

Das Leda-Sperrwerk in Ostfriesland

Von Paulheinz Gursch

Inhalt

| | |
|--|-----|
| I. Das Leda-Sperrwerk | 107 |
| 1. Geographie | 107 |
| 2. Wassernot in Ostfriesland | 109 |
| 3. Sperrwerksbau | 109 |
| 4. Aufgaben des Sperrwerkes | 111 |
| 5. Betriebsmöglichkeiten | 111 |
| 6. Grundlage von Sperrungen | 112 |
| II. Einzelangaben | 112 |
| 1. Statistik über Sperrungen | 112 |
| 2. Erscheinungen des Sperrbetriebes | 114 |
| 3. Erwartete Veränderungen | 117 |
| III. Methode zur Überprüfung | 117 |
| 1. Bezugslinienverfahren | 117 |
| 2. Unterlagen | 118 |
| IV. Auswirkungen des Sperrbetriebes | 118 |
| 1. Wasserstände der unteren Leda und der Ems unterhalb von Leerort | 118 |
| a. Allgemeines | 118 |
| b. Erhöhung des Thw | 120 |
| c. Ergebnis | 124 |
| d. Senkung des Tnw | 124 |
| e. Ergebnis | 130 |
| 2. Wasserstände der Ems oberhalb der Ledamündung | 131 |
| a. Allgemeines | 131 |
| b. Erhöhung des Thw | 132 |
| c. Ergebnis | 133 |
| 3. Binnenwasserstände | 135 |
| a. Allgemeines | 135 |
| b. Binnenpegel Sperrwerk | 136 |
| c. Pegel Dreyschloot | 138 |
| d. Ergebnis | 144 |
| 4. Vergleich mit den Erwartungen | 145 |
| 5. Sohlenveränderungen | 145 |
| V. Gezeitenvoraussage | 146 |
| 1. Methoden | 146 |
| a. DHI-Vorhersage ¹⁾ | 146 |
| b. Erste Voraussage auf Grund von Angaben des Pegels Borkum | 147 |
| c. Zweite Voraussage auf Grund von Angaben des Pegels Borkum | 147 |
| d. Örtliches Vorhersageverfahren | 150 |
| 2. Daten und Genauigkeit der Voraussagen | 150 |
| VI. Bewährung der Anlage | 153 |
| VII. Schriftenverzeichnis | 156 |

I. Das Leda-Sperrwerk

1. Geographie

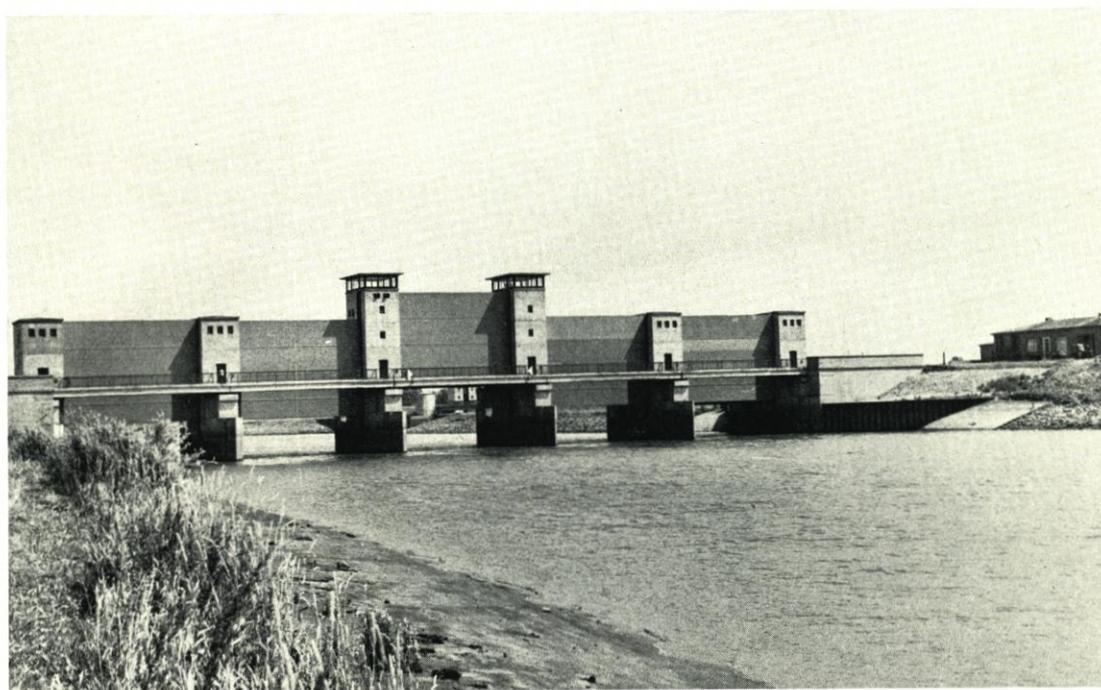
Der ostfriesische Raum ist Teil der Norddeutschen Tiefebene. Kennzeichnend für den Charakter der Landschaft ist der Dreiklang von Marsch, Geest und Moor. Hauptfluß Ostfrieslands ist die unter dem Einfluß der Gezeiten stehende Ems.

¹⁾ Deutsches Hydrographisches Institut.

Ein weites, mooriges Niederungsgebiet erstreckt sich östlich der Ems. Es trägt seinen Namen nach den beiden Flüssen Leda und Jümme, die das Gebiet, ein ehemaliges Urstromtal, durchfließen. Die Leda mündet etwa 3 km südwestlich von Leer in die Ems und nimmt etwa 9 km oberhalb dieser Mündung bei Wiltshausen die Jümme auf. Das Flußsystem wird vervollständigt durch ein weitverzweigtes Netz von oberen Zuflüssen und künstlich geschaffenen Kanälen (Abb. 1). Das gesamte Einzugsgebiet der Leda hat eine Größe von rund 2030 km², von denen rund 750 km² auf das eigentliche Niederungsgebiet entfallen.

2. Wassernot in Ostfriesland

Wegen der niedrigen Lage des Gebietes ist es seit altersher häufig von Wassernot bedroht. Sowohl starker Oberwasserzufluß bei längeren Regenperioden als auch vor allem Sturmfluten überschwemmen beinahe jedes Jahr und oft monatelang weite Flächen.



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 2. Ansicht des Leda-Sperrwerkes

3. Sperrwerksbau

Zur Abwehr dieser Gefahren wurden zunächst Deiche gebaut. Jedoch erwies es sich, daß der moorige Untergrund Deiche von genügender Höhe nicht zu tragen vermag. So entstand der Plan, den Sturmfluten durch ein Sperrwerk in der unteren Leda den Zutritt zu den Niederungen zu verwehren.

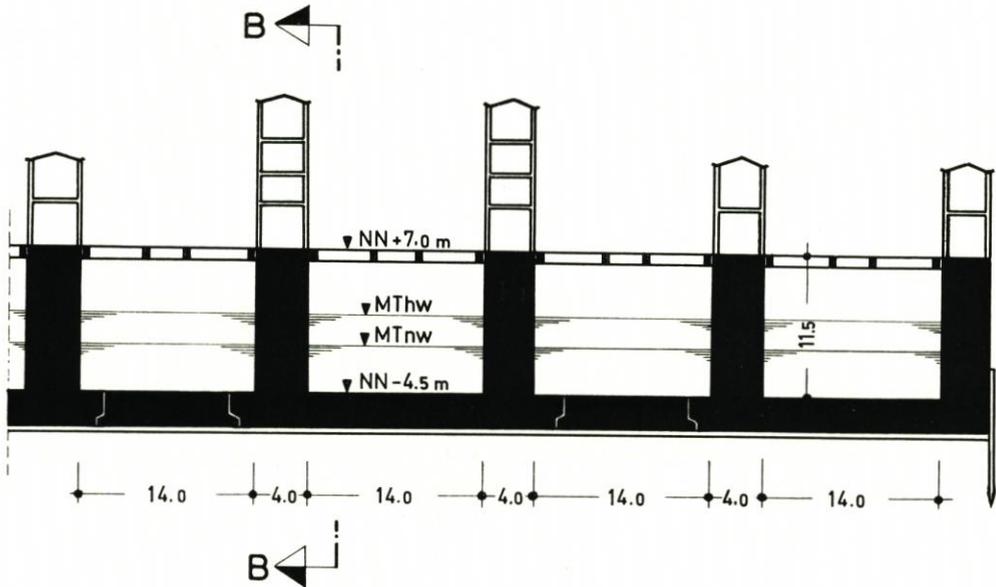


Abb. 3. Leda-Sperrwerk. Längsschnitt A—A

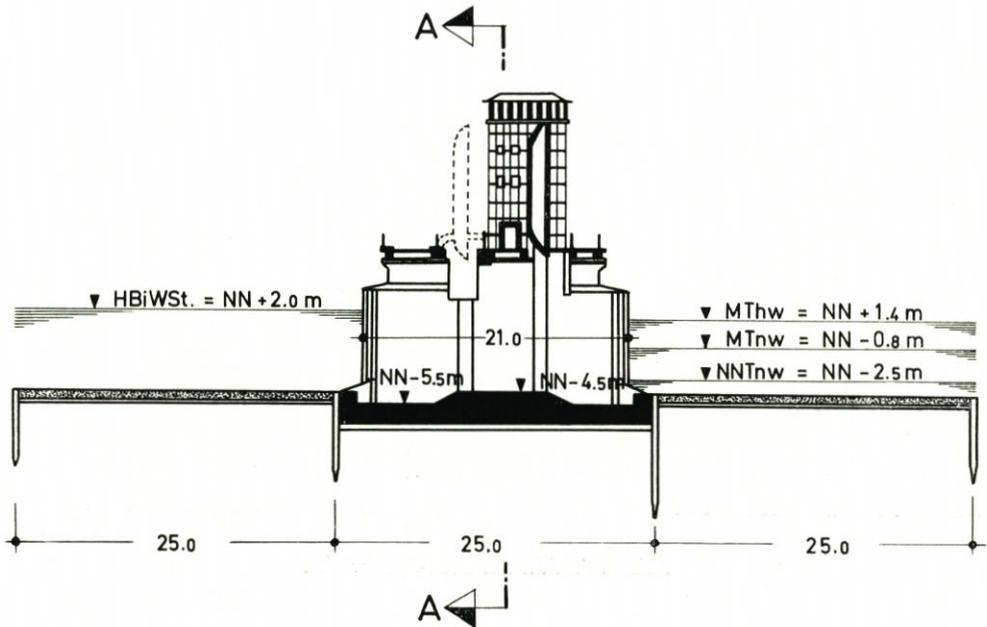


Abb. 4. Leda-Sperrwerk. Querschnitt B—B

Nach ausführlichen Untersuchungen — Modellversuchen, hydraulischen Berechnungen und grundsätzlichen Überlegungen — wurde in den Jahren 1950 bis 1954 das Leda-Sperrwerk unmittelbar südlich von Leer, etwa 4 km oberhalb der Ledamündung gebaut. Am 29. Juli 1954 wurde es in Betrieb genommen.

Das Sperrwerk ist als Schützenwehr errichtet und besitzt 5 Öffnungen von je 14 m lichter Weite (Abb. 2). Es ist ein flach gegründeter Stahlbeton-Baukörper; zum Schutz gegen Unterläufigkeit ist es allseitig von stählernen Spundwandschürzen umgeben. Die 10,4 m hohen geschweißten Stahl-Schützen haben ein Gewicht von 55 t, hängen an Ketten und werden an seitlichen Schienen durch Rollen geführt. Als Sicherheit wurde keine zweite Reihe von Schützen, sondern ein einziges, allerdings verfahrbares Reservetor gewählt. In den Türmen, die auf den 21 m langen und 4 m breiten Pfeilern errichtet sind, befinden sich die Windwerke. Das Sperrwerk besitzt beiderseits der Schützenreihe noch je einen Bedienungssteg und zusätzlich an der Binnenseite eine 5,3 m breite Straßenbrücke.

4. Aufgaben des Sperrwerkes

Aufgabe des Sperrwerkes ist es nach dem „Generalplan für die Melioration des Leda-Jümme-Gebietes“, nur Tiden mit einem Hochwasserscheitel (Thw) von mindestens 60 cm über MThw zu kehren. MThw liegt an der Sperrstelle auf NN + 1,40 m, so daß also nur Tiden gesperrt werden sollen, die NN + 2,00 m (gleich NPH + 700 cm)²⁾ erreichen oder überschreiten.

Der Entwurf für das Sperrwerk (17) sieht ferner vor, das Sperrwerk so zu betreiben, daß am Pegel Dreyschloot, am Oberlauf der Leda, ein Wasserstand von NN + 2,10 m nicht überschritten wird. Außerdem darf die Schifffahrt nicht in ungebührlichem Ausmaße behindert werden.

Schließlich aber soll die natürliche Räumkraft des Flusses in dem wahrscheinlich vorhandenen Beharrungszustand weitestgehend erhalten bleiben. Dieses Ziel wird erreicht durch die Betriebsweise des Sperrwerkes als eine nur Sturmfluten kehrende Anlage. Bei normalen oder nur wenig erhöhten Tiden soll an den ursprünglichen Verhältnissen nichts geändert werden. Eine Untersuchung über den Erfolg dieser Maßnahme folgt in Kapitel IV, 5.

5. Betriebsmöglichkeiten

Die dem Sperrwerk gesetzten Ziele werden durch zweckentsprechende Bedienung der Anlage erreicht. Beim Normalfall einer Sperrung werden bereits beim Kentern der Tide von der vorausgehenden Ebbe zur kritischen, d. h. über NN + 2,00 m auflaufenden Flut, also kurz nach dem vorausgehenden Tnw, die Tore des Sperrwerkes vollständig geschlossen. Diese Form der Sperrung sei im folgenden „Vollsperrung“ genannt. Kennzeichnend dafür ist der Beginn der Sperrung früher als 50 Minuten nach Eintritt des Tnw. Vorteil dieser Betriebsweise ist, daß die Hubtore des Sperrwerkes in nicht oder kaum strömendes Wasser eintauchen und die bauliche und maschinelle Anlage somit einem Minimum an Belastung ausgesetzt ist.

Eine zweite Form der Sperrung besteht darin, daß man einen Teil der Flutwassermenge in das Leda-Jümme-Gebiet einströmen läßt und erst dann die Hubtore schließt. Wegen des Unterbrechens eines Stromes von bewegten Wassermassen treten dabei einmal höhere Beanspruchungen am Sperrwerk selbst, zum anderen aber auch Schwall- und Schwingungserscheinungen in der gestörten Wassermasse auf, die sich nach oberhalb wie nach unterhalb fortpflanzen und deutlich zu verfolgen sind. Die zuletzt beschriebene Betriebsweise sei im folgenden mit „nachträgliche Vollsperrung“ bezeichnet. Ihr Sperrbeginn erfolgt später als 50 Minuten nach Eintritt des Tnw.

Es gibt noch eine dritte Möglichkeit, das Sperrwerk zu betreiben. Eine schädliche Sturmflut kann gedrosselt werden dadurch, daß man die Hubtore des Sperrwerkes nicht vollständig bis zur Schwelle absenkt, sondern einen gewissen horizontalen Spalt offenläßt. Es kann dann nur eine Teilflutmenge in das gefährdete Gebiet einströmen; die Tidebewegung pflanzt sich zwar hinter dem Sperrwerk fort,

²⁾ NPH = Nordsee-Pegel-Horizont, entspricht PN = NN — 5,00 m.

jedoch wird nur ein niedrigerer Wasserstand als der bei ungedrosselter Sturmflut erreicht. In der Praxis stehen dieser Betriebsweise, die mit „gedrosselte Sperrung“ bezeichnet wird, Bedenken gegenüber. Die durchströmende Wassermenge erreicht in dem engen Spalt knapp über der Sohle beim Sperrwerk erhebliche Geschwindigkeiten, so daß Zerstörungen der beweglichen Sohle, gefährliche Kolke, zu befürchten sind. Da das Leda-Sperrwerk keine entsprechende Energievernichtungsanlage als Schutz besitzt, ist diese Betriebsweise nur in Ausnahmefällen zulässig. Sie wurde bisher nur fünfmal — praktisch lediglich zu Versuchszwecken — durchgeführt.

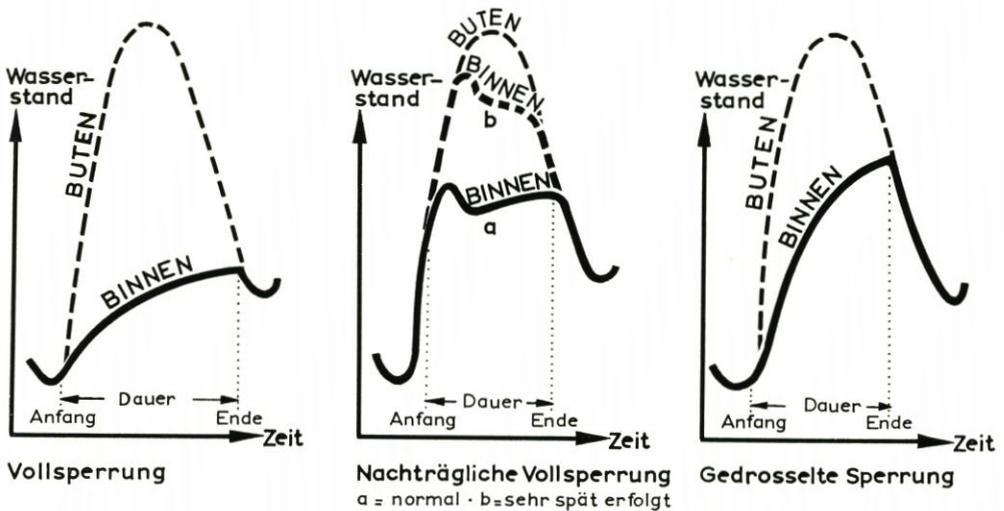


Abb. 5. Charakteristische Sperrkurven

6. Grundlage von Sperrungen

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, daß eine Sperrung bereits um oder nur wenig nach dem vorhergehenden Thw erfolgen soll. Damit steht man vor der Aufgabe, bereits zu diesem Zeitpunkt abschätzen zu müssen, ob der Scheitelwasserstand $NN + 2,00$ m erreichen wird oder nicht. Zu diesem Zweck wurden Verfahren entwickelt, die in der Hauptsache aus der Tidekurve von Bor-kum die zu erwartende Höhe des Thw beim Sperrwerk ermitteln lassen. Auf Einzelheiten soll in Kapitel V, 1 näher eingegangen werden.

II. Einzelangaben

1. Statistik über Sperrungen

Es folgen Angaben über Anzahl und Dauer der durchgeführten Sperrungen. Dabei wird unterschieden zwischen Vollsperrung, nachträglicher Vollsperrung und — der Vollständigkeit halber — gedrosselter Sperrung (vgl. Kapitel I, 5).

Abbildung 6 zeigt monatlich zusammengestellt die Sperrungen von Inbetriebnahme des Sperrwerkes bis Ende des Jahres 1963. Für jeden Monat eines jeden Jahres ist die entsprechende Anzahl abzulesen; außerdem ist für jeden Monat das Mittel aus den aufgeführten Jahren errechnet. Insgesamt

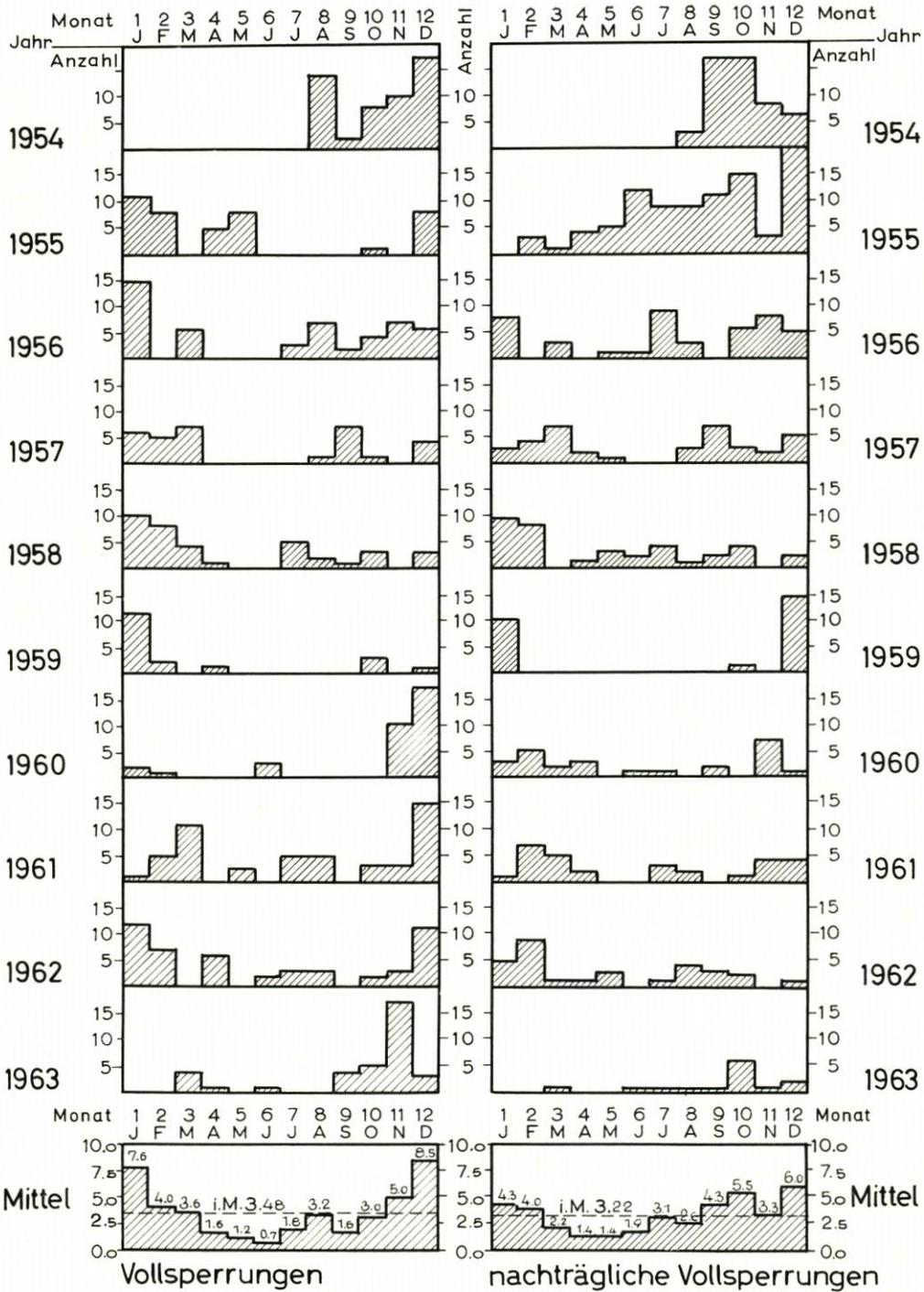


Abb. 6. Ganglinien der Sperrungen 1954 bis 1963

wurden je Monat im Durchschnitt 3,48 Vollsperrungen und 3,12 nachträgliche Vollsperrungen durchgeführt.

Abbildung 7 summiert die Sperrungen für die einzelnen Jahre 1954 bis 1963. Die durchgeführte Mittelbildung der jährlichen Sperrungen läßt allerdings die 5 Monate des Jahres 1954 unberücksichtigt, weil damals wegen mangelnder Betriebserfahrungen außergewöhnlich viele Sperrungen erfolgten, die das tatsächliche Bild verfälscht hätten. Ein gewisser Einfluß dieser („im Zweifel doch“) Sperrungen gelangte über das nicht eliminierte Jahr 1955 in die Mittelwerte.

Die Anzahl der gesperrten Tiden ist ins Verhältnis gesetzt zu der Anzahl der gesamten während eines Jahres eingetretenen Tiden, die mit rund 700 angesetzt wurde. Aus der Darstellung geht hervor, daß 10,8 % aller Tiden gesperrt wurden, davon etwa 5,5 % als Vollsperrung, etwa 5,3 % als nachträgliche Vollsperrung und weniger als 0,1 % als gedrosselte Sperrung.

Auf Abbildung 8 sind die entsprechenden Daten über die Dauer der Sperrungen zusammengestellt, ähnlich der Darstellungsweise auf Abbildung 3. Die Mittelbildung erfolgte wieder ohne die Werte des Jahres 1954. Man erkennt, daß das Sperrwerk jährlich 467 Std. 54 Min. geschlossen war; davon entfallen 279 Std. 43 Min. auf Vollsperrungen und 186 Std. 14 Min. auf nachträgliche Vollsperrungen. Der geringe Rest von 1 Std. 57 Min. entfällt auf die probeweise gedrosselten Sperrungen.

Setzt man die 8760 Stunden eines Jahres gleich 100 Prozent, so lauten die entsprechenden Prozentzahlen: Gesamtsperrungen 5,3 % der Zeit, davon 3,2 % Vollsperrungen und 2,1 % nachträgliche Vollsperrungen. Die gedrosselten Sperrungen beanspruchten wieder weniger als 0,1 %.

Eine einzelne Sperrung dauerte bei den Vollsperrungen durchschnittlich 7 Std. 17 Min., während eine nachträgliche Vollsperrung nur 5 Std. 4 Min. beanspruchte (vgl. Abb. 5). Im Mittel ergibt das für eine Sperrung eine Dauer von 6 Std. 14 Min.

Bei den Berechnungen der Jahresmittel wurden wieder die Sperrungen des Jahres 1954 außer acht gelassen, während sie bei der Mittelwertbildung für die Dauer einer einzelnen Sperrung benutzt wurden. Für letztere bilden sie ja keine außergewöhnlichen Verhältnisse, wie dies bei der Anzahl und Gesamtdauer der Fall ist.

Es darf an dieser Stelle festgestellt werden, daß die hohe Zahl der in den ersten Monaten (1954, siehe oben) durchgeführten Sperrungen nicht erreicht wurde. Die Gründe wurden bereits mit zunächst mangelnder Erfahrung erwähnt. Aber auch die im Entwurf (17) erwartete Anzahl der Sperrungen mit 14 % aller Tiden (jährlich 100 Sperrungen) wurde nicht erreicht. Hingegen wurde die vom „Küstenausschuß Nord- und Ostsee“ (13) vorausgesagte Anzahl von 45 Sperrungen pro Jahr (6,4 %) überschritten, während die ungünstigste Gesamtdauer der Sperrungen, die mit 548 Stunden pro Jahr (6,3 %) vorausgesagt war, im Mittel tatsächlich nicht und im Einzeljahr seit 1956 nicht mehr überschritten wurde.

Es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, zu untersuchen, inwieweit vorgenannte Abweichungen von naturbedingten Abweichungen bei den Tiden oder den Oberwasserverhältnissen der Jahre 1954 bis 1963 vom langjährigen Mittel verursacht worden sind.

Die vorstehend gemachten statistischen Angaben werden in einem späteren Kapitel bei der Beurteilung der Auswirkungen auf die Sohlenveränderung Verwendung finden (vgl. IV, 5).

2. Erscheinungen des Sperrbetriebes

Ein Bauwerk, das in so wirksamer Weise in den Ablauf des Naturgeschehens eingreift wie das Sperrwerk, wird selbstverständlich gewisse Auswirkungen auf die natürlichen Verhältnisse haben. Es handelt sich dabei in der Hauptsache um Veränderungen der Wasserstände, die sowohl oberhalb der Sperrstelle wegen der dort ausbleibenden Sturmfluten, als auch unterhalb des Sperrwerkes wegen der jetzt aufzunehmenden Mehrwassermenge auftreten können. Dabei bleiben die Auswirkungen nicht auf den Unterlauf der Leda beschränkt, sondern können sich wegen der Nähe der Ledamündung auch in der Ems nach oben wie nach unten ausbreiten.

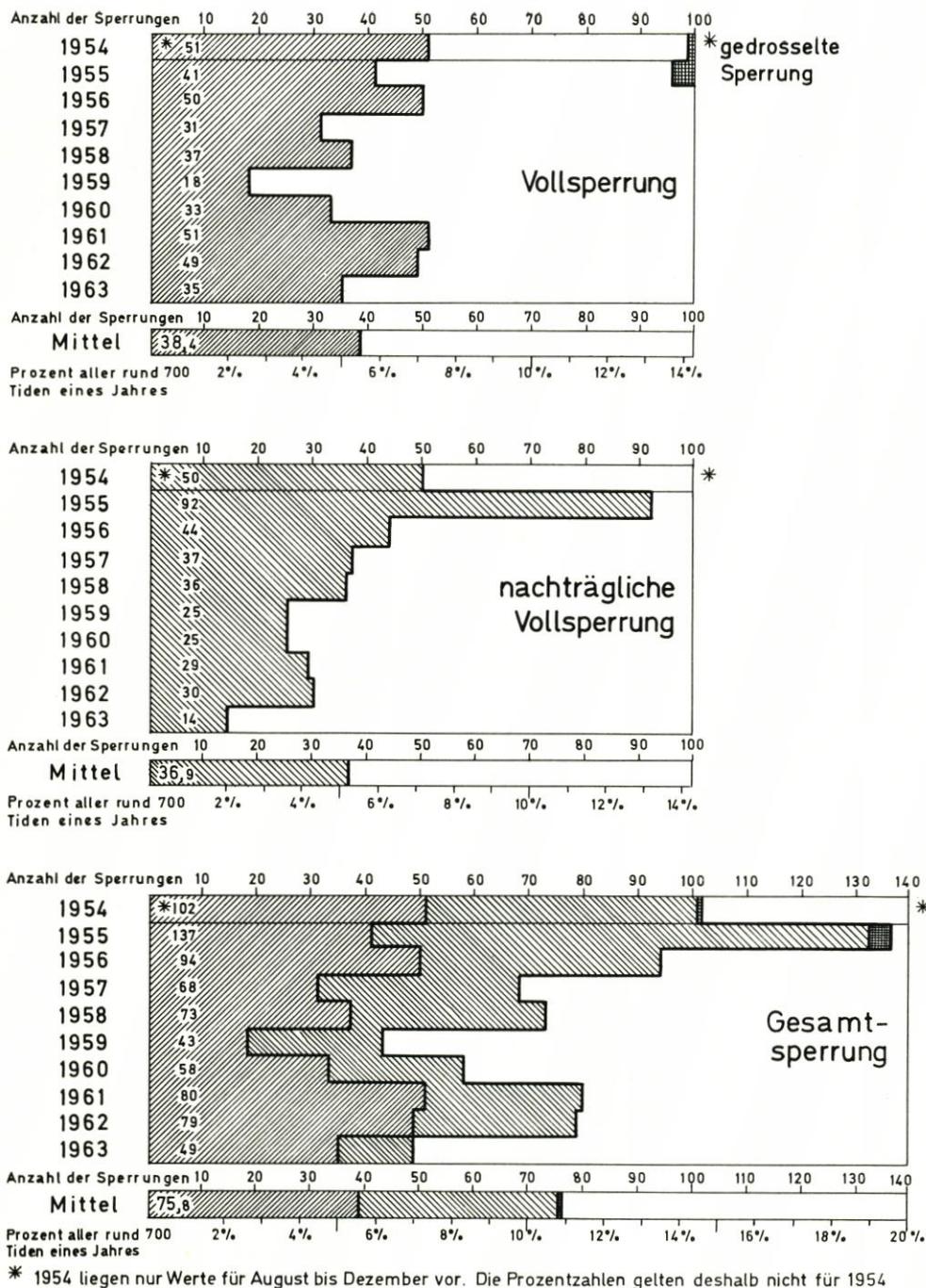
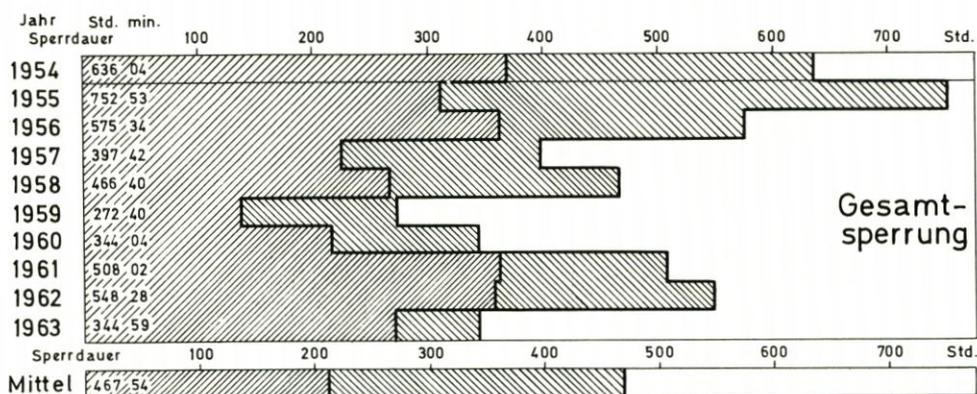
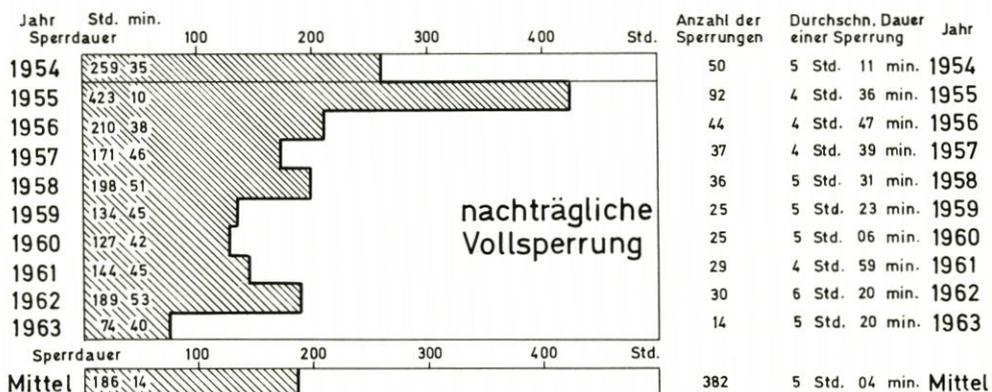
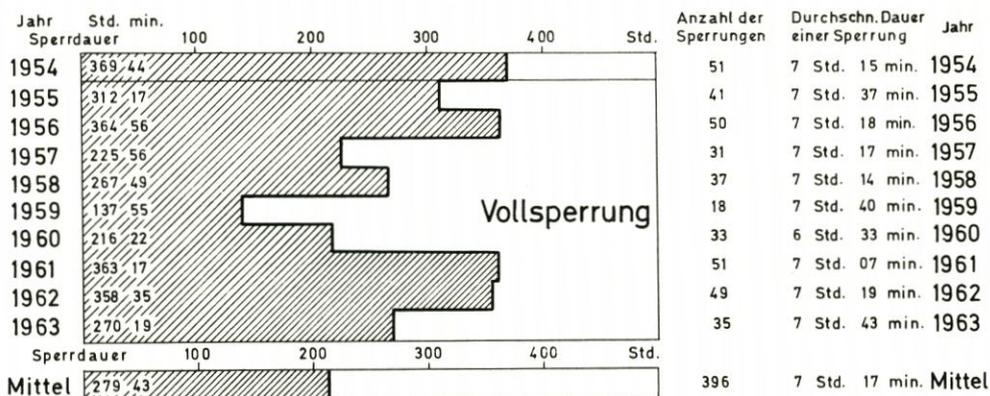


Abb. 7. Anzahl der Sperrungen 1954 bis 1963



Anzahl aller Sperrungen : 783

Durchschnittliche Sperrdauer : 6 Std. 14 min.

Abb. 8. Dauer der Sperrungen 1954 bis 1963

Wegen des Ausbleibens der Sturmflutwassermengen oberhalb des Sperrwerkes und damit beim Abfließen könnten sich auch an der Sohle des Flusses Veränderungen gegenüber den bisherigen Verhältnissen einstellen.

Die beiden zuletzt erwähnten Sperrwerkwirkungen werden vor allem in Kapitel IV eingehender untersucht*).

Eine weitere Frage, die Gegenstand besonderer Voruntersuchungen war, betrifft die erforderliche Größe und Anordnung eines Polders, der bei geschlossenem Sperrwerk das heranströmende Oberwasser aufnehmen soll, wenn der vorhandene Stauraum zwischen den Deichen des Leda-Jümme-Gebietes nicht mehr ausreicht. In den meisten Fällen ist das Fassungsvermögen der außendeichs liegenden Überschwemmungsräume groß genug, um das anfallende Oberwasser unschädlich zu halten. Bis zum Frühjahr 1965 mußte der unmittelbar neben dem Sperrwerk angelegte zusätzliche Entlastungspolder nur zweimal aus Gründen des Hochwasserschutzes benutzt werden, nämlich bei den großen Sturmfluten im Dezember 1954 und im Februar 1962.

3. Erwartete Veränderungen

Bevor nähere Untersuchungen vorgenommen werden, sollen nachstehend die Ergebnisse zusammengestellt werden, die auf Grund der ausführlichen Voruntersuchungen und Modellversuche beim Betrieb des Sperrwerkes zu erwarten waren. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Angaben in den Quellen (2), (13), (17).

Für die Binnenwasserstände wurde ein Fernhalten der schädlichen Sturmflutwasserstände erwartet, wobei der kritische Wasserstand nicht überschritten werden sollte. Bei den Wasserständen vor dem Sperrwerk wurde eine Erhöhung des Thw und eine Absenkung des Tnw erwartet. Man nahm an, daß die Absenkung größer als die Erhöhung sein würde.

Die Thw werden nach den o. g. Quellen durch Schließen des Sperrwerkes erhöht am Pegel

| | |
|-----------|-----------------|
| Terborg | um 3 bis 11 cm |
| Leerort | um 8 bis 35 cm |
| Sperrwerk | um 10 bis 45 cm |
| Papenburg | um 3 bis 15 cm |

je nach der untersuchten Tide. Die Erhöhungen klingen danach emsabwärts stärker ab als emsaufwärts von der Ledamündung. Mit wachsendem Oberwasser ergeben sich geringere Auswirkungen des Sperrwerksbetriebes. Für die bewegliche Sohle wurden nur zeitlich kurz dauernde und dann auch nur geringe Veränderungen vermutet; jedenfalls erwartet man keine ähnliche Versandung wie bei der Eider.

III. Methode zur Überprüfung

1. Bezugslinienverfahren

Zur Überprüfung und zur genaueren Ermittlung der durch eine bauliche Maßnahme in einem Fluß erzeugten Veränderungen bei den Wasserständen wendet man vielfach das Bezugslinienverfahren

*) Nicht in dieser Arbeit näher behandelt, sondern hier nur erwähnt werden die möglichen Wirkungen des Sperrwerksbetriebes auf eine zeitliche Verschiebung der Tidescheitel (Verfrühung der Tiden) und damit eine Veränderung der Dauer von Flut und Ebbe.

Ferner wird hier nur angedeutet, daß das Sperrwerk bei seinem Betrieb auch Auswirkungen auf die Grundwasserstände und deren Schwankungen unter dem Einfluß der Gezeiten haben könnte und auch tatsächlich zeigte.

Ebenfalls wird den Schwall- und Schwingungserscheinungen hier nicht näher nachgegangen, die beim Betrieb des Sperrwerkes bei nachträglichen Vollsperrungen auftreten und die bereits in einem früheren Kapitel kurz angesprochen wurden (Kapitel I, 5).

an. Dieses Verfahren liegt auch dieser Arbeit zugrunde. Es wird jeweils das durchschnittliche, natürliche Verhalten der ungesperrten Tiden und das Sonderverhalten der beeinflussten, gesperrten Tiden durch eine Bezugslinie charakterisiert, und diese Linien werden miteinander verglichen.

Grundsätzlich kann man mit dem Bezugslinienverfahren auch kleinere Veränderungen an den Wasserständen nachweisen. Jedoch wird dies dann kritisch, wenn die Unterschiede der Bezugslinien sehr klein gegenüber dem verfahrensbedingten Streubereich bei der Aufstellung einer Bezugslinie sind.

Schwierigkeiten bereitet es auch, wenn mehrere bauliche Maßnahmen zur gleichen Zeit stattfinden, da dann schwer festzustellen ist, welche Auswirkungen von welcher Maßnahme stammen. Im vorliegenden Falle wurden zusammen mit dem Bau des Sperrwerkes in der Leda oder zeitlich gleichlaufend eine Reihe von Begradigungen und Deicherhöhungen durchgeführt (vgl. Kapitel IV, 3a und IV, 3c), die einen gewissen gleichartigen Einfluß gehabt haben könnten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit schließen diesen Einfluß ein.

2. Unterlagen

Zur Ermittlung der benötigten Bezugslinien stehen die Pegelaufzeichnungen verschiedener Pegel der Ems und der Leda zur Verfügung. Die Scheitelwerte sind in Tabellen der täglichen Wasserstände zusammengestellt.

Die vorliegende Arbeit wertete von diesen Unterlagen charakteristische, insbesondere die höchsten während der betrachteten Betriebszeit eingetretenen Tiden aus. Es wurden diejenigen Tiden untersucht, die erstens gesperrt wurden und zweitens beim Sperrwerk (Außenpegel) den höchsten schiffbaren Wasserstand (NN + 2,40 m bzw. NPH + 740 cm) überschritten hatten.

Außerdem ist der untersuchte Zeitraum auf die Jahre 1956 bis 1963 beschränkt. Für die beiden vorhergehenden Jahre 1954 und 1955 wird auf die vorläufige Studie des Wasser- und Schiffsverkehrsamtes Leer über die Betriebserfahrungen (15) hingewiesen.

Trotz dieser Beschränkungen wurde ein klares Bild erhalten. Im Prinzip ändert sich nichts an den Untersuchungen; auch das Ergebnis könnte sich höchstens geringfügig und unwesentlich verändern, wenn man mehr Zahlenmaterial heranziehen würde. Lediglich die ausgeführten Mittelwertbildungen könnten dadurch noch zuverlässiger belegt werden.

Eine weitere Beschränkung des reinen Rechenaufwandes erfolgte dadurch, daß aus der genannten Studie (15), soweit möglich, Angaben über die früheren Verhältnisse übernommen wurden. Dies geschah speziell dadurch, daß für die Untersuchung der Erhöhung der Thw-Stände (Kapitel IV, 1 b) die Gleichungen der Bezugslinien für ungesperrte Tiden übernommen wurden.

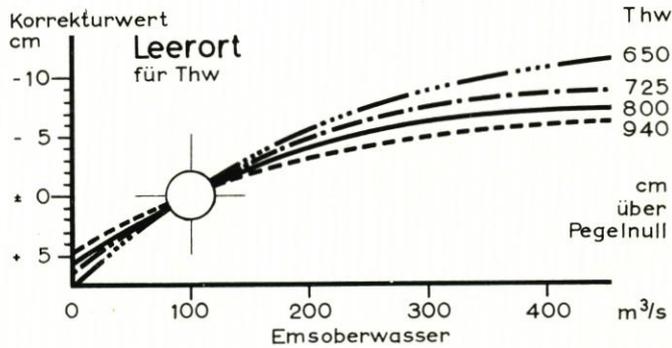
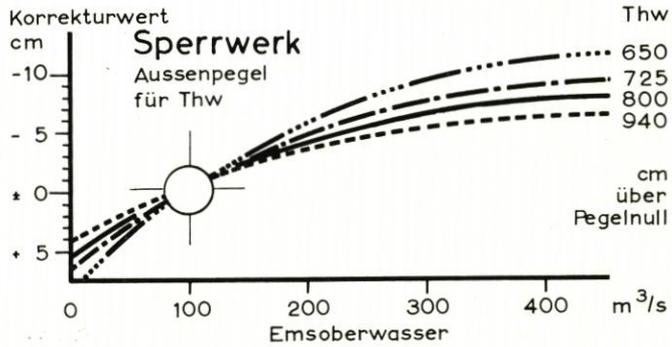
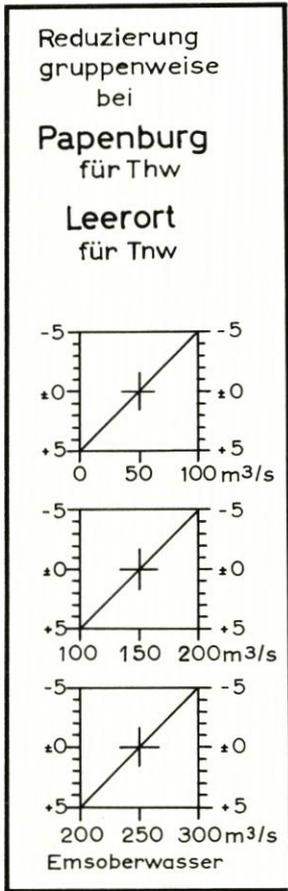
IV. Auswirkungen des Sperrbetriebes

1. Wasserstände der unteren Leda und der Ems unterhalb von Leerort

a. Allgemeines

Die Untersuchung der Wasserstände erfolgt getrennt für Thw und Tnw. Für erstere werden die Pegelstellen Ledasperrwerk (Außenpegel), Leerort und Terborg (siehe Übersichtskarte, Abbildung 1) herangezogen. Als unbeeinflusst von Sperrwerksmaßnahmen werden die Wasserstände (Thw) am Pegel Pogum angenommen; dieser Pegel wird als Bezugspegel gewählt.

Sofern der Pegel Pogum einmal ausgefallen war und man seine Wasserstände nach dem Pegel Terborg ergänzt hatte, wurden die betroffenen Tiden in dieser Arbeit nicht ausgewertet. Es wird nämlich befürchtet, daß der Pegel Terborg noch durch das Sperrwerk beeinflusst wird und es deshalb ge-



**Oberwasser
der Ems**
am Pegel
Versen -
Wehrdurchstich

| | |
|------------|--------------|
| HHQ | 1200 m^3/s |
| MQ 1941/60 | 74 m^3/s |
| NNQ | 5,2 m^3/s |

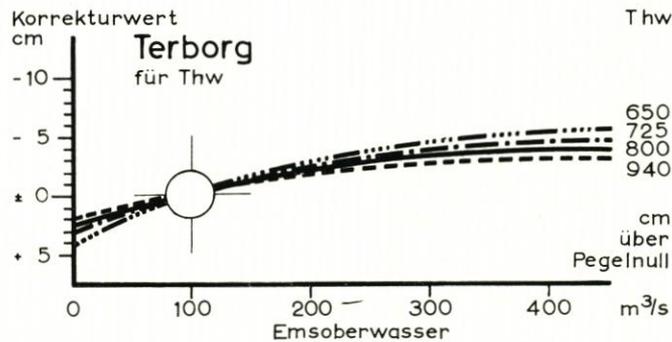


Abb. 9. Einfluß des Emsüberwassers. Reduzierkurven auf einheitlich 100 m^3/s

rade für eine Untersuchung über die Auswirkungen des Sperrwerkes nicht zulässig wäre, den Pegel Terborg zur Ergänzung von Pogum zu benutzen. Leider werden durch diesen Verzicht eine Reihe interessanter sehr hoher Tiden (u. a. Sturmflut 1962) betroffen.

Die Tnw-Untersuchung beschränkt sich auf den Pegel Leerort. Da befürchtet werden muß, daß bei Tnw die Wasserstände am Pegel Pogum doch noch vom Sperrwerk beeinflusst werden, wird als Bezugspegel der Pegel Emden gewählt.

Der Einfluß des Ems-Oberwassers wird bei der Thw-Untersuchung ausgeschaltet durch Korrekturwerte nach Abbildung 9. Es werden Reduzierkurven benutzt, die vom Wasser- und Schiffsamt Leer und vom Franzius-Institut Hannover aus früheren Untersuchungen aufgestellt wurden und die das Ems-Oberwasser auf einheitlich $100 \text{ m}^3/\text{s}$ gleichschalten.

Für die Tnw-Untersuchung standen solche Reduzierkurven nicht zur Verfügung. Es zeigte sich nämlich, daß der Einfluß des Oberwassers hier bereits so stark ist, daß man das Oberwasser gruppenweise zusammenfassen muß. Es wurden die Gruppen $0-99 \text{ m}^3/\text{s}$, $100-199 \text{ m}^3/\text{s}$ und $200-299 \text{ m}^3/\text{s}$ gebildet. Innerhalb dieser Gruppen wurden die Oberwassermengen (geradlinig nach Abbildung 9) auf $50 \text{ m}^3/\text{s}$, $150 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $250 \text{ m}^3/\text{s}$ reduziert.

Die Größe des Oberwassers wurde aus den Abflußmengen am Pegel Versen-Wehrdurchstich abgelesen. Es wurde dabei darauf verzichtet, genauer zu untersuchen, welche zeitliche Differenz zwischen dem untersuchten Wasserstand Pogum, Leerort usw. und den zugehörigen Wasserständen in 77,5 km oberhalb von Leerort liegenden Versen besteht. Überschlägig wurde das arithmetische Mittel aus der Abflußmenge des betreffenden Tages und des Vortages den Untersuchungen zugrunde gelegt. Man bedenke hierbei, daß es lediglich darauf ankommt, Gruppen von Oberwassermengen im Bereich von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ zu bilden oder für höchstens $10 \text{ m}^3/\text{s}$ einen Korrekturwert von 1 cm einzuführen. Angesichts der durch andere Einflüsse verursachten Streuungen können geringe Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Oberwassermengen durchaus in Kauf genommen werden.

Für die Tnw-Untersuchung konnte nicht auf die in der Studie (15) gemachten Angaben über die früheren Verhältnisse zurückgegriffen werden, weil sich diese aus einem zu geringen Beobachtungsmaterial zusammensetzen und außerdem vorwiegend auf einen Bereich von Wasserständen beziehen, der für die vorliegende Arbeit wegen der Auswahl höherer Tiden keine Vergleichsmöglichkeit ergibt. Um unsicheres Extrapolieren der Angaben aus (15) zu vermeiden, wurden für ausgewählte höhere Tiden aus den Abflußjahren 1952 bis 1954 besondere Bezugslinien aufgestellt, die die früheren Verhältnisse charakterisieren sollen.

Eine Schwierigkeit ergab sich bei dieser Betrachtung der früheren Verhältnisse. Die Abflußmengen für Versen sind nämlich erst ab 1954 in Gewässerkundlichen Jahrbüchern veröffentlicht, nicht für 1951 bis 1953. Es wurde hier die Beziehung zwischen Abflußmenge und Wasserstand aus dem Jahre 1954 hergeleitet und diese für die vorhergehenden Jahre als Näherung benutzt. Wasserstandsangaben für diese Jahre sind veröffentlicht.

Für die Betrachtung der Thw wurden die Angaben aus (15) für die früheren Verhältnisse übernommen (s. Kapitel III, 2).

Es wurden bei der Untersuchung des Thw sowohl Vollsperrungen als auch nachträgliche Vollsperrungen ausgewertet, während sich die Untersuchung der Tnw nur auf Vollsperrungen beschränkt.

b. Erhöhung des Thw

Auf den Abbildungen 10 bis 12 wurden die beobachteten Wertepaare eingetragen, getrennt nach Vollsperrungen und nachträglichen Vollsperrungen, und die zugehörigen Bezugslinien errechnet. Die Punkte ordnen sich recht gut ohne allzu große Streuungen. Die Linie für ungesperrte Tiden ist bei jedem Pegel natürlich unabhängig von der Art der Sperrung.

Man erkennt beim Vergleich zwischen „früher“ und „jetzt“, daß die Bezugslinien früher durchweg deutlich niedriger lagen. Ferner vergrößert sich der Abstand der zusammengehörigen Linien nach rechts oben. Das bedeutet, daß der Einfluß des Sperrwerkes sich bei höheren Tiden stärker auswirkt, eine durchaus einleuchtende Erscheinung.

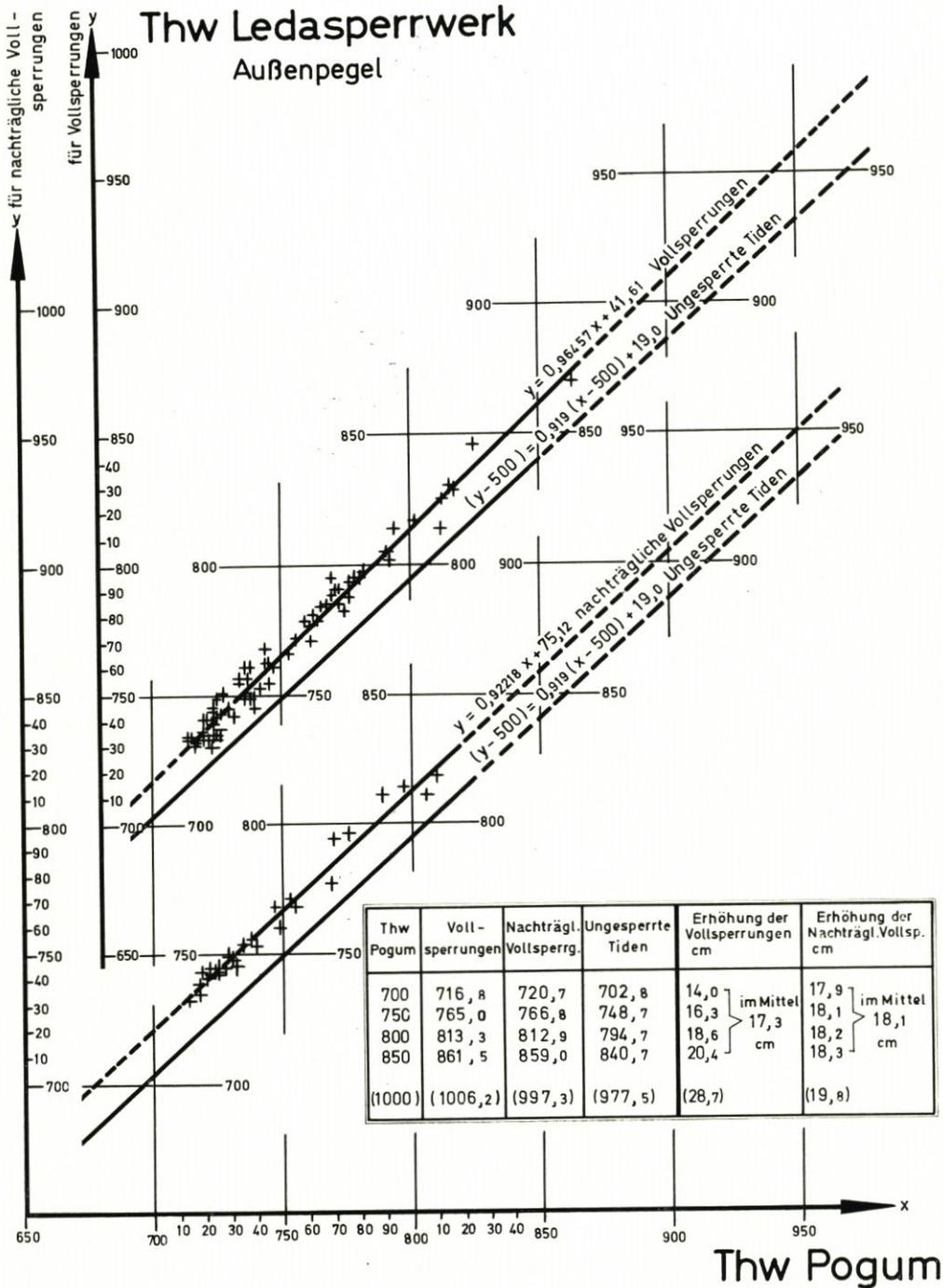


Abb. 10. Erhöhung des Thw Ledasperrwerk. Pegel-Bezugslinien. Ausgewählte höhere Tiden. Ems-Oberwasser reduziert auf 100 m³/s

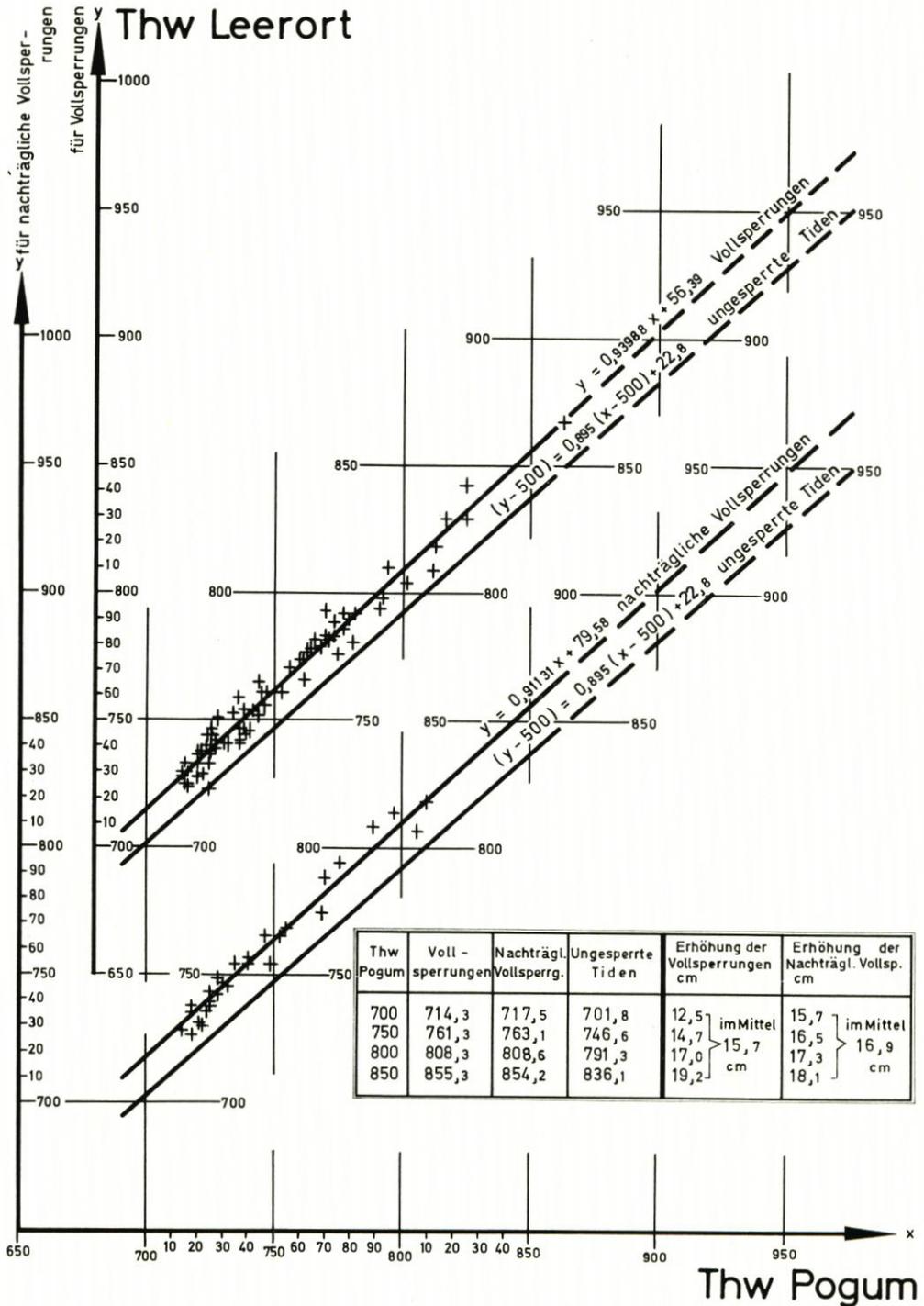


Abb. 11. Erhöhung des Thw Leerort. Pegel-Bezugslinien. Ausgewählte höhere Tiden.
Ems-Oberwasser reduziert auf 100 m³/s

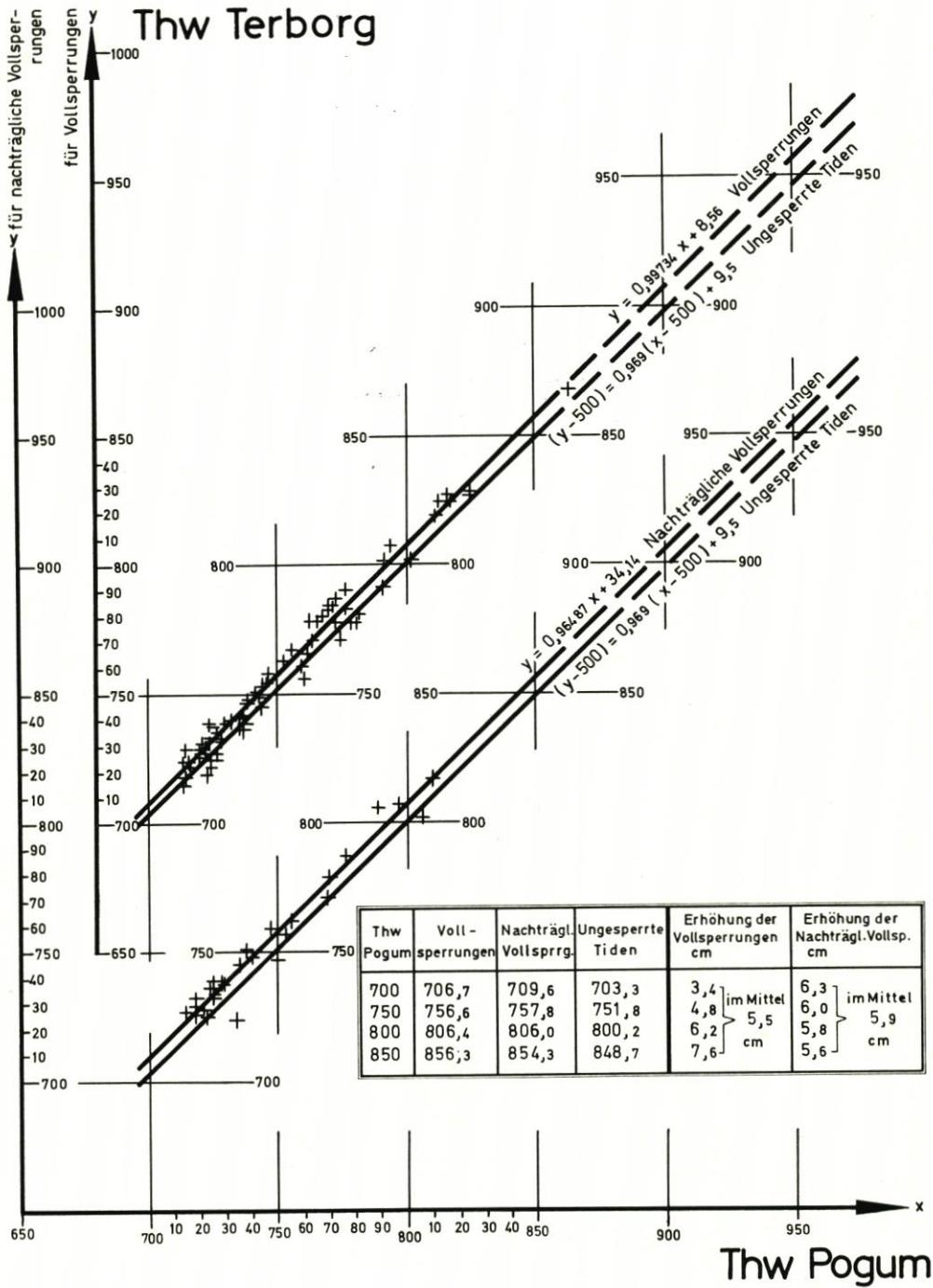


Abb. 12. Erhöhung des Thw Terborg. Pegel-Bezugslinien. Ausgewählte höhere Tiden.
Ems-Oberwasser reduziert auf 100 m³/s

Für das Auswerten der Größenordnung der gezeigten Erhöhung der Thw muß die Betrachtung, wie die Lage der dargestellten Punkte ausweist, sich auf den Bereich zwischen $NPH + 700$ cm und $NPH + 850$ cm am Pegel Pogum beschränken. (Bei diesem Pegel liegt MThw 1951/60 auf $NPH + 636$ cm.) Für noch höhere Fluten ergaben sich kaum Beobachtungswerte. Schlüsse über diesen sehr hohen Bereich können nur durch Extrapolieren gezogen werden und sind entsprechend vorsichtig zu werten.

Für den genauer zu betrachtenden mäßig hohen Bereich (Fluten, deren Scheitel Höhen zwischen ca. $NN + 2,0$ m und $NN + 3,5$ m am Pegel Pogum erreichen) läßt sich eine Abnahme der Erhöhung vom Sperrwerk über Leerort nach Terborg feststellen. Aus dem Vergleich der Zahlen und der Karte läßt sich entnehmen, daß die Erhöhung bis Pogum abgeklungen sein dürfte. Damit wird bestätigt, daß die Annahme, Pogum als Bezugspegel zu wählen, angebracht war. (Vgl. auch Abb. 25 auf S. 135).

c. Ergebnis

Die Thw werden durch den Betrieb des Sperrwerkes erhöht; ihre Erhöhung ist am Sperrwerk am größten, sie nimmt ledaabwärts und in der Ems weiter ab. Die Erhöhung der Thw wächst bei höheren Fluten. Sie ist für nachträgliche Vollsperrungen geringfügig größer als für sofortige Vollsperrungen.

Für etwa 1,6 bis 2,1 m über MThw auflaufende Fluten betragen die Erhöhungen im Mittel bei Vollsperrungen:

| | |
|-----------|---------|
| Sperrwerk | 17,3 cm |
| Leerort | 15,7 cm |
| Terborg | 5,5 cm |

und bei nachträglichen Vollsperrungen:

| | |
|-----------|---------|
| Sperrwerk | 18,1 cm |
| Leerort | 16,9 cm |
| Terborg | 5,9 cm |

Bei sehr hohen Sturmfluten (Scheitel über $NN + 5$ m) im Zusammentreffen mit einem nur wenig über das Mittel angehobenen Oberwasser in der Ems wird sich die Erhöhung der Thw am Sperrwerk um etwa 30 cm einstellen. Bei größerem Oberwasser erhöht sich dieser Wert noch um etwa 6 bis 8 cm.

d. Senkung des Tnw

Auf den Abbildungen 13 bis 15 wurden die ausgewerteten Tiden getrennt nach Oberwassergruppen eingetragen, wie in Absatz IV, 1 a erwähnt wurde. Der entstehende Punkthaufen weist trotzdem noch erhebliche Streuungen auf. Geht man möglichen Ursachen für die Streuungen nach, so zeigt sich, daß sie wesentlich bestimmt sind von der Höhe des vorhergehenden Thw. Ordnet man die Punkte nach diesem Gesichtspunkt — dargestellt auf den Abbildungen durch verschiedene Symbole — so erkennt man deutlich den Einfluß des Thw (vgl. Parameterdarstellung). Er ist ziemlich gleichmäßig, einerlei ob man niedrigere oder höhere Tnw betrachtet. Je höher das vorangegangene Thw war, desto höher liegt — verständlicherweise — das Tnw. Dieser Einfluß des Thw zeigt sich in gleicher Weise auch bei den Tiden der früheren Jahre 1951 bis 1954.

Vor allem bei geringerem Oberwasser der Ems (Abb. 15) ist der nach oben hin kleiner werdende Abstand der Bezugslinien für die verschiedenen Thw gut zu erkennen. Dies bedeutet, daß die vorhergehende Tide sich um so weniger auswirkt, je höher der Wasserstand ohnehin schon ist.

Auch beim Vergleich der verschiedenen Oberwassergruppen (Abb. 16) ist eine ähnliche Tendenz zu sehen. Der Abstand der Bezugslinien für Thw von 725, 750 und 775 ist bei wenig Oberwasser

Tnw Leerort

Die Küste, 14 Heft 2 (1966), 107-156

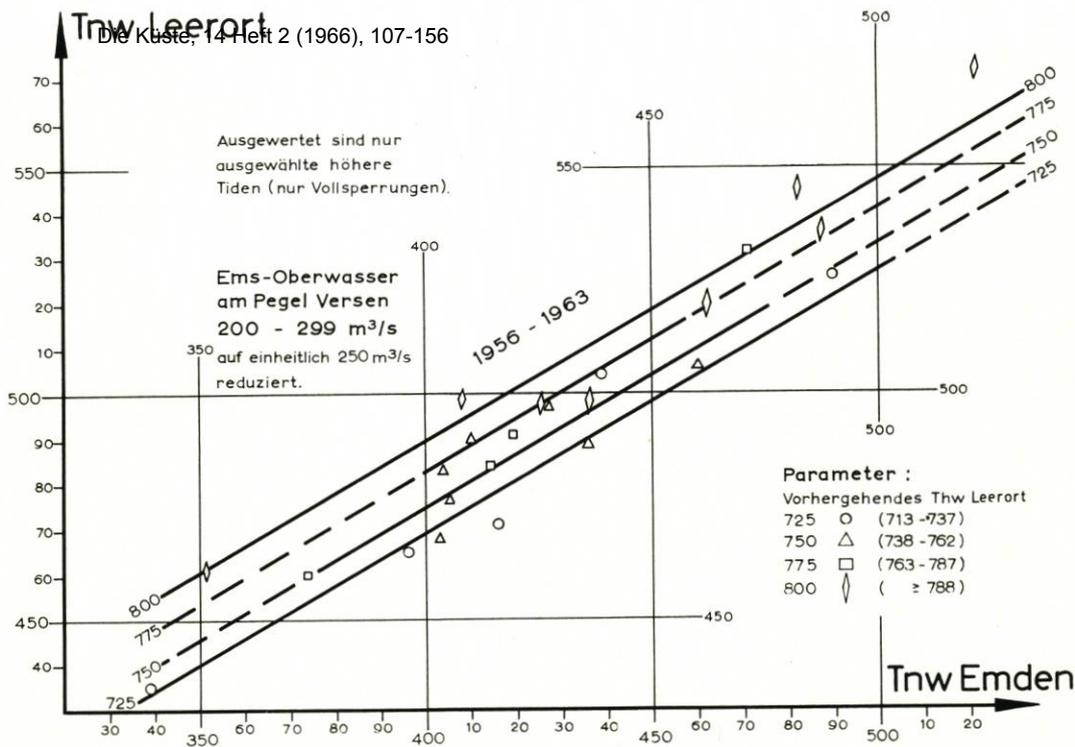


Abb. 13. Pegel-Bezugslinien zwischen Tnw Leerort und Tnw Emden in Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw (1)

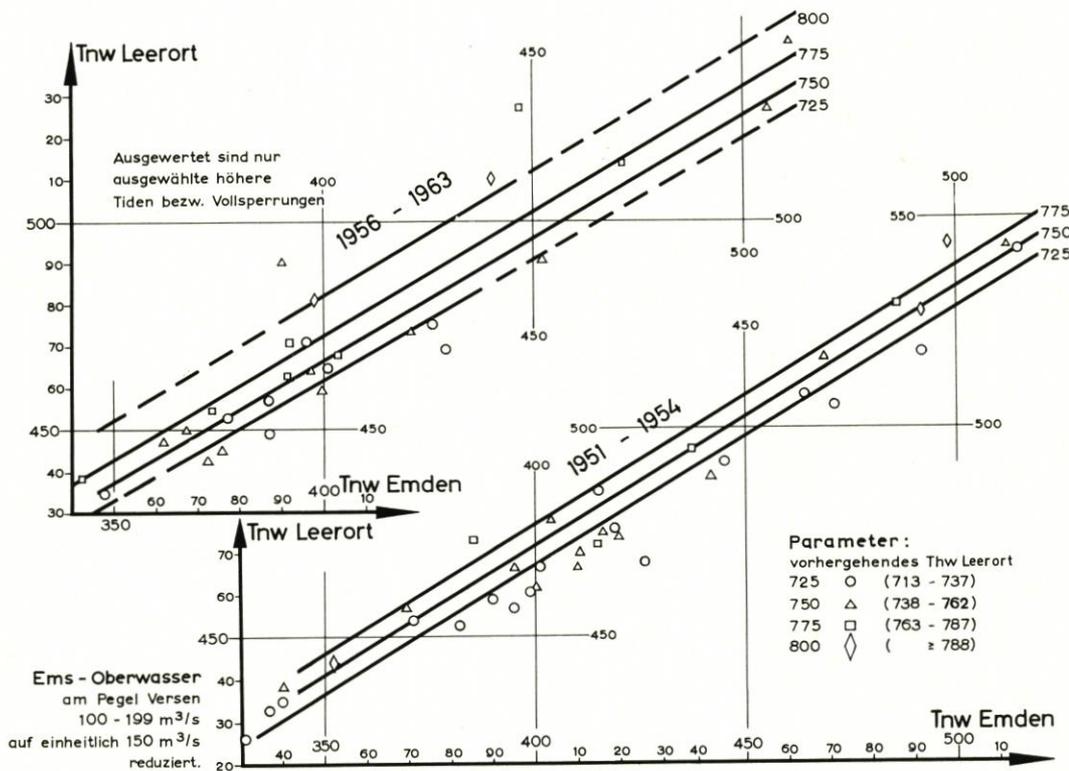


Abb. 14. Pegel-Bezugslinien zwischen Tnw Leerort und Tnw Emden in Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw (2)

größer als bei viel Oberwasser. Führt also die Ems ohnehin viel Wasser, dann macht sich der Einfluß der vorhergehenden Tide nicht so stark bemerkbar wie bei wenig Wasserführung der Ems.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch, daß sich die Bezugslinienscharen, die jeweils eine Oberwassergruppe kennzeichnen, nach rechts oben zueinander neigen. Diese Tatsache besagt, daß bei höheren Tnw der Einfluß des Oberwassers geringer wird. Dies ist wiederum leicht verständlich, wenn man die Querschnittsform eines Flusses betrachtet (s. Abb. 17).

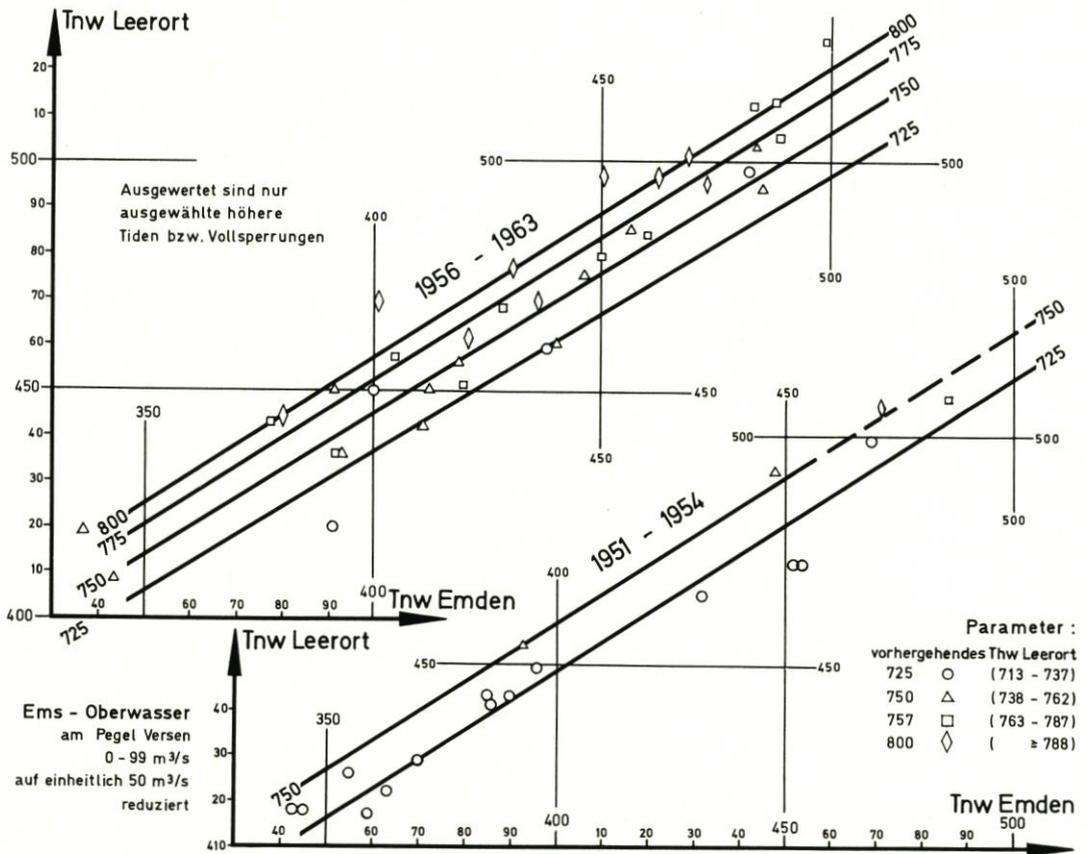


Abb. 15. Pegel-Bezugslinien zwischen Tnw Leerort und Tnw Emden in Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw (3)

Die Darstellung in Abbildung 16 soll nur die Tendenz des Oberwassereinflusses zeigen. Bei einem Ablesen von Zahlenwerten hat man zu bedenken, daß zur Zusammenfassung von Oberwassergruppen mit Hilfe von Reduzierkurven Korrekturwerte eingeführt worden sind. Beim zahlenmäßigen Vergleich der Oberwassergruppen aus Abbildung 16 ist daher Vorsicht geboten.

Zum Vergleich mit den früheren Verhältnissen wurden in den Abbildungen 18 und 19 die zusammengehörigen Bezugslinien — getrennt nach Oberwassergruppen und diese wiederum unterteilt nach dem vorhergehenden Thw — herausgezeichnet. Es wurde hierfür auf einzelne Bezugslinien verzichtet, so auf die Oberwassergruppe 200— 299 m³/s, weil hier zu wenig ausgewertete Tiden vor allem für die früheren Verhältnisse vorlagen.

Bei den dargestellten Vergleichen erkennt man, daß die Bezugslinien gegenüber früher gesun-

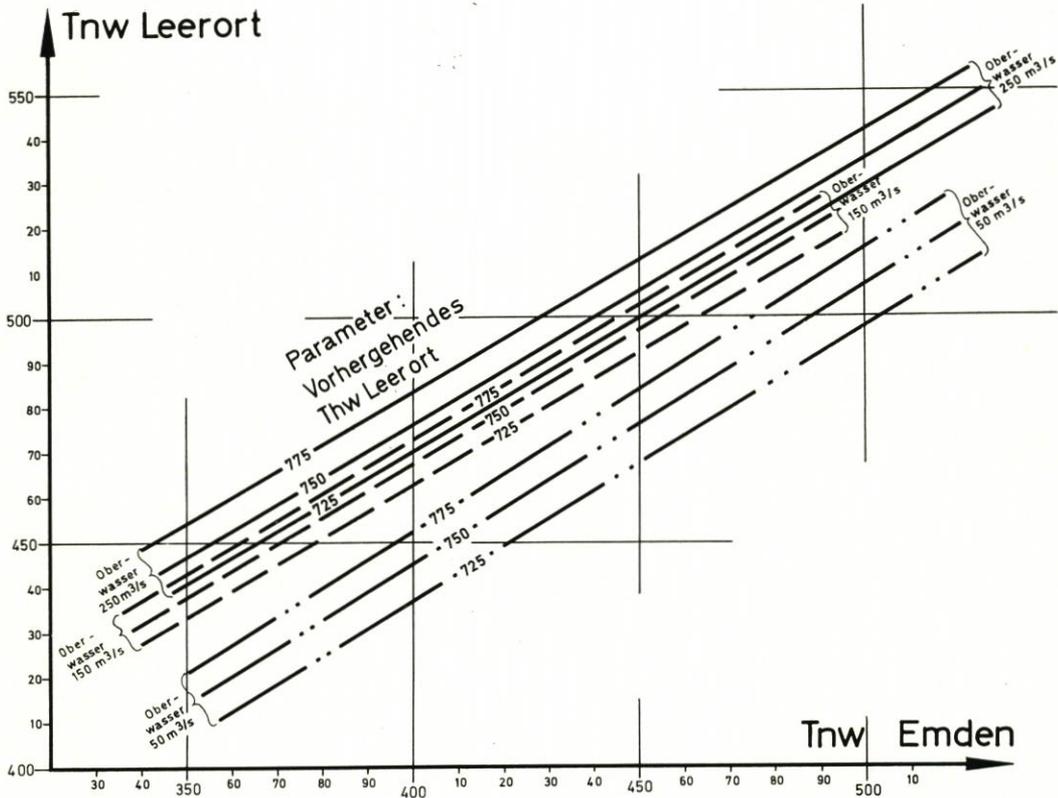


Abb. 16. Pegel-Bezugslinien zwischen Tnw Leerort und Tnw Emden. Einfluß des Ems-Oberwassers

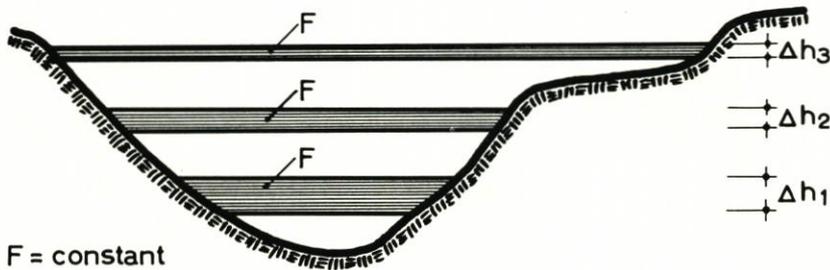


Abb. 17. Querschnittsform eines Flusses

ken sind. Deutlich ist wieder zu erkennen, daß die Bezugslinien nach rechts oben einen größeren Abstand haben. Der Einfluß des Sperrwerkes wirkt sich bei höheren Tiden stärker aus.

Zum Vergleich der Zahlenwerte wird wiederum nur ein Ausschnitt betrachtet. Es wurden deshalb auch nur solche Tiden gezeichnet, deren Tnw bei Emden zwischen NPH + 350 cm und NPH + 500 cm liegt. (Bei diesem Pegel liegt MTnw 1951/60 auf NPH + 333 cm.) Man stellt fest, daß die Senkung des Tnw in diesem Bereich größer ist, wenn gleichzeitig die Ems wenig Oberwasser führt.

Über den Einfluß des vorhergehenden Thw geben die dargestellten Linien widersprüchliche Aussagen. Bei kleinen Oberwassermengen ist klar abzulesen, daß die Absenkung sich vergrößert,

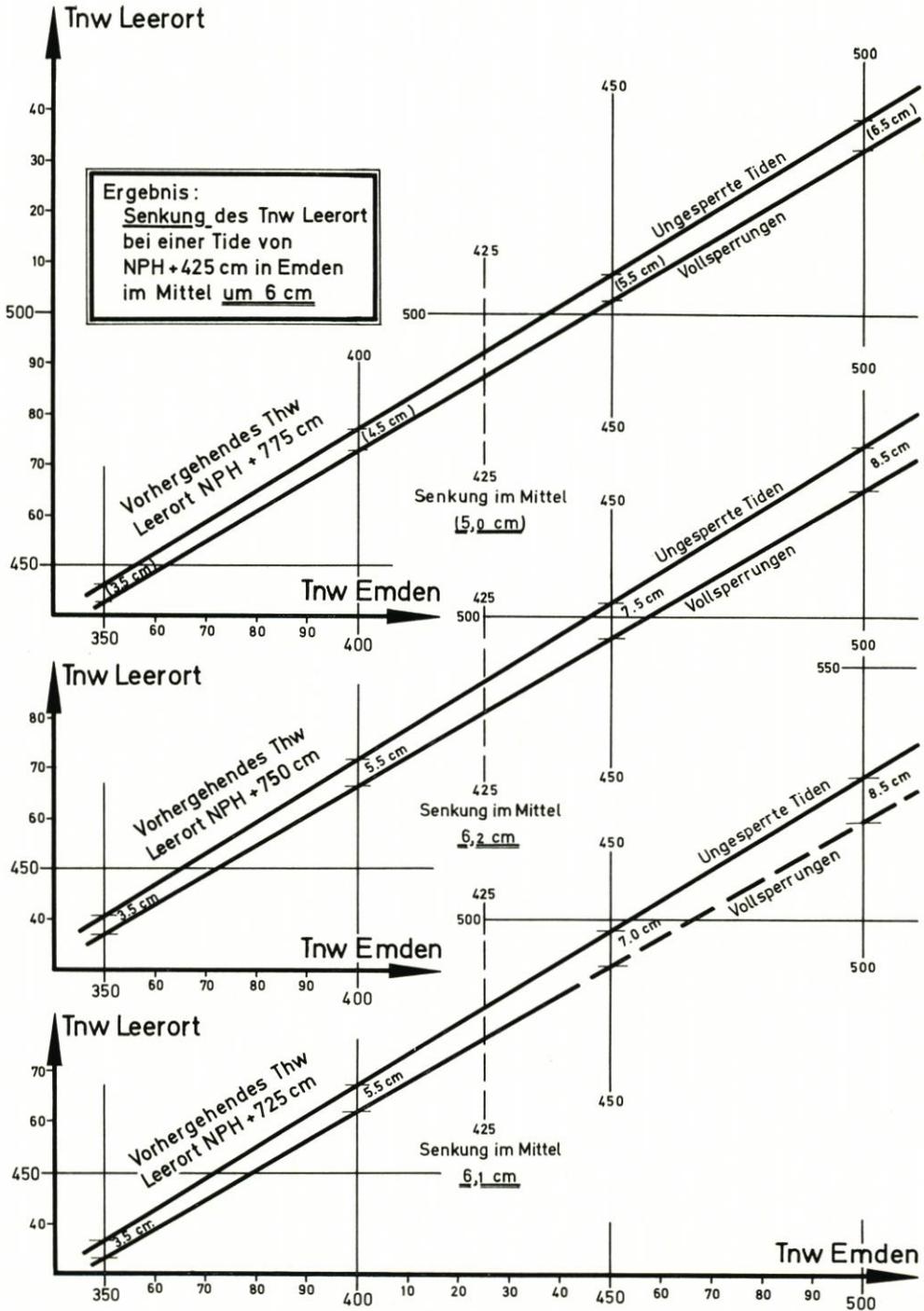


Abb. 18. Senkung des Tnw Leerort. Pegel-Bezugslinien (1). Ems-Oberwasser 100—199 m³/s; i. M. 150 m³/s. Ausgewählte Tiden · In Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw

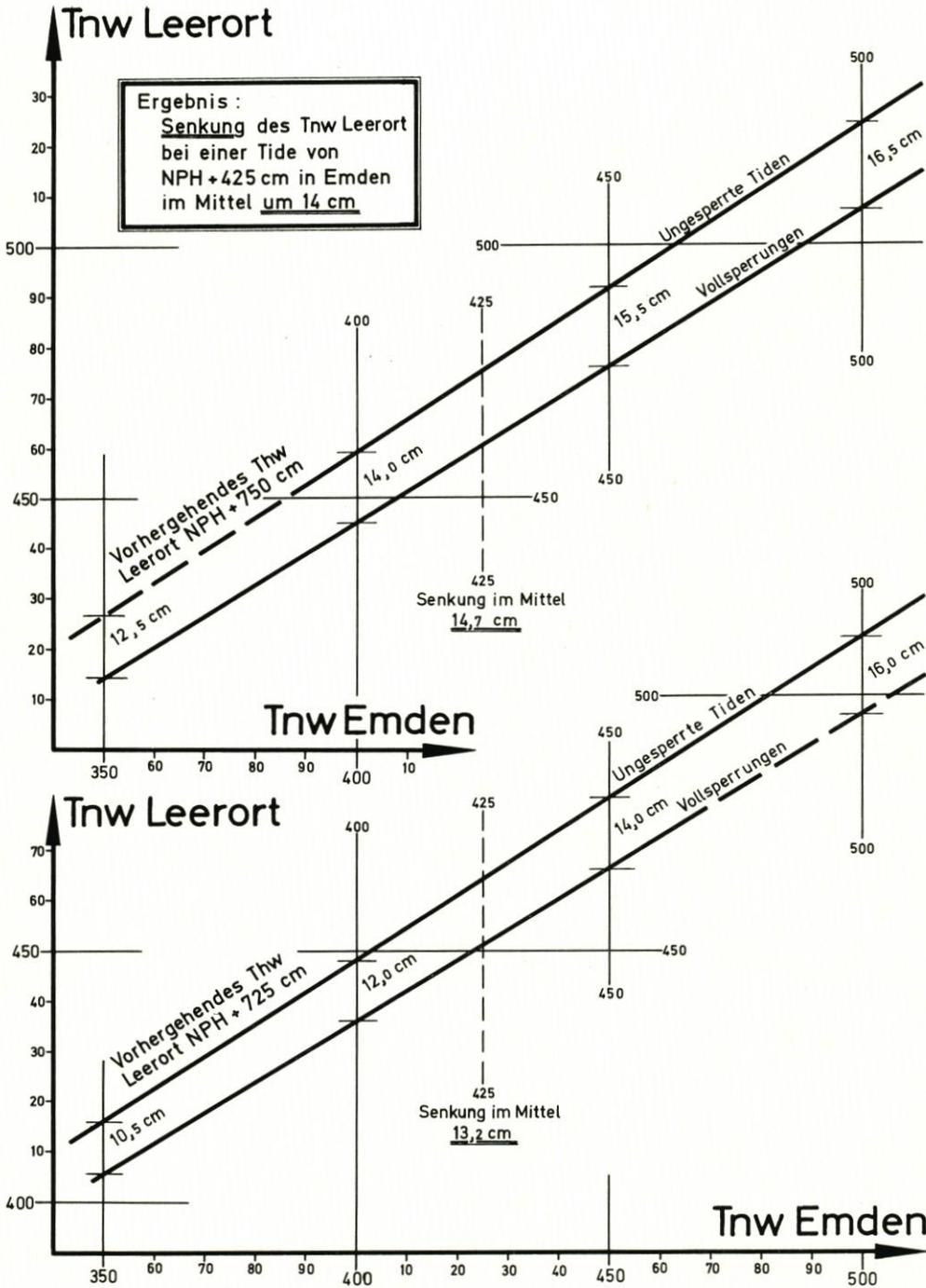


Abb. 19. Senkung des Tnw Leerort. Pegel-Bezugslinien (2). Ems-Oberwasser 0—99 m³/s; i. M. m³/s. Ausgewählte Tiden · In Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw

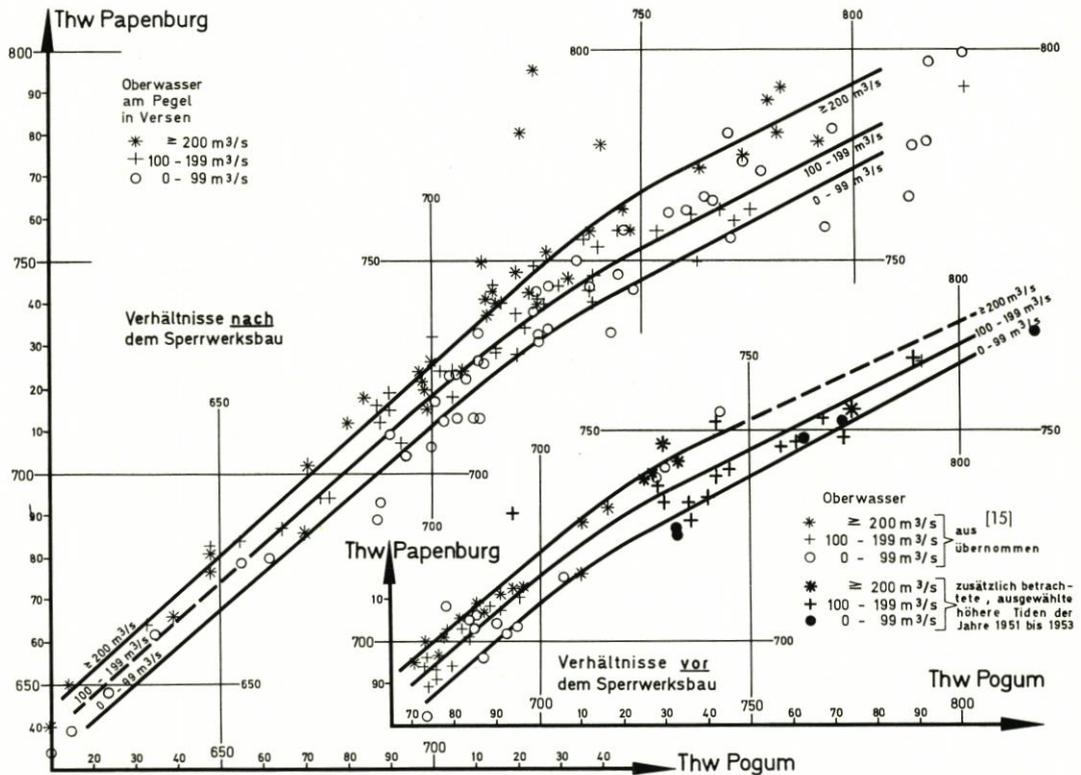


Abb. 20. Pegel-Bezugslinien zwischen Thw Papenburg und Thw Pogum in Abhängigkeit vom Ems-Oberwasser

wenn das vorhergehende Thw höher aufgelaufen ist. Bei reichlicherem Oberwasser — bei dem ja ohnehin eine geringere Absenkung auftritt — kann man die aufgezeigte Tendenz nicht mehr klar verfolgen, vermutlich bedingt durch die wenigen Punkte, die zur Ermittlung der Linien für 775 (Thw) führten. Jedenfalls steht fest, daß das vorhergehende Thw nur noch wenig Einfluß auf die Senkung des Tnw ausübt, wenn die Ems größeres Oberwasser führt.

e. Ergebnis

Die Tnw werden durch den Betrieb des Sperrwerkes abgesenkt. Die Senkung wächst mit höheren Tnw. Sie ist stark abhängig vom Oberwasser der Ems und etwas weniger stark abhängig von der Höhe des vorausgehenden Thw.

Für etwa 0,2 bis 1,7 m über MTnw auflaufende Tnw betragen die Senkungen im Mittel in Leerort

- bei 0— 99 m^3/s Oberwassermenge in der Ems 14 cm
- bei 100—199 m^3/s Oberwassermenge in der Ems 6 cm

Bei sehr hohen Tiden (Niedrigwasserscheitel über NN + 2 m) ist bei mäßig hohem Oberwasser in der Ems in Leerort mit einer Absenkung von etwa 25 cm zu rechnen.

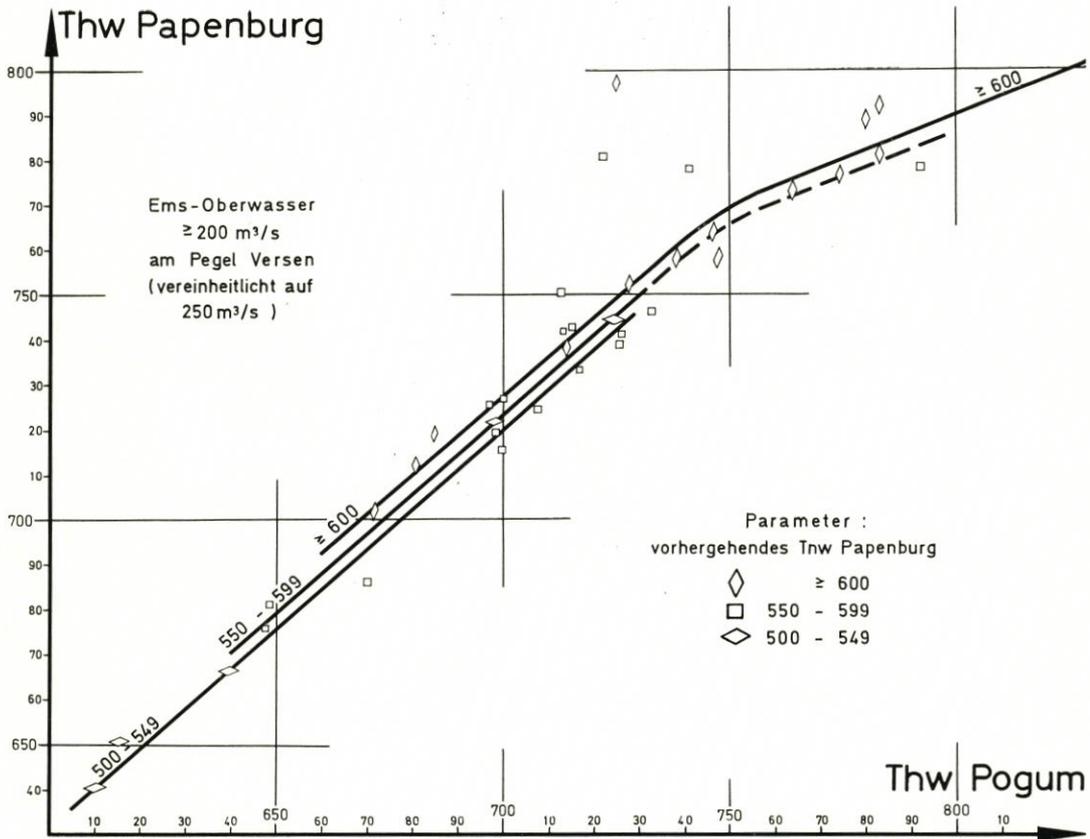


Abb. 21. Pegel-Bezugslinien zwischen Thw Papenburg und Thw Pogum in Abhängigkeit vom vorhergehenden Thw (1)

2. Wasserstände der Ems oberhalb der Ledamündung

a. Allgemeines

Die Verfolgung eines Einflusses des Leda-Sperrwerks in der Ems nach oberhalb geschieht nach der gleichen Methode wie sie bisher gezeigt wurde. Trotzdem müssen Erläuterungen vorweg gegeben werden.

Es sollen hier nur beispielhaft die Thw untersucht werden, und diese auch nur für den Pegel Papenburg (s. Abb. 1).

In der Emsstrecke oberhalb der Ledamündung macht sich in zunehmendem Maße ein starker Einfluß des Ems-Oberwassers bemerkbar. Es leuchtet ein, daß der Einfluß des Sperrwerkes demgegenüber mehr in den Hintergrund tritt.

Der Einfluß der Oberwassermenge wird wieder durch Gruppenbildung und Reduzierung auf $50 \text{ m}^3/\text{s}$, $150 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $250 \text{ m}^3/\text{s}$ innerhalb dieser Gruppen berücksichtigt. Im übrigen gelten für das Oberwasser die Bemerkungen aus Absatz IV, 1 a.

Es zeigte sich, daß sowohl die Angaben der Studie (15) über die früheren Verhältnisse wie auch die Auswertung der bislang hier benutzten höheren Tiden auf nicht genügend Wertepaaren beruhen,

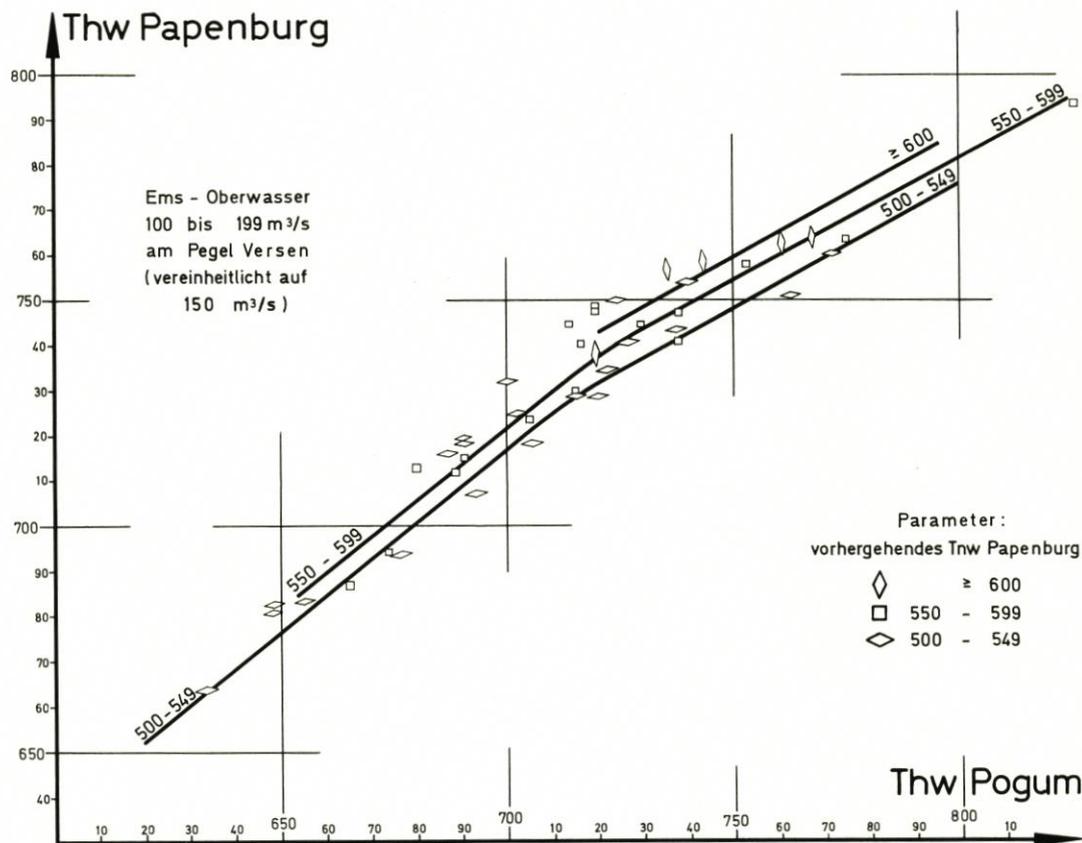


Abb. 22. Pegel-Bezugslinien zwischen Thw Papenburg und Thw Pogum in Abhängigkeit vom vorhergehenden Tnw (2)

um eine einigermaßen sichere Aussage zu machen. Es wurde deshalb ergänzend noch weiteres Beobachtungsmaterial herangezogen.

Für die früheren Verhältnisse wurden zusätzlich zu den in der Studie verwerteten Zahlen die höheren Tiden aus den Jahren 1951 bis 1953 ausgewählt, die bei Papenburg den Pegelstand von NPH + 730 cm überschritten haben. Für die heutigen Verhältnisse mußten, da sich die Angaben aus der Studie vorwiegend auf einen niedrigen Bereich der Thw beschränken, auch aus diesem Bereich Zahlenwerte herangezogen werden. Es wurden Tiden aus der Zeit zwischen Januar 1956 bis Januar 1959 ausgewählt, die gesperrt wurden und am Außenpegel des Leda-Sperrwerks zwischen 700 und 740 cm über NPH aufliefen.

b. Erhöhung des Thw

Auf Abbildung 20 wurden die verwerteten Zahlenpaare eingetragen. Sie ergeben deutlich eine Staffelung nach dem Oberwasser. Jedoch weist der Punkthaufen noch erhebliche Streuungen auf. Auch die zu erwartende Abnahme des Oberwassereinflusses bei höheren Tiden — auf Abbildung 16 für Tnw Leerort noch gut erkennbar — schält sich hier nicht heraus. Vermutlich liegt das daran, daß nicht genügend Tiden ausgewertet werden konnten.

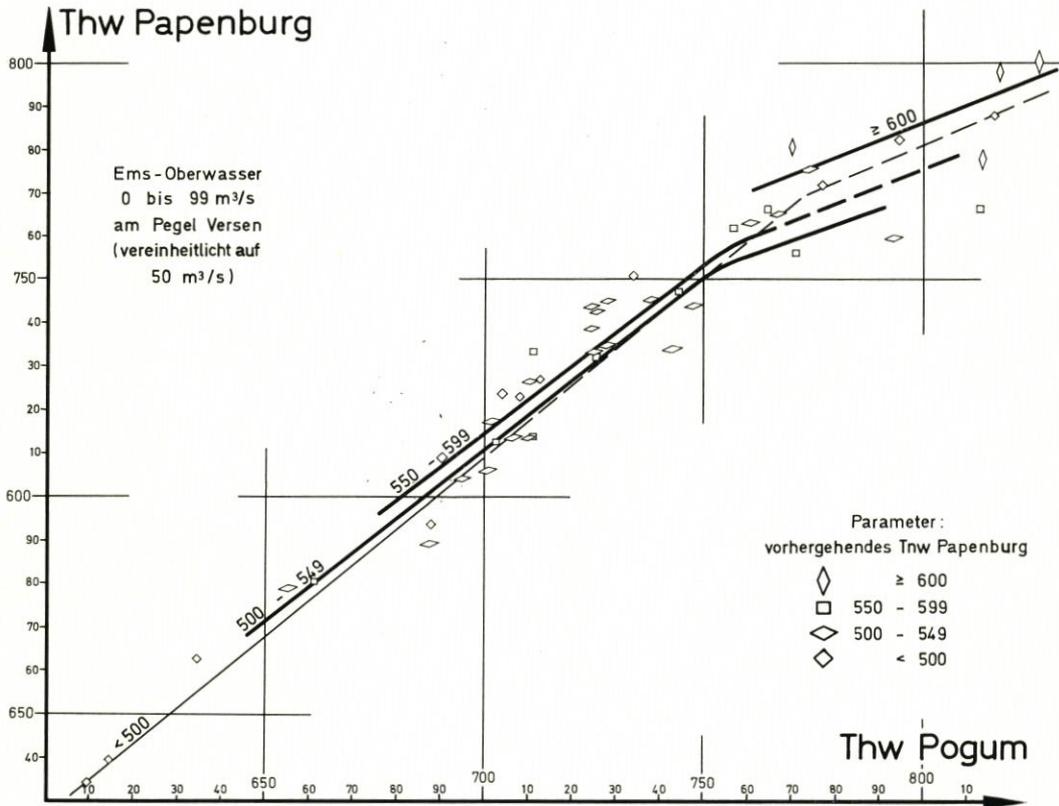


Abb. 23. Pegel-Bezugslinien zwischen Thw Papenburg und Thw Pogum in Abhängigkeit vom vorhergehenden Tnw (3)

Um zu zeigen, daß die Streuungen des Punkthaufens zu einem großen Teil systematischer Natur sind, wurde auf den Abbildungen 21 bis 23, getrennt nach Oberwassergruppen, eine weitere Aufteilung nach dem vorhergehenden Tnw in Papenburg vorgenommen. In den Abbildungen wurden dafür wieder verschiedene Symbole verwendet. Mit Ausnahme eines Falles — nämlich bei geringem Oberwasser und niedrigem Tnw — zeigt sich (wie in Absatz IV, 1 d für Thw entsprechend) ein einigermaßen gleichmäßiger Einfluß des vorhergehenden Tnw, einerlei ob man niedrige oder höhere Thw betrachtet. Je höher das vorhergehende Tnw lag, desto höher läuft auch das Thw auf.

Vergleicht man nun wiederum die Bezugslinien für die heutigen Verhältnisse mit denen für die früheren, so stellt man (Abb. 24) eine Erhöhung der Thw fest, die um so stärker in Erscheinung tritt, je mehr Oberwasser die Ems führt. Da sich die gezeichneten vergleichbaren Bezugslinien wieder nach rechts oben öffnen, läßt sich auch ein stärkerer Einfluß des Sperrwerks bei höheren Tiden ablesen.

Beim zahlenmäßigen Auswerten beachte man, daß die Bezugslinie für ungesperrte Tiden und hohes Oberwasser bei höheren Thw besonders unsicher ist, weil dafür sehr wenig Beobachtungsmaterial vorlag.

c. Ergebnis

Das in Absatz IV, 1 c gefundene Ergebnis wird bestätigt. Die Erhöhung der Thw nimmt in der Ems auch nach oberhalb ab. Sie ist abhängig vom Oberwasser der Ems. Sie beträgt für etwa 1,6 m bis

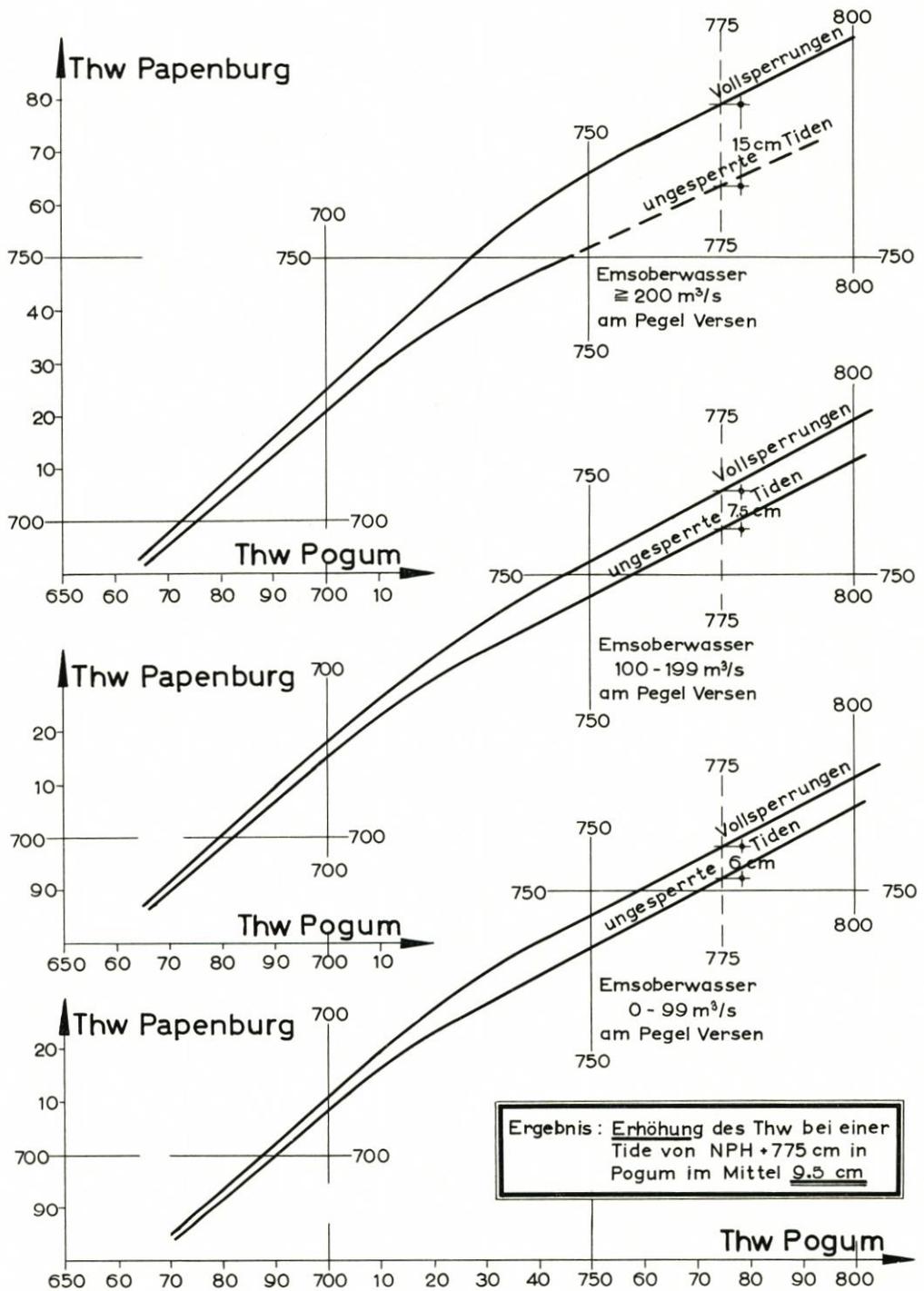


Abb. 24. Erhöhung des Thw Papenburg. Pegel-Bezugslinien. Ausgewählte Tiden.
Oberwassergruppen 0-99 / 100-199 / $\geq 200 \text{ m}^3/\text{s}$

2,1 m über MThw auflaufende Fluten bei der Betriebsform Vollsperrung am Pegel Papenburg im Mittel 9,5 cm.

Die Erhöhung der Thw infolge des Sperrwerksbetriebes klingt in Richtung Terborg schneller ab als in Richtung Papenburg (vgl. Absatz IV, 1 c und Abb. 1).

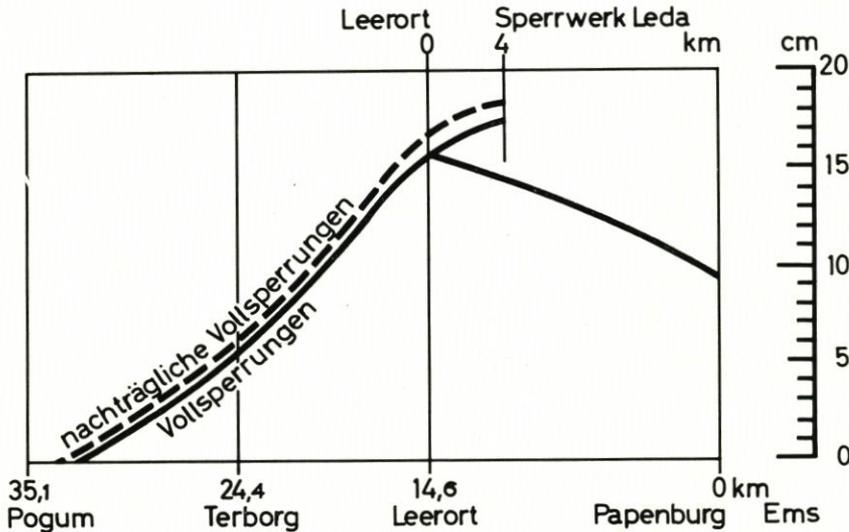


Abb. 25. Erhöhung der Thw (Mittelwerte)

Bei sehr hohen Sturmfluten und reichlichem Oberwasser ist eine Erhöhung der Thw am Pegel Papenburg von 15 bis 20 cm zu erwarten.

3. Binnenwasserstände

a. Allgemeines

Zur Beurteilung der Auswirkungen des Sperrbetriebes auf die Binnenwasserstände werden die Pegelstellen am Sperrwerk (Binnenpegel) und am Dreyschloot (Abb. 1) untersucht.

Hierbei ist zu beachten, daß der Pegel am Sperrwerk erst mit dem Bau der Gesamtanlage errichtet wurde. Es liegen also keine Beobachtungen aus der Zeit vorher vor. Diese Tatsache erschwert den Vergleich mit früheren Verhältnissen außerordentlich. Man könnte natürlich auf Grund der vorhandenen Unterlagen eine Pegelbeziehung zu den benachbarten Pegeln Leerort oder Wiltshausen herleiten, jedoch muß dabei berücksichtigt werden, daß die Leda in diesem Bereich nicht nur durch den Sperrwerksbau in ihrem Lauf verändert wurde. Auf die Herleitung einer solchen Pegelbeziehung wurde deshalb verzichtet.

Die Aussagen beschränken sich daher bei der Betrachtung der Binnenwasserstände im wesentlichen darauf, zu zeigen, welche Wirkung der Sperrbetrieb in seinen verschiedenen Formen heute auf die Binnenwasserstände hat, ohne genauer auf einen Vergleich zu früher einzugehen. Lediglich recht roh wird ein solcher Vergleich durch Angabe von Mittelwerten angedeutet. Die so gefundenen Aussagen sind besonders problematisch, weil vielerlei „fremde“ Einflüsse in diese Mittelwertbildung eingehen, sich summieren, vielleicht auch gegenseitig teilweise aufheben usw., ohne daß sie in irgendeiner

Weise erfaßt würden. Die Streuungen, die Abweichungen vom Mittelwert, sind groß. Die so gefundenen Ergebnisse mögen entsprechend vorsichtig gewertet werden.

Bei der Untersuchung der Binnenwasserstände wird mehrfach auch auf Abhängigkeiten zurückgegriffen, die keine Bezugslinien im enger gefaßten Sinne sind, wenn sie auch nach Art dieser Bezugslinien dargestellt sind. Insbesondere handelt es sich um die Auftragung des Thw über dem vorausgegangenen Tnw des gleichen Pegels. Aus diesen Diagrammen kann man durchaus Abhängigkeiten erkennen. Insbesondere besteht die Möglichkeit, über die Beziehung des Thw zum Tnw hinaus den Einfluß eines weiteren Umstandes durch Darstellung in Parameterform zu kennzeichnen.

Einer dieser Einflüsse, die herausgearbeitet werden, ist der Zeitpunkt des Sperrrens nach dem vorhergehenden Tnw, der sich bereits in den Betriebsformen „Vollsperrung“ und „nachträgliche Vollsperrung“ ausdrückt.

Der zweite wesentliche Einfluß auf die Binnenwasserstände ist der des Oberwassers aus dem Leda-Jümme-Gebiet. Leider gibt es für dieses keine Angaben über die Abflussmengen, wie dies beim Oberwasser der Ems am Pegel Versen-Wehrdurchstich der Fall ist. Die Gründe dafür mögen darin liegen, daß sich das Flußsystem noch im Tidegebiet weit verzweigt und aufteilt (Abb. 1). In den Oberlauf teilen sich eine ganze Reihe gleichberechtigter Zuflüsse.

Ein einigermaßen sicheres Abschätzen von Oberwassergruppen versprach der bei geschlossenem Sperrwerk gemessene Anstieg des Binnenwasserstandes. Dieser Anstieg hängt ja weitgehend vom Zufluß des Oberwassers ab. Zwar spielen auch Lage des Wasserspiegels beim vorhergehenden Tnw, Spiegelsenkungen im oberen Einzugsgebiet, Abfluß durch Siele und Schöpfwerke während der Sperrzeit eine Rolle; es schien aber die zuverlässigste Methode zu sein, den Binnenanstieg zur Abschätzung der Oberwassermengen zu benutzen.

Genau genommen ist der Anstieg des Binnenwasserstandes in der Zeiteinheit das Maß, das verwendet werden müßte. Da aber nur Vollsperrungen ausgewertet wurden, deren Dauer nicht zu stark voneinander abwich, wurde hier vereinfachend nur die Steighöhe zwischen Zeitpunkt des Sperrrens und dem des Öffnens als „Binnenanstieg“ angesehen. Es wurden 4 Gruppen gebildet: Wenig, mäßig, reichlich und viel Oberwasser; auf den Abbildungen jeweils charakterisiert durch ein besonderes Symbol.

Aus Mangel an entsprechenden Unterlagen konnte auch innerhalb der Oberwassergruppen für das Binnengebiet keine Reduzierung vorgenommen werden, eine Tatsache, die natürlich weitere Streuungen nach sich zieht. Man könnte an Hand der in dieser Arbeit gefundenen Abstände der Linien für die Oberwassergruppen Reduzierkurven aufstellen und Korrekturwerte einführen. Hierauf wurde jedoch verzichtet. Eine stichprobenweise Überprüfung zeigte, daß die Streuungen geringer werden.

b. Binnenpegel Sperrwerk

Auf Abbildung 26 sind die ausgewerteten Tiden eingetragen. Sie wurden nach Art von Bezugslinien aufgetragen in Abhängigkeit von dem jeweils vorausgegangenen Tnw Leda-Sperrwerk, mit der Oberwassermenge in der Leda als Parameter. Ihr Mittelpunkt liegt bei Thw Leda-Sperrwerk = $NPH + 590$ cm. Zum — wie erwähnt recht rohen — Vergleich zu ungesperrten Tiden werden die entsprechenden Tiden mit ihrem Wasserstand am Außenpegel herangezogen, gemittelt und von diesem Mittelpunkt die in einem früheren Kapitel (Absatz IV, 1 b, Abb. 10) ermittelte Erhöhung abgesetzt. Der so korrigierte Mittelpunkt der ungesperrt gedachten Tiden liegt bei Thw Leda-Sperrwerk = $NPH + 750$ cm. Daraus läßt sich eine wesentliche Absenkung der Thw durch den Sperrwerksbetrieb, und zwar um 160 cm, ablesen.

Zuverlässiger als die zahlenmäßige Angabe der Absenkung der Thw lassen sich an Hand der Parameterdarstellung auf Abbildung 26 Aussagen über den Einfluß des Oberwassers auf den Wasserstand am Binnenpegel des Sperrwerks machen. Der Punkthaufen, der zunächst sehr große Streuungen aufwies, sortiert sich durch die Gruppierung nach dem Oberwasser bereits recht deutlich. Es wurde

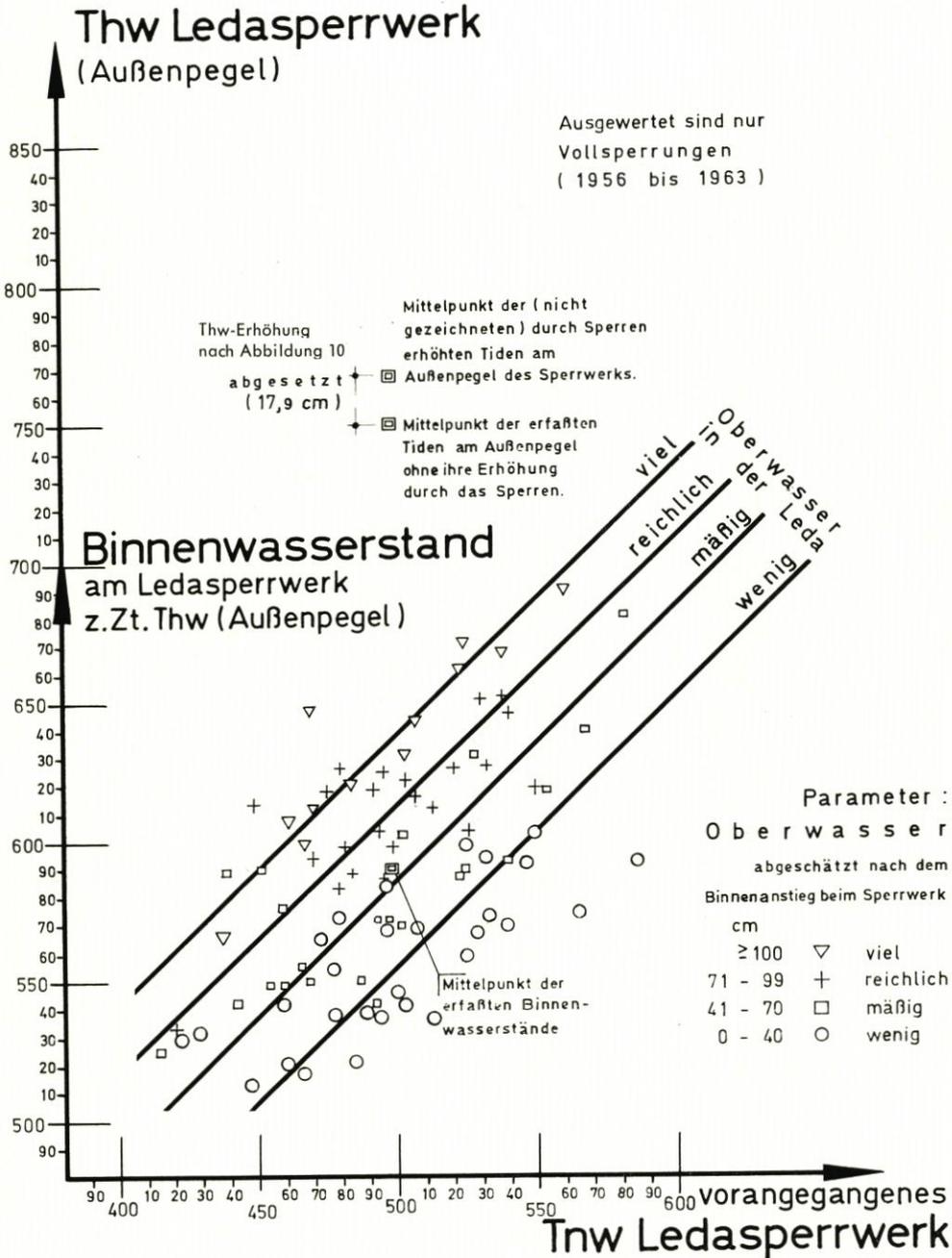


Abb. 26. Binnenwasserstand am Leda-Sperrwerk in Abhängigkeit von Thw und Oberwasser (1)

versucht, die Gruppen durch je eine Gerade zu ersetzen. Je höher das vorangegangene Thw war und je größer die Oberwassermenge ist, desto höher wird auch der Binnenwasserstand. Der Einfluß des Oberwassers nimmt mit wachsender Menge nur wenig ab, da der Abstand der Geraden nur gering-

