

1-1

Kuratorium für Forschung
im Küsteningenieurwesen
Hindenburgufer 247
24106 Kiel

7. AUG. 1998 170 2. DEZ. 1998

BUNDESMINISTERIUM
FÜR
BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE
-Meerestechnik-

ZUM MITTELFRISTIGEN
WASSERSTANDS- UND SEEGANGSKLIMA
VOR NORDERNEY

von

Hanz Dieter Niemeyer

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE
-Forschungsstelle Küste-

Schlußbericht KFKI - FV MTK 545A - TP Hydrographie/ Teil I, Dezember 1995

No 32862 lit

Zum mittelfristigen Wasserstands- und Seegangsklima vor Norderney

Hanz Dieter Niemeyer

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	2
2. Repräsentanz der Daten	3
3. Mittelfristiges Seegangsklima	6
4. Vergleich des Seegangsklimas für zwei Auffüllinterwalle	11
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	15
6. Literatur	15
7. Anlagen	17

1. EINLEITUNG

Im Rahmen der KFKI-Forschungsvorhaben „Wechselwirkungen von Küstenschutzbauwerken und mariner Umwelt“ (MTK 0385) und „Vorstrand- und Strandauffüllungen im Bereich von Buhnen- und Deckwerkssystemen“ (MTK 0545) sowie dem vom BMBF (MTK 0563) und der EU (MAS2-CT93-0049(DG XII-D)) geförderten Vorhaben „NOUR-TEC“ (Innovative Nourishment Technologies) sind am Nordweststrand von Norderney seit Juli 1988 Naturmessungen von Seegang und seegangsinduzierten Strömungen in der Brandungszone vorgenommen worden. Die Meßgeräte mußten zwar während der in diesem Zeitraum erfolgten drei Auffüllungen und bei Eisgang in Winterperioden wiederholt abgebaut werden, um Beschädigungen zu vermeiden. Weiterhin sind auch technisch bedingte Ausfälle aufgetreten; es liegen dennoch Meßreihen mit einer Dauer vor, die für Brandungszonen ungewöhnlich ist.

Aus diesem Grund soll hier versucht werden, diesen Aspekt der Messungen zu nutzen. Die Gesamtheit der Messungen ist zwar bereits in Form repräsentativer Daten in fortlaufenden Dokumentationen aufbereitet worden [BRANDT et al. 1994; FSK 1991, 1994a, 1994b], um interessierten Nutzern einen Überblick gewähren zu können. Hier soll aber darüber hinausgehend der Versuch einer Deutung vorgenommen werden. Es werden die Seegangsdaten der Station M_1 genutzt, die am Nordweststrand von Norderney im Übergangsbereich vom Vorstrand zum nassen Strand liegt (Abb. 1). Die an dieser Station ausgeführten Dauermessungen werden hinsichtlich ihrer Aussagekraft für das mittelfristige Seegangsklima am Strand von Norderney untersucht. Die hydrodynamischen und morphologischen Randbedingungen der Messungen an dieser Station sind bereits mehrfach dargestellt worden [NIEMEYER 1991, 1992a, 1992b].

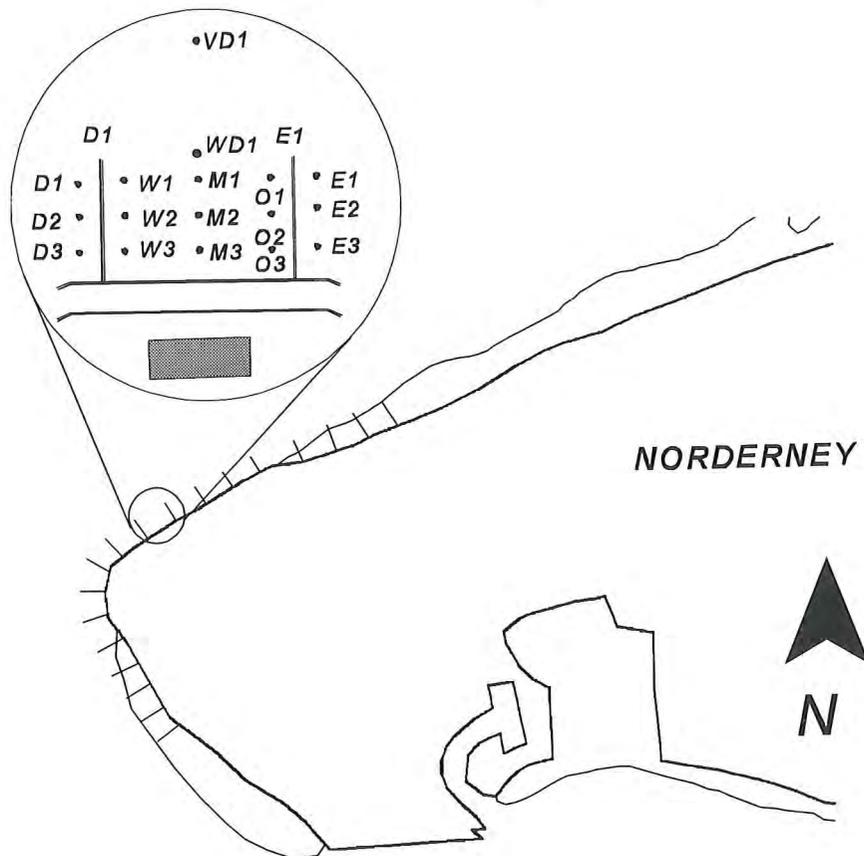


Abb.1: Lageplan

2. REPRÄSENTANZ DER DATEN

Wie bereits ausgeführt, sind die Messungen aus verschiedenartigen Gründen wiederholt unterbrochen worden. Eine zeitliche Übersicht der verfügbaren Daten wird diesem Bericht beigelegt (Anl. 1 - 20), wobei für jede Tide repräsentativ eine Zeitreihe um den Eintritt des Tidehochwassers berücksichtigt worden ist. Hierin sind auch die Messungen enthalten, bei denen kein meßbares Seegangsaufkommen festgestellt werden konnte und somit auch keine Parameterbestimmungen vorgenommen wurden. Insgesamt wird hieran deutlich, daß von insgesamt 3939 Tiden für 1910 Tiden Messungen vorliegen und somit eine Datendichte von 48,5 % vorliegt. Im Vergleich zu ähnlich langen Meßreihen an Stationen im Vorfeld der niederländischen Küste und in der offenen Nordsee, die eine Dichte von mehr als 70 % aufweisen [ROSKAM 1988] erscheint das auf den ersten Blick verhältnismäßig gering. Es ist aber zu bedenken, daß bei derartigen Messungen keine Ausfälle durch Abbau wegen Strandaufspülungen und Eisgang eintreten, die hier einen erheblichen Teil der Ausfallzeiten (Anl. 1 - 20) bewirkt haben. Darüber hinaus sind überproportional große Ausfallzeiten in der Anfangsphase des Meßbetriebs eingetreten, in der die Erprobung und Optimierung der Systemkomponenten stattfand. So betrug die Dichte in den Intervallen zwischen den Auffüllungen 1989 und 1992 60,7 % und zwischen denen von 1992 und 1994 52,0 %.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfassung des Seegangsklimas unmittelbar am Strand gegenüber der im Küstenvorfeld liegt darin, daß die in Abhängigkeit von wechselnden Anfangs- und Randbedingungen großen Variationen in der Verformung des Seegangs auf dem Weg vom Küstenvorfeld zum Strand implizit miteinfaßt werden. Somit ergeben diese Daten eine höhere Verlässlichkeit im Hinblick auf das an Stränden wirksame Seegangsklima als Messungen im Küstenvorfeld. Dies gilt in hohem Maß, wenn - wie am Beispiel Norderney gegeben - auf dem vorgelagerten Ebbdelta des Riffbogen erhebliche Umformungen des einschwingenden Seegangs stattfinden [NIEMEYER 1983, 1987]. Dennoch ist es als wesentlicher Nachteil anzusehen, daß bei Eisgang und im Fall von Auffüllungen erhebliche Ausfallzeiten entstehen. Insbesondere die erste Zeit nach der Auffüllung erlaubt auf Norderney wegen der dann noch zu großen Strandhöhen und der auf die Normallage der Strände abgestimmte Meßinfrastruktur keine Erfassung des Seegangs. Aus diesen Gründen erscheint es als Kompromiß für die Zukunft geboten, Untersuchungen zum mittelfristigen Seegangsklima für Strände in den Bereich des Vorstrandes zu verlegen, wo keine Beeinträchtigungen durch Auffüllungen und nur in weniger häufigeren Fällen als auf dem Strand durch Eisgang zu erwarten sind. Bei einer Positionierung seewärts der Brandungszone werden zudem auch die Einflüsse eliminiert, die sich aus deren wechselnder Lage ergibt. Die in Einzelfällen daraus resultierenden unterschiedlichen Effekte - insbesondere hinsichtlich des Shoalings - würden dann nicht mehr zu ungewöhnlichen Werten relativer Wellenhöhen führen, die - allerdings nur selten - signifikante Abweichungen von der Masse der Fälle bewirken können.

Es ergibt sich aber die Fragestellung, ob und in wieweit bei dieser Datendichte die verfügbaren Daten als repräsentativ für den Gesamtzeitraum angesehen werden dürfen. Zu deren Beantwortung wird hilfsweise die Randbedingung Wasserstand in die Überlegungen einbezogen. Der Seegang auf dem Vorstrand und Strand von Norderney wird durch die aktuellen Wassertiefen maßgeblich bestimmt und zwar umso dominanter, je stärker der Seegang ist [NIEMEYER 1992a]. Es ist daher naheliegend,

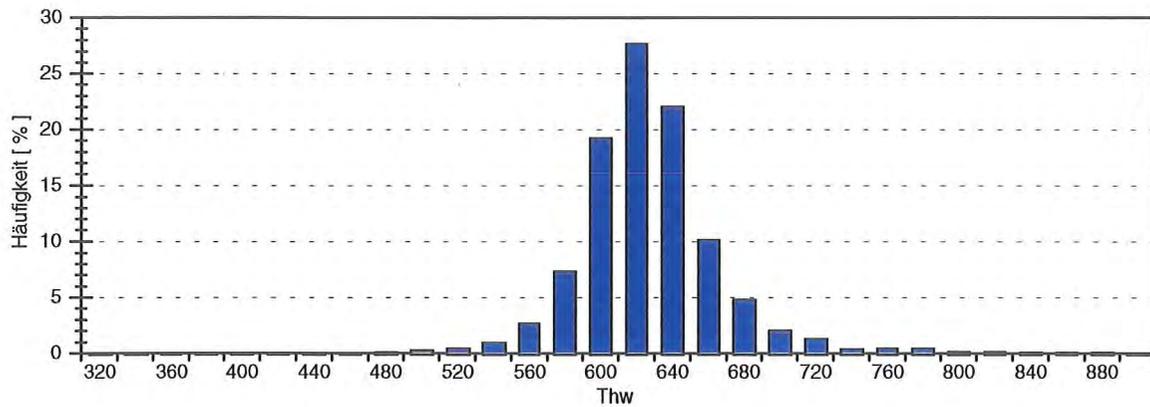


Abb. 2: Prozentuale Häufigkeiten des Thw am Pegel Norderney-Riffgat; Gesamtzeitraum Juni 1988 bis Februar 1994 (Klassenbereich 20 cm)

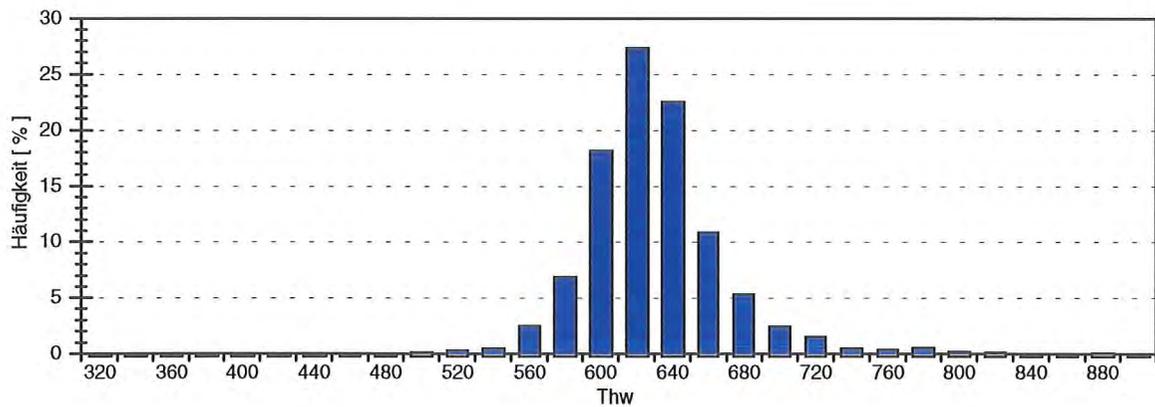


Abb. 3: Prozentuale Häufigkeiten des Thw am Pegel Norderney-Riffgat; Meßtiden der Station M_1 (Klassenbreite 20 cm)

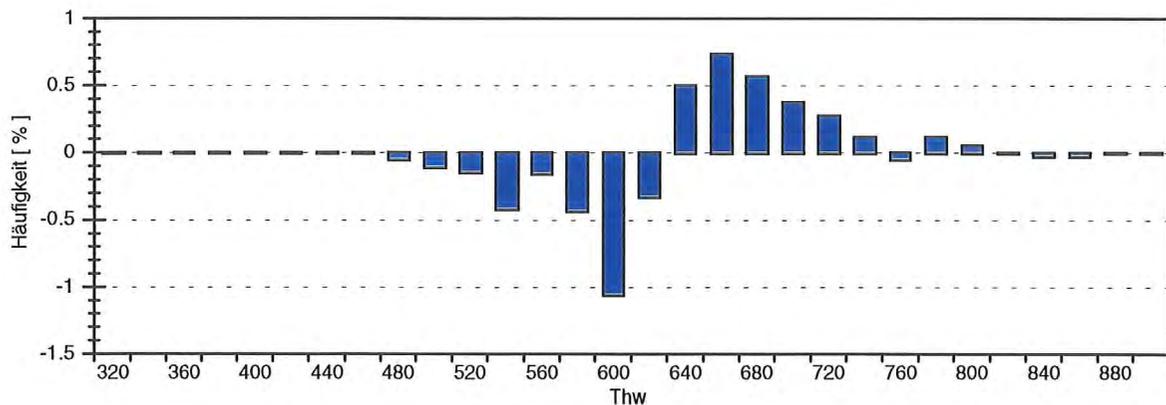


Abb. 4: Absolute Differenzen der prozentualen Häufigkeiten am Pegel Norderney-Riffgat zwischen den Kollektiven des Gesamtzeitraums und der Meßtiden (Klassenbreite 20 cm)

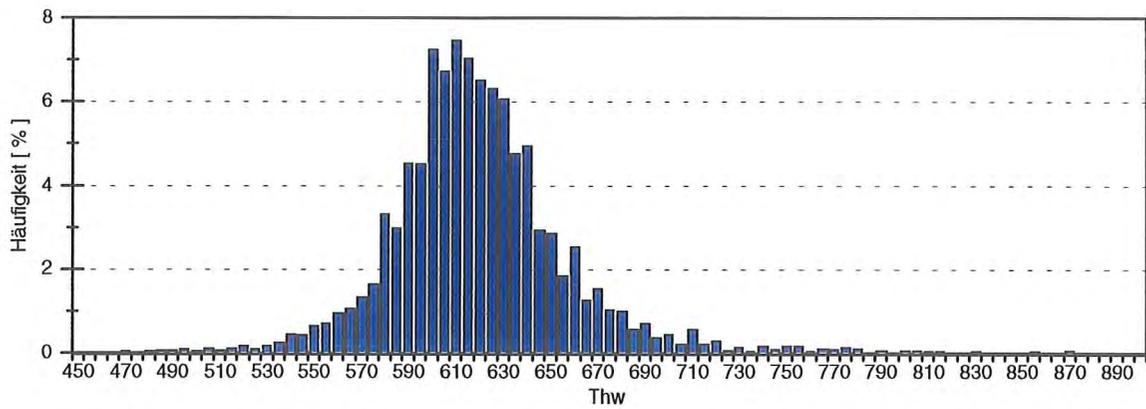


Abb. 5: Prozentuale Häufigkeiten des Thw am Pegel Norderney-Riffgat; Gesamtzeitraum Juni 1988 bis Februar 1994 (Klassenbreite 5 cm)

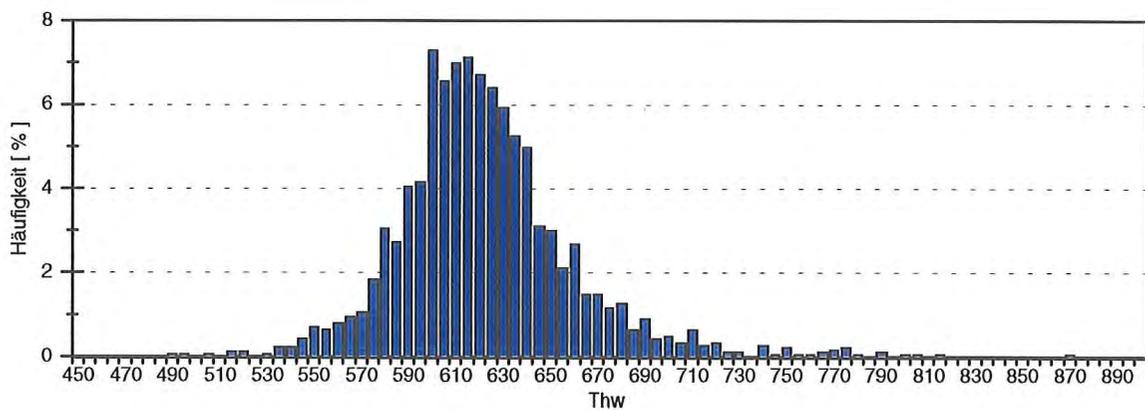


Abb. 6: Prozentuale Häufigkeiten des Thw am Pegel Norderney-Riffgat; Meßtiden der Station M1 (Klassenbreite 5 cm)

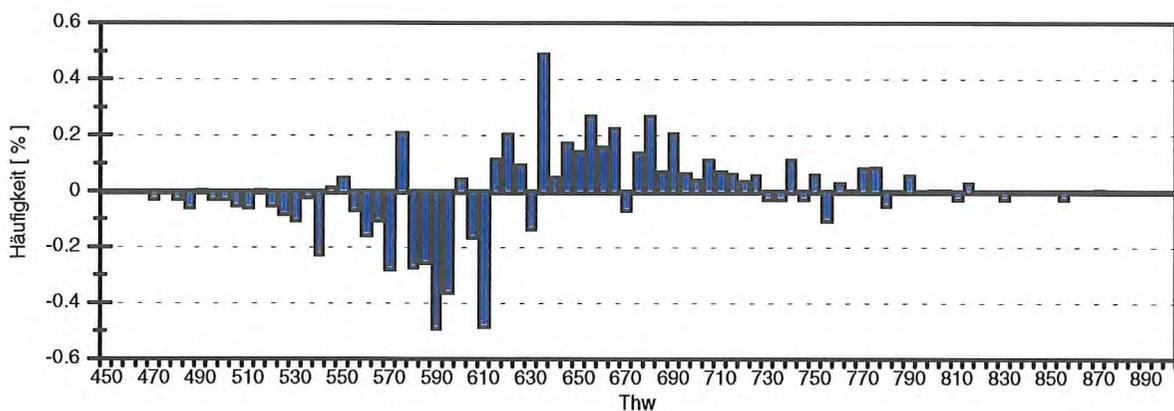


Abb. 7: Absolute Differenzen der prozentualen Häufigkeiten am Pegel Norderney-Riffgat zwischen den Kollektiven des Gesamtzeitraums und der Meßtiden (Klassenbreite 5 cm)

die Repräsentanz des verfügbaren Datenkollektivs über die Randbedingungen Tidewasserstände zu bewerten. Hierzu werden die Tidehochwasser am Pegel Norderney in zwei Kollektive eingeteilt, deren relative Eintrittshäufigkeit dargestellt wird: die Gesamtheit aller Werte für die Dauer der Untersuchungen und die Tidehochwasser der Tiden, für die Seegangsdaten vorliegen (Abb. 2 u. 3). Die Differenz beider Kollektive (Abb. 4) läßt wiederum erkennen, ob und inwieweit das eingeschränkte Kollektiv für den Gesamtzeitraum als repräsentativ anzusehen ist. Um sicher zu gehen, wurde dieser Schritt für beide Kollektive nicht mit der üblichen Klassenbreite für Tidewasserstände von 20 cm vorgenommen, sondern auch mit einer feineren Auflösung von 5 cm (Abb. 5 - 7).

Insgesamt sind die absoluten prozentualen Differenzen mit weniger als 1% bei Klassenbreiten von 20 cm und weniger als 0,5 % bei Klassenbreiten von 5 cm als gering anzusehen (Abb. 4 u. 7). Wesentlich ist für die weitere Untersuchung, daß die Tendenz für beide Klassenbreiten gleichbleibend ist. Hieraus kann geschlossen werden, daß die Wahl der Klassenbreite keinen signifikanten Einfluß auf das Ergebnis des Vergleichs hat.

Bemerkenswert erscheint aber hinsichtlich der Aufgabenstellung, daß die Tiden mit erniedrigten Wasserständen für das Kollektiv der Meßtiden leicht unter- und die mit erhöhten Wasserständen leicht überrepräsentiert sind. Insofern spiegelt das hier berücksichtigte Datenkollektiv des Seegangs eine etwas stärkere Beanspruchung der Strände und Inselschutzwerke wieder als die wirklich im Gesamtzeitraum aufgetretene. Allerdings erscheint dies wegen der geringen Abweichungen als nachrangig für die Repräsentanz der Daten. Insgesamt erscheinen die für die morphodynamisch Mittelfristentwicklung bestimmenden mittleren Verhältnisse [HOMEIER 1976; NIEMEYER 1992b] hinreichend erfaßt.

3. MITTELFRISTIGES SEEGANGSKLIMA

Die Gesamtheit aller Messungen zeigt einen hohen Anteil von Wellen geringer Höhe und kurzer Perioden, wobei die Form der Verteilungen unabhängig von den gewählten Klassenbreiten von 5 und 10 cm für H_s sowie 0,25 und 0,5 s für T_m ist (Abb. 8 - 11). Die Auswahl dieser statistischen Parameter zur Kennzeichnung von Wellenhöhen und -perioden erschien nicht wegen der dadurch gegebenen Vergleichbarkeit anderen Untersuchungen wie beispielsweise der von ROSKAM [1988] sinnvoll, sondern auch im Hinblick auf die Nutzung des Seegangsmodells HISWA [HOLTHUIJSEN & BOOIJ 1987; NIEMEYER et al. 1992], bei dem diese Parameter sowohl für die Anfangsbedingungen Verwendung finden als bei der Repräsentation von Ergebnissen. In beiden Fällen sind die niedrigen und kurzen Wellen dominant. Nach Elimination aller Werte von Meßreihen mit

$$H_s < 0,05 \text{ m}$$

ergibt sich eine andere Form der Verteilung, die wiederum für beide Klassenbreiten ähnliche Charakteristiken aufweist (Abb. 12 - 15). Dominant sind nun signifikante Wellenhöhen in den Klassen 0,1 - 0,2 m (Abb. 12) oder 0,15 - 0,20 m (Abb. 13), sowie mittlere Wellenperioden in den Klassen von 5,5 - 6,0 s (Abb. 14) oder 5,50 - 5,75 s (Abb. 15). Stark ausgeprägter Seegang ist hingegen ausgesprochen selten. Für die betrachteten Zeiträume ist zwischen den Auffüllungen eine eher stetige morphologische

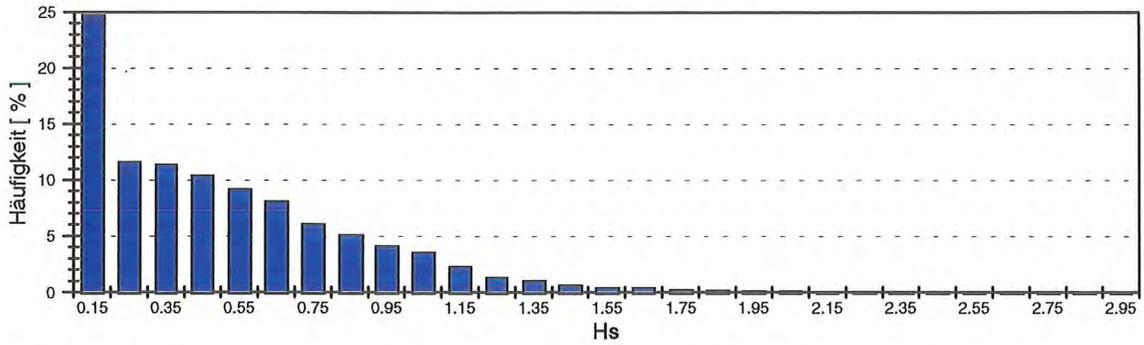


Abb. 8: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen (Klassenbreite: 10 cm)

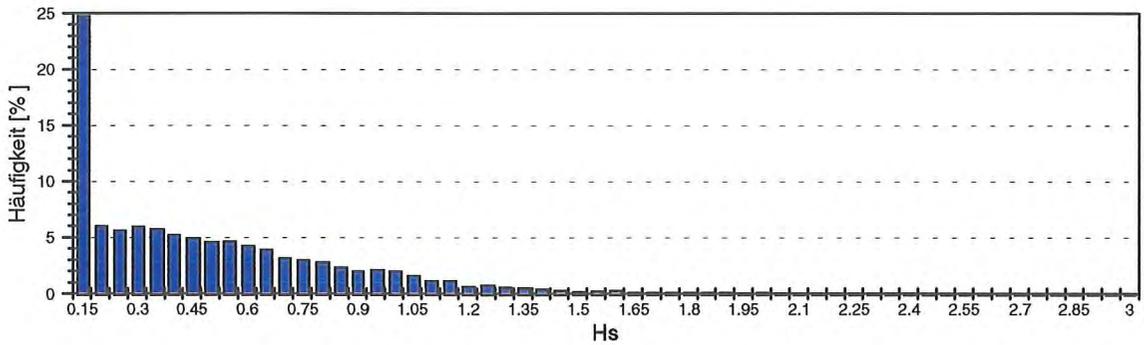


Abb. 9: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen (Klassenbreite: 5 cm)

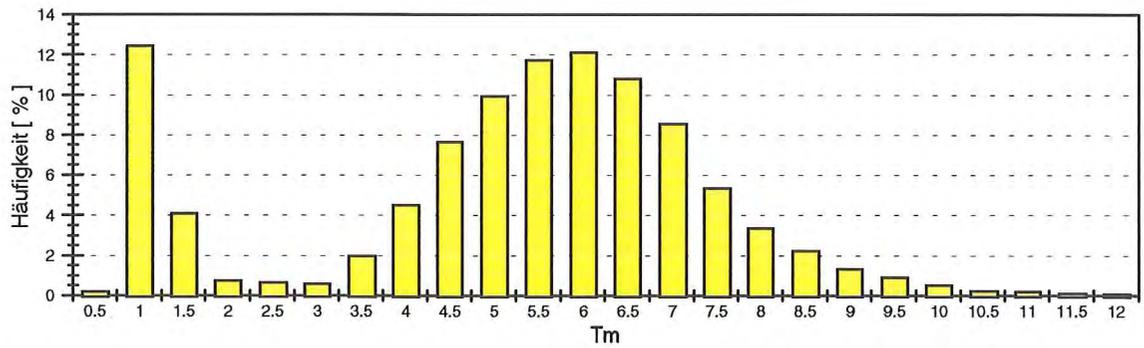


Abb. 10: Verteilung der mittleren Wellenperioden (Klassenbreite: 0,5 s)

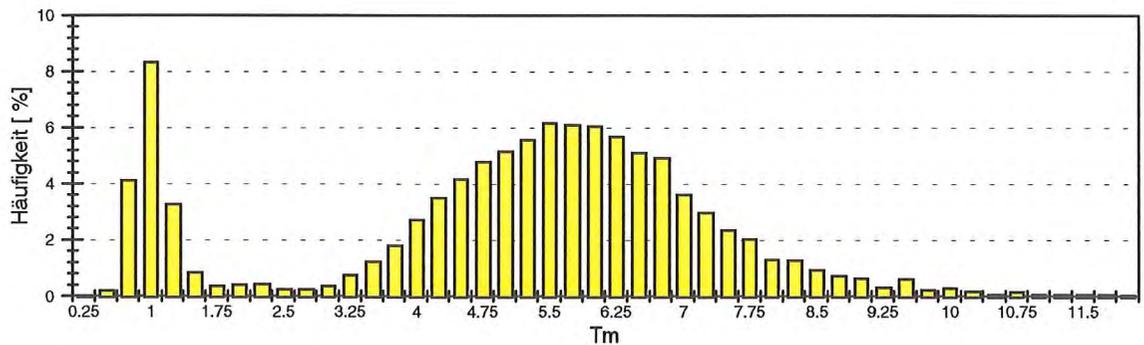


Abb. 11: Verteilung der mittleren Wellenperioden (Klassenbreite: 0,25 s)

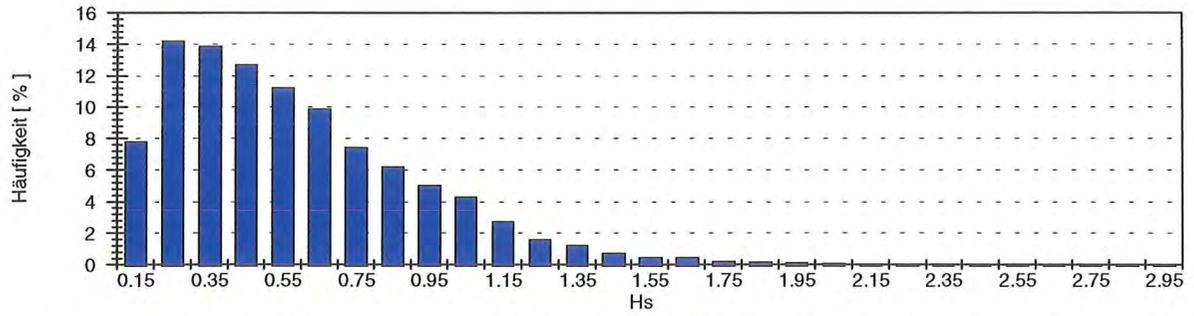


Abb. 12: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite: 10 cm)

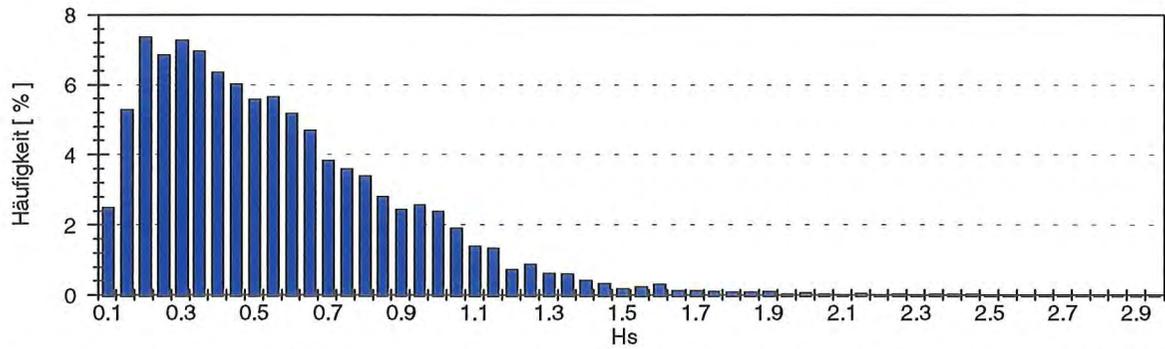


Abb. 13: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite: 5 cm)

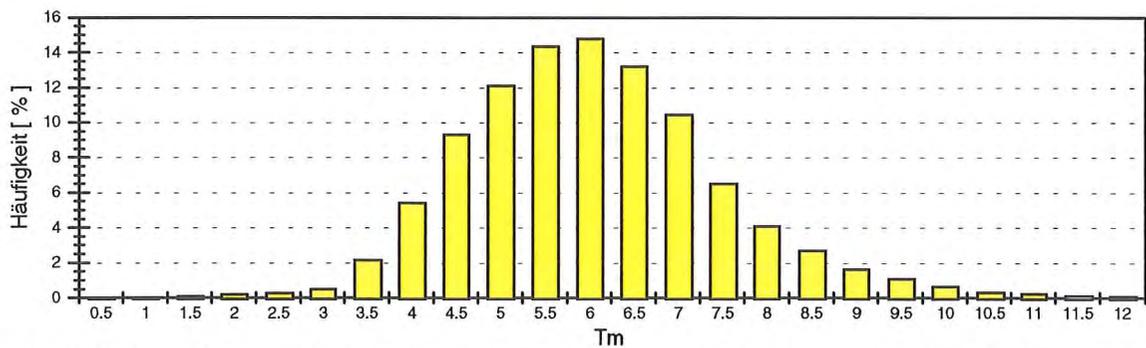


Abb. 14: Verteilung der mittleren Wellenperioden für $H_s \geq 0,05$ m (Klassenbreite: 0,5 s)

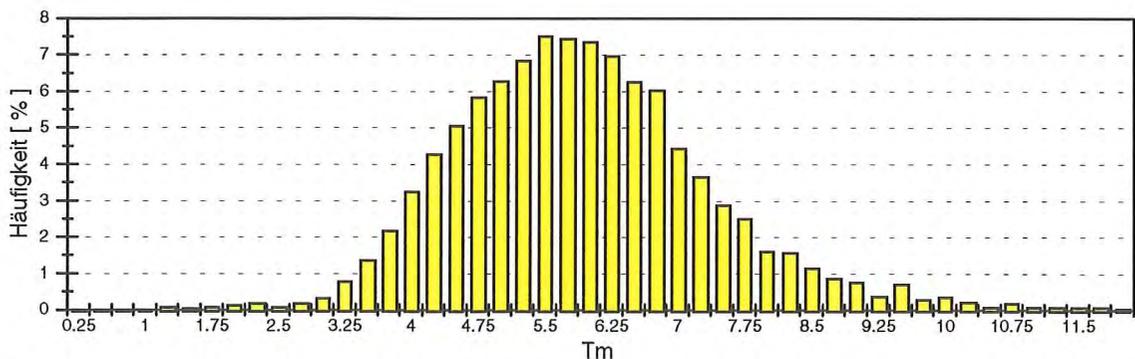


Abb. 15: Verteilung der mittleren Wellenperioden für $H_s \geq 0,05$ m (Klassenbreite: 0,25 s)

Entwicklung erkennbar, in der sich derartige singuläre Ereignisse nicht signifikant widerspiegeln und die nur durch den diskontinuierlichen Auffüllvorgang unterbrochen wird [KERSTING et al. 1994]. Hieraus kann geschlossen werden, daß die dominanten - hier moderaten - Seegangsverhältnisse für die morphodynamische Entwicklung der Strände auf Norderney bestimmend sind. Die steht in Übereinstimmung mit bisherigen Untersuchungsergebnissen zur Morphodynamik der Strände auf Norderney [HOMEIER 1976; KUNZ & STEPHAN 1991; NIEMEYER 1991; 1992b] sowie grundsätzlichen Erkenntnissen zur strukturellen Erosion [VAN DE GRAAFF et al. 1991].

Betrachtet man ergänzend die Überschreitungshäufigkeiten der kennzeichnenden Seegangsparameter H_s und T_m , so wird deutlich, daß bei Abnahme der Eintrittswahrscheinlichkeiten die Zunahmen der Parameter sich in engen Bandbreiten abspielen (Abb. 16 u. 17). Nach der Statistik kann beispielsweise davon ausgegangen werden, daß signifikante Wellenhöhen mit

$$H_s > 2,0 \text{ m}$$

im Mittel mindestens einmal pro Jahr an der Station M_1 auftreten können. Binnen einer nahezu drei Jahren äquivalenten Zahl von Tiden, die in ihrer Verteilung hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit von höheren Wellen sogar für einen längeren Zeitraum repräsentativ sind, wird hingegen der Wert von $H_s = 2,5 \text{ m}$ nicht erreicht (Abb. 16). Hieraus ist ableitbar, daß der Seegang auf dem Strand in seiner Höhenentwicklung offenbar auf Grenzwerte zustrebt, die durch limitierende örtliche Randbedingungen bestimmt werden. Diese sind durch das Brecherkriterium für Flachwasser schlüssig nachvollziehbar: Zunehmende Wellenhöhen bewirken einerseits eine verstärkte Energieumwandlung im Bereich des vorgelagerten Riffbogens [NIEMEYER 1983, 1987]; andererseits wird die Brandungszone auf Strand oder Vorstrand hierdurch seewärts verlagert, so daß landseitig hiervon die Wellenhöhen nur noch gering wachsen können.

Längere mittlere Perioden sind ebenfalls selten und für die Eintrittswahrscheinlichkeiten im Bereich von

$$11,0 \text{ s} \leq T_m < 12,0 \text{ s}$$

gilt ähnliches wie für die höheren signifikanten Wellenhöhen (Abb. 17). Allerdings sind längere mittlere Wellenperioden weniger durch örtliche morphologische Randbedingungen geprägt als Wellenhöhen. Wesentlicher sind hingegen die Wassertiefen im Küstenvorfeld, welche beim Ausreifen der Windsee begrenzend wirken. Weiterhin dürfte von Bedeutung sein, daß ausgeprägte lange Dünen in der südlichen Nordsee nicht sehr häufig ohne Überlagerungen durch Windsee als dominierendes Seegangssystem halten kann. Wenngleich steilere und damit kürzere Wellen mit größeren Höhen besonders erosionswirksam sind [NIEMEYER 1991; 1992b], führen längere Wellen bei gleichen Wellenhöhen infolge der damit verbundenen Abnahmen der relativen Wassertiefen zu Verstärkung bodennaher Strömungsfelder. Dieser Effekt kann insbesondere hinsichtlich des Absetzens oder Mobilisierens von Sedimenten bedeutsam sein.

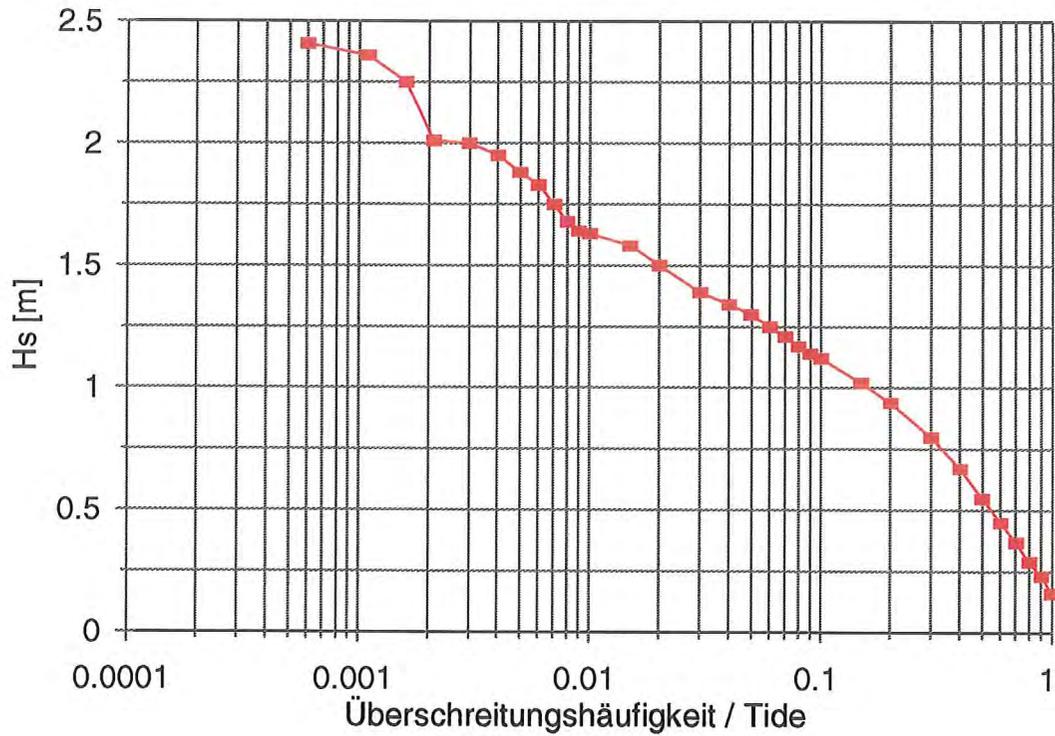


Abb. 16: Überschreitungshäufigkeiten signifikanter Wellenhöhen am Nordweststrand von Norderney

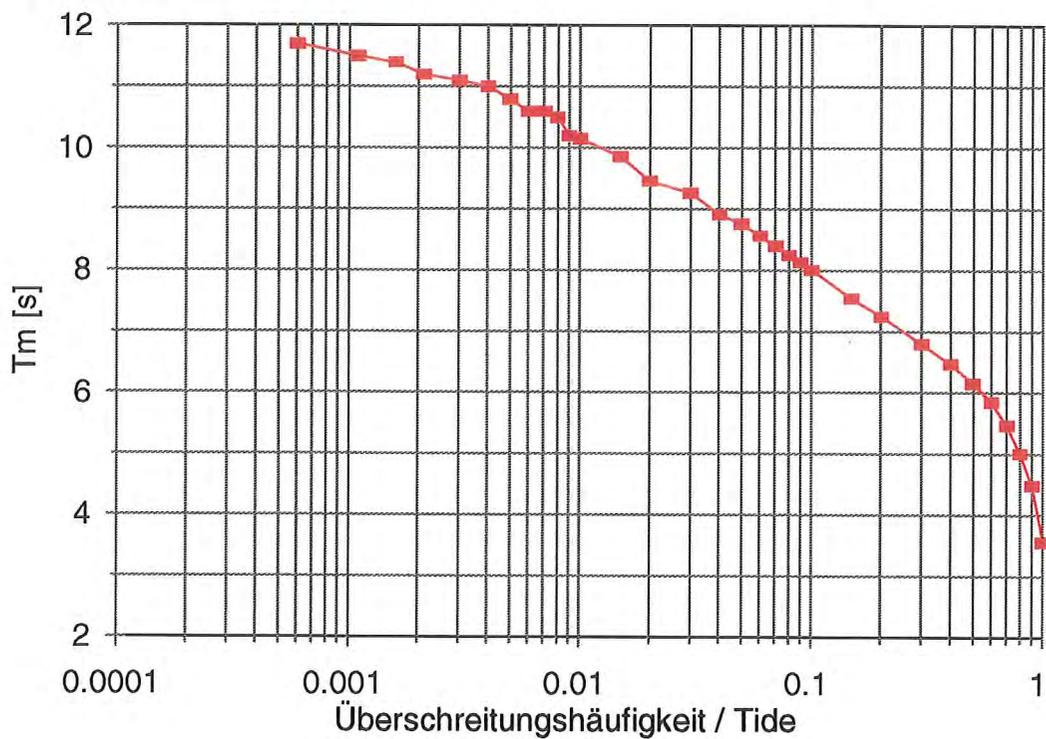


Abb. 17: Überschreitungshäufigkeiten mittlerer Wellenperioden am Nordweststrand von Norderney

4. VERGLEICH DES SEEGANGSKLIMAS FÜR ZWEI AUFFÜLLUNGSINTERVALLE

Während der Meßperiode konnte - von den dargestellten Ausfallzeiten (Anl. 1 - 20) abgesehen - der Seegang in den Intervallen zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 erfaßt werden. Im ersten Intervall wurden von 1847 Tiden 1122 meßtechnisch erfaßt, im zweiten 576 von 1108. Zur Kennzeichnung dieser Kollektive werden die Verteilungen für signifikanten Wellenhöhen in Klassen von 0,05 m und für die mittleren Wellenperioden in solchen von 0,25 s dargestellt (Abb. 18 - 21), wobei die Messreihen mit

$$H_s < 0,05 \text{ m}$$

nicht berücksichtigt worden sind. Während offenbar im Zeitraum 1989/92 Seegang mit längeren Perioden auftrat als im Zeitraum 1992/94 (Abb. 19 u. 21), scheinen die Verhältnisse bei den signifikanten Wellenhöhen gegenläufig zu sein (Abb. 18 u. 20): im ersten Intervall sind sie kleiner als im zweiten. Die Einbeziehung der Meßreihen mit den geringen signifikanten Wellenhöhen bewirkt nur eine relative Veränderung des Gesamtbildes (Abb. 22 - 25), aber keinen gegenläufigen Trend.

Um diese erste Einschätzung bestätigen zu können, werden Differenzenbildungen für die relative Häufigkeit beider Parameter vorgenommen (Abb. 26 u. 27). Hierbei werden aufgrund der ersten Vergleiche (Abb. 18 - 25) für beide Intervalle auch die Meßreihen mit

$$H_s < 0,05 \text{ m}$$

einbezogen. Hierbei zeigt sich, daß der prozentuale Anteil von höheren Wellen im Intervall zwischen den Auffüllungen von 1992 bis 1994 größer ist als in dem zwischen denen von 1989 und 1992 (Abb. 26); im ersten Intervall überwiegt hingegen der Anteil mit längeren Perioden (Abb. 27). Hieraus kann geschlossen werden, daß im ersten Intervall der relative Anteil von Dünung höher war und im zweiten der von Windsee. Folgerungen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Strandstabilität lassen sich hieraus aber nicht unmittelbar ziehen. Zum einen ist die morphologische Wirksamkeit singulärer Ereignisse bekanntlich nur temporär [HOMEIER 1976; NIEMEYER 1991, 1992a, 1992b] und zumeist in der morphologischen Mittelfristentwicklung nicht identifizierbar [STEPHAN 1988; KUNZ & STEPHAN 1991; KERSTING et al. 1994]. Zum anderen ist der Vergleich der relativen Häufigkeiten hinsichtlich der Einschätzung der vorhersehenden Erscheinungsformen des Seegangs hinreichend, nicht aber zur Beurteilung der morphologischen Mittelfristwirkung. Hierfür sind Vergleiche der absoluten Häufigkeiten erforderlich, um die hydrodynamische Gesamtwirkdauer einzubeziehen. Ein entsprechender Vergleich, bei dem für das zweite Intervall durch adäquate Umrechnungen der realen absoluten Häufigkeiten eine dem ersten Intervall analoge Datendichte erzeugt wurde, ist im Hinblick auf diese Fragestellung erstellt worden (Abb. 28 u. 29): Hieran wird deutlich, daß - von einigen einzelnen Ereignissen mit höheren Wellen abgesehen - im ersten Intervall eine wesentlich stärkere hydrodynamische Belastung vorgelegen hat, die sich im wesentlichen aus der längeren Wirkdauer ergibt. Aus den hydrodynamischen Randbedingungen lassen sich somit keine objektiven Erkenntnisse für die kürzere Dauer des zweiten Intervalls bis zur Folgeaufspülung herleiten.

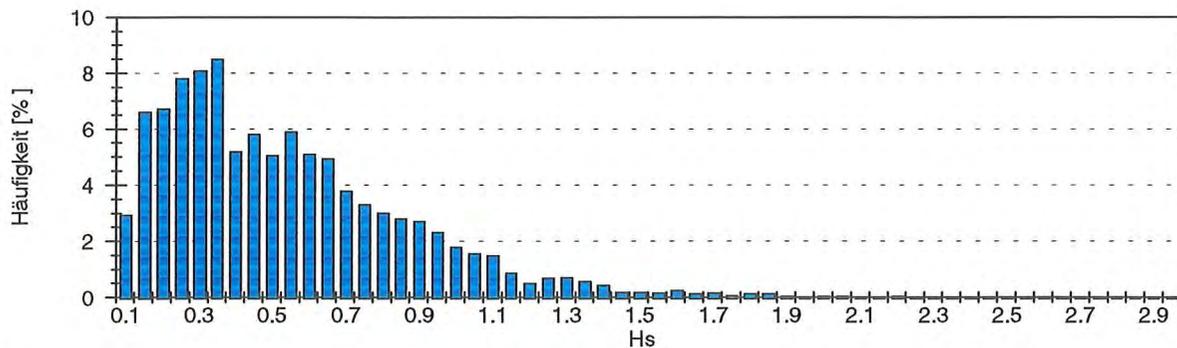


Abb. 18: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite 0,05 m)

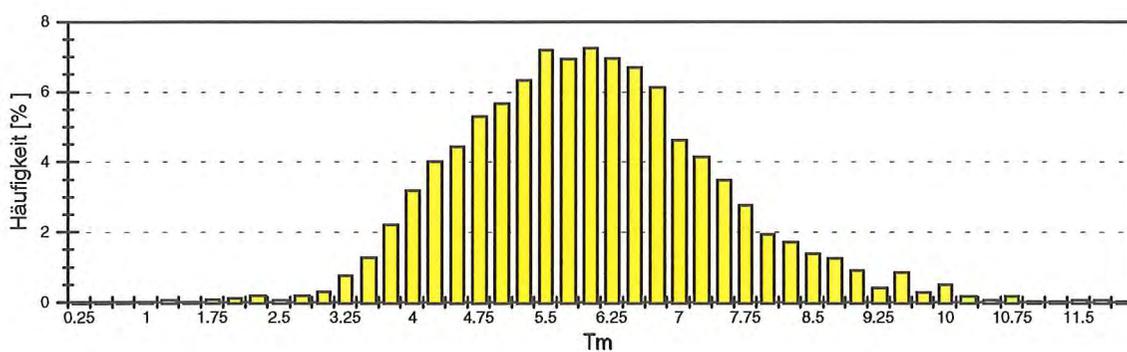


Abb. 19: Verteilung der mittleren Wellenperioden zwischen den Auffüllungen von 1989 bis 1992 ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite: 0,25 s)

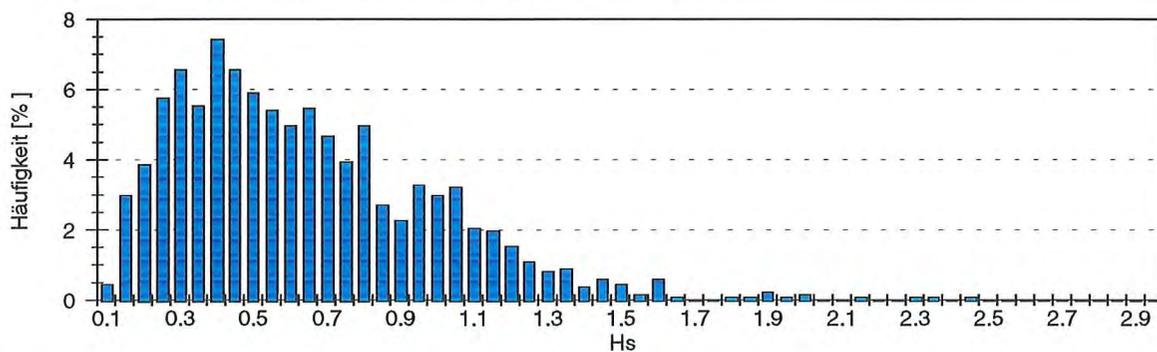


Abb. 20: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen zwischen den Auffüllungen von 1992 und 1994 ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite 0,05 m)

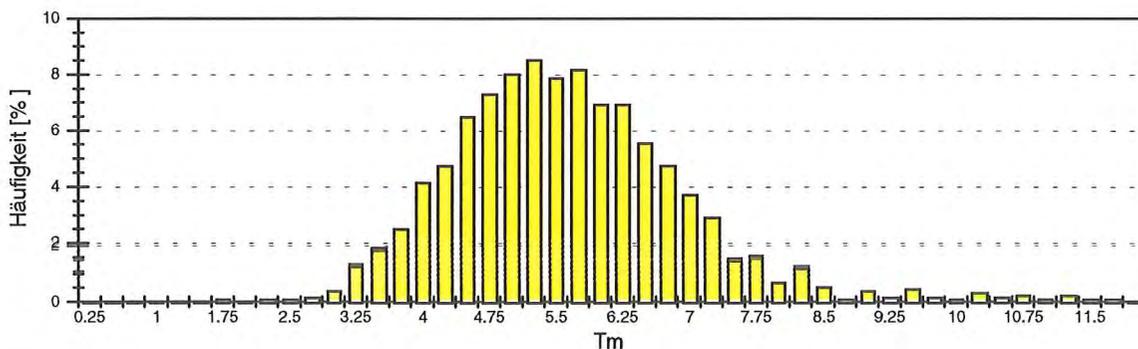


Abb. 21: Verteilung der mittleren Wellenperioden zwischen den Auffüllungen von 1992 und 1994 ($H_s \geq 0,05$ m; Klassenbreite: 0,25 s)

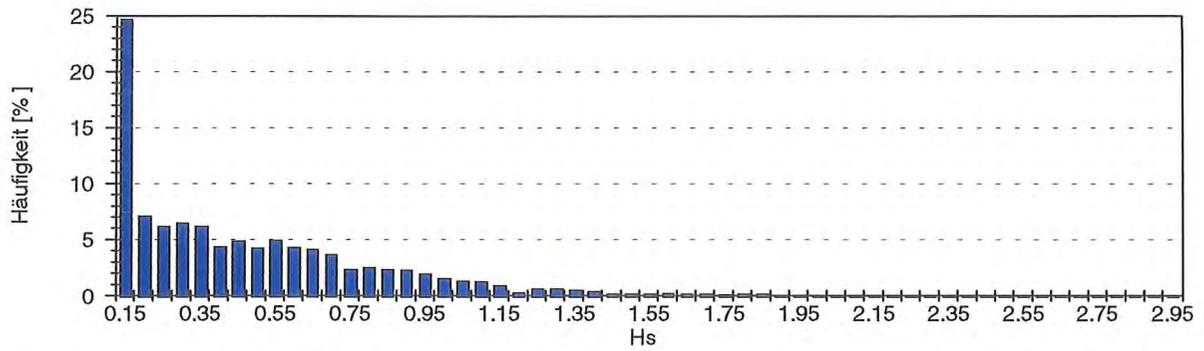


Abb. 22: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 (Klassenbreite: 0,05 m)

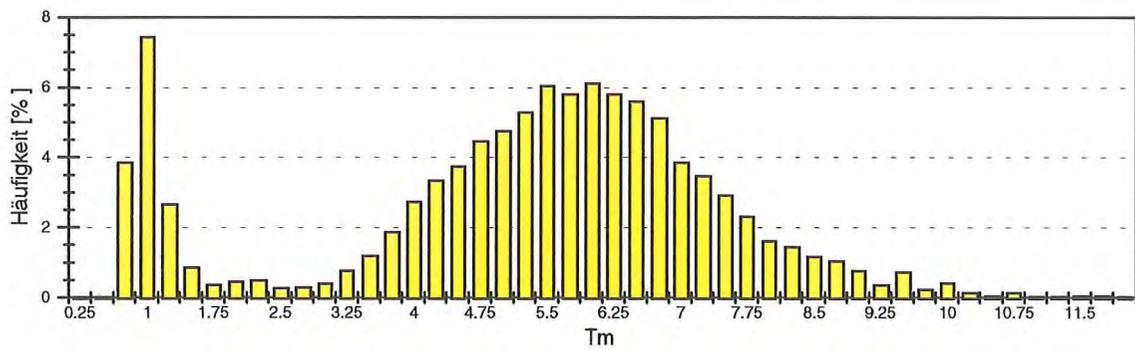


Abb. 23: Verteilung der mittleren Wellenperioden zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 (Klassenbreite: 0,25 s)

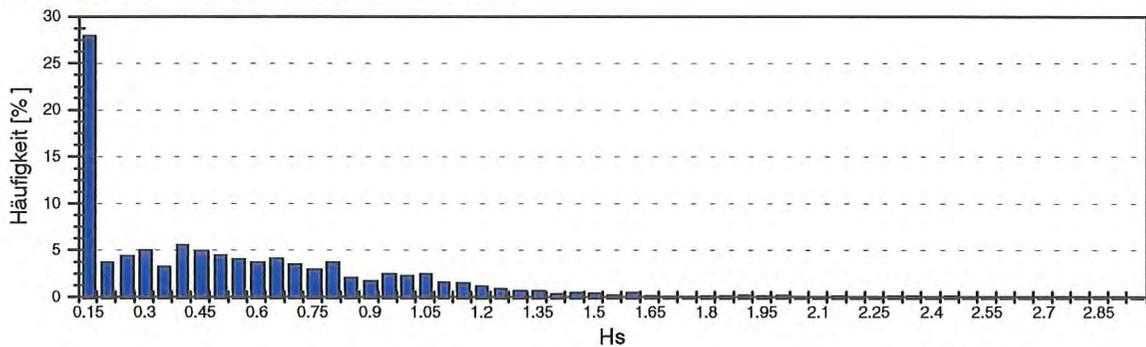


Abb. 24: Verteilung der signifikanten Wellenhöhen zwischen den Auffüllungen von 1992 und 1994 (Klassenbreite: 0,05 m)

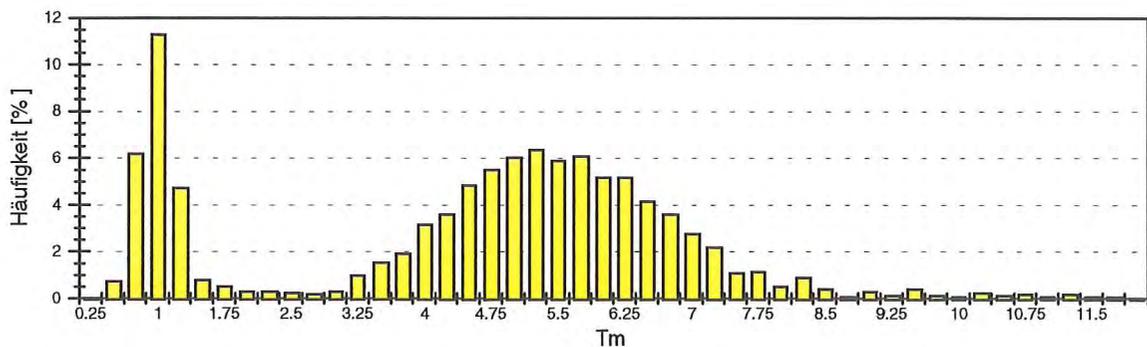


Abb. 25: Verteilung der mittleren Wellenperioden zwischen den Auffüllungen von 1992 und 1994 (Klassenbreite: 0,25 s)

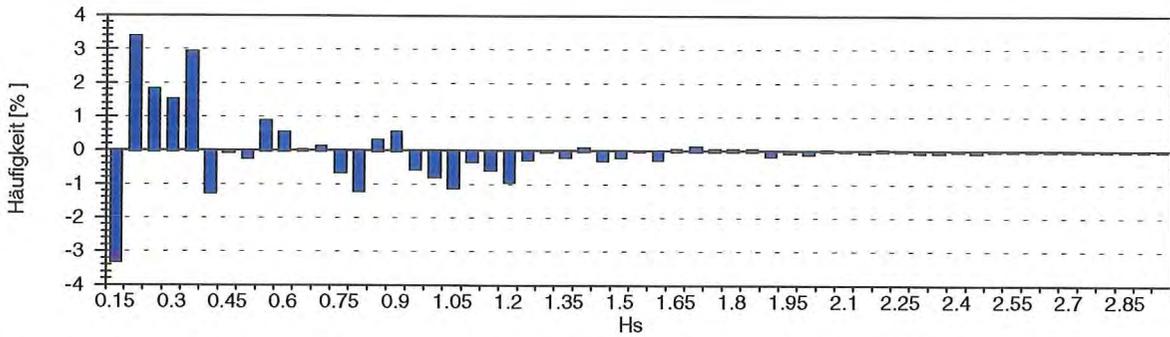


Abb. 26: Differenzen relativer Häufigkeiten signifikanter Wellenhöhen für die Intervalle zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 (Klassenbreite: 0,05 m)

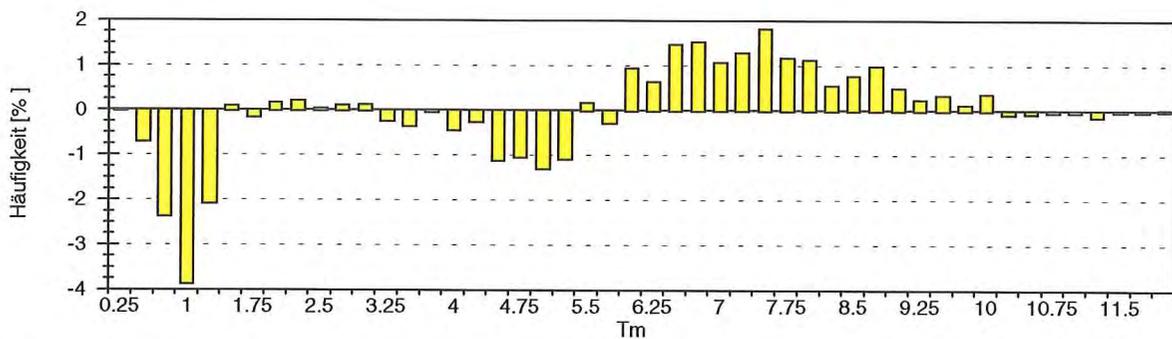


Abb. 27: Differenzen relativer Häufigkeiten mittlerer Wellenperioden für die Intervalle zwischen den Auffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 (Klassenbreite: 0,25 s)

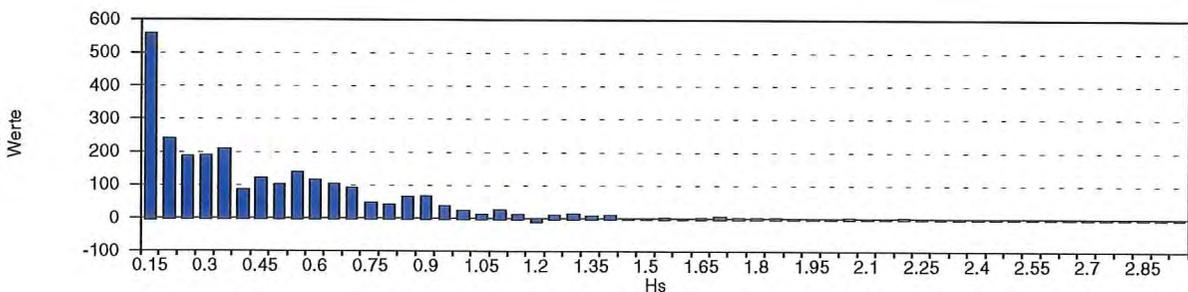


Abb. 28: Verteilung der absoluten Differenzen für die Verteilung der signifikanten Wellenhöhen (Klassenbreite: 0,05 m)

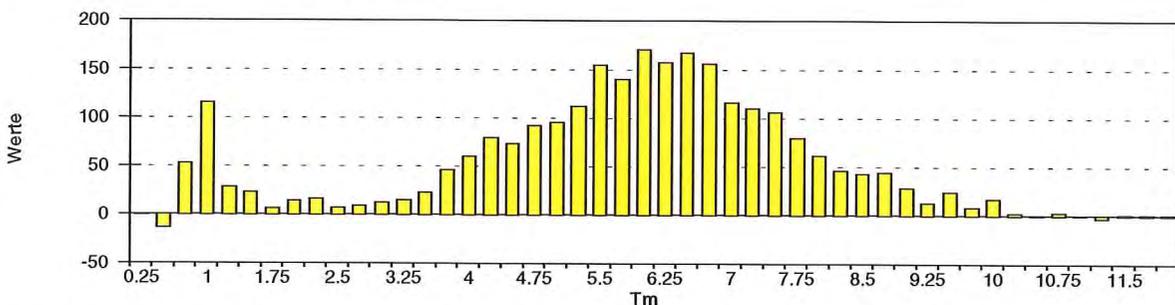


Abb. 29: Verteilung der absoluten Differenzen für die Verteilung der mittleren Wellenperioden (Klassenbreite: 0,25 s)

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurden die kennzeichnenden Seegangparameter H_s und T_m für eine Meßperiode von etwa 5,75 Jahren am Nordweststrand von Norderney untersucht, wobei der Meßbetrieb und Ausfälle detailliert dokumentiert werden. Auf dieser Grundlage wird die verfügbare Datendichte ermittelt und unter Einbeziehung der hydrodynamischen Randbedingung Tidewasserstände die Repräsentanz der Messungen für die Gesamtdauer der Messungen erläutert.

Mittelfristige Messungen des Seegangsklimas an Stränden untermauern die bisherigen Thesen, daß die mittelfristige morphodynamische Entwicklungen weniger von einzelnen spektakulären Ereignissen bestimmt werden, sondern von den dominanten - hier moderaten - Seegangsverhältnissen bestimmt werden.

Untersuchungen zur relativen Häufigkeit kennzeichnender Seegangparameter lassen Rückschlüsse auf die überwiegenden Erscheinungsformen des Seegangs zu; sie sind aber nicht hinreichend, um auf dessen morphologische Wirksamkeit für die Intervalle zwischen verschiedenen Auffüllungen schließen zu können. Hierfür sind Vergleiche absoluter Häufigkeiten erforderlich, um die Gesamtwirkdauer über die verschiedenen Intervalle eubeziehen zu können. Ein solcher Vergleich ist für die Intervalle zwischen den Strandauffüllungen von 1989 und 1992 sowie von 1992 und 1994 vorgenommen worden. Die Analyse der Seegangdaten lieferte keine plausible Erklärung für die unterschiedliche Länge der Intervalle zwischen den Auffüllungen.

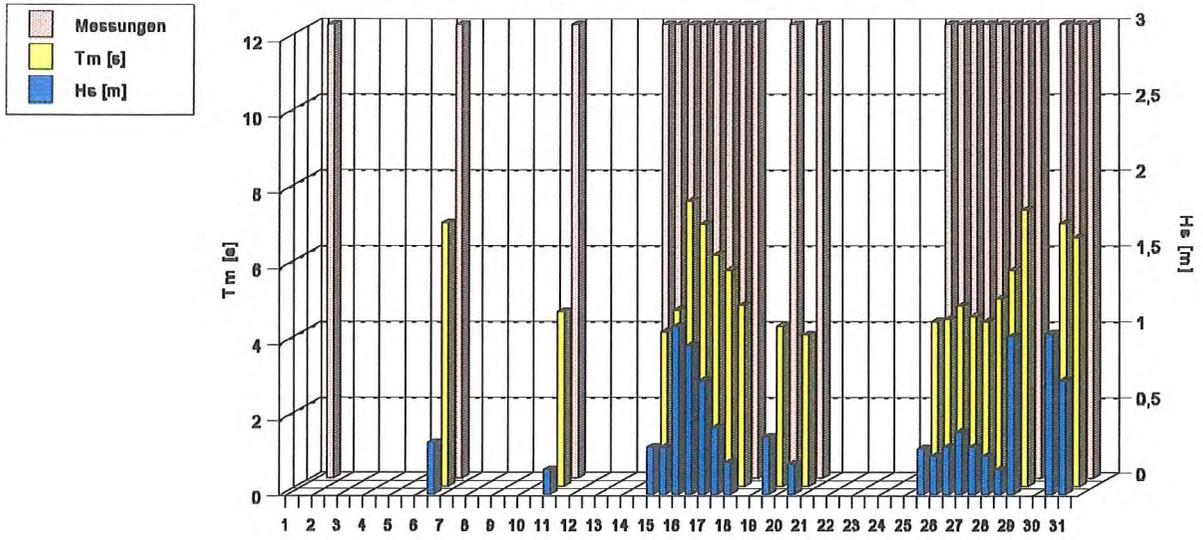
Der Versuch, das Seegangsklima für Strände dort unmittelbar zu erfassen, weist gegenüber Messungen im Küstenvorfeld den Vorteil auf, die vielfältigen Variation in der Verformung des Seegangs von dort bis zum Strand exakt zu erfassen. Dem steht der Nachteil gegenüber, daß dort erhebliche Ausfallzeiten durch Eisgang und vor allem durch die Auffüllungen entstehen. Es wird daher als sinnvoll erachtet, in Zukunft Messungen zur Erfassung des mittelfristigen Seegangsklimas im Vorstrandbereich auszuführen.

6. LITERATUR

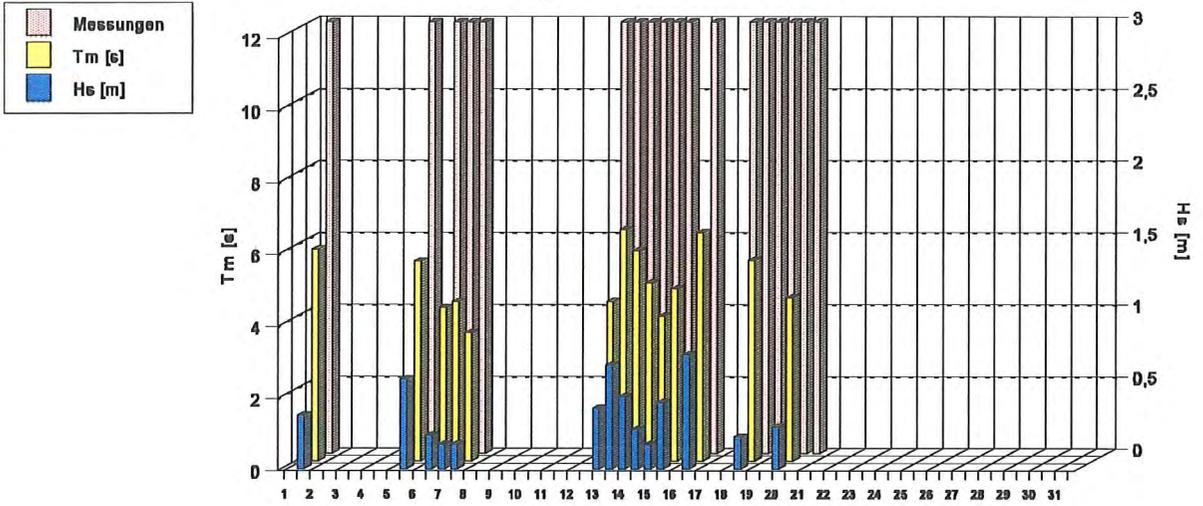
- BRANDT, G., GLASER, D., KAISER, R., KAROW, H., MÜNKEWARF, G., LIEBIG, W., NIEMEYER, H.D. [1994]:** Analyse hydrodynamischer Naturmessungen im Bereich der Bühnenfelder A-D₁-E₁-F₁ am 19. Oktober 1993 (Dokumentation)
- FSK [1991]:** Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 90 bis 31. 12. 90. Niedersächsisches Landesamt für Wasser und Abfall -Forschungsstelle Küste
- FSK [1994a]:** Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 91 bis 31. 12. 1991. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste
- FSK [1994b]:** Dokumentation Hydrographisches Meßnetz Norderney 01. 01. 91 bis 31. 12. 1992. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste
- HOLTHUIJSEN, L., BOOIJ, N. [1987]:** A grid model for shallow water waves. Proc. 20th Int. Conf. o. Coast. Eng. Taipei. ASCE, New York
- HOMEIER, H. [1976]:** Die Auswirkungen schwerer Sturmtiden auf die ostfriesischen Inselstrände und Randdünen. Jber. 1975 Forsch.-Stelle f. Insel- und Küstenschutz, Bd. 27
- KERSTING, N.F., BAKKER, W.T., NIEMEYER, H.D. [1994]:** Evaluation of a combined foreshore and beach nourishment at the German Wadden island of Norderney. Delft Univers. O. Technology/Netherlands Centre for Coastal Research
- KUNZ, H., STEPHAN, H.J. [1991]:** Ergebnisse morphologischer Untersuchungen zu den Strandaufspülungen auf Norderney. Die Küste, H. 54
- NIEMEYER, H.D. [1983]:** Über den Seegang an einer inselgeschützten Wattküste. BMFT-Forschungsber. MF 0203

- NIEMEYER, H.D. [1987]:** Changing of wave climate due to breaking on a tidal inlet bar. Proc. 20th Int. Conf. o. Coast. Eng. Taipei. ASCE, New York
- NIEMEYER, H.D. [1991]:** Field measurements and analysis of wave-induced nearshore currents. Proc. 22nd Int. Conf. o. Coast. Eng. Delft/The Netherlands. ASCE, New York
- NIEMEYER, H.D. [1992a]:** Naturuntersuchungen hydrodynamisch-morphologischer Wechselwirkungen an erodierenden Stränden. Schlußber. KFKI-Forschungsvorh. MTK 385-Teil III, Bundesm. f. Forsch. u. Technol.-Meerestechn.
- NIEMEYER, H.D. [1992b]:** Die ursächliche Deutung von Transportphänomenen als Gestaltungsgrundlage für Strandauffüllungen. Die Küste, H. 54
- NIEMEYER, H. D., KAISER, R. u. ADEL, J. D. DEN [1992]:** Anwendung des mathematischen Seegangmodells HISWA auf Wattenmeerbereiche. Schlußber. KFKI-Forschungsvorhaben MTK 464 - Teil III, Bundesmin. f. Forsch. u. Techn.-Meerestechn.-
- ROSKAM, A.P. [1988]:** Golfklimaten voor de Nederlandse kust. Ministerie voor Verkeer en Waterstaat-Rijkswaterstaat-Dienst Getijdewateren, nota GWAO 88.046
- STEPHAN, H.J. [1988]:** Fünf Strandaufspülungen auf Norderney-Ergebnisse morphologischer Untersuchungen. Arb. A. D. Forsch.-Stelle Küste, Nr. 11
- VAN DE GRAAFF, J., NIEMEYER, H.D., VAN OVEREEM, J. [1991]:** Beach nourishment, philosophy and coastal protection policy. in: J. v. d. Graaff, H. D. Niemeyer, J. v. Overeem (eds.): Special Issue Artificial Beach Nourishments. Coast. Eng., Vol. 16, No. 1

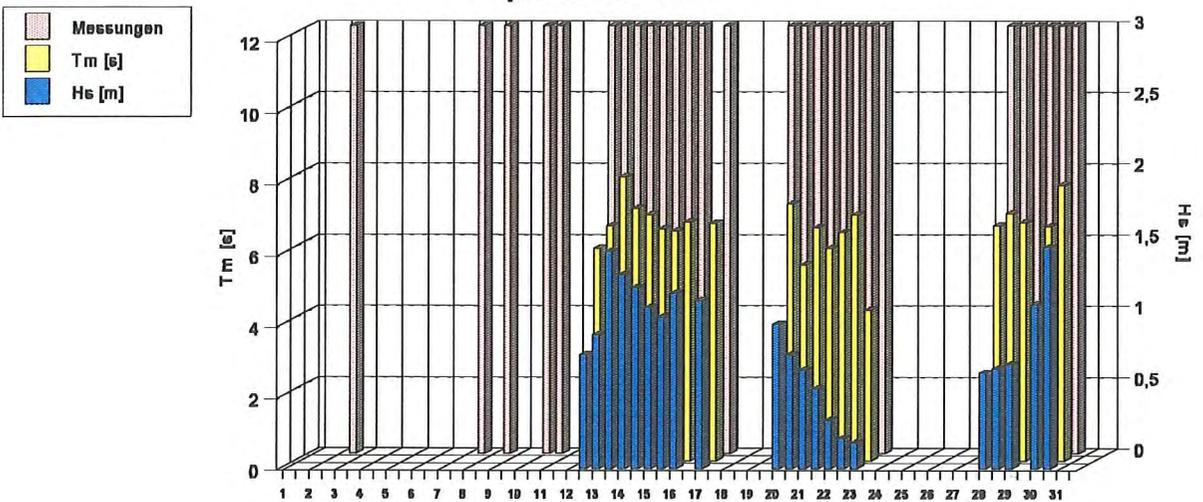
Juli 1988



August 1988

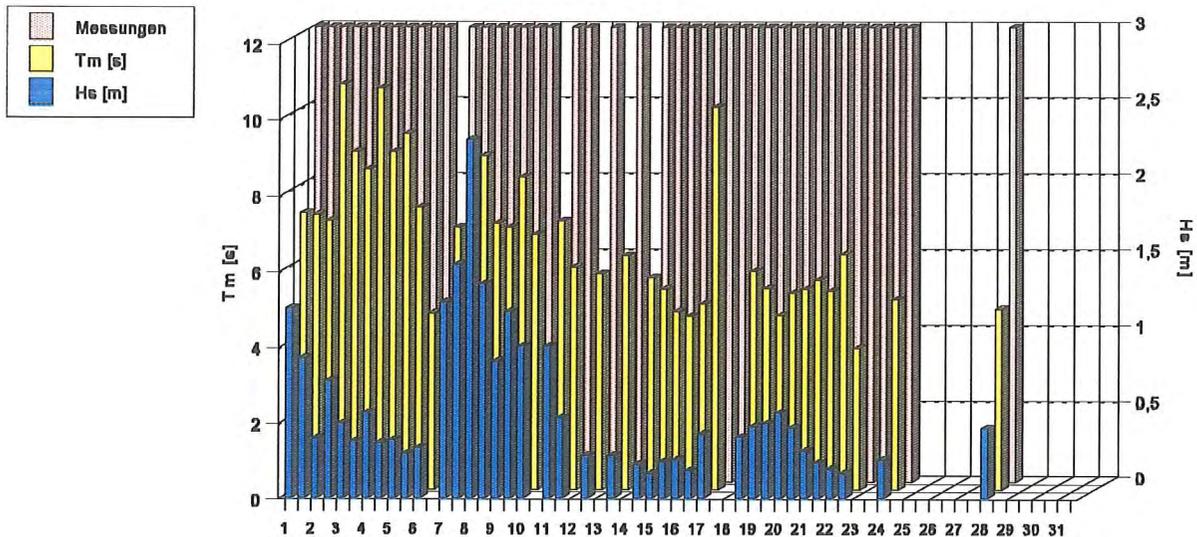


September 1988

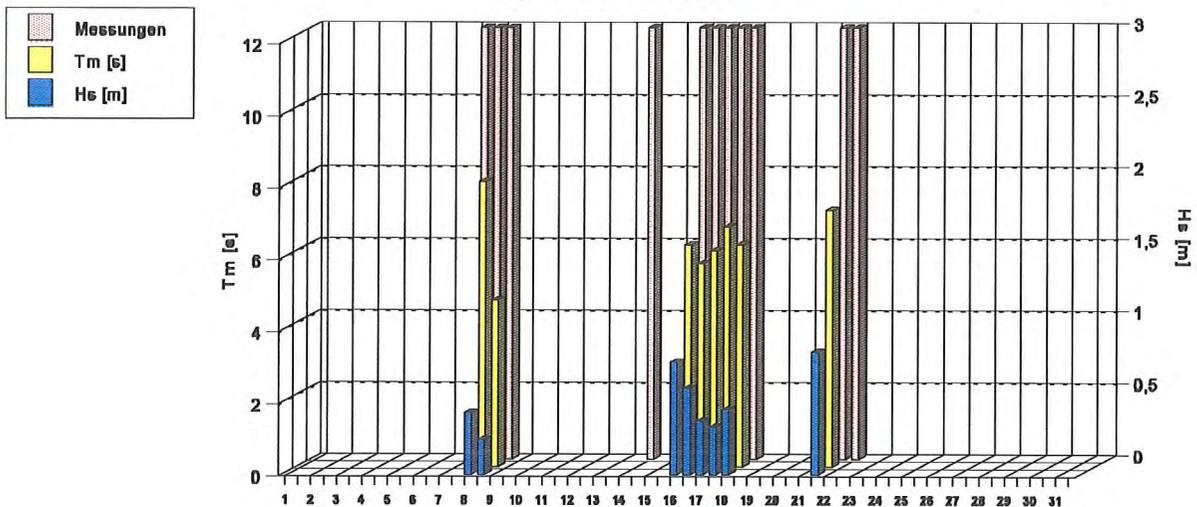


Messungen von Juli bis September 1988

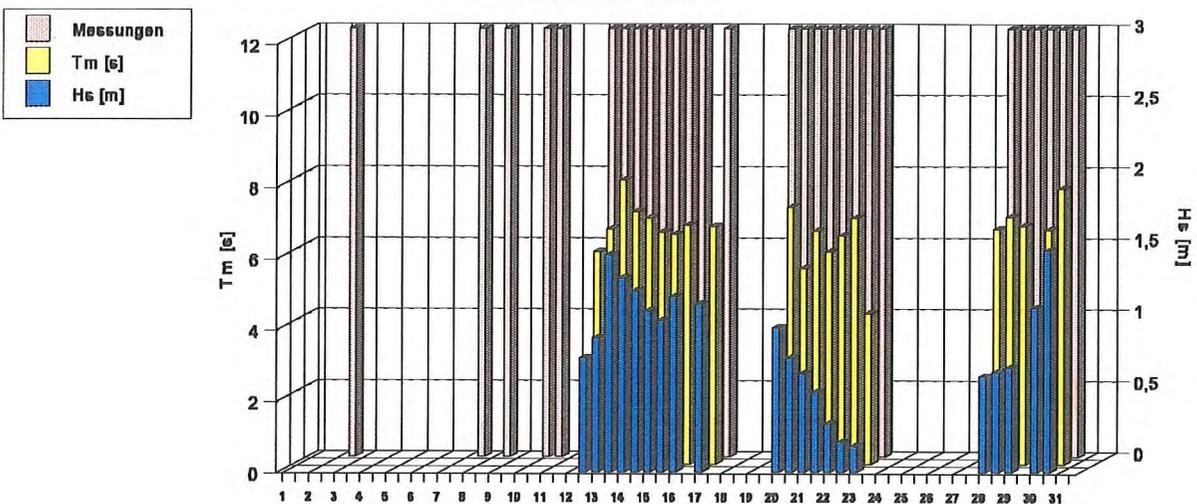
Oktober 1988



November 1988

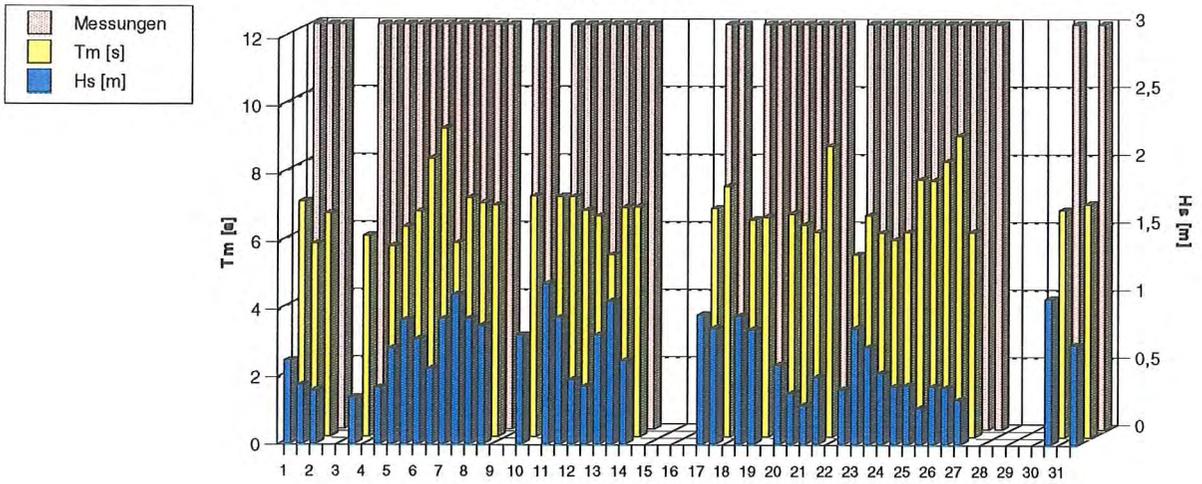


Dezember 1988

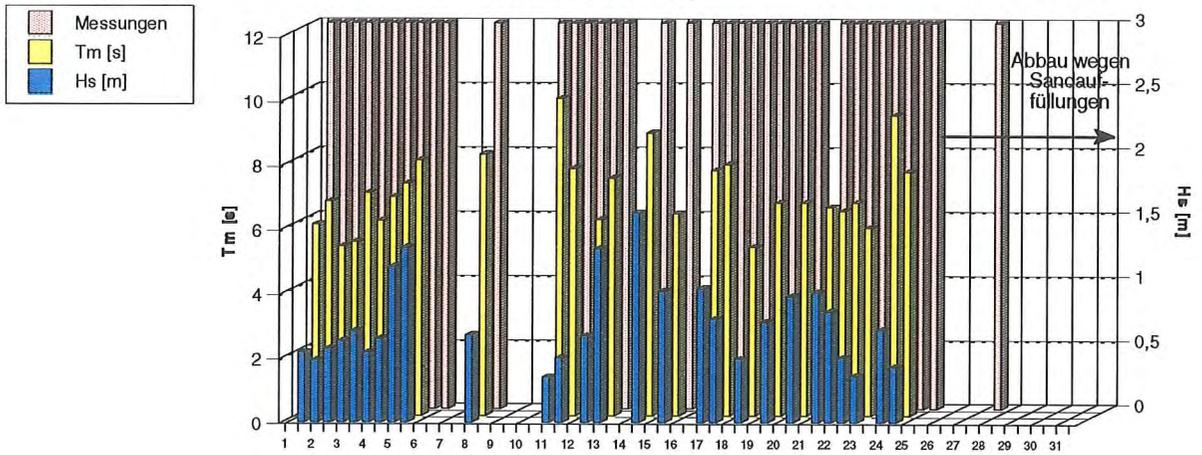


Messungen von Oktober bis Dezember 1988

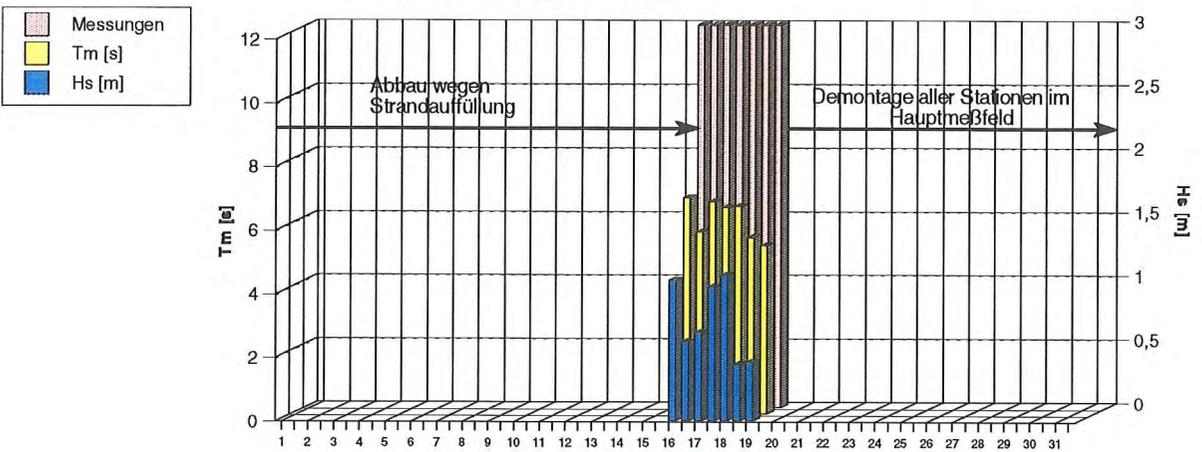
Januar 1989



Februar 1989

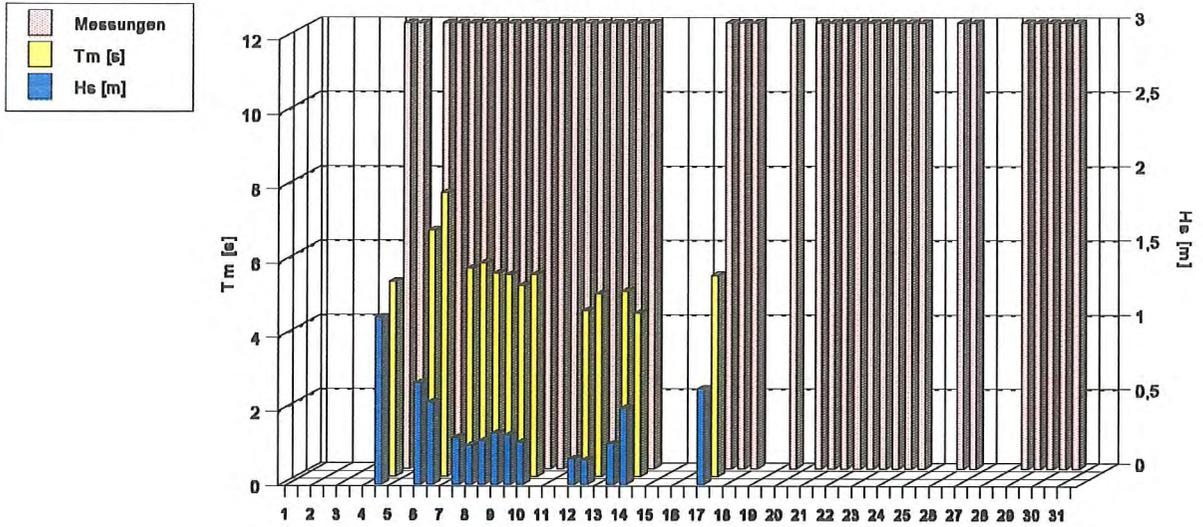


März 1989



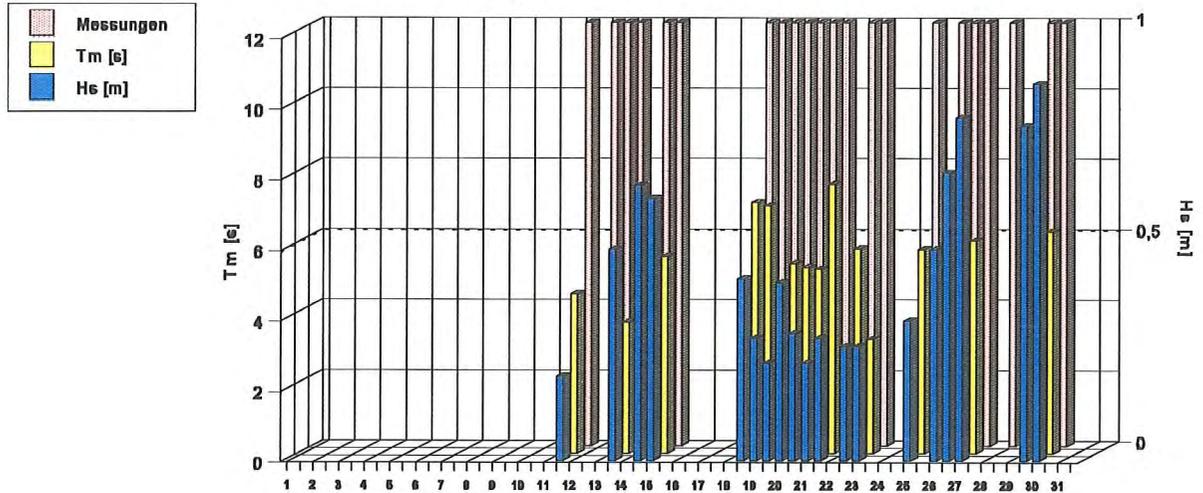
Messungen von Januar bis März 1989 (Ende Februar bis Mitte März: Abbau wegen Sandauffüllung)

April 1989



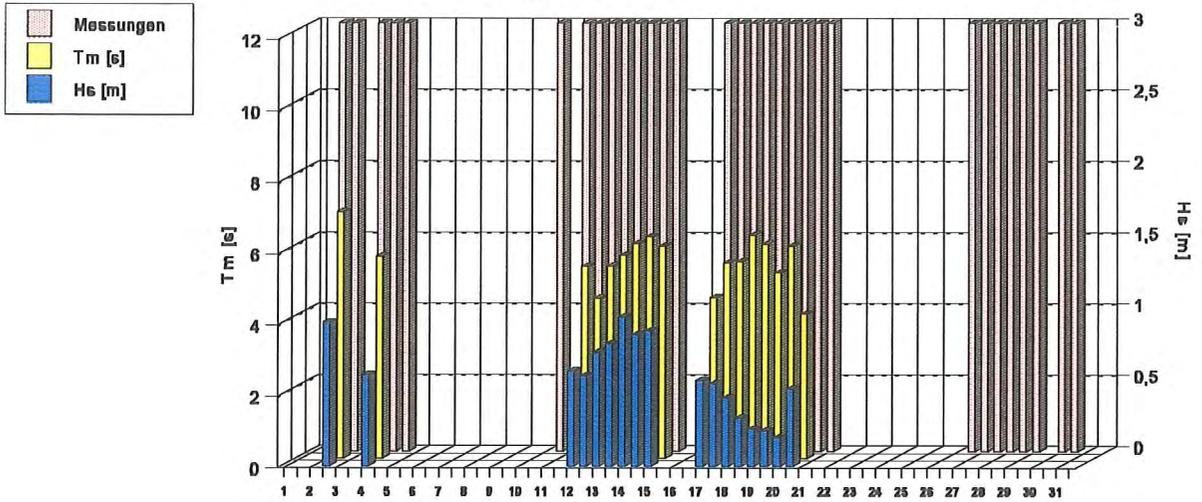
Abbau wegen Strandauffüllung

September 1989

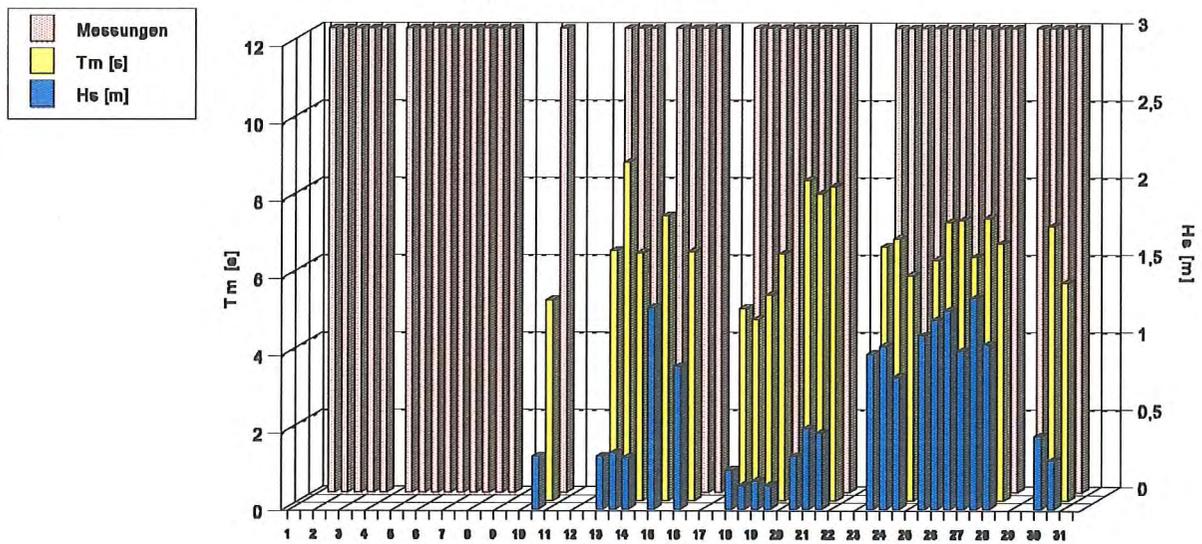


Messungen April und September 1989 (Mai - Mitte September: Abbau wegen Strandauffüllung)

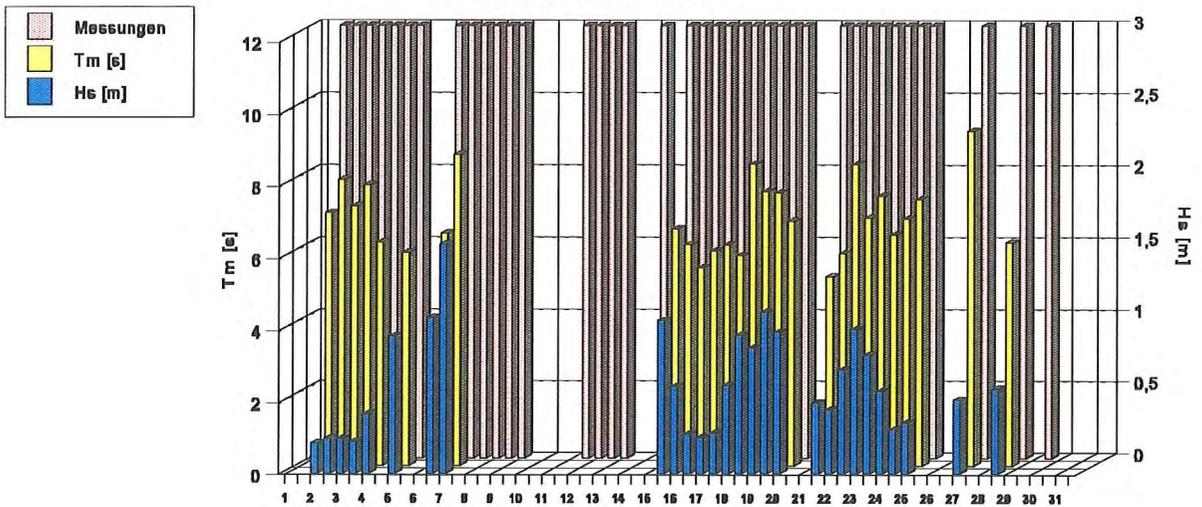
Oktober 1989



November 1989

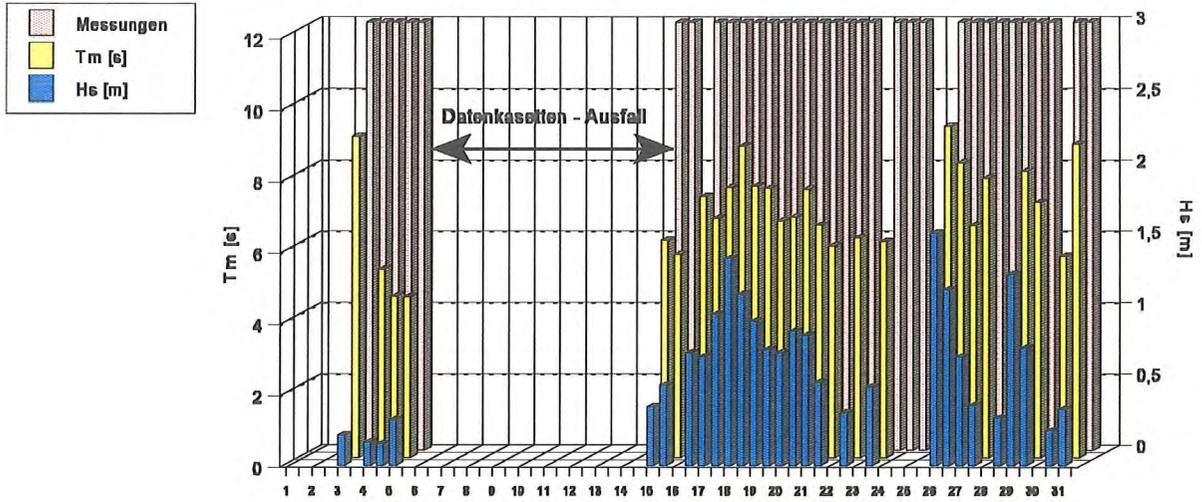


Dezember 1989

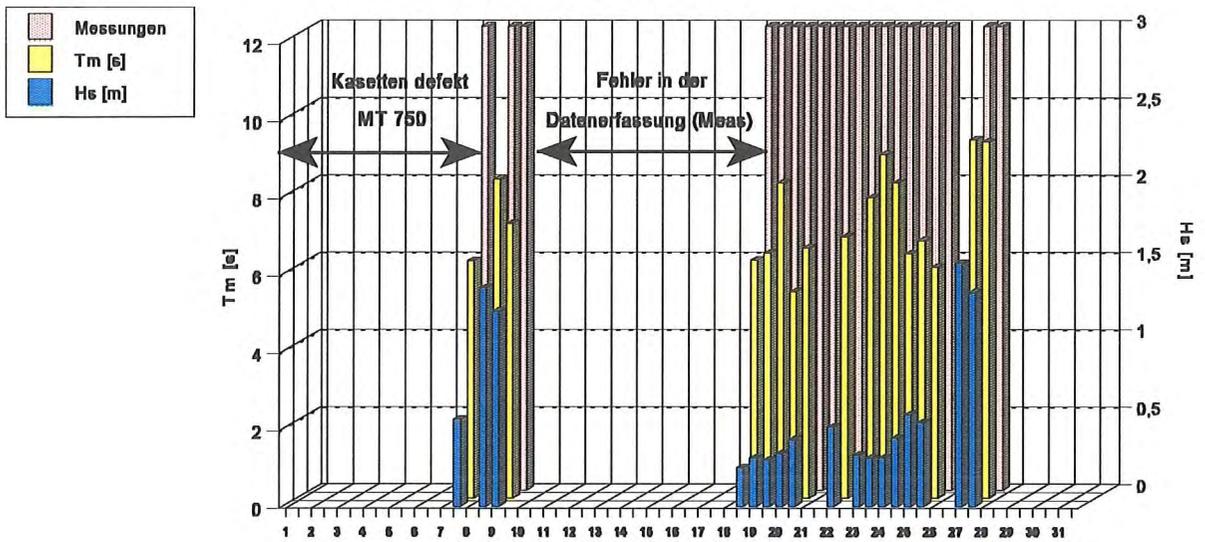


Messungen von Oktober bis Dezember 1989

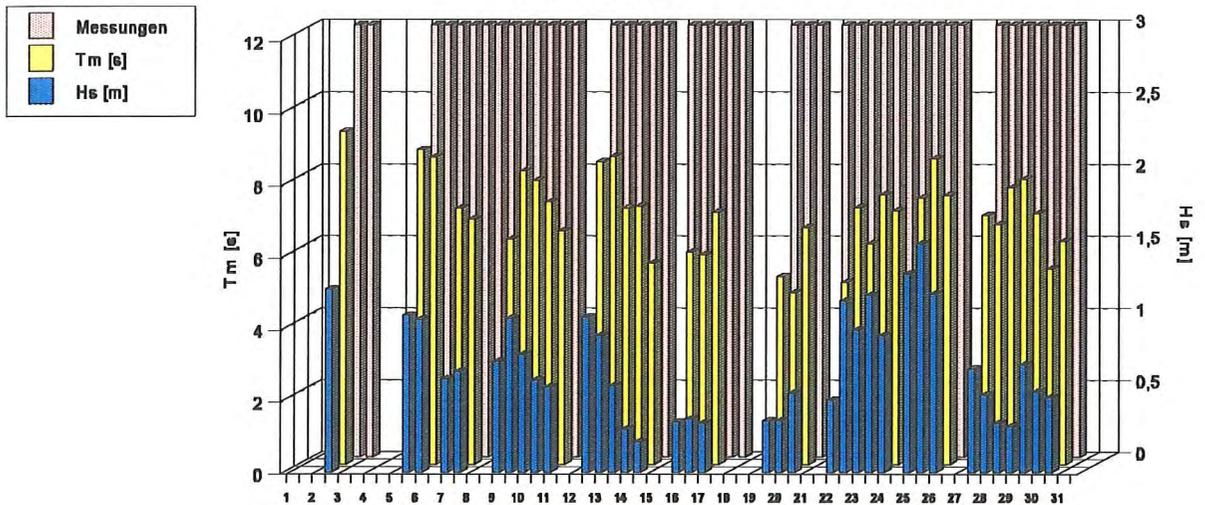
Januar 1990



Februar 1990

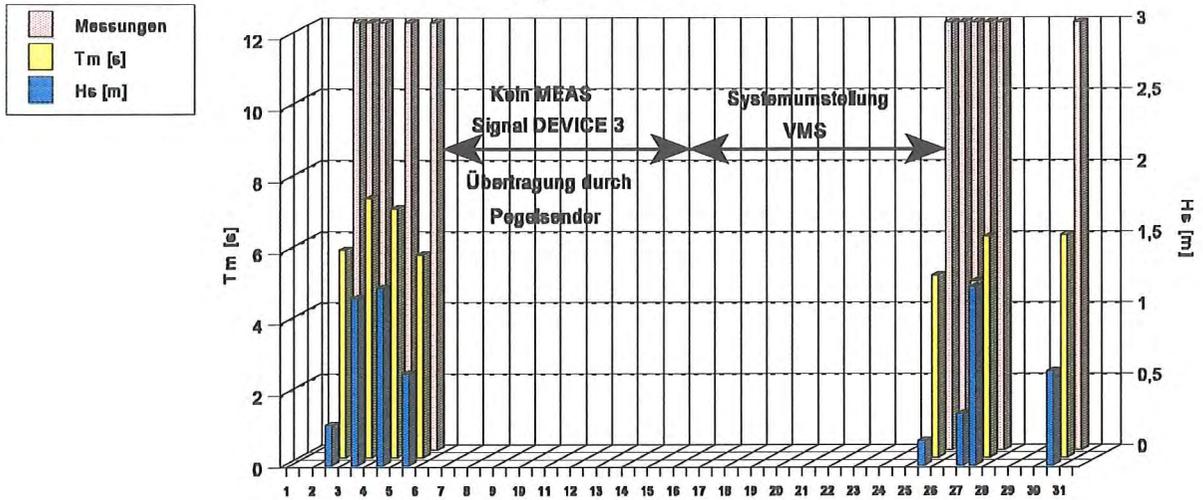


März 1990

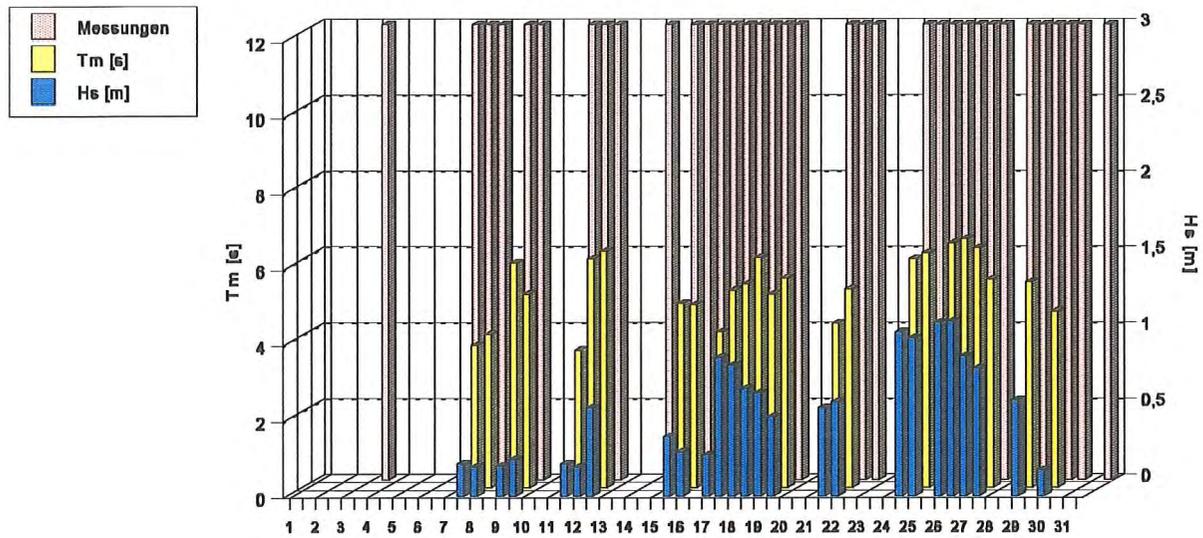


Messungen von Januar bis März 1990

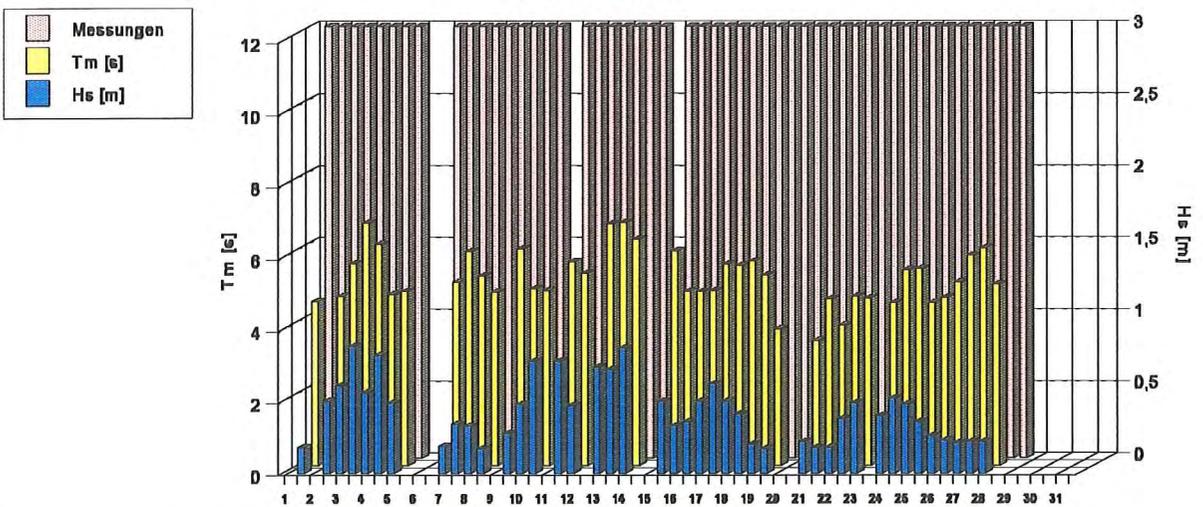
April 1990



Mai 1990

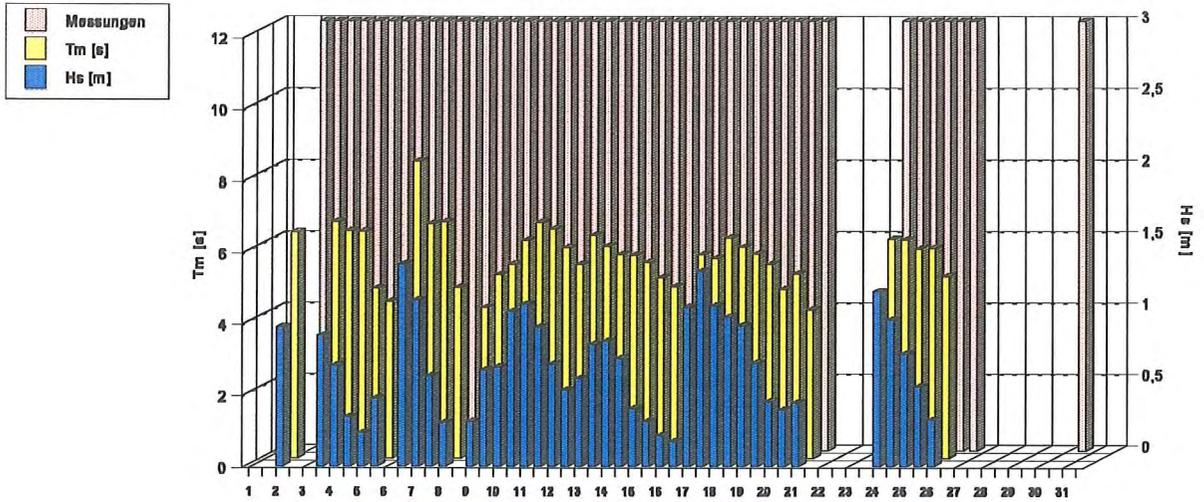


Juni 1990

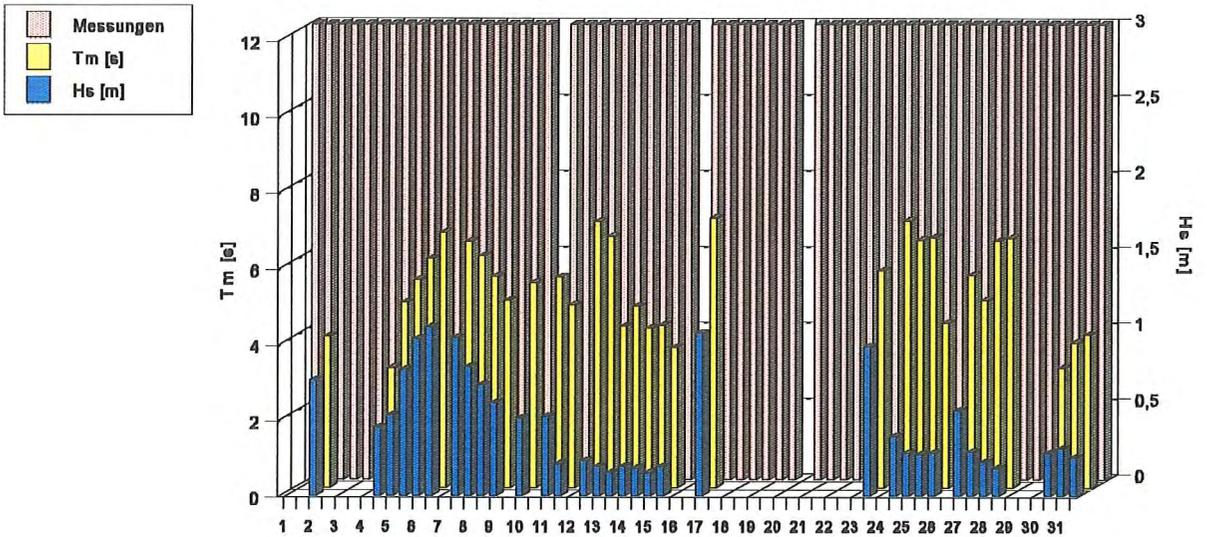


Messungen April bis Juni 1990

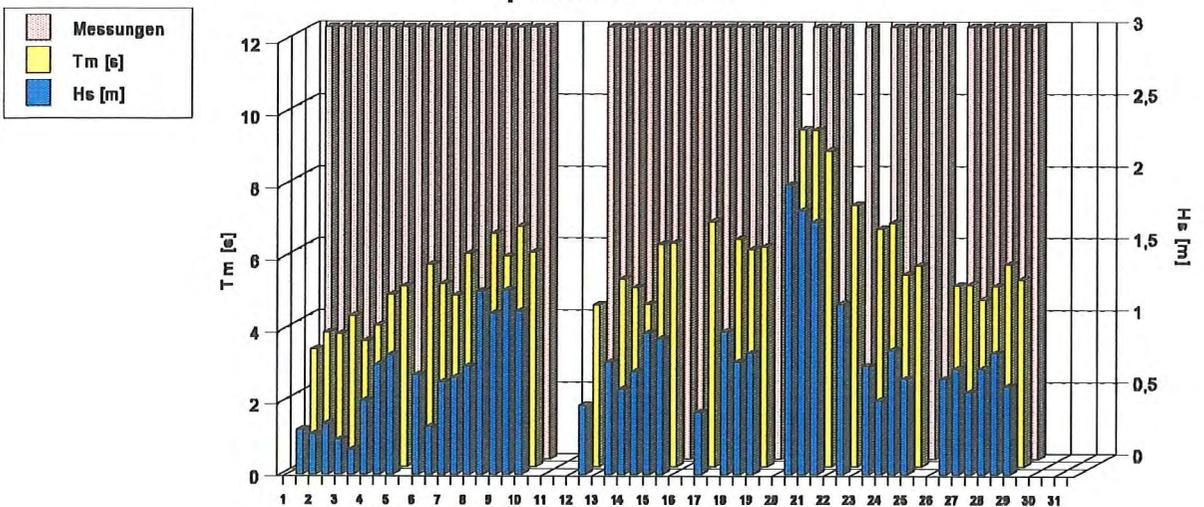
Juli 1990



August 1990

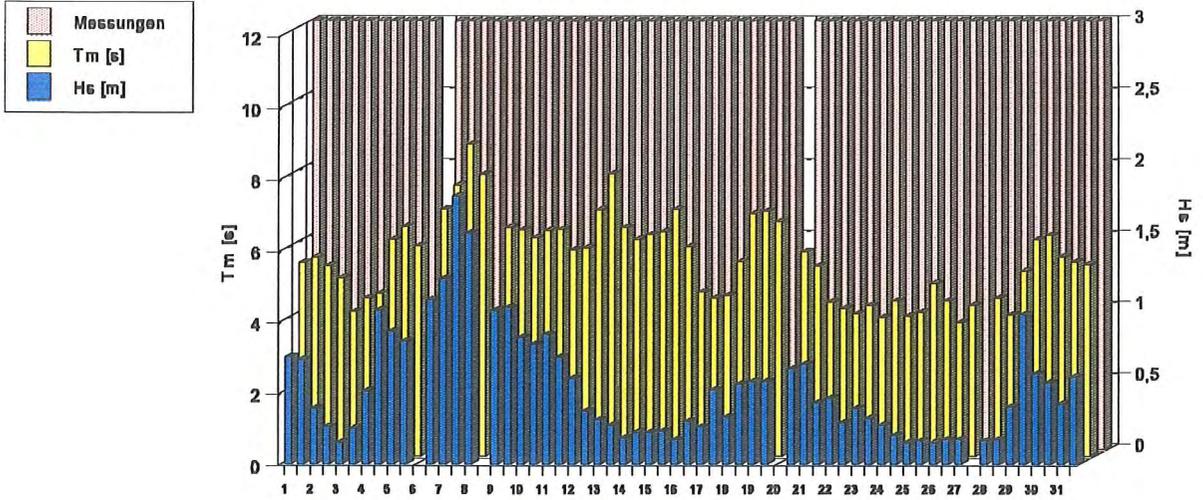


September 1990

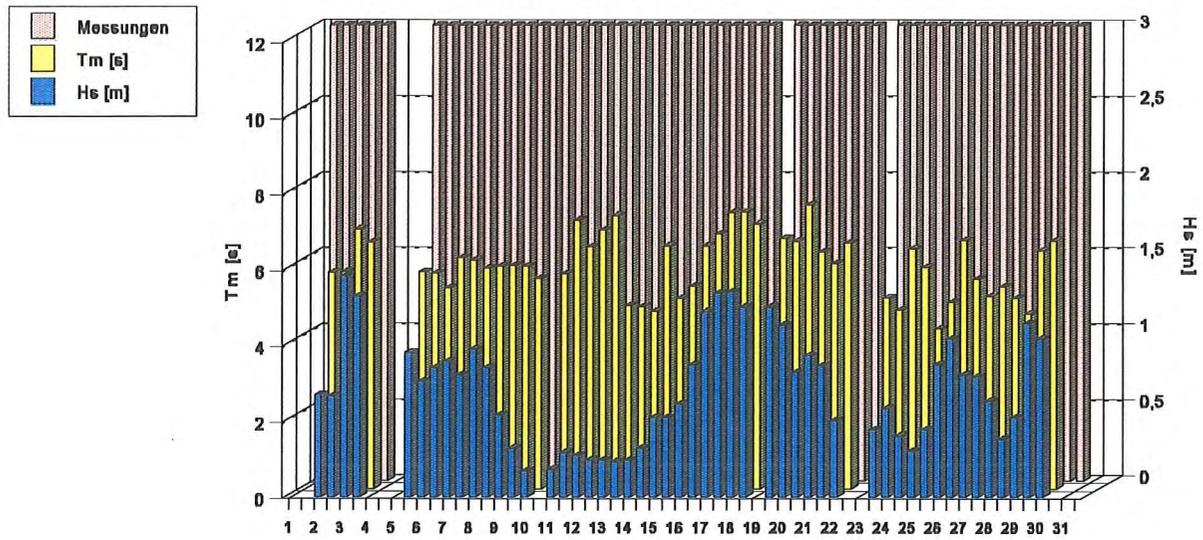


Messungen von Juli bis September 1990

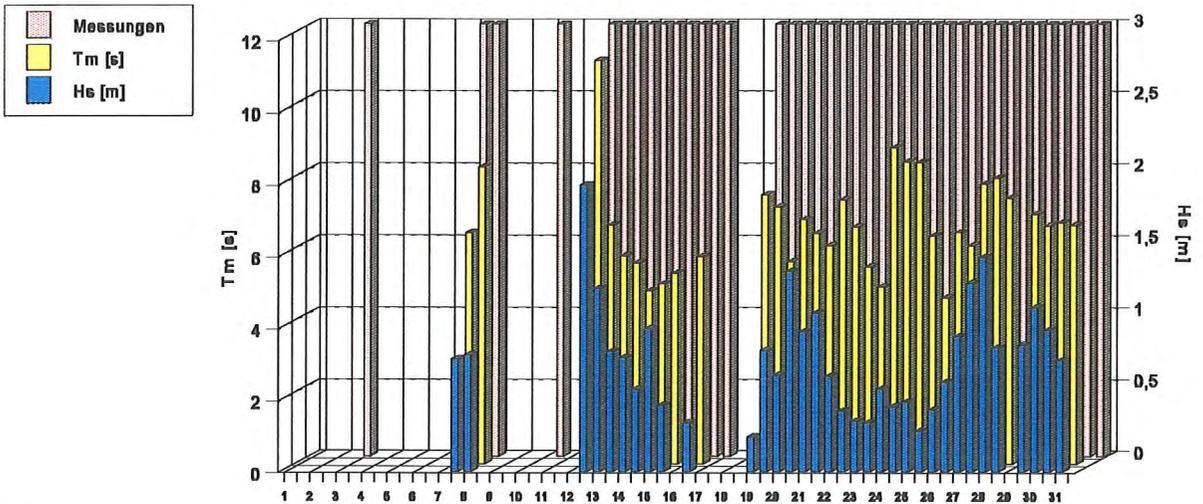
Oktober 1990



November 1990

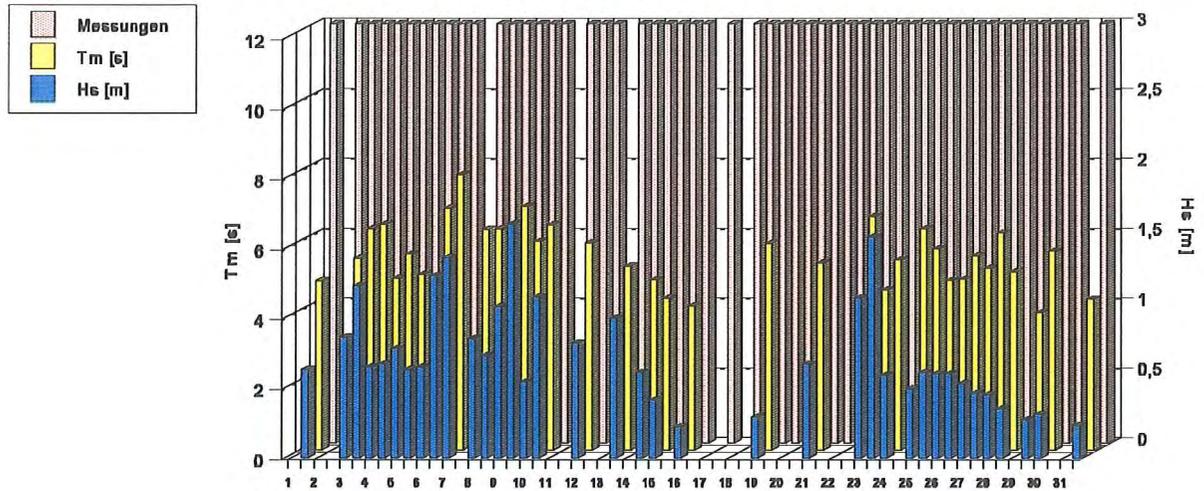


Dezember 1990

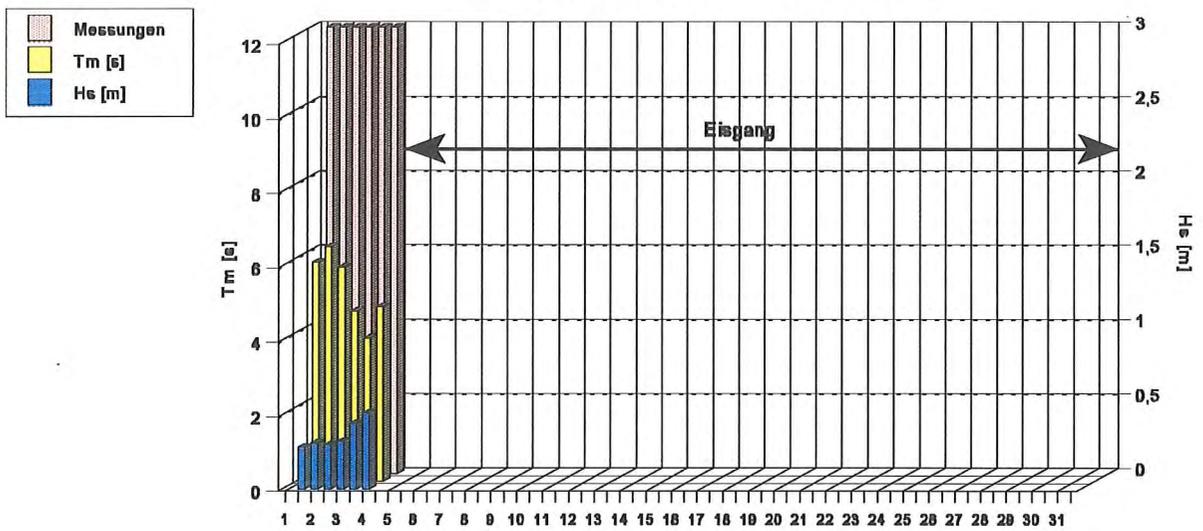


Messungen von Oktober bis Dezember 1990

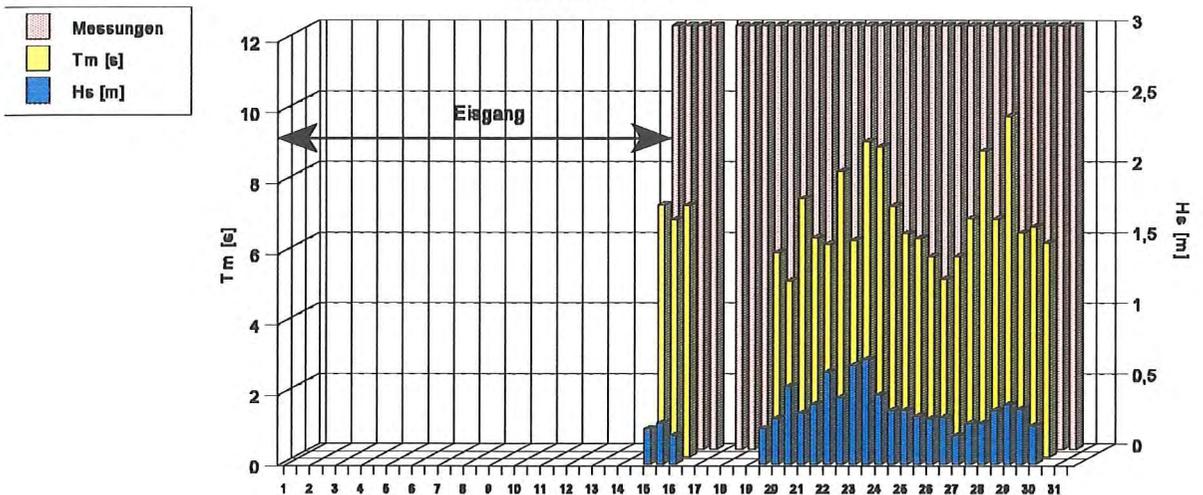
Januar 1991



Februar 1991

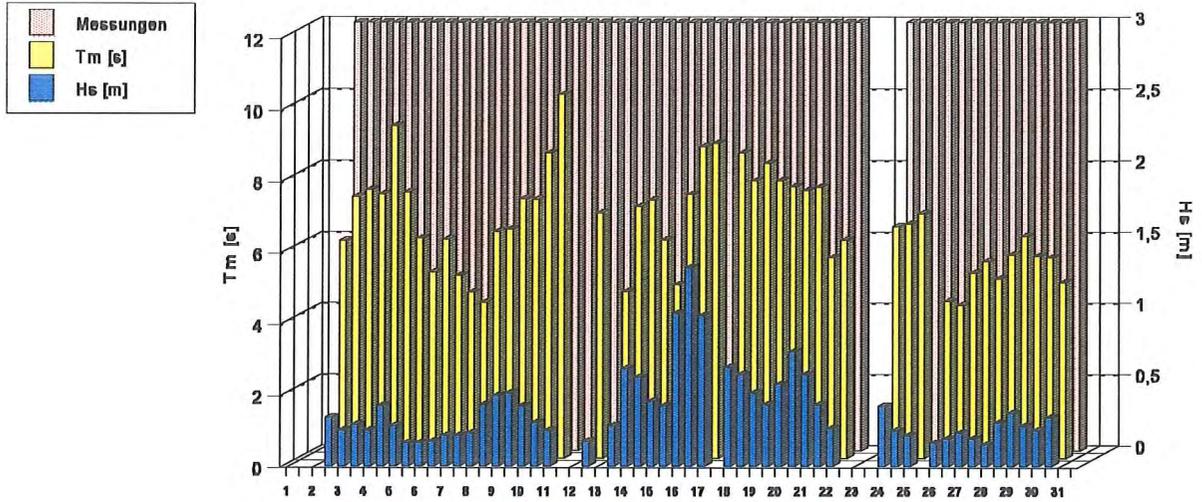


März 1991

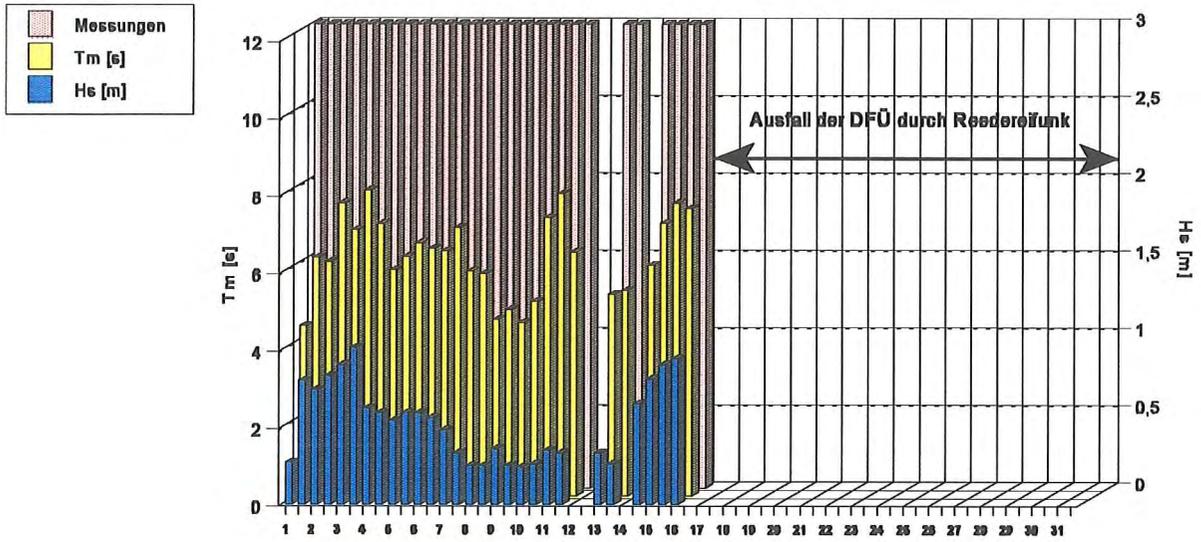


Messungen von Januar bis März 1991 (Anfang Februar bis Mitte März: Abbau wegen Eisgang)

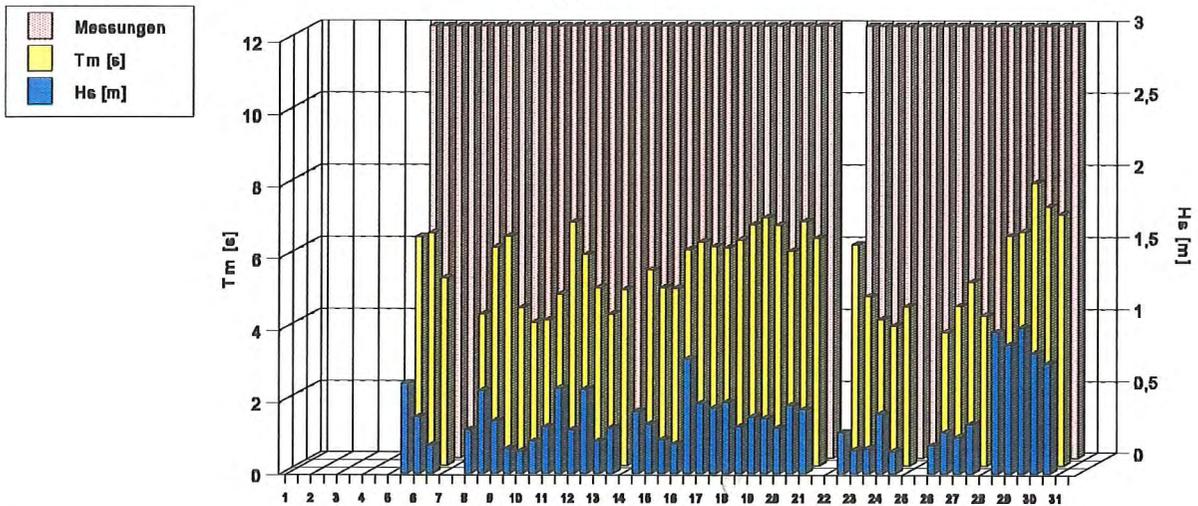
April 1991



Mai 1991

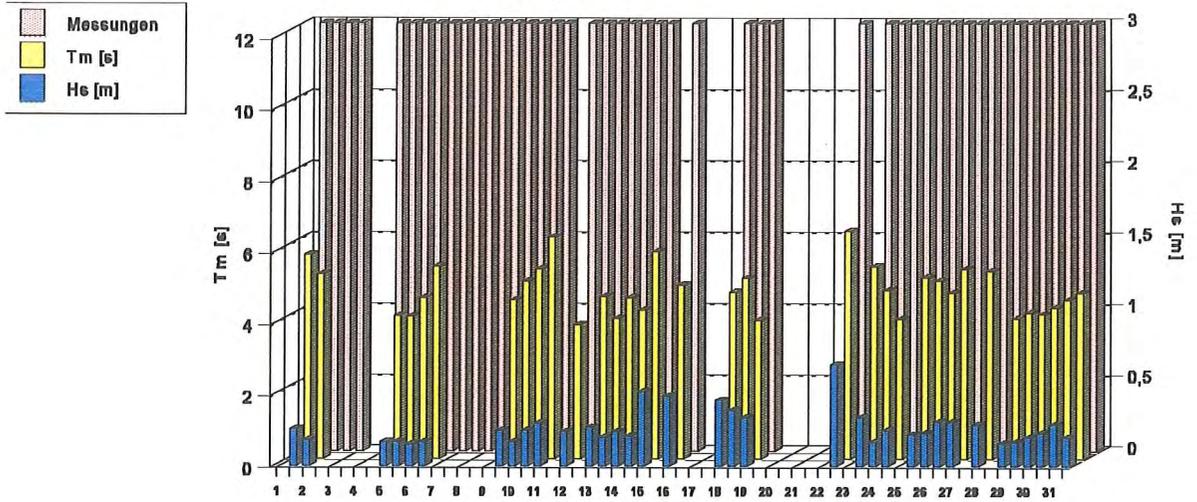


Juni 1991

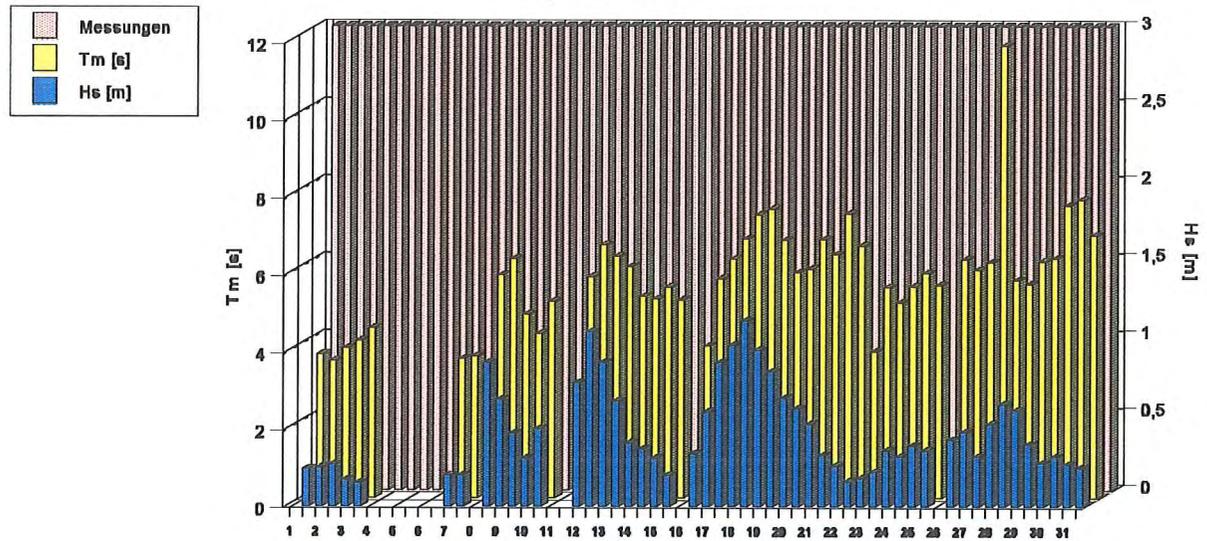


Messungen von April bis Juni 1991

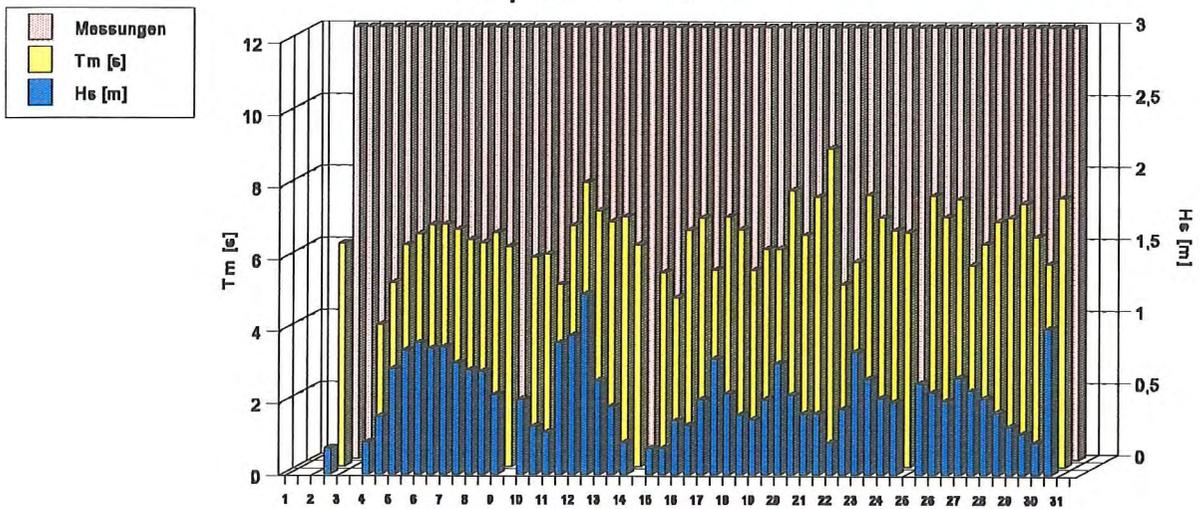
Juli 1991



August 1991

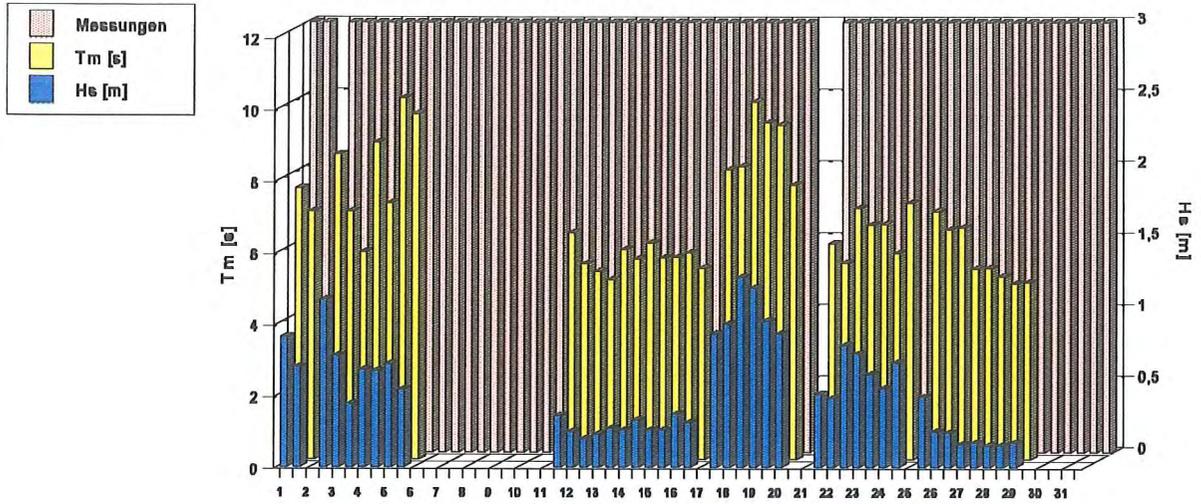


September 1991

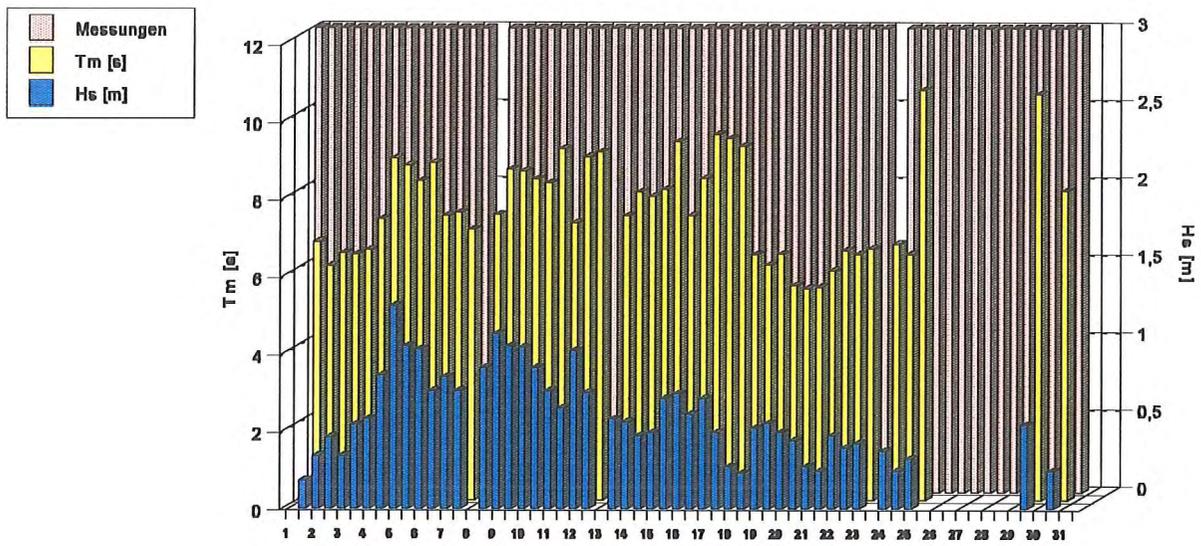


Messungen von Juli bis September 1991

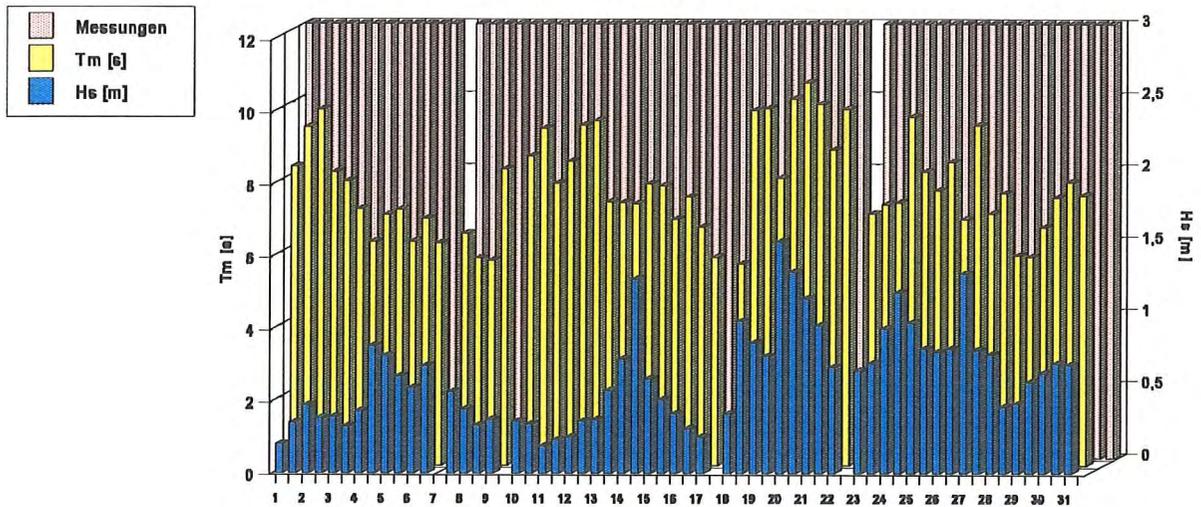
Oktober 1991



November 1991

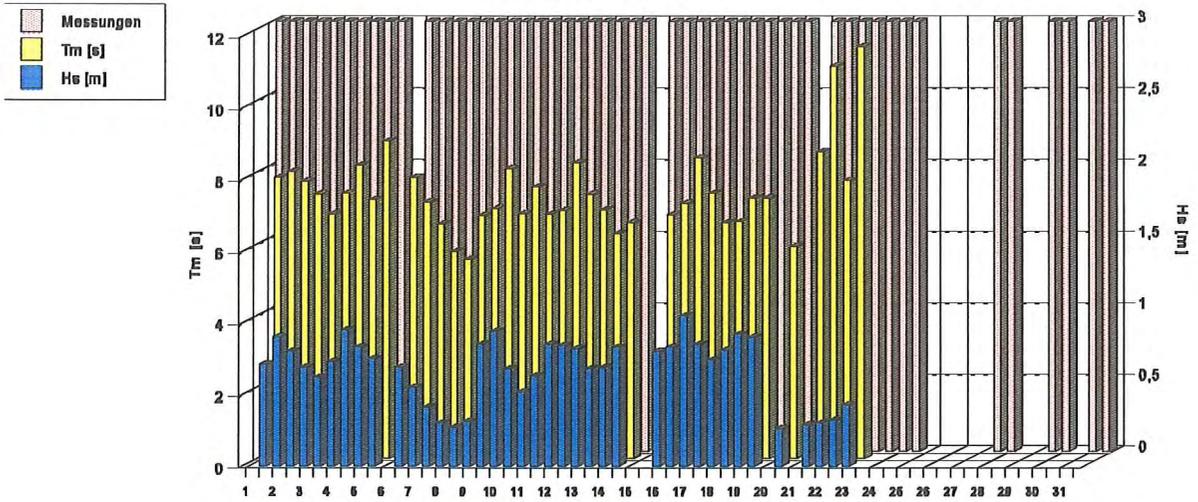


Dezember 1991

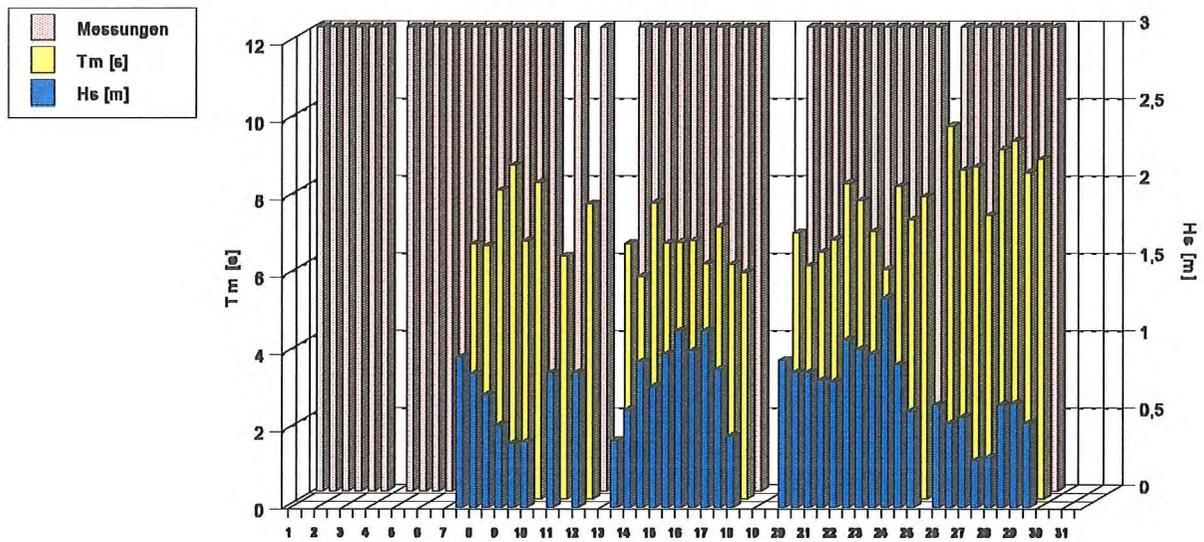


Messungen von Oktober bis Dezember 1991

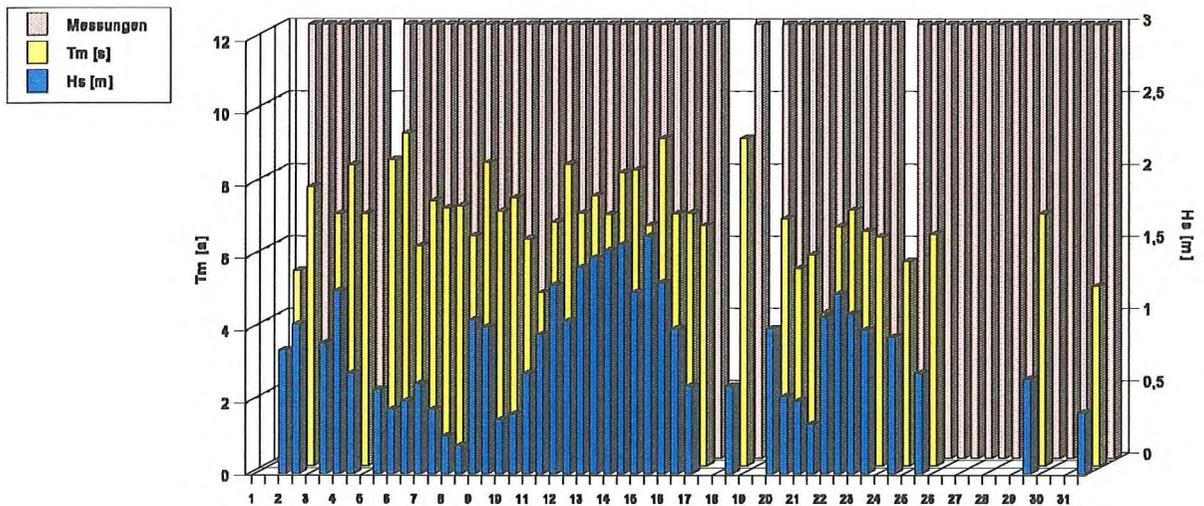
Januar 1992



Februar 1992

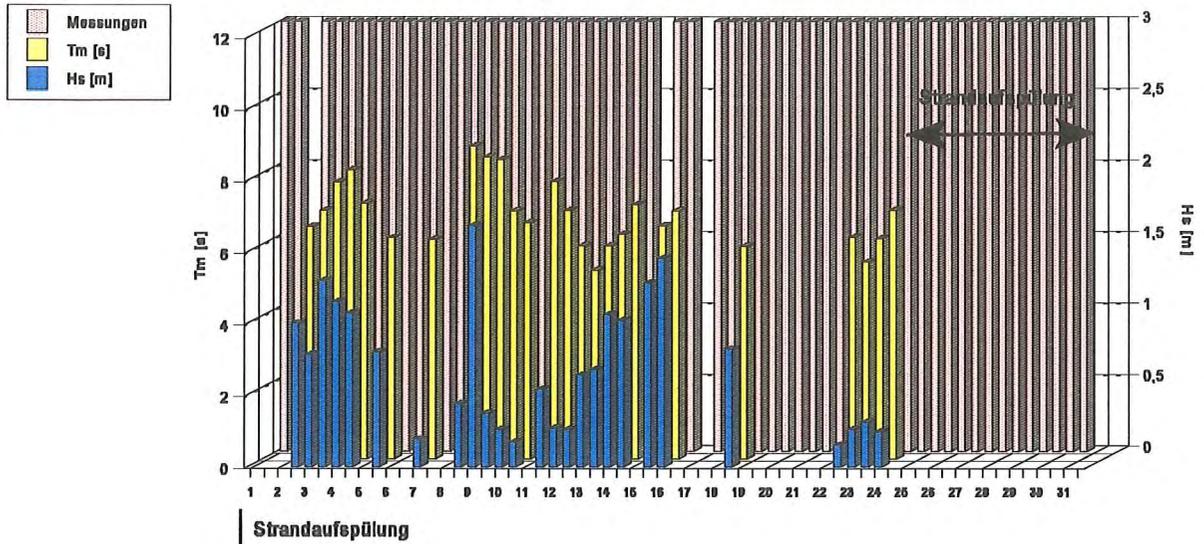


März 1992

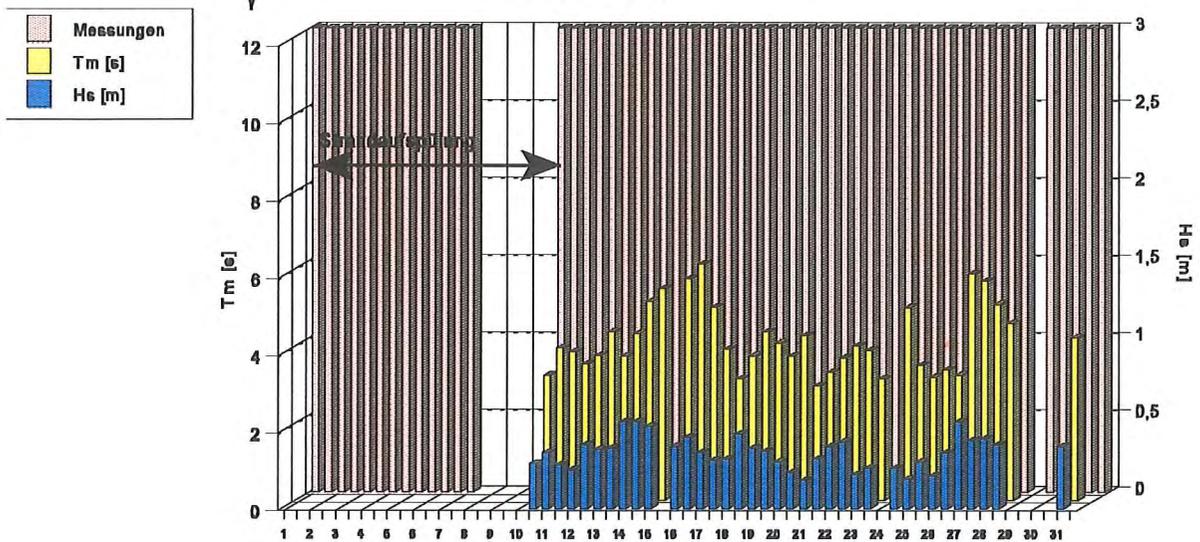


Messungen von Januar bis März 1992

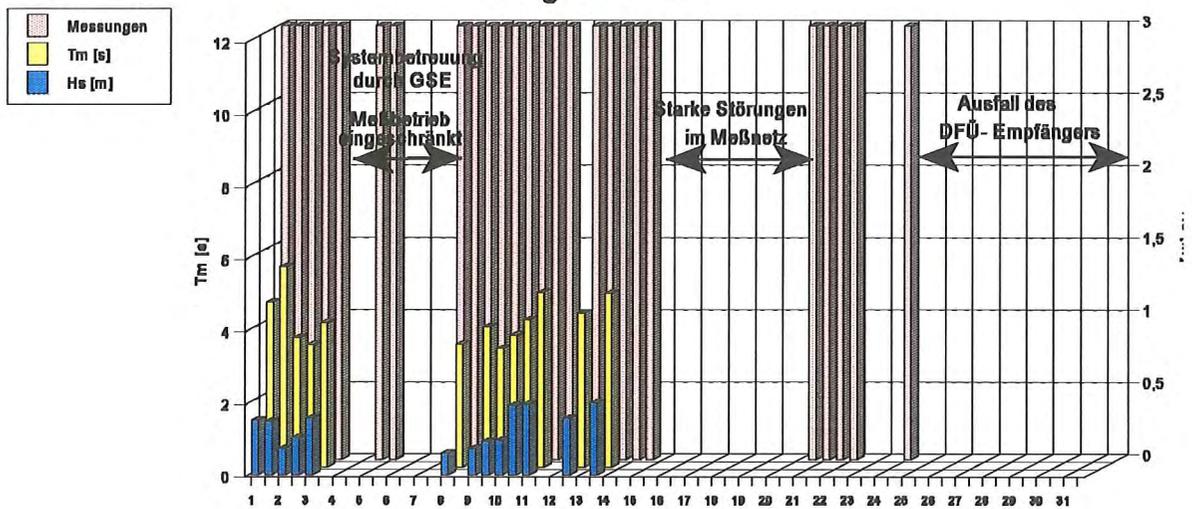
April 1992



Juli 1992



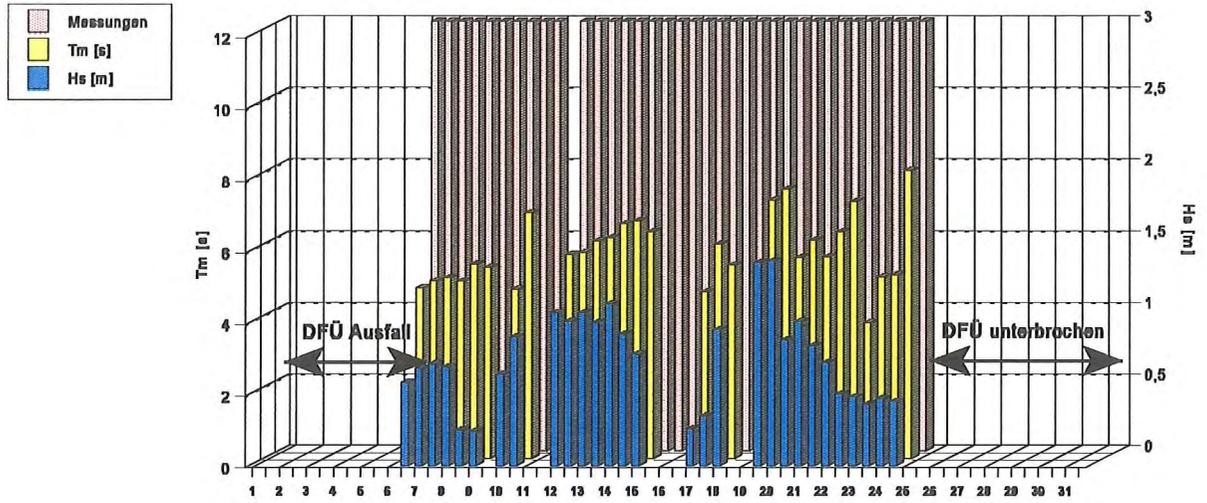
August 1992



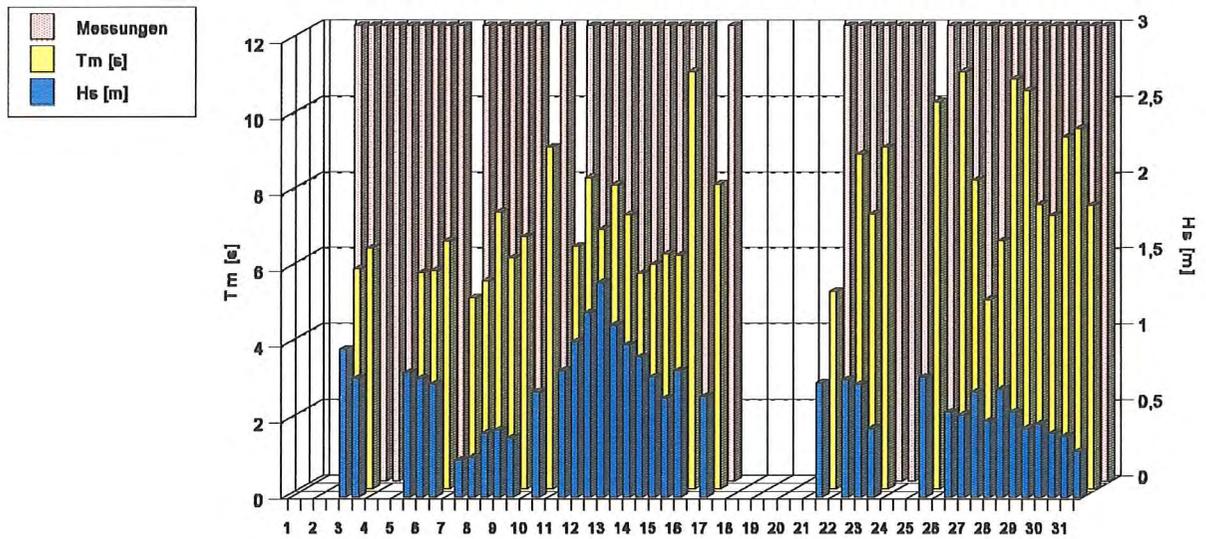
Messungen von April bis August 1992

↓
DFÜ Ausfall

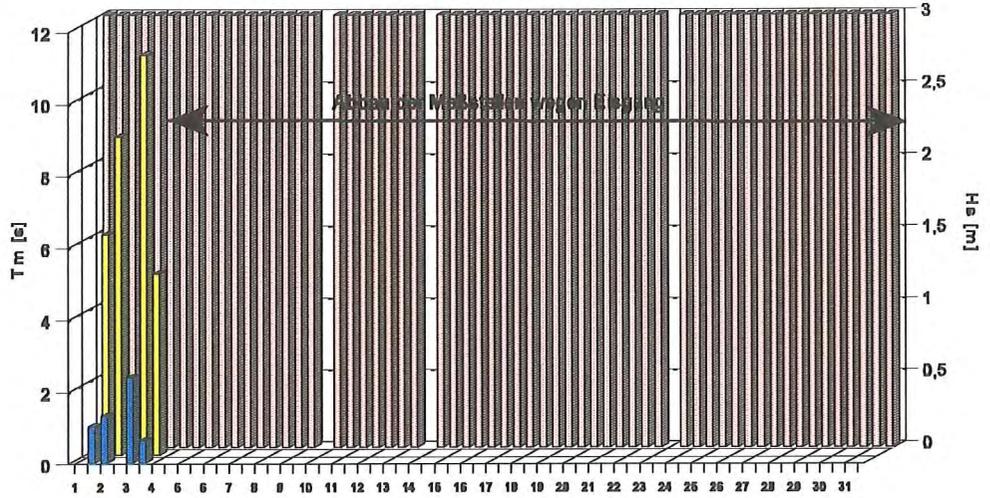
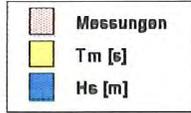
Nov 92



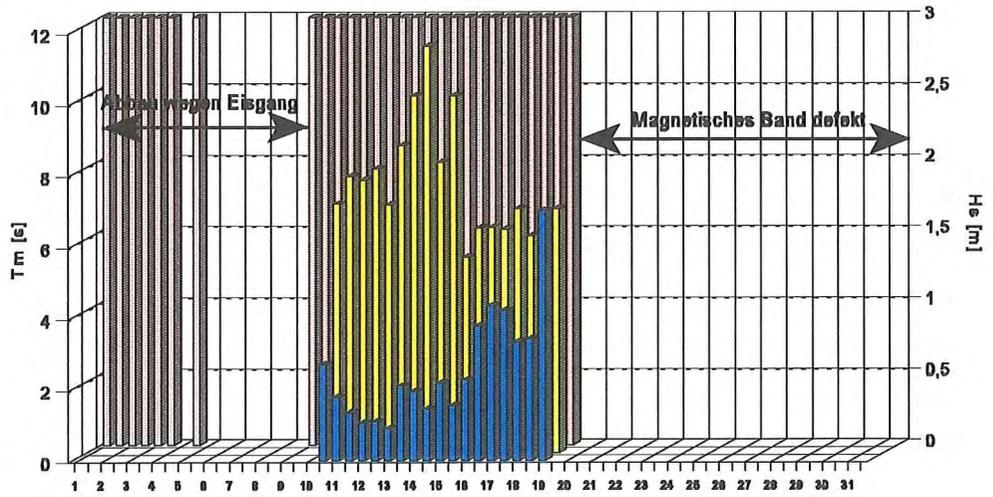
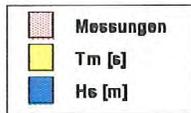
Dec 92



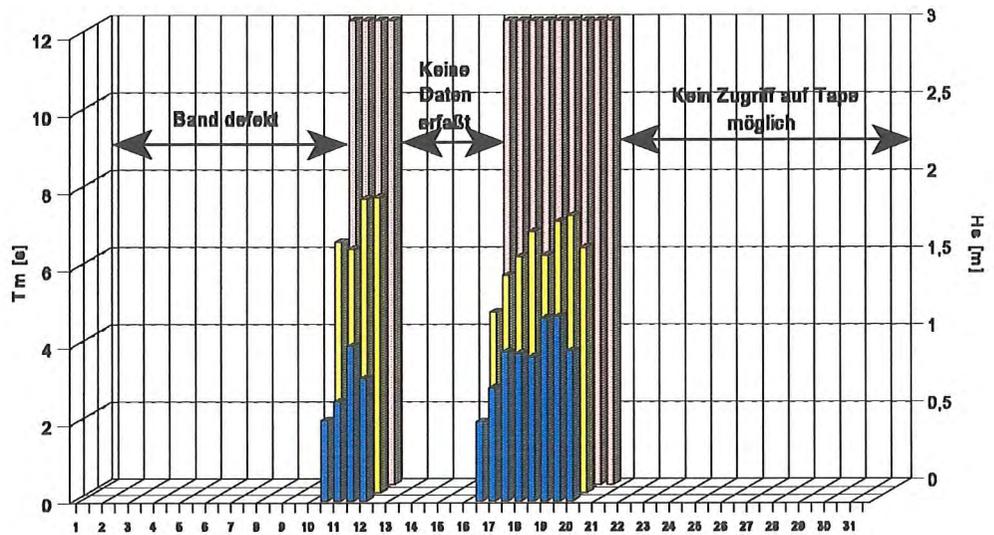
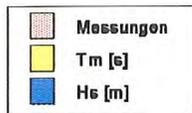
Januar 1993



Februar 1993

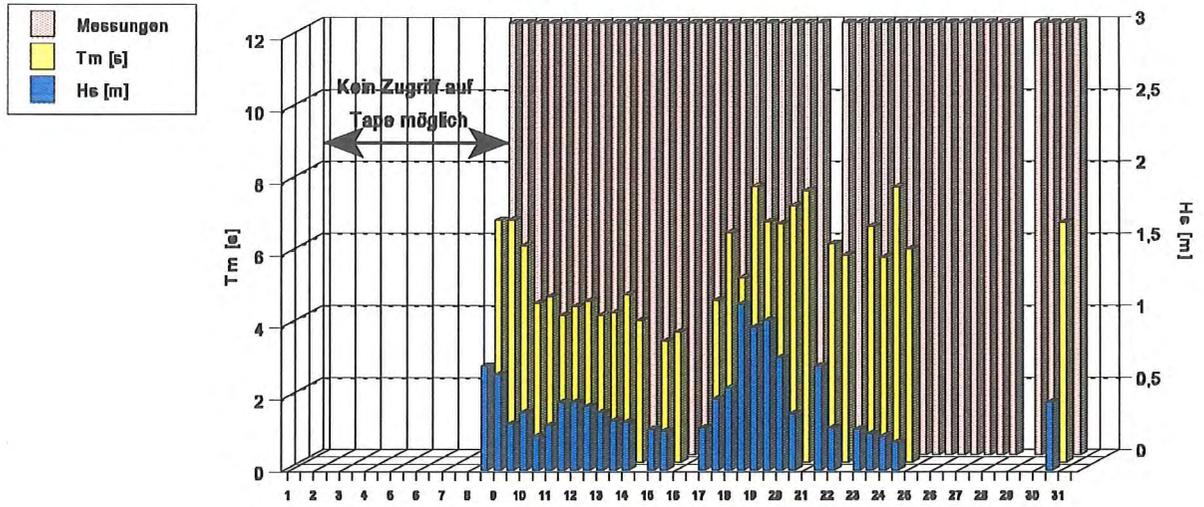


März 1993

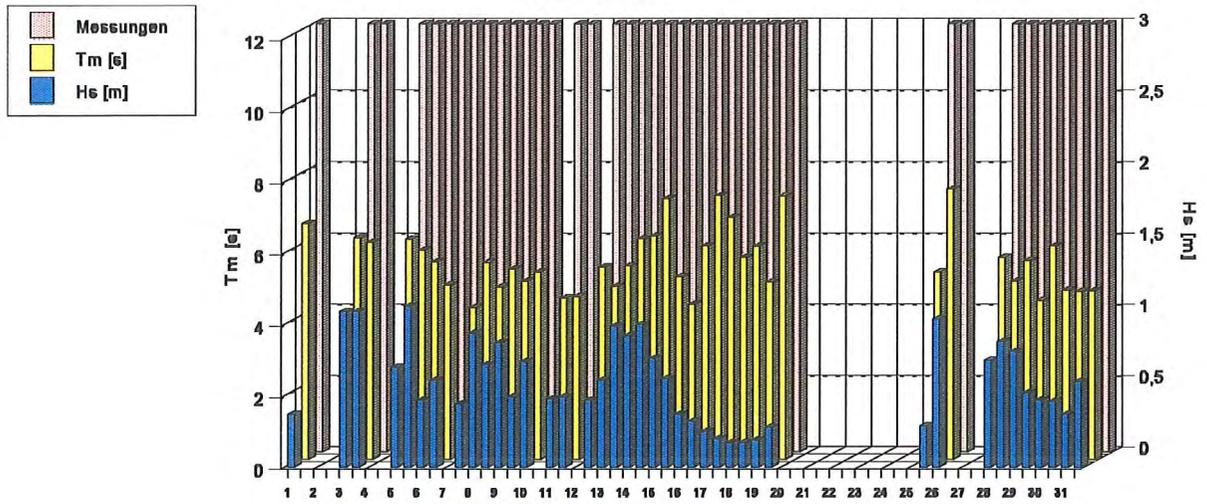


Messungen von Januar bis März 1993

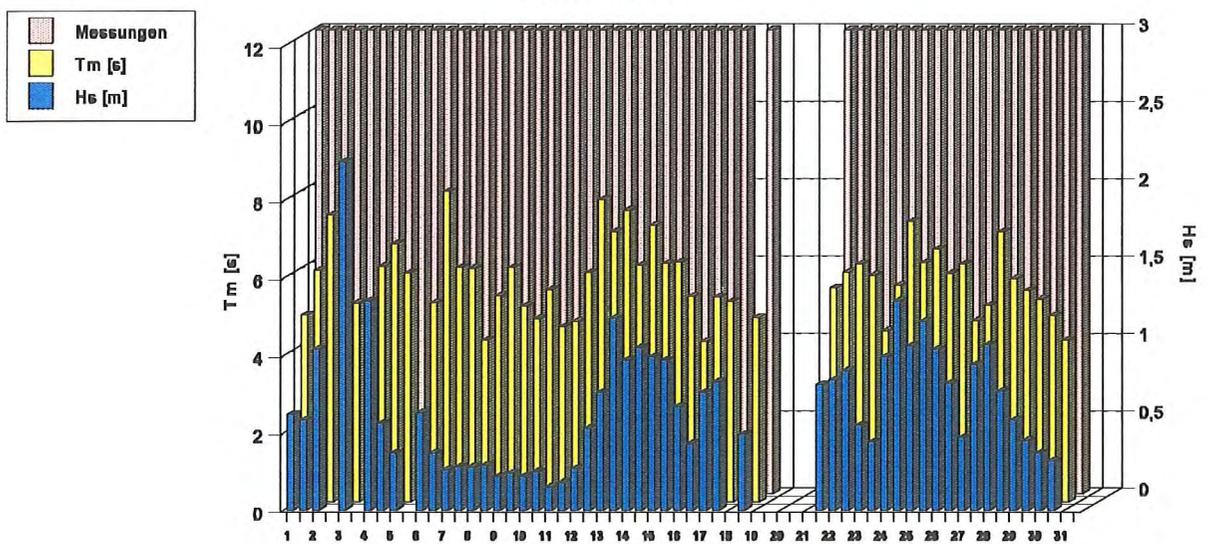
April 1993



Mai 1993

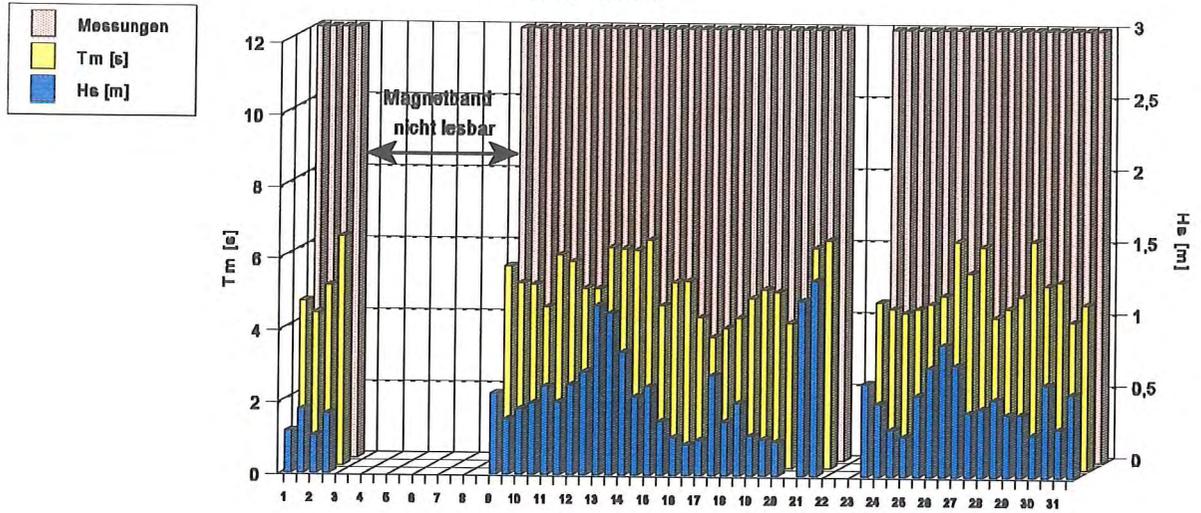


Juni 1993

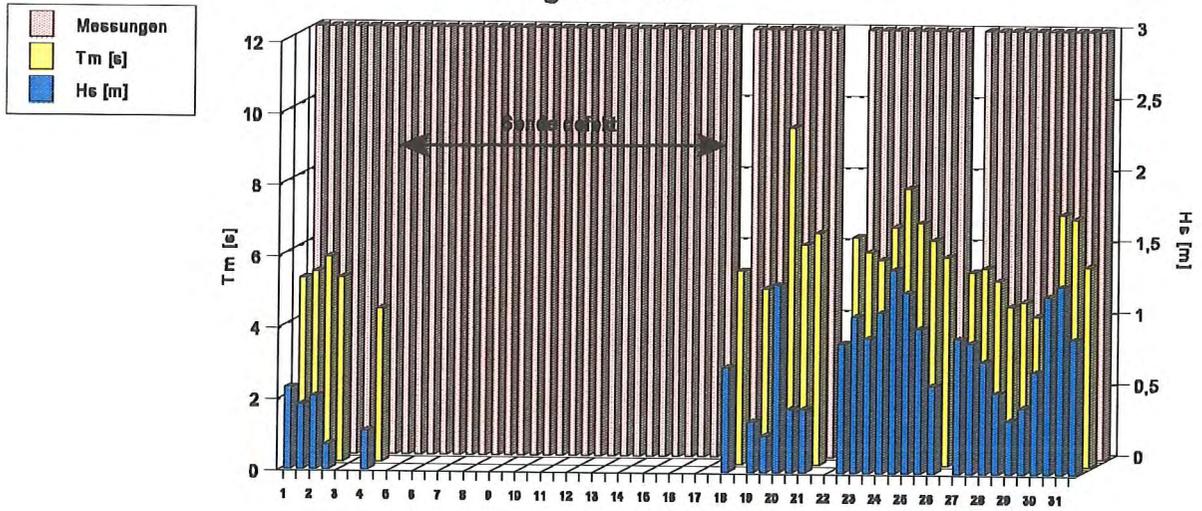


Messungen von April bis Juni 1993

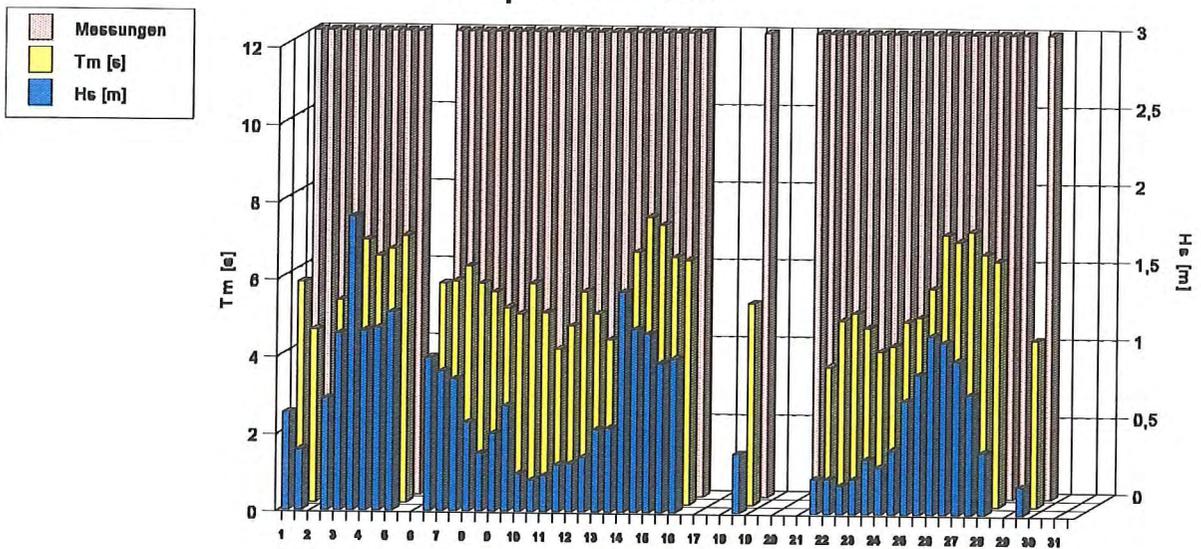
Juli 1993



August 1993

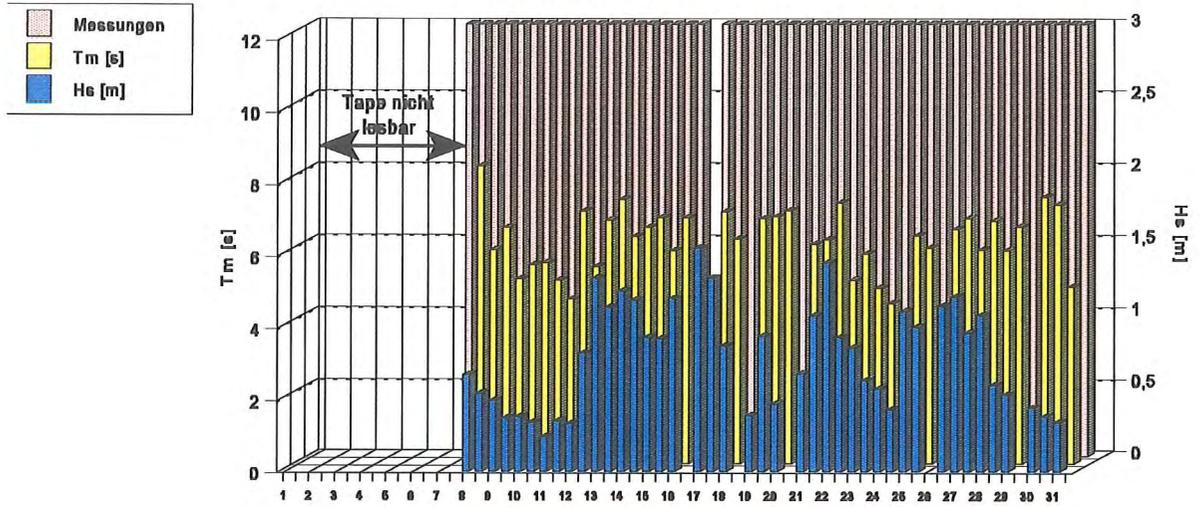


September 1993

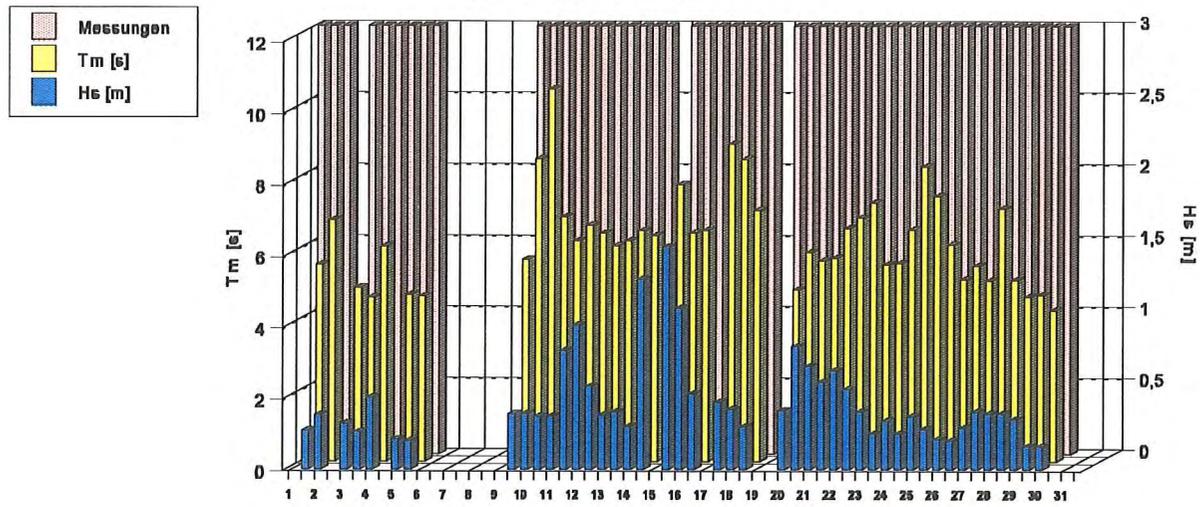


Messungen von Juli bis September 1993

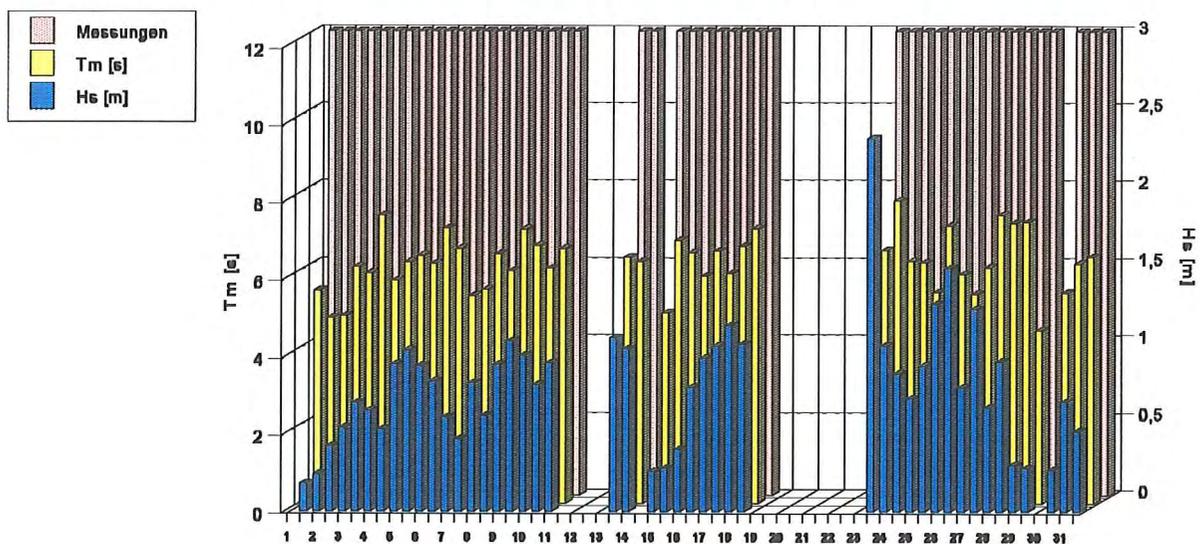
Oktober 1993



November 1993

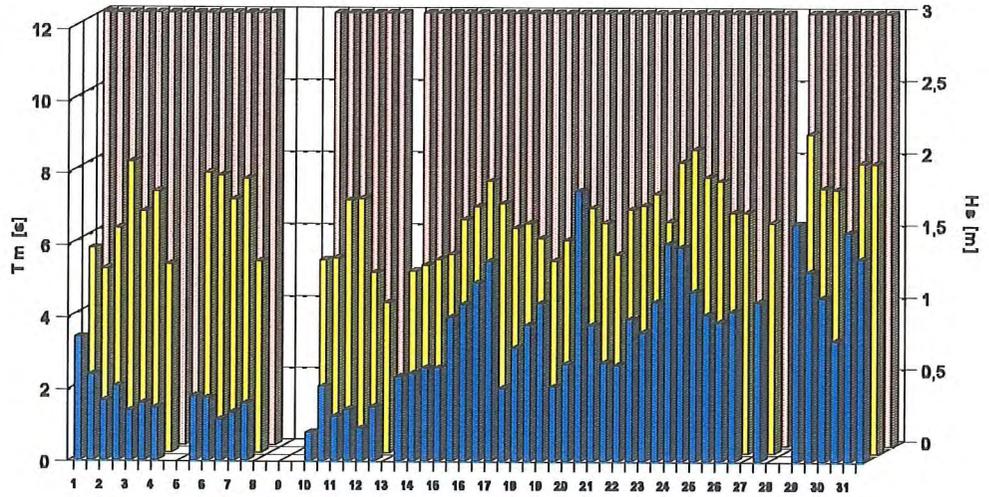
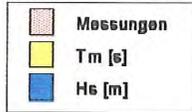


Dezember 1993



Messungen von Oktober bis Dezember 1993

Januar 1994



Februar 1994

