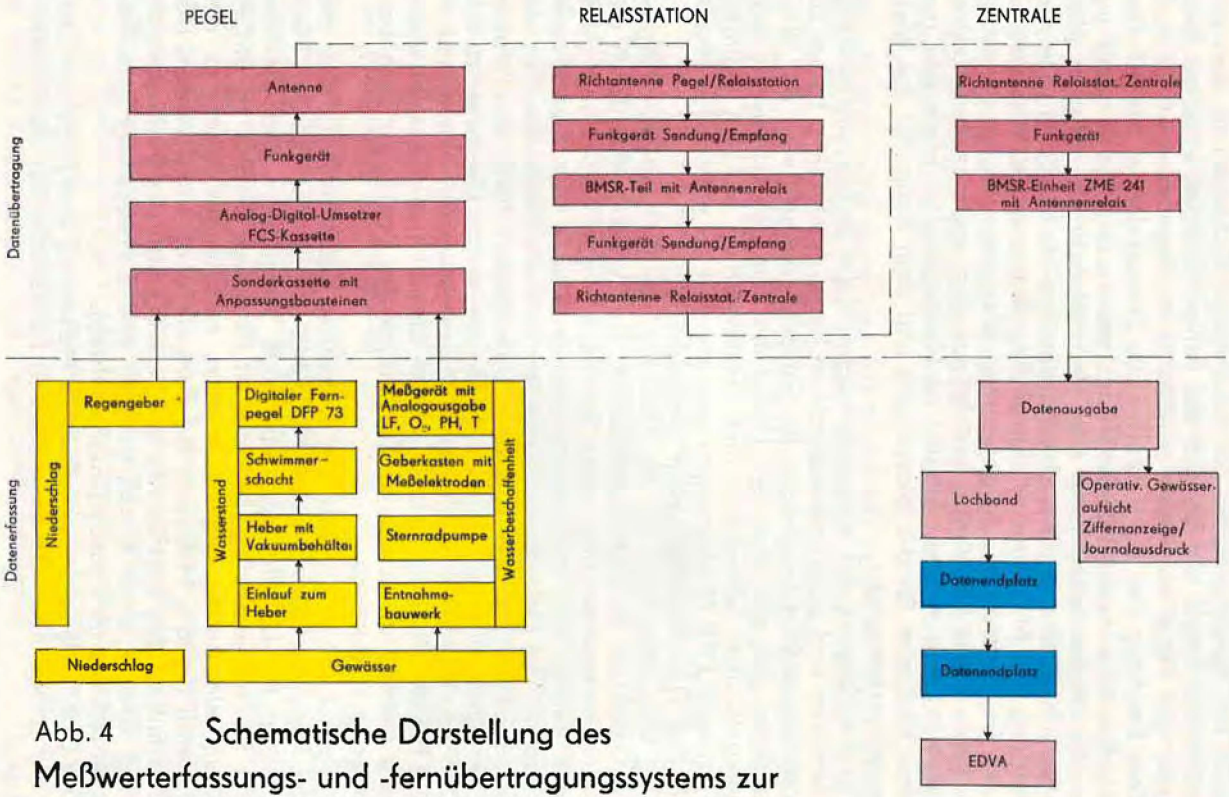


Abb. 4 Schematische Darstellung des Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystems zur Prozeßbeobachtung im Flußgebiet der mittleren Saale

– in der Leuchtziffernanzeige für den Dispatcher,
– als Journalausdruck für die Grenzwertkontrolle,
– als Lochband für die weitere EDV.

Die beiden ersten Darstellungen ermöglichen die unmittelbare operative Gewässerkontrolle der Beschaffenheit und des Durchflusses in Extremsituationen, wobei eine zusammenfassende aktuelle Darstellung des gesamten Flußgebietes in einem Tableau mit kartographischen und Gangliniendarstellungen zweckmäßig ist. Das in der Zentrale hergestellte Lochband wird über die drahtgebundene Datenfernübertragungseinrichtung DFE 200 des VEB Kombinat Meßgerätewerk Zwönitz zur Rechenstation übertragen.

Dazu wird das öffentliche Fernsprechnetz genutzt. Um hohen Sicherheitsansprüchen bei der Übertragung zu genügen, ist ein Fehlerkorrektur- und Vergleichsgerät mit einzusetzen. Mit der Anlage können bei frei wählbarer Übertragungsgeschwindigkeit von 50 bis 200 Baud Lochbänder mit 5 bis 8-Kanal-Codierung übertragen werden.

Damit stehen die mit Hilfe des automatischen Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystems ermittelten Daten für die EDVA zur Verfügung.

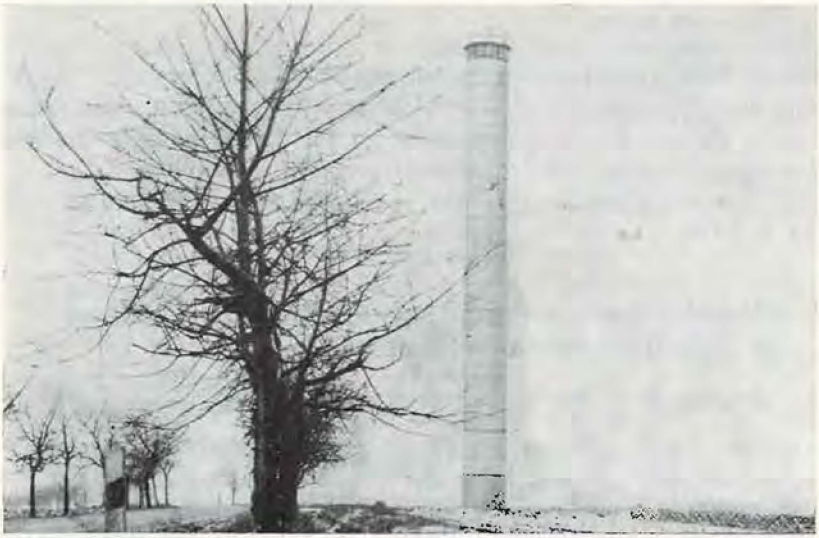


Bild 5 Relaisturm

4.3.7 Einbeziehung konventionell ermittelter und übertragener Daten

In Abhängigkeit vom Ausbaugrad des beschriebenen Meßnetzes erfolgt von einzelnen Pegelstationen im Probebetrieb noch eine konventionelle Datenübermittlung im Rahmen des hydrologischen Meldedienstes.

In gleicher Weise gelangen die mit dem Meteorologischen Dienst der DDR vereinbarten Informationen zum Rechenzentrum, und zwar

- die aktuellen Niederschläge der letzten 24 Stunden in 6 h- (12 h-) Intervallen,
- die aktuellen Wasserabgabewerte einer abschmelzenden Schneedecke der letzten 24 Stunden in 6 h- bzw. 12 h-Intervallen,
- die vorhergesagten Niederschläge der zukünftigen 24 Stunden in 3 h-Intervallen, der weiteren 24 Stunden in 6 h-Intervallen, der weiteren 72 Stunden als qualitative Angaben,
- die vorhergesagten Wasserabgabewerte einer abschmelzenden Schneedecke der zukünftigen 24 Stunden in 3 h-Intervallen, der weiteren 24 Stunden in 6 h-Intervallen, der weiteren 72 Stunden als qualitative Angaben

unter Einbeziehung von Wetterradarbeobachtungen der Wetterradarstation Leipzig als Gebietsmittelwerte für die Hauptabfluß-entstehungsgebiete

- Loquitz,
- Schwarza,
- Ilm,
- Wipper (thüringische Wipper).

Mit der Einbeziehung der derzeit noch konventionell ermittelten Daten stehen alle Eingangswerte für die Rechenprogramme der Prozeßvorhersage und Prozeßsteuerung zur Verfügung.

Die Datenbereitstellung in der skizzierten Form erfolgt seit dem 15. 3. 1976.

5. Modellsystem zur Prozeßvorhersage und -steuerung im Gebiet der mittleren Saale

5.1 Grundaufbau des Modellsystems

Als ein möglicher Weg zur Erreichung der erforderlichen Effektivitätssteigerungen mit Hilfe der Prozeßsteuerung im Flußgebiet der mittleren Saale wurde die Entwicklung eines nach wissenschaftlichen Erkenntnissen aufgebauten Modell- und Rechenprogrammsystems angesehen, das in Verbindung mit einem entspre-

chenden leistungsfähigen System zur anforderungsgemäßen Erfassung, Fernübertragung und Verarbeitung der für die Vorhersage- und Steuerungsberechnungen benötigten Eingangsdaten praxisnutzbar gemacht wird. Ausgehend davon, daß Aufgaben der Vorwärtssteuerung zu lösen sind, ermöglicht dieses Modellsystem in erster Linie eine umfassende und genaue Vorhersage der zu berücksichtigenden Prozeßabläufe. Dabei war zu beachten, daß es sich beim interessierenden Flußgebiet um ein System mit mehreren verteilten steuerbaren Eingängen (Speicherabgaben und Salzabwassereinleitungen) und verteilten zeitlichen Zuflüssen (Störgrößenfunktionen = Zwischengebietsabflüsse) handelt. Wegen dieser Systemeigenschaften, des bestehenden Interesses an Informationen (Vorhersagen) über die Systemzustände entlang der o. g. Wasserläufe (Durchflüsse, Salzkonzentrationen) und der Forderung der Hochwassersteuerung, bestimmte Grenzwerte des Durchflusses im Längsschnitt dieser Wasserläufe nicht zu verletzen (verteilte Zielparameter), ergibt sich die Notwendigkeit des Aufbaues eines räumlich gegliederten Modells.

Als eine geeignete Modellform wurde die der Reihenschaltung von separaten Blocksystemmodellen gewählt. Diese Modelle werden sequentiell so angeordnet, daß der berechnete Ausgang eines Teilsystems jeweils als Eingang des nächstfolgenden Teilsystems dient.

5.2 Struktur des Modellsystems

Unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung der vorhandenen Pegel, Stellglieder und Steuerquerschnitte, erfolgte eine Untergliederung des Bearbeitungsgebietes in folgende Teilsysteme (vgl. Abb. 1 und 2):

- Saaleteilabschnitte
  1. Kaulsdorf–Rudolstadt 23 km
  2. Rudolstadt–Camburg 71 km
     (Teilstrecke Rudolstadt–Rothenstein) 34 km
  3. Camburg–Saaleck 8 km
  4. Saaleck–Naumburg * 15 km
  5. Naumburg–Bad Dürrenberg * 32 km
- Unstrutteilabschnitte
  1. Straußfurt–Oldisleben * 37 km
  2. Oldisleben–Laucha * 63 km
     (Teilstrecke Oldisleben–Artern) 12 km
- Helmeabschnitt Bennungen–Nikolausrieth 36 km
- Wipperabschnitt Hachelbich–Mündung * 29 km

Für diese 11 Flußteilabschnitte waren Flußlaufmodelle zu entwikkeln, die eine Vorherberechnung der in ihnen ablaufenden Durchflußprozesse ermöglichen, wobei von vorgegebenen Zuflüssen ausgegangen wird. Für die mit * gekennzeichneten Flußabschnitte waren außerdem Stofftransportmodelle zur Vorherberechnung der Salzkonzentrationsverhältnisse an allen interessierenden Pegeln erforderlich.

Die in den betrachteten Flußteilstrecken ablaufenden Prozesse können wesentlich beeinflußt werden durch die Zuflüsse aus den angrenzenden Zwischengebieten (Störgrößen), die deshalb bei der Modellierung berücksichtigt werden müssen. Nicht alle Zwischengebiete haben die gleiche Bedeutung. Besondere Störeinflüsse, z. T. in Form kurzfristig und stark variierender Zuflüsse, sind aus folgenden 4 Nebenflußgebieten möglich (Hauptabflußentstehungsgebiete):

1. Loquitz (Pegel Kaulsdorf-Eichicht) 366 km²
2. Schwarza (Pegel Bad Blankenburg-Weidmannsheil) 361 km²
3. Ilm (Pegel Niedertrebra) 912 km²
4. Wipper (Pegel Hachelbich) 524 km²

Deshalb wurden für diese Gebiete besonders detaillierte Einzugsgebietsmodelle konzipiert, die eine kontinuierliche Abflußvorhersageberechnung, ausgehend von vorgegebenen Niederschlags- und Verdunstungswerten, ermöglichen.

Von den übrigen Nebenflußgebieten sind folgende drei beachtenswert:

1. Orla (Pegel Freienorla) 255 km²
2. Roda (Pegel Zöllnitz) 254 km²
3. Zwischengebiet der Unstrut zwischen den Pegeln Straußfurt, Hachelbich und Oldisleben (Helbe, Gramme, Lossa) 1583 km²

Diese Nebenflußgebiete werden mit relativ einfachen Modellen behandelt. Der Einfluß der restlichen Zwischengebiete wird direkt in den Flußlaufmodellen berücksichtigt.

