

# Fachplan Küstenschutz Sylt

## Grundlagen

### Hydrologie

#### Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Abbildungsverzeichnis .....	2
Wasserstand .....	4
Pegelmessstationen .....	4
Darstellung der Tidekennwerte .....	6
Tidekurve .....	7
Sturmfluten .....	8
Erhöhte Wasserstände .....	8
Eintrittswahrscheinlichkeiten .....	8
Wind .....	9
Tideströmungen .....	16
Allgemeine Strömungsmuster .....	16
Untersuchungen zu den Strömungsverhältnissen an der Hörnum-Odde .....	23
Tideströmungen und Wassertransporte .....	25
Seegang .....	27
Allgemeines zum Seegang .....	27
Untersuchungen zum Seegang an der Hörnum-Odde .....	28
Energiefluss .....	29
Energiefluss Südteil (Westerland-Rantum-Hörnum) .....	30
Energiefluss Nordteil (Westerland-Wenningstedt-Kampen-List) .....	31
Seegangstatistik Westerland .....	32

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Pegelmessstationen <i>LKN-SH</i> .....	4
Abb. 2: Pegel Munkmarsch <i>Hinrichsen (09.09.2005 Nr. 122)</i> .....	4
Abb. 3: Pegel Rantumdamm <i>Hinrichsen (24.08.2005 Nr. 221)</i> .....	4
Abb. 4: Pegel Messpfahl Westerland <i>LKN-SH</i> .....	5
Abb. 5: Mittlere Tidekurve am Pegel Hörnum 1998/2007 <i>Pegel: Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning</i> .....	7
Abb. 6: Lage der Windmessstationen <i>LKN-SH</i> .....	9
Abb. 7: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. –richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1967-1977) <i>LKN-SH</i> .....	10
Abb. 8: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. –richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1978-1988) <i>LKN-SH</i> .....	10
Abb. 9: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u.–richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1989-1999) <i>LKN-SH</i> .....	10
Abb. 10: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u.–richtungen, Messstation List (Zeitraum: 2000-2008) <i>LKN-SH</i> .....	10
Abb. 11: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Windmessstation List (Zeiträume: 1967/77-2000/2008) <i>LKN-SH</i> .....	10
Abb. 12: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Messpfahl Westerland (Zeiträume: 1987/1997-1998/2008) <i>LKN-SH</i> .....	11
Abb. 13: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. –richtungen, Messpfahl Westerland (Zeitraum: 1987-1998) <i>LKN-SH</i> .....	11
Abb. 14: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. –richtungen, Messpfahl Westerland (Zeitraum: 1998-2008) <i>LKN-SH</i> .....	11
Abb. 15: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Messpfahl Westerland (Zeiträume: 1987/1997-1998/2008) <i>LKN-SH</i> .....	11
Abb. 16: Relative Häufigkeit: Windgeschw. und –richtungen, Windmessst. Hörnum (Zeitraum: 1983-1996) <i>LKN-SH11</i> .....	11
Abb. 17: Die Animation der vom BSH durchgeführten Modellierungen der Tide vom 17.06.2008 <i>BSH</i> .....	16
Abb. 18: Übersichtskarte Sylt mit Lage der gesondert betrachteten Modellpunkte <i>LKN-SH (Kartengrundlage: BSH)</i> .....	18
Abb. 19: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 06:30 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	18
Abb. 20: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 7:30 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	19
Abb. 21: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 09:00 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	19
Abb. 22: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 09:45 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	20
Abb. 23: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 11:00 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	20
Abb. 24: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 11:45 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	21
Abb. 25: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 12:45 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	21
Abb. 26: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 14:45 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	22
Abb. 27: Berechnete Tidenströmungen 17.06.2008 15:30 Uhr MEZ <i>BSH</i> .....	22
Abb. 28: Relative Häufigkeit: Windgeschw. und –richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1978-1988) <i>LKN-SH</i> .....	23
Abb. 29: Mittlere (links) und maximale (rechts) Ebbestromgeschw., Hörnum-Odde <i>LKN-SH</i> .....	23
Abb. 30: Reststrom (links) und Reststromweg (rechts), Hörnum-Odde <i>LKN-SH</i> .....	24
Abb. 32: Ausrichtung der Küstenlinie <i>LKN-SH (04.01.2011)</i> .....	29
Abb. 33: Energiefluss 01.07.1988 bis 01.07.2010 <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	30
Abb. 34: küstenparallele Energieflüsse (01.07.1988 bis 01.07.2010) <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	30
Abb. 35: Anteil küstennormaler Energiefluss am Gesamtenergiefluss (01.07.1988 bis 01.07.2010) <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	30
Abb. 36: Energiefluss 01.07.1988 bis 01.07.2010 <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	31
Abb. 37: küstenparallele Energieflüsse (01.07.1988 bis 01.07.2010) <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	31
Abb. 38: Anteil küstennormaler Energiefluss am Gesamtenergiefluss (01.07.1988 bis 01.07.2010) <i>LKN-SH (03.01.2011)</i> .....	31

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittlere Tidekennwerte (LKN-SH).....	6
Tab. 2: Einteilung in Sturmflutkategorien.....	8
Tab. 3: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel List (Quelle: DGJ 1998, ergänzt: LKN-SH).....	12
Tab. 4: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Hörnum (Quelle: DGJ 1998, ergänzt: LKN-SH).....	12
Tab. 5: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Munkmarsch (Quelle: Pegelaufzeichnungen LKN-SH).....	13
Tab. 6: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Rantumdamm (Quelle: Pegelaufzeichnungen LKN-SH).....	13
Tab. 7: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Messpfahl Westerland (Quelle: Aufzeichnungen LKN-SH).....	13
Tab. 8: Windstärkeskala nach Beaufort.....	14
Tab. 9: Strömungswerte aus verschiedenen Untersuchungen an der Küste Sylts .....	17
Tab. 10: Scheitelwasserstände am Messpfahl Westerland vom 17.06.2008.....	18
Tab. 11: prozentuale Häufigkeit Wellenhöhen (Westerland 10.1986-09.1993).....	32
Tab. 12: Wellenperiode (T02) in Sekunden (Westerland 10.1986-09.1993).....	33
Tab. 13: Wasserstand in Meter PN (Westerland 10.1986-09.1993).....	34

# Wasserstand

Aufgrund des Gezeiteinflusses und der Wirkung von Wind und Wellen ergeben sich ständig verändernde Wasserstände. Mit Hilfe von Tidepegeln wird der Verlauf der Wasserstände an unterschiedlichen Orten auf Pegelbögen aufgezeichnet und heute auch digital gespeichert. Der Wasserstand bestimmt die Möglichkeiten der Entwässerung des Binnengebietes und den Aufwand zum Betrieb von Schöpfwerken und Sielen. Die Fußsicherung von Küstenschutzbauwerken ist von der Lage der Hochwasserlinie abhängig.

## Pegelmessstationen



Abb. 1: Lage der Pegelmessstationen LKN-SH

Kontinuierliche Wasserstandmessungen liegen für die Insel Sylt an fünf Messstationen vor. Die einzelnen Messstationen haben unterschiedliche Betreiber. Die Pegel List und Hörnum werden vom Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning (WSA Tönning) betrieben. Die Pegel Munkmarsch, Rantumdamm und Messpfahl Westerland werden von der Küstenschutzverwaltung betrieben.

Die vom WSA betriebenen Pegel sind die ältesten Messanlagen, wobei digitale Datensätze seit den 1930er Jahren (List 1934; Hörnum: 1937) vorliegen. Die

landeseigenen Messstellen sind in den 1980er Jahren errichtet worden.



Abb. 2: Pegel Munkmarsch Hinrichsen (09.09.2005 Nr. 122)

Der landeseigene Pegel Munkmarsch wird seit 1982 betrieben.



Abb. 3: Pegel Rantumdamm Hinrichsen (24.08.2005 Nr. 221)

Der landeseigene Pegel Rantumdamm wird seit 1984 betrieben.



Abb. 4: Pegel Messpfahl Westerland *LKN-SH*

Der landeseigene Messpfahl Westerland wird seit 1987 betrieben. Neben Wasserstanddaten werden weitere hydrologische und meteorologische Daten gewonnen.

Hinzu kommen noch zahlreiche Pegel, die im Zuge von Forschungsprojekten und Untersuchungen baulicher Maßnahmen errichtet wurden, deren Datensätze jedoch nur über so kurze Zeiträume existieren, sodass sie für Aussagen zur Entwicklung und möglichen Veränderungen im Wasserstand nicht herangezogen werden können.

## Darstellung der Tidekennwerte

Anhand unterschiedlicher Tidekennwerte (Tidehochwasser, Tideniedrigwasser, Tidenhub, Tidehalbwasser, Flutdauer, Ebbedauer, Fallgeschwindigkeit, Steiggeschwindigkeit) wird die langjährige Veränderung der Tidedynamik ersichtlich.

Tab. 1: Mittlere Tidekennwerte (LKN-SH)

1995/2005	List PNP=NN-5,00 m	Hörnum PNP=NN-5,00 m	Munkmarsch PNP=NN-5,01 m	Rantumdamm PNP=NN-5,02 m	Westerland-Messpfahl PNP=NN-5,01 m
<b>MThw</b>	585 cm PN	600 cm PN	590 cm PN	613 cm PN	582 cm PN
<b>MTnw</b>	404 cm PN	394 cm PN	403 cm PN	397 cm PN	402 cm PN
<b>MThb</b>	181 cm	206 cm	187 cm	216 cm	180 cm
<b>MT1/2w</b>		497 cm PN			
<b>MT<sub>F</sub></b>		6 h 22 min			
<b>MT<sub>E</sub></b>		6 h 03 min			
<b>MV<sub>F</sub></b>		0,57 cm/min			
<b>MV<sub>S</sub></b>		0,54 cm/min			
<b>HHThw</b>		905 cm PN am 21.11.1981			
<b>NNTnw</b>		136 cm PN am 15.03.1964			
<b>Datenumfang</b>	seit 01.01.1934	seit 01.11.1937	seit 01.11.1982	seit 01.11.1984	seit 01.12.1987

### Tidekurve

Die Aufzeichnung der Tidekurve erfolgte bis in die 1980er ausschließlich in analoger Form durch die Pegelschreiber. Dabei wird der Wasserstand über einen Trommelschreiber auf den Pegelbogen übertragen. Dieser Pegelbogen ist spätestens alle 10 bis 14 Tage zu wechseln. Seitdem werden die Pegelaufzeichnungen sukzessive digital übertragen. Über einen Analog-/Digitalwandler werden die Daten auf Datensammler oder direkt über Datenfernübertragung an die Datensammelstellen übertragen. Die Erfassung der Tidekurve erfolgt in Minutenschritten. Wenn die analogen Pegelaufzeichnungen im Nachhinein digitalisiert werden, müssen die entsprechenden Angaben auf den Pegelbögen berücksichtigt werden. Für ausgewählte Tiden, die einer mittleren Tide entsprechen, können dann mittlere Tidekuren berechnet und dargestellt werden.

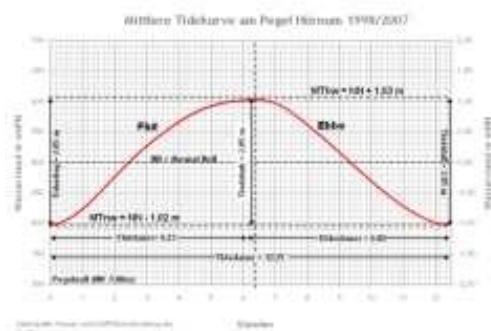


Abb. 5: Mittlere Tidekurve am Pegel Hörnum 1998/2007  
 Pegel: Wasser- und Schiffsamt Tönning

## Sturmfluten

Sturmfluten entstehen, wenn starke Winde den Wasserstand an der Küste über das mittlere Maß hinaus ansteigen lassen. Beim Zusammentreffen einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren kann der Sturmflutwasserstand vor Sylt mehrere Meter über dem mittleren Tidehochwasser betragen.

Sturmfluten entstehen, wenn starke Winde den Wasserstand an der Küste über das mittlere Maß hinaus ansteigen lassen. Beim Zusammentreffen einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren (z.B. Fernwelle, Springtide, Vortide, Luftdruckverteilung) kann der Sturmflutwasserstand vor Sylt mehr als 3 Meter über dem mittleren Tidehochwasser betragen.

### Erhöhte Wasserstände

Aufgrund meteorologischer Einflüsse kommt es in unregelmäßigen Abständen zu erhöhten Wasserständen. Übersteigt der Wasserstand bestimmte Höhen, wird die Tide als Sturmflut bezeichnet. Der Unterschied zwischen dem eingetretenen und dem normalen Wasserstand ist der Windstau.

