

Betrachtungen zu den Höhen der Deiche an Elbe und Weser

Von Wilhelm Klinge

Inhalt

I. Teil: Die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade	
1. Verdichtung des Untergrundes	71
2. Abtrag der Deiche durch Niederschläge und Beweidung durch Großvieh	72
3. Veränderung der Wasserstände	72
II. Teil: Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962	
1. Der Einfluß des Oberwassers der Elbe	78
2. Die Dauer der Sturmflutwasserstände bei Cuxhaven	78
3. Die Entlastung durch Deichbrüche	79
4. Die Windrichtung	79
5. Der Querschnitt	80
Schriftenverzeichnis	85

Vorbemerkung: Der erste Teil des nachfolgenden Aufsatzes über die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade ist im Jahre 1952 geschrieben worden. Der zweite Teil zieht einige Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962.

I. Teil: Die Sicherheit der Deiche im Bezirk Stade

Seitdem vor etwa 9000 Jahren das Diluvium an der Nordseeküste im Meere zu versinken begann, ist eine Besiedlung der jetzigen See- und Flußmarschen in dem Raume zwischen Niederelbe und Niederweser erst zu Beginn unserer Zeitrechnung möglich geworden, als diese Gebiete für die kurze Dauer einiger Jahrhunderte nicht mehr von den Nordseefluten überspült wurden. Diese Siedlungen, die bei Barnkrug und Ritsch im Lande Kehdingen zu ebener Erde nachgewiesen sind, bestanden nur zwei bis vier Jahrhunderte, ehe sie aufgegeben oder erhöht werden mußten, weil die Wasserstände schnell anstiegen.

Nicht alle Siedlungen wurden verlassen. Eine Anzahl blieb, deren Bewohner den Kampf mit dem Wasser aufnahmen, einen Kampf, der seitdem nicht mehr aufgehört hat und der den Marschbewohnern zur Gewohnheit wurde. So wurden die Wurtten laufend um Maße von 20 bis 80 cm und mehr erhöht und ebenso die seit dem 8. Jahrhundert entstehenden Deiche. Wenn man jetzt eine Wurt aufgräbt oder einen Deich, dann zeichnen sich die Schichten der Erhöhungen dem Auge sichtbar ab.

Die erste Besiedlung scheint von Westen aus dem Gebiet der Niederlande über Ostfriesland und Oldenburg Schule gemacht zu haben. Jedenfalls wurden die Marschengebiete an der Niederweser und Niederelbe zuletzt besiedelt. Die zweite, umfangreichere Besiedlung im 12. und 13. Jahrhundert wurde von Holländern eingeleitet, die bei dem Bischof von Bremen erschienen und einen Siedlervertrag abschlossen. Durch die geistlichen und weltlichen Herren jener Zeit begünstigt, strömten immer mehr Holländer in die Marschengebiete an Elbe und Weser, die durch umfangreiche Deichbauten das Land vor Überschwemmungen schützten. Aber die Deiche waren den Naturgewalten selten gewachsen. Kaum eine Generation ist seit jener Zeit von hohen Sturmfluten, verbunden mit Deichbrüchen, verschont geblieben. Nach jeder schweren Flut mußten die Deiche ausgebessert und vor allem verstärkt werden. Von diesen Fluten,

die in der Erinnerung der Marschbewohner nachleben und in zahlreichen Chroniken beschrieben sind, seien die wichtigsten angeführt:

17. Februar	1164	Julianenflut, die „Große Manntränke“
28. Dezember	1248	Allerkindleinsflut
16. Januar	1362	Marcellusflut, Zerstörung von Rungholt
21. November	1412	Cäcilienflut
6. Januar	1470	Heilige Dreikönigsflut
15. Oktober	1570	Allerheiligenflut
15. Januar	1643	
24./25. Dezember	1717	Weihnachtsflut
7. Oktober	1756	Markusflut
2./4. Februar	1825	

Zwischen diesen Hauptdaten hat sich eine große Anzahl Sturmfluten ereignet, die gleichfalls Deichbrüche und Überschwemmungen zur Folge hatten. Seit dem Jahre 1825 aber

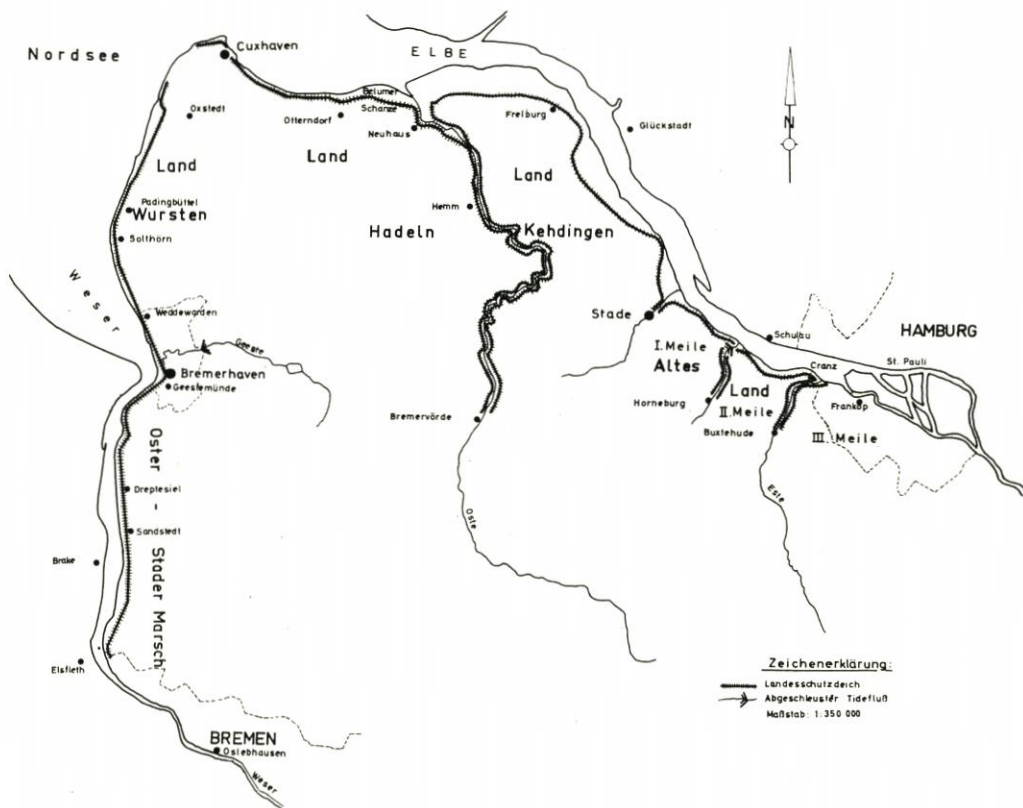


Abb. 1. Übersichtskarte

sind Katastrophen, wie sie die vorstehende Liste aufzeichnet, nicht wieder vorgekommen. 1825 wurde der bisher bekannte Höchststand erreicht, der an die Höchststände an der schleswig-holsteinischen Westküste und in Ostfriesland heranreicht bzw. sie übertrifft.

Der Stader Bezirk ist zweifellos dann besonders gefährdet, wenn nach Sturm aus West der Wind nach Nordwest dreht und die Wassermassen in die Mündungen der Elbe und Weser hineingestaut werden. Die Deiche aber liegen fast ausnahmslos niedriger als die der Nachbarbezirke. Die Ley-Bucht wird auf + 7,0 m NN eingedeicht, und die Höhe der Deiche an den Kögen östlich der Elbemündung liegt auf + 7,50 m NN. Die 7-m-Grenze wird aber von den Stader Deichen nur bei Cuxhaven (Döserdeich) und auf kurzer Strecke am Wurster Deich erreicht. Im allgemeinen liegt die Höhe der Deiche bei + 6,0 m NN.

Nach den Zerstörungen des Jahres 1825 wurde überall an den Deichen gearbeitet. Die Schadenstellen wurden ausgebessert, Verstärkungen und auch Neuverlegungen wurden durchgeführt. Im Lande Wursten haben diese Arbeiten bis zum Jahre 1849 gedauert. Fast überall wurde das Profil durch Abflachung der Außenböschungen verbessert, und an gefährdeten Schardeichstrecken wurden die Böschungen gepflastert. Die Aufwendungen und Anstrengungen der Marschbewohner waren ganz erheblich, und es ist nicht verwunderlich, wenn sie hinterher stolz auf ihr Werk waren und wenn das Gefühl neuer Geborgenheit sich bis auf den heutigen Tag erhalten hat, zumal die Deiche nunmehr allen Angriffen standgehalten haben, ohne daß es in den Hauptdeichen an Weser und Elbe zu Brüchen gekommen ist. Allerdings sind auch keine Sturmfluten mehr eingetreten, die nach Höhe und Dauer an das Hochwasser von 1825 heranreichten. Diese Flut erreichte bei Glückstadt mit + 5,52 m NN den höchsten Wasserstand, der auf der Stader Seite in Neuhaus mit + 5,25 m NN gemessen wurde. Über die verschiedenen Höhen der Flut gibt die folgende Tabelle Aufschluß.

Tabelle 1

Ort	Sturmflut 1825 in Höhen über NN
Cuxhaven	+ 4,66 m
Neuhaus	+ 5,25 m
Glückstadt	+ 5,52 m
Stade	+ 5,10 m
Hamburg (St. Pauli)	+ 5,24 m

Über das Auflaufen dieser Flut am Wurster Seedeich sind keine Aufzeichnungen vorhanden. In Bremerhaven wurden + 4,98 m NN und in Geestemünde + 5,02 m NN gemessen. Man kann demnach mit rund + 4,80 m NN als HHThw vor dem Wurster Deich rechnen, da die Höhe des Wasserstandes in Richtung See (Cuxhaven) abnimmt. Die Höhen des Wurster Deiches betragen beim Oxstedter Bach + 6,11 m NN, bei Padingbüttel + 7,36 m NN und bei Weddewarden + 6,30 m NN (Sollhöhe + 6,64 m NN). Die Höhe der Deiche in der Osterstader Marsch liegt etwa auf + 6,0 m NN.

Die Sollhöhen der Deiche werden durchweg nicht mehr erreicht. Neuere Nivellements haben ergeben, daß die Höhen um mehrere Dezimeter unterschritten werden. Im Durchschnitt beträgt das Maß rund 0,30 m. An einigen Stellen wurden Fehlbeträge von 0,50 m festgestellt. Demnach haben sich die Deiche seit ihrer letzten Verstärkung gesetzt.

Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Verdichtung des Untergrundes

Die Deiche sind nicht überall auf einer genügend starken Schicht von fest gelagertem, sandigem Klei gegründet, sondern es sind moorige und anmoorige Schichten zwischengelagert,

ehe in Tiefen von bis zu 20 m die festen Talsande erreicht werden. Während durch diese Gestaltung des Untergrundes schon ein allmähliches Sacken möglich ist, führen oft äußere Kräfte zu einer plötzlichen Gleichgewichtsstörung, verbunden mit einem Absinken des Deiches. So rutschte im Jahre 1941 der Ostedeich bei Hemm um etwa 1 m, als durch langanhaltende Ostwinde ein außergewöhnlich tiefer Wasserstand in der Oste den Auftrieb verringerte.

Auch Stellen, an denen der Deich frühere Geländemulden oder alte Mündungsarme von Binnenvorflutern kreuzt — es gibt deren viele —, sind Gefahrenpunkte. Bei dem Neubau des Drepte-Sieles im Jahre 1950 in der Osterstader Marsch wurde im Außendeich eine größere Kippe aufgefahren, von der eine Hälfte plötzlich um etwa $1\frac{1}{2}$ m absackte, ohne daß irgendein Auftreiben von verdrängtem Boden festgestellt werden konnte. Durch Zufall ist an dieser Stelle somit eine wichtige Sicherung des Deiches durchgeführt worden.

2. Abtrag der Deiche durch Niederschläge und Beweidung durch Großvieh

Der Einfluß des Regens auf die Deiche, insbesondere von Platzregen, ist im allgemeinen gering. Dennoch findet ein gewisser Abtrag statt, vor allem da, wo keine oder keine gute Grasnarbe vorhanden ist, besonders in bebauten Gebieten.

Im Stader Bezirk ist die Beweidung der Deiche mit Großvieh durchweg üblich geworden, wenn auch versucht worden ist, durch deichbehördliche Verfügungen eine Änderung herbei-

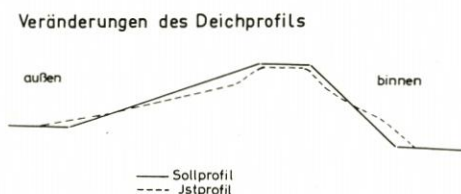


Abb. 2

zuführen. Seitens der Beteiligten wird ausgeführt, daß die Deiche sehr fest würden, und daß die Grasnarbe trotz auftretender Zerstörungen wieder durchwächst. Das mag für Deiche mit flacher Böschung zutreffen. Es stimmt aber niemals für die steile Innenböschung — meist $1:1\frac{1}{2}$ — und außerdem nicht bei Regenwetter.

Die in der Abbildung 2 angedeutete Veränderung des Deichprofils ist in erster Linie auf die Beweidung durch Großvieh zurückzuführen.

Das Vieh tritt die Deicherde nach unten, und leider kann man die skizzierte Profiländerung sehr häufig antreffen. Es braucht nicht näher begründet zu werden, daß das veränderte Profil nicht die Wehrfestigkeit aufweist wie das Soll-Profil.

3. Veränderung der Wasserstände

Wenn festzustellen ist, daß die Deiche an Höhe verloren haben, so kann dieselbe Erscheinung hinsichtlich der Höhe der Sturmfluten nicht nachgewiesen werden. Hier ist es leider umgekehrt, und zwar muß mit einem höheren Auflaufen der Sturmfluten gerechnet werden. Drei Erscheinungen sind es, die hierbei eine Rolle spielen, und zwar:

1. die Abdämmung der Tideflüsse
2. das höhere Auflaufen, wenn die bisherigen Entlastungen durch Deichbrüche fortfallen und
3. die Küstensenkung bzw. Wasserstandshebung.

In den nachfolgenden Überlegungen zur Errechnung der möglichen Hochwasserstände wird von den Ordinaten der Flut vom 2./4. Februar 1825 ausgegangen und versucht festzustellen, welche Wasserstände dieselbe Flut in 73 Jahren, also im Jahre 2025, erreichen würde.

Es bleibt somit die Frage unberücksichtigt, ob noch höhere Fluten möglich sind, wie sie SCHELLING (1952) für die schleswig-holsteinische Westküste wahrscheinlich macht. Weiterhin bleibt der Einfluß der umfangreichen Flußbauten an Elbe und Weser außer Betracht. Die hier ermittelten Werte brauchen somit nicht die höchstmöglichen darzustellen, sondern es ist anzunehmen, daß die Werte der Februar-Flut von 1825 noch etwas überschritten werden können, wodurch sich die ermittelten Ordinaten weiter erhöhen würden.

Zu 1. Der Einfluß von Tideflußabdämmungen auf den Hochwasserstand in Weser und Elbe ist bisher unbedeutend. Die Schiffdorfer Schleuse an der Geeste stellt wegen der zu geringen Höhen der Geestedeiche keine vollständige Abdämmung dar. Lediglich an der Lühe ist eine Abschleusung durchgeführt worden, die den Wasserlauf gegen jede Sturmflut sichert. Der Einfluß dieser Sperre auf die Hochwasserstände in der Elbe ist ebenso wie der Wert für eine etwaige Abschleusung der Este erstens gering und zweitens in den nachfolgenden Werten zu 2 mit erfaßt. Dagegen dürfte die geplante Abschleusung der Oste sich im Mündungsbereich auf die Elbdeiche auswirken. Der Wert soll zu 10 cm angenommen werden, wobei die Ergebnisse der Modellversuche für die Abschleusung der Leda und Jümme als Anhalt dienen.

Die Abschleusung der Oste ist nach Ansicht des Verfassers zwingend, wenn bei einer Sturmflut von den Ausmaßen des Jahres 1825 eine Katastrophe in der Ostemarsch und der Stadt Bremervörde vermieden werden soll.

Ähnlich liegen die Verhältnisse an der Este und für die Stadt Buxtehude. Der Plan einer Abschleusung ist hier jedoch bisher noch nicht weiter verfolgt worden. Der Abschleusung gebührt aber auch hier der Vorrang vor der Deichverstärkung, weil die zu verlangende Sicherheit für die II. Meile und die Stadt Buxtehude schwer zu erreichen ist und wahrscheinlich auch kostspieliger wird.

Zu 2. Bisher hat jede außergewöhnliche Sturmflut weite Überschwemmungen der Marschen zur Folge gehabt. Im Februar 1825 ereigneten sich weit über hundert Deichbrüche, und kein Gebiet der Stader Fluß- und Seemarschen blieb von der Katastrophe verschont. HUGO LENTZ*) hat ausgerechnet, daß die Flut in Hamburg um 0,30 bis 0,50 m höher aufgelaufen wäre, wenn keine Entlastung durch Deichbrüche stattgefunden hätte. Dieser Einfluß wird keine wesentliche Rolle spielen in den Räumen von Cuxhaven bis Nordkehdingen und vor Land Wursten. Er wächst aber an, je weiter die Deiche stromaufwärts liegen. Hierüber gibt die nachfolgende Tabelle 2 einen gewissen Aufschluß.

Tabelle 2

Datum	Pegel Cuxhaven m über NN	Pegel St. Pauli m über NN	Differenz St. Pauli Cuxhaven	Bemerkungen
4. 2. 1825	4,66	5,24	0,58 m	} keine Deichbrüche } an Elbe und Weser
21. 10. 1845	4,18	4,96	0,78 m	
9. 4. 1847	3,87	4,83	0,96 m	
2. 1. 1855	4,16	5,11	0,95 m	

Aus dieser Tabelle lassen sich keine exakten Werte herleiten; sie zeigt jedoch, daß der Unterschied zwischen den Pegeln St. Pauli und Cuxhaven bei den größeren Fluten von 1825 bis 1855 (vor der Elbekorrektur) angewachsen ist, und zwar bis zu 38 cm. Hinzu kommt, daß im Jahre 1825 der ganze Anstau auf die Strecke Cuxhaven—Neuhaus entfällt. Es erscheint deshalb bei vorsichtiger Schätzung angezeigt, den Wert der Entlastung durch die Deichbrüche des Jahres 1825 an der Elbe im Bereich der Ostemündung mit null anzusetzen und

*) Vgl. Die Küste 9, 1961, S. 124—125.

ihn bis zum Alten Lande auf 0,30 m anwachsen zu lassen. An den Tideflüssen wie Este und Oste erhöht sich dieser Wert ganz zweifellos. Einmal geht das schon aus den bisherigen Pegelaufzeichnungen hervor, zum anderen wird diese Annahme erhärtet durch Berechnungen, die gegenwärtig für die Verlegung der Geesteabschleusung von Schiffdorf nach Bremerhaven durchgeführt werden, wonach der Wert der Hochwasserentlastung durch das Überlaufen der Geeste-
deiche oberhalb Bremerhaven für die Stadt 0,80 m betragen soll. Somit dürfte es nicht zu hoch gewertet sein, wenn die bisherige Deichbruchentlastung bis auf 0,50 m ansteigend an den Tideflüssen in Rechnung gestellt wird. Die Deiche an der Oste und Este laufen aber schon über, ehe dieser Wert erreicht wird, wie die Tabelle 5 für die Este zeigt. Für die viel zu niedrigen und schwachen Deiche an der Geeste oberhalb Bremerhaven und Oste oberhalb Hechthausen braucht auf diese Wasserstandserhöhungen nicht weiter eingegangen zu werden, da die Deiche schon bei geringeren Fluten überlaufen.

Im Bereich der Osterstader Marsch fehlen leider die Ordinaten der Sturmflut vom Februar 1825. Die erste vollständige Aufzeichnung einer größeren Flut liegt aus dem Jahre 1855 vor und ist in der Tabelle 3 zusammen mit der Flut vom 13. März 1906 wiedergegeben.

Tabelle 3

Pegel	2./4. Februar 1825 m über NN	1. Januar 1855*) m über NN	13. März 1906 m über NN
Bremerhaven	+ 4,98	—	+ 4,90
Geestemünde	+ 5,02	+ 4,55	+ 4,80
Sandstedt	—	—	+ 4,76
Brake	—	+ 4,87	+ 4,68
Veegesack	—	+ 5,17	+ 4,18
Oslebshausen	—	+ 5,60	—
Bremen	—	—	+ 4,55

*) Die Weser führte Hochwasser.

Aus dieser Tabelle folgt, daß die Flut vom 1. Januar 1855, die in Geestemünde um 47 cm geringer auflief als die von 1825, in Richtung Bremen steigende Werte aufweist. Dagegen fällt die Flut vom 13. März 1906 bis Veegesack hier um 62 cm ab. Maßgeblich für dieses verschiedene Auflaufen ist einmal die Dauer der Flut und zum anderen der Einfluß des Oberwassers. Wenn eine Hochflut bei Bremerhaven für die kurze Dauer eines Tidehochwassers aufläuft und dann gleich wieder abebbt, wird ein solches Hochwasser zur Osterstader Marsch hin wahrscheinlich abflachen. Aber vom Februar 1825 wissen wir, daß die Dauer des Hochwassers sich auf nahezu drei Tage erstreckt hat. Es erscheint demzufolge begründet, die Höhe dieser Sturmflut in der Osterstader Marsch mit derselben Ordinate wie in Bremerhaven, also zu rund + 5,0 m NN, anzunehmen.

Zu 3. Wenn die Angaben von SCHÜTTE (1935) zutreffen, dann beträgt der Wasserstandsanstieg seit 200 v. Chr. 5,40 m (Vierte Senkung), d. h. etwa 25 cm in einem Jahrhundert. Wenn auch diese einfache Rechnung bedenklich ist, so trifft dieses Maß doch nahezu mit den Messungen am Pegel Cuxhaven überein, wie die nachfolgende Tabelle 4 zeigt.

Nach dieser Tabelle ist MThw in Cuxhaven stetig um insgesamt 0,24 m angestiegen, somit seit 1825 um 0,30 m. Der Anstieg von MTnw ist mit 0,16 m um 8 cm geringer. Maßgeblich für das Auflaufen der Sturmfluten ist aber MThw, und es kann gefolgert werden, daß die Sturmflut von 1825 heute in Cuxhaven einen um 0,30 m höheren Wasserstand erreichen würde. Berücksichtigt man das Setzen der Deiche um durchschnittlich 0,30 m, so ergibt sich

Tabelle 4

Ort	10jähriges Mittel 1850			10jähriges Mittel 1900			10jähriges Mittel 1950*)		
	MThw	MTnw	Tidehub	MThw	MTnw	Tidehub	MThw	MTnw	Tidehub
Cuxhaven	+ 1,14	— 1,68	2,82 m	+ 1,26	— 1,60	2,86 m	+ 1,38	— 1,52	2,90 m
Hamburg	+ 1,62	— 0,17	1,79 m	+ 1,63	— 0,35	1,98 m	+ 1,65	— 0,70	2,35 m

*) Liegt wegen der fehlenden Werte bis 1955 noch nicht vollständig vor.

eine Verschlechterung der Deichsicherheit um 0,60 m. Allein dieser rohe Überschlag zeigt, wie wichtig es ist, die Frage der Deichsicherheit zu erörtern.

Der Pegel Hamburg zeigt eine ganz andere Entwicklung als der Pegel Cuxhaven. MThw ist nur um 3 cm angestiegen und MTnw sogar um 53 cm gefallen. Diese Erscheinung ist zweifellos auf die Flußbauten zurückzuführen, welche die Wasserstraße den größeren Seeschiffen anpassen sollten. Bei Sturmflut jedoch muß man auch für Hamburg die in Cuxhaven beobachtete Wasserstandshebung in Rechnung stellen, wobei ein geringer Abfall des Wertes von Freiburg bis Cranz im Stader Bezirk gerechtfertigt sein dürfte.

Sofern sich die Notwendigkeit ergeben sollte, planmäßig an eine Erhöhung der Deiche heranzugehen, genügt es nicht, den heutigen Stand der Tideverhältnisse zugrunde zu legen, sondern es dürfte unzweifelhaft die Entwicklung der Zukunft zu berücksichtigen sein. Es sollen hier deshalb Werte angenommen werden, wie sie für das Jahr 2025, also in 73 Jahren, zu erwarten sind. Die Zeitspanne von 1825 an beträgt dann 200 Jahre und der Wasserstandsanstieg unter der Voraussetzung einer gleichbleibenden Entwicklung 48 cm in Cuxhaven = rund 0,50 m. Dieser Wert wird in Rechnung gestellt an der Elbe von Cuxhaven bis Nordkehdingen und an der Weser bis Bremerhaven. In der Osterstader Marsch soll er auf 0,40 m verringert werden, desgleichen für das Alte Land.

Zusammenfassend ergeben sich aus allen drei Erscheinungen, nämlich der Abdämmung von Tideflüssen, der fehlenden Entlastung durch Deichbrüche und der Wasserstandshebung, Werte, die auf die Ordinate der Hochflut vom Februar 1825 aufzuschlagen sind, um festzustellen, bis zu welcher Höhe eine gleiche Sturmflut jetzt oder in nicht ferner Zukunft auflaufen würde. Die nachstehende Tabelle 5 ist auf das Jahr 2025, also auf 73 Jahre im voraus abgestimmt worden. Wenn auch in den ermittelten Werten einige Annahmen enthalten sind, so sind die Schätzungen doch so vorgenommen worden, daß eingehende Berechnungen oder Modellversuche vermutlich keine geringeren Werte zeitigen werden. Die Werte liegen auch unter den möglichen Sturmfluthöhen, die NÖTHLICH (1949) mit 3,80 m über MThw für Cuxhaven und 4,50 m über MThw für Hamburg angibt. Hiernach würden sich die Werte der Tabelle 5 für Cuxhaven auf + 5,36 m NN und für Hamburg (Altes Land) auf + 6,15 m NN, also um 0,20 m bzw. 0,35 m erhöhen. NÖTHLICH gibt damit für die Elbemündung gleichfalls etwas höhere Werte als die bisher erreichten an wie SCHELLING (1952) für die Westküste Schleswig-Holsteins.

Aus Tabelle 5 kann also gefolgert werden, daß die Höhe der Deiche um die + 7,0 m-NN-Grenze liegen muß, so daß auch die Stader Deiche an die neuen Deichhöhen der Nachbarbezirke herankommen. Nur für geschützte Deiche in Kehdingen und im Alten Lande sind noch Höhen unter + 7,0 m NN als ausreichend anzusehen. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß zu Anfang des achtzehnten wie auch des neunzehnten Jahrhunderts umfangreiche Deicharbeiten erforderlich waren, so ergibt sich aus der Tabelle 5, daß auch das zwanzigste Jahrhundert nicht vergehen wird, ohne daß an den Deichen wieder Arbeiten größeren Ausmaßes ausgeführt werden müssen.

Tabelle 5

Deich	Wasserstand der Flut vom 2./4. Februar 1825 in m NN	Zuschlag für a) Küstensenkung*) b) Fehlende Ent- lastung durch c) Abschlüssungen v. Tideflüssen in m	Zu erwartender Wasserstand der Flut v. 2./4. Fe- bruar 1825 im Jahre 2025 in m NN	Zuschlag für Deichkone (Wellenschlag) a) windgeschützt b) windgefährdet in m	Soillhöhe der Deiche im Jahre 2025 in m NN	Isthöhe der Deiche im Jahre 1992 in m NN	Bemerkungen
Weserdeich in der Osterader Marsch	+ 5,00	a) 0,40 b) 0,20	+ 5,60	b) 1,50	+ 7,10	+ 6,00	Jetzige Soillhöhe 6,31, Isthöhe schwankt zwischen 5,95 und 6,10
Wurster Seedei- ch bei Solthörn bei Weddewarden	+ 4,80 + 5,00	a) 0,50 a) 0,50	+ 5,30 + 5,50	b) 2,00 b) 1,80	+ 7,30 + 7,30	+ 7,30 + 6,30	
Döser Deich (Cuxhaven)	+ 4,66	a) 0,50	+ 5,16	b) 2,00	+ 7,20	+ 7,00	
Hadelner Deich	+ 5,25	a) 0,50 c) 0,10	+ 5,85	a) 1,15 b) 1,65	a) + 7,00 b) + 7,50	a) + 5,80 bis 6,20 b) + 6,50	Die Oste-Abschleusung ist zwingend
Kehdinger Elb-Deich	+ 5,15	a) 0,45 b) 0,10	+ 5,70	a) 1,00 b) 1,30	a) + 6,70 b) + 7,00	+ 6,00	Weites Vorland mit Sommerdeich
Altländer Elb-Deich	+ 5,10	a) 0,40 b) 0,30	+ 5,80	a) 1,00 b) 1,50	a) + 6,80 b) + 7,30	+ 5,80 bis + 6,50	Zuschlag für Abschleusung der Este nicht erforderlich
Este-Deich bei Buxtehude	+ 4,57	a) 0,40 b) 0,50	+ 5,47	a) 0,80	+ 6,30	5,10	Deich läuft über Die Este-Abschleusung ist zwingend

*) bzw. Wasserstandshebung.

II. Teil: Folgerungen aus der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962

Die Februarsturmflut 1962 hat den Windstau vom 3./4. Februar 1825 an der Küste bei Cuxhaven praktisch erreicht¹⁾. Sie erfüllt damit die Voraussetzung, unter der die Werte der Tabelle 5 ermittelt wurden. Ein Vergleich mit den Wasserständen der Februarsturmflut 1962 in den Tideströmen Elbe und Weser ist deshalb möglich und wertvoll.

Bisher sind die maßgeblichen Wasserstände für die Bestimmung der Deichhöhen im Tidebereich der Elbe und Weser — soweit überhaupt — nach den bekannten höchsten Wasserständen festgesetzt worden. Die Februarsturmflut 1825 spielt hierbei eine vorherrschende Rolle. Wir wissen aber, daß Fluten mit gleich hohem Windstau von See her ganz verschieden in den Tideströmen bis nach Hamburg und Bremen auflaufen. Die Unsicherheit, die hieraus folgt, ist um so beunruhigender, als der Kenntnis der maßgebenden Wasserstände an den Tideströmen eine größere Bedeutung zukommt als den Wasserständen an der Küste. Abgesehen davon, daß die Seewasserstände sowieso besser übersehen und beurteilt werden, kommen für die Bemessung der Seedeiche erhebliche Beträge für den Wellenauflauf und eine zusätzliche Sicherheit hinzu. Diese Beträge sind so groß, daß geringfügige Unterschiede zwischen den angenommenen und den eingetretenen Wasserständen keine große Rolle spielen. An den Stromdeichen ist das anders. Die Werte für den Wellenauflauf und die Sicherheit werden wesentlich geringer — z. B. nach den alten Deich- und Sielordnungen insgesamt etwa 60 cm — und schränken somit den Spielraum für die Werte der Wasserstände ein. Das heißt, daß es bei der Ermittlung der maßgeblichen Wasserstände auf genaue Werte ankommt. Der Vergleich der Scheitelwasserstände vom 16./17. Februar 1962 mit den Werten der Tabelle 5 führt in dieser Richtung etwas weiter.

Die Tabelle 5 ist für das Jahr 2025 aufgestellt worden und enthält unter der Voraussetzung eines säkularen Wasserstandsanstiegs von 25 cm bei Cuxhaven noch eine Sicherheit von 15 cm. Zieht man diesen Betrag ab, dann erhält man die Werte für 1962, die mit den gemessenen der Februarsturmflut dieses Jahres weitgehend übereinstimmen. An den Weserpegeln wurden die folgenden Wasserstände gemessen:

Tabelle 6

Pegel	Wasserstand m NN
Bremerhaven	+ 5,35
Nordenham	+ 5,17
Brake	+ 5,29
Elsfleth	+ 5,23
Oslebshausen	+ 5,35
Bremen	+ 5,41

Der Wert für Bremerhaven (+ 5,50 — 0,15) wurde bestätigt; in der Osterstader Marsch dagegen liegt die Februarsturmflut 1962 am Pegel Brake um 16 cm niedriger. Wahrscheinlich trifft die Annahme, daß die Sturmflut 1825 in der Osterstader Marsch auf die Ordinate + 5,0 m NN aufgelaufen ist, nicht ganz zu. Weiter oberhalb sind wegen des steigenden Einflusses des Oberwassers der Weser andere Überlegungen maßgeblich.

Ein Vergleich mit den Wasserständen, die im Franzius-Institut der Technischen Hoch-

¹⁾ Der Windstau vom Februar 1825 ist für Cuxhaven nicht genau bekannt. Der für die Küste allgemein angegebene Wert von 3,50 m scheint zu gering zu sein. Aus den Zahlen zu diesem Aufsatz errechnet sich der Windstau zu 3,58 m.

schule Hannover als maßgeblich für die Weser ermittelt wurden, zeigt eine genaue Übereinstimmung für Bremerhaven. Für den Pegel Brake liegt der Wert des Instituts um 13 cm höher²⁾ als der in der Tabelle 5 für die Osterstader Marsch errechnete.

An der Elbe sind die Werte der Tabelle 5 für Cuxhaven ebenfalls bestätigt worden; am Hadelner Deich wurden sie um 55 cm unterschritten. Erst vor dem Kehdinger Deich wurden die Tabellenwerte bei Glückstadt erreicht, um dann aber auf der Höhe von Schulau um 25 cm höher zu liegen (hierbei ist die Entlastung durch Deichbrüche bei der Februarsturmflut 1962 mit 15 cm angesetzt worden. Die an den Pegeln gemessenen Wasserstände zeigt die Tabelle 7). Die Abweichungen der Tabelle 7 zu den Werten der Tabelle 5 können verschiedene Ursachen haben, die kurz nacheinander betrachtet sein sollen.

1. Der Einfluß des Oberwassers der Elbe

Zur Zeit der Februarsturmflut 1962 flossen in der Elbe 1050 m³/s ab (mittlerer Abfluß rund 735 m³/s). Aber auch im Februar 1825 scheint ein nicht unbeträchtliches Oberwasser geflossen zu sein, wie die von St. Pauli bis Bunthaus ansteigende Kurve der Abbildung 3 vermuten läßt. Der Einfluß beschränkt sich örtlich aber auf den Raum Hamburg, wo man bei der Ermittlung des maßgebenden Wasserstandes auf Grund der Werte vom 17. Februar 1962 wohl gut tun wird, für das Oberwasser noch einen Zuschlag von einem oder zwei Dezimetern zu machen.

Tabelle 7

Pegel	Wasserstand über NN
Cuxhaven	+ 4,95
Belumer Schanze	+ 5,25
Brunsbüttelkoog	+ 5,08
Glückstadt	+ 5,63
Stadersand	+ 5,75
Schulau	+ 5,87
St. Pauli	+ 5,70

2. Die Dauer der Sturmflutwasserstände bei Cuxhaven

Eine kurz auflaufende Flut wird sich von der See bis Hamburg wegen der großen Entfernung kaum durchsetzen können (Cuxhaven bis Hamburg = 100 km). Das ändert sich, wenn die hohen Wasserstände lange anhalten. So wurde am 16./17. Februar 1962 am Pegel Cuxhaven der Wert 950 (= + 4,50 m NN) auf die Dauer von vier Stunden überschritten. Die Tidekurve war „füllig“ und brachte hiermit die Voraussetzung, daß die Sturmflut in voller Stärke bis Hamburg durchlaufen konnte. Von der Sturmflut des Jahres 1825 wissen wir, daß sie sich ganz ähnlich verhalten hat. Auf eine ungewöhnlich hohe Vortide, die schon Deichschäden bewirkte, folgte eine vorzeitig einsetzende Haupttide mit lang anhaltenden hohen Wasserständen. Es besteht deshalb kein Anlaß anzunehmen, daß die Tidekurve 1825 weniger füllig war und daß sich hieraus Unterschiede zu dem Auflaufen der Fluten in Hamburg ergeben. Vielmehr kann angenommen werden, daß diese Gestalt der Tidekurven an der

²⁾ Einschließlich geplanter Abschleusungen und Eindeichungen.

Küste überhaupt das Merkmal für die Katastrophenfluten in den Tideströmen ist. Eine hohe Tide ist somit immer alarmierend, wenn die folgende Flut bei gleichbleibender Wetterlage früh einsetzt und schnell ansteigt.

3. Die Entlastung durch Deichbrüche

Die Februarsturmflut 1825 hat die Elbmarschen nahezu vollständig überschwemmt. Die hierdurch bedingte Minderung der Wasserstandshöhen setzte bereits auf der Höhe Freiburg—Glückstadt ein und erreichte bis Hamburg ihren höchsten Wert. In diesem Jahre dagegen konnten die wenigen Deichbrüche unterhalb des Alten Landes (im Vergleich zu 1825) allein schon wegen des frühen Zeitpunktes nicht auf die Wasserstandshöhen einwirken. Aber auch die umfangreichen Überschwemmungen in der III. Meile des Alten Landes und in Hamburg brachten keine wesentliche Entlastung, weil die Deichbrüche zu früh einsetzten. Ihr zeitlicher Schwerpunkt lag um 2^h am 17. Februar. Um diese Zeit verringerte die Tidekurve am Pegel St. Pauli ihre Steigung und erreichte kurz nach 3^h ihren Höchstwert. Es konnten somit genügend Wassermassen von der See her nachströmen, um die „Verluste“ durch die Deichbrüche auszugleichen. Überschlägig ermittelt mag eine Wasserstandssenkung um 15 cm eingetreten sein, die sich aber auf den Raum Hamburg—Altes Land beschränkt.

4. Die Windrichtung

Die Elbe hat von Cuxhaven bis Hamburg die Form eines langgezogenen Z, das auf den Strecken Cuxhaven bis Freiburg, Freiburg bis Stade und Stade bis Hamburg zwischen den Richtungen West—Ost und Nordwest—Südost wechselt (Abb. 1). Die Länge dieser drei

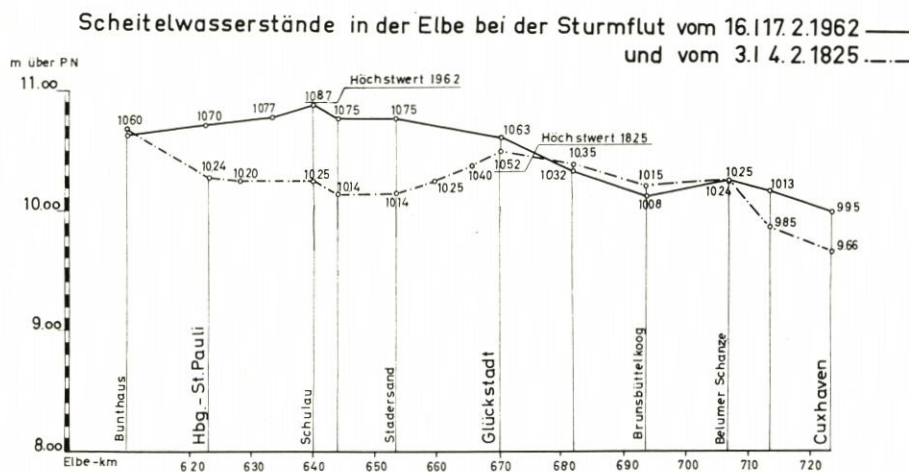


Abb. 3

Abschnitte beträgt je etwa 30 km. Die Breite wechselt; sie schwankt zwischen 8 km an der Ostemündung und 1,7 km bei der Estemündung. Dazwischen liegt die Freiburger Enge mit 4 km, aber auch die Krautsander Breite mit 7 km. Es bilden sich somit bei einer Sturmflut

Wasserflächen großen Ausmaßes, auf denen der herrschende Sturm das Wasser in Windrichtung drückt. Dadurch wird die in den Strom hineinpulsierende Tide durch einen zusätzlichen Windstau überlagert. Je nachdem ob der maßgebliche Sturm aus West oder Nordwest kommt, ergeben sich auf Grund der geographischen Gestalt der Niederelbe unterschiedliche Auswirkungen.

Der Weststurm staut den Mündungstrichter von Cuxhaven bis zur Belumer Schanze hoch an, behindert dann aber auf der Strecke von Freiburg bis Stade das weitere Auflaufen der angespannten Wasserstände. Von Stade bis Hamburg findet wieder ein Anstau statt.

Sturm aus Nordwest staut zunächst das Wasser im Mündungstrichter bis zur Belumer Schanze ähnlich wie der Weststurm, nur nicht ganz so hoch, an. Er wirkt sich dann wieder von Freiburg—Glückstadt voll in Stromrichtung aus. Zum Alten Lande hin findet ein stetig steigender Anstau statt, der vor den Toren von Hamburg seinen Höchstwert erreicht.

Betrachtet man die Scheitelwasserstände der Abbildung 3 unter diesem Gesichtspunkt, so ergibt sich für die Flut des Jahres 1825 der Typ des Auflaufens bei Sturm aus vorwiegend West und für die des Februar 1962 der Typ bei Sturm aus Nordwest³⁾. Der Nordweststurm ist für den Raum Stade bis Hamburg zweifellos der ungünstigere Fall.

5. Der Querschnitt

Aus der Abbildung 3 lassen sich drei Abschnitte herauslesen, die gemeinsame Merkmale aufweisen, einmal der Abschnitt von Cuxhaven bis Belumer-Schanze, zum anderen von der Belumer-Schanze bis Glückstadt und schließlich von Glückstadt bis Schulau. Auf der Karte sind das drei „Trichter“, und zwar erstens der Mündungstrichter bis Belumer-Schanze, zweitens die Strecke Belumer-Schanze bis Glückstadt mit der Einengung von 8 auf 4 km bei Freiburg und drittens die Strecke Glückstadt bis Schulau mit der Einengung von 7 auf 1,7 km bei Cranz. Der letzte ist jetzt durch die Abdeichung der alten Süderelbe weiter verriegelt worden (Abb. 5).

Diese Verhältnisse, die sich teils aus der Natur, teils aus den Deichbauten ergeben, müssen als äußerst ungünstig für das Auflaufen der Fluten angesehen werden. Die umgekehrte Lage der „Trichter“, nämlich mit der Spitze seewärts, wäre sicherlich besser. Hierfür sei als Beispiel das Auflaufen der Februarsturmflut 1962 in die offene Niederung bei Winsen/Luhe angeführt. Die örtliche Lage ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Ilmenau mündet bei Stöckte in die Elbe, wo sie durch Deiche in 200 m Abstand eingeschnürt wird. Hierdurch bildet die etwa 3 km² große Niederung einen Trichter mit der Spitze seewärts. Bei der Sturmflut stieg der Wasserstand der Elbe am Pegel Zollenspieker um 3^h am 17. Februar 1962 auf + 5,57 m NN. Dieser Wasserstand konnte sich aber nicht in die Niederung an der Ilmenaumündung fortsetzen. Gemessen wurden 2 km oberhalb der Mündung + 5,20 m NN, bei Winsen + 5,22 m NN und bei Nettelberg + 5,45 m NN. Der Windstau

³⁾ Zu der Windrichtung der Februarsturmflut 1825 gibt es verschiedene Angaben. Fest steht wohl, daß ein tagelanger Sturm vorausging, der von SW auf W drehte. Er soll am 3. Februar zum Orkan angewachsen sein und in der Nacht zum 4. Februar über NW auf N gedreht haben, wo er morgens abflaute. Andere Nachrichten sprechen für den 3./4. Februar nur von Sturm aus WNW. Andere wiederum bezeichnen den Sturm in der Nacht zum 4. Februar als nicht besonders heftig. Man konnte das hohe Auflaufen der Flut aus dem Sturm nicht erklären und vermutete, daß die Erde sich bewegt habe. Das plötzliche Versiegen oder Anspringen von Brunnen im Küstenbereich wurde als ein Zeichen hierfür gewertet. Andere Stimmen behaupten, daß eine Flutwelle die Nordsee vom Norden nach Süden überquert und den Windstau überlagert habe (SCHELLING 1952, BÜEREN 1825).

betrug auf der 3 km langen Strecke von Stöckte bis Nettelberg 25 cm. Bedeutsamer ist das Fließgefälle von der Elbe in die Niederung, das auf 2 km 0,37 cm betrug oder 0,185 ‰. Zu beachten bleibt, daß die Tidekurve des Pegels Zollenspieker mit Bezug auf die kleine Niederung sicher als „füllig“ gelten konnte. Der Wasserstand + 5,20 m NN an der Westseite der Niederung wurde bei Zollenspieker während 3 Stunden 20 Minuten überschritten.

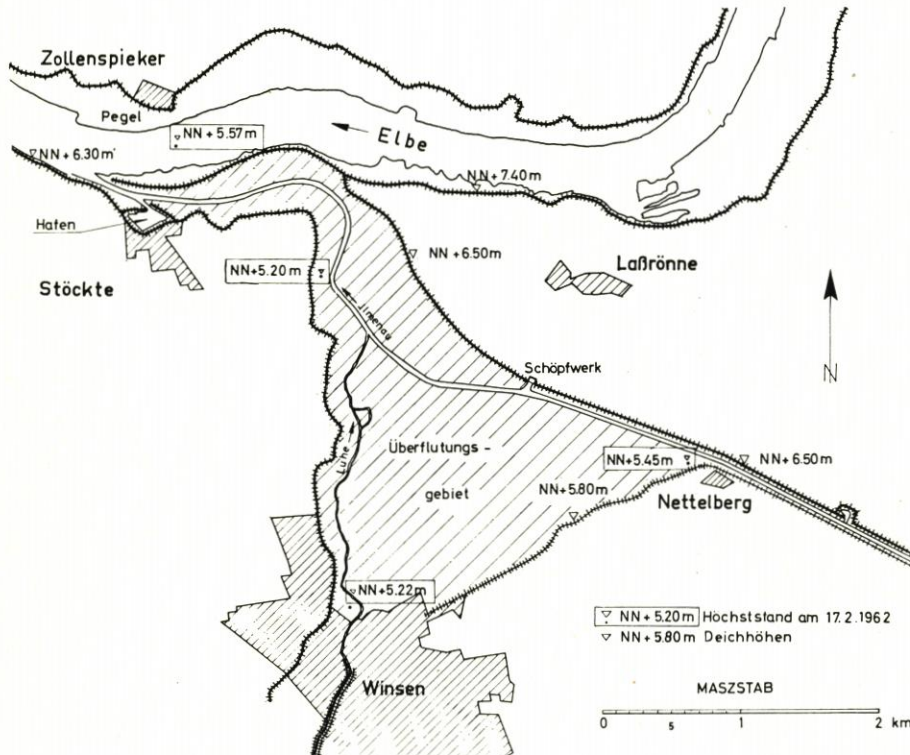


Abb. 4. Mündungsstrecke der Ilmenau

Die Beobachtungen an diesem Beispiel der Natur lassen sich in zwei Folgerungen zusammenfassen:

1. Bilden die Wasserflächen eines Tidestromes bei Sturmflut die Form eines Trichters in Windrichtung, dann werden die höchsten Wasserstände an der Spitze erreicht, und zwar unabhängig davon, ob sie stromauf oder stromab gerichtet ist.
2. Wenn die Spitze seewärts gerichtet ist und der Sturm in den Trichter hinein weht, reicht die Zeit einer Tide nicht aus, um das Trichterbecken auf den Mündungswasserstand zu bringen.

Diese Folgerungen aus nur einem Beispiel zu verallgemeinern mag gewagt erscheinen. Da sie aber theoretisch begründet und praktisch bestätigt sind, kann man doch wohl grundsätzlich von einer „Trichterwirkung“ sprechen.

Aus dem Verlauf der Kurven der Abbildung 3 läßt sich weiter feststellen, daß die Scheitelwasserstände nicht mit konstanter Steigung, sondern mit wechselndem Gefälle durchlaufen. Vor jedem Ansteigen liegt eine Strecke mit negativem Gefälle. Diese Erscheinung — ähnlich der an der Ilmenaumündung — wird sich damit erklären lassen, daß zu der An-

spannung der Wasserstände zwischen den Deichen gewaltige Wassermassen gebraucht werden, die durch den unterhalb gelegenen Querschnitt des Stromes zufließen müssen und hierzu Gefälle verbrauchen. So bewirkte der Sturm der Februarflut 1962 von Belumer-Schanze bis Brunsbüttelkoog ein Gefälle von 17 cm, um das Wasser für den Anstau nach Schulau durch den — hier sehr großen — Querschnitt des Stromes zu befördern. (Hiermit soll jedoch nicht gesagt sein, daß der Nordwest-Sturm die einzige Komponente für den Anstau nach Schulau darstellt, sondern daß er nur, wie bereits ausgeführt, die Tidewelle überlagert hat.)

Auch die Veränderung des Querschnitts durch die Fahrwasserregulierungen seit über hundert Jahren beeinflusst das Auflaufen der Flutwelle nach Hamburg. Die Vergrößerung des Tidehubes ist ein Beweis hierfür. Die Sturmflut dringt jetzt schneller nach Hamburg vor als früher. Insbesondere konnte der Sturm bei der Februarsturmflut 1962 das Wasser ungehindert nach Schulau anstauen, und es kann angenommen werden, daß hierdurch auch höhere Wasser-

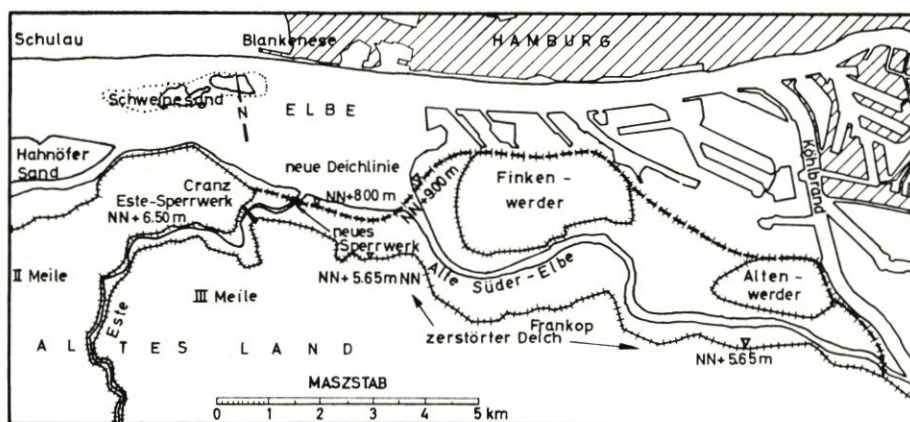


Abb. 5. Elbe bei Cranz mit Abdeichung der Alten Süder-Elbe

stände bedingt wurden. Dagegen ist es nicht begründet, hierauf den ganzen Unterschiedsbetrag zu der Tabelle 5 zu verrechnen, dessen größerer Teil auf den säkularen Wasserstandsanstieg, die Windrichtung und die geringere Entlastung durch Deichbrüche entfallen dürfte.

Die Querschnittsverengung bei Cranz (Abb. 5), verstärkt durch die Sände im Strom — Schweinesand, Hahnöfer-Sand — hat die Februarsturmflut 1962 vor den Toren von Hamburg gebremst. Der Schulauer Pegel zeigt (Abb. 3) einen um 17 cm höheren Wasserstand an (+ 5,87 m NN) als der Pegel St. Pauli (+ 5,70 m NN). Die Druckhöhe war notwendig, um das Wasser durch den engeren Querschnitt stromauf zu befördern. Von einer Reflexionswelle, wie sie künftig durch den neuen Finkenwerder Deich zu erwarten ist, kann bei der geringen Überhöhung aber wohl nicht gesprochen werden.

Die Betrachtungen zu den unterschiedlichen Werten der beiden Sturmfluten mögen genügen. Sie geben einen Anhalt, um die maßgeblichen Wasserstände für die Höhe der Deiche zu bestimmen. Von Cuxhaven bis etwa Glückstadt gelten die Werte der Tabelle 5, während von Glückstadt bis Stadersand die Wasserstände der Februarsturmflut 1962 nach der Tabelle 7 auszuwerten sind.

Von Stadersand bis Hamburg lassen sich keine Werte angeben, da der neue Finkenwerder Deich, der von Cranz eine neue Linie über die alte Süderelbe zieht (Abb. 5), in diesem Bereich eine erhebliche Veränderung bewirkt. Die Scheitelwasserstände werden höher auflaufen als am 16./17. Februar 1962. Das Maß der Deichbrüche wurde schon zu etwa 15 cm angegeben.

Tabelle 8

Ort	Februarsturmflut 1962 in Höhen über NN	Entlastung durch Deichbrüche	Säkularer Anstieg bis 2025	Maßgeblicher Wasserstand in Höhen über NN
Glückstadt	+ 5,63	—	0,15	+ 5,78
Stadersand	+ 5,75	0,05	0,15	+ 5,95

Auch die Abdeichung der alten Süderelbe wird sich in dieser Größenordnung auswirken. Dagegen kann nichts darüber gesagt werden, welche Reflexionswelle hier entsteht und in Richtung Stadersand wirkt. Diesen Wert kann aber das Modell des Franzius-Instituts liefern, das nach der Februarsturmflut aufgebaut wurde. Ebenso wäre zu wünschen, daß im Modell auch erforscht wird, inwieweit die Wasserstände in Hamburg und weiter oberhalb durch den Finkenwerder Deich verändert werden.

An der Weser hat der Nordwest-Sturm der Februarflut 1962 die See in dem „Trichter“ der Außenweser nach Bremerhaven auf + 5,35 m NN angestaut. Er war aber nicht imstande,

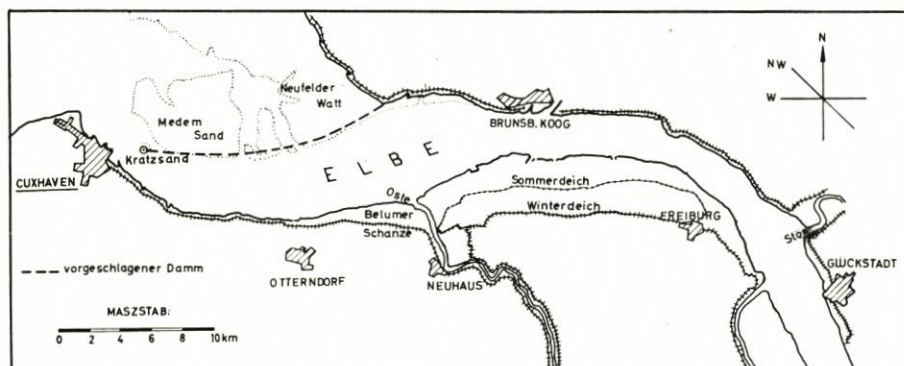


Abb. 6. Mündungsstrecke der Elbe

diesen Wasserstand nach oben in Richtung Bremen fortzusetzen oder gar — wie an der Elbe — um fast einen Meter zu erhöhen. Im Gegenteil, die nach Osten vorspringende Nase bei Blexen mit dem Umschwenken der Stromrichtung über Nordost nach Nord hat die Scheitelwasserstände etwas absinken lassen. Bei West-Sturm ist zumindest die gleiche Wirkung zu erwarten.

Der Deich, den Hamburg an der alten Süderelbe baut, erhält eine Kronenhöhe von + 8,0 m NN. Sie steigt im Bereich des größten Wellenauflaufes auf + 9,0 m NN an. Niedersachsen und auch Schleswig-Holstein müssen ihre Deiche diesen Höhen anpassen. Damit entstehen weit im Binnenlande Deiche, die denen an der See gleichkommen. Sie rücken zudem immer näher an den Strom heran. Die Frage, wohin dieser Deichbau führen soll, wenn die Verhältnisse sich sowohl vom Wasser als auch vom Lande her so weiter entwickeln wie von 1825 bis heute, ist unbeantwortet. Sie zu übergehen, würde einen grundlegenden Fehler darstellen.

Schon jetzt läßt sich feststellen, daß das Deichwesen — zumindest in seiner bisherigen Art — unvereinbar ist mit den Wirkungen und Anforderungen einer stetig wachsenden Industrie und einer immer dichter werdenden Besiedelung in den Marschgebieten. Ob Wege gefun-

den werden, die beiden Forderungen entsprechen, ist noch nicht zu übersehen. Jedenfalls stehen die Deichbauer in Hamburg bei ihrer Aufgabe vor schwer zu lösenden Problemen.

Aber nicht nur diese Entwicklungsfrage ist wichtig, sondern auch die rein technische, die sich auf die Standfestigkeit der Deiche bezieht, wenn die Wasserstände weit stromauf an den Tideströmen immer höher zwischen den Deichen angespannt werden. Jeder Praktiker weiß, mit welchen Bodenarten im Untergrunde er es hier zu tun hat und wie diese alluvialen Böden auf Beanspruchungen reagieren. Eine besonders eindringliche Mahnung stellen die schweren Grundbrüche bei Francop (siehe Abb. 5) und am Achterdeich bei Stelle dar, wo moorige Schichten aus dem Untergrund herausgedrückt wurden. Die Gefahr der Grundbrüche wächst aber mit den höheren Wasserständen, und es ist fraglich, ob sich dieser Gefahr überhaupt mit Sicherheit begegnen läßt.

Aus diesen Gründen besteht Anlaß zu prüfen, welche Möglichkeiten es an der Elbe gibt, um dem Bau immer höherer und den Strom immer mehr einengender Deiche Einhalt zu gebieten. Hierzu ist der Bau eines Dammes zu erwägen, der in Abbildung 6 dargestellt ist. Er zweigt von dem Dithmarscher Deich 9 km westlich von Brunsbüttelkoog ab und verläuft am südlichen Rande des Neufelder Wattes und des Medem-Sandes, um auf dem Kratzsand bei Cuxhaven zu enden. Seine Länge beträgt 17 km. Er engt die Mündung der Elbe auf 1,5 km Breite ein. Seine Höhe könnte auf 1,0 m über HHThw angeordnet werden.

Von den Auswirkungen dieses Dammes können zwei Folgerungen mit Sicherheit vorausgesagt werden:

1. Die Entfernung Hamburgs zur See wird um 17 km verlängert.
2. Für das Auflaufen einer Flut in der Elbe wird der Wasserstand bei Cuxhaven maßgeblich, der niedriger ist als der angestaute Wasserstand des Mündungstrichters bei der Belumer-Schanze (Abb. 3).

Neben diesen beiden Vorteilen sind weitere zu erwarten, deren Werte aber noch zu ermitteln wären:

1. Von Cuxhaven bis Freiburg ist eine „Trichterwirkung“, wie am Beispiel der Abbildung 4 beschrieben, zu erwarten. Auf dieser 40 km langen Strecke wechselt die Breite zwischen den Deichen von 1,5 km an der Mündung auf 8 km bei der Belumer-Schanze und 4 km bei Freiburg. Die Fläche beträgt 228 km². Sie kann wahrscheinlich selbst bei einer fülligen Tidekurve nicht auf den Cuxhavener Wasserstand auflaufen, zumal die Elbe oberhalb von Freiburg auch aufgefüllt werden muß.
2. Die Überlagerung der Tidewelle durch den zusätzlichen Windstau wird günstiger.
 - a) Sturm aus West steht bei Cuxhaven quer zur Mündung des Trichters. Er treibt die See über den Medem-Sand auf das Neufelder Watt. In der Elbe wird er zunächst Gefälle nach stromauf erzeugen und das Wasser dann in Richtung Freiburg anstauen. Von Freiburg bis Stadersand verliert er seinen Einfluß auf die Flut, deren bis Freiburg/Glückstadt angestaute Wasserstände hier absinken werden.
 - b) Die Möglichkeiten für den gefährlichen Sturm aus Nordwest werden grundlegend verändert. Er drückt über den Medem-Sand und das Neufelder Watt gegen den Damm, auf dessen Nordseite höhere Wasserstände eintreten als auf der Südseite. Auf der Elbe treibt er die Wellen quer über den Strom auf das Hadelner und das Kehdinger Ufer. Erst von Freiburg an kann er das Wasser in Stromrichtung anstauen. Das bedingt aber, daß von Cuxhaven bis hier ein Gefälle nach stromauf entsteht. Es braucht keineswegs so groß zu sein, wie an der Ilmenaniederung, um den Aufstau der Sturmflut in Richtung Hamburg entscheidend zu verringern.

Diese Überlegungen lassen vermuten, daß der Damm in der Elbemündung geeignet ist, ein höheres Auflaufen der Wasserstände, als sie in Cuxhaven erreicht werden, in der Elbe zu

verhindern. Wahrscheinlich werden sie — wie es jetzt schon an der Weser der Fall ist — oberhalb von Cuxhaven niedriger bleiben. Das sollte Grund genug sein, das Für und Wider, das mit einem derartigen Bauvorhaben verbunden ist, eingehend zu prüfen. Im Modell werden sich die Unterlagen hierzu ermitteln lassen.

Schriftenverzeichnis

- BÜEREN, G.: Die Sturmfluten des 3. und 4. Februar 1825. Weener, J. Thiel, 1825.
- GAYE, J.: Die Wasserstandsänderungen in der Ostsee und in der Nordsee in den letzten hundert Jahren. Die Wasserwirtschaft, Sonderheft 1951.
- GRIPP, K.: Geologie von Hamburg und seiner näheren und weiteren Umgebung. Hamburg 1933.
- HAARNAGEL, W.: Das Alluvium an der deutschen Nordseeküste. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet, Bd. 4, 1950.
- NÖTHLICH, F.: Ein Beitrag für das Auftreten von Sturmfluten in der Unterelbe. Wasser u. Boden 1, H. 3, 1949.
- SCHELLING, H.: Die Sturmfluten an der Westküste von Schleswig-Holstein unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Pegel Husum. Die Küste 1, H. 1, 1952.
- SCHÜTTE, H.: Das Alluvium des Jade-Weser-Gebiets. Ein Beitrag zur Geologie der deutschen Nordseemarschen. Oldenburg i. O., 1935.
- SCHULZE, E. O.: Niederländische Siedlungen in den Marschen an der unteren Weser und Elbe im 12. und 13. Jahrhundert. Diss. Ztschr. Hist. Ver. Niedersachsen 1889.
- SIEMENS, H. P.: Aus der Deich- und Siedlungsgeschichte des Alten Landes. Stader Archiv 1835. Pegelaufzeichnungen von Strom und Hafenbau, Hamburg, von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Bremen und vom Wasser- und Schifffahrtsamt Stade.