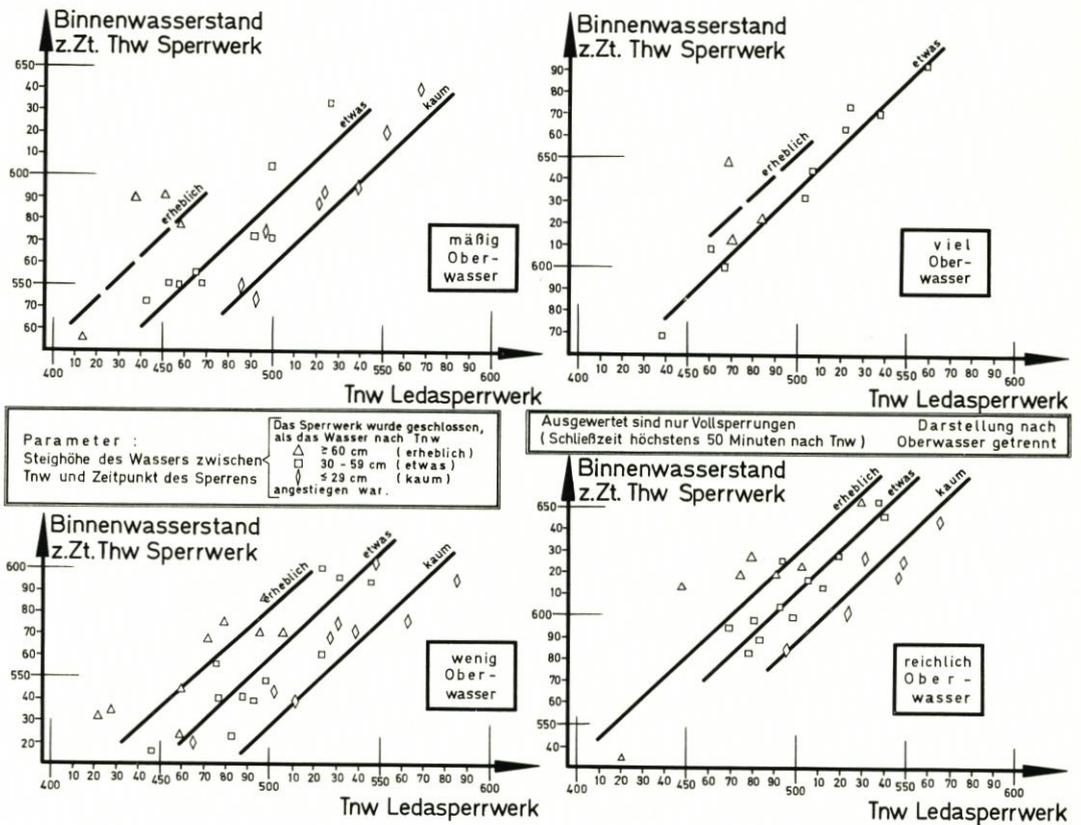


Abb. 27. Binnenwasserstand am Leda-Sperrwerk in Abhängigkeit von der Steighöhe des Wassers zwischen Tnw und Zeitpunkt des Sperrrens

fällig enger wird. Ebenso nimmt der Einfluß des Oberwassers im untersuchten und dargestellten Bereich auch kaum mit dem vorangegangenen Tnw ab, denn die vier Geraden verlaufen annähernd parallel.

Die Streuung der zu Oberwassergruppen zusammengefaßten Punkte ist trotz allem noch sehr groß. Unterscheidet man deshalb weiterhin jede Gruppe nach dem Zeitpunkt des Sperrrens — hier gemessen an dem Anstieg des Wasserspiegels zwischen dem Tnw und dem Sperrren —, so erkennt man klar eine Ordnung, die auf Abbildung 27 gezeichnet ist. Je mehr der Wasserspiegel noch vor dem Sperrren angestiegen ist, desto höher wird bei gleichem Tnw der Binnenwasserstand.

Die erwähnte Abhängigkeit vom Oberwasser läßt sich auch recht gut zeigen, wenn man — wie es auf Abbildung 28 geschehen ist — nur diejenigen Tiden zusammenfaßt, deren Steighöhe vor dem Sperrren etwa die gleiche ist.

c. Pegel Dreyschloot

Zunächst ist auf Abbildung 29 der Zusammenhang zwischen den beiden betrachteten Binnenpegeln durch Bezugslinien, die jeweils wieder getrennt nach den eingeführten vier Oberwassergruppen aufgestellt wurden, dargestellt. Die Linien verlaufen ähnlich wie auf Abbildung 26.

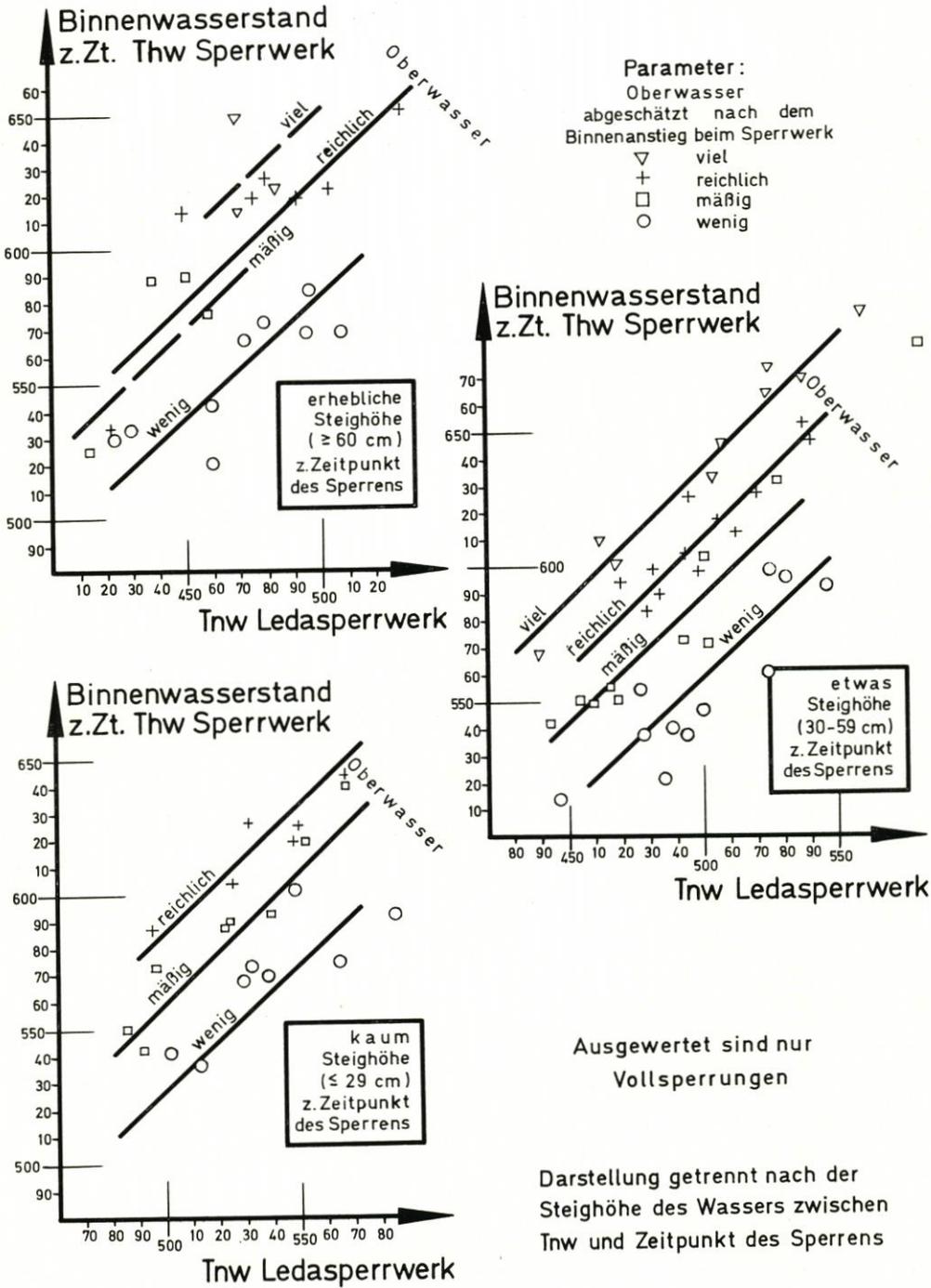


Abb. 28. Binnenwasserstand am Leda-Sperrwerk in Abhängigkeit von Tnw und Oberwasser (2)

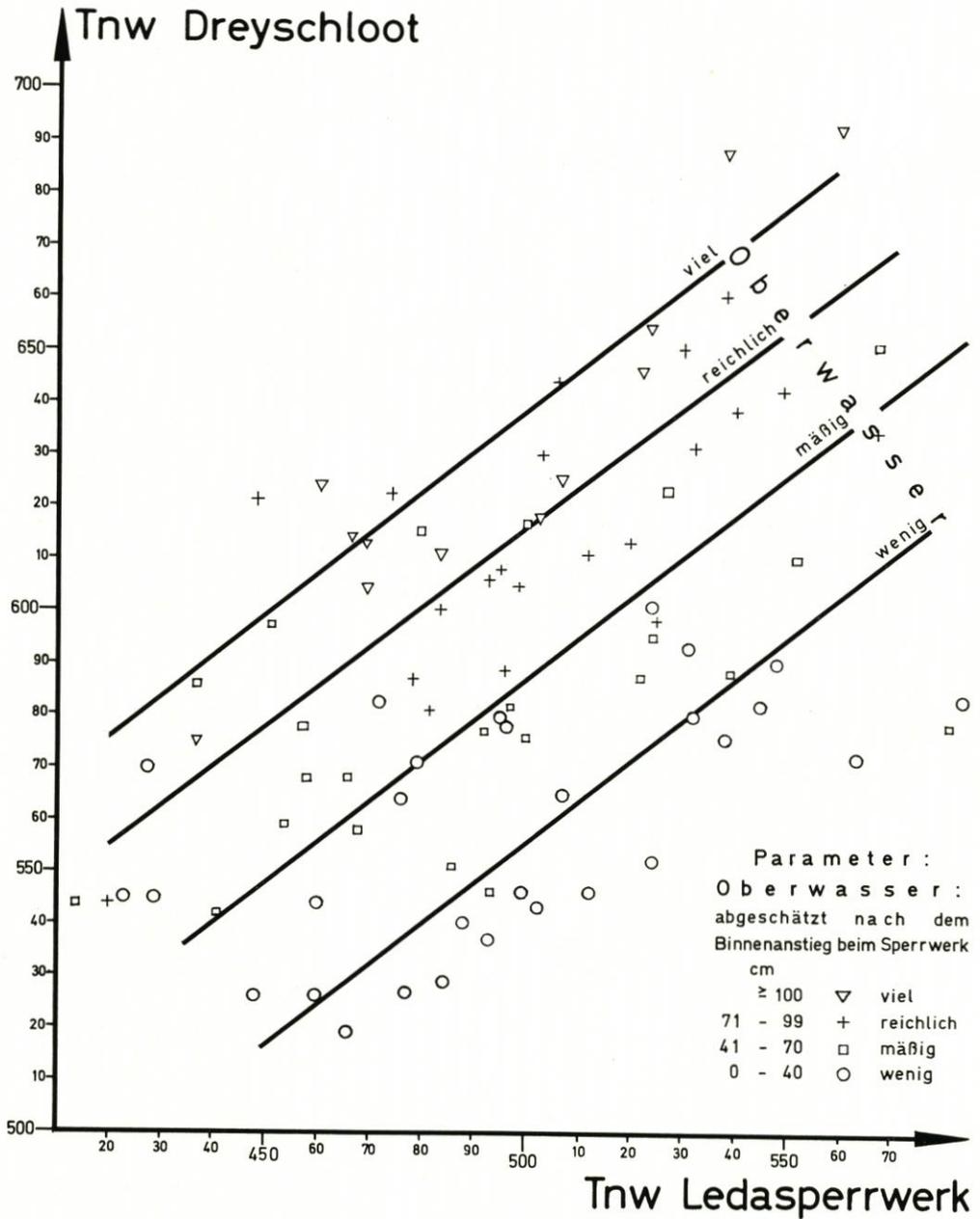


Abb. 29. Pegel-Bezugslinien zwischen Tnw Dreyschloot und Tnw Sperrwerk in Abhängigkeit vom Leda-Oberwasser

Der Vergleich zwischen den früheren Verhältnissen und denen nach Inbetriebnahme des Sperrwerkes wird zunächst wieder an Hand von Mittelwerten versucht.

Betrachtet man die Tabellen 1 und 2 (S. 144 oben), so glaubt man eine Senkung des Tnw im Mittel um knapp 30 cm, eine Senkung des Thw um rund 35 cm wahrzunehmen. Vergleicht man demgegenüber aber auch solche Tiden, die unter dem Sperrwasserstand von NPH + 700 bleiben, die also

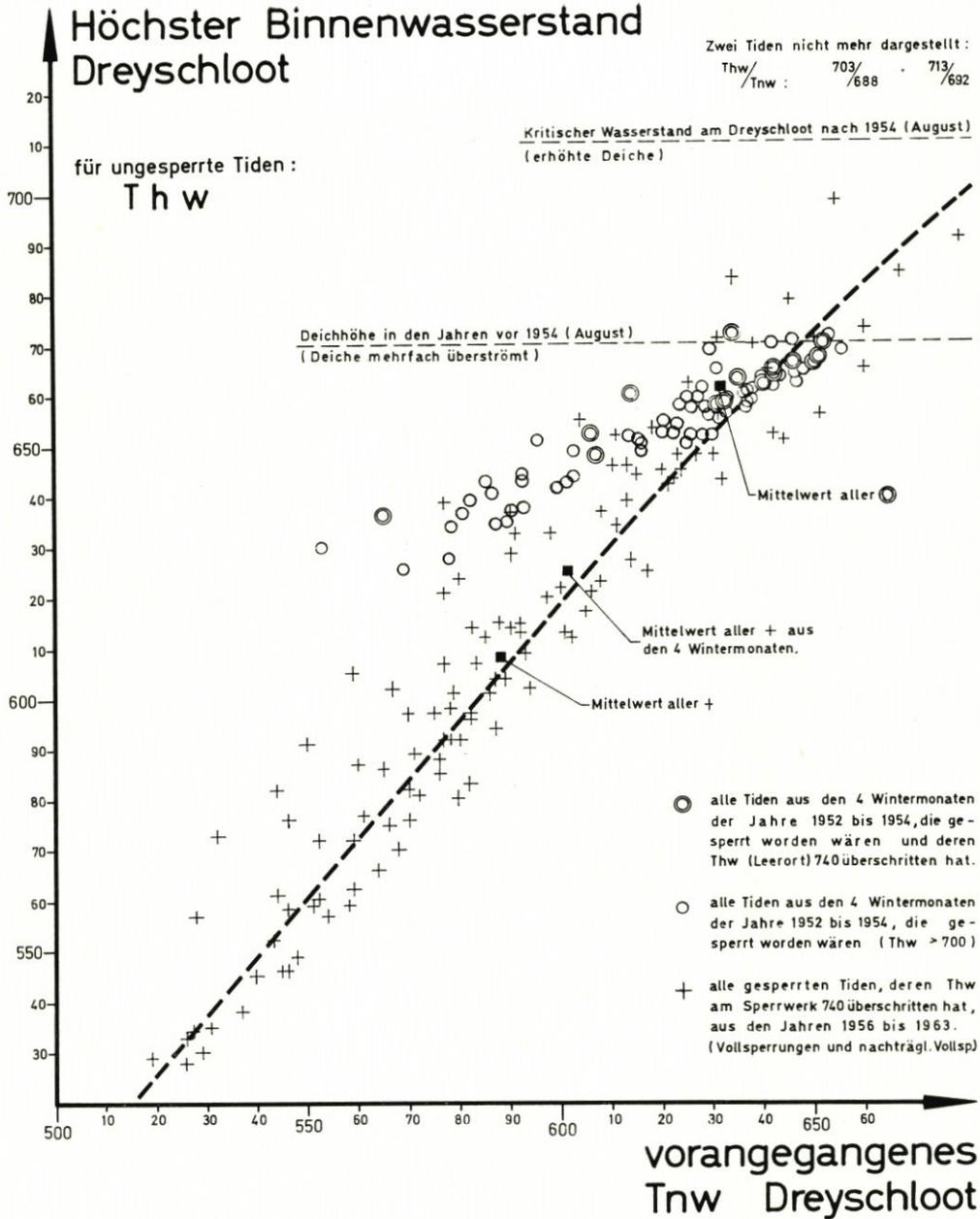


Abb. 30. Binnenwasserstand am Dreyschloot. Vergleich mit früheren Verhältnissen (2)

durch das Sperrwerk unbeeinflusst sein müssten, so erkennt man, daß auch hier schon eine Senkung des Tnw um etwa die Hälfte des vorher erkannten Betrages von knapp 30 cm eingetreten ist, während das Thw annähernd gleich blieb.

Es ist möglich, daß die untersuchten „Tiden unter NPH + 700“ doch nicht ganz unbeeinflusst von den Sperrungen sind, sofern es sich um die einer gesperrten Tide folgende niedrigere Tide handelt.

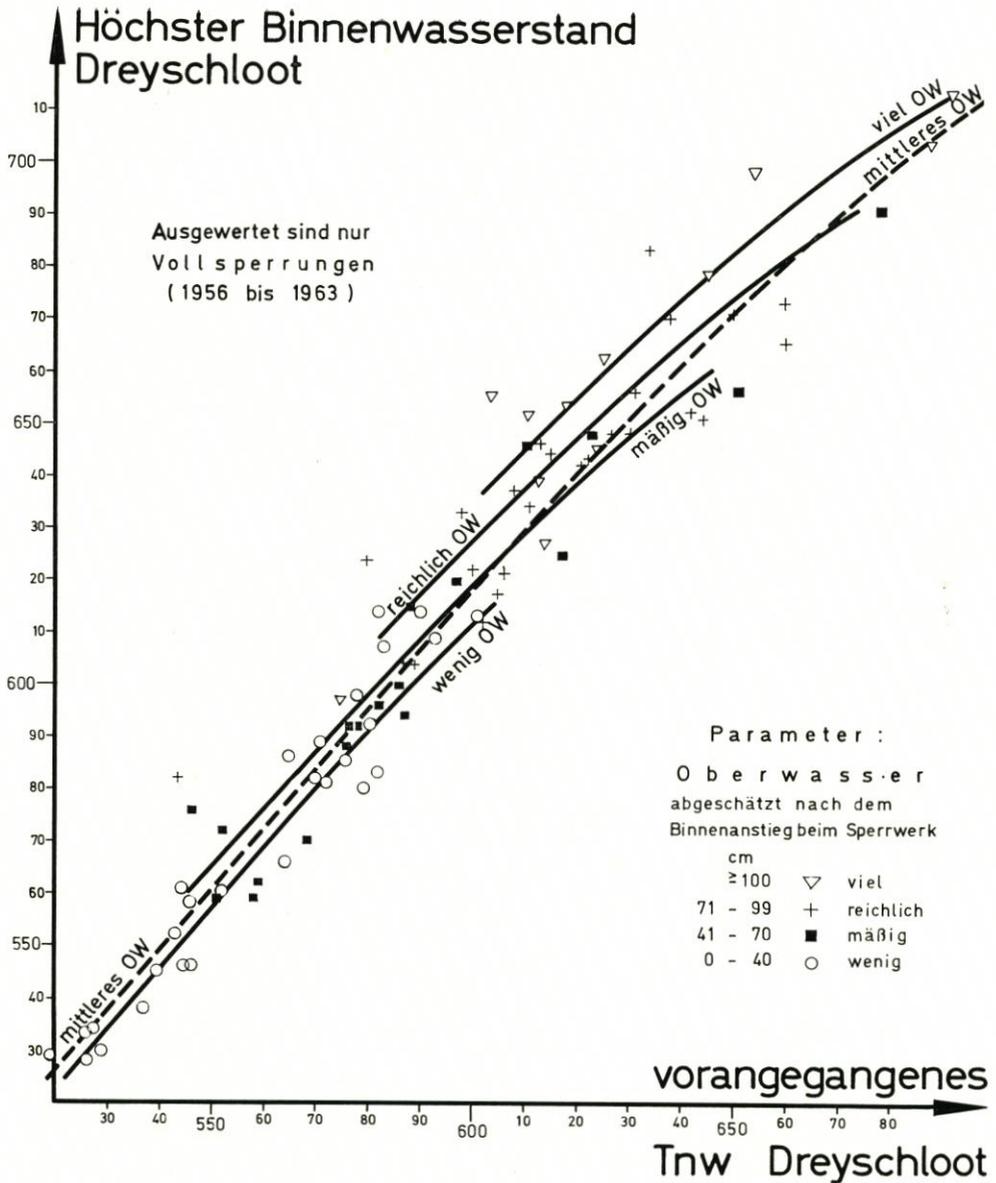


Abb. 31. Binnenwasserstand am Dreyschloot in Abhängigkeit von Tnw und Oberwasser

Auf das Eliminieren solcher Tiden wird verzichtet, da die ganze Untersuchung der Mittelwerte wegen ihrer Unsicherheiten keinen Erfolg verspricht.

Es ist auch möglich, daß sich in der erwähnten Feststellung für die niedrigeren Tiden der Einfluß des Ausbaus des Leda-Jümme-Gebietes zeigt, denn ein solcher hat stattgefunden und könnte die beschriebene Wirkung haben.

An einem weiteren Beispiel soll die Unsicherheit der durchzuführenden Untersuchungen erläutert werden. Auf Abbildung 30 sind alle Tiden aus den Jahren 1956 bis 1963 aufgetragen, die gesperrt wurden und deren Thw den Wasserstand von NPH + 740 cm überschritten hatte. Außerdem sind

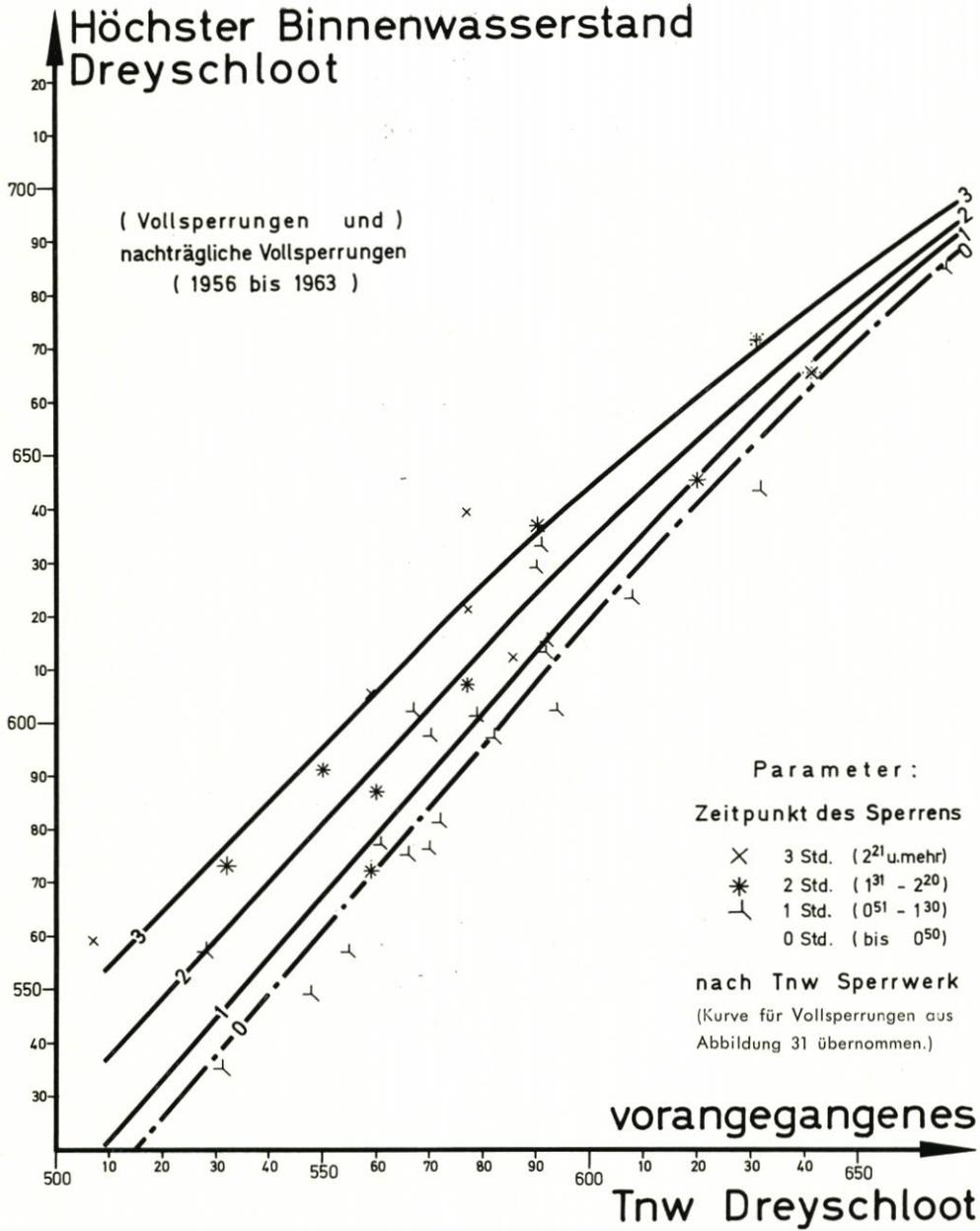


Abb. 32. Binnenwasserstand am Dreyschloot in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Sperrrens

vergleichbare Tiden aus der Zeit vor dem Sperrwerksbau herangezogen worden. Während die erfassten Tiden aus den Jahren 1952 bis 1954 mit ihrem Thw niemals über NPH + 670 cm hinausgehen, erreichen die entsprechenden Tiden aus den Jahren 1956 bis 1963 mehrfach höhere Werte. Diese zunächst überraschende Feststellung — Thw werden binnenseits des Sperrwerkes erhöht! — erklärt sich daraus, daß durch Deicherhöhungen heute im Leda-Jümme-Gebiet größere Thw-Stände möglich sind, während früher die Deiche überströmt wurden (vgl. hierzu Absatz III, 1).

Binnenwasserstand am Dreyschloot. Vergleich mit früheren Verhältnissen (1)

Tabelle 1

Vergleich aller Tiden über NPH + 740 cm, die vor Sperrwerksbau gesperrt worden wären mit denen, die nach Sperrwerksbau gesperrt worden sind, jeweils nur aus den Monaten November bis Februar anhand ihrer Mittelwerte, bezogen auf NPH:

| Abflußjahre | Tnw | Thw |
|------------------------------------|---------|---------|
| vorher (1952—1954) | 630,5 | 660,5 |
| nachher (1957—1963) | 601,9 | 625,3 |
| Senkung der Tidescheitel insgesamt | 28,6 cm | 35,2 cm |

Tabelle 2

Vergleich der ungesperrten Tiden aus den Monaten November bis Februar vor und nach Sperrwerksbau anhand ihrer Mittelwerte, bezogen auf NPH:

| Abflußjahre | Tnw | Thw |
|---|---------|---------|
| vorher (1952—1954) | 568,1 | 601,4 |
| nachher (1957—1963) | 552,8 | 598,3 |
| Senkung der Tidescheitel auch ohne Sperrwerkseinfluß | 15,3 cm | 3,1 cm |
| Verbleibt: Senkung der Tidescheitel durch Sperrwerkseinfluß | 13,3 cm | 32,1 cm |

Zum Abschluß der Betrachtungen über den Binnenwasserstand wird auf Abbildung 31 wieder der Einfluß des Oberwassers dargestellt, indem der vorhandene Punkthaufen wieder durch Symbole in die erwähnten vier Oberwassergruppen aufgeteilt wurde.

Ferner wird in Abbildung 32 die Abhängigkeit des Binnenwasserstandes vom Zeitpunkt des Sperrrens nach dem vorangegangenen Tnw aufgezeigt. Es wird in diesem Falle die Zeit direkt als Maßstab benutzt, nicht wie im Absatz IV, 3 b die in dieser Zeit erfolgte Wasserstandsänderung. Die Kurve für den Parameter 0 ist diejenige für die Betriebsform „Vollsperrung“. Die Betriebsform „nachträgliche Vollsperrung“ mußte genauer unterteilt werden. Man erkennt deutlich, daß der Wasserstand niedriger bleibt, je früher die Sperrung durchgeführt wird. Je höher der Wasserstand des vorangegangenen Tnw ist, desto schwächer wirkt sich jedoch der Zeitpunkt des Sperrrens aus.

d. Ergebnis

Die Binnenwasserstände werden durch den Betrieb des Sperrwerkes abgesenkt. Dies gilt sowohl für die Thw als auch für die Tnw. Jedoch ist das Bild durch im Laufe der Jahre durchgeführte Ausbaumaßnahmen einerseits und durch Deicherhöhungen andererseits verfälscht. Die Absenkung der Thw beträgt im Mittel beim Sperrwerk 1,60 m und am Dreyschloot etwa 30 cm, die Absenkung der Tnw wirkt sich am Dreyschloot um rund 15 cm aus.

Ein wesentlicher Einfluß auf die Binnenwasserstände wird durch den Zeitpunkt des Sperrrens nach dem vorangehenden Tnw ausgeübt.

Naturgemäß werden die Binnenwasserstände auch durch das anfallende Oberwasser beeinflusst. Dieser Einfluß ist erheblich.

Das Sperrziel für die Binnenwasserstände war, daß Wasserstände am Pegel Dreyschloot die Höhe NN + 2,10 m nicht überschreiten sollten. Dieses Ziel wurde erreicht. Lediglich einmal im betrachteten Zeitraum wurde das Sperrziel um 3 cm geringfügig überschritten. Die übrigen höchsten Binnenwasserstände am Pegel Dreyschloot bleiben weit unter NN + 2,10 m = NPH + 710 cm (vgl. Abbildung 30).

4. Vergleich mit den Erwartungen

Abschließend vergleiche man die erwarteten Veränderungen durch den Sperrwerksbetrieb, soweit sie in Absatz II, 3 zusammengestellt wurden, mit den in dieser Arbeit ermittelten Ergebnissen, die in Absatz IV, 1 bis IV, 3 entwickelt und dargestellt wurden.

Man stellt fest, daß die bereits früher gewonnenen und in der Studie des WSA Leer über die Betriebserfahrungen mit dem Sperrwerk (15) niedergelegten Erkenntnisse im großen und ganzen bestätigt werden können.

Das gleiche kann auch zu den durch Voruntersuchungen erwarteten Veränderungen gesagt werden. Sowohl die vorausgesagten Tendenzen wie auch die angegebenen Größenordnungen stimmen im allgemeinen recht gut mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Es konnte lediglich nicht nachgewiesen werden, daß (bei Leerort) die Senkung der Tnw größer ist als die Erhöhung der Thw.

Zur Bekräftigung der guten Übereinstimmung zwischen den erwarteten und den hier nachgewiesenen Veränderungen sollen nur noch beispielhaft an dieser Stelle die Erhöhungen der Thw aufgeführt und gegenübergestellt werden.

| Am Pegel | vorausgesagte Erhöhung in cm | im unter-suchten Bereich | nachgewiesene Erhöhung in cm | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|---------|
| | | | im Mittel Vollsperrg. | nachtr. Vollsp. | maximal |
| Terborg | 3 bis 11 | 3,4 bis 7,6 | 5,5 | 5,9 | |
| Leerort | 8 bis 35 | 12,5 bis 19,2 | 15,7 | 16,9 | |
| Sperrwerk | 10 bis 45 | 14 bis 20,4 | 17,3 | 18,1 | 38 |
| Papenburg | 3 bis 15 | (6) bis 15 | 9,5 | — | |

5. Sohlenveränderungen

Besondere Sorge bestand nach den ungünstigen Erfahrungen mit der Absperrung der Eider über die Sohlenveränderung. Würde die natürliche Räumkraft des Flusses trotz Sperrbetriebes in ausreichendem Maße erhalten bleiben?

Allerdings werden ja bei der Leda nur erhöhte Wind- und Sturmfluten gesperrt, nicht alle Tiden. Wie bereits in Absatz II, 1 dargelegt, werden nur 10,8 % aller Tiden gesperrt. Die Sperrungen erstrecken sich auf 5,3 % der Gesamtzeit. In der übrigen Zeit bleibt es beim bisherigen ungesperrten Zustand.

Nun entsprechen zwar nicht 5 % der Zeit gleich 5 % der Einwirkungen auf die Sohle. Die gesperrten Tiden sind ja gerade diejenigen mit größeren Tidewassermengen. Demgegenüber füllen sie aber auch ein größeres Bett, so daß also nicht unbedingt mit erhöhter Geschwindigkeit und größerer Räumkraft bei den nun gesperrten höheren Tiden zu rechnen ist. Außerdem sammelt sich bei Sturmfluten gewöhnlich auch mehr Oberwasser an als sonst, so daß beim Öffnen des Sperrwerks mit einem kräftigeren Spülstrom gerechnet werden kann. Der Spülstrom kann zudem noch künstlich erzeugt werden durch verspätetes Öffnen der Sperrwerkstore, was aber noch nicht notwendig war.

Insgesamt zeigten sich beim Ledasperrwerk keine beängstigenden Anzeichen einer Versandung. Aus diesem Grunde wurden auch zunächst sorgfältig begonnene häufige Peilungen am Sperrwerk wieder eingestellt. Es liegen lediglich die Peilungen an folgenden Daten vor: 15./16. 11. 1954, 6./7./13. 5. 1955, 2./5. 12. 1955, 5. 7. 1956, 14. 9. 1962, 4./5. 2. 1964.

Aus diesen wenigen Unterlagen lassen sich keine exakten Angaben über die Sohlenveränderung machen. Die in der Studie (15) festgestellte Zungenbildung nach einer Periode aufeinanderfolgender

Sperrungen kann anhand dieser Peilungen nicht bestätigt werden, da die Peilungen willkürlich durchgeführt wurden, nicht etwa nach einer Kettentide o. ä.

Dagegen kann man aus den — hier nicht beigefügten — Peilplänen erkennen, daß die Südseite der Leda im Sperrwerksbereich durchweg tiefer ist als die Nordseite. Das in der Studie (15) erwähnte Dreiecksprofil scheint sich also zu halten.

Um einen Anhalt über mögliche Versandung zu gewinnen, werden hier die jährlichen Baggermengen in der Leda zwischen Mündung und Seeschleuse Leer verglichen. Es wurden gebaggert:

| | | | |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1946 | 18 500 m ³ | 1955 | 6 700 m ³ |
| 1947 | 26 500 m ³ | 1956 | 55 600 m ³ |
| 1948 | 9 700 m ³ | 1957 | 3 000 m ³ |
| 1949 | 0 m ³ | 1958 | 0 m ³ |
| 1950 | 16 150 m ³ | 1959 | 8 100 m ³ |
| 1951 | 8 750 m ³ | 1960 | 52 600 m ³ |
| 1952 | 2 700 m ³ | 1961 | 0 m ³ |
| 1953 | 3 640 m ³ | 1962 | 3 700 m ³ |
| 1954 | 10 400 m ³ | 1963 | 0 m ³ |
| i. M. | | 14 400 m ³ | |

Aus diesen Angaben über die laufende Unterhaltung läßt sich zwar eine Erhöhung der durchschnittlichen Jahresbaggermenge ablesen. Verursacht ist die Erhöhung durch zwei außergewöhnliche Jahre: 1956 und 1960. Ob sich darin ein Sperrwerkseinfluß zeigt, ist jedoch nicht sicher. Zweifellos folgt das Jahr 1956 auf eine Zeit relativ zahlreicher Sperrungen (vgl. Abb. 7). Andererseits folgt das Jahr 1960 dem Jahr mit der weitaus geringsten Anzahl von Sperrungen.

Selbst wenn die Erhöhung der Baggermengen auf den Sperrwerkseinfluß zurückzuführen ist, so darf wohl festgestellt werden, daß von einer besorgniserregenden Entwicklung keine Rede sein kann.

V. Gezeitenvoraussage

1. Methoden

Es wurde bereits früher erwähnt (Absatz I, 6), daß es für den Betrieb des Sperrwerkes unbedingt notwendig ist, schon zum Zeitpunkt des jeweiligen Tnw zu wissen, ob das kommende Thw einen Pegelstand von NPH + 700 cm erreichen wird oder nicht. Für eine derartige Wasserstands-Voraussage bedient man sich beim Ledasperrwerk verschiedener Möglichkeiten.

a. DHI-Vorhersage

Im Rahmen seines allgemeinen Hochwasser-Meldedienstes gibt das Deutsche Hydrographische Institut (DHI) in Hamburg auch Vorhersagen an das Ledasperrwerk. Die Meldung bezieht sich auf Tiden, deren Thw am Sperrwerk 40 cm höher als normal, also bis auf NPH + 680 cm aufläuft, und kann bereits 8 bis 12 Stunden vor dem Eintritt des betreffenden Flutscheitels gegeben werden. Sie ist deshalb zur Vorwarnung gut geeignet und ermöglicht auch einen zweckmäßigen Einsatz des Bedienungspersonals. Die Vorhersage erfolgt zu bestimmten Zeiten, nämlich um 8.30, 15.30 und 20.30 Uhr unmittelbar an das Sperrwerk, fernmündlich oder mittels WOBS-Telegrammen. Wegen ihrer Eigenschaft als langfristige Vorhersage besitzt sie natürlich keine allzu große Genauigkeit und wird daher

nicht als maßgebende Vorhersage für die Entscheidung verwendet, ob das Sperrwerk geschlossen werden muß oder nicht.

Für diese Entscheidung wurden andere Verfahren entwickelt, die dem Bedienungspersonal des Sperrwerkes eine eigene Gezeitenvorhersage ermöglichen.

b. Erste Voraussage auf Grund von Angaben des Pegels Borkum

Für die eigene Gezeitenvorhersage wird die skizzierte Aufeinanderfolge der Tiden am Pegel Borkum und beim Sperrwerk herangezogen. Aus der jeweiligen Höhe des Wasserspiegels in Borkum und seiner augenblicklichen Steiggeschwindigkeit läßt sich die kommende Höhe des Tidescheitels beim Sperrwerk abschätzen. Die erste Voraussage dieser Art findet zum Zeitpunkt des Tnw am Sperrwerk statt, also etwa 5 bis 6 Stunden vor dem Hochwasserscheitel. Zu dieser Zeit befindet sich der Wasser-

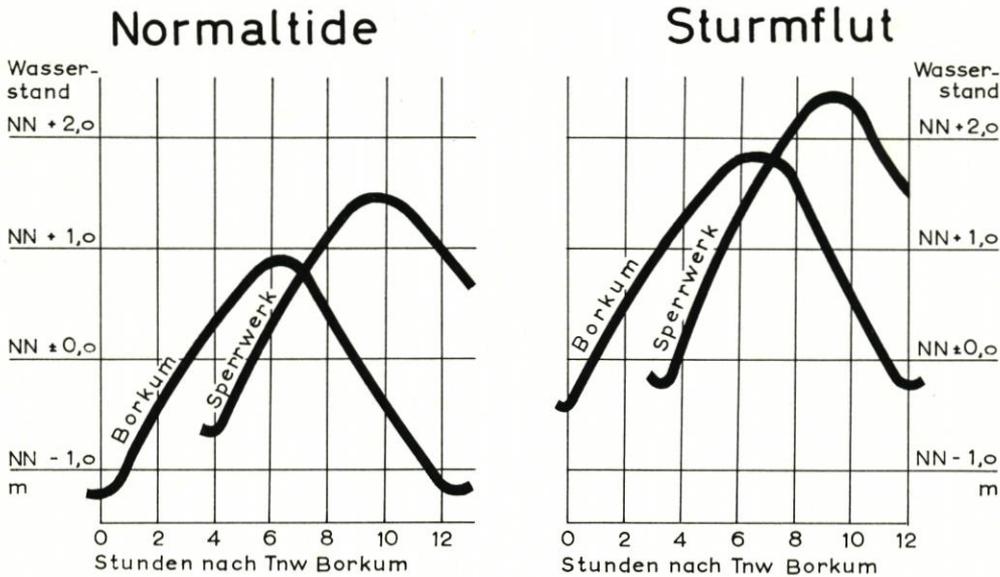


Abb. 33. Tidekurven. Borkum und Sperrwerk

stand in Borkum bereits in der Mitte zwischen seinem Tnw und Thw. Für die Voraussage wurden durch statistische Auswertung früherer Beobachtungen die in Abbildung 34 nach Art der Bezugslinien dargestellten Linien ermittelt. Parameter ist die Steiggeschwindigkeit am Pegel Borkum. Auf Grund der Ergebnisse dieser Voraussage erfolgt die Bedienung des Sperrwerkes, das ja bei der Betriebsform „Vollsperrung“ bald nach der Voraussage geschlossen werden muß.

c. Zweite Voraussage auf Grund von Angaben des Pegels Borkum

Die angegebene Voraussage wird etwa 3 Stunden später nochmals überprüft durch eine zweite Voraussage, die die gleichen Zusammenhänge und eine ähnliche Schar von Bezugslinien benutzt. Diese zweite Schar von Bezugslinien ist auf Abbildung 35 dargestellt, sie wird im Zeitpunkt des Thw Borkum angewendet und berücksichtigt neben diesem Thw-Stand auch den als Parameter gezeichne-

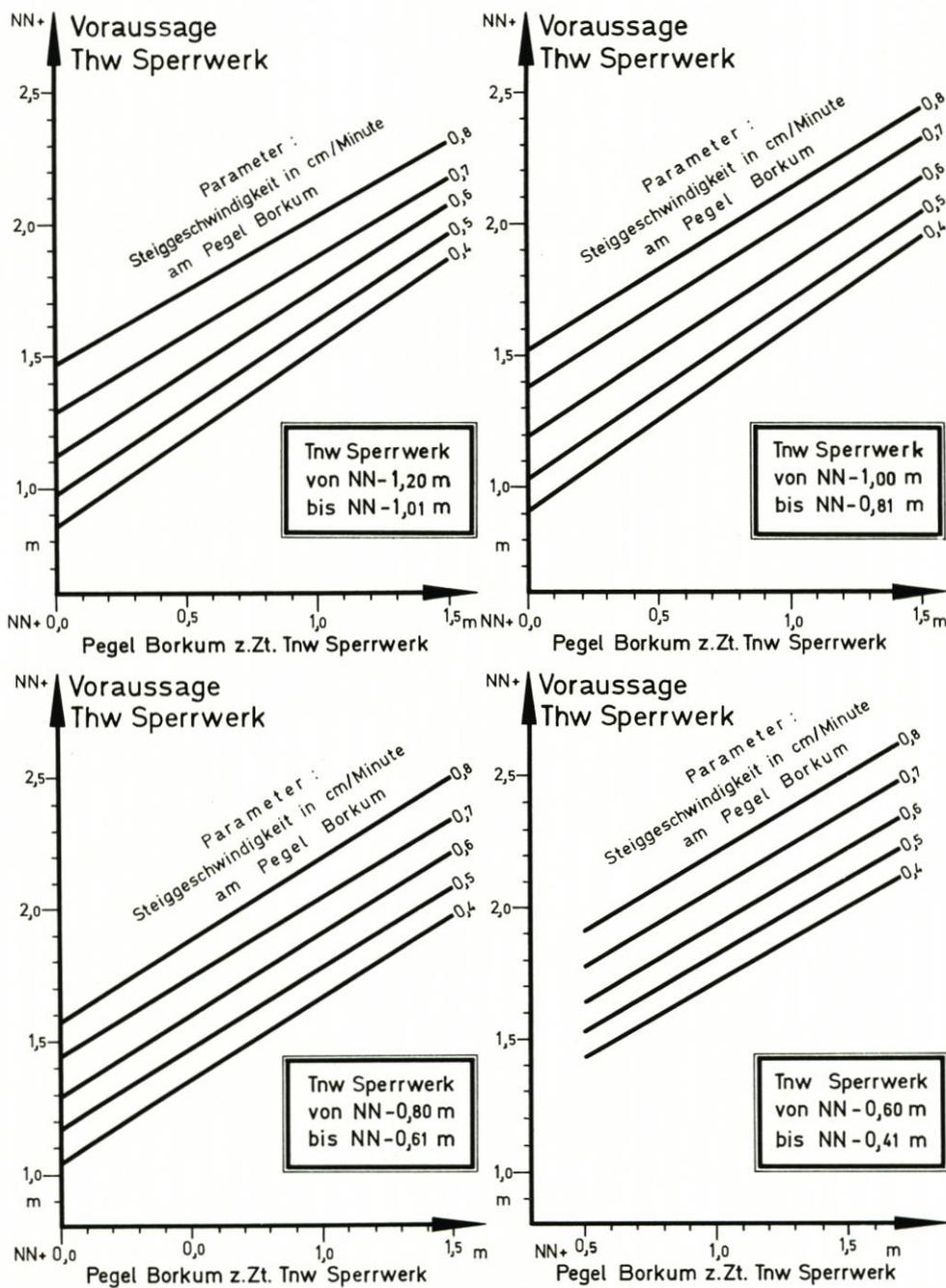


Abb. 34. Erste Gezeitenvoraussage. Auszug aus der Betriebsordnung

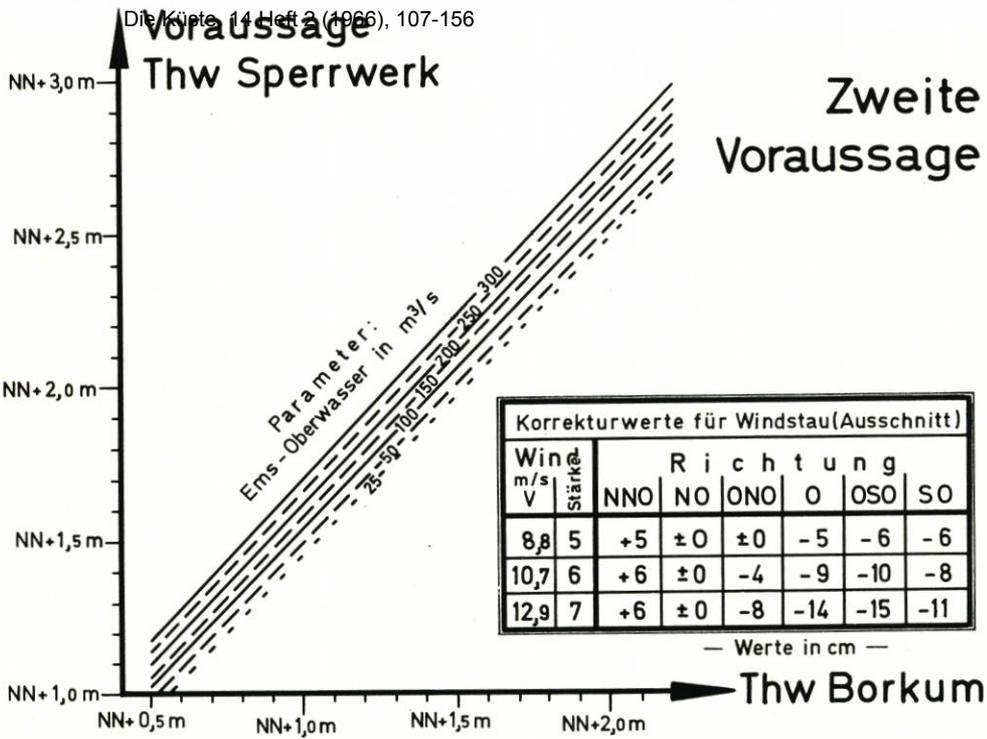


Abb. 35. Zweite Gezeitenvoraussage. Aus der Betriebsordnung

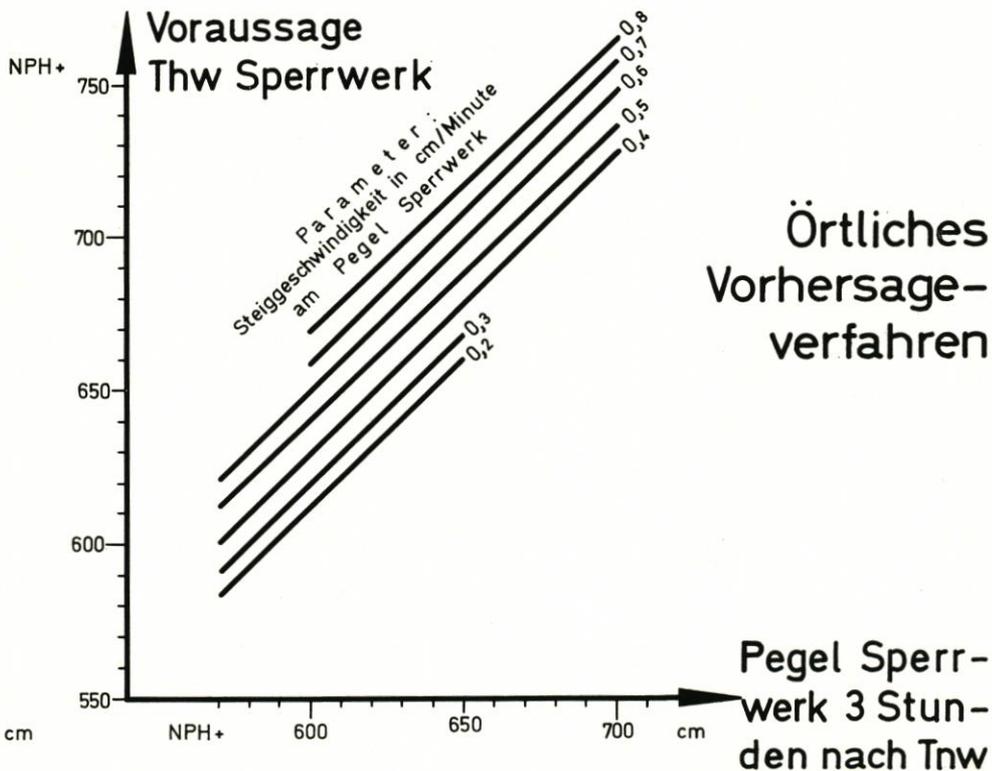


Abb. 36. Örtliche Vorhersage. Aus der Betriebsordnung

ten Einfluß des Ems-Oberwassers. Die Oberwassermenge erhält man vom Pegel Versen-Wehrdurchstich. Außerdem sind Korrekturwerte für den Einfluß des Windstauens anzubringen.

Es leuchtet ein, daß die zweite Voraussage sicherer sein wird, weil sie ja einmal später erfolgt und zum anderen mehrere zusätzliche Einflüsse berücksichtigen kann. Eine Kritik über die Genauigkeit der Voraussage soll in Absatz V, 2 erfolgen.

d. Örtliches Vorhersageverfahren

Die bisher angegebenen Voraussageverfahren, die von der Sperrwerksbedienung durchgeführt werden, sind auf Angaben der Wasserstände und der Steiggeschwindigkeit des Pegels Borkum angewiesen. Da man sicherheitshalber damit rechnen muß, daß die Übertragung der benötigten Angaben einmal ausfällt, wurde ein weiteres Verfahren entwickelt, das sich lediglich auf örtlich am Sperrwerk zu beobachtende Werte stützt.

Man benötigt für die Vorhersage wieder den Wasserstand zu einem bestimmten Zeitpunkt und die zugehörige Steiggeschwindigkeit, jedoch alle Angaben vom Pegel Sperrwerk. Die Zusammenhänge zwischen diesen Werten und dem kommenden Thw sind wieder nach Art der Bezugslinien aufgetragen (s. Abb. 36).

Die Linien sind wiederum gewonnen aus statistischen Auswertungen der Pegelkurven. Es hat sich herausgestellt, daß zur Zeit 3 oder 4 Stunden nach Tnw Sperrwerk die beiden Werte — augenblicklicher Wasserstand und Steiggeschwindigkeit — zur Bestimmung der kommenden Thw-Höhe ausreichen. Zu einem früheren Zeitpunkt, etwa 2 Stunden nach Tnw, übt die Höhe des Tnw selbst noch einen maßgebenden Einfluß zusätzlich aus.

Für eine Vorhersage zu einem noch früheren Zeitpunkt, etwa 1 Stunde nach Tnw, gelang es nicht, entsprechende Bezugslinien aufzustellen. Zu diesem Zeitpunkt verhindert noch die Turbulenz infolge des Richtungswechsels vom Ebbstrom zum Flutstrom eine verwertbare Abhängigkeit der Beobachtungen zum folgenden Thw.

Die zuletzt aufgezeigte örtliche Vorhersagemethode kann daher nur ein Ersatzverfahren für den Notfall sein, nicht aber vollwertig an die Stelle des Verfahrens über den Pegel Borkum treten. Für die Durchführung einer Vollsperrung ist es unerlässlich, Vorhersagen schon zu einem früheren Zeitpunkt zu haben, als dies mit der örtlichen Methode möglich ist.

2. Daten und Genauigkeit der Voraussagen

Die vorausgesagten Wasserstände nach Absatz V, 1 b und V, 1 c werden beim WSA Leer in einem Betriebsbuch gesammelt, in dem auch die tatsächlich eingetretenen Wasserstände aufgeschrieben werden. In der vorliegenden Arbeit werden nun derartige Aufzeichnungen aus der Zeit von November 1958 bis Dezember 1962 näher betrachtet, um festzustellen, welche Genauigkeit die Voraussagen erreichen können.

Zu diesem Zweck werden die benutzten ca. 2400 Daten geordnet nach der Größe ihrer Abweichung vom tatsächlichen Wasserstand am Sperrwerk. Diese Ordnung geschieht gruppenweise getrennt für verschiedene Wasserstandshöhen, um auch zu untersuchen, ob die Genauigkeit der Voraussage sich mit der Höhe des Wasserstandes verändert. Die Auswertung ist für die erste Voraussage (Absatz V, 1 b) auf Abbildung 37, für die zweite Voraussage (Absatz V, 1 c) auf Abbildung 38 dargestellt. Dabei sind die Fehler 0 cm, 1 und 2 cm, 3 und 4 cm usw., jeweils nach beiden Seiten aufgetragen. Die Anzahl der Voraussagen, die in die einzelnen Gruppen gehört, ist ausgezählt und (in einem nicht interessierenden, teilweise von Gruppe zu Gruppe wechselnden Maßstab) aufgetragen. Es erwies sich hierbei, daß in den gezeichneten Streubereich die Mehrzahl aller Voraussagen fallen.

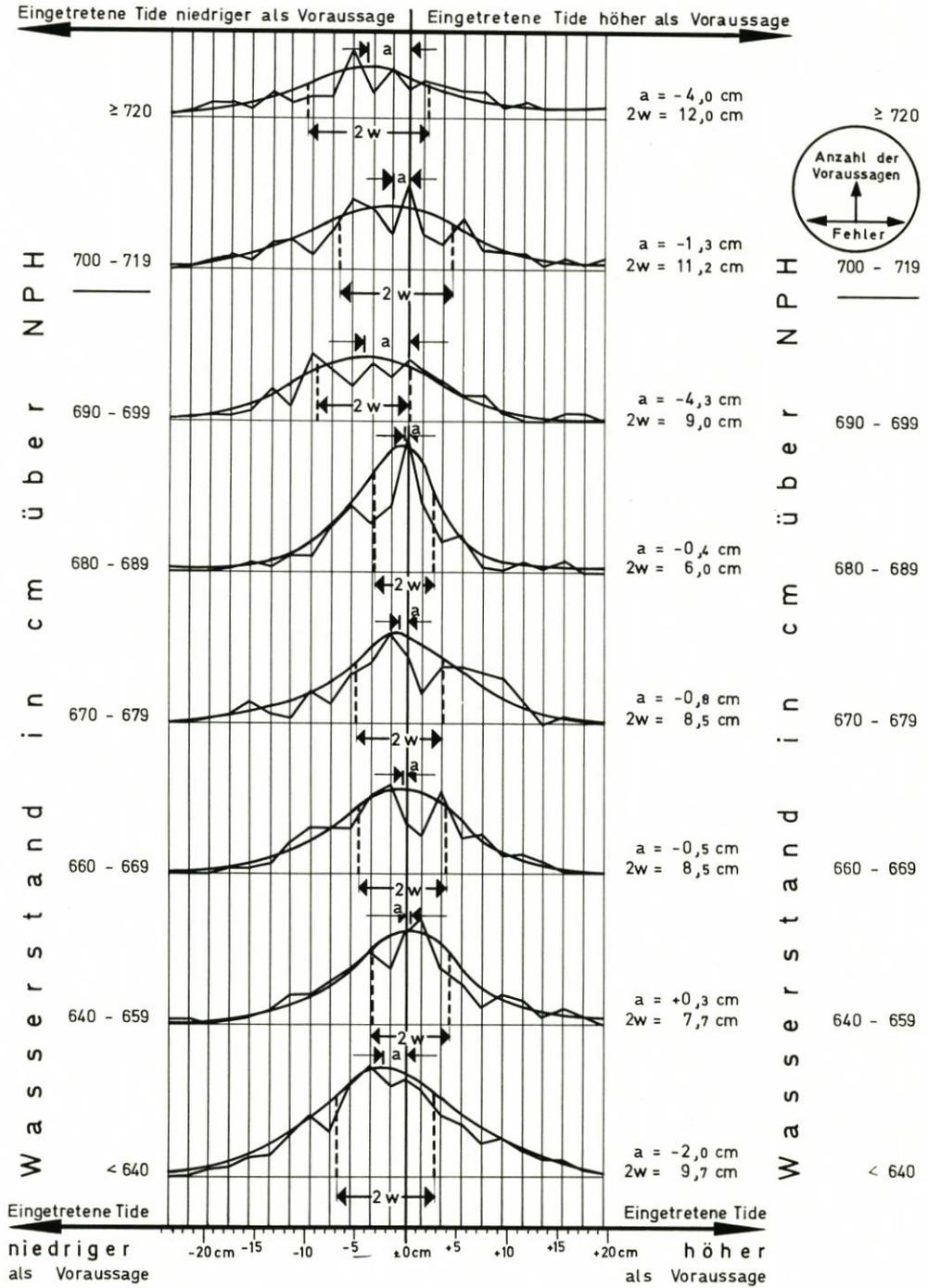


Abb. 38. Häufigkeit der Fehler in der zweiten Voraussage

Bei der ersten Voraussage erstreckt sich der Bereich auf die Fehler + 24 cm bis - 28 cm. 91,6 % der betrachteten 893 Voraussagen liegen innerhalb des Bereiches. Die Ausnahmen (8,4 %) erstrecken sich von + 104 cm bis - 46 cm, überschreiten also die Bereichsgrenzen bis 430 % bzw. 165 %.

Bei der zweiten Voraussage erstreckt sich der gezeichnete Bereich auf die Fehler + 20 cm bis - 24 cm. 97,9 % der betrachteten 1572 Voraussagen liegen innerhalb des Bereiches. Die restlichen 2,1 % streuen von + 40 cm bis - 64 cm, entsprechend 200 % und 267 % der Bereichsgrenzen.

Man beachte bei der Wertung der Rest-Streuungen, daß es für die Bedienung des Sperrwerkes völlig gleichgültig ist, ob z. B. eine Tide bis NPH + 800 cm oder NPH + 880 cm anläuft: gesperrt wird auf alle Fälle.

Die in der beschriebenen Weise gefundenen Polygonzüge der Abbildungen 37 und 38 sind nach Augenmaß ausgeglichen durch einen stetigen Linienzug; es ist damit der theoretische Schritt von der begrenzten Anzahl der verwendeten Daten zu unendlich vielen Voraussagen vollzogen. Man erhält auf diese Weise Verteilungskurven, deren Form (nicht: Größe!) die Wahrscheinlichkeit und Größenordnung von Streuungen charakterisiert. Um *einen* Zahlenwert für diese Kennzeichnung zu erhalten, ist die halbe Fläche zwischen Verteilungskurve und Horizontaler durch 2 gestrichelte Linien symmetrisch zum Maximum der Kurve abgeteilt worden. Der Abstand 2 w dieser beiden gestrichelten Linien stellt die wahrscheinliche Abweichung der Voraussagen von ihrer größten Häufigkeit dar. 50 % der dargestellten Voraussagen liegen innerhalb dieses Streubereiches. Ein zweiter Wert für die Kennzeichnung der Verteilungskurve ist der Abstand a des Maximums (also der größten Häufigkeit) vom Fehler „0 cm“.

Mit den beiden Werten 2 w und a ist die Form und Lage der Verteilungskurve genügend gekennzeichnet und eine Aussage über die Qualität der Voraussage gemacht. Je kleiner a und 2 w, desto besser ist die Voraussage.

Auf Abbildung 39 sind für beide Voraussagen die Werte 2 w und a (aus Abbildung 37 und 38 entnommen) über die Wasserstandshöhe aufgetragen. Man erkennt an der unterschiedlichen Bandbreite deutlich die bessere Qualität der zweiten Voraussage. Man erkennt fernerhin, daß beide Voraussagen vorwiegend auf der Minus-Seite liegen, d.h., die Tide tritt meist etwas niedriger ein als vorhergesagt. Für die Binnenwasserstände heißt das: man liegt auf der sicheren Seite. Für die Bedienung des Sperrwerkes heißt es: es wird leicht etwas zu oft gesperrt.

Man erkennt an der Darstellung auf Abbildung 39 außerdem, daß das Optimum beider Voraussagen nicht beim „kritischen“ Wasserstand von NPH + 700 cm liegt. Interessant ist ja die Vorhersage nur für die Frage: Wird „700“ überschritten oder nicht? Tiden, die ganz gewiß weit höher liegen, werden ohnehin gesperrt; solche, die sicherlich längst nicht so hoch auflaufen, werden nicht gesperrt. (Aus diesem Grunde wurde auch nur der Bereich zwischen „640“ und „720“ genauer untersucht.) Das Optimum der beiden Voraussagen liegt etwas unterhalb des Sperrwasserstandes „700“ und zwar in der ersten Voraussage bei „665“, in der zweiten (günstiger) bei „685“.

Im Mittel betragen im „kritischen Bereich“ die „wahrscheinlichen Abweichungen“ 14,2 cm bei erster bzw. 9,0 cm bei zweiter Voraussage. Die größte Häufigkeit liegt für die erste Voraussage beim Fehler „-2,49 cm“ bzw. für die zweite Voraussage beim Fehler „-1,63 cm“.

Man darf angesichts der hier erarbeiteten Angaben sagen, daß die Genauigkeit der Voraussagen zufriedenstellend ist.

VI. Bewährung der Anlage

Betrachtet man den Zweck der Sperrwerksanlage, nämlich die Abwehr schadenbringender Sturmfluten, so darf festgestellt werden, daß allen höheren Tiden der Zutritt zu den Niederungen des Leda-Jümme-Gebietes verwehrt worden ist. Damit wurden große Überschwemmungen verhindert. Aus dieser Tatsache schon kann der Nutzen und die Bewährung der Anlage abgelesen werden.

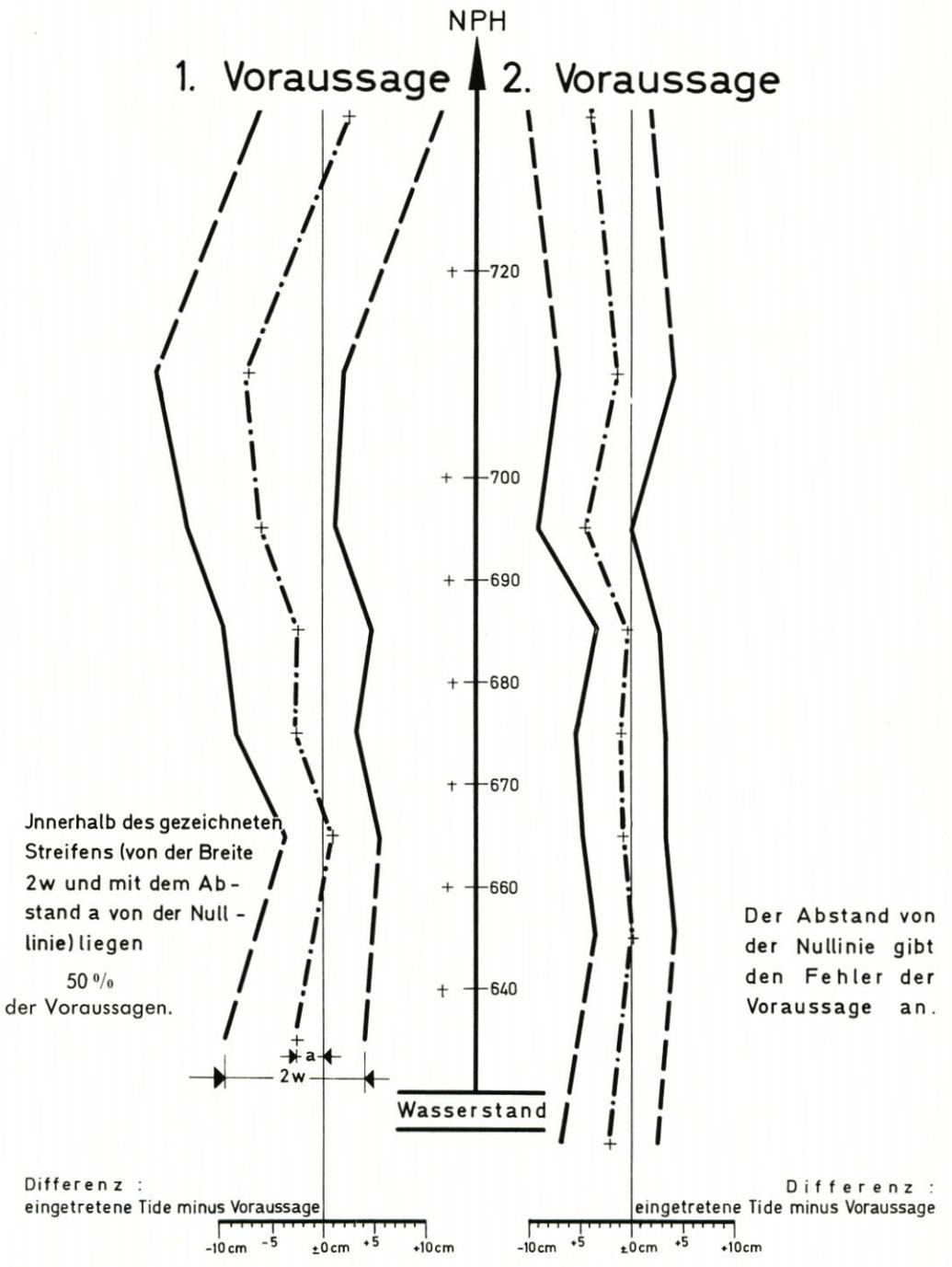


Abb. 39. Genauigkeit der Gezeiten-Voraussage

Ihre Bewährungsprobe bestand die Anlage bereits wenige Monate nach ihrer Fertigstellung bei der Weihnachtsflut 1954, als die Wasserstände bei dem auf die Flut folgenden Tnw so hoch waren, daß die rechtzeitig vor der Flut geschlossenen Tore noch nicht geöffnet werden konnten und ein zweiter Flutscheitel abgewartet werden mußte (Kettentide). Weitere Kettentiden traten auf im Januar 1955 und 1956, bei der großen Sturmflut im Februar 1962, im September und Oktober 1963 und im November 1964. Um die segensreiche Wirkung des Sperrwerkes zu veranschaulichen, wurde auf Abbildung 40 der Verlauf der Februarsturmflut 1962 aufgetragen. Man erkennt deutlich den Unterschied zwischen der vor dem Sperrwerk aufgelaufenen Flut (gestrichelt) und den binnenseits eingetretenen Wasserständen (durchgezogene Linie).

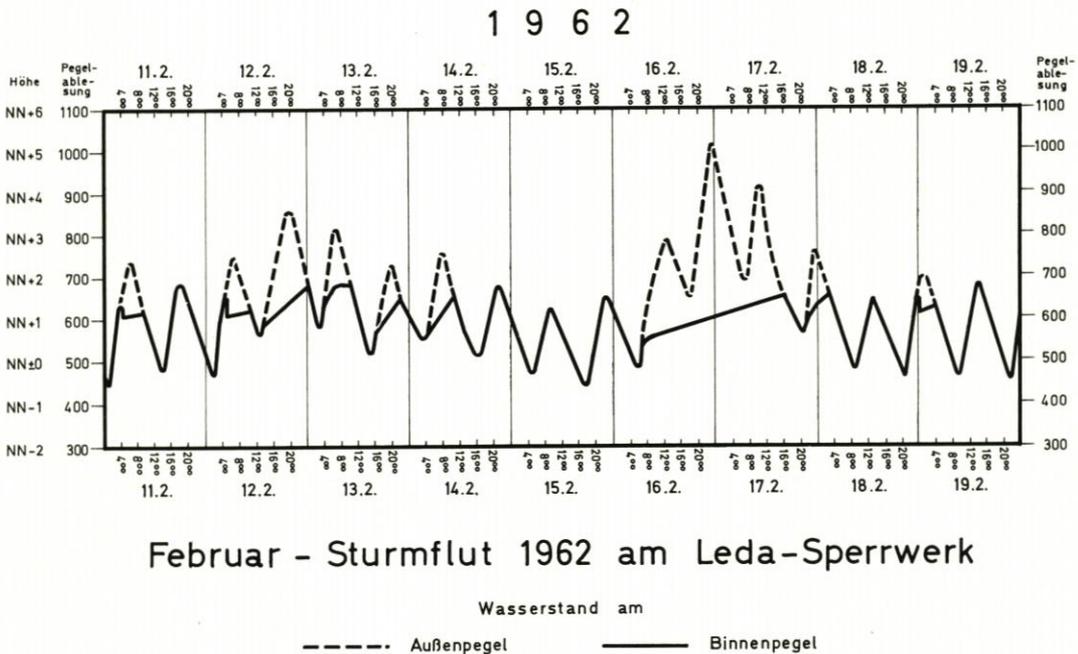


Abb. 40. Wirkung des Leda-Sperrwerkes. Kappen der Sturmflutscheitel

Auch die Anzahl der jährlichen Schließungen, die im Durchschnitt mit rund 76 ermittelt wurde (Absatz II, 1 und Abb. 7), läßt in Verbindung mit der dargestellten Genauigkeit der Gezeitenvoraus- sage (Absatz V, 2) und der davon abhängigen tatsächlichen Notwendigkeit einer Sperrung Rück- schlüsse auf die wasserwirtschaftliche Bedeutung und Bewährung der Sperrwerksanlage zu.

Die schädlichen Auswirkungen des Sperrwerkes auf die natürlichen Verhältnisse am Fluß dürften als gering anzusprechen sein, wenn man ihre eventuellen Nachteile, wie etwa die Erhöhung des Thw in der unteren Leda und der Ems, dem erzielten volkswirtschaftlichen Vorteil durch den Schutz des Leda-Jümme-Gebietes vor Überschwemmungen gegenüberstellt.

Möge das Ledasperrwerk weiterhin seiner Aufgabe gerecht werden — zum Segen und Nutzen des ganzen Leda-Jümme-Gebietes.

VII. Schriftenverzeichnis

1. DRESSEL, W.: Das Ledasperrwerk bei Leer als Hochwasserschutz für das Leda-Jümme-Gebiet. Die Wasserwirtschaft, 42. Jg., Nr. 2, 1951.
2. HENSEN, W.: Modellversuche für die untere Ems. Mitt. Franz.-Institut, Heft 6, 1954.
3. KRAUSE, G.: Der Leda-Jümme-Verband. Wasserwirtschaft Niedersachsen, Sonderdruck Sept. 1964.
4. KÜMPEL, O.: Das Sperrwerk in der Leda bei Leer. Baumaschine und -technik, Heft 8 u. 9, 1955.
5. LIESE, R.: Bestimmung des Abflusses aus einem Niederungsgebiet durch zeitweilige Absperrung vom Hauptvorfluter im Tidegebiet. Bes. Mittl. Dt. Gewässerkd. Jahrbuch, Nr. 12, Koblenz, 1955.
6. LIESE, R.: Die ersten Betriebserfahrungen mit dem Sperrwerk. Wasser und Boden, 8. Jg., H. 6, 1956.

Unveröffentlichte Arbeitsberichte:

7. JANSSEN, TH.: Berechnung der Leistungsfähigkeit der Leda...
8. KÖHLER, G.: Untersuchungen über das Abflußvermögen der unteren Leda.
9. SPERLING, W.: Die Wasserstände und Abflußmengen der Ems untersucht auf Grund der Gleichwertigkeitsbeziehungen. 1947.
10. SPERLING, W.: Der Wasserhaushalt des Emsgebietes. 1949.
11. SPERLING, W.: Größtstärken des Hochwasserabflusses im Emsgebiet und Nachbargebieten. 1950.
12. VON SANDEN: Praktische Mathematik.
13. KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE: Gutachten zur Betriebsweise des Ledasperrwerks. 1951.
14. WSA Leer: Betriebsbuch des Leda-Sperrwerks.
15. WSA Leer: Betriebserfahrungen mit dem Sperrwerk in der Leda bei Leer. 1955.
16. WSA Leer: Die hydrologischen Verhältnisse im Leda-Jümme-Gebiet. 1953.
17. WSA Leer: Entwurf für das Sperrwerk in der Leda bei Leer vom 23. 2. 1953.
18. WSA Leer: Riffeluntersuchungen in der Ems. 1955.
19. WSA Leer: Betriebsordnung für das Ledasperrwerk.
20. WSD Aurich: Das Leda-Sperrwerk bei Leer. Festschrift 1954.
21. WSD Bremen und WSA Leer: Archivunterlagen.