Die Einteilung in Sturmflutkategorien lautet wie folgt:

Tab. 2: Einteilung in Sturmflutkategorien

Flutklasse	Grenzwerte
<b>Sturmflut</b>	1,5 bis 2,5 m über MThw
<b>Schwere Sturmflut</b>	2,5 bis 3,5 m über MThw
<b>Sehr schwere Sturmflut</b>	ab 3,5 m über MThw

Eine Zusammenstellung der stärksten Sturmfluten, die in der Nordsee im letzten Jahrtausend aufgetreten sind, kann unter der Adresse

"[http://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Sturmfluten\\_an\\_der\\_Nordsee](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Sturmfluten_an_der_Nordsee)" nachgeschlagen werden [Liste der Sturmfluten an der Nordsee](#).

## Eintrittswahrscheinlichkeiten

Die Häufigkeit des Eintretens bestimmter Wasserstände zur Hoch- und Niedrigwasserzeit wird statistisch bestimmt. Dabei liefern die eingesetzten statistischen Verfahren Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Wasserstände, die jedoch in Abhängigkeit des jeweils eingesetzten Verfahrens variieren können.

Aus einem gemessenen Wasserstand ergibt sich ein Referenzwasserstand während der Bemessungswasserstand aus dem statistischen Verfahren ermittelt wird.



## Wind

Der Wind ist die Ursache für den auftretenden Seegang und den Windstau, so dass eine Beobachtung und Bewertung des Windes wichtig ist. Im Zusammenhang mit der Beurteilung der morphologischen Veränderungen sind die aufgetretenen Windgeschwindigkeiten und -richtungen ebenfalls von Bedeutung.



Abb. 6: Lage der Windmessstationen LKN-SH

Der Wind ist die Ursache für den auftretenden Seegang und den Windstau, so dass eine Beobachtung und Bewertung des Windes wichtig ist. Im Zusammenhang mit der Beurteilung der morphologischen Veränderungen sind die aufgetretenen Windgeschwindigkeiten und -richtungen ebenfalls von Bedeutung.

Um die Windverhältnisse auf der Insel Sylt zu beschreiben, stehen die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) aufgezeichneten Windgeschwindigkeiten und -richtungen der Windmessstationen List seit 1967 nahezu lückenlos zur Verfügung. Streng genommen liegen Winddaten bereits ab 1950 vor, da jedoch die damalige Messanlage 1964 um 140 m nach Süden und 210 m nach Westen umgesetzt wurde und zudem sich der Windmesser seit da an rd. 10 m höher befindet, werden für die Auswertung der Windveränderungen nur die Datensätze ab 1964 herangezogen.

Zudem erfolgen am Messpahl Westerland durch das Land Schleswig-Holstein (LKN-SH) seit 1987 Windmessungen. Diese Datensätze sind immer mal wieder mit kürzen Ausfallzeiten besonders in den 1990er-Jahren versehen. Ausfallzeiten von über einer Woche bis hin zu mehreren Wochen traten z.B. in den Jahren 1992, 1993 und 1999 auf.

In den Jahren 1983 bis 1996 fanden zusätzlich noch Windmessungen durch das Land Schleswig-Holstein (ALW Husum) in Hörnum statt. Die Ausfallzeiten konzentrieren hier auf die Jahre 1990 sowie 1993 bis 1996.

Die nachfolgenden Auswertungen betreffen die Windgeschwindigkeiten  $u_{10}$ , d.h. die Windgeschwindigkeiten in 10 Meter Höhe (m NN). Mit Hilfe einer Umrechnungstabelle können die Geschwindigkeiten auch in Beaufort, Knoten oder Stundenkilometer angegeben werden.

Relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten und -richtungen von 1967 bis 2008 an der Windmessstation List.

Für die Auswertung der Windmessungen an der Station List können die längsten Aufzeichnungen für Sylt herangezogen werden. Trotz der langen Aufzeichnung sind die Daten glücklicherweise nur mit geringen Ausfallzeiten versehen.

Die Auswertung der Winddaten zeigt, dass Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 5 m/s mit annähernd gleicher Häufigkeit in alle Richtungen auftreten. Windgeschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s dagegen weisen schon ein vermehrtes Auftreten aus der W-/SW-Richtung sowie aus Richtung Ost auf. Eine noch stärkere Begrenzung des Richtungssektor tritt bei Windgeschwindigkeiten von 10 m/s bis 15 m/s hervor. Die "starken" bis "steifen Winde" (Bft 6-7) treten vermehrt aus westlicher bis nordwestlicher Richtung auf.

Als Hauptwindrichtung ist an der Messstation List Westen auszumachen. Knapp 92 % aller gemessenen Daten weisen Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 10 m/s (Bft 0-5) auf.

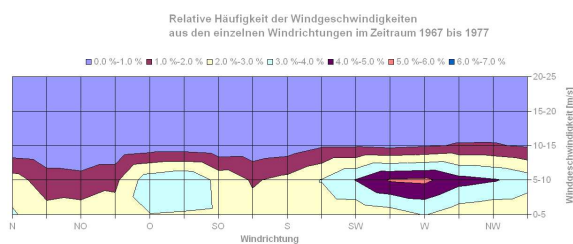


Abb. 7: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1967-1977) LKN-SH

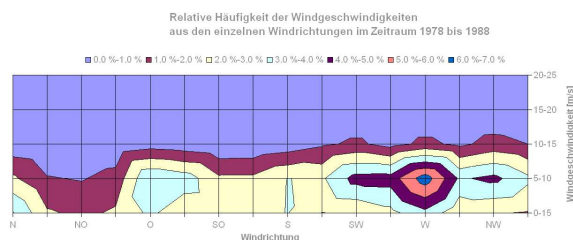


Abb. 8: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1978-1988) LKN-SH

Die Diagramme zur Entwicklung der relativen Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten aus den einzelnen Windrichtungen zeigen für die Windmessstation List, dass im Zeitraum von 1967/1977 bis 1978/1988 sowohl im S-Sektor wie im W-Sektor die größten Veränderungen zu verzeichnen sind. Während Winde aus südlicher Richtung von 0 m/s bis 10 m/s deutlich zunahm, erfolgte die Zunahme der Häufigkeit bei Westwinden erst ab der Windgeschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s. Hinzu kommt, dass außerdem die Winde aus westlicher Richtung häufiger auch Windgeschwindigkeiten von über 15 m/s überstiegen.

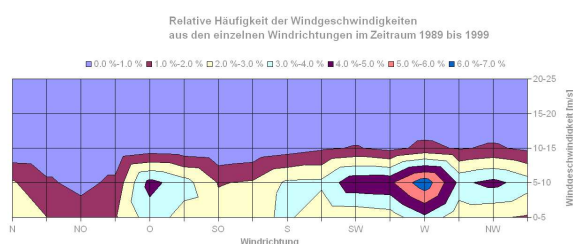


Abb. 9: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1989-1999) LKN-SH

Die Diagramme zur Entwicklung der relativen Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten aus den einzelnen Windrichtungen für den Zeitraum von 1978/1988 bis 1989/1999 zeigen für List eine Zunahme der Winde aus östlicher wie aus süd-/südwestlicher Richtung bei Windgeschwindigkeiten bis zum 10 m/s. Die größte Abnahme in den relativen Häufigkeiten findet sich im

Bereich der Nord-Wind mit Geschwindigkeiten von 0 m/s bis 5 m/s wieder.

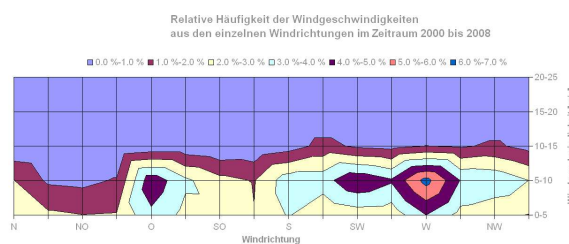


Abb. 10: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messstation List (Zeitraum: 2000-2008) LKN-SH

Die Diagramme zur Entwicklung der relativen Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten aus den einzelnen Windrichtungen für den Zeitraum von 1989/1999 bis 2000/2008 zeigen eine weitere Zunahme der Winde aus östlicher Richtung bei Windgeschwindigkeiten bis zum 10 m/s. Dagegen sind bei den Winden aus dem W- und NW-Sektor Rückgänge ersichtlich. Die Windspitzen über 15 m/s aus westlicher Richtung treten in diesem Zeitraum nicht mehr auf und Winde mit Geschwindigkeiten von 5 m/s bis 15 m/s sind zurückgegangen. Eine leichte Verlagerung der Winde in die Gruppe der Winde mit Geschwindigkeiten bis 5 m/s ist zu verzeichnen. Eine deutliche Abnahme ist im NW-Sektor bei den Winden mit Geschwindigkeit von 5 m/s bis 10 m/s festzustellen.

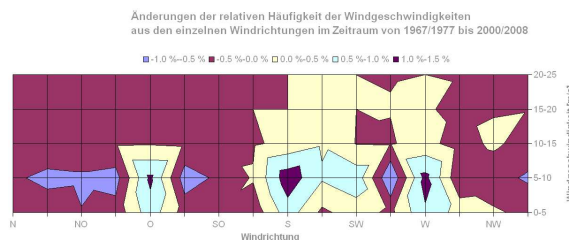


Abb. 11: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Windmessstation List (Zeiträume: 1967/77-2000/2008) LKN-SH

Die Veränderungen innerhalb der einzelnen Windrichtungssektoren im Jahrzehnt von Beginn der Aufzeichnung an bis zu den aktuellsten Daten zeigt, dass die größte Zunahme in den Sektoren West, Ost und Süd bei Winden mit Geschwindigkeiten von 0 m/s/5m/s bis 10 m/s zu verzeichnen sind. Die größten Annahmen sind in den Sektoren OSO, WSW und ONO bis NNO erkennbar. In diesen Sektoren treten Winde mit Geschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s (im Sektor WSW sogar Winde von 10 m/s bis 15 m/s) um 0,5 % bis 1% weniger auf. Mit den Veränderungen in den Windsektoren West und Westsüdwest treten somit auch Veränderungen in der

sturmflutrelevanten Windrichtungen auf. Der Zuwachs in den oberen Windgeschwindigkeitsklassen im sturmflutrelevanten Sektor ist gering.

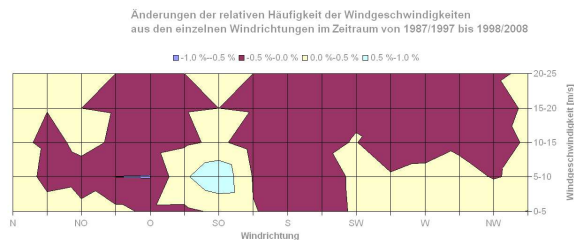


Abb. 12: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Messpfahl Westerland (Zeiträume: 1987/1997-1998/2008) LKN-SH

Die Auswertung der Winddaten für den Messpfahl Westerland zeigt, dass die meisten Winde aus dem Richtungssektor NW-SW kommen und Windgeschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s auf. Die restlichen Winde sind den Windgeschwindigkeitsklassen 0 m/s bis 5 m/s (rd. 27%) und 10 m/s bis 15 m/s (rd. 20 %) zuzuordnen.

Auch beim Messpfahl Westerland treten Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 5 m/s mit annähernd gleicher Häufigkeit in alle Richtungen auf. Windgeschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s (3-5 Bft) treten vornehmlich aus südwestlicher bis nordwestlicher Richtung oder aus östlicher und südöstlicher Richtung aus. Windgeschwindigkeiten der Stärke 3 bis 5 Bft treten aus nordöstlicher und südlicher Richtung nur selten auf.

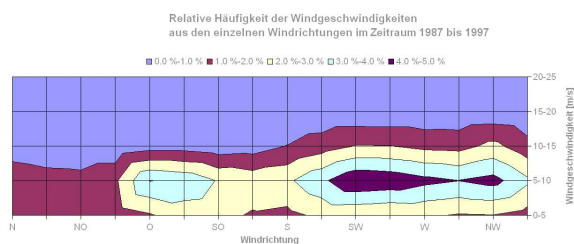


Abb. 13: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messpfahl Westerland (Zeitraum: 1987-1997) LKN-SH

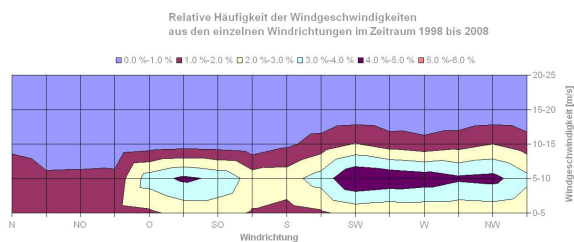


Abb. 14: Relative Häufigkeit: Windgeschw. u. -richtungen, Messpfahl Westerland (Zeitraum: 1998-2008) LKN-SH

Die Diagramme zur Entwicklung der relativen Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten aus den einzelnen Windrichtungen zeigen, dass im Zeitraum von 1987/1997 bis 1998/2008 die größte Zunahme im Bereich der Winde aus östlicher und südöstlicher Richtung mit Windgeschwindigkeiten von 5 m/s bis 10 m/s zu verzeichnen ist. Die Veränderungen in den weiteren Geschwindigkeitsklassen und Windrichtungen sind marginal. Die Verteilungsmuster der Zeiträume 1987/1997 und 1998/2008 sind annähernd identisch. Die Veränderungen in den sturmflutrelevanten Richtungsvektoren Westnordwest (Wnw) bis Südwest (SW) erfolgt eine Abnahme der relativen Häufigkeiten in oberen Windgeschwindigkeitsklassen.

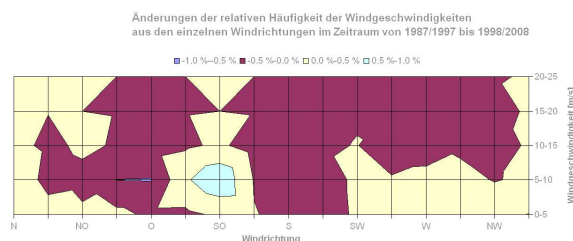


Abb. 15: Änderung der relativen Häufigkeit der Windgeschw. aus den einzelnen Windrichtungen, Messpfahl Westerland (Zeiträume: 1987/1997-1998/2008) LKN-SH

Station: Hörnum  
 Auswertungsraum: 01.10.1988 00:30 bis 31.07.1996 23:30  
 Datenumfang: 00,100,1989 00:00 bis 31.07.1996 23:30 Monat: das ganze Jahr  
 Ausfallzeit: 15672 h bzw. 13,9 %

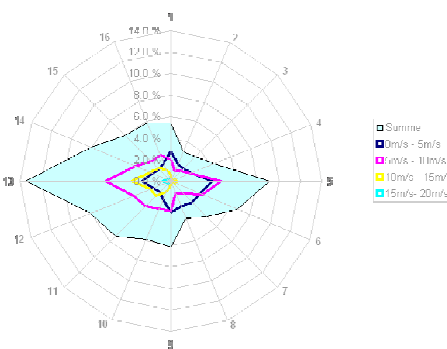


Abb. 16: Relative Häufigkeit: Windgeschw. und -richtungen, Windmessst. Hörnum (Zeitraum: 1983-1996) LKN-SH

Die Auswertung der Winddaten für die Station Hörnum zeigt, dass dort die meisten Winde aus westlicher oder aus östlicher Richtung mit Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 10 m/s (bis 7 Bft) kommen.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 5 m/s zeigt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Winde mit einer Scherpunktrichtung aus Ost. Die Hauptwinde von 5 m/s bis 10 m/s treten aus Osten oder

Westen auf. Der Sektor der auftretenden Winde nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab, sodass Winde mit Windgeschwindigkeiten von 10 m/s bis 15m/s (Bft 5-7) eher aus südlicher und südwestlicher Richtung und Winde mit Geschwindigkeiten von 15 m/s bis 20 m/s (Bft 7-8) nur noch aus westlicher Richtung auftreten.

Tab. 3: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel List (Quelle: DGJ 1998, ergänzt: LKN-SH)

Datum	Scheitelwasserstand [m PN]	Scheitelwasserstand [m NN]	Scheitelwasserstand [über MThw]	Berechnungszeitraum MThw	Maximale Windstärke [m/s]	Windrichtung zur maximalen Windstärke
24.11.1981	9,05	4,05				
03.01.1976	8,94	3,94				
17.02.1963	8,65	3,65				
03.12.1999	8,61	3,61				
26.01.1990	8,58	3,58				
27.02.1990	8,49	3,49				
21.01.1976	8,47	3,47				
15.01.1968	8,45	3,45				
18.10.1936	8,42	3,42				
28.02.1990	8,27	3,27				

Tab. 4: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Hörnum (Quelle: DGJ 1998, ergänzt: LKN-SH)

Datum	Scheitelwasserstand [m PN]	Scheitelwasserstand [m NN]	Scheitelwasserstand [über MThw]	Berechnungszeitraum MThw	Maximale Windstärke [m/s]	Windrichtung zur maximalen Windstärke
24.11.1981	9,05	4,05				
17.02.1962	8,92	3,92				
21.01.1976	8,83	3,83				
03.01.1976	8,76	3,76				
27.02.1990	8,74	3,74				
26.01.1990	8,71	3,71				
28.01.1994	8,60	3,60				
24.11.1938	8,56	3,56				
28.02.1990	8,51	3,51				
27.10.1936	8,42	3,42				

Tab. 5: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Munkmarsch (Quelle: Pegelaufzeichnungen LKN-SH)

Datum	Scheitelwasserstand [m PN]	Scheitelwasserstand [m NN]	Scheitelwasserstand [über MThw]	Berechnungszeitraum MThw	Maximale Windstärke [m/s]	Windrichtung zur maximalen Windstärke
03.12.1999	8,76	3,75				
26.01.1990	8,51	3,51				
27.02.1990	8,48	3,48				
28.02.1990	8,39	3,39				
29.01.2002	8,34	3,33				
28.01.1994	8,28	3,28				
08.01.2005	8,26	3,25				
26.02.1990	8,24	3,24				
06.11.1985	8,22	3,22				
05.02.1999	8,21	3,20				

Tab. 6: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Pegel Rantumdamm (Quelle: Pegelaufzeichnungen LKN-SH)

Datum	Scheitelwasserstand [m PN]	Scheitelwasserstand [m NN]	Scheitelwasserstand [über MThw]	Berechnungszeitraum MThw	Maximale Windstärke [m/s]	Windrichtung zur maximalen Windstärke
29.01.2002	8,43	3,41				
30.01.2000	8,25	3,23				
12.01.2007	8,22	3,20				
06.11.1985	8,21	3,19				
19.03.2007	8,21	3,19				
05.02.1999	8,20	3,18				
01.01.2008	8,15	3,13				
03.12.1999	8,04	3,02				
01.02.2008	8,01	2,99				
13.12.2000	8,00	2,98				

Tab. 7: 10 höchsten Scheitelwasserstände am Messpfahl Westerland (Quelle: Aufzeichnungen LKN-SH)

Datum	Scheitelwasserstand [m PN]	Scheitelwasserstand [m NN]	Scheitelwasserstand [über MThw]	Berechnungszeitraum MThw	Maximale Windstärke [m/s]	Windrichtung zur maximalen Windstärke
27.02.1990	8,42	3,42				
28.02.1990	8,29	3,29				
26.01.1990	8,05	3,05				
28.01.1990	8,01	3,01				
28.01.1994	7,98	2,98				
01.03.2008	7,91	2,90				
12.01.2007	7,86	2,85				
20.12.1991	7,82	2,82				
23.01.1993	7,81	2,81				
26.02.1990	7,81	2,81				

Die Windgeschwindigkeit wurde über viele Jahrhunderte aufgrund ihrer Auswirkungen auf die Meeresoberfläche und Vegetation abgeschätzt.

Mit Hilfe einer Umrechnungstabelle können die Windgeschwindigkeiten auch in Beaufort, Knoten oder Stundenkilometer angegeben werden.

Tab. 8: Windstärkeskala nach Beaufort

Windstärke	Bezeichnung der Windstärke	Windgeschw. in 10 m Höhe über offenem, flachem Gelände			Auswirkungen des Windes	
		m/s	km/h	Knoten	im Binnenland	auf See
0	still	< 0,3	< 1	< 1	Windstille; Rauch steigt senkrecht empor	spiegelglatte See
1	leiser Zug	0,3 – 1,5	1 – 5	1 – 3	Windrichtung angezeigt nur durch den Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahnen	kleine Schuppenförmige Kräuselwellen ohne Schaumkämme
2	leichte Brise	1,6 – 3,3	6 – 11	4 – 6	Wind am Gesicht fühlbar; Blätter säuseln; Windfahne bewegt sich	kleine, kurze Wellen, Kämme sehen glasig aus und brechen sich nicht
3	schwache Brise	3,4 – 5,4	12 – 19	7 – 10	Blätter und dünne Zweige in dauernder Bewegung; Wind streckt Wimpel	Kämme beginnen sich zu brechen, Schaum glasig, vereinzelt kleine weiße Schaumköpfe
4	mäßige Brise	5,5 – 7,9	20 – 28	11 – 16	Wind hebt Staub und loses Papier, bewegt dünne Äste	Wellen noch klein, werden aber länger, vielfach weiße Schaumköpfe
5	frische Brise	8,0 – 10,7	29 – 38	17 – 21	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken; auf Seen bilden sich Schaumkämme	mäßige Wellen, die eine ausgeprägte lange Form annehmen, überall weiße Schaumkämme
6	starker Wind	10,8 – 13,8	39 – 49	22 – 27	starke Äste in Bewegung; Pfeifen von Telegrafleitungen; Regenschirme schwierig zu nutzen	Bildung großer Wellen (2,5 – 4 m); überall ausgedehnte weiße Schaumkämme, brechen; etwas Gischt
7	steifer Wind	13,9 – 17,1	50 – 61	28 – 33	ganze Bäume in Bewegung; fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind	See türmt sich; weißer Schaum beginnt sich in Streifen in Windrichtung zu legen
8	stürmischer Wind	17,2 – 20,7	62 – 74	34 – 40	Wind bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien	mäßig hohe Wellenberge von beträchtlicher Länge; Kanten der Kämme beginnen zu Gischt zu verwehen
9	Sturm	20,8 – 24,4	75 – 88	41 – 47	kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel werden heruntergeworfen)	hohe Wellenberge; dichte Schaumstreifen in Windrichtung; „Rollen“ der See beginnt; Gischt kann die Sicht beeinträchtigen
10	schwerer Sturm	24,5 – 28,4	89 – 102	48 – 55	(im Binnenland selten) Bäume werden entwurzelt; bedeutende Schäden an Häusern	sehr hohe Wellenberge (6 – 9 m) mit langen überbrechenden Kämmen; See weiß durch Schaum; Rollen der See schwer, stoßartig; Sicht beeinträchtigt

11	orkanartiger Sturm	28,5 – 32,6	103 – 117	56 – 63	(im Binnenland selten) verbreitete Sturmschäden	außergewöhnlich hohe Wellenberge; See völlig von den langen weißen Schaumflächen bedeckt; durch Gischt herabgesetzte Sicht
12	Orkan	> 32,6	> 117	> 63	-	Luft mit Schaum und Gischt angefüllt; Wellenberge über 14 m; See vollständig weiß durch Gischt; Sicht sehr stark herabgesetzt

Anmerkungen zu den Umrechnungsfaktoren

1 m/s = 3,6 km/h = 1,94385 Knoten

1 km/h = 0,278 m/s = 0,54 Knoten

1 Knoten = 1 Seemeile pro Stunde = 1,852 km/h = 0,5014 m/s

# Tideströmungen

Durch die Gezeitenbewegungen und den Wind entstehen Tideströmungen, die insbesondere an den Inselenden beträchtlich sind. Grundsätzlich wird versucht, das örtlich sehr unterschiedliche Strömungsverhalten durch Aussagen zur mittleren Tideströmung, zur maximalen Tideströmung sowie zum Reststrom und Reststromweg zu machen.

## Allgemeine Strömungsmuster

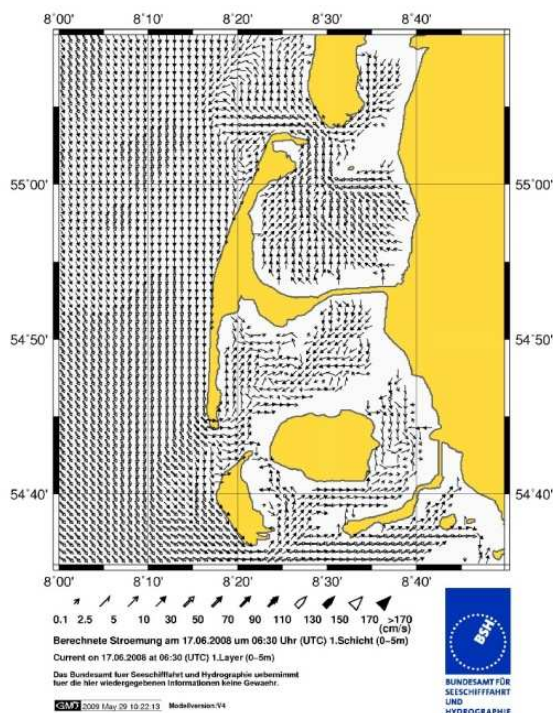


Abb. 17: Die Animation der vom BSH durchgeführten Modellierungen der Tide vom 17.06.2008 BSH

Durch die Gezeitenbewegungen und den Wind entstehen Tideströmungen, die insbesondere an den Inselenden beträchtlich sind. Grundsätzlich wird versucht, das örtlich sehr unterschiedliche Strömungsverhalten durch Aussagen zur mittleren Tideströmung, zur maximalen Tideströmung sowie zum Reststrom und Reststromweg zu machen.

