

# Morphologischer Zustand Westküste Sylt 2008

## Untersuchungszeitraum 1984 – 2008

Bericht 02/2009

### Inhalt

Veranlassung.....	2
1 Vermessungsarbeiten 2008.....	3
2 Sandaufspülungen 2008.....	5
2.1 Aufspülbereiche und -mengen.....	5
2.2 List.....	9
2.3 Kampen.....	10
2.4 Westerland-Nord.....	11
2.5 Westerland.....	12
2.6 Hörnum-Nord.....	13
2.7 Hörnum-Hauptstrand.....	14
2.8 Dünenverstärkung Hörnum-Odde.....	15
3 Volumen- und Profilvergleiche.....	16
3.1 Volumenbilanzen innerhalb unterschiedlicher Höhenlamellen.....	16
3.2 Volumendefizite 2008, Profilvergleiche und Sandersatzbedarf 2009.....	20
3.3 Profilvergleiche Inselenden.....	31
3.4 Volumenänderungen von April 1999 bis November 2008.....	32
4 Entwicklung der bisher durchgeführten Riff- bzw. Vorstrandaufspülungen Sylt.....	40
4.1 Vorstrandaufspülung Wenningstedt 2004.....	40
4.2 Vorstrandaufspülungen Rantum - Puan Klent 2006.....	42
4.2.1 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Nord).....	43
4.2.2 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Mitte).....	44
4.2.3 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Süd).....	45
5 Sonstige durchgeführte bauliche Maßnahmen.....	46
5.1 Tetrapodenquer- und -längswerk Hörnum.....	46
5.2 Strandschieben.....	46
5.3 Biotechnische Maßnahmen.....	46
6 Sandentnahmegebiet Westerland II/III.....	49
6.1 Datengewinnung und –aufbereitung im Sandentnahmegebiet.....	49
6.2 Beispielhafte Untersuchung eines Sandentnahmetrichters.....	50
7 Energieeinträge.....	54
7.1 Wind.....	54
7.2 Seegang.....	55
7.3 Wasserstand.....	56
8 Zusammenfassung.....	58

## **Veranlassung**

Die Westküste der Insel Sylt weist einen mittleren jährlichen Abtrag von rd. 1 Mio. m<sup>3</sup> auf. Dieser Verlust wird seit 1972 bzw. 1983 durch technische Maßnahmen in Form von Sandaufspülungen weitestgehend ersetzt. Zur Überwachung der bisherigen und Planung künftiger Maßnahmen wird die gesamte Westküste Sylts alle fünf Jahre hydrographisch (Vorstrand, letztmalig 2005 erfolgt) und jährlich von der Düne bis zur Niedrigwasserlinie vermessen. Diese Zustände werden mit einem Referenzzustand (1984 bis 1992) verglichen. Der Referenzzustand ergibt sich aus der ersten Vorvermessung der jeweiligen Sandaufspülung; als gemeinsames Messdatum wird 1984 angegeben. Die Vorvermessungen der Aufspülungen erfolgen hydrographisch und terrestrisch sowie die Nachvermessungen der am Strand stattfindenden Sandaufspülungen terrestrisch. Für die 2006 vorgenommenen Vorstrandaufspülungen wurden zusätzliche hydrographische Nachvermessungen vorgenommen, um das Verhalten der eingebrachten Sandmengen beobachten zu können.

Der vorliegende Bericht beschreibt den morphologischen Zustand der Westküste Sylts zum November 2008, gibt die bestehenden Sanddefizite an und enthält weitergehende Auswertungen der Daten zu den Vorstrandaufspülungen.

## 1 Vermessungsarbeiten 2008

Zur Vor- und Nachvermessung der Maßnahmen wurden 2008 umfangreiche Vermessungen durchgeführt (s. **Tabelle 1**). Die Dokumentation der morphologischen Entwicklung am südlichen Inselende und in den Bereichen der Vorstrandaufspülungen 2006 ist ein weiterer Schwerpunkt der Messaktivitäten gewesen. Zusammen mit den Laserscan-Vermessungen wurden ebenfalls digitale Orthofotos aufgenommen.

**Tabelle 1: Im Jahre 2008 durchgeführte Vermessungsarbeiten Sylt (Westküste)**

Zeitpunkt	Art	Bereich	Zweck
08.01.2008	Terrestrisch	Hörnum-Odde	Abruchkante Hörnum-Odde
28.01.2008	Terrestrisch	Kampen	Kontrolle Sandaufspülung Kampen-Nord 2007
26.02.2008	Terrestrisch	Kampen	Kontrolle Sandaufspülung Kampen-Nord 2007
04.03.2008	Terrestrisch	Hörnum-Odde	Kontrolle Veränderung Hörnum-Odde
07.04.2008	Laserscan	Gesamt	Sondervermessung / terr. Vorvermessung Aufsp. Kampen 2008
09.04.2008	Hydrographisch	Kampen	Hydr. Vorvermessung Aufsp. Kampen 2008
15.04.2008	Hydrographisch	Rantum, Puan Klent	Hydr. Nachvermessung Vorstrandaufsp. 2006
06.05.2008	Hydrographisch	Hörnum-Odde	Jährliche Kontrollmessungen südl. Inselende / hydrogr. Vorvermessung Aufsp. Hörnum-Odde 2008
30.05.2008	Terr.+hydrogr.	Westerland, Wenningstedt	Vorvermessung Aufsp. Westerland-Nord 2008 und Westerland 2008
18.06.2008	Terrestrisch	Westerland	Terr. Nachvermessung Aufsp. Westerland 2008
07.07.2008	Terrestrisch	Kampen	Terr. Nachvermessung Aufsp. Kampen 2008
10.07.2008	Terr.+hydrogr.	List	Vorvermessung Aufsp. List 2008
23.07.2008	Terrestrisch	Westerland, Wenningstedt	Terr. Vorvermessung Aufsp. Westerland-Nord 2008
30.07.2008	Terr.+hydrogr.	Ellenbogen	Kontrolle nördliches Inselende
01.09.2008	Terrestrisch	List	Terr. Nachvermessung Aufsp. List 2008
03.09.2008	Terr.+hydrogr.	Hörnum	Vorvermessung Aufsp. Hörnum-Nord 2008, Hörnum 2008 und Hörnum-Odde 2008
03.09.2008	Terrestrisch	Hörnum-Odde	Abruchkante Hörnum-Odde
16.09.2008	Terrestrisch	Westerland, Wenningstedt	Terr. Nachvermessung Westerland-Nord 2008
17.11.2008	Laserscan	Gesamt	Jährliche Gesamtvermessung
17.11.2008 (18.11.2008)	Terrestrisch	Hörnum, Hörnum-Odde	Terr. Nachvermessung Hörnum-Nord 2008, Hörnum 2008, Hörnum-Odde 2008 (Kontrolle Laserscan)
15.-21.04.2008	Fächerecholot	Sandentnahme Westerland II	Kontrolle Sandentnahmegebiet Westerland II

Im Jahre 2008 wurden insgesamt rd. 695 Kilometer Profile gemessen, wobei 121.053 Messpunkte der Auswertung zugeführt worden sind. Der Profilabstand lag bei rd. 50 m (hydrografisch) bzw. 100 m (terrestrisch).

In beiden unterschiedlichen Messkampagnen (April und November 2008) wurden insgesamt 70 Quadratkilometer an Oberfläche mithilfe des Laserscanverfahrens erfasst.

Hinzu kommen die Peilungen im Bereich der Sandentnahme Westerland II, sowie Teilgebiete in Westerland III, die im Jahre 2008 erstmals mit Hilfe des Fächerecholotes in Amtshilfe vom WSA Tönning vorgenommen worden ist (ca. 34 km<sup>2</sup>).

## 2 Sandaufspülungen 2008

### 2.1 Aufspülbereiche und -mengen

Zur Sicherung der Westküste Sylts wurde 2008 auf einer Gesamtstrecke von rd. 6,25 km ein Sandvolumen von rd. 1,24 Mio. m<sup>3</sup> (198 m<sup>3</sup>/m) aufgespült. Die Summe der Aufspülmengen (akkumulierte Mengen) entlang der Westküste ist in **Abbildung 1** dargestellt. Die größten Sandmengen wurden bislang vor Westerland, Hörnum und Kampen-Kliffende aufgespült. Die zeitliche Abfolge der aufgespülten Strecken ist in **Abbildung 2** dargestellt. Die Aufspülmengen des Zeitraumes 1972 – 2008 sind **Tabelle 2** und **Abbildung 3** zu entnehmen. Die Kosten betragen in diesem Zeitraum rd. 156 Mio. €.

**Tabelle 2: Sandaufspülungen Sylt 2008**

Nr.	Gebiet	Jahr	von	bis	Strecke	Menge	Menge	Sandentnahme
		JJJJ	km	km	km	Mio. m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /m	
1-80	Übertrag	2007			114	37.4	329	
81	List	2008	13.259	14.943	1.650	0.323	196	Westerland II
82	Kampen	2008	4.979	6.979	1.650	0.301	182	Westerland II
83	Westerland-Nord	2008	1.732	2.437	0.700	0.081	115	Westerland II
84	Westerland	2008	50.095	0.550	0.500	0.179	275	Westerland II
85	Hörnum-Nord	2008	64.987	64.587	0.400	0.099	197	Westerland II
86	Hörnum-Hauptstrand	2008	67.487	66.887	0.600	0.178	296	Westerland II
87	Hörnum-Odde	2008	67.987	67.487	0.500	0.076	152	Westerland II
	<i>Zwischensumme</i>	2008			6.250	1.236	198	
	<b>Gesamtsumme</b>	<b>1972 bis 2008</b>			<b>120</b>	<b>38.6</b>	<b>322</b>	

### akkumulierte Aufspülmengen 1972-2008

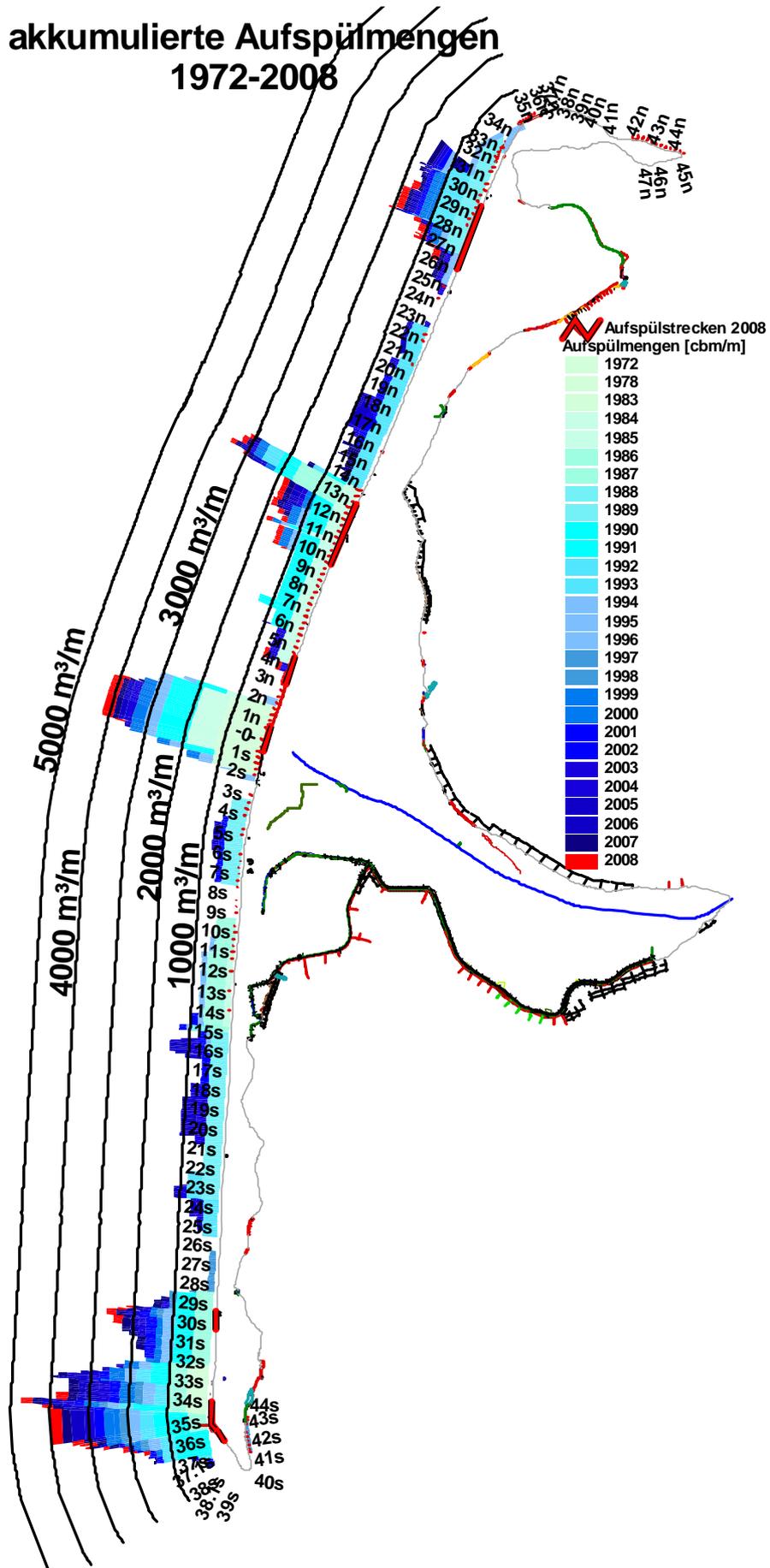


Abbildung 1: Akkumulierte Aufspülmengen 1972-2008

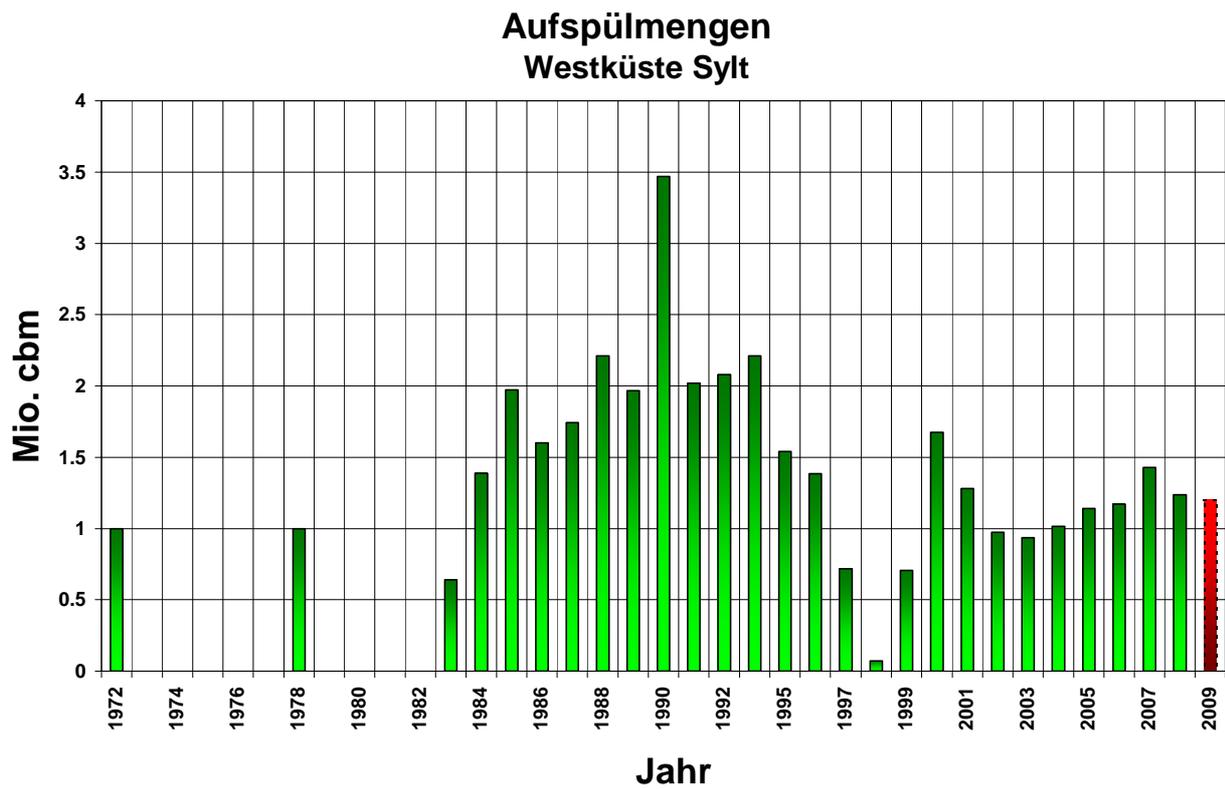


Abbildung 2: Umfang der Sandaufspülungen im Zeitraum 1972-2008, Planung 2009

# Aufspülzeitpunkte 1972-2008

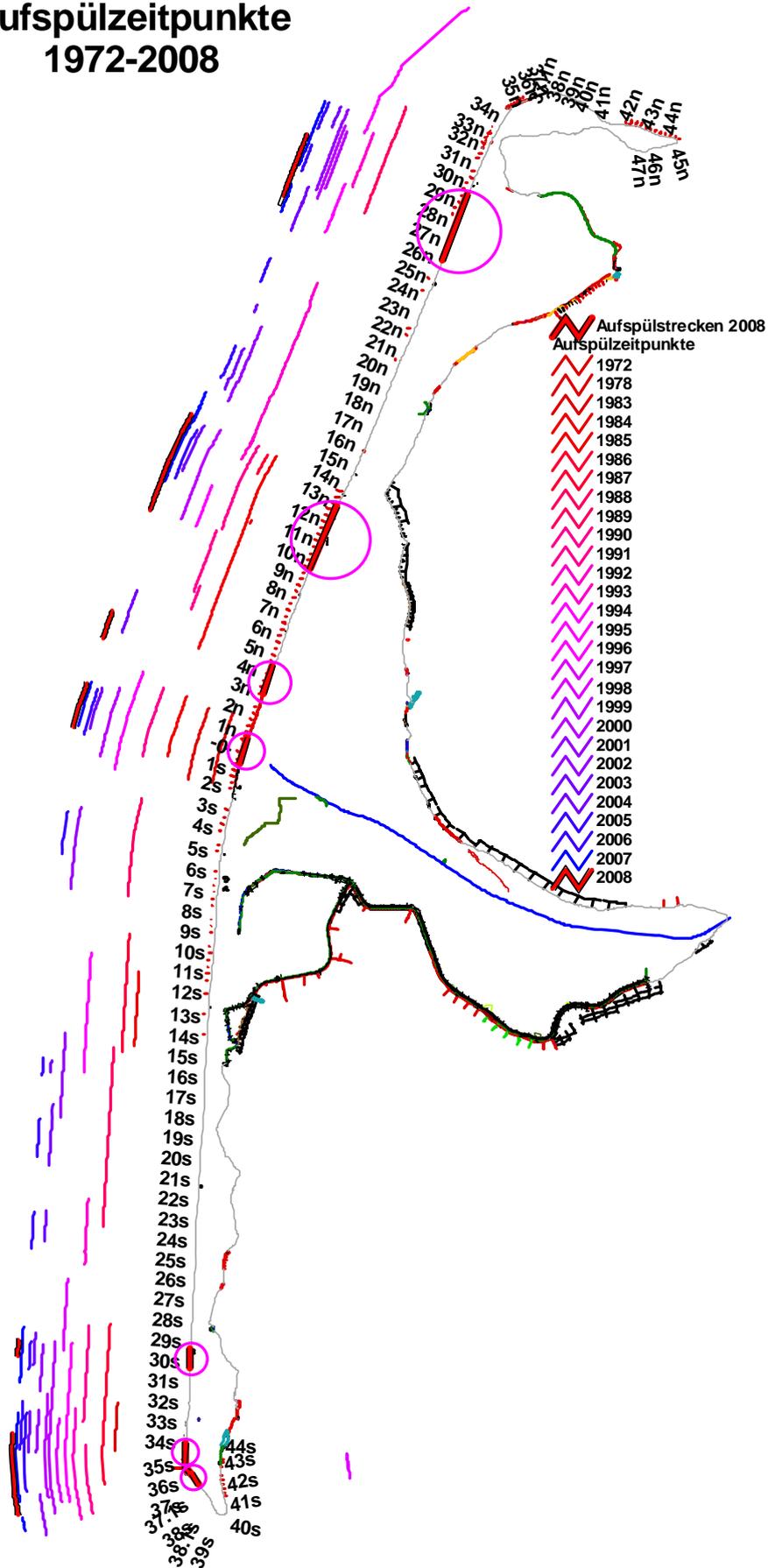


Abbildung 3: Lage der Sandaufspülungen Sylt von 1972 bis 2008



## 2.3 Kampen

Im Bereich des Hauptstrandes von Kampen wurde vom 12.05.-05.07.2008 zwischen Stat. 04+979 und Stat. 06+685 auf einer Länge von rd. 1,65 km eine Menge von rd. 301 000 m<sup>3</sup> (182 m<sup>3</sup>/m) aufgespült.

Aufgrund der Strandvermessungen ergibt sich eine Gesamtbilanz zwischen Vor- und Nachvermessung (07.04.-07.07.2008) von rd. 126 000 m<sup>3</sup>, so dass lediglich ca. 42 % der Spülmenge vermessungstechnisch erfasst wurden (**Abbildung 6**). Ein größerer Teil der Sandmengen hat sich in relativ kurzer Zeit außerhalb des Messgebietes verlagert.

Zwischen der Referenz- und Vorstrandvermessung am 09.04.2008 besteht im Vorstrand des Aufspülbereiches Kampen eine positive Sandbilanz in Höhe von rd. 277 000 m<sup>3</sup>. Die Profilvergleiche zwischen Vor- und Nachvermessung des Aufspülkörpers sind in **Abbildung 7** dargestellt.

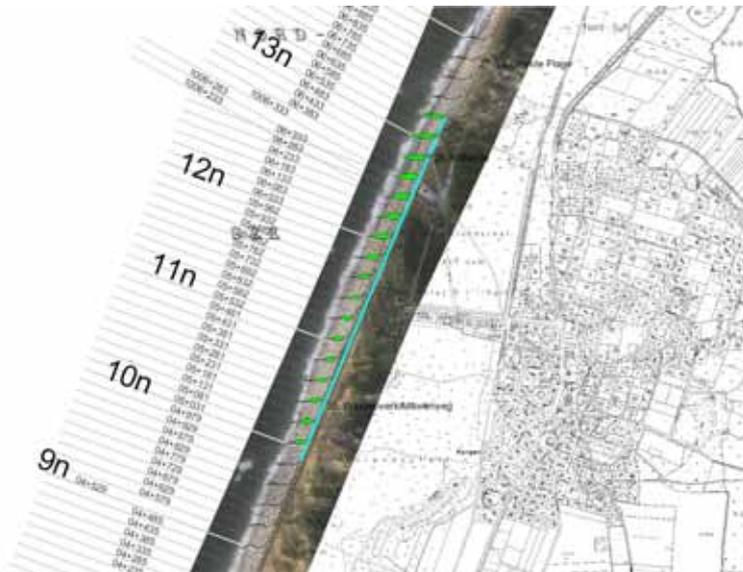


Abbildung 6: Profilvergleiche Sandaufspülung Kampen (07.04.-07.07.2008)

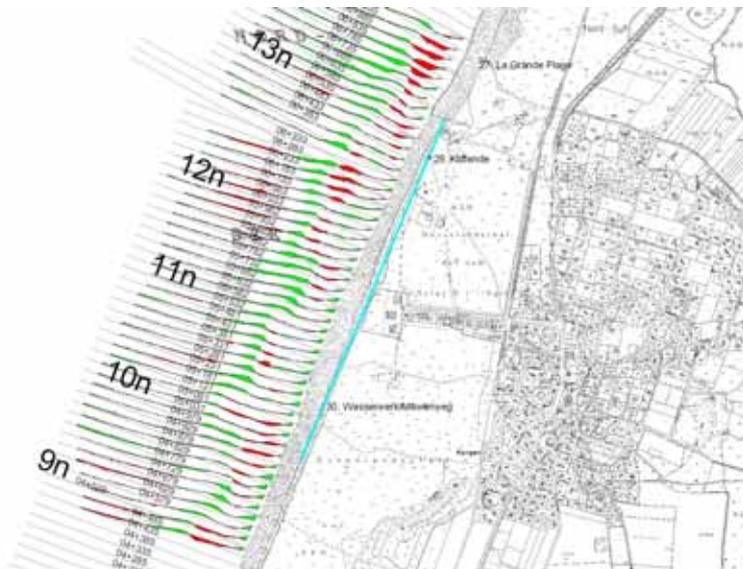


Abbildung 7: Profilvergleiche Vorstrand Kampen (Referenzvermessung zu 09.04.2008)

## 2.4 Westerland-Nord

Im Bereich zwischen Westerland und Wenningstedt erfolgte vom 27.08.-09.09.2008 eine Sandaufspülung mit rd. 81 000 m<sup>3</sup> (115 m<sup>3</sup>/m). Die Länge der Spülstrecke lag bei rd. 700 m (Stat. 01+732 – Stat. 02+437).

Die bilanzierten Aufspülmengen betragen aufgrund des Vor- und Nachaufmaßes (23.07.-16.09.2008) rd. 51 000 m<sup>3</sup>, so dass rd. 63 % der Aufspülmengen rechnerisch erfasst wurden (**Abbildung 8**).

Zwischen der Referenzvermessung und der Vorstrandvermessung am 30.05.2008 besteht im Bereich Westerland-Wenningstedt ein Sanddefizit von rd. 169 000 m<sup>3</sup>. Die Profilvergleiche sind in **Abbildung 9** dargestellt.

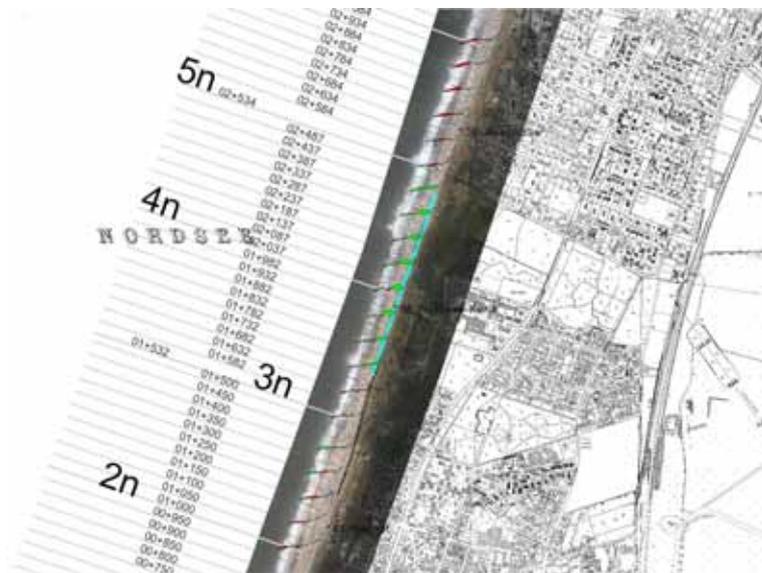


Abbildung 8: Profilvergleiche Sandaufspülung Westerland-Nord (23.07.-16.09.2008)

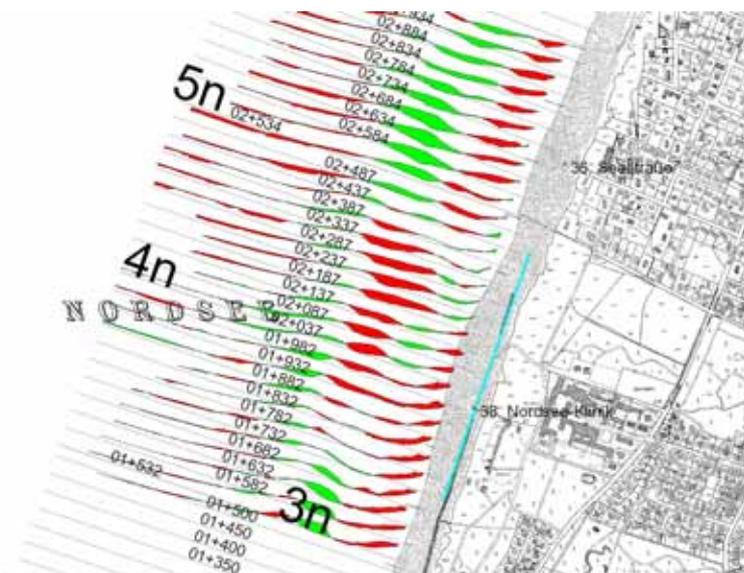


Abbildung 9: Profilvergleiche Vorstrand Westerland-Nord (Referenzvermessung zu 30.05.2008)

## 2.5 Westerland

Vor der Ufermauer Westerland wurde zwischen 28.05.-22.06.2008 auf einer Strecke von rd. 650 m (Stat. 50+095 – Stat. 00+550) eine Menge von rd. 179 000 m<sup>3</sup> (275 m<sup>3</sup>/m) aufgespült.

Die rechnerischen Aufspülmengen betragen aufgrund des Vor- und Nachaufmaßes des Aufspülkörpers (30.05.-18.06.2008) rd. 106 000 m<sup>3</sup>, so dass rd. 59 % der Aufspülmengen erfasst wurden (**Abbildung 10**).

Zwischen der Referenzvermessung und der Vorstrandvermessung am 30.05.2008 ist ein Restvolumen von rd. 288 000 m<sup>3</sup> vorhanden. Die Profilvergleiche sind in **Abbildung 11** dargestellt.

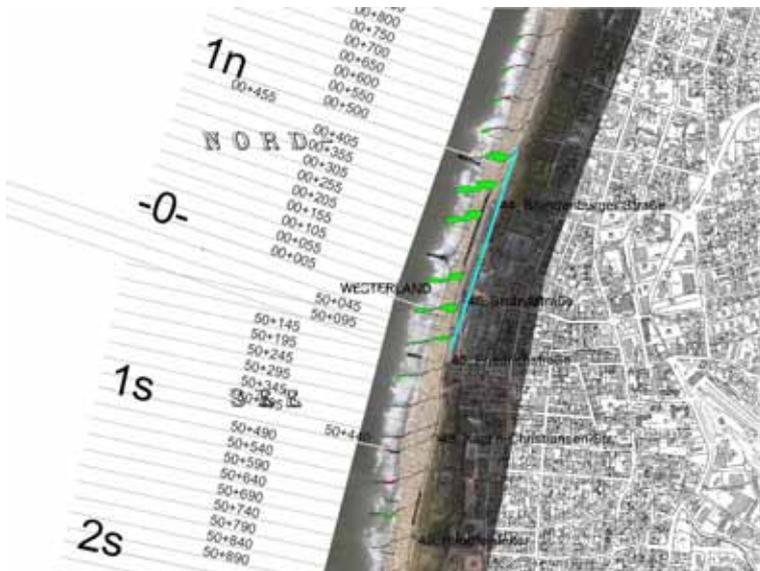


Abbildung 10: Profilvergleiche Sandaufspülung Westerland (30.05.-18.06.2008)

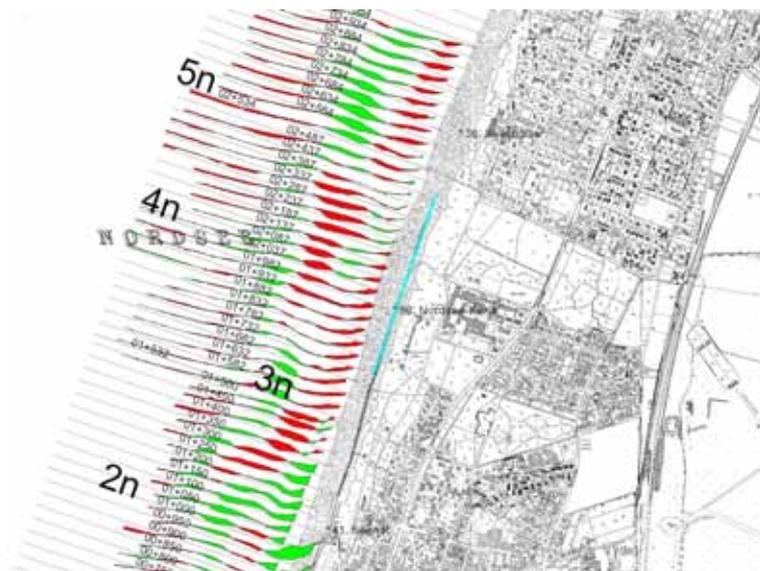


Abbildung 11: Profilvergleiche Vorstrand Westerland (Referenzvermessung zu 30.05.2008)

## 2.6 Hörnum-Nord

Im Zeitraum 23.09.-17.11.2008 wurde vor Hörnum-Nord auf rd. 500 m Länge eine Sandaufspülung durchgeführt. Insgesamt wurde zwischen Stat. 64+987 und Stat. 64+587 eine Menge von 99 000 m<sup>3</sup> (197 m<sup>3</sup>/m) aufgespült.

Der Profilvergleich zwischen 03.09.2008 und 17.11.2008 weist einen Volumengewinn von rd. 95 000 m<sup>3</sup> auf, so dass in Bezug auf die aufgespülten Mengen ca. 96 % aufgemessen worden sind (**Abbildung 12**).

Das Sanddefizit im Vorstrand im Bereich Hörnum-Nord (bis Gurtdeel) beträgt zwischen der Referenzvermessung und der Vermessung am 03.09.2008 rd. 140 000 m<sup>3</sup>, so dass in diesem Abschnitt insgesamt im Vergleich zur Referenzvermessung ein Sanddefizit vorhanden ist. Die Profilvergleiche sind in **Abbildung 13** dargestellt.

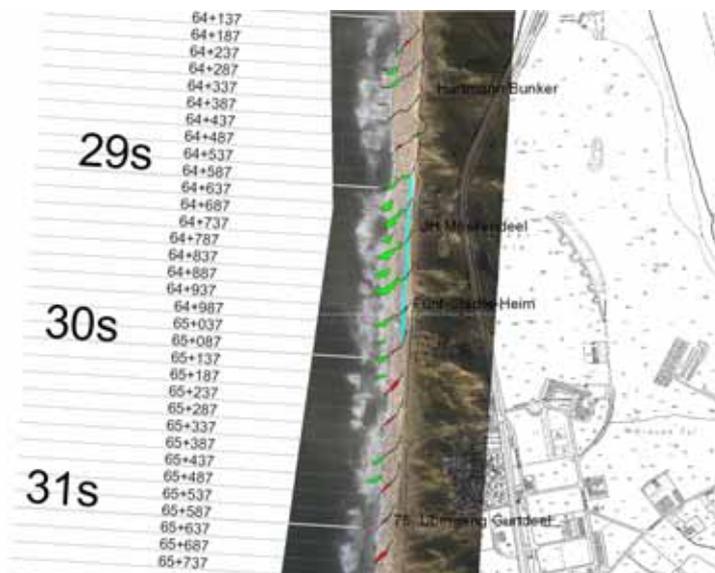


Abbildung 12: Profilvergleiche Sandaufspülung Hörnum-Nord (03.09 zu 17.11.2008)

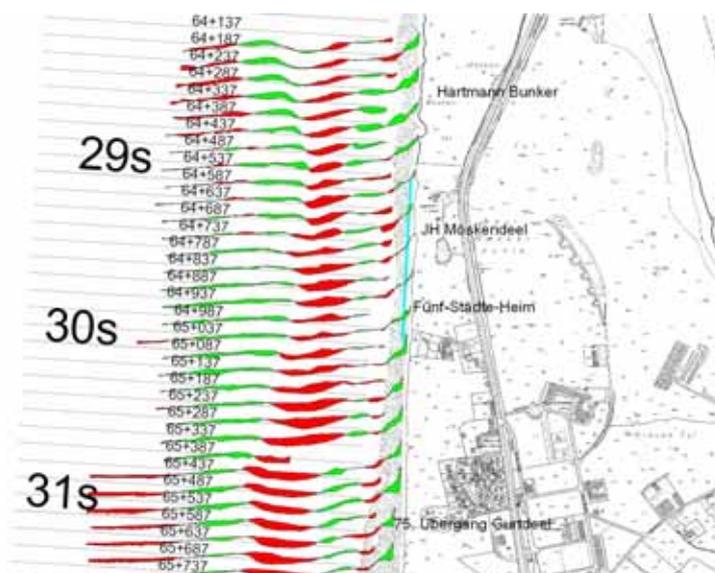


Abbildung 13: Profilvergleiche Vorstrand Hörnum-Nord (Referenzvermessung zu 03.09.2008)

## 2.7 Hörnum-Hauptstrand

Am Hauptstrand von Hörnum wurde im Zeitraum 30.08.-09.10.2008 auf einer Länge von 600 m (Stat. 67+487 - Stat. 66+887) eine Menge von 178 000 m<sup>3</sup> (296 m<sup>3</sup>/m) aufgespült.

Der Profilvergleich zwischen der Vor- und Nachvermessung (03.09.-18.11.2008) des Aufspülbereiches weist einen Volumengewinn von rd. 96 000 m<sup>3</sup> auf, so dass rd. 54 % der aufgespülten Mengen erfasst wurden (**Abbildung 14**). Die Sandumlagerung in den Vorstrand und in den nach Süden gerichteten Längstransport ist ein Grund für die geringe vermessungstechnisch erfasste Spülmenge, wobei in der längeren Spülzeit größere Mengen verlagert worden sind.

Die Gesamtvolumenbilanz im Vorstrand zwischen der Referenzvermessung und der Vermessung vom 03.09.2008 ist im Bereich des Strandes von Hörnum (Gurtdeel bis Querwerk) mit rd. 710 000 m<sup>3</sup> deutlich negativ. Die Profilvergleiche sind in **Abbildung 15** dargestellt.

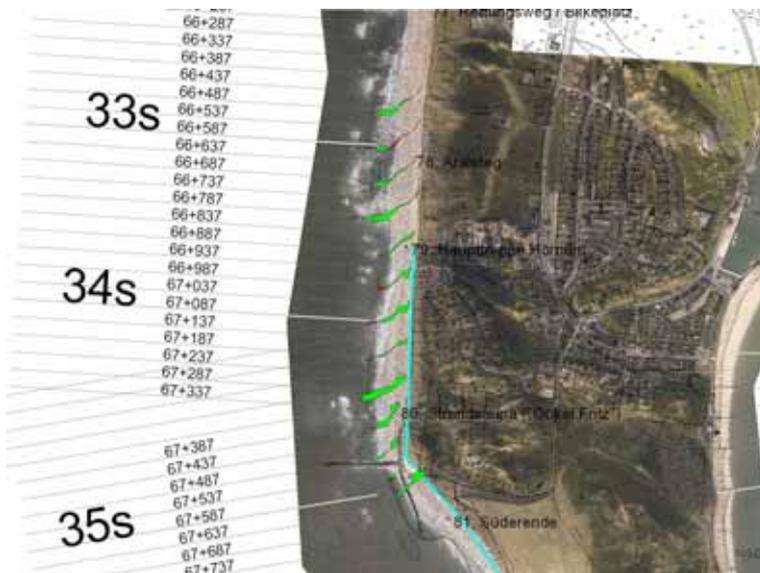


Abbildung 14: Profilvergleiche Sandaufspülung Hörnum-Hauptstrand (03.09. zu 18.11.2008)

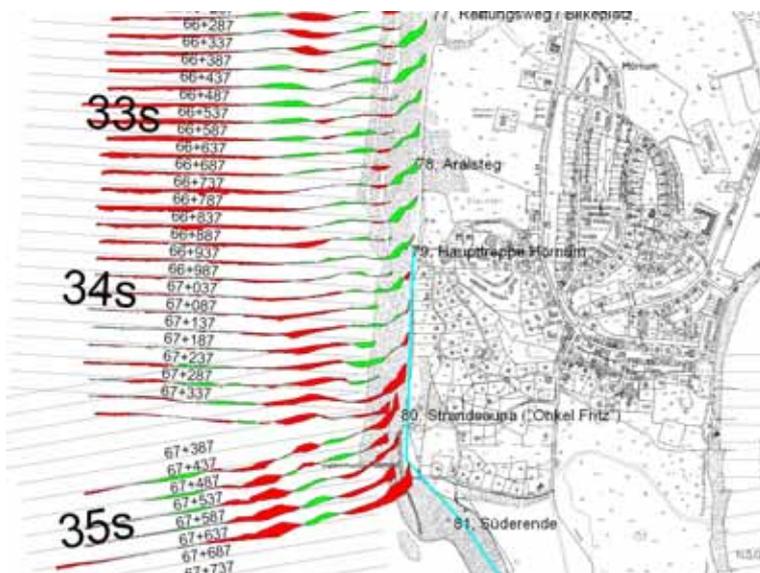


Abbildung 15: Profilvergleiche Vorstrand Hörnum-Hauptstrand (Referenzzustand zu 03.09.2008)

## 2.8 Dünenverstärkung Hörnum-Odde

Südlich des Tetrapodenquerwerkes Hörnum wurde im Zeitraum 09.10.-08.11.2008 auf einer Länge von 500 m (Stat. 67+987 - Stat. 67+487) eine Menge von rd. 76 000 m<sup>3</sup> (152 m<sup>3</sup>/m) aufgespült.

Der Profilvergleiche zwischen der Vor- und Nachvermessung (03.09.-18.11.2008) des Aufspülbereiches ergeben ein mittleres Auftragsvolumen von ca. 115 m<sup>3</sup>/m (76 % der Aufspülmenge) (**Abbildung 16**).

Die Gesamtvolumenbilanz im Vorstrand zwischen der Referenzvermessung und der Vermessung vom 06.05.2008 weist auf abwechselnde Erosions- und Sedimentationsbänder hin. Küstennah ist ein Erosionsbereich vorhanden, während ca. 300 m vor dem Strand eine Sandakkumulation vorhanden ist (**Abbildung 17**).

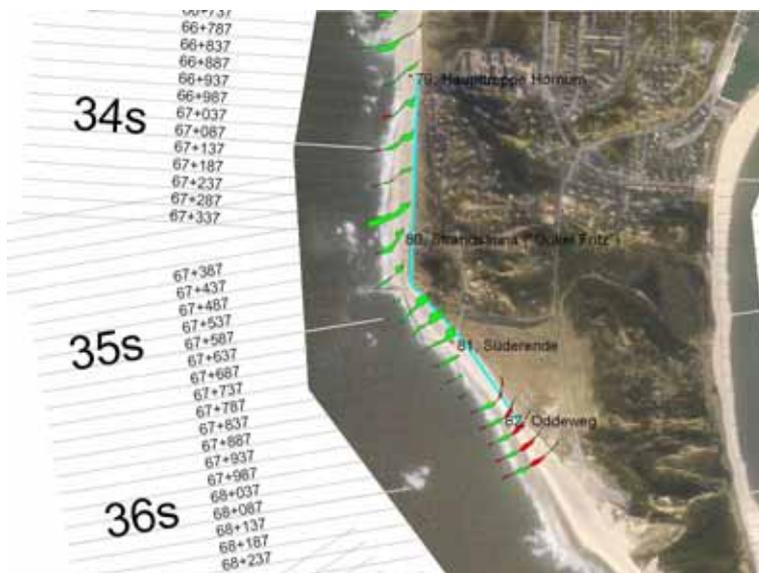


Abbildung 16: Profilvergleiche Dünenverstärkung Hörnum-Odde (03.09.2008 zu 18.11.2008)

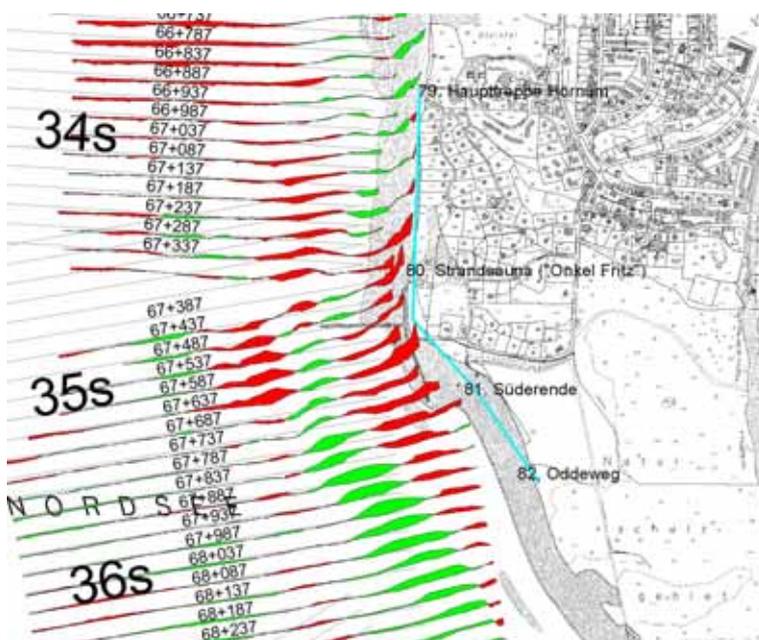


Abbildung 17: Profilvergleiche Vorstrand Hörnum-Odde (Referenzvermessung zu 06.05.2008)

### **3 Volumen- und Profilvergleiche**

#### **3.1 Volumenbilanzen innerhalb unterschiedlicher Höhenlamellen**

Nachfolgend wird das Ergebnis der Volumenbilanzierung aufgrund der Vermessungen des Jahres 2008 und der Referenzvermessung dargestellt. Der Profilabstand beträgt 50 Meter.

Die Volumenbilanz für unterschiedliche Höhenschichten im Zeitraum zwischen der Referenzvermessung und der Vermessung vom 17. November 2008 ist in **Tabelle 3** zusammengestellt. Innerhalb dieses Zeitraumes ergibt sich zwischen Profil 35s (Querwerk Hörnum) und 34n (Deckwerk List) im Höhenbereich NN+5m/NN ein Volumengewinn von rd. 3,0 Mio. m<sup>3</sup>.

Mit Ausnahme des Bereiches der Hörnum-Odde ist im Höhenbereich oberhalb der NN+5 m Höhenkote eine weitere Sandakkumulation von über 1 Mio. m<sup>3</sup> festzustellen. Das zwischen 1984 und 2008 geschaffene Sanddepot ist im Südteil der Insel größer als im Nordteil und zeigt sich in Form ausgeprägter Vordünen.

Tabelle 3: Volumenbilanzen Referenzvermessung zu 17.11.2008 Westküste Sylt

Abschnitt	Menge	Menge	Menge	Menge	Menge
	NN+7m/ NN+5m	NN+5m/ NN+3m	NN+3m/ NN+1m	NN+1m/ NN-0,5m	NN+5m/ NN
A	B	C	D	E	F

Nördliches Inselende (34n-47n)					
34n-47n Ellenbogen	50 000 m <sup>3</sup> 9 m <sup>3</sup> /m	369 000 m <sup>3</sup> 63 m <sup>3</sup> /m	414 000 m <sup>3</sup> 71 m <sup>3</sup> /m	149 000 m <sup>3</sup> 25 m <sup>3</sup> /m	918 000 m <sup>3</sup> 157 m <sup>3</sup> /m

Westküste (35s-34n)					
0-34n Nordteil	400 000 m <sup>3</sup> 24 m <sup>3</sup> /m	543 000 m <sup>3</sup> 32 m <sup>3</sup> /m	594 000 m <sup>3</sup> 35 m <sup>3</sup> /m	274 000 m <sup>3</sup> 16 m <sup>3</sup> /m	1,334 000 m <sup>3</sup> 79 m <sup>3</sup> /m
35s-0 Südteil	645 000 m <sup>3</sup> 37 m <sup>3</sup> /m	726 000 m <sup>3</sup> 41 m <sup>3</sup> /m	703 000 m <sup>3</sup> 40 m <sup>3</sup> /m	295 000 m <sup>3</sup> 17 m <sup>3</sup> /m	1,668 000 m <sup>3</sup> 95 m <sup>3</sup> /m
				<b>Summe</b>	<b>3,0 Mio. m<sup>3</sup></b>

Südliches Inselende (44s-35s)					
44s-35s Hörnum- Odde	-103 000 m <sup>3</sup> -24 m <sup>3</sup> /m	-141 000 m <sup>3</sup> -33 m <sup>3</sup> /m	-225 000 m <sup>3</sup> -54 m <sup>3</sup> /m	-141 000 m <sup>3</sup> -33 m <sup>3</sup> /m	-374 000 m <sup>3</sup> -87 m <sup>3</sup> /m

Bilanz Westküste Sylt zum 17.11.2008 (35s-34n)				
Aufspülmengen		Hoppermenge	1984-1991	16,720 Mio. m <sup>3</sup>
		Feste Masse <sup>1)</sup>		13,423 Mio. m <sup>3</sup>
Aufspülmengen		Feste Masse	1992-2008	19,385 Mio. m <sup>3</sup>
~[(-13,423-19,385) + 3,0 <sup>2)</sup> ]/ 25 Jahre		<b>Volumenverlust</b>	<b>1984-2008 (25 Jahre)</b>	<b>1,19 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr</b>

<sup>1)</sup> Feste Masse = 0.8028 x Hoppermenge. Die Umstellung der Mