

# Veränderung der Wasserstände in der Elbe von 1950 bis 1984 – Eine Untersuchung anhand von Monatsmitteln

Von ULRICH LIETZ

## Zusammenfassung

Es wurden die drei Pegel Helgoland, Roter Sand/Alte Weser und Cuxhaven über den Zeitraum von 1950/1984 miteinander verglichen. Die Entwicklung der Tidewasserstände in der Elbe wird für den gleichen Zeitraum aufgezeigt.

Für die einzelnen Pegel werden die Monatsmittel über den gesamten Zeitraum dargestellt und analysiert. Es wird untersucht, ob sie als Grundlage für Aussagen zu Wasserstandsentwicklungen geeignet sind. Anhand einer Berechnung des Windeinflusses auf die Monatsmittel von Cuxhaven wird anschließend festgestellt, daß Trends einzelner Monate, die von denen des Jahresmittels abweichen, weitgehend auf Windeinfluß zurückzuführen sind. Es gibt keine erkennbare Sonderentwicklung einzelner Monate. Insofern sind Jahresmittel nicht nur vom Datenaufwand, sondern auch von der Systematik her für Trendberechnungen besser geeignet als Monatsmittel.

## Summary

*A comparison was made between the tidal data from the gauges Helgoland, Roter Sand/Alte Weser and Cuxhaven for the time period 1950–1984. Changes in the tidal water levels in the Elbe for the same time period were also investigated.*

*The monthly mean for the entire time period was determined and analysed for each gauge. The question which was posed was, whether these monthly means can form the basis for conclusions on water level changes. Based on calculations of the effect of wind on the monthly mean water level at Cuxhaven, it could be concluded that the wind is primarily responsible for differences between trends in individual months as compared with yearly mean values. There is no detectable special trend in individual months. Therefore, yearly mean values are better than monthly means both from data considerations as well as for systematic trend calculations.*

## Inhalt

1. Einleitung . . . . .	104
2. Datenmäßige Grundlagen und Untersuchungsmethoden . . . . .	105
1. Bezugshöhen der Pegel . . . . .	105
2. Auswertung der Daten. . . . .	105
3. Trenduntersuchung . . . . .	105
3. Abweichungen der untersuchten Nordseepegel untereinander . . . . .	106
4. Jährliche Schwankung und Trends der Nordseepegel . . . . .	106
1. Astronomische Jahresschwankung von Thw und Tnw . . . . .	106
2. Trends bei Thw, Tnw und Thb . . . . .	108
5. Entwicklung in der Elbe (Jahresrhythmus und Einfluß des Oberwassers) . . . . .	109
1. Cuxhaven . . . . .	110
2. Glückstadt . . . . .	110
3. Hamburg-St. Pauli . . . . .	111
6. Analyse des Windeinflusses auf die monatlichen Wasserstände . . . . .	112
7. Schriftenverzeichnis . . . . .	132

## Vorwort

In der Untersuchung

Veränderung der Wasserstände in der Elbe von 1950 bis 1984 sind erstmals Monatsmittelwerte einzeln und im Vergleich über einen so großen Zeitraum betrachtet worden.

Die Arbeit ist von vielen Seiten mit Rat und Unterstützung gefördert worden. So sind von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und Strom- und Hafengebäudeverwaltung Hamburg die unerläßlichen Wasserstandsdaten zur Verfügung gestellt worden. Das gleiche gilt für das Seewetteramt hinsichtlich der Winddaten aus den Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Siefert und Herrn Dr.-Ing. G. Luck danke ich herzlichst für zahlreiche Fachgespräche und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Herrn RD Dipl.-Ozeanograph Annusch danke ich für die Erläuterung der Berechnungssystematik des Windstaus durch das DHI und einiger Grundlagen der Tideberechnung, die als zitierbare Literatur so nicht vorliegen.

Herr Dipl.-Ing. R. Abels schrieb die Programme für die Datenein- und ausgabe.

## 1. Einleitung

In den letzten 20 bis 30 Jahren haben sich die Wasserstände in der Deutschen Bucht bemerkbar verändert. Vor allem fallen dabei die in den Tideflüssen gleichartig verlaufenden Veränderungen des T<sub>nw</sub> und des T<sub>hb</sub> auf (DIETZE, 1983; SIEFERT, 1982).

In dieser Arbeit, die in ihren Anfängen aus einer Seminararbeit an der Fachhochschule Nordostniedersachsen, Fachbereich Bauingenieurwesen in Buxtehude, entstand, wird am Beispiel der Elbe folgenden Fragen nachgegangen:

- Sind gleichsinnige Veränderungen wie in den Tideflüssen in der Deutschen Bucht erkennbar?
- Ist es sinnvoll, Monatsmittel zur Analyse der Ursachen der Veränderungen heranzuziehen, oder lassen sich mit Jahresmitteln ebenso genaue oder gar präzisere Aussagen machen.

Vergleichende Untersuchungen besonders des Tidehubs der vergangenen 40 Jahre in den Tideflüssen und der Deutschen Bucht sind bisher noch wenig veröffentlicht worden. Veröffentlichungen beziehen sich nur auf das eine oder andere. SIEFERT (1982) untersucht vor allem die Veränderung des Niedrigwassers in den Ästuaren, JENSEN (1984) Trends von Küsten- und Seepegeln, wobei er HEL wegen der kurzen Zeiträume und WES wegen der Unsicherheit im PNP ausklammert.

Desgleichen wurden Monatsmittel bisher nicht untersucht, wie wohl es bei Zeitabschnitten solcher Länge ggf. sinnvoller wäre, von mondphasenkonformen Mittelbildungen auszugehen.

Es werden erstmals Abweichungen der Monatsmittel vom Jahresmittel dargestellt und auf meteorologische Besonderheiten untersucht. Dem Windeinfluß als Ursache für bemerkenswerte monatliche Besonderheiten (November, Februar, April) wurde dabei besondere Beachtung geschenkt.

Folgende Pegel wurden ausgewertet:

Helgoland (HEL) ab März 1952	} (WES)	Brunsbüttel (BRU) ab 1. 11. 1950
Roter Sand (RS) bis 31. 10. 1964		Glückstadt (GLU)
Alte Weser (AW) ab 1. 11. 1964		Stader Sand (STA)
Cuxhaven (CUX)		Hamburg/St. Pauli (HAM)

Sie wurden bis auf die genannten Ausnahmen für die Wasserwirtschaftsjahre 1950 bis 1984, also für 35 Jahre, ausgewertet. Zugrundegelegt wurden die Haupttabellen der Pegel oder andere Angaben der Dienststellen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung und Strom- und Hafengebäude Hamburg.

## 2. Datenmäßige Grundlagen und Untersuchungsmethoden

### 2.1 Bezugshöhen der Pegel

#### Helgoland (HEL)

Als Bezugshöhe für diesen Pegel wurde das Helgoländer Null gewählt. Eine Umrechnung auf NN, nach ROHDE (1982) ein Wert von + 32 cm, wurde nicht vorgenommen, da hier vor allem die relativen und wechselseitigen Veränderungen interessieren.

#### Weser (RS und AW); (WES)

Als Bezugshöhe für diese Pegel wurden für

Roter Sand: PNP = -4,90 m NN

Alte Weser: PNP = -4,96 m NN

nach umfangreichen, vergleichenden Berechnungen zu HEL und CUX gewählt (Lietz, 1986).

Für PNP AW wurde der amtlich festgestellte und durch hydrostatische Nivellements mehrfach bestätigte PNP übernommen. Der PNP RS wurde wegen der festgestellten Übergangsdifferenz um 8 cm abgesenkt.

#### Cuxhaven (CUX)

bis 31. 10. 1954 PNP = -5,00 m NN

ab 1. 11. 1954 PNP = -5,01 m NN

ab 1. 11. 1963 PNP = -5,02 m NN

#### Brunsbüttel (BRU)

bis 31. 10. 1952 PNP = -5,00 m NN

ab 1. 11. 1952 PNP = -5,01 m NN

an 1. 11. 1980 PNP = -5,00 m NN

#### Glückstadt (GLU), Stadersand (STA) und Hamburg/St. Pauli (HAM)

PNP = -5,00 m NN

Die Pegel BRU und STA wurde nur für einige grundsätzliche Überlegungen herangezogen. Sie liegen mit nahezu allen Werten zwischen den benachbarten Pegeln und lassen keine Sonderentwicklung erkennen. Lediglich das TnW STA liegt ständig höher als GLU, wogegen das TnW HAM seit 1976 im Jahresmittel niedriger als STA und seit 1978 auch niedriger als GLU liegt (Abb. 11).

### 2.2 Auswertung der Daten

Den statistischen Auswertungen (Trends) wurden die jeweiligen Monats- oder Jahresmittel zugrunde gelegt. Für alle anderen Darstellungen wurde das überlappende 5-Jahresmittel verwendet. Ihm wurde gegenüber dem 3- oder 7-Jahresmittel der Vorzug gegeben.

Ein gewichtetes Mittel (LIESE u. LUCK, 1978) wurde nicht verwendet. Das arithmetische Mittel gibt die Feinheiten noch genau genug wieder und ist für den nicht so versierten Fachmann leichter zu übersehen, als das dort angewandte Verfahren.

### 2.3 Trenduntersuchung

Es wurden für Jahres- und Monatsmittel lineare Trends untersucht. Für eine Frequenzanalyse waren die Zeiträume zu kurz.

Als Kriterium für die Aussagekraft der Trenduntersuchung wird der Korrelationskoeffizient

$$r = \frac{(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{(x - \bar{x})^2 \cdot (y - \bar{y})^2}$$

angegeben.

### 3. Abweichungen der untersuchten Nordseepegel untereinander

Da untersucht werden sollte, ob und inwieweit die Entwicklungen und Veränderungen in der Elbe Entsprechungen in der Deutschen Bucht haben, mußten einige repräsentative von den Veränderungen des Ästuars unbeeinflusste Pegel in die Betrachtung einbezogen werden. Als solche wurden Helgoland und, auf Grund einer Empfehlung von SIEFERT (1973), Roter Sand / Alte Weser gewählt.

Die mit dem Übergang vom Pegelstandort Roter Sand auf Alte Weser verbundene Problematik wurde erst während der Bearbeitung erkannt und gesondert untersucht (LIETZ, 1986).

Die Untersuchung der Wasserstandsdaten der drei Pegelstandorte geschah über Differenzen der überlappenden 5-Jahresmittel der Pegel WES und CUX zu HEL (Abb. 1), Summenliniendarstellungen und über Trendanalysen. Nach Ansicht des Verfassers sind Summenlinien aber eine ungünstige Methode, um über Zeitpunkt und Art von Veränderungen im Tidegeschehen Auskunft zu erhalten:

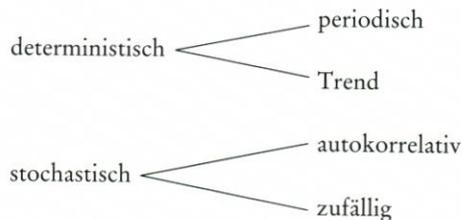
- Die Knickpunkte liegen bei Tnw, Thw und Thb an völlig verschiedenen Zeitpunkten obwohl es Teile einer Erscheinung sind.
- Ein Knick in einer Summenlinie bedeutet einen Sprung in der Entwicklung. Die Natur springt aber nicht.

Aus diesem Grunde wurden Summenliniendarstellungen nicht beigefügt.

### 4. Jährliche Schwankung und Trends der Nordseepegel

#### 4.1 Astronomische Jahresschwankung von Thw und Tnw

Das Erscheinungsbild der Gezeiten läßt sich wie alle hydrologischen Größen in folgende Anteile aufteilen:



In der Tideberechnung lassen sich alle Anteile nur empirisch bestimmen.

Wenn versucht werden soll, Besonderheiten der Monatsmittel herauszustellen und den periodischen vom Trendanteil zu trennen, so ist die Jahresschwankung von besonderer Bedeutung. Zwar beruht der periodisch-deterministische Anteil auf dem Gang der Gestirne, unterliegt also in seiner Ursache physikalischen Gesetzmäßigkeiten, doch selbst dieser Anteil

läßt sich nicht mathematisch allgemeingültig berechnen, sondern ist nur in Näherungen von zeitlich begrenzter Gültigkeit erfaßbar.

Ferner ist der periodische von einem autokorrelativ-stochastischen Anteil nicht vollständig zu trennen. Hierunter fallen z.T. die Dichteänderungen infolge der jährlichen Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen, wie sie DIETRICH (1954) beschreibt, als auch der sich wiederholende Rhythmus von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Oberwassereinfluß.

Die Trennung des astronomischen Anteils dieser Periodizität vom meteorologischen ist physikalisch schlüssig derzeit nicht durchzuführen.

Die Gezeitenberechnung des DHI wird daher getrennt für Thw und Tnw vorgenommen (nonharmonisches Verfahren). Für die sich aus der Frequenzanalyse ergebenden Partialtiden werden jeweils für Thw und Tnw besondere Parameter ermittelt.

Diese sind dadurch nicht ganz windbereinigt, enthalten also in geringem Maße noch die oben beschriebenen stochastischen Anteile. Die jährliche Schwankung der Wasserstände CUX-WIND (Abb. 8, 9) muß deshalb niedriger ausfallen als die nicht windbereinigte „astronomische“ Schwankung.

Aus der Analyse des 19jährigen Mittels des Pegels CUX 1952–1970 ergeben sich nach Auskunft des DHI für die beiden Partialtiden mit näherungsweise jährlicher Periode folgende Werte:

Tabelle 1. Phasenwinkel und Amplitude von Partialtiden

Nr	Periode (Jahre)	Phasenwinkel des Maximums für den 1. 1. 1950 (°)		Amplitude (cm)	
		HW	NW	HW	NW
1	0,90488587	80	78	4,4	3,3
2	1,02019438	260	294	7,6	18,2

LOHRBERG (1983) errechnet für die jährliche Periode im Zeitraum 1890–1980 folgende Amplituden (halbe Schwingungswerten) (cm):

	Thw		Tnw
CUX	5,7	} 6,0	14,9
WES	6,2		15,1
			} 15

In die Jahresganglinien wurden jeweils die „astronomische“ Tide mit den Werten der Tide Nr. 2 eingetragen (Abb. 8, 9)

Die Periode der Partialtide 2 entspricht genau dem siderischen Jahr. Sie ist für den Jahresrhythmus von Thw und Tnw die bestimmende Tide, der durch die Tide 1 langfristige Schwebungen aufgeprägt sind. Diese wirken sich beim Hochwasser wesentlich stärker aus als beim Tnw, da dessen Amplituden weniger voneinander abweichen. Dadurch sind beim Thw die Schwingungsknoten der jährlichen Ungleichheit nur ungenau zu definieren.

Ohne Berücksichtigung der Tide Nr. 1 liegen die Extremwerte des Thw zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche im Frühjahr und Herbst, die Knoten zur Zeit der Sommer- und Wintersonnenwende. Für Tnw liegen die entsprechenden Werte, 24,35 Tage, also ca. 1 Monat später (Abbildungen 8, 9).

Dadurch ist es zu erklären, daß das Junimittel des Thw etwa dem Jahresmittel entspricht, während der Wert für Tnw niedriger liegt. Dem Jahresmittel entspricht eher das Julimittel des Tnw (Abbildungen 2–7).

Nach mündlicher Auskunft des DHI liegen die o. g. Werte außer für CUX für Büsum und Borkum vor. Die Pegel RS und AW werden bei der astronomischen Berechnung an CUX angeschlossen. Deshalb gibt es auch für diese Pegel keine gesonderte Berechnung des dortigen Windstaus. Die möglicherweise nach 1970 eingetretene Änderung der Tideverhältnisse ist somit in den Parametern des DHI noch nicht enthalten.

Die Jahresganglinien der drei Seepiegel HEL, WES und CUX haben einen nahezu identischen Verlauf. Bei Tnw und THB wurde aus diesem Grunde auf die Darstellung von WES verzichtet.

Der Einfluß des Windes auf die Monatsmittel kann man an der folgenden Tabelle ablesen. Es wurde versucht (Ziffer 6), ihn vom astronomischen Jahresgang zu trennen. Damit ergibt sich über alle Jahre der monatliche Windstau.

Hier zeigt sich deutlich, daß er keinen harmonischen Jahresrhythmus hat. Besonders auffällig und nicht erwartet ist der hohe Stau in den Monaten Juli bis September.

Tabelle 2. Mittlerer Windstau in CUX (cm)

	NOV	DEZ	JAN	FEB	MÄRZ	APRIL	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEPT	OKT	JAHR
Thw	8,8	8,6	4,6	1,0	0,9	5,3	2,6	6,9	10,6	7,9	8,2	6,8	6,0
Tnw	10,6	13,9	8,9	4,2	4,1	7,4	4,2	8,3	11,9	10,1	11,6	10,8	9,2

Der Januar weist in den Wasserständen die größte Streuung auf, was auf große Unterschiede in den Windrichtungen schließen läßt, die sich im Ergebnis aufheben (Abbildungen 2-7).

#### 4.2 Trends bei Thw, Tnw und Thb

In den letzten Jahren sind Unsicherheiten über die Gezeitenentwicklung in der Deutschen Bucht für die nähere Zukunft aufgetreten. Aus langen Zeiträumen ermittelte Trends haben die kürzere Entwicklung nicht mehr befriedigend repräsentiert (DIETZE, 1983; FÜHRBÖTER, 1985; JENSEN, 1984, u. SIEFERT, 1982).

Da die Ursachen der Änderungen nach wie vor unbekannt sind – neben dem langfristig gleichmäßigen Anstieg des Wasserspiegels eustatischer und tektonischer Natur wird ein verändertes Resonanzverhalten der Nordsee vermutet –, wird versucht, die Veränderungen empirisch auf statistischem Wege u. a. aus kurzfristigen Trendbeobachtungen zu analysieren und zu extrapolieren.

In dieser Arbeit sind solche Trends aus kurzfristigen Zeitreihen ermittelt. Bei ihnen zeigen sich folgende Auffälligkeiten:

1. Die jeweils ermittelten Trends haben für Thw und Tnw eine auffallend niedrigere Korrelation als die für den dazugehörigen Thb.
2. Bei „geschickter Wahl“ von Teilzeiten können sich höhere Korrelationen ergeben als für längere Zeiten (z. B. Thw CUX, Tabelle 3)

Es zeigt sich, daß selbst bei Trends, die über 35 Jahre berechnet werden, die Korrelation recht niedrig ist. In der Tabelle haben nur die unterstrichenen Werte einen Korrelationskoeffizienten über 0,6, kein Wert erreicht 0,8, bei einigen anderen, vor allem den kleinen Werten, liegt er unter 0,1. Die höchsten haben der Thb WES 50/84 und HEL 70/84 (Abb. 16).

Tabelle 3. Säkularrends der Seepegel und ihrer Differenzen (cm)

	Pegel	50/69	53/69	70/84	50/84	53/84
Thw	HEL	-	-8,6	<u>69,6</u>	-	16,8
	WES	37,5	30,6	74,6	39,6	38,6
	CUX	41,2	37,0	<u>116,8</u>	42,6	42,9
	WES-HEL	-	<u>39,2</u>	5,0	-	<u>21,8</u>
	CUX-HEL	-	<u>45,6</u>	47,1	-	<u>26,1</u>
	CUX-WES	3,7	6,4	<u>42,1</u>	3,1	4,3
Tnw	HEL	-	6,4	-0,7	-	-10,0
	WES	-14,4	6,9	20,0	-5,0	2,3
	CUX	-16,2	17,4	-28,6	-23,7	-15,9
	WES-HEL	-	0,5	20,7	-	12,2
	CUX-HEL	-	11,0	-27,9	-	-5,9
	CUX-WES	-1,8	10,5	<u>-48,6</u>	-18,7	-18,2
Thb	HEL	-	-15,0	<u>70,4</u>	-	<u>26,8</u>
	WES	51,9	23,8	<u>54,6</u>	<u>44,5</u>	<u>36,4</u>
	CUX	57,4	19,6	<u>145,4</u>	<u>66,3</u>	<u>58,8</u>

3. Trends der Monatsmittel über den Gesamtzeitraum weichen von denen der Jahresmittel ab. Dieses ist, wie in Teil 6 gezeigt wird, auf Windeinflüsse zurückzuführen (Abb. 16, 17).

Neben der bekannten Tatsache, daß das Thw ansteigt, ist für die Deutsche Bucht das seit 1950 etwa festgestellte Absinken des Tnw bemerkenswert.

JENSEN (1983) und FÜHRBÖTER/JENSEN (1985) weisen dieses im Schnitt der untersuchten Pegel für den Zeitraum 1884/1983 mit -1 cm sowie verstärkt für den 50-Jahreszeitraum 1943/83 mit -4 cm pro 100 Jahre nach.

In Holland steigt dagegen das Tnw (Rijkswaterstaat, 1984) in der 130 Jahre umfassenden Auftragung nach wie vor um ca. 19 cm pro 100 Jahre. In der dort aufgetragenen Zeitreihe könnte aber aus dem Zeitabschnitt seit 1950 auf gesunkene Tnw-Stände geschlossen werden, wenn man den Phasenverlauf der Nodaltide nicht beachtet. Das ist der Umlauf des Knotens der Deklination der Mondbahn gegen die Ekliptik. (Autorenkollektiv, 1978).

Leider liegen für HEL keine länger zurückreichenden Pegelaufzeichnungen vor.

Die Besonderheiten dieses Pegels

- Absinken des Thw bis 1970
- Absinken des Tnw 1973-80
- Ermäßigung des Thb 59/73
- Anstieg des Thb seit 1973

lassen gewisse Parallelen zur genannten Veröffentlichung von Rijkswaterstaat erkennen.

## 5. Entwicklung in der Elbe, Jahresrhythmus und Einfluß des Oberwassers

Die generelle Entwicklung des Tideablaufs in der Elbe: Anstieg des Thw, absinkendes Tnw, Vergrößerung des Tidehubes sind so bekannt, daß sie hier nicht im Detail wiederholt werden sollen. Es ist vielmehr speziellen Aspekten dieser Erscheinung und der Frage

nachzugehen, ob und in welchem Umfang die eingetretene Entwicklung in einzelnen Monaten verstärkt oder besonders frühzeitig erkennbar ist, ob es also besonders typische Monate gibt.

Die Überlegung, einzelne Monate könnten die Entwicklung besonders typisch, verstärkt oder gar initiativ aufzeigen, hat sich aber durch die Untersuchung nicht bestätigen lassen. Die „typischen“ Monate wechseln in verschiedenen Zeiträumen und von Fall zu Fall.

Beispielhaft sei dies für einige Monate erläutert.

#### 1. November, Dezember

Vor 1970 lagen die Mittelwerte sowohl für Thw als auch für Tnw an allen Pegeln im Dezember höher als astronomisch zu erwarten war. Danach verschiebt sich diese Abweichung in den November (Abb. 8–10). Das korrespondiert mit veränderten meteorologischen Verhältnissen, siehe Teil 6. Über den ganzen Zeitraum gleichen sich diese Abweichungen aus.

#### 2. Februar, März

Beide Monate haben sowohl bei Thw als auch bei Tnw niedrigere Werte als astronomisch zu erwarten. Vor allem hat der Februar seit 1970 extrem niedrige Werte in Thw und Tnw. Auch dieses ist eindeutig auf veränderte Windverhältnisse zurückzuführen.

### 5.1 Cuxhaven (Abb. 8, 9)

Der im folgenden dargestellte Vergleich des Jahresrhythmus der Pegel HEL, WES und CUX führt zu der Aussage, daß der Oberwassereinfluß in CUX, wenn überhaupt vorhanden, so doch sehr gering ist, wenn man längere Zeiträume untersucht und Extremereignisse außer acht läßt. Das stellte auch ROHDE (1971) anhand von Modelluntersuchungen fest. Die von LOHRBERG (1983) festgestellte Abweichung der MTmw-Werte von den entsprechenden gemittelten MTmw-Werten von 6 Küstenpegeln läßt sich besser in Relation zum Jahrgang des Tidehubs als zum Oberwasserabfluß setzen (Abb. 8). Offenbar gibt es hier bislang nicht berücksichtigte Mehrfachabhängigkeiten. Die Elbe hat in den Monaten Februar und vor allem März und April eine hohe Wasserführung. Das wird durch die Fließzeit in Cux um ca. 14 Tage verzögert. Niedrige Wasserführung weisen die Monate Juli bis Oktober und besonders September auf.

1. Thw Juli ist gegenüber anderen Küstenpegeln erhöht. (1950/84 um 3 cm).
2. Tnw Juli ist vom Wert der anderen Nordseepegel nicht zu unterscheiden.
3. Thw April ist ebenfalls erhöht.
4. Tnw April ist gegenüber dem „astronomisch“ zu erwartenden Jahresverlauf deutlich erhöht. Aber bei einem Vergleich der Aprilwerte der drei Pegel über die untersuchten Zeiträume ist eine Erhöhung der Wasserstände in CUX gegenüber jenen kaum feststellbar: (cm)

	Thw	Tnw
50/84	+2	+0,4
50/69	+1	+1
70/84	+3	0

### 5.2 Glückstadt

#### Tidehochwasser

Die Entwicklung des Thw ist in GLU ähnlich verlaufen, wie an den unterhalb gelegenen Pegeln BRU und CUX. Die Differenzen zu WES haben sich während des Untersuchungszeit-

raumes kaum geändert (Abb. 11). Die Differenz zu CUX ist sehr gering (Abb. 10). Die maximale Abweichung tritt im Februar auf und zeigt wie in CUX eher einen Einfluß des Windes als des Oberwassers auf das Thw.

#### Tideniedrigwasser

Das in der ganzen Elbe feststellbare Absinken des Tnw gegenüber WES beschränkt sich in GLU sehr prägnant nur auf den Zeitraum von 1970 bis 1975. Das MTnw sinkt in diesem Zeitraum um 10 cm gegenüber WES.

#### Tidehub (Abb. 12)

Für den Tidehub markiert GLU in der Elbe eine Grenze. Er hat zwar in der Differenz zu WES einen ähnlichen Verlauf wie CUX und BRU, sinkt aber in der Zeit bis 1969 stärker als diese, um danach wieder stärker zu steigen. Er bleibt jedoch ständig geringer als im unterhalb gelegenen Bereich. Bei den oberhalb gelegenen Pegeln STA und HAM ist der Thb am Anfang des Beobachtungszeitraumes wiederum geringer als in GLU. Ab 1963 kehrt sich bei diesen Pegeln das Verhältnis aber um. Bis 1963 wird der Thb von der Elbmündung bis zur Tidegrenze kleiner. Seither ist der Thb in GLU der kleinste im ganzen Elbästuar.

Auf die Vergrößerung des Thb in allen größeren Tideflüssen macht bereits DIETZE (1983) aufmerksam. Offenbar ist diese Entwicklung, zumindest in der Elbe, auf den Bereich oberhalb Glückstadts beschränkt.

Die aufgezeigten Besonderheiten liegen sicher im morphologischen Bereich. Zwischen CUX und BRU ist die Elbe stärker als andere Tideflüsse gekrümmt. Der Windstau wird dadurch reduziert. Das Fahrwasser der Elbe wurde verstärkt begradigt und vertieft (1963 der 11,5-, 1973 der 13,5-m-Ausbau). Diese Maßnahmen haben sich im oberhalb gelegenen Bereich hydrologisch stärker ausgewirkt als unterhalb Glückstadts.

### 5.3 Hamburg – St. Pauli

Die Veränderungen am Pegel St. Pauli sind bekannt und vor allem hinsichtlich des Tnw u. a. von SIEFERT (1982) ausführlich beschrieben. (Abb. 11, 12).

In einzelnen Monaten liegen sie inzwischen sogar niedriger als in CUX. Es handelt sich dabei nicht um Monatsmittel mit ausgesprochenen Ostwindwetterlagen, sondern um Monate mit astronomisch hohen NW-Ständen.

Tnw-Differenzen von HAM zu CUX und GLU (cm)

	82		83			84	
	Okt.	Nov.	Dez.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
CUX	0	-7	-4	-1	-7	-5	-3
GLU	-21	-26	-30	-21	-27	-25	-23

Diese für die Hamburger Hafenanlage, die Schifffahrtsverhältnisse und die Strömungsgeschwindigkeiten in der Elbe so negative Erscheinung ist auf drei Ursachen zurückzuführen, die kaum in ihre einzelnen Anteile zerlegt werden können:

1. Vergrößerung des Tidehubs in der Deutschen Bucht.
2. Ausbaumaßnahmen in der Elbe. Bei niedrigen Wasserständen vor allem ist durch die Vertiefung und Streckung der Fahrrinne der hydraulische Radius größer und die Rauigkeit kleiner geworden. Dadurch ist die Ebbstromgeschwindigkeit und die hierin enthaltene

kinetische Energie zur Bremsung des ersten Flutstroms größer geworden; und das zur Erzeugung der Strömungsgeschwindigkeit erforderliche Gefälle konnte kleiner werden.

3. Der Bau des Sperrwerks in Geesthacht. Die während der Ebbstromphase von oberhalb strömende Wassermenge ist durch dessen Bau begrenzt worden.

## 6. Analyse des Windeinflusses auf die monatlichen Wasserstände

In den 5-Jahresmitteln der Monatsmittel treten besonders in den Wintermonaten noch so große Schwankungen auf, daß der Versuch gemacht wurde, den Windeinfluß auf diese abzuschätzen. Gelegentlich wird der quadratische Windvektor, aus welcher Richtung er auch immer wehen mag, als Maß für den Windstau herangezogen (ANTFANG, 1969, u. LOHRBERG, 1983).

Hier wurde auf die in den Einzelveröffentlichungen des Seewetteramtes gesammelten Daten zurückgegriffen.

Bis 1953 wurden die geschätzten Werte nach Bft, von 1954 bis 1960 die gemessen in kn und danach wieder diejenigen nach Bft der Ermittlung zugrunde gelegt. Vor 1954 gibt es keine gemessenen Werte. Nach 1960 liegen die gemessenen und die geschätzten nach ANTFANG (1969) kaum auseinander. Für diesen Zeitraum wurde deshalb auf frühere eigene Arbeiten zurückgegriffen.

Es lag somit für diesen Teil der Untersuchung keine homogene Datenreihe vor. Eine solche ist aber nach Angaben des Seewetteramtes auch nicht erhältlich, da ganz abgesehen von der Zeit vor 1954 auch danach noch die Maßeinheiten für die gemessenen Windstärken, die Meßmethoden oder Geräte und die Standorte gewechselt haben. Doch wurden diese Werte zur Ermittlung und Eliminierung des Windstaus vom DHI benutzt. Insofern erscheint der Versuch gerechtfertigt, diese Daten auch hier als Grundlage für eine Abschätzung des Windeinflusses auf die Monatsmittel zu verwenden.

Das DHI verwendet für die Ermittlung des Windstaus in CUX die Beziehung

$$H = a_1 \cdot f^2 \cos d + a_2 f^2 \sin d + a_3 f^3 \cos d + a_4 f^3 \sin d$$

Als Windstärke  $f$  (kn) und Windrichtung  $d$  werden von den Feuerschiffen Elbe 1, Borkumriff und Deutsche Bucht gemittelte Werte verwendet.

Die Koeffizienten lauten:

	auflandig ( $> 200^\circ$ $< 20^\circ$ )			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
Thw	0,0195591	-0,0687576	0,0009310	-0,0008119
Tnw	0,0153094	-0,0794917	0,0006490	-0,0011246
	ablandig ( $> 20^\circ$ $< 200^\circ$ )			
Thw	0,0342976	-0,0845768	0	0
Tnw	0,0353739	-0,0764947	0,008094	0

Die so erhaltenen Werte sind nach Angaben des DHI für CUX und WES gleichermaßen zutreffend.

SIEFERT, LASSEN (1985) bestätigen das im Prinzip. Sie ermitteln

$$\frac{\text{Windstau CUX}}{\text{Windstau WES}} = 1,0 \text{ bis } 1,2$$

mit einer sehr geringen Standardabweichung.

Zur Ermittlung der Windstaukennzahl wurden dort Tiden ab einer Erhöhung von 0,5 m herangezogen. D. h. die Kennziffer bezieht sich zunächst nur auf auflandige Winde. Hier wurden nur die Daten des FS-Elbe 1 verwendet.

Die Windrichtungen wurden nach Sektoren folgendermaßen zusammengefaßt:

Sektoren: 10°–50°, 60°–180°, 190°–220°,  
230°–260°, 270°–360°

Es sollten dabei in den einzelnen Sektoren möglichst ähnliche Stauwerte zusammengefaßt werden. Aus der beigefügten Windstaurose (Abb. 13), die sich aus den Daten des DHI ergibt, ist abzulesen, daß das einigermaßen gelungen ist.

Die Windstärken wurden in folgenden Bereichen nach Bft zusammengefaßt: 4–5, 6–7, ab 8, Windstärken bis 3 wurden nicht berücksichtigt.

Die Verteilung der Windstärken in den einzelnen Bereichen wurde nach ANTFANG (1969) getrennt für östliche und westliche Richtungen gewichtet. Hieraus ergeben sich mittlere Windstauwerte für jeden Sektor und Stärkebereich. Über die prozentuale Verteilung der Sektoren und Stärkebereiche im jeweiligen Monat ergeben sich mittlere monatliche Windstauwerte (Tabellen 4, 5). Mit diesen wurden die Wasserstände von CUX korrigiert.

So ergaben sich windbereinigte Monatsmittel. Aber auch sie haben noch Abweichungen von den zu erwartenden astronomischen Werten. Um abschätzen zu können, ob die Zusammenfassungen die Abweichungen beeinflusst haben, wurden für einzelne Monate die Stauwerte unmittelbar aus den Daten des DHI nachgerechnet. Doch auch sie liefern nur selten befriedigende Ergebnisse. Fast alle so errechneten Windstauwerte liegen über der geschätzten Differenz zwischen den tatsächlichen und den sich aus dem astronomischen Jahresrhythmus ergebenden Werten.

Dennoch ist aus den 5jährigen Monatsmitteln (Abb. 14, 15) erkennbar, daß der Windstau in den Monaten November und April seit 1970 merklich zugenommen hat. Im Februar und Mai ist er geringer geworden. Am unregelmäßigsten ist er im Januar.

Eine mit den bereinigten Wasserstandsdaten durchgeführte Trendrechnung zeigte, daß die sich aus den Jahresmittelwerten mit und ohne Wind ergebenden Trends einander sehr ähnlich sind, aber die Korrelationskoeffizienten aus den Daten ohne Wind höher liegen (Abb. 17). Die Trends der Monatsmittel gleichen sich bis auf die April-Werte den Jahrestrends an. Es ist ferner keine monatstypische Systematik zu erkennen.

Trotz gewisser Schwächen läßt sich somit an den weitgehend windbereinigten Wasserständen zeigen, daß die Veränderungen im Tidegeschehen der Deutschen Bucht und im Elbästuar nicht meteorologisch bedingt sind und daß sich gegenläufige meteorologische Einflüsse auf die Wasserstände in einzelnen Monaten im Endeffekt aufheben.

Tabelle 4

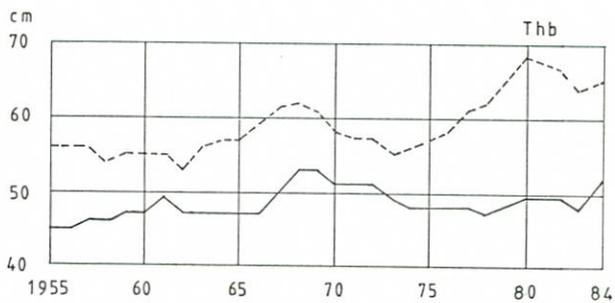
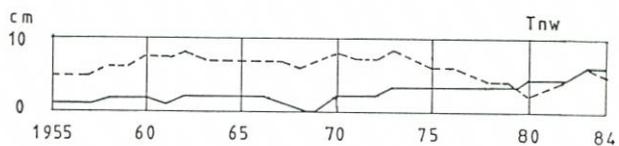
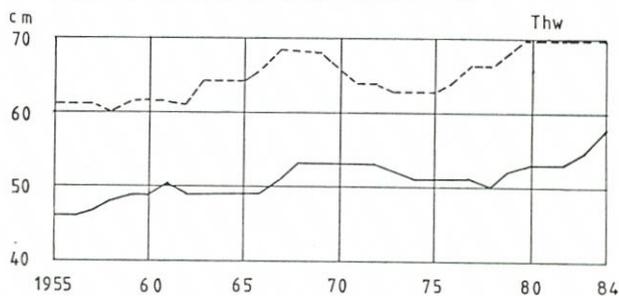
MITTEL DES MONATLICHEN MITTLEREN WINDSTAUS (HW)

JAHR	NOVEM	DEZEM	JANUA	FEBRU	MAERZ	APRIL	MAI	JUNI	JULI	AUGUS	SEPTE	OKTOB	JAHRESM.
1950	1.9	31.1	-1.3	6.2	6.4	9.4	1.1	4.5	6.7	3.0	15.5	7.1	7.6
1951	1.2	4.9	4.2	-5.5	-0.7	3.5	-2.1	1.8	3.9	3.2	5.2	-7.9	1.0
1952	4.2	17.1	8.9	13.7	-8.5	-0.5	6.7	9.1	5.0	12.8	9.3	5.4	6.9
1953	25.3	0.3	4.7	4.7	7.3	-1.2	7.4	-0.8	8.8	9.3	9.2	4.5	6.6
1954	7.6	2.8	10.7	-10.9	-2.4	6.2	2.3	4.2	8.4	6.8	14.6	9.4	4.9
1955	-0.4	20.6	2.7	3.5	3.1	13.3	15.0	2.1	6.4	2.5	6.7	6.6	6.8
1956	6.7	24.2	11.1	-2.3	0.0	11.0	7.9	14.0	12.8	16.1	5.7	13.1	10.0
1957	6.9	7.1	11.4	2.9	-1.6	3.5	3.6	9.3	8.9	14.8	21.8	19.5	9.0
1958	1.2	9.6	5.7	17.6	-7.5	5.1	10.6	1.5	14.6	4.3	2.7	20.0	7.1
1959	-1.6	5.2	21.3	6.7	-12.4	4.4	-0.5	6.6	4.6	10.2	2.7	-2.4	3.7
1960	-13.2	-12.5	3.1	-4.1	-17.7	7.3	2.9	14.0	6.2	10.4	-0.9	-15.4	-1.7
1961	2.0	5.7	-10.4	2.6	25.5	-0.8	16.6	9.4	20.0	13.9	3.9	-4.1	7.0
1962	-1.3	4.6	12.7	18.5	-0.9	5.2	10.1	16.9	9.2	20.2	10.4	10.1	9.6
1963	-8.6	7.4	-5.8	-2.4	-3.5	-6.9	0.9	1.2	4.9	9.9	5.4	16.4	1.6
1964	13.2	-3.5	8.0	4.1	-29.0	-4.4	1.1	8.8	15.9	11.8	12.8	-4.5	2.9
1965	22.8	7.4	5.2	19.3	-3.1	1.1	1.6	8.3	18.2	8.6	1.0	7.9	8.2
1966	-1.4	18.2	-11.3	-4.1	28.4	-15.9	6.8	7.2	15.6	7.5	19.5	-2.8	5.6
1967	1.8	10.6	11.9	8.8	31.9	15.6	-0.4	9.5	3.7	6.5	3.4	20.3	10.3
1968	3.2	26.4	20.2	-3.5	18.8	6.8	-1.1	4.3	8.5	4.6	-0.7	15.8	8.6
1969	-9.5	-6.2	-4.6	-10.7	-22.0	8.9	-2.6	4.7	6.7	4.6	9.8	10.6	-0.9
1970	26.2	-13.8	-15.5	0.1	13.4	13.0	1.6	4.7	17.3	2.3	14.1	23.3	7.2
1971	15.3	9.9	-4.5	11.9	5.0	1.5	-6.1	6.1	12.4	2.8	9.5	15.3	6.6
1972	20.8	14.9	-26.0	-11.2	-1.9	11.1	2.7	5.9	2.9	11.3	6.5	6.4	3.6
1973	27.4	-4.6	0.1	23.5	8.7	15.4	1.1	2.9	11.4	3.4	4.1	4.8	8.2
1974	35.3	23.6	-6.5	0.0	-15.3	-1.9	0.4	8.6	21.1	1.2	2.4	10.5	6.6
1975	8.9	32.8	10.2	-5.6	-4.8	5.9	4.8	5.3	11.0	-1.6	4.2	4.6	6.3
1976	-3.0	21.7	24.5	-12.3	-2.3	9.2	-1.1	5.7	8.7	1.4	-1.8	-11.5	3.2
1977	4.0	3.3	-3.4	-2.7	-0.1	18.2	-3.6	5.3	15.3	-6.4	12.0	-0.8	3.4
1978	22.9	-3.6	4.7	-10.8	9.1	-5.5	-3.9	11.0	10.9	15.8	31.1	16.1	8.2
1979	14.7	-19.7	-1.9	-8.0	-0.9	1.1	0.1	3.2	18.3	5.5	14.3	-18.7	0.7
1980	17.3	6.0	-7.5	-6.6	-7.8	13.0	-3.1	7.7	6.2	17.3	11.1	14.9	5.7
1981	10.2	23.4	21.3	5.0	1.6	7.7	0.3	18.0	9.6	12.4	-2.7	17.8	10.4
1982	31.3	3.0	8.5	-14.0	11.1	21.3	7.5	5.8	5.9	10.2	6.7	-4.4	7.7
1983	7.7	15.1	45.5	2.8	6.0	1.4	0.8	10.5	9.4	12.1	12.6	25.6	12.5

Tabelle 5  
 =====  
 MITTEL DES MONATLICHEN MITTLEREN WINDSTAUS (NW)  
 =====

JAHR	NOVEM	DEZEM	JANUUA	FERRU	MAERZ	APRIL	MAI	JUNI	JULI	AUGUS	SEPTE	OKTOB	JAHRESM.
1950	5.2	38.5	1.1	10.2	7.3	11.7	2.0	5.4	8.6	4.0	19.8	13.2	10.6
1951	4.6	9.0	6.5	-3.2	2.4	5.2	-1.6	2.3	4.7	4.5	7.0	-6.3	2.9
1952	8.2	23.5	13.1	15.6	-6.7	-0.3	7.4	10.2	5.9	18.6	11.8	8.6	9.6
1953	39.7	1.3	6.1	6.4	8.9	-0.5	7.9	-0.5	11.2	10.9	12.1	5.7	9.1
1954	12.8	4.6	13.2	-8.9	-1.8	6.7	2.7	5.3	9.7	8.9	18.4	11.7	6.9
1955	2.7	25.0	7.0	5.2	4.6	14.6	19.3	2.9	6.7	3.0	9.0	8.9	9.1
1956	8.6	30.6	18.0	-1.6	2.3	12.2	8.8	15.6	15.5	21.3	9.6	17.6	13.2
1957	12.1	14.0	17.2	5.9	2.0	4.5	5.6	10.5	10.5	19.6	26.8	25.7	12.9
1958	6.0	14.4	10.4	21.0	-3.8	6.7	12.9	3.0	18.3	7.6	6.6	23.7	10.6
1959	0.2	9.3	27.7	9.5	-9.4	6.7	1.3	8.9	6.4	11.1	3.7	3.0	6.5
1960	-8.7	-4.8	5.9	0.9	-14.7	10.9	4.1	15.6	7.7	11.5	1.0	-12.5	1.4
1961	6.8	12.5	-5.9	5.4	29.2	0.3	17.7	10.8	22.3	17.1	6.2	-2.4	10.0
1962	2.9	9.3	19.5	23.6	0.3	9.6	12.2	18.2	10.6	24.4	13.8	14.3	13.2
1963	-3.8	12.1	-2.3	-2.7	0.0	-5.2	5.6	3.3	5.8	13.4	8.3	21.2	4.6
1964	21.9	-1.7	11.8	8.0	-23.4	-1.2	3.2	9.4	18.9	13.5	15.5	-0.9	6.3
1965	27.4	12.7	10.7	21.1	-1.7	2.7	3.4	10.5	21.4	10.9	4.7	11.6	11.3
1966	5.3	24.5	-7.5	2.5	33.0	-12.4	8.7	8.9	18.4	11.0	22.9	-0.9	9.5
1967	5.0	16.5	14.7	15.0	39.5	17.4	1.0	11.2	4.7	9.0	7.5	31.9	14.5
1968	9.6	31.4	25.3	-1.0	25.4	9.6	0.8	6.1	9.5	6.2	3.7	20.6	12.2
1969	-7.0	-3.3	-0.7	-7.8	-15.9	11.2	-0.3	5.7	7.8	6.1	13.2	12.8	1.8
1970	36.0	-10.1	-11.1	3.1	16.2	15.4	3.2	5.5	20.0	4.0	18.0	26.7	10.6
1971	23.0	13.0	-0.8	15.1	7.2	3.2	-4.9	6.7	13.3	6.2	11.1	21.8	9.6
1972	26.9	20.5	-21.3	-8.9	1.7	13.5	5.3	7.7	3.8	13.0	7.1	7.9	6.4
1973	37.2	2.2	2.6	30.7	9.9	19.0	3.5	4.2	10.6	5.1	7.4	7.2	11.6
1974	41.8	29.2	-3.2	3.7	-12.0	-0.4	1.3	9.9	24.1	2.5	9.2	12.4	9.9
1975	16.1	40.9	17.7	-3.8	-4.0	8.2	6.3	6.1	12.9	-0.2	8.8	6.6	9.6
1976	0.6	28.1	30.4	-8.7	1.5	10.9	0.5	6.6	9.6	2.6	0.7	-8.7	6.2
1977	8.7	7.7	0.4	1.3	2.6	22.5	-2.3	7.2	16.8	-4.7	15.3	2.7	6.5
1978	31.0	1.9	9.2	-8.5	13.3	-3.1	-3.3	12.9	12.6	17.6	35.1	19.6	11.5
1979	21.7	-14.0	1.3	-4.0	3.6	2.6	1.2	4.4	20.0	7.0	18.2	-13.7	4.0
1980	23.7	12.6	-4.8	-4.0	-4.7	14.0	-1.8	9.0	8.0	19.8	13.7	21.5	8.9
1981	17.5	33.8	25.5	8.6	5.5	9.8	1.9	19.9	11.4	13.4	-0.2	24.0	14.3
1982	38.2	5.7	11.5	-10.8	15.4	23.0	9.8	7.4	6.6	14.1	9.8	-1.4	10.8
1983	17.6	23.2	54.0	5.2	8.2	2.8	2.1	12.3	10.5	13.3	19.9	34.9	17.0

DIFFERENZEN ZU HEL (5-JAHRESMITTEL)



CUX - - - - -

WES ————

PNP: RS NN-4.90 m

AW NN-4.96 m

Abb. 1:

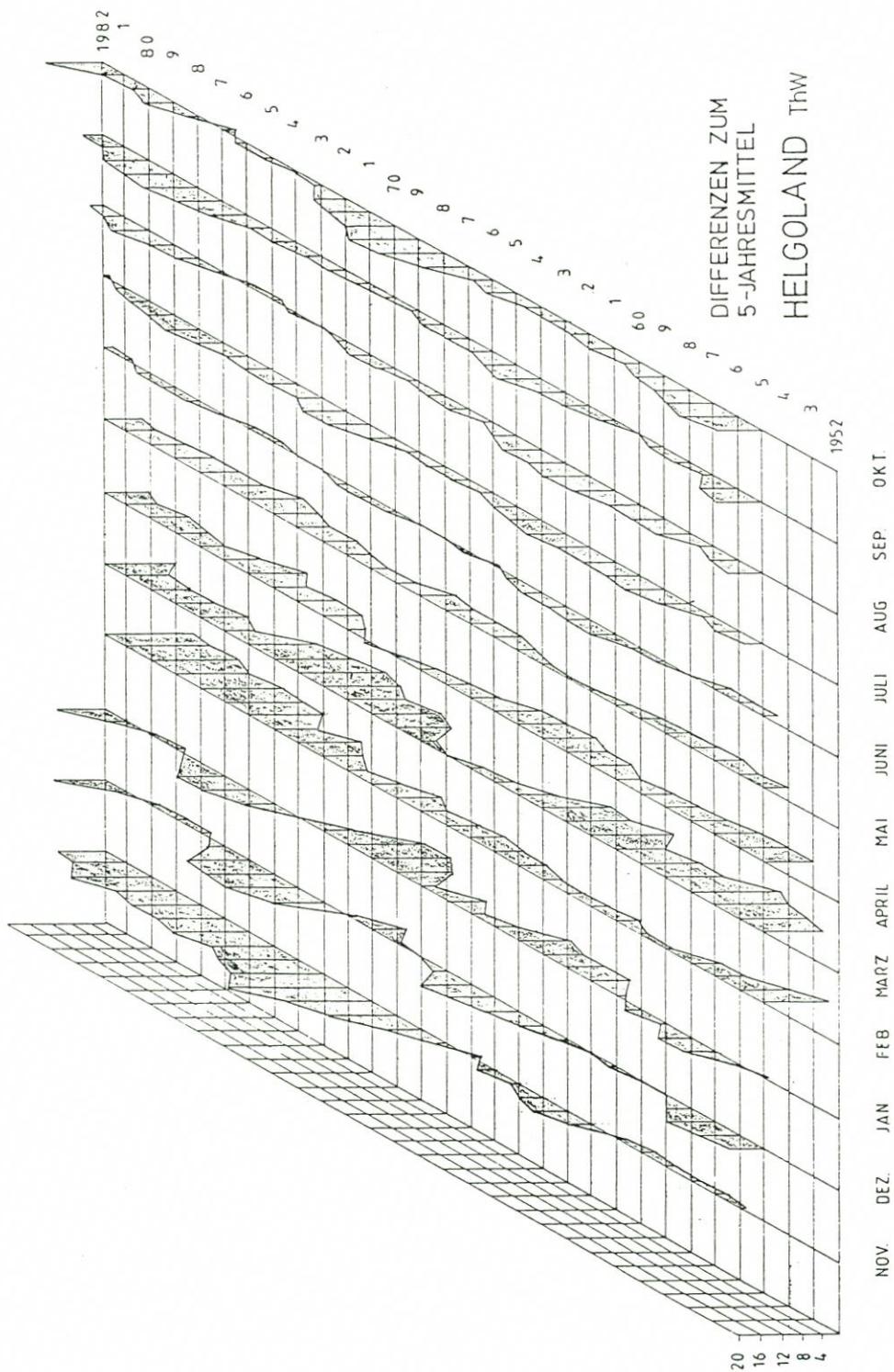


Abb. 2:

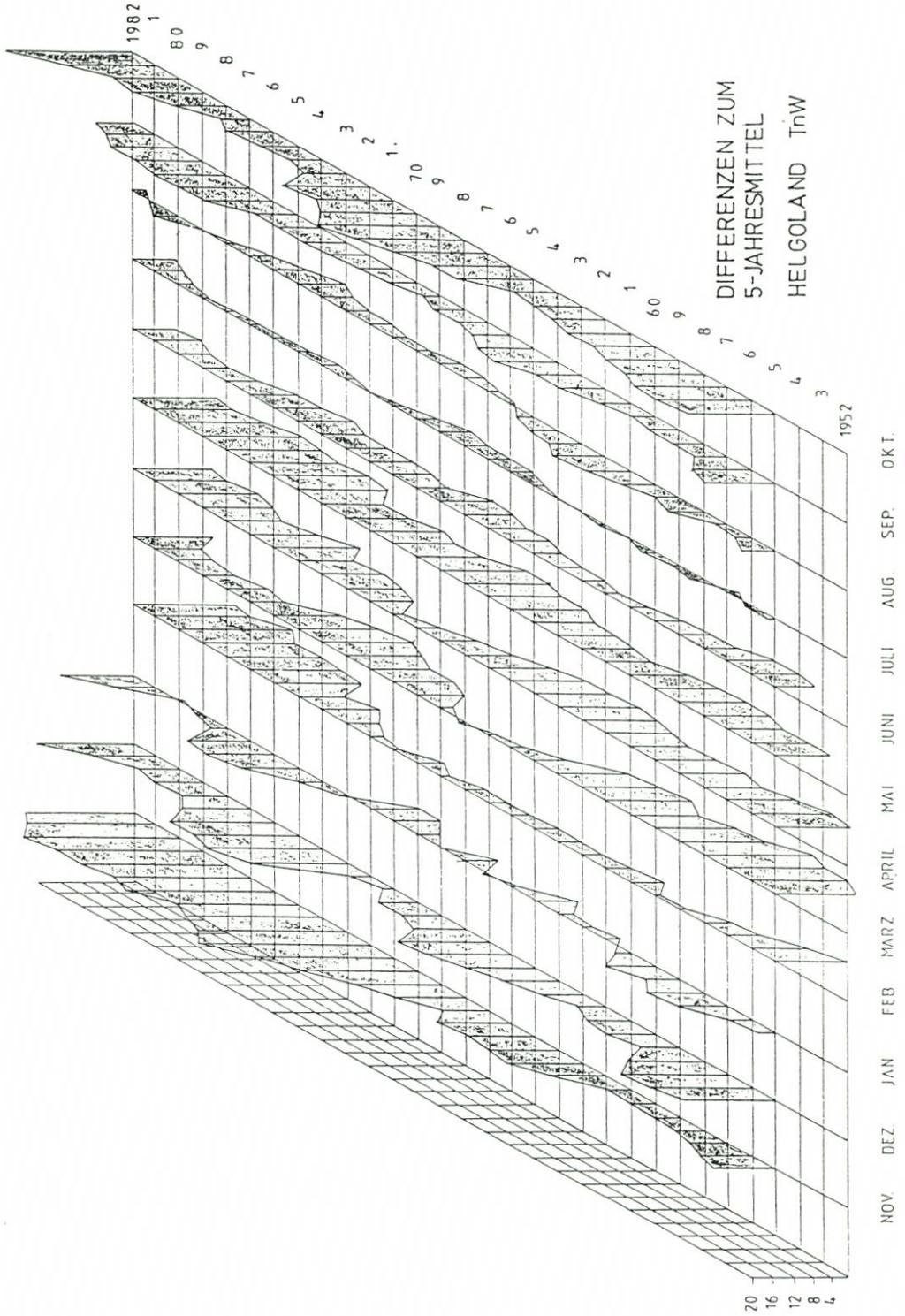


Abb. 3:

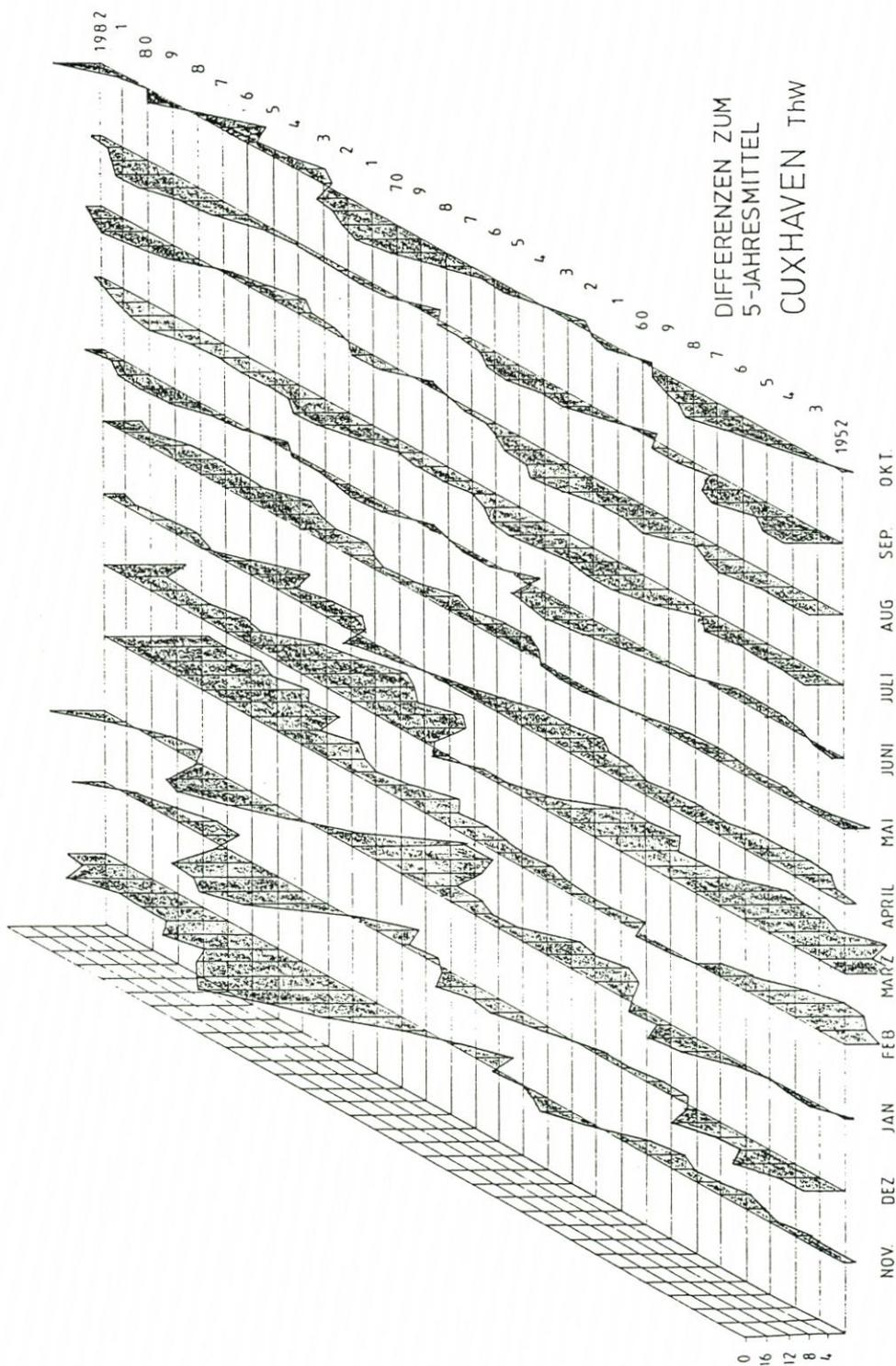


Abb. 4:

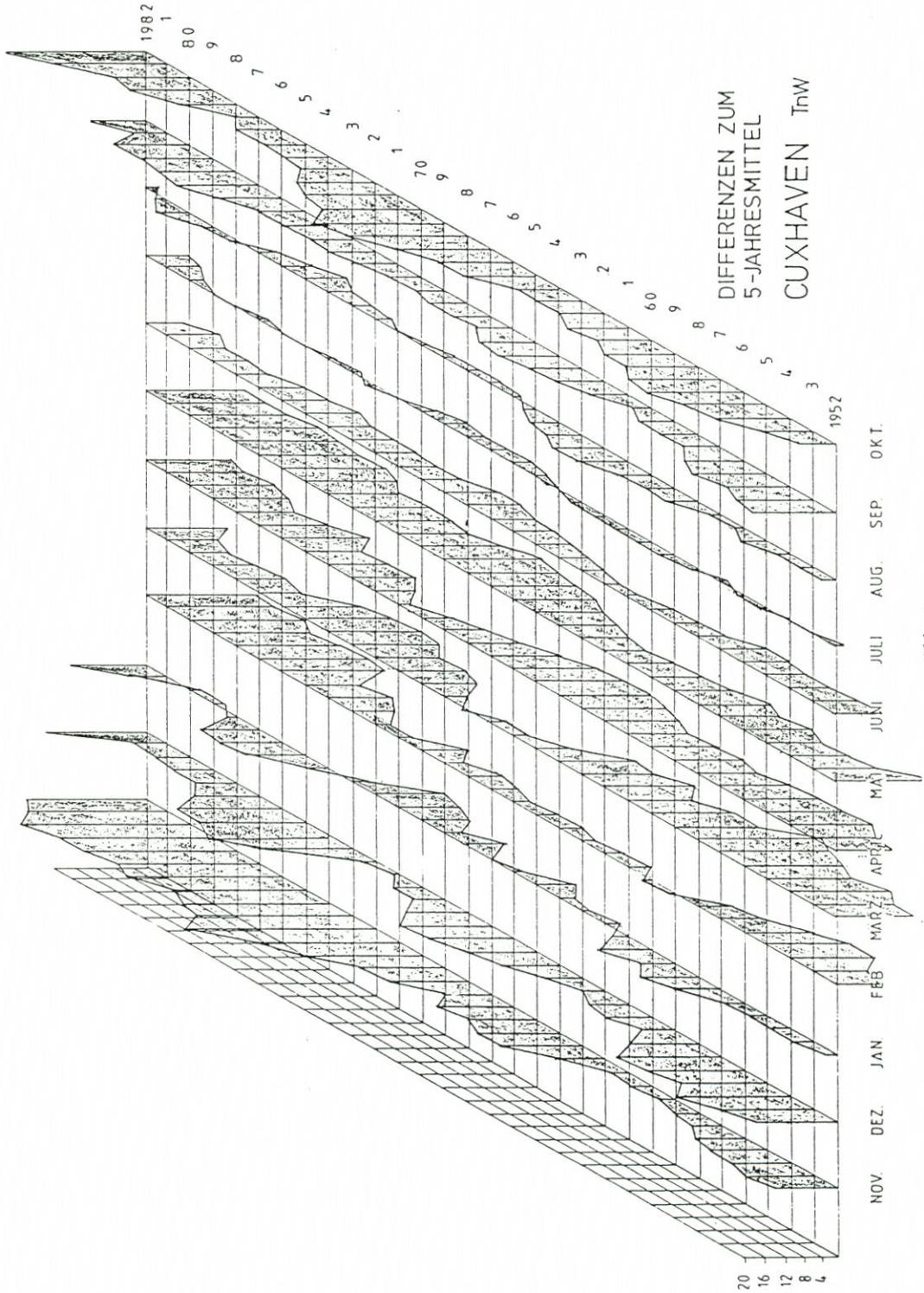


Abb. 5:

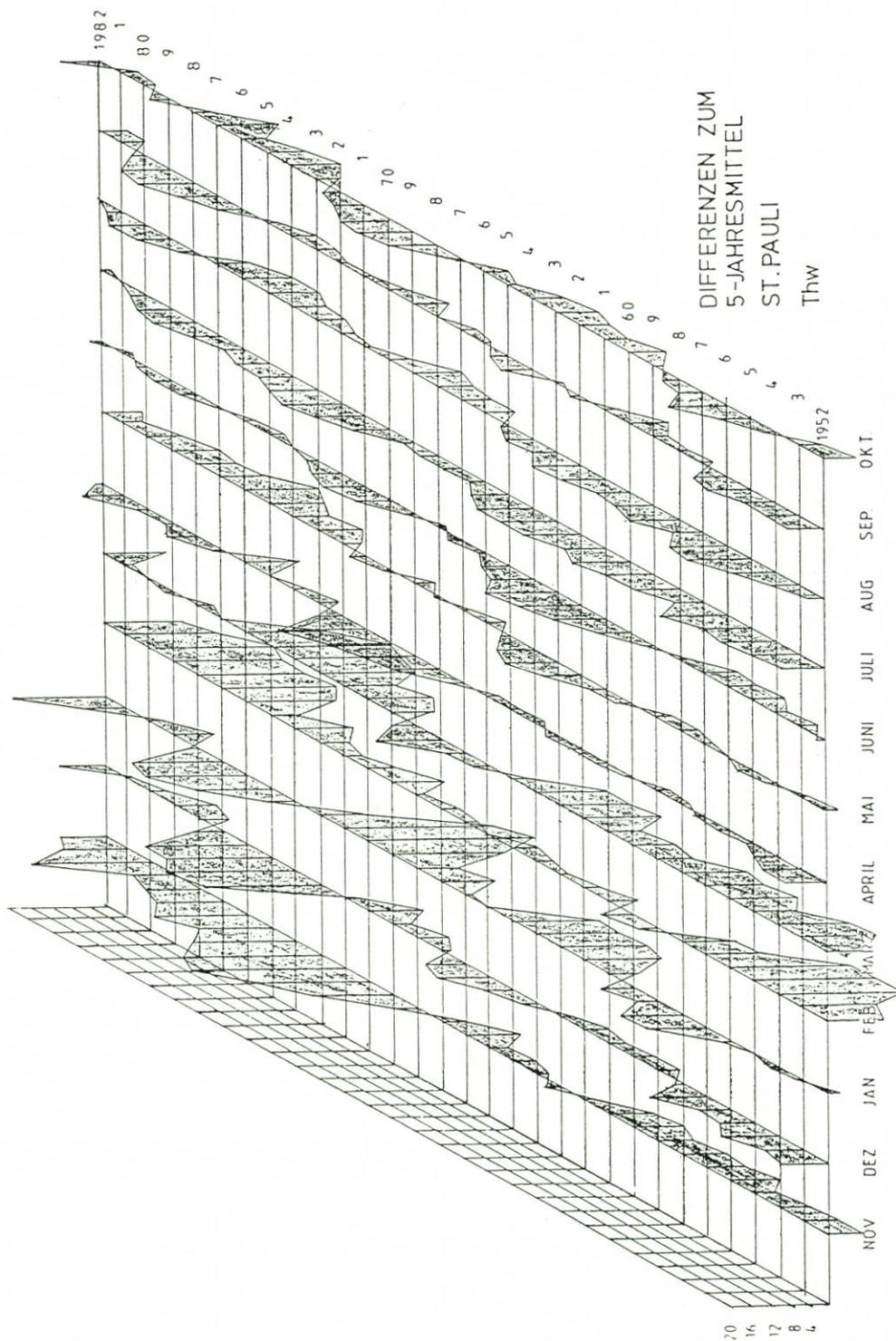


Abb. 6:

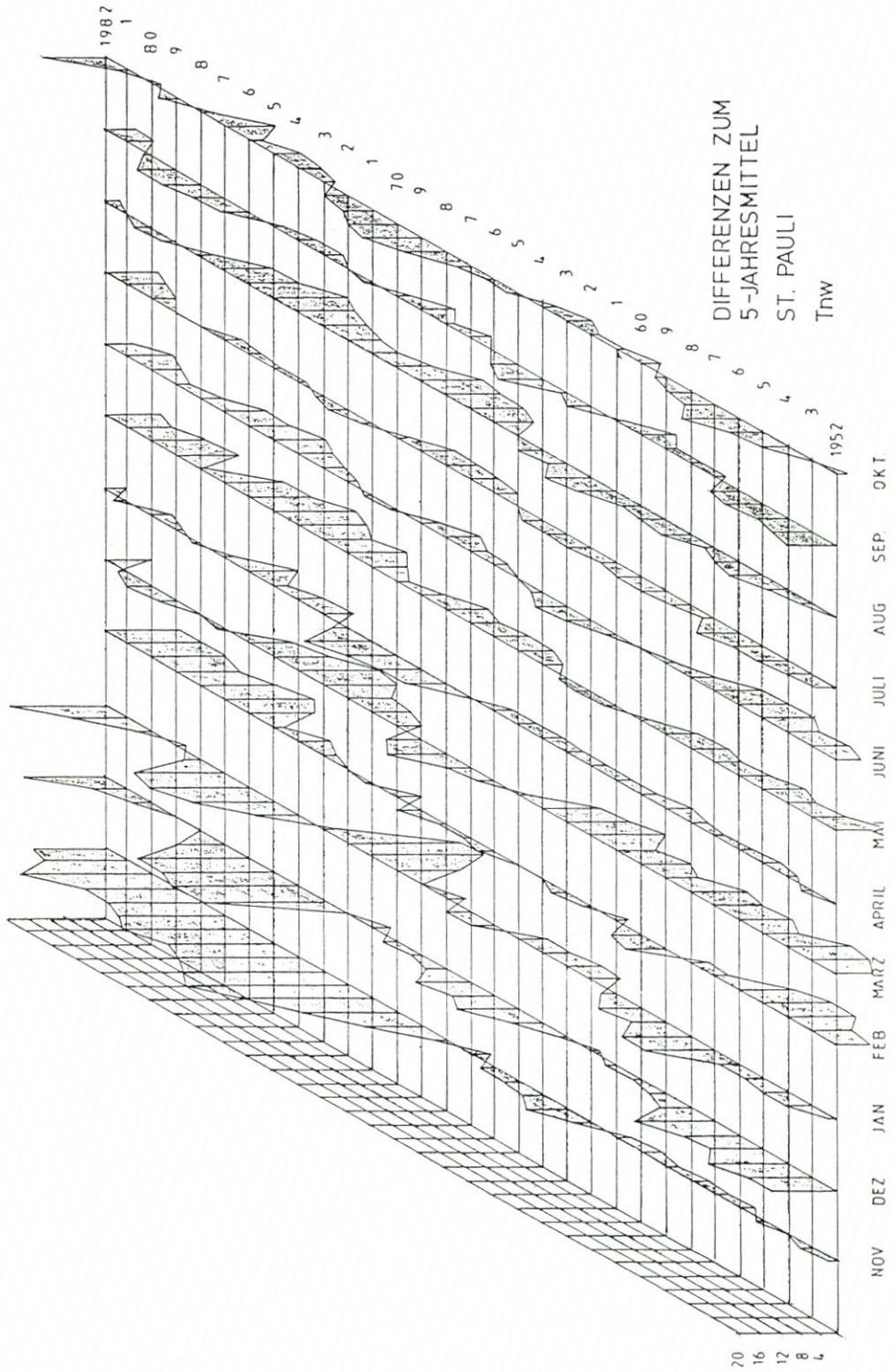
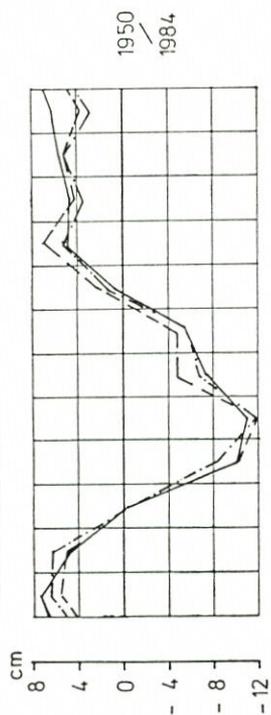


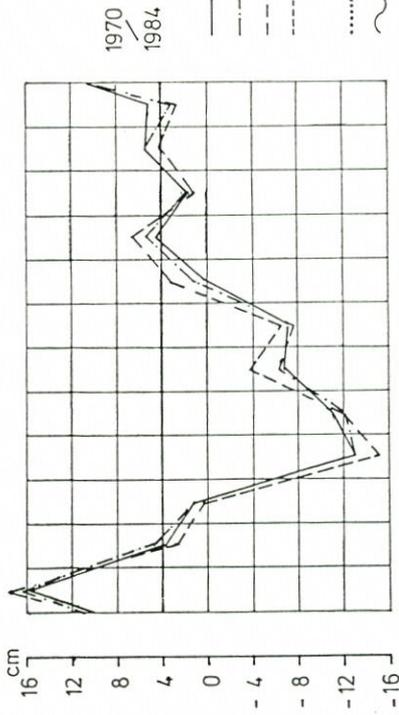
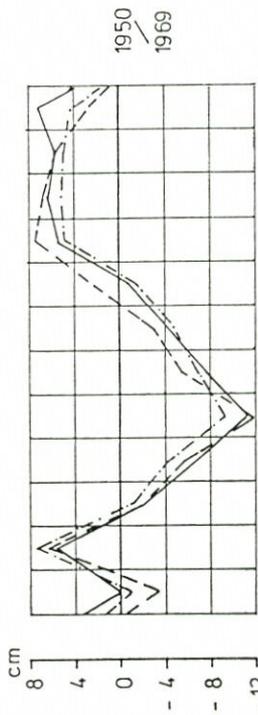
Abb. 7:

ABWEICHUNG VOM JAHRESMITTEL

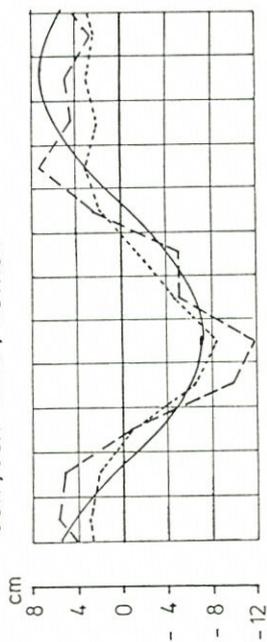
TIDEHOCHWASSER



NOV DEZ JAN FEB MÄRZ APR MAI JUN JUL AUG SEP OKT

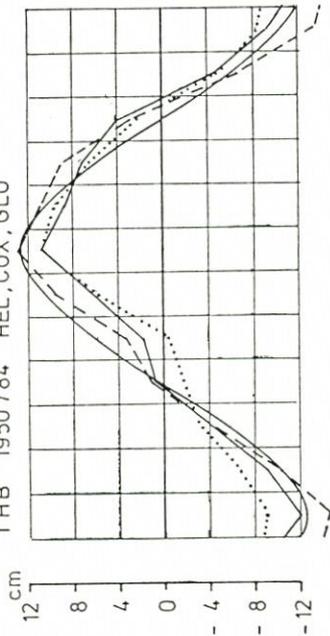


CUX , CUX - WIND , ASTRON

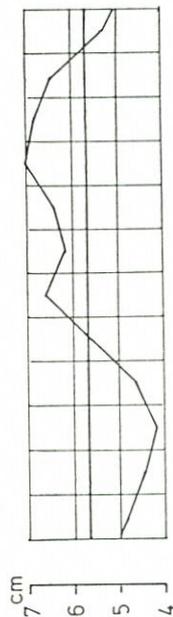


NOV DEZ JAN FEB MÄRZ APR MAI JUN JUL AUG SEP OKT

THB 1950 / 84 HEL , CUX , GLU



MTMW CUX NACH [10]



- HEL
- - - WES
- - - CUX
- - - CUX
- ..... WIND
- ..... GLU
- ..... ASTRON

Abb. 8:

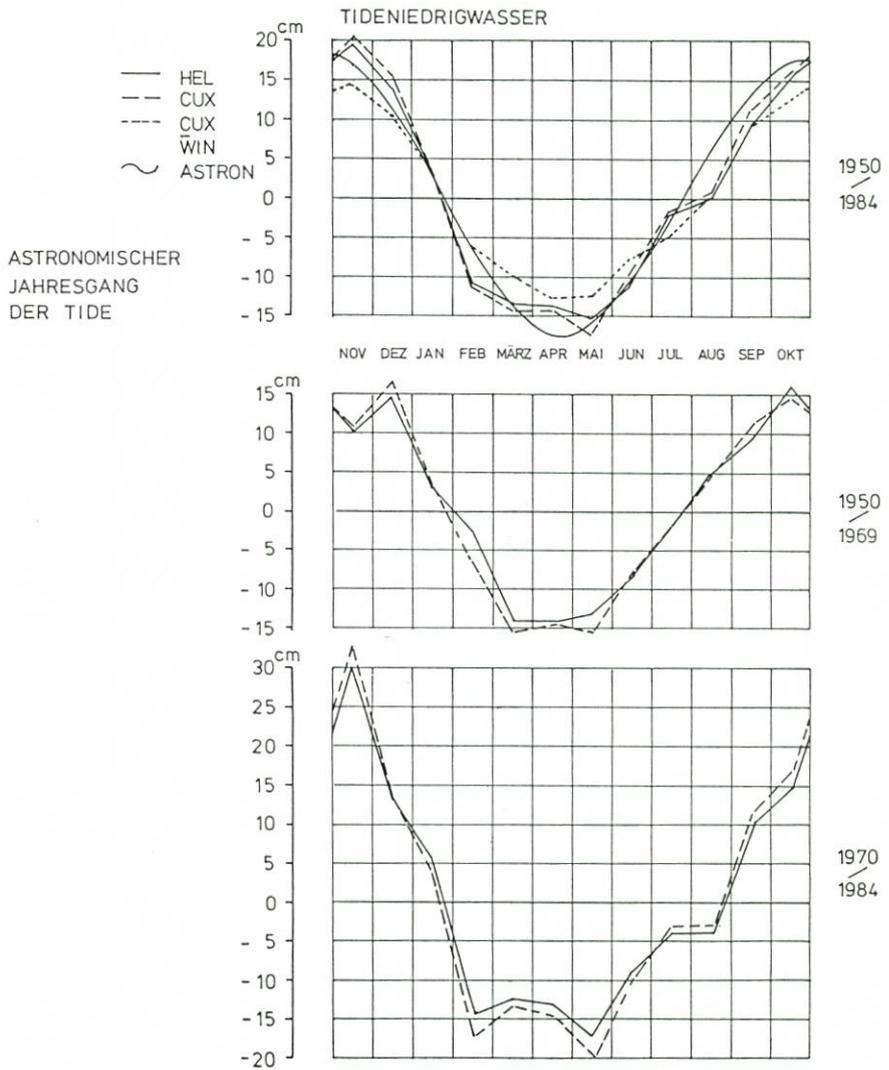
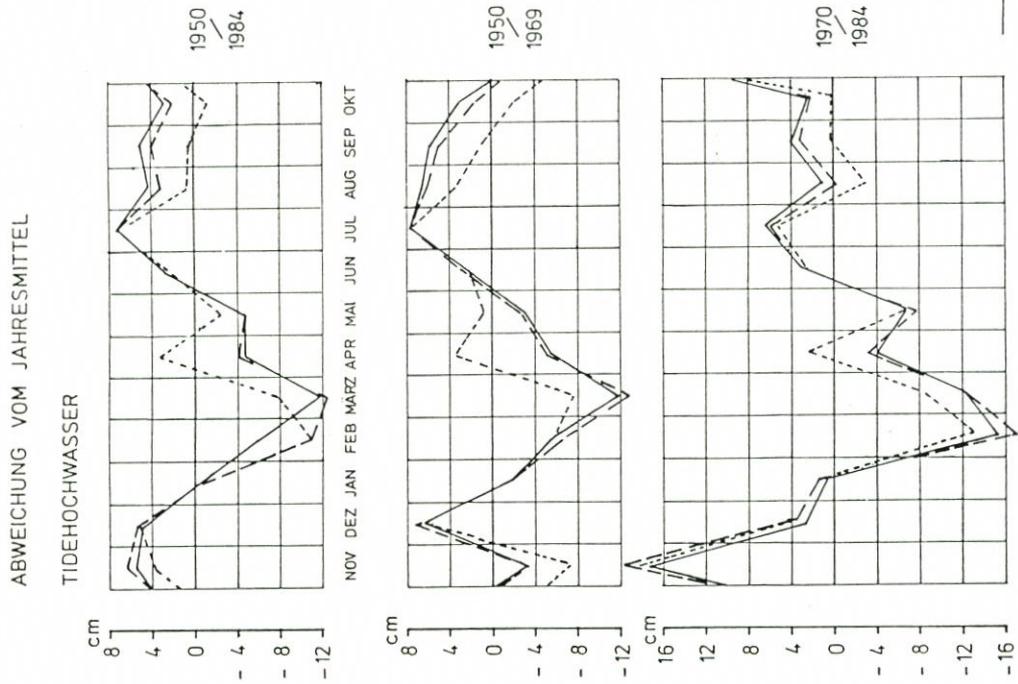
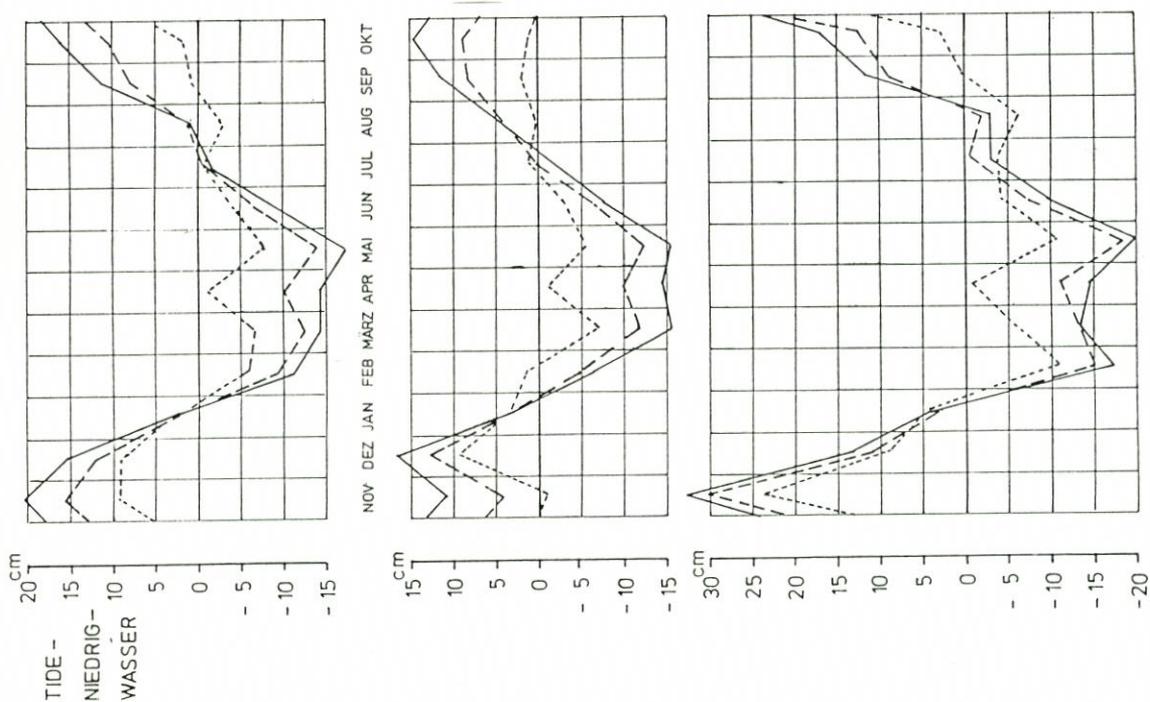


Abb. 9:



— CUX  
- - - GLU  
... HAM

Abb. 10:

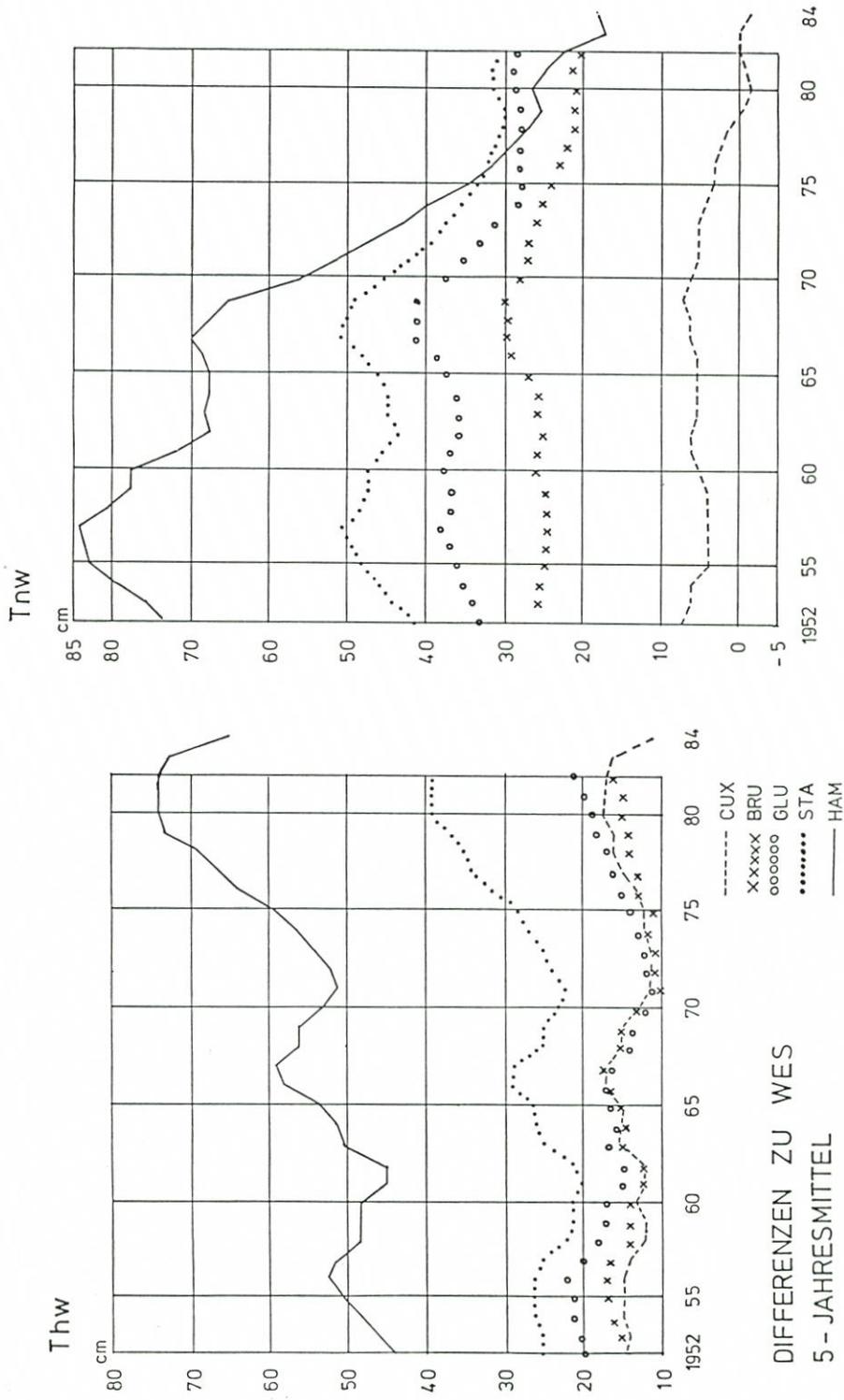


Abb. 11:

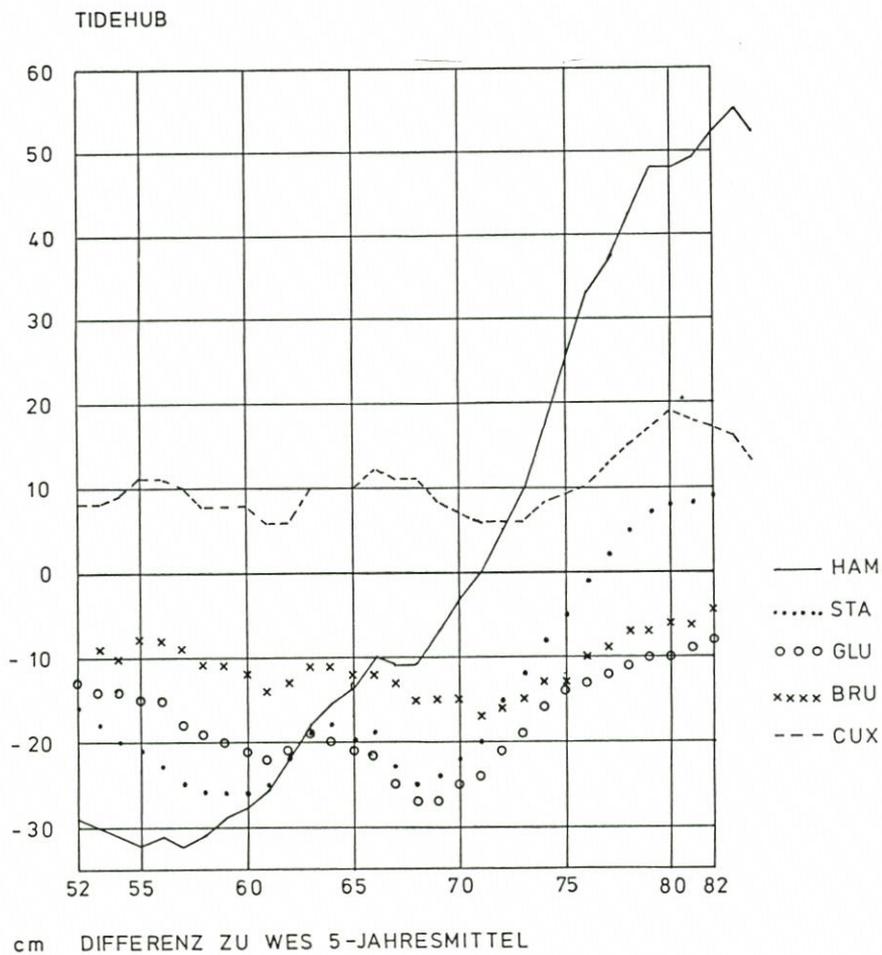


Abb. 12:

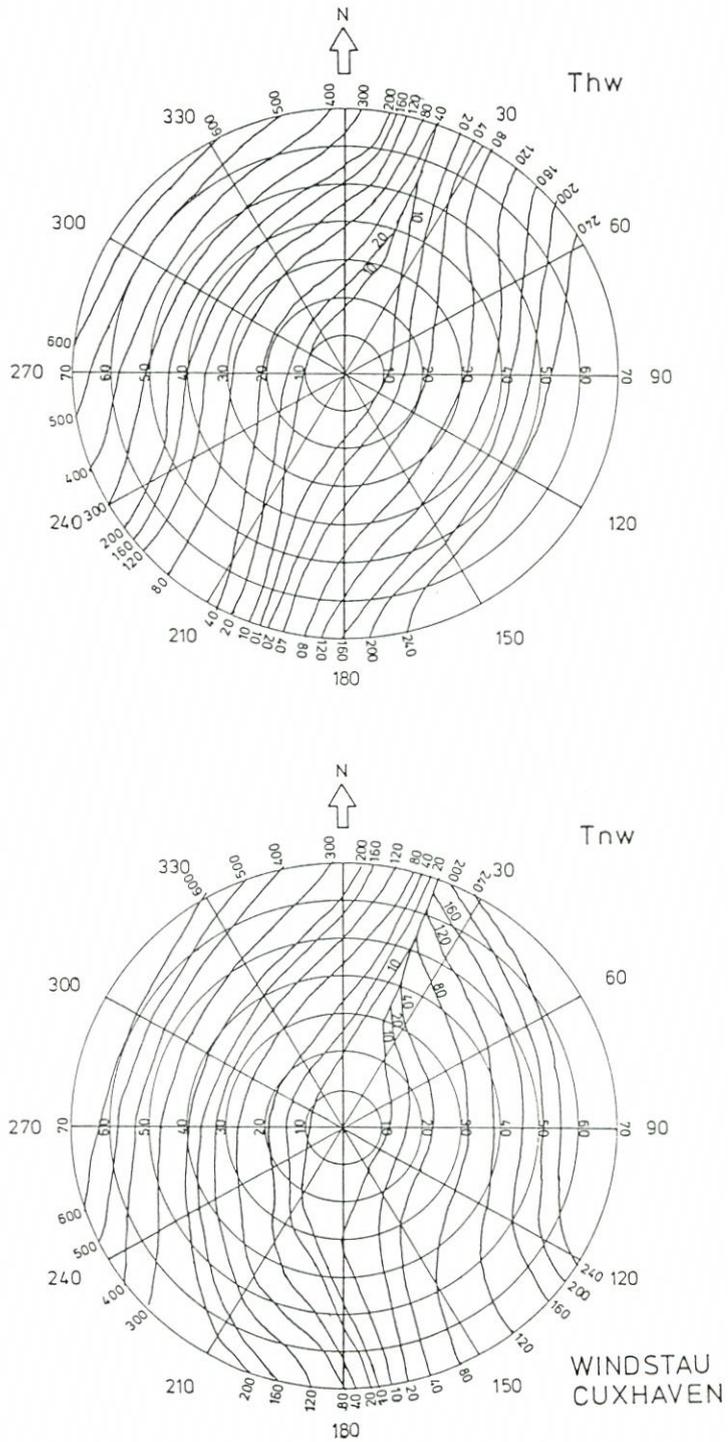


Abb. 13:

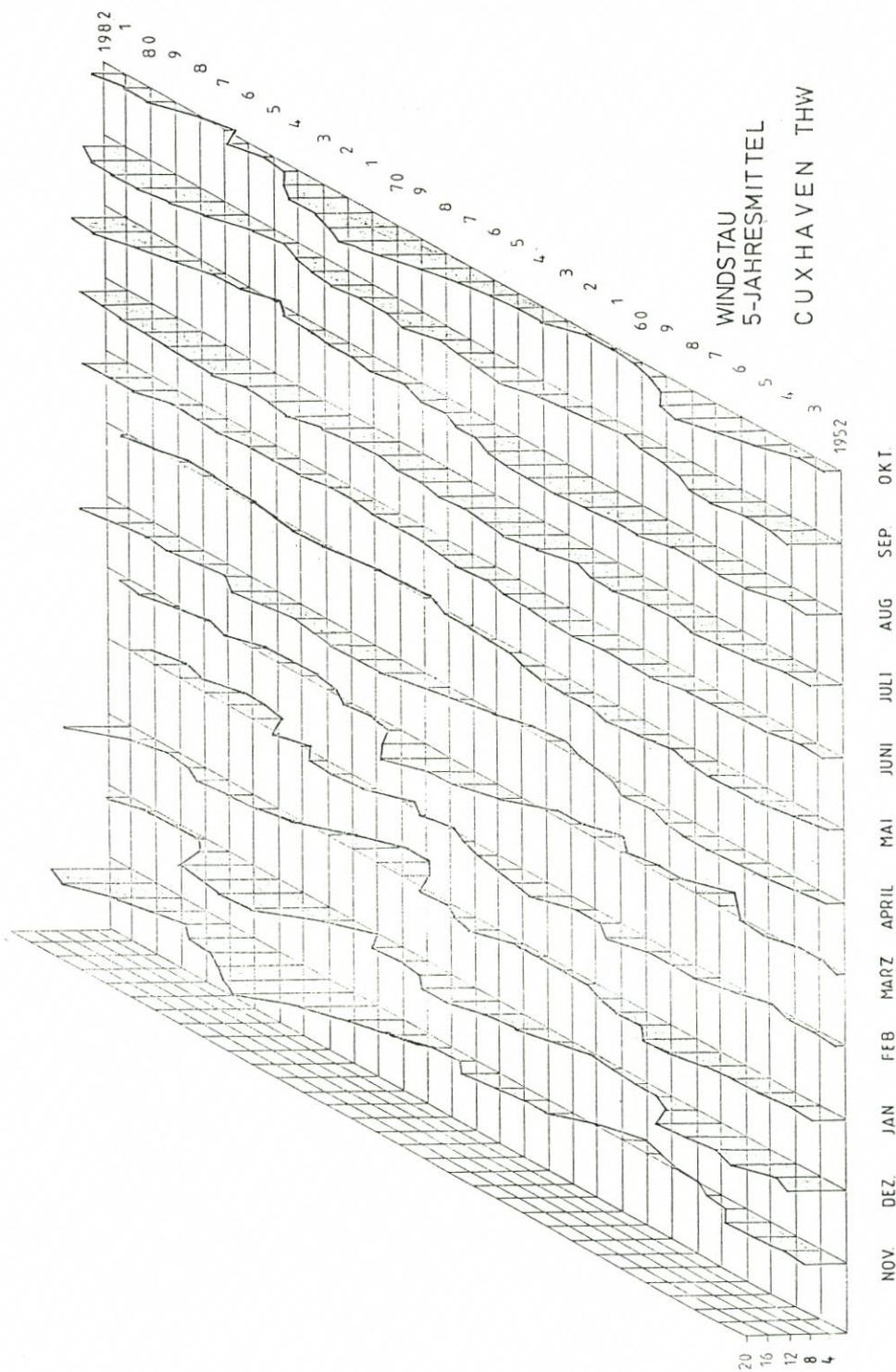


Abb. 14:

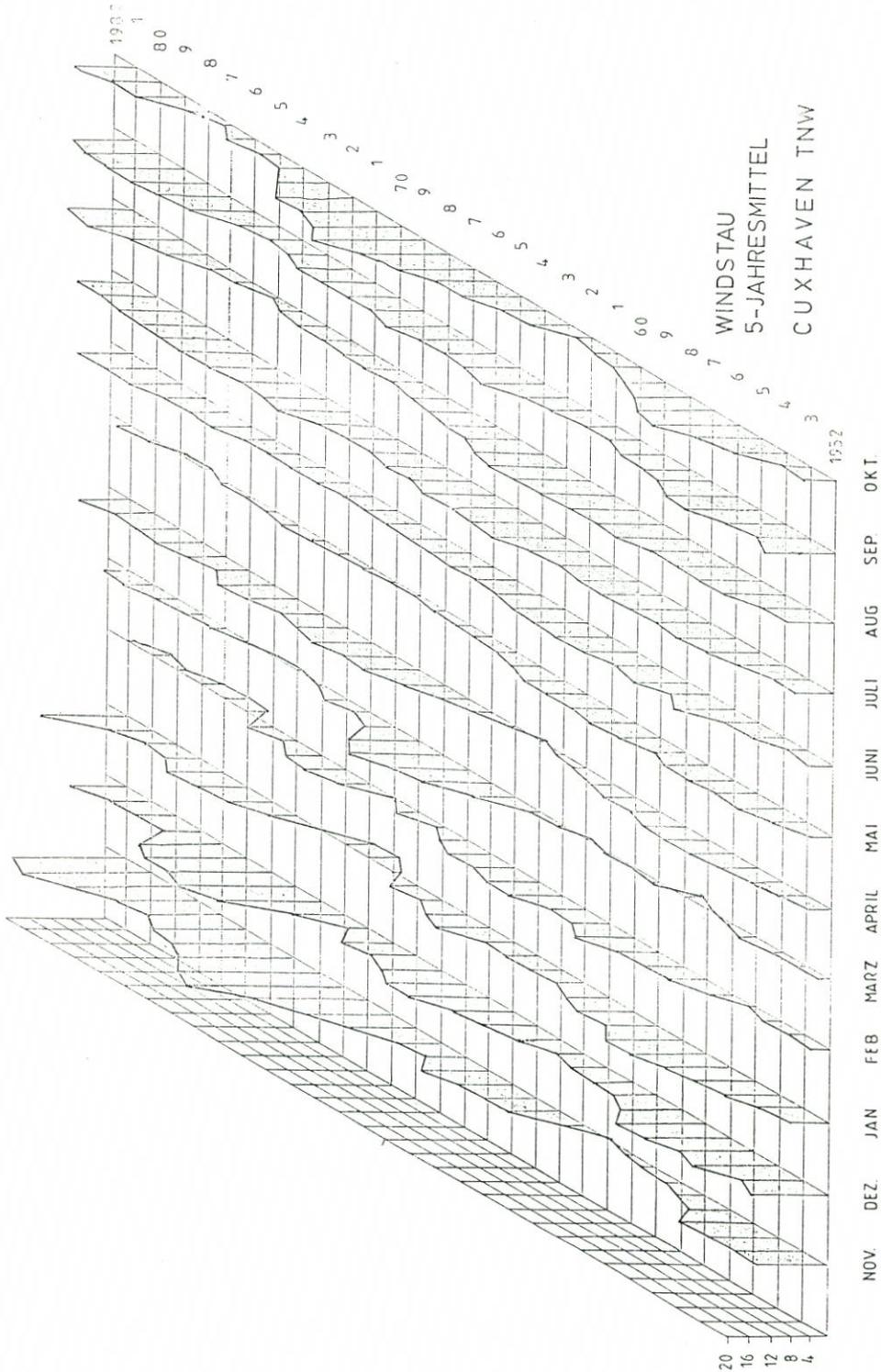


Abb. 15:

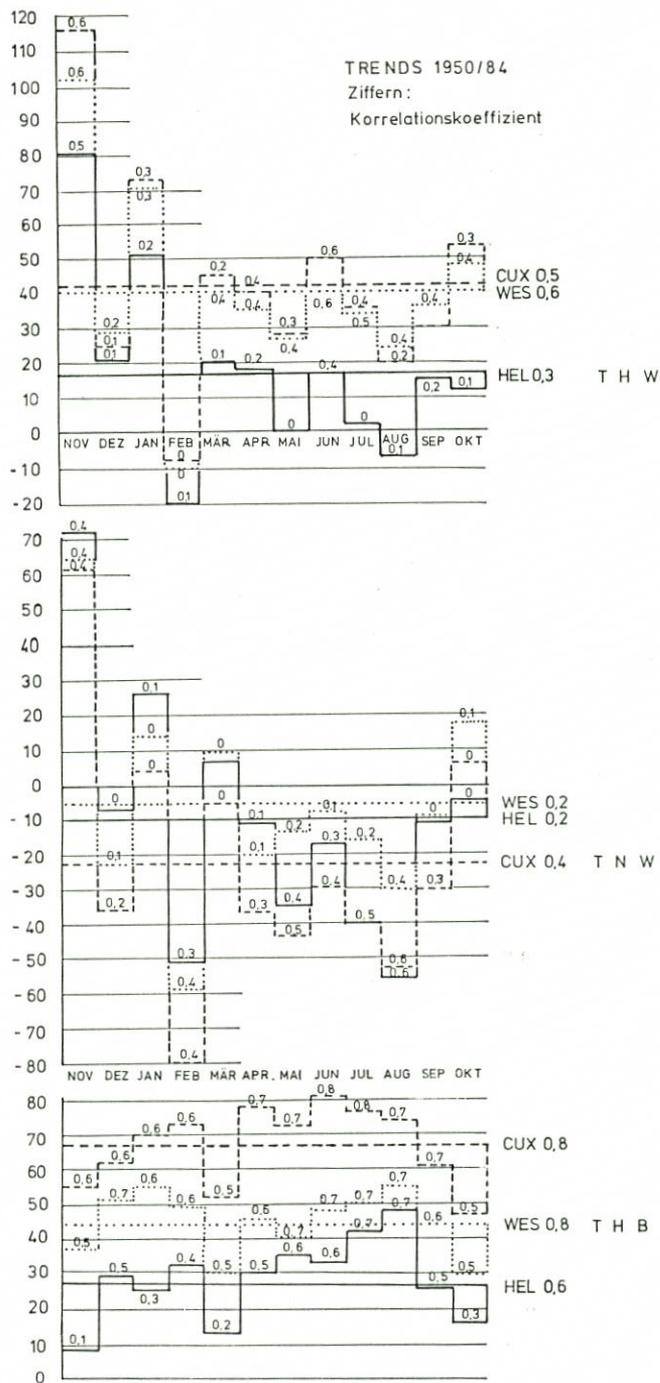


Abb. 16:

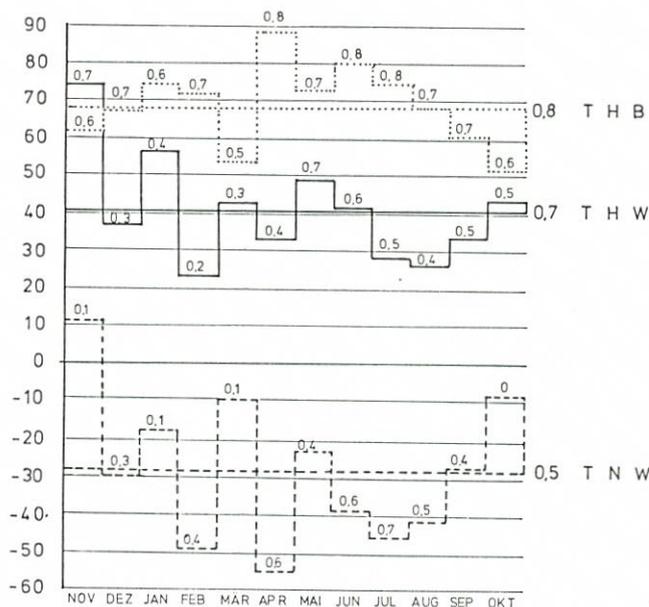


Abb. 17:

## 7. Schriftenverzeichnis

- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1949, 1950, 1951, 1952 Teil IV.  
 Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen, Beobachtungen von Deutschen Feuerschiffen 1953-1984.
- ANTFANG, H.: Wind- und Nebelverhältnisse im Elbmündungsgebiet. *Hamburger Küstenforschung*, H. 9, 1969.
- DIETZE, W.: Die Veränderungen der Wasserstände in den großen deutschen Tideflüssen seit 100 Jahren. *D. Gew. Mitt.*, H. 1, 1983.
- DIETRICH, G.: Ozeanographisch-meteorologische Einflüsse auf Wasserstandsänderungen des Meeres am Beispiel der Pegelbeobachtungen von Esbjerg. *Die Küste*, Jg. 2, H. 2, 1953.
- FÜHRBÖTER, A. u. JENSEN, J.: Säkularänderungen der mittleren Tidewasserstände in der Deutschen Bucht. *Die Küste*, H. 42, 1985.
- HENSEN: Stromregelungen, Hafengebäuden, Sturmfluten in der Elbe und ihr Einfluß auf den Tideablauf. *Festschrift 30. Geographentag Hamburg*, Verlag F. Hirt, Kiel, 1955.
- JENSEN, J.: Änderungen der mittleren Wasserstände an der Nordseeküste. *Mitt. des Leichtweiß-Inst.*, H. 83, 1984.
- LIESE, R. u. LUCK, G.: Verfahren zum Nachweis von Veränderungen der Tidehochwasserstände in der Deutschen Bucht. *D. Gew. Mitt.* H. 5, 1978.
- LIETZ, U.: Zum Nullpunkt der Pegel Roter Sand und Alte Weser. *D. Gew. Mitt.* H. 2, 1986.
- LOHRBERG, W.: Die Säkularvariation an einigen Pegeln zwischen Harlingen und Esbjerg sowie die Bedeutung 19jähriger übergreifender Mittel für deren Bestimmung. *Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch*, Nr. 43, 1983.
- LOHRBERG, W. u. ROHDE, H.: Der Einfluß des Oberwasseres in Tideflüssen auf den Tidemittelwasserstand in ihrem Mündungsgebiet. *D. Gew. Mitt.*, H. 1, 1973.
- RIJKSWATERSTAAT: Grenspeilen 1981.0 Bepaling van nieuwe grenspeilen voor de kuststationen. 1984.
- ROHDE, H.: Eine Studie über die Elbe als Schifffahrtsstraße. *Mitt. des Franzius-Inst. für Grund- und Wasserbau der T. U. Hannover*, H. 3, 1971.
- ROHDE, H.: Zur Geschichte des Pegels Helgoland. *D. Gew. Mitt.*, H. 5, 1982.

- SIEFERT, W.: Vergleiche der Tidewasserstände Alte Weser (Roter Sand) und Scharhörnriff. D. Gew. Mitt., H. 3, 1973.
- SIEFERT, W.: Bemerkenswerte Veränderungen der Wasserstände in den deutschen Tideflüssen. Die Küste, H. 37, 1982.
- SIEFERT, W. u. LASSEN, H.: Gesamtdarstellung der Wasserstandsverhältnisse im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht nach neuen Pegelauswertungen. Die Küste, H. 42, 1985.
- SIEFERT, W. u. LASSEN, H.: Zur Windstautentwicklung im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht. Wasser und Boden, H. 1, 1986.
- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest: Zur Vergleichbarkeit der Nordseepegel „Roter Sand“ mit „L.T. Alte Weser“. Februar 1986, unveröffentlicht.
- Autorenkollektiv (U. SCHARNOW): Grundlagen der Ozeanologie. Berlin, 1978.