Die mittlere Tideströmung ist der Mittelwert der Fließgeschwindigkeiten innerhalb eines betrachteten Zeitraumes. Die mittlere Flutstromgeschwindigkeit ist daher der Mittelwert der Fließgeschwindigkeit innerhalb der Flutstromdauer und die mittlere Ebbstromgeschwindigkeit der Mittelwert der

Fließgeschwindigkeit innerhalb der Ebbstromdauer. Die für den Flut- und Ebbstrom getrennt berechneten Strömungen geben zudem einen Eindruck von der durch die Ungleichheit der Tidephasen hervorgerufenen unterschiedlich langen Flut- und Ebbstromdauern. Die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten geben die über die Tidephase auftretende Strömungsintensität an.

Die maximale Tideströmung ist der Maximalwert der Fließgeschwindigkeit. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit wird ebenso für die Flut- und die Ebbstromdauer getrennt angegeben, so ergeben sich die maximale Flut- und die maximale Ebbstromgeschwindigkeit. Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten können als Maß für die das Sediment lösende Kraft gelten. Die räumliche Verteilung der max. Flut- und Ebbströmung folgt im Wesentlichen die der mittleren Strömungen. Die Bedeutung der Tiderinnen und Priele bei der Ausbildung der maximalen Strömungsgeschwindigkeiten ist besonders deutlich zu erkennen. Zu den Tideströmungen ist die vom Seegang erzeugte Brandungsströmung zu addieren. In der Brandungszone kann die Brandungsströmung um ein mehrfaches größer sein als die Tideströmung. Der durch die Strömungen verursachte Sedimenttransport führt zu morphologischen Veränderungen, die wiederum die hydrodynamischen Verhältnisse beeinflussen.

Der Reststrom ist die Summe der Vektoren der Fließgeschwindigkeiten an einem Ort über die gesamte Tidedauer. Der Reststromweg ist dagegen die Summe der Vektoren der Transportwege an einem Ort über die vollständige Tidedauer. Unter dem Reststrom [m/s] bzw. dem Reststromweg [km/Tide] versteht man die aus Ebbe- und Flutbewegung resultierende Wasserversetzung. Daraus lassen sich in einer ersten Näherung die Sedimenttransportwege (resultierende Transportrichtung) und die resultierende natürliche Tendenz der morphologischen Veränderungen erkennen. Sind die Restströme niedrig, so sind der Ebbe- und Flutstrom verhältnismäßig ausgewogen. Die räumliche Verteilung vom Reststrom und Reststromweg ist grundsätzlich ähnlich.

Über Veränderungen im Strömungsregime um die Insel Sylt ist weit weniger bekannt als über die Wasserstände. Durch vereinzelte Messkampagnen konnten erste Eindrücke zu den Strömungsverhältnissen gewonnen werden. Besonders hervorzuheben sind im Bereich der Insel Sylt dabei die Verhältnisse an den Inselende, da die formenden Kräfte der Gezeitenströmungen die Kräfte der anderen Einflüsse, insgesamt über einen längeren Zeitraum betrachtet, deutlich überwiegen.



Tab. 9: Strömungswerte aus verschiedenen Untersuchungen an der Küste Sylts

Örtlichkeit	Größe [m/s]	Bemerkung	Messkampagne	Literaturquelle	bisherige Fachplanerwähnung
Ellenbogenspitze (nördlich, östlich)	1,4	max. Flutgeschwindigkeit	k.A.	MBA Husum 1939; Hundt 1957	Erstaufstellung 1985
	1,0	max. Ebbgeschwindigkeit	k.A.		
Ostindienfahrerhuk (Landtief. Lister-Außentief)	1,4	max. Flutgeschwindigkeit	k.A.	MBA Husum 1939; Hundt 1957	Erstaufstellung 1985
	1,5	max. Ebbgeschwindigkeit	k.A.		
Hörnum-Odde	1,6	max. Flutgeschwindigkeit	k.A.	Schumacher 1923	Erstaufstellung 1985
	1,1	max. Ebbgeschwindigkeit	k.A.		
Hörnum-Odde	1,8	max. Flutgeschwindigkeit (maximale überhaupt jemals gemessene Flutstromgeschwindigkeit)	k.A.	Knop 1961	Erstaufstellung 1985
	1,7	max. Ebbgeschwindigkeit (maximale überhaupt jemals gemessene Ebbestromgeschwindigkeit)	k.A.		
Vortrapptief	2,0	insg. maximale Strömungsgeschwindigkeit (Eintritt in Ebbephase)	1991, 1993, 1996	ALW 1994a,b	Fortschreibung 1997
Lister-Tief	1,5	insg. maximale Strömungsgeschwindigkeit (Eintritt in Ebbephase)	1992, 1996	ALW 1994a,b	Fortschreibung 1997
Brandungszone	0,25	Strömungsgeschwindigkeiten seewärts der Brandungszone	1992	LWI 1994	Fortschreibung 1997
	bis 1,0	Strömungsgeschwindigkeiten in der Brandungszone	1992		
Hörnum-Odde	1,2 - 1,5	max. Flutgeschwindigkeit	HN-Modell	LKN 2008c	keine
	1,80	max. Ebbgeschwindigkeit	HN-Modell		

Die Aufstellung der unterschiedlichen Untersuchungen und Messkampagnen zeigt, dass auch in nahezu gleichen Örtlichkeiten unterschiedliche Strömungsverhältnisse nachgewiesen wurden. Die Ursache für diese Unterschiede rühren nicht selten durch sich veränderte meteorologische, hydrologische und morphologische Einflüsse sowie auch durch gerätetechnische Verschiedenheiten, unterschiedliche Messtiefen und Messverfahren usw. her. Die Ergebnisse der einzelnen Strömungsuntersuchungen spiegeln daher nur die Strömungssituation in den jeweiligen Messzeiträumen wieder.

Durch die Verwendung eines hydrodynamisch-numerischen Modells können Strömungsmuster für eine (relativ) aktuelle Bathymetrie und unter aktuellen Verhältnissen simuliert werden. Eine erste HN-Modellierung erfolgte Anfang der 1980er Jahre durch RAMMING.

Da für den Bereich der Insel Sylt auch keine Strömungsmessungen aus jüngerer Vergangenheit vorliegen, wurden vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) [Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie \(BSH\)](#) Strömungsmodellierungen für mittlere Tideverhältnisse (17.06.2008) durchgeführt. Am 17.06.2008 herrschte wenig Wind mit Windstärken von 3-4 Bft aus rückdrehendem Wind von NW nach SE.

Die Animation der vom BSH durchgeführten Modellierungen der Tide vom 17.06.2008 zeigen die Strömungszustände von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr in einem Zeitintervall von 15 Minuten.

Tab. 10: Scheitelwasserstände am Messpfahl Westerland vom 17.06.2008

Tide	Wasserstand [cm PN]	Uhrzeit [MEZ]
Tnw <sub>1</sub>	397	6:28
Thw <sub>1</sub>	584	11:45
Tnw <sub>2</sub>	397	18:53

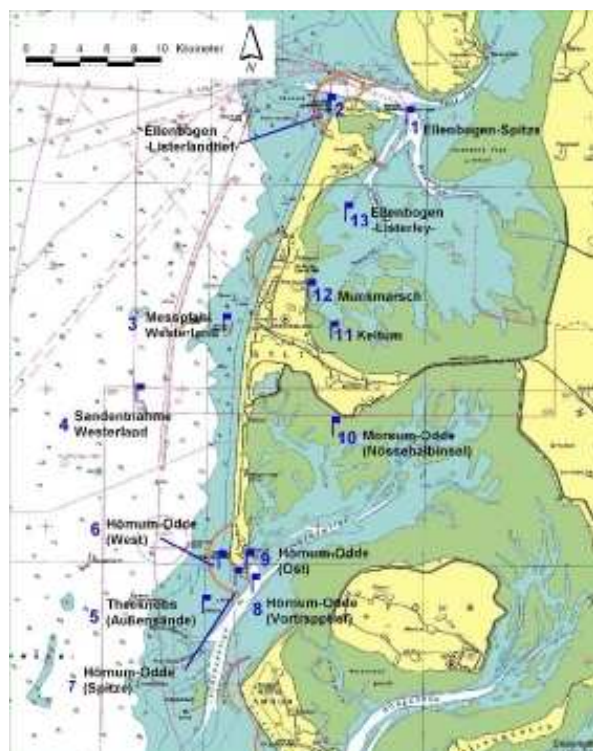


Abb. 18: Übersichtskarte Sylt mit Lage der gesondert betrachteten Modellpunkte LKN-SH (Kartengrundlage: BSH)

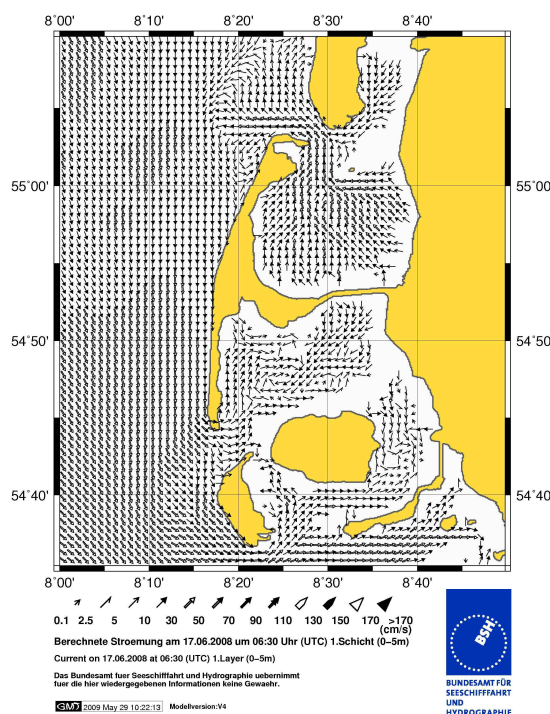


Abb. 19: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 06:30 Uhr MEZ BSH

Zur Niedrigwasserzeit am Pegel Westerland stellt sich an der Westküste Sylts eine südliche Strömung mit Geschwindigkeiten von durchschnittlich 10 cm/s ein. Im Bereich der Südspitze nimmt die Geschwindigkeit bis auf 30 cm/s zu. Im Bereich des NSG Sylt-Nord sind die Strömungen dagegen nach Norden gerichtet und weisen Geschwindigkeiten von 2,5 cm/s bis 5 cm/s auf. Am Ellerbogen tritt eine westlich gerichtete Strömung mit Geschwindigkeiten von über 30 cm/s (tlw. bis 50 cm/s) auf, welche bis zum Hafen List auftreten (dort Strömungsrichtung nordöstlich).

Die Strömungsverhältnisse mit Geschwindigkeiten von 10 cm/s bis 30 cm/s nördlich des Hindenburgdammes sind insgesamt Richtung Norden gerichtet.

An der Ostseite des südlichen Inselendes tritt ebenfalls eine nördliche Strömung mit 10 cm/s auf. Im Bereich des Hörnum Beckens wechselt die Strömungsrichtung im Uhrzeigersinn bis sie in südwestlicher Richtung in das Hörnum Tief tritt.

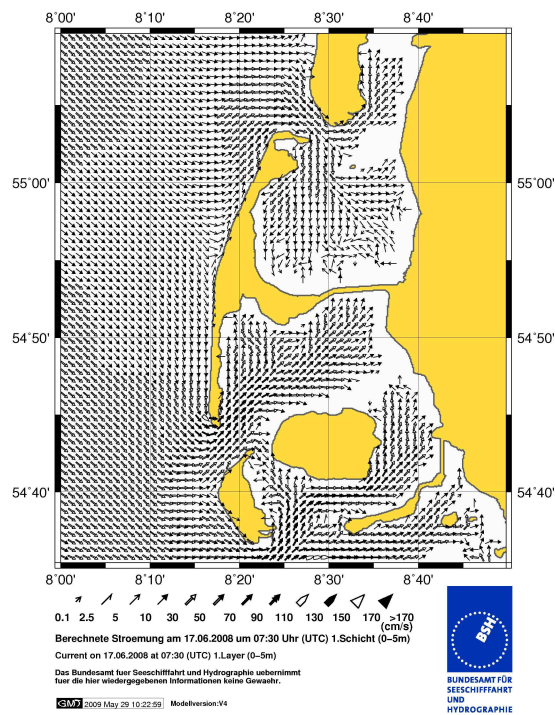


Abb. 20: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 7:30 Uhr MEZ BSH

Mit steigendem Wasserstand tritt in Inselmitte bei Westerland eine eindeutige Strömungstrennung nach Nord und Süd ein. Die Strömungsgeschwindigkeiten nehmen zu beiden Richtungen zu den Inselenden von 5 cm/s bei Westerland über 10 cm/s bis hin zu 30 cm/s - 50 cm/s zu.