Eine Übersicht über das sich ergebende Gesamtmodell vermittelt Abb. 5. In Abb. 5 sind auch die zu berücksichtigenden Stellglieder mit dargestellt:

- die Saaletalsperren (Bleiloch, Hohenwarte) mit 186,7 Mio m³ wasserwirtschaftlich nutzbarem Inhalt
- die Talsperren Straußfurt und Kelbra mit 69,0 Mio m³ Inhalt
- die Salzabwasserstapeleinrichtungen im Wippergebiet (Stapelbecken Wipperdorf, Stapeltankanlage Sondershausen) mit 0,8 Mio m³ Inhalt.

5.3 Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit des Modellsystems

Die Einsatzmöglichkeiten und die Leistungsfähigkeit des Modellsystems und des ihm entsprechenden Rechenprogrammsystems, auf dessen EDV-technische Gestaltung im folgenden Kapitel noch eingegangen wird, können zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden:

- Erstmals wurde für ein Flußgebiet der DDR ein einheitliches, geschlossen auf EDVA abarbeitbares Rechenprogrammsystem zur Berechnung von Durchfluß- und Salzkonzentrationsvorhersagen für alle interessierenden Pegel zur optimalen operativen Steuerung der vorhandenen wasserwirtschaftlichen Großanlagen fertiggestellt.
- Das Programmsystem verwendet aktuelle Beobachtungsdaten, die über das im Flußgebiet der mittleren Saale in Betrieb genommene Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystem der WWD Saale – Werra sowie über den Meteorologischen Dienst der DDR zur WWD in Halle gelangen. Damit sind erstmalig in der DDR die Voraussetzungen für den operativen Einsatz eines integrierten Datenerfassungs-, -übertragungs-, -verarbeitungs-, Vorhersage- und Steuerungssystems in einem volkswirtschaftlich bedeutenden und bis an die Belastungsgrenzen wasserwirtschaftlich beanspruchten Flußgebiet gegeben.
- Das Programmsystem stellt ein den Praxisanforderungen im Gebiet der mittleren Saale entsprechendes modernes Leitungsinstrument dar und ist als Beitrag zur sozialistischen Intensivierung zu werten, indem es die rationelle Nutzung der im Gebiet verfügbaren Wasserressourcen bei optimaler Auslastung und effektivem Einsatz der zur Prozeßsteuerung einsetzbaren Grundfonds, speziell der wasserwirtschaftlichen Großanlagen, wie Talsperren, Stapelbecken und -tanks, ermöglicht.
- Kernstück des entwickelten Programmsystems sind mathematische Modelle und moderne wissenschaftliche Methoden der Operationsforschung, Systemhydrologie und Optimierungstechnik.
- Das Programmsystem, das alle zur Vorhersage der hydrologischen und Salzkonzentrationsverhältnisse im Gebiet der mittleren Saale notwendigen Berechnungen selbständig ausführt, zeichnet sich dadurch aus, daß erstmals
  - mathematische Modelle entwickelt und verwendet wurden, die kontinuierlich einsetzbar sind, d. h., in jeder beliebigen Situation, wie Niedrig-, Mittel-, Hochwasser, unter Sommer- und Winterbedingungen, bei Regen oder Schneeschmelze, bei stationären und instationären Bedingungen usw.,
  - die vom MD der DDR ermittelten Vorhersagen der Nieder-

schläge für die bevorstehenden 2 Tage und Vorausschätzungen für weitere 3 Tage berücksichtigt werden.

– Unter Beachtung der Tatsache, daß die hydrologischen Systeme analog anderen Natursystemen zeitvariant sind, d. h., ihre Eigenschaften sich im Laufe der Zeit ändern (jahreszeitlich, Trends usw.), sind bei den meisten Teilprogrammen automatisch oder halbautomatisch arbeitende Prozeduren zur „Nachführung" der Modellparameter oder -zustandsgrößen angekoppelt worden. Durch sogenannte Modellkorrekturen (Aktualisierungen) wird eine optimale Anpassung der Berechnungswerte an die jeweiligen aktuellen Beobachtungsdaten erreicht. Versuchsweise wurden dabei zwei Wege beschritten:

  a) automatische programminterne Modellkorrektur mit Hilfe von Optimierungsverfahren mit der Zielfunktion der Minimierung eines vorgegebenen Abweichungsmaßes zwischen beobachteten und berechneten Werten der vergangenen 5 Tage,

  b) Parameterkorrekturen durch den diensthabenden Hydrologen auf Grund des optischen Vergleiches der vom Programm ausgedruckten Beobachtungs- und Berechnungsganglinien.

  Hierbei handelt es sich um ein groß angelegtes Forschungsexperiment, das bei den Testrechnungen noch nicht abgeschlossen werden konnte. Es muß im Probe- und Dauerbetrieb fortgesetzt werden. Erweist sich dieses Experiment als erfolgreich, so ist damit erstmalig die Anwendbarkeit adaptiver mathematischer Modellsysteme für operative Vorhersage- und Steuerungsaufgaben der Wasserwirtschaft bewiesen und ein Instrument zur Erzielung höchstmöglicher Vorhersagegenauigkeiten, die für die Durchführung effektiver Steuerungs- und Schutzmaßnahmen besonders wichtig sind, geschaffen worden.

– In Abstimmung mit dem Anwender wurde das Programmsystem so aufgebaut, daß es mit einem „Zeitfenster" von 10 Tagen arbeitet (5 Tage Vergangenheit, 5 Tage Zukunft) und bei jeder Durchrechnung 5tägige Durchfluß- und Salzkonzentrationsvorhersagen berechnet. Im normalen Routinebetrieb werden die Rechnungen einmal täglich durchgeführt, wobei das Zeitfenster jeweils um 24 h verschoben wird. In kritischen Situationen kann die Vorhersageerarbeitung im 12 h- oder 6 h-Rhythmus erfolgen.

– Auf der Grundlage der berechneten 5tägigen Vorhersagen werden unter Einsatz iterativer deterministischer Optimierungstechniken die zur Sicherung der Brauchwasserversorgung der Hauptnutzer in diesem Gebiet erforderlichen operativen Steuerungsmaßnahmen durch das Programm automatisch ermittelt.

  Es sind dies

  für die Salzlaststeuerung:

  • Abstoßvorgaben (maximal zulässige Salzabwassereinleitungs-

mengen) für die Kaliindustrie im Wippergebiet, jeweils für die bevorstehenden 24 h,
- auf Wunsch auch Abstoßvorgaben für das Kaliwerk Roßleben (als Haupteinleiter an der unteren Unstrut),
- notwendige Zuschußwasserabgaben der Saaletalsperren (als Zeitfunktion = Steuerfunktion) zur Verhinderung von Überschreitungen des vorgegebenen Härtegrenzwertes der Hauptnutzer an der mittleren Saale von 40 °dH am Bezugspegel Dürrenberg/Daspig,

für die Hochwassersteuerung:
- Zeitfunktionen (Steuerfunktionen) der maximal zulässigen Abgaben der Saaletalsperren während des Ablaufes von Hochwässern, bei deren Realisierung die im Längsschnitt der Saale vorgegebenen Ausuferungsdurchflüsse eingehalten, d. h. nicht überschritten werden (außer durch nicht steuerbare Nebenzuflüsse aus Loquitz, Schwarza usw.),
- Zeitfunktionen (Steuerfunktionen) der zur Vor- und Wiederentlastung der Saaletalsperren maximal zulässigen Talsperrenabgaben,
- die resultierenden Vergrößerungen und Reduktionen des Talsperreninhaltes.

– Mit den durch den Rechner in Ganglinienform erfolgenden Ausdrucken der Berechnungsergebnisse wird dem verantwortlichen Regionalorgan der Wasserwirtschaft ein sofortiger, anschaulicher Überblick über die Abfluß- und Salzkonzentrationsverhältnisse im Großeinzugsgebiet der mittleren Saale vermittelt. Dies hat den Vorteil, daß
  - kritische Situationen und Entwicklungen frühzeitig erkannt,
  - die Auswirkungen der im Programm als optimal ermittelten Steuerungen im Längsschnitt der Flüsse kontrolliert,
  - Einschätzungen der Qualität bzw. Genauigkeit der berechneten Vorhersagewerte durch den Vergleich mit den jeweils eingegangenen Beobachtungswerten vorgenommen,
  - fehlerhafte Beobachtungsdaten leichter erkannt werden können.
– Nach Durchsicht und Bestätigung der vom Rechner ausgegebenen Ergebnisse können diese von der WWD direkt an die zuständigen Dispatcherzentralen (Kalidispatcher, Talsperrenmeisterei) weitergeleitet und zur operativen Durchführung angewiesen werden.
– Der Einsatz menschlicher Arbeitskraft kann damit auf die Wartung und Instandhaltung des automatisierten Meßnetzes, auf die Betreuung des Rechenablaufes am Rechner, auf die Bereitstellung, Prüfung und ggf. Korrektur der Eingangsdaten und auf die Prüfung und Bestätigung des Berechnungsergebnisses be-

schränkt werden, was als Rationalisierungsmaßnahme zu werten ist.

– Insgesamt ist einzuschätzen, daß mit dem vorliegenden Modellsystem und dem in Betrieb genommenen Meß- und Fernübertragungssystem neue Dimensionen der operativen Tätigkeit der Wasserwirtschaft in Flußgebieten erreicht werden konnten, neue Ergebnisse von Wissenschaft und Technik direkt praxisnutzbar gemacht wurden und ein wichtiger Beitrag zur Intensivierung geleistet wurde.

6. Einsatz der EDV

Im Rahmen der Prozeßführung mittlere Saale erfolgt der EDV-Einsatz so, daß die erforderlichen Vorhersage- und Steuerungsberechnungen im Normalfall täglich einmal unter Verwendung der pro Tag gesammelten Daten berechnet werden.

In kritischen Situationen – also bei erhöhten Informationsbedürfnissen und genauen Steuerungsanforderungen – wird der Abarbeitungs- und gegebenenfalls Steuerrhythmus auf zwei- oder viermal täglich erhöht, wobei die Informationsdichte von 1 Meßwert/2 h sowohl für die Erfassung der Wassermenge als auch der Wasserbeschaffenheit gleich bleibt.

Bei der Festlegung der Informationsdichte gelten als Hauptentscheidungskriterien der Grad der zeitlichen Variabilität der Beobachtungsdaten, der Umfang der zu verarbeitenden Informationen und die Möglichkeiten der Datenspeicherung.

Der für die Abarbeitung des Programmsystems „Prozeßführung mittlere Saale" (PROSA) notwendige Informationsumfang und Rechenaufwand erfordert eine mittelschnelle EDVA, die über eine umfangreiche Speicherkapazität verfügt. Das KRS 4200 mit 4 externen Magnettrommeln mit kurzer Zugriffszeit erfüllt diese Forderung. Der zur Verfügung stehende Rechner bestimmt die Struktur der programmtechnischen Realisierung des die wasserwirtschaftlichen Vorgänge beschreibenden mathematischen Modellsystems.

Wegen der gleitenden Projektierung und durch die vorgegebene Rechnerkonfiguration wurden die notwendigen Teilprogramme als Hauptprogramme geschrieben, wobei durch ein Rahmenprogramm Protokollausschriften erfolgen, die über den jeweiligen Stand der Abarbeitung, die der wasserwirtschaftlichen Situation entsprechende Aufeinanderfolge der Teilprogramme sowie Teilergebnisse und Steuerungsanweisungen Auskunft geben.

Die Struktur des Programmsystems PROSA (10 Teilprogramme) ist mit der Struktur des in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Modellsystems identisch und lediglich um einige EDV-spezifische Teilprogramme erweitert (Tab. 3).

In Übereinstimmung mit dem im hydrologischen und meteorologischen Bereich international üblichen Beobachtungstermin wurde der Hauptbezugszeitpunkt 7.00 Uhr gewählt. Das ist der letzte berücksichtigte Meßwert bei einem Abarbeitungsintervall von 24 h. Das Abarbeitungsintervall kann auf Anforderung in entsprechenden Situationen auf 12 h (letzter berücksichtigter Meßwert 19.00 oder 7.00 Uhr) oder auf 6 h (letzter berücksichtigter Meßwert 7.00, 13.00, 19.00 oder 1.00 Uhr) verkürzt werden.

Die Datenbasis für die Modelle bzw. Rechenprogramme bildet ein 10-Tage-Zeitfenster, das aus 5 Tagen Vergangenheit (mit den vorliegenden Beobachtungsdaten) und 5 Tagen Zukunft (Vorhersagewerte) für Durchfluß, Gesamthärte bzw. Gesamtsalzgehalt und Niederschlag besteht.

Nach jeder Abarbeitung des Programmsystems wird das 10 d-Zeitfenster aktualisiert, d. h. um das Abarbeitungsintervall auf der Zeitachse verschoben.

In jedem Fall sind die verwendeten Modelle sehr empfindlich gegenüber falschen oder verfälschten Meßdaten. Die erste Stufe der Datenverarbeitung umfaßt deshalb die Kontrolle und Freigabe der Daten zur weiteren Verarbeitung (vgl. Abb. 3), um menschliche Irrtümer, Instrumenten- und Anlagenfehler auszuschalten, sowie die Meßgrößen in die gewünschten Rechengrößen zu transformieren.

Die Datensicherung, also Fehlerkontrolle und -behandlung hat sich nach den bisherigen Erfahrungen als eine sehr bedeutsame Aufgabe erwiesen, weil erst durch eine gesicherte Datenbasis die Wirksamkeit des Modellsystems gewährleistet werden kann.

Eine Messung wird durch Ort, Zeit und Art der Beobachtung gekennzeichnet, so daß der Informationsträgeraufbau diese Fakten enthalten muß. Außerdem wurde ein Kennzeichen aufgenommen, das die Projektkennung (= Prozeßführung mittlere Saale) und die Jahresangabe enthält. In einer dreistelligen Meßstellennummer sind die Ortskennung und die Art der Beobachtung zusammengefaßt. Dabei sind die ersten beiden Zahlen der Ortskennung und die dritte der Art der Beobachtung vorbehalten, so daß die Übertragung 10 verschiedener Meßkriterien möglich ist.

Als Informationsträger wird das Lochband benutzt. Der Datenträgeraufbau hat die in Abb. 6 gezeigte Form. Eine Meldung besteht aus Meßstellennummer und Meßwert. Eine Abfrage aller zum Informationssytem gehörenden Pegel umfaßt einen Datensatz, der mit „Projektkennung/Jahr", „laufende Tagesnummer im Jahr" (für Tag und Monat) und „Uhrzeit" beginnt und durch „laufende Tagesnummer", „Uhrzeit" und „Jahr" abgeschlossen wird. Je nach Abarbeitungsrhythmus kann ein Lochband 3 bis 12 Sätze enthalten.

Das Lochband wird in der „Zentralen Meßwerterfassungsanlage" (ZME 241) im R 300-Code erzeugt. Die Ausgabe erfolgt grundsätzlich in Festkommadarstellung. Eine Meldung wird in der Lochersteuerung der ZME auf Parität der Lochungen überprüft. Tritt ein Paritätsfehler auf, wird nach der fehlerhaften Meldung ein Irrungszeichen mit Worttrennzeichen ausgegeben. Bei dem Zeichen Irrung, Worttrennzeichen, Satztrennzeichen, Projektkennung/Jahr selbst erfolgt keine Paritätsprüfung.

Wird bei der Übertragung eines Meßwertes in der allgemeinen Steuerung der ZME oder bei einer Unterstation ein Fehler erkannt, wird der Meßwert in einer Meldung unterdrückt und dafür Null ausgegeben.

Am Anfang des Lochbandes werden zwei Fehlersätze von Hand eingegeben. Hier werden im Fehlersatz I Pegelabschaltungen (bei Eichung, Reparatur usw.) und im Fehlersatz II einzelne Meßkriterien gekennzeichnet, die dem Wartungsingenieur als fehlerhaft bekannt geworden sind.

Darüber hinaus wird die Zuverlässigkeit der digital übertragenen analogen Meßwerte durch eine Testmeldung kontrolliert, die einen konstanten, digitalen Meßwert von 305 ± 5 besitzt. Wird bei irgendeinem Pegel die Toleranzgrenze verletzt, so sind die Analogwerte mit hoher Wahrscheinlichkeit fehlerbehaftet.

Eine weitere Kontrolle erfolgt durch die Satzprüfung, bei der die Anzahl der Sätze entsprechend des Abarbeitungsrhythmus auf Vollzähligkeit geprüft wird. Bei einer Vollständigkeitskontrolle werden die von der ZME eingehenden Sätze auf Vollzähligkeit der Pegel und der lokal vorhandenen Meßkriterien überprüft.

In der Projekt- und Zeitprüfung wird getestet, ob das dem Projekt entsprechende Lochband zum richtigen Zeitpunkt zur Programmabarbeitung verwendet wird.

Weil die Meßgrößen nicht in jedem Falle identisch sind mit den Rechengrößen, werden die Meßwerte nach dem Kontrollprogramm, das die oben angeführten Tests enthält, einem Sortier- und anschließend einem Aufbereitungsprogramm übergeben.

Hier werden die für die Prozeßführung notwendigen Meßkriterien an den entsprechenden Pegeln aussortiert und in die Rechengrößen mit Hilfe von Zuordnungsvektoren umgewandelt:

Wasserstand in Durchfluß und Leitfähigkeit in Gesamthärte bzw. Gesamtsalzgehalt. Das Programmsystem „Datenkontrolle und Aufbereitung" (DAKO) ist damit abgeschlossen.

Für den weiteren Verarbeitungsweg mußten notwendigerweise zwei Varianten konzipiert werden, weil die für die Abarbeitung des Programmsystems PROSA erforderlichen Systemunterlagen des KRS 4200 nicht rechtzeitig zur Verfügung standen.

Reihenfolge der Abarbeitung	Kurzname des Teilprogramms	Aufgabe des Teilprogramms
0	KON	Beginn bei Erstabarbeitung (Startrechnung); Herstellung der Anfangsbedingungen und Abspeicherung der Stammdaten auf Trommelspeicher
1	DAT	Beginn im Routinebetrieb (mindestens 1 Abarbeitung pro Tag); Eingabe der Bewegungsdaten und Aktualisierung des 10 d-Zeitfensters
2	GALI	Ausgabe der vorliegenden Beobachtungsdaten (5 d Vergangenheit) und der Vorhersagewerte (5 d Zukunft) in Ganglinienform
3	EMOD	Durchflußvorhersagen für 5 d, ausgehend von beobachteten und vorhergesagten Niederschlägen mit Hilfe eines Einzugsgebietsmodells
4	REG	Vereinfachte Abflußvorhersage für beobachtete und unbeobachtete Nebenflußgebiete mit Hilfe eines rekursiven Regressionsalgorithmus
5	FASA	Flußabschnittsweise Transformation der vorhergesagten Einzugsgebietsabflüsse und Talsperrenabgaben bis zum Nutzungsquerschnitt mit Hilfe von Wasserlaufmodellen
6	HWSS	Bei Überschreitung kritischer Durchflüsse in der Saale (bei Abarbeitung von FASA) werden durch das HW-Steuerungsprogramm Steueranweisungen für Talsperren (TS-Abgaben) berechnet, um die Durchfluß-Grenzwerte im Wasserlauf nicht zu überschreiten
7	HWSU	wie HWSS, aber für die Unstrut
8	SALZ	Ausgehend von Beobachtungsdaten: Ermittlung von Vorhersagen der Konzentration (°dH) bis zum Nutzungsquerschnitt mit Hilfe eines Stofftransportmodells. Ausgehend vom natürlichen Regime: Berechnung des möglichen Salzwasserabstoßes durch die Kaliindustrie (kg CaO/s)
9	STEU	Berechnung der Zuschußwasserabgabe (Steuerwelle) aus den Saale-TS bei Überschreitung des Grenzwertes von 40° dh im Nutzungsquerschnitt und Korrektur der dadurch beeinflußten Durchflußganglinien

Tab. 3: Übersicht des Modellsystems PROSA

1. Das von der ZME ausgegebene Lochband wird mittels der Übertragungseinrichtung DFE 200 zum Standort des KRS 4200 übertragen, was speziell nur bei getrenntem Standort von ZME und EDVA erforderlich ist (vgl. Abb. 4), in DAKO aufbereitet und sofort zusammen mit den konventionell gemessenen und übertragenen Daten zu Bewirtschaftungsentscheidungen in PROSA verarbeitet.
2. Das von der ZME erstellte und mit DFE 200 übertragene Lochband wird mit DAKO im KRS 4200 oder C 8205 aufbereitet. Die Daten werden dann zusammen mit den konventionell erfaßten Werten durch ein Zusatzprogramm auf ein 5-Kanal-FS-Band ausgegeben, das dann über Telex zum Standort eines ODRA 1204 übertragen werden kann. Dort kann das ODRA-gerecht aufgebaute Band sofort mit PROSA weiterverarbeitet werden.

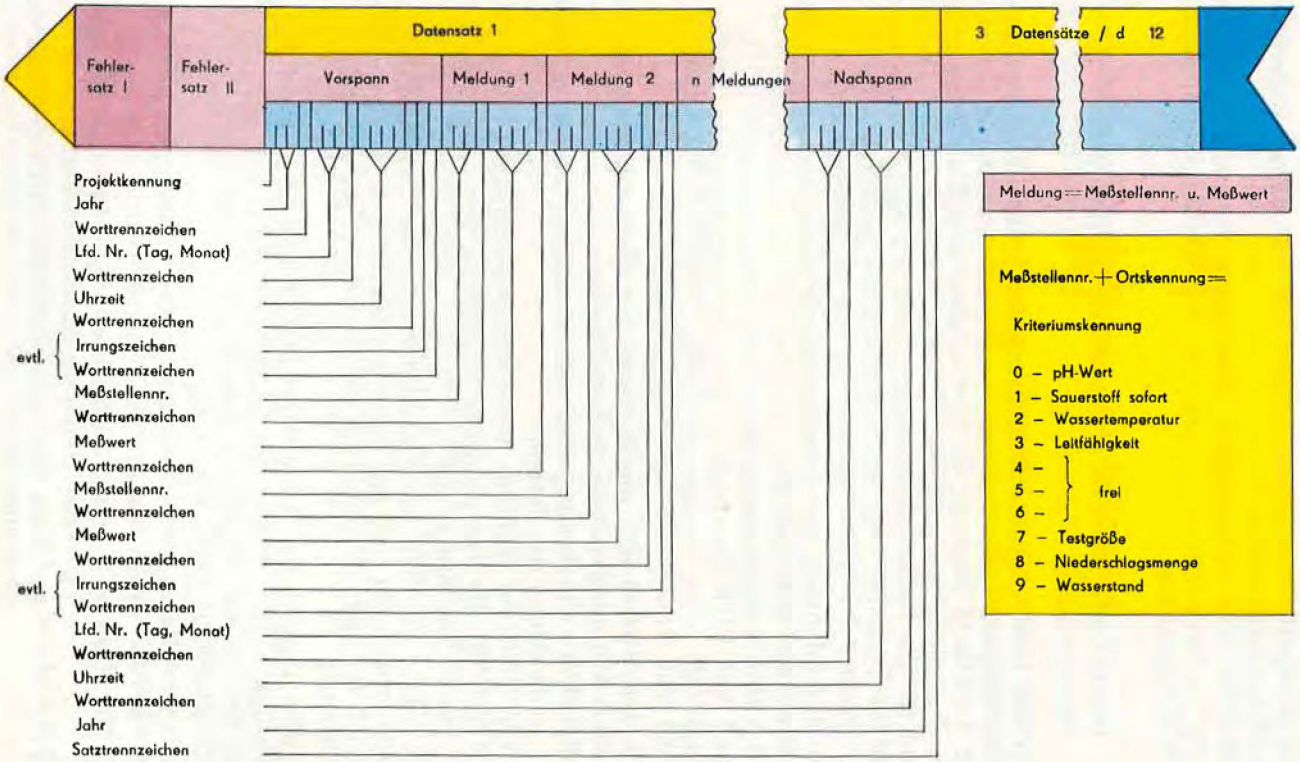
Zur Zeit wird nur die 2. Variante praktiziert. Die Konzeption zweier Varianten bietet den Vorteil, daß auch später bei Havarien kurzfristig ein zweiter Rechner zur Verfügung steht.

Ein wesentlicher Vorzug der 2. Variante besteht darin, daß durch die komfortablere Ausgabeperipherie der ODRA 1204 (Paralleldrucker) gegenüber dem KRS 4200 (Seriendrucker) ein umfangreicherer Ganglinienausdruck möglich ist, so daß in komplizierten wasserwirtschaftlichen Lagen ein schneller Überblick der Gesamtsituation erreicht wird. Dadurch ist eine fundierte Beurteilung der Meßgrößen und Entscheidungen durch Dispatcher und Fachleute möglich. Gerade die Möglichkeit dieser zusätzlichen visuellen Datenkontrolle im Längsschnittverhalten, die keine Meßbereichskontrolle ersetzen kann, hat sich bisher bewährt. Ein Nachteil besteht in der aufwendigen Rückübermittlung der Ergebnisse.

Bei der Prozeßführung mittlere Saale wird der Rechner zur Kontrolle und Analyse der Meßdaten benutzt, deren Ergebnisse als Entscheidungshilfen verwendet werden. Die operativen Bewirtschaftungsentscheidungen werden endgültig von Dispatchern und Fachleuten getroffen und an die wasserwirtschaftlichen und industriellen Einrichtungen zur Ausführung übermittelt. Das setzt voraus, daß der Entscheidungsträger (Dispatcher) überzeugt sein muß, daß eine richtige Entscheidung durch das Programm und den Rechner gefällt worden ist. Dabei verstärkt eine vielseitige Datenkontrolle und eine angemessene Kommunikation mit dem Rechner während der Programmabarbeitung die Vertrauensbildung beim Dispatcher, weil er unmittelbar in den Entscheidungsprozeß einbezogen wird. Das Vertrauen und der Überblick über den im wasserwirtschaftlichen System aktuell herrschenden Zustand mit visueller Datenkontrolle wird in besonderer Weise durch den Ausdruck

Abb. 6

Datenträgeraufbau



von Ganglinien des gegenwärtigen und zukünftigen, vorhergesagten Regimes gefördert.
Damit ist eine schöpferische Anwendung der als Entscheidungshilfe zu betrachtenden Ergebnisse des Rechenprogrammsystems PROSA gesichert.

7. Investitionsaufwand, Arbeitskräftebedarf und ökonomischer Nutzen

Für die Errichtung und Ausrüstung des Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystems wurden Investitionsmittel in Höhe von ca. 5,5 Mio M benötigt; für eine automatische Meßstation wurden durchschnittlich ca. 0,20 Mio M, für jede Relaisstation 0,12 Mio M und für die Meßwerterfassungszentrale 2,0 Mio M aufgewendet. Für die Durchführung der F/E-Maßnahme wurden insgesamt Forschungsmittel in Höhe von ca. 1,8 Mio M aufgewendet.

Zur Durchführung der Investitionsmaßnahme wurde an Arbeitskräftekapazität eingesetzt:

- 1,5 VbE Bauleiterkapazität
- 2,5 VbE (VEB Steremat) } Funk- und BMSR-Ausrüstung
- 4,0 VbE }
- 3,5 VbE Baugewerkekapazität (zeitweise)

Für den Betrieb und die Wartung des Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystems sind vorgesehen:

- 2 VbE für die Leitung und wissenschaftlich-technische Weiterentwicklung des Systems
- 5 VbE für die Wartung und Instandhaltung des Systems
- 3 VbE für die zweischichtige Bedienung der „Zentralen Meßwerterfassungsanlage".

Der Anteil von VbE zur Gewährleistung der Datenprüfung, des Rechnerbetriebes und der Steuerentscheidung wird mit insgesamt ca. 0,5 VbE Technikern und 0,5 VbE Hoch- und Fachschulkadern eingeschätzt.

In dem zugeführten Arbeitskräftebedarf sind der Bedarf für die anteilige Durchführung des Durchflußmeßdienstes und der Aktualisierung der Beziehung Leitfähigkeit/Gesamthärte bzw. Gesamtsalzgehalt nicht enthalten.

Beim derzeitigen Realisierungsstand der Gesamtmaßnahme wird der ökonomische Nutzen wie folgt eingeschätzt:

- 3 Mio M a^{-1} verhütete Mehraufwendungen bei den Hauptwassernutzern durch die Salzlaststeuerung,
- 2 Mio M a^{-1} verhütete Hochwasserschäden durch die Hochwassersteuerung,

– 300 Mio M Einsparung von Investitionsmitteln durch die Optimierung der Steuerungseffekte, da sonst ein zusätzlicher Speicherraum in dieser Größenordnung erforderlich wäre.

8. Vorbereitung, Durchführung und Überleitung der Gesamtmaßnahme

Bereits kurze Zeit nach dem Vorschlag vom 30. 12. 1969, die Prozeßführung zu realisieren, erfolgten inhaltliche Abstimmungen der Wasserwirtschaftsdirektion mit

– den Hauptwassernutzern
VEB Leuna-Werke,
VEB Chemische Werke Buna,
VEB Kalikombinat Südharz,
VEB Pumpspeicherwerk Hohenwarte,
die zugleich über den Fortgang der Arbeiten über die Bezirksdirektion Wasserwirtschaft des Bezirksvorstandes Halle der KDT laufend unterrichtet worden sind,
– den damals beteiligten Oberflußmeistereien Halle, Rudolstadt und Sondershausen,
– den Forschungsbereichen des Institutes für Wasserwirtschaft und der Technischen Universität Dresden, Sektion Wasserwesen,

die insgesamt die Realisierbarkeit der vorgetragenen Aufgabenstellung bestätigten.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse einer Problemdiskussion zum Stand der Flußgebietsmodellierung 1970 in der WWD Halle wurde 1970 an das Institut für Wasserwirtschaft der Auftrag erteilt, gemeinsam mit der WWD die Forschungsmaßnahmen durchzuführen.

Die daraufhin durch das Institut für Wasserwirtschaft und die Wasserwirtschaftsdirektion Halle gemeinsam erarbeitete Studie wurde 1971 erfolgreich verteidigt.

Nach intensiven Forschungsarbeiten zur Teilsystemmodellierung und Arbeiten zum Aufbau des Meßwerterfassungs- und -fernübertragungssystems in den Jahren 1972/73 wurde 1974 das F/E-Kollektiv neu zusammengesetzt und erweitert. Außerdem wurde beim Direktor der WWD eine Leitgruppe zur Sicherung der kurzfristigen technologischen Überführung der F/E-Ergebnisse in die Praxis in der WWD Halle gebildet. Ihr obliegt seitdem die Koordinierung der Arbeiten des F/E-Kollektivs des IfW und des WTZ/ORZ und der 4 Überleitungskollektive der WWD

– Bewirtschaftungsplan Saaletalsperren,

– Informationsträgeraufbau und Rechnereinsatz,
– Meßtechnik,
– Steuerkriterien und Datenregime.

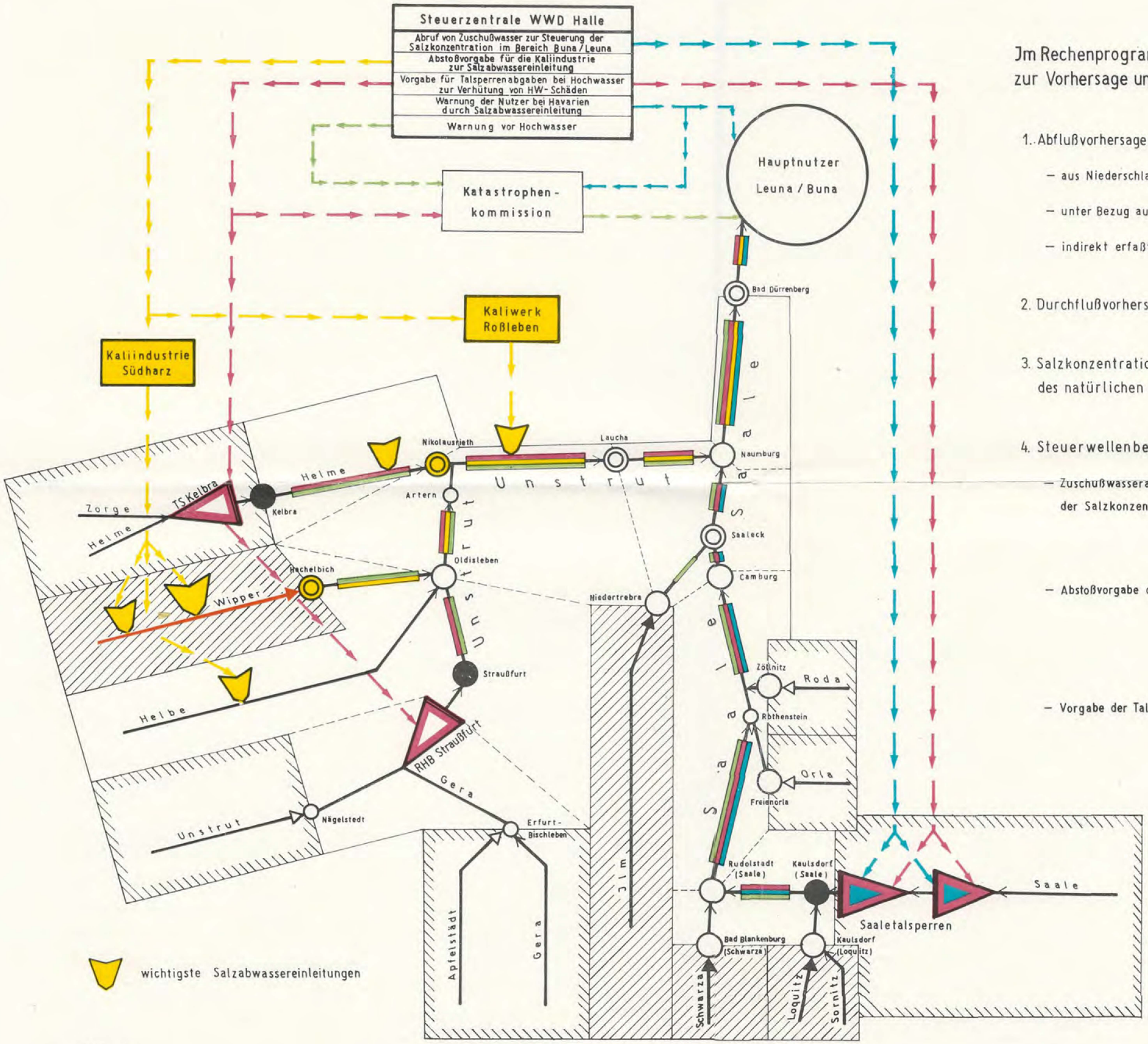
In diesen interdisziplinär zusammengesetzten Kollektiven sind Mitarbeiter des Forschungsbereiches und des Anwenderbereiches gemeinsam tätig. Insgesamt wurden 25 Mitarbeiter des IfW sowie WTZ/ORZ und 23 Mitarbeiter der WWD einbezogen.

Diese Form der Koordinierung hat sich – unter Einbeziehung kollektiv-schöpferischer Pläne, abgestimmter Netzwerke und Wettbewerbsverpflichtungen – fruchtbringend auf die Überführung der F/E-Maßnahme, die termingerechte Fertigstellung der Investitionsmaßnahme und die Vorbereitung des Rechnereinsatzes ausgewirkt.

Zu Ehren des 27. Jahrestages der Gründung der DDR wurde ab 1. 10. 1976 das gesamte System zur Vorhersage und Steuerung des Abflusses und der Salzlast im Flußgebiet der mittleren Saale in Betrieb genommen.

PROZESSFÜHRUNG MITTLERE SAALE

Schematische Darstellung der im Flußgebiet durch math. Modelle nachgebildeten Prozesse zur Vorhersage und Steuerung



Im Rechenprogramm integrierte mathematische Modelle zur Vorhersage und Steuerung der ablaufenden Prozesse

1. Abflußvorhersage aus den Einzugsgebieten
   - aus Niederschlag
   - unter Bezug auf Nachbargebiete
   - indirekt erfaßtes Zwischengebiet
2. Durchflußvorhersage in den Flußabschnitten
3. Salzkonzentrationsvorhersage unter Berücksichtigung des natürlichen Salzeintrages
4. Steuerwellenberechnung
   - Zuschußwasserabgabe aus den Saaletalsperren zur Steuerung der Salzkonzentration im Entnahmebereich der Nutzer

     Steuerweg / Steuerorgan / Steuerbefehl
   - Abstoßvorgabe der Salzabwässer für die Kaliindustrie

     Steuerweg / Kaliwerk / Steuerorgan / Steuerbefehl
   - Vorgabe der Talsperrenabgabe zur Hochwassersteuerung

     Steuerweg / Steuerorgan / Steuerbefehl

Vorhersagen für Pegel
Funktionen der Pegel

Zeichen	2- stündl. Fernübertragung der Meßwerte	Vorhersage für 5 Tage
○	Durchfluß Q	Q aus Q- Oberpegel
●	" Q	Q aus Q- Abgabe
◐	" Q	Q aus Niederschlag N
◐	" Q	Q aus N (vereinf. Modell)
○	ohne	Q aus Oberpegel
◁	ohne	Q aus N (vereinf. Modell)
◉	Konzentration C	C aus Abstoßvorgabe

Abb. 5