Beide Wattbecken nördlich wie südlich des Hindenburgdammes werden durch Wassermassen der Strömungen um 30 cm/s und 50 cm/s gefüllt. Die Strömungsgeschwindigkeiten im Hörnum Becken sind dabei großflächig betrachtet größer als im Lister Becken.

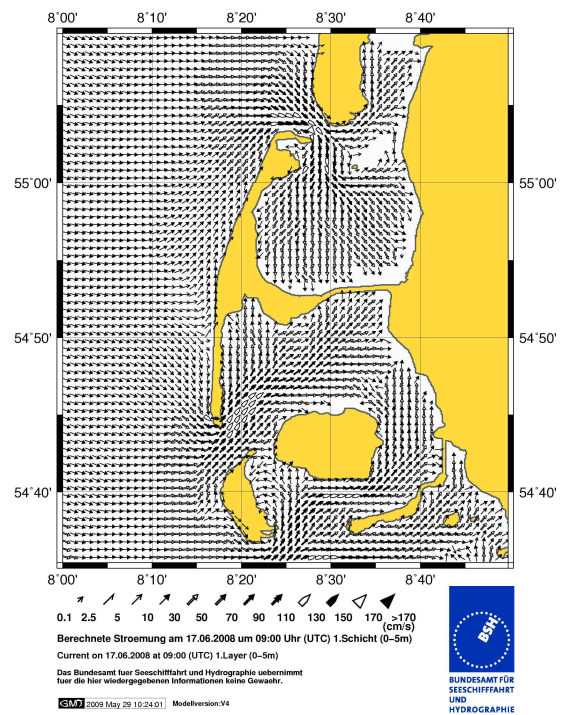


Abb. 21: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 09:00 Uhr MEZ BSH

Bei etwa halber Tide mit zunehmendem Wasserstand verlagert sich auch im Bereich der Insel Sylt der Stromspaltungsbereich nach Süden nach Rantum. Nördlich dieser Trennung steigen die Strömungen nach wie vor auf Geschwindigkeiten bis 30 cm/s an. Bis zur Südspitze steigen die Strömungsgeschwindigkeiten bis ca. 100 cm/s an. Die Strömungen sind entsprechend der Küstenlinie im Süden nach Süd/Ost und im Norden nach Nordost/Ost ausgerichtet. An der Ostseite der Insel nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten ebenfalls weiter bis zu 30 cm/s im Norden und 90 cm/s im Süden zu. Die Strömungen im Bereich der Tiderinne Hörnum-Tief weisen zu diesem Zeitpunkt Geschwindigkeiten von 70 cm/s bis 110 cm/s in nordöstlicher Richtung auf.

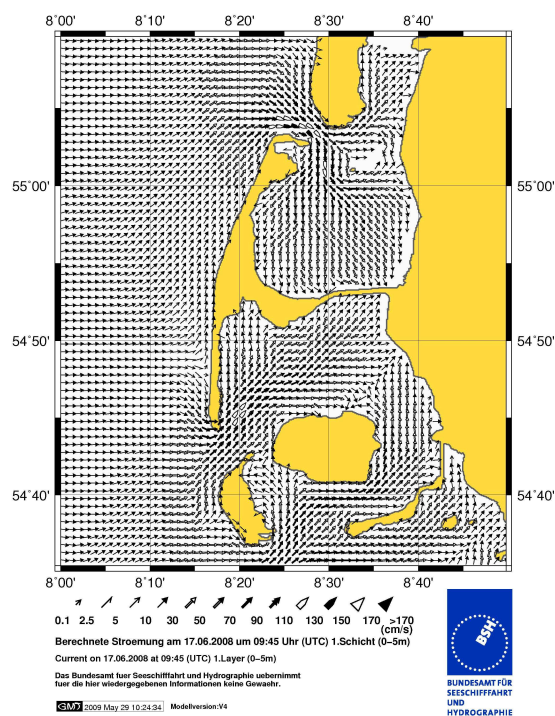


Abb. 22: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 09:45 Uhr MEZ BSH

Etwa 2 Stunden vor dem Hochwasser liegt der Stromspaltungspunkt noch südlicher auf Höhe von Puan Klent. Die Strömungsrichtungen und Geschwindigkeiten entsprechen den Größenordnungen zum Zustand 'halber Tide mit zunehmendem Wasserstand'.

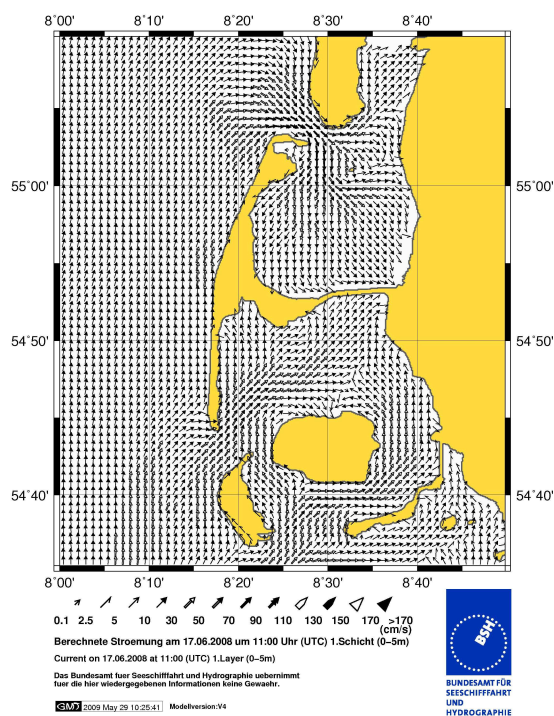


Abb. 23: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 11:00 Uhr MEZ BSH

Kurz vor Hochwasser befindet sich der Stromspaltungspunkt an seiner südlichsten Position im Bereich der Hörnum-Odde. Entlang fast der gesamten Westküste sind nun Strömungen in nördliche und nördlich von Westerland nordöstliche Richtung mit Geschwindigkeiten von 10 cm/s bis 30 cm/s zu beobachten. Südlich des Divergenzpunktes im Bereich der Odde treten Strömungen in südöstlicher Richtung auf. Die Strömungen in den beiden Tidebecken sind nun jeweils verhältnismäßig gleichmäßig orientiert und weisen Geschwindigkeiten von 10 cm/s bis 50 cm/s auf.

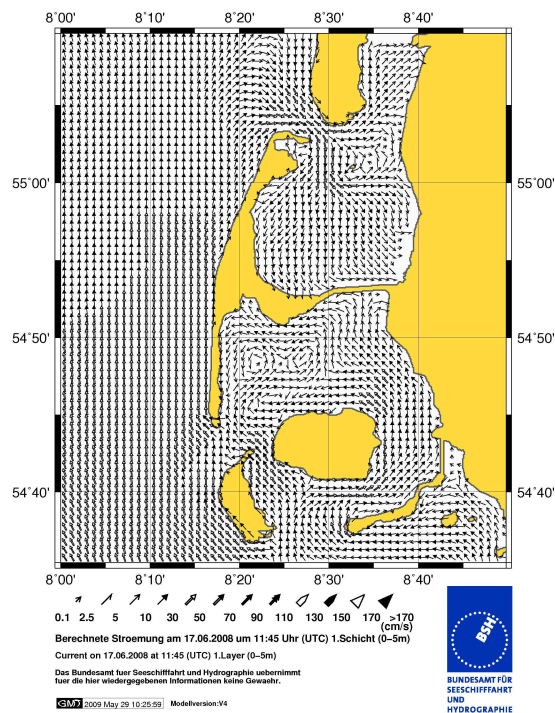


Abb. 24: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 11:45 Uhr MEZ BSH

Um Hochwasser existiert kein Stromspaltungspunkt mehr und die Strömung entlang der gesamten Westküste ist nach Norden gerichtet. Die Strömungen im Südteil der Insel bis Westerland weisen dabei Geschwindigkeiten von 30 cm/s in Küstennähe auf. Im Nordteil der Insel sind die Strömungsgeschwindigkeiten ein wenig geringer und liegen bei rd. 10 cm/s. Die Unterschiede in den Tidebecken sind zum Zeitpunkt des Hochwassers bei Westerland wieder unterschiedlich. Während im Hörnum Becken nördlich des Hörnum-Tiefs Geschwindigkeiten von bis zu 10 cm/s auftreten können, liegen die Strömungsgeschwindigkeiten im Lister Becken mit Größenordnungen von 10 cm/s bis 30 cm/s darüber. Entgegen der Strömungsrichtung im Hörnum Becken, in welchem die Strömungen nahezu einen Kreislauf entgegen den Uhrzeigersinn abbilden, wird das Lister Becken vornehmlich durch ein sich einstellende südliche Strömung gefüllt.

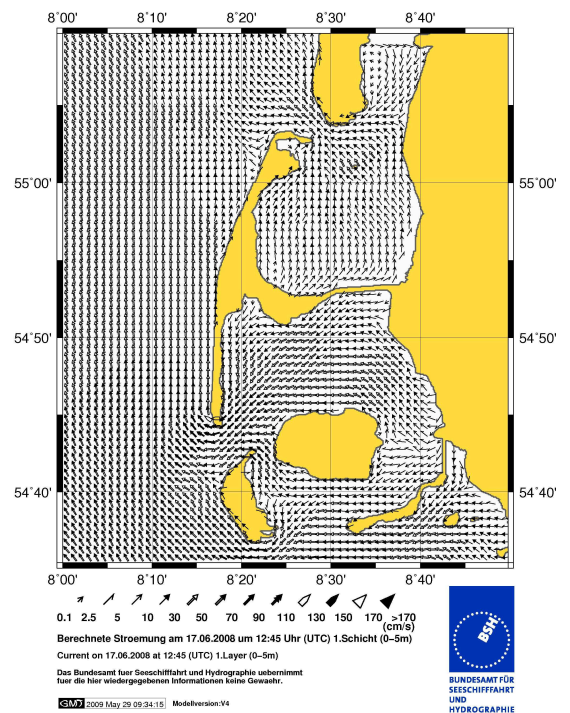


Abb. 25: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 12:45 Uhr MEZ BSH

Ab etwa 1 Stunde nach Hochwasser erfolgt eine Umkehr der Strömungsrichtung im Lister Becken. Die Strömungen in nördliche Richtung treten mit Geschwindigkeiten von bis ca. 10 cm/s auf. Ein neuerlicher Stromspaltungspunkt bildet sich an der Westküste im Bereich Kampens aus. Nördlich dieses Punktes sind die Strömungen südlich, südlich davon nördlich gerichtet. Die Strömungsgeschwindigkeiten südlich des Divergenzpunktes sind dabei um ein Vielfaches höher als nördlich des Stromspaltungspunktes. Die Strömungen erreichen im Bereich der Hörnum Halbinsel Geschwindigkeiten bis zu 30 cm/s. Im Hörnum Becken stellt sich eine westliche bis südwestliche Strömung (10 cm/s - 70 cm/s) ein. Die höchsten Geschwindigkeiten treten dabei im Übergangsbereich Hörnum-Tief - Vortrapp-Tief auf.

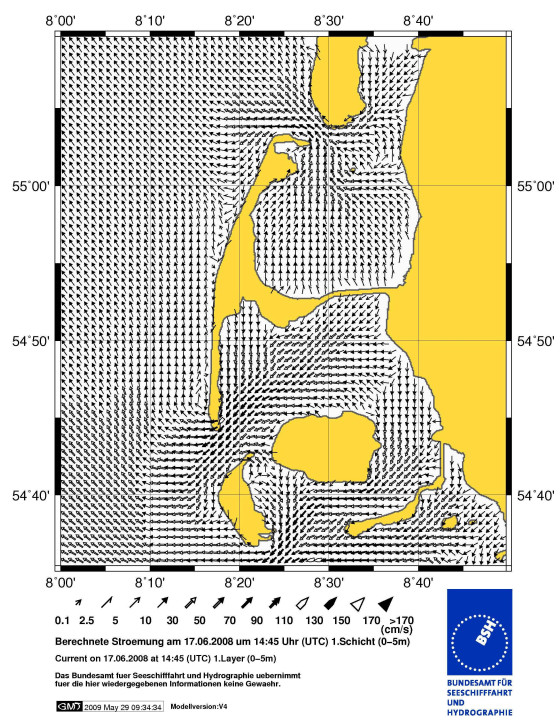


Abb. 26: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 14:45 Uhr MEZ BSH

Mit weiter fallenden Wasserständen verlagert sich der Divergenzpunkt an der Westseite der Insel weiter in südliche Richtung. Die Strömungsgeschwindigkeiten werden an der Westküste wieder geringer (bis max. ca. 10 cm/s). Die Strömungsgeschwindigkeiten in den Tidebecken verstärken sich dagegen weiter. Im Lister Becken treten Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 30 cm/s auf.

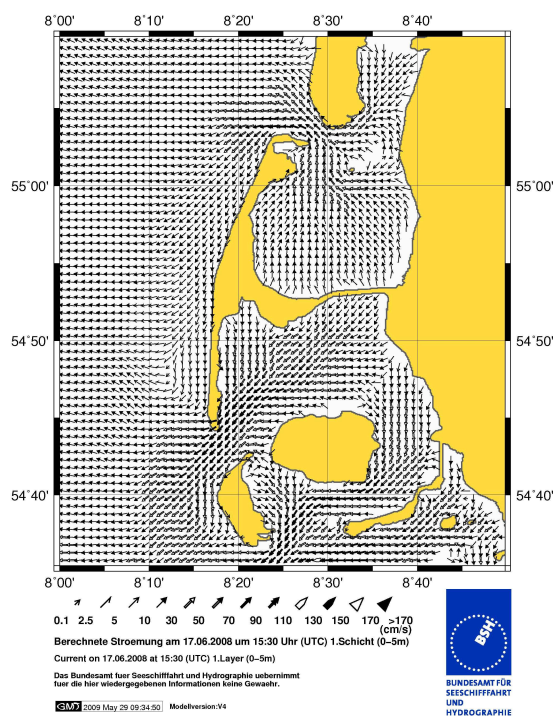


Abb. 27: Berechnete Tideströmungen 17.06.2008 15:30 Uhr MEZ BSH

Bei etwa halber Tide mit abnehmendem Wasserstand haben sich die Strömungsverhältnisse an der Westküste in südlicher Richtung nahezu gleichmäßig mit Geschwindigkeiten um 10 m/s ausgebildet.

## Untersuchungen zu den Strömungsverhältnissen an der Hörnum-Odde

Die Hörnum-Odde wird insgesamt durch Tide- und Brandungsströmungen belastet. Im Gegensatz zur Westküste der Hörnum-Odde wird die Ostseite im Wesentlichen ausschließlich durch Tideströmungen beansprucht. Dabei stellt sie eine Art Prallhang dar, der sich aus der gekrümmten Linienführung der Rinnenachse Hörnumtief/Vortrapptief ergibt. Der Prallhang wirkt, bedingt durch die über das Eidumtief in die Hörnum-Reede abfließenden Wassermengen, besonders in der Ebphase.

In den Jahren 1991 und 1993 wurden Einzelmessungen im Bereich der Hörnum-Odde, im Hörnum- und Vortrapptief vorgenommen. Diese Messungen umfassen nur sehr kurze Zeiträume, die nicht selten noch durch Ausfallzeiten geprägt sind. Daher spiegeln diese Daten nur die Strömungssituation in den jeweiligen Messzeiträumen wieder und sind als Datengrundlage für weitergehende Untersuchungen nur bedingt verwendbar. Aufgrund dieser Strömungsmessungen liegen die mittleren Tidestrom-Geschwindigkeiten im Flachwasser südlich der Hörnum-Odde bei 0,8 m/s. Die maximalen Geschwindigkeiten treten in der Ebphase auf und erreichen Werte von 2,0 m/s.

Durch Strömungsmessungen im Rahmen des KFKI-Projektes „Wasseraustausch Hörnumtief“ konnte eine Zweiteilung der Strömung im Hörnumtief bei zwei Messkampagnen 1996 festgestellt werden (Ross, 1998). Während in der tiefen Rinne nahe Sylt die Ebbstromgeschwindigkeit mit maximal 1,3 m/s merklich höher ist als die Flutstromgeschwindigkeit, überwiegt im südlichen Teil des Profils der Flutstrom (max. 1,8 m/s). Dabei war im gesamten Schnitt zwischen Sylt und Amrum im Vortrapptief die Ebbstromdauer deutlich länger als die Flutstromdauer (Ross, 1998).

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt – Phase II“ wurde u.a. die 3D-Strömungsstruktur im Bereich der Hörnum-Odde modelliert. Danach kommt es im Übergangsbereich zwischen der tiefen Rinne des Vortrapptiefs/Hörnumtiefs und dem Flachwasser des Theeknobssandes zu einem starken Fließgefälle (Absenkung) und damit zu hohen Ebbstromgeschwindigkeiten quer zur Hauptstromrichtung mit maximalen Fließgeschwindigkeiten von rd. 1,5 m/s.

Durch die Verwendung eines hydrodynamisch-numerischen Modells konnten die Strömungsmuster für

eine (relativ) aktuelle Bathymetrie (1997) und unter den Verhältnissen der Springtide vom 12.06.1998 im Bereich der Hörnum-Odde und des Hörnumtief simuliert werden.

Die resultierenden Strömungen während der Flutphase weisen starke Strömungen im Hörnum Loch und auf dem Theeknobssand aus. Sie verlaufen im Wesentlichen in östliche Richtung und somit nahezu rechtwinklig zur Strömung im Vortrapptief.

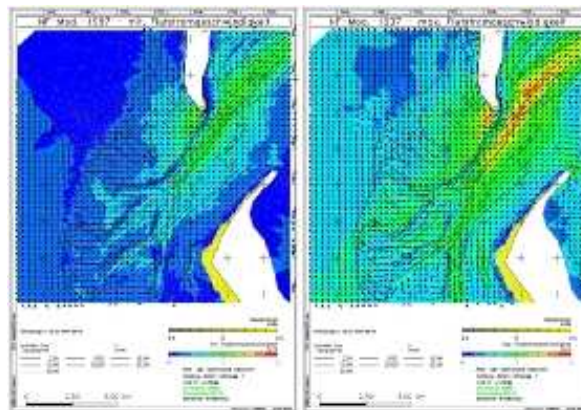


Abb. 28: Relative Häufigkeit: Windgeschw. und -richtungen, Messstation List (Zeitraum: 1978-1988) LKN-SH

Dabei treten im Hörnum Loch mittlere Strömungsgeschwindigkeiten während der Flutphase in Höhe von 0,75 – 1,00 m/s und maximale Geschwindigkeiten von 1,20 – 1,50 m/s auf, bereichsweise sogar noch etwas Höhere.

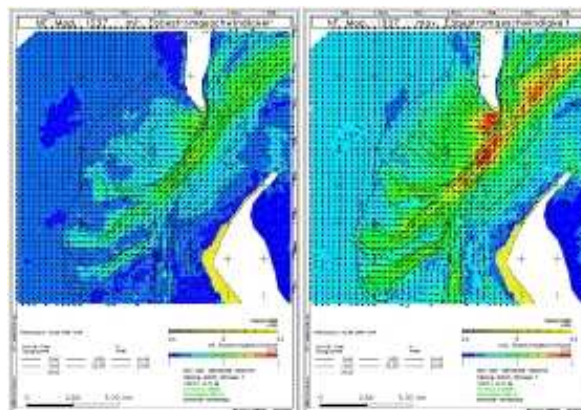


Abb. 29: Mittlere (links) und maximale (rechts) Ebbstromgeschw., Hörnum-Odde LKN-SH

Während der Ebphase verläuft die resultierende Strömung in der Tiderinne des Vortrapptiefs und im weiteren Verlauf in den seewärtigen Rinnen (Theeknobsrinne, Holtknobsloch, Jungnamenloch). Die Zweiteilung der Strömung wie unter Ross et al. konnte somit auch mit dem Modell aufgezeigt werden. Im Hörnum Loch und auf dem Theeknobssand verschwenkt

die Strömung in westliche bis nordwestliche Richtung. Dabei treten im Hörnum Loch mittlere Strömungsgeschwindigkeiten während der Ebbephase in Höhe von 0,80 – 1,00 m/s und maximale Geschwindigkeiten bis zu 1,80 m/s auf.

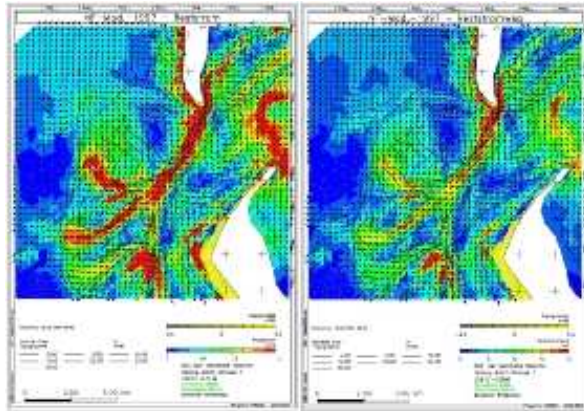


Abb. 30: Reststrom (links) und Reststromweg (rechts), Hörnum-Odde LKN-SH

Die resultierende Strömung über eine Tideperiode weist an der Südwestseite der Hörnum-Odde im Hörnum Loch große südöstliche Strömungskomponenten auf. Hier ist der Flutstrom deutlich größer als der Ebbstrom. Dagegen überwiegt im westlichen Teil des Vortrapptiefs und den seewärtigen Rinnen (Theeknobsrinne, Holtknobsloch, Jungnamenloch) der Ebbstrom.



## Tideströmungen und Wassertransporte

Über Veränderungen im Strömungsregime um die Insel Sylt ist weit weniger bekannt als über die Wasserstände. Hervorzuheben sind die Verhältnisse an den Inselenden, da hier die formenden Kräfte der Gezeitenströmungen die der anderen Einflüsse, insgesamt über einen längeren Zeitraum betrachtet, deutlich überwiegen.

Im Norden treten die größten Tiefen östlich und nördlich der Ellenbogenspitze mit NN-35 m bis NN-40 m auf. Hier hat HUNDT (1957; MBA Husum, 1939) auch die größte Strömungsgeschwindigkeit gemessen (lotrecht gemittelte Werte): Flut max. 1,4 m/s, Ebbe max. 1,0 m/s. Diesen stehen jedoch die Geschwindigkeiten an einer besonders flachen Stelle, zwischen Landtief und Lister Außen-Tief (Landtiefbarre vor dem Ostindienfahrerhuk) nicht nach: Flut max. 1,4 m/s, Ebbe max. 1,5 m/s. Die wesentliche Änderungstendenz besteht nach HUNDT in einer Verschwenkung des Landtiefs im Uhrzeigersinn um sein nördliches Ende, im Zusammenhang mit der gleichsinnigen Schwenkung des Außentiefs.

Auch am Süden der Insel treten sehr große Tiefen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten auf: Größte Tiefe unmittelbar südöstlich der Hörnum-Odde NN-42 m (KÖSTER, 1979). Dort wurden erstmals von SCHUMACHER (1923) Strömungsgeschwindigkeiten gemessen: Flut max. 1,6 m/s, Ebbe max. 1,1 m/s. KNOPs (1961) Messungen ergaben: Flut max. 1,8 m/s, Ebbe max. 1,7 m/s. Es sind bei ihm die höchsten, im gesamten Untersuchungsgebiet (Hörnum-Tief, Vortrapptief, Westküste Hörnum) für mittlere Tide überhaupt gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten.

Ursachen für die Unterschiede zu SCHUMACHER können sein: meteorologische, hydrologische, morphologische Einflüsse, besonders gerätetechnische Verschiedenheiten, Messtiefe usw.

KNOP vergleicht auch die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut und Ebbe miteinander und findet einen überwiegend seewärts gerichteten Strom in der Rinne querab Hörnum-Odde. Zum gleichen Ergebnis gelangt RAMMING (1982/1983) im numerischen Modell (s.u.) bei vertikal gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten einer mittleren Gezeit durch die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit.

Mit der heute erreichten Länge der Südspitze wird das Hörnum-Tief in seinem Verlauf stark eingeschnürt, was wahrscheinlich zu den hohen Strömungsgeschwindigkeiten führt (ähnlich wie im Lister

Außentief). Ein weiteres Längenwachstum der Insel in südlicher Richtung ist nicht mehr zu erwarten.

RAMMING hat in seinem numerischen Modell eine weitere Analogie zur Situation am Ellenbogen festgestellt: Die südwestlich der Hörnum-Odde vorgelagerten Sände, vor allem der Theeknobs, werden wie die Landtiefbarre mit sehr hohen Geschwindigkeiten überströmt, die die Geschwindigkeiten im Hörnumtief sogar beträchtlich übersteigen (um schätzungsweise 50 %) - und zwar in beiden Tidephasen. Ebenso hohe Geschwindigkeiten hat er für die Strömung aus dem Amrumtief ins Hörnumtief bei Einsetzen der Ebbe errechnet.

Die größten Wassertransporte gehen nach den Ergebnissen des numerischen Modells jedoch eindeutig durch das Hörnumtief; in wesentlichem Umfang an der Füllung und Entleerung des Flutraumes ist nur noch die Theeknobsrinne beteiligt. Das Hörnumloch fördert nur in den ersten 2 Stunden nach Einsetzen des Ebbestroms an der Odde nennenswerte Mengen, und zwar um die Odde herum nach Norden. Die Transportleistung des Amrumtiefs ist im Vergleich mit den anderen Rinnen verschwindend gering.

Das numerische Modell weist außerdem, zunächst nur qualitativ, den Übertritt beträchtlicher Wassermengen aus dem Flutraum der Norderaue über die Föhler Schulter hinweg in den Flutraum des Hörnumtiefs aus. Die Föhler Schulter wird danach während etwa 2 h nach Thw von Süd nach Nordwest überströmt. Die Größe dieser Wassermenge war von PFEIFFER (1969) auf  $60 \times 106 \text{ m}^3$  berechnet worden. Die durch das Hörnumtief abfließende Wassermenge betrug seinerzeit  $480 \times 106 \text{ m}^3$ , das heißt  $(60/480) \times 100 = \text{rd. } 15 \%$  des abfließenden Wassers sind zwischen Föhr und Festland zugeströmt.

Durch den Bau des Hindenburgdammes hat sich die gesamte in das Tidebecken des Hörnumtiefs zufließende Menge von 548 auf  $540 \times 106 \text{ m}^3$  verringert (PFEIFFER, 1969; DREBES, 1969). Diese Menge muss jetzt vollständig durch das Hörnumtief und in die Norderaue abgeführt werden.

Der Abfluss in die Norderaue lag vor dem Bau bei  $40 \times 106 \text{ m}^3$ , die jetzige Größe ist nicht bekannt. Nimmt man näherungsweise die damalige Menge von  $40 \times 106 \text{ m}^3$  an, so mussten jetzt  $500 \times 106 \text{ m}^3$ , d.h. 4 % mehr als früher durch das Hörnumtief abgeführt werden. Das bedeutet eine geringe Erhöhung der Ebbestromgeschwindigkeit im Hörnumtief.

Eine weitere Erhöhung, deren Größe bislang aber auch nicht angenähert bekannt ist, dürfte durch die Vertiefung der Föhrer Schulter und damit durch die Erhöhung der dort von Süd nach Nordwest übertretenden Wassermengen entstehen. Tatsächlich weisen örtliche Beobachtungen darauf hin, dass sich die Wattinnen nördlich des Föhrer Ley vertiefen, dass also, ähnlich wie am Ostrand des Pellwormer Wattsockels, die Tendenz zu einer Zunahme der Umströmung besteht.

## Seegang

und Sandbänken durch den örtlichen Wind neuer Seegang entwickeln.

Der Seegang ist eine wichtige Eingangsgröße für die Abschätzung der Erosionsgefährdung der Küsten und Inseln. Darüber hinaus ist die Kenntnis der Seegangverhältnisse am Planungsort maßgebend für die funktionelle und konstruktive Planung von Küstenschutzbauwerken.

### Allgemeines zum Seegang

Der Seegang ist neben den Gezeiten, Sturmflutwasserständen und küstennahen Strömungen eine wichtige Eingangsgröße für die Abschätzung der Erosionsgefährdung der Küsten und Inseln. Darüber hinaus ist die Kenntnis der Seegangverhältnisse am Planungsort maßgebend für die funktionelle und konstruktive Planung von Küstenschutzbauwerken, wie z.B. für die Berechnung des Wellenauflauf und des Wellenüberlaufs an Hochwasserschutzanlagen.

Der Seegang, der aus Windwellen und Dünung besteht, ist aufgrund der meteorologischen Einflüsse schwer vorhersagbar, insbesondere für Küstenbereiche mit begrenzten Wassertiefen und stark variierenden Topographien.

Im Tiefwasser kann bei genügend langer Windwirkdauer davon ausgegangen werden, dass die mittlere Wellenanlaufrichtung der mittleren Windrichtung entspricht. Kurzfristige Schwankungen in Windgeschwindigkeit und Windrichtung haben darauf nur wenig Einfluss. Im Küsteningenieurwesen ist aber weniger die Kenntnis der ungestört fortschreitenden Wellen im Tiefwasser maßgebend, sondern vielmehr die Kenntnis über die Umformung der Wellen (Transformation) im küstennahen Flachwasser. Diese Umformung erfolgt infolge Grundberührung der Wellen beim Einlaufen der Wellen in flaches Wasser (Refraktion, Shoaling, Wellenbrechen) sowie bei deren Auftreffen auf natürliche und künstliche Hindernisse (Diffraktion, Reflexion, Wellenbrechen). Je nach Art der Transformation kann sich jeweils die Form der Welle, deren Geschwindigkeit, Höhe, Länge und Richtung sowie das Strömungsfeld unter der Welle ändern.

Für den Seegang im Wattenmeer gilt, dass er von der Wechselwirkung zwischen Topographie, dem lokalen Wind und der Wassertiefe beeinflusst wird. Dabei wird die maximale Wellenhöhe des aus der Nordsee einlaufenden Seegangs von der Wassertiefe begrenzt. Zusätzlich kann sich im Abschattungsbereich von Inseln

## Untersuchungen zum Seegang an der Hörnum-Odde

Für den Bereich der Hörnum-Odde liegen nur wenige Seegangmessungen vor. Im Rahmen einer Messkampagne im Jahre 1996 wurde für einen Zeitraum von ca. 3 Monaten eine Wellenmessboje im Hörnumtief (Position R 3455300 H 6066400) betrieben. Die maximale Wellenhöhe ( $H_{m0}$ ) wurde an dieser Position mit 170 cm gemessen. Der Vergleich zeigt die wellendämpfende Wirkung des Theeknobssandes.

Das Helmholtz-Zentrum Geesthacht betreibt seit dem Jahr 2002 mit dem radargestützten Wellenbeobachtungssystem WaMoS II auf dem ehemaligen Unterfeuer (54°44',49"N, 8°17',22"O) eine Seegangmeseinheit. Dabei werden Frequenzspektren aus Radarbildern eines nautischen X-Band-Radars berechnet, aus denen dann die Seegangparameter Wellenhöhe, Wellenperiode und Wellenrichtung ermittelt werden. Im Zuge einer Diplomarbeit wurde der Seegang an der Südspitze Sylt mit diesem Wellenbeobachtungssystem untersucht (LUND 2008). Für den Bereich der Südspitze der Insel Sylt konnten somit die dominierenden Wellenparameter bestimmt werden. Die wesentlichen Erkenntnisse der Auswertung für den Zeitraum von 2002 bis 2004 sind:

Die Wellenhaupttrichtung mit Westnordwest und West entspricht naturgemäß der Hauptangriffsrichtung des Windes

Außerhalb des Richtungssektors von 310° bis 240° treten keine Wellen auf, da dafür die Streichlänge nicht ausreichend ist.

Die signifikante Wellenhöhe  $H_s$  liegt bei 0,7 bis 1,0 m.

Wellenhöhen mit 1,50 m und höher kommen überwiegend aus westnordwestlicher Richtung, kleine Wellen aus Westsüdwest.

Die mittlere Wellenlänge liegt bei 5 bis 7 Sekunden. Damit haben die Wellen im Mittel eine Wellenlänge von 40 m bis 55 m.

Wellen mit Perioden von 8 Sekunden oder länger kommen aus Westnordwest.

Zudem wurden folgende Aussagen bezüglich der räumlichen Variabilität der Seegangverhältnisse um die Hörnum-Odde gemacht:

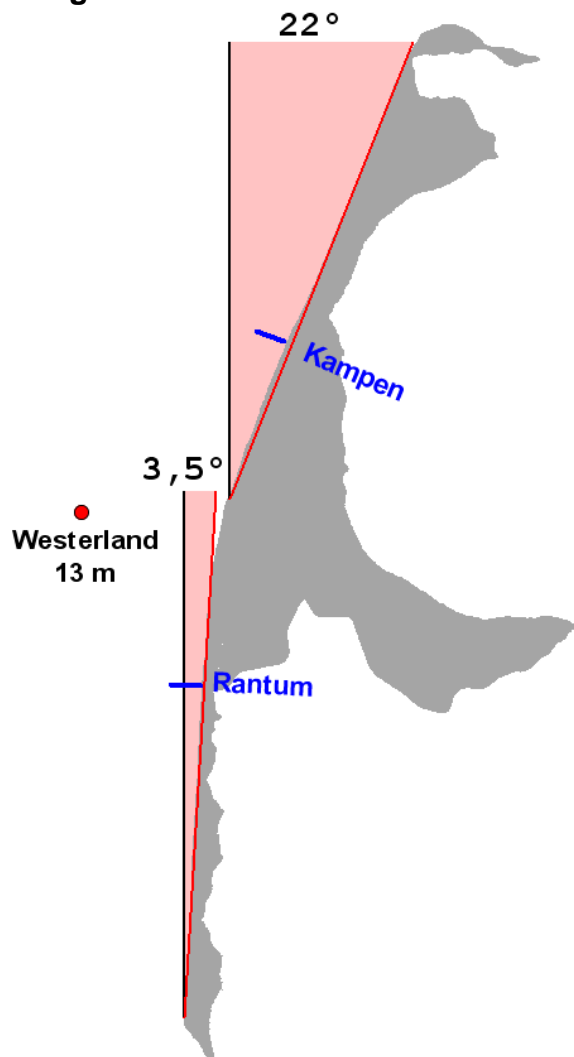
Die Wellenhöhe nimmt im Verlauf um die Odde von der Westküste über die Außensände bis auf die Ostseite in Randbereich des Hörnumtiefs ab. Im Bereich der Außensände und im Randbereich des Hörnumtiefs sind Wellenhöhen über 2,0 m äußerst selten.

Die Wellenperiode nimmt über den Außensänden ab (6 s) und steigt bis zum Hörnumtief wieder auf die Größenordnung wie auf der Westseite der Odde (7 s) an.

Die Verschwenkung der Wellen in Flachwasserbereichen auf die Küste zu, ist auch in der Veränderung der Wellenrichtung sichtbar. Während die Wellen auf der Westseite in einem 230° bis 310°-Sektor und vornehmlich aus Nordwest auf die Küste zulaufen, liegen im Bereich der Außensände größere Schwankungsbreiten der Anlauftrichtung (180° bis 360°, Schwerpunkte aus NW und SW) vor. Auf der Ostseite wird die Ablenkung der Wellen noch verstärkt (150° bis 320°).

Da diese Ergebnisse jedoch auch einen Bereich enthalten in dem "häufig nur bei Flut und während Sturmfluten gemessen werden kann" (LUND 2008, S. 59), ist eine eindeutige Repräsentativität der Seegangverhältnisse für das gesamte Gebiet um die Odde nicht zwingend gegeben.

## Energiefluss



der Nordrichtung. Im Südteil der Insel ist die Küstenlinie um 3,5° nach Osten verschwenkt.

Abb. 31: Ausrichtung der Küstenlinie LKN-SH (04.01.2011)

Aus den gemessenen Seegangdaten an der Referenzstation Westerland WAVEC (-13 m Wassertiefe) wird der seegangerzeugte Energiefluss ( $F_{tot}$ ) seit Inbetriebnahme der Messboje im Jahre 1988 berechnet, wobei die angreifende Kraft in ihre Komponenten (normal,  $F_n$ , und tangential, d.i. parallel zur Küste,  $F_t$ ) zerlegt wird. Bei dem küstenparallelen Energiefluss ( $F_l$ ) muss zwischen dem nach Norden ( $F_{l,N}$ ) und dem nach Süden ( $F_{l,S}$ ) gerichteten Energiefluss unterschieden werden. Die Ganglinien der Energieflusskomponenten weisen eine gewisse Schwankungsbreite des Energieflusses (Sommer-, Winterhalbjahr) auf. Die Energieflüsse werden für ausgewählte Profile vor Rantum (Südteil) und Kampen (Nordteil) berechnet. Der Energiefluss bezieht sich auf den Berechnungspunkt 380 m (Rantum) bzw. 270 m (Kampen) seeseitig der NN-Linie bei einer Wassertiefe von NN-4 m. Die Ausrichtung der Küstenlinie in der Nordhälfte liegt bei 22° gegenüber

**Energiefluss Südteil (Westerland-Rantum-Hörnum)**

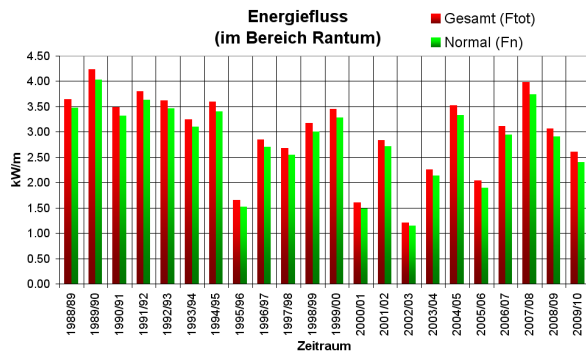


Abb. 32: Energiefluss 01.07.1988 bis 01.07.2010 LKN-SH (03.01.2011)

Die jährlichen Mittelwerte (01.07. - 30.06.) des Gesamtenergieflusses (F<sub>tot</sub>), berechnet für den Bereich Rantum, schwanken im betrachteten Zeitraum von 1,21 kW/m (2002/03) bis 4,23 kW/m (1989/90). Im Mittel beträgt der küstennormale Anteil (F<sub>n</sub>) 95 %.

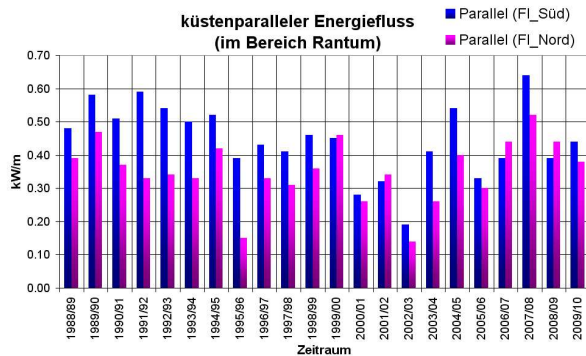


Abb. 33: küstennormale Energieflüsse (01.07.1988 bis 01.07.2010) LKN-SH (03.01.2011)

Auf den küstennormalen Energiefluss entfallen lediglich rd. 5 % vom gesamten Energiefluss. Dieser Anteil ist für den langfristigen Verlust an Inselform verantwortlich. Die Werte schwanken von 0,14 kW/m (2002/03) bis 0,64 kW/m (2007/08). Im Südteil der Insel ist der nach Süden gerichtete Anteil größer als der nach Norden gerichtete Anteil. Im Nordteil überwiegt der nach Norden gerichtete Energiefluss. Je nach Richtung des einlaufenden Seeganges kann ein Nettotransport des küstennormalen Energieflusses im Südteil der Insel jedoch auch nach Norden erfolgen (1999/00, 2001/02, 2006/07 und 2008/09). Der theoretische Sandverlust im Südteil der Insel ist damit verringert.

**Anteil des küstennormalen Energieflusses am Gesamtenergiefluss (im Bereich Rantum)**

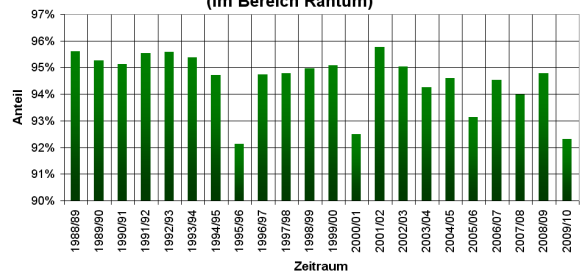


Abb. 34: Anteil küstennormaler Energiefluss am Gesamtenergiefluss (01.07.1988 bis 01.07.2010) LKN-SH (03.01.2011)

Der Anteil des mittleren jährlichen küstennormalen Energieflusses am Gesamtenergiefluss variiert im Südteil von 92 % bis 96 %. Je höher der küstennormale Anteil ist, desto geringer ist der küstenparallele Energiefluss. Theoretisch ist damit der Gesamtsandaustrag ebenfalls geringer.

**Energiefluss Nordteil (Westerland-Wenningstedt-Kampen-List)**

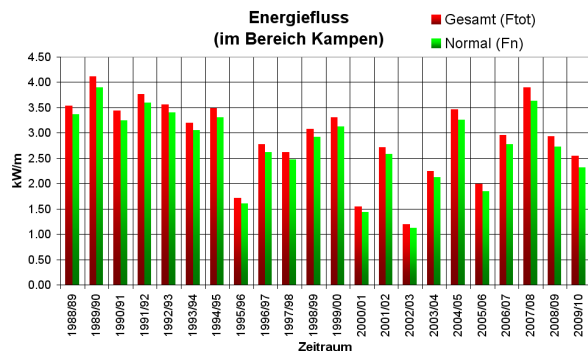


Abb. 35: Energiefluss 01.07.1988 bis 01.07.2010 LKN-SH (03.01.2011)

Die jährlichen Mittelwerte (01.07. - 30.06.) des Gesamtenergieflusses ( $F_{tot}$ ), berechnet für den Bereich Kampen, schwanken im betrachteten Zeitraum von 1,19 kW/m (2002/03) bis 4,11 (1989/90). Im Mittel beträgt der küstennormale Anteil ( $F_n$ ) 94 %. Er ist damit etwas geringer als im Südteil, da die Küstenlinie im Nordteil stärker (18,5°) nach Osten verschwenkt ist.

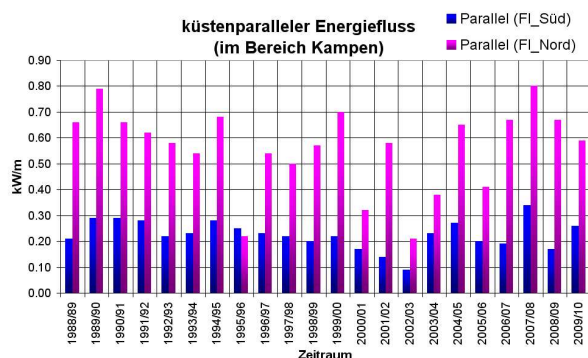


Abb. 36: küstenparallele Energieflüsse (01.07.1988 bis 01.07.2010) LKN-SH (03.01.2011)

Auf den küstenparallelen Energiefluss entfallen lediglich rd. 6 % vom gesamten Energiefluss. Dieser Anteil ist für den langfristigen Verlust an Inselsubstanz verantwortlich. Die Werte schwanken von 0,09 kW/m (2002/03) bis 0,80 kW/m (2007/08). Im Nordteil der Insel ist der nach Norden gerichtete Anteil größer als der nach Süden gerichtete Anteil. Im Südteil überwiegt der nach Süden gerichtete Energiefluss mit Ausnahme des Jahres 1995/96. Ein Nettotransport des küstenparallelen Energieflusses nach Süden findet im Nordteil der Insel fast nie statt. Theoretisch überwiegt im Jahresmittel fast immer der Sandtransport nach Norden. Der Sandtransport ist theoretisch im Nordteil größer als im Südteil der Insel.

**Anteil des küstennormalen Energieflusses am Gesamtenergiefluss (im Bereich Kampen)**

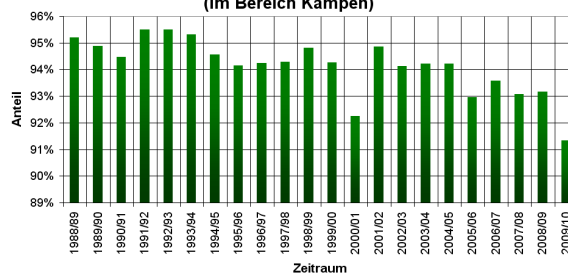


Abb. 37: Anteil küstennormaler Energiefluss am Gesamtenergiefluss (01.07.1988 bis 01.07.2010) LKN-SH (03.01.2011)

Der Anteil des mittleren jährlichen küstennormalen Energieflusses am Gesamtenergiefluss variiert im Nordteil von 91 % bis 96 %. Je höher der küstennormale Anteil ist, desto geringer ist der küstenparallele Energiefluss. Theoretisch ist damit der Gesamtsandaustrag ebenfalls geringer.

## Seegangstatistik Westerland

Die Auswertung der Seegangparameter an der Tiefwasserwellenmessboje vor Westerland im Fünfjahreszeitraum von Oktober 1986 bis September 1993 gibt einen Überblick über die Häufigkeit eingetretener Seegangereignisse.

Tab. 11: prozentuale Häufigkeit Wellenhöhen (Westerland 10.1986-09.1993)

Wellen- höhe [cm]	mittlere Wellenanlaufrichtung [Grad] Sektorbreite 15 Grad												Summe
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
0-25	0,105	0,065	0,044	0,025	0,028	0,020	0,016	0,128	0,280	0,713	0,954	0,329	2,706
25-50	1,190	1,253	0,743	0,434	0,412	0,412	0,727	1,409	1,721	2,790	5,629	3,089	19,808
50-75	0,761	0,358	0,281	0,221	0,147	0,232	0,781	1,312	2,530	3,194	5,815	4,002	19,635
75-100	0,422	0,101	0,062	0,016	0,013	0,016	0,226	0,931	2,618	3,142	4,747	2,242	14,536
100-125	0,250	0,007	0,010	0,008	0,002	0,013	0,052	0,574	2,728	3,317	3,835	1,536	12,332
125-150	0,129	0,005	0,005	0,003			0,003	0,236	1,860	2,461	2,891	1,266	8,860
150-175	0,023						0,002	0,205	1,484	2,075	2,009	0,749	6,547
175-200	0,012							0,106	1,000	1,522	1,518	0,437	4,595
200-225	0,002							0,075	0,767	1,229	1,193	0,206	3,472
225-250								0,018	0,550	0,823	0,892	0,128	2,410
250-275								0,008	0,345	0,692	0,602	0,041	1,689
275-300								0,002	0,244	0,476	0,371	0,028	1,121
300-325									0,126	0,317	0,239	0,005	0,687
325-350									0,072	0,247	0,169	0,003	0,491
350-375									0,065	0,182	0,173		0,421
375-400									0,039	0,133	0,105		0,277
400-425									0,016	0,082	0,083		0,182
425-450									0,010	0,082	0,054		0,146
450-475									0,003	0,033	0,010		0,046
475-500										0,028			0,028
500-525										0,008	0,002		0,010
525-550										0,003			0,003
550-575													
<b>Summe</b>	2,893	1,790	1,145	0,707	0,602	0,694	1,806	5,004	16,459	23,547	31,291	14,062	100 %



Die zugehörigen Wellenperioden ( $T_{02}$ ) gemäß der Verteilung der im Zeitraum von Oktober 1986 bis September 1993 eingetretener Seegangereignisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 12: Wellenperiode ( $T_{02}$ ) in Sekunden (Westerland 10.1986-09.1993)

Wellenhöhe [cm]	mittlere Wellenanlaufrichtung [Grad] Sektorbreite 15 Grad											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
0-25	2,8	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3	2,5	2,8	3,0	3,5	4,4	3,4
25-50	3,2	3,0	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	3,1	3,3	3,7	4,2	3,7
50-75	3,4	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,7	3,9	4,1	3,7
75-100	3,7	3,3	3,1	3,2	4,0	2,8	3,5	3,7	3,9	4,1	4,2	3,9
100-125	3,9	4,0	3,3	3,2	4,1	4,2	3,9	4,0	4,2	4,3	4,3	4,1
125-150	4,2	4,3	3,8	2,5			4,0	4,3	4,4	4,5	4,5	4,4
150-175	4,3						4,2	4,5	4,7	4,7	4,7	4,6
175-200	4,8							4,8	4,9	5,0	5,0	4,9
200-225	4,6							5,2	5,2	5,3	5,2	5,2
225-250								5,4	5,4	5,5	5,5	5,5
250-275								5,7	5,7	5,7	5,8	5,8
275-300								5,9	5,9	6,0	5,0	6,0
300-325									6,1	6,2	6,3	6,6
325-350									6,3	6,4	6,6	6,5
350-375									6,7	6,7	6,9	
375-400									6,9	7,0	7,1	
400-425									7,1	7,2	7,4	
425-450									7,5	7,5	7,5	
450-475									7,6	7,8	7,6	
475-500										7,9		
500-525										8,2	8,2	
525-550										8,1		
550-575												

Die zugehörigen Wasserstände für die im Zeitraum von Oktober 1986 bis September 1993 eingetretener Seegangereignisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 13: Wasserstand in Meter PN (Westerland 10.1986-09.1993)

Wellenhöhe [cm]	mittlere Wellenanlaufrihtung [Grad] Sektorbreite 15 Grad											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
0-25	4,74	4,65	4,85	4,46	4,31	4,83	4,96	4,64	4,78	4,70	4,74	4,75
25-50	4,65	4,70	4,66	4,52	4,67	4,74	4,74	4,71	4,87	4,84	4,80	4,77
50-75	4,64	4,46	4,37	4,46	4,60	4,70	4,73	4,87	4,92	4,89	4,90	4,80
75-100	4,5	4,20	3,87	3,96	4,12	4,40	4,57	4,88	5,04	4,99	4,98	4,91
100-125	4,49	4,63	3,05	2,97	3,76	3,76	4,63	4,92	5,10	5,12	5,04	4,93
125-150	4,46	4,95	4,12	3,86			5,36	5,04	5,17	5,23	5,15	4,90
150-175	4,82						5,08	5,02	5,25	5,30	5,19	5,09
175-200	4,72							5,01	5,29	5,44	5,30	5,17
200-225	4,67							5,11	5,48	5,53	5,38	5,21
225-250								5,01	5,57	5,67	5,46	5,27
250-275								5,17	5,53	5,76	5,57	5,41
275-300								6,26	5,61	5,82	5,71	5,46
300-325									5,75	5,89	5,84	5,76
325-350									5,99	6,14	6,02	5,62
350-375									6,31	6,24	6,17	
375-400									6,23	6,47	6,42	
400-425									6,43	6,56	6,56	
425-450									6,48	6,73	7,00	
450-475									7,45	7,07	7,12	
475-500										7,51		
500-525										7,24		
525-550										7,59		
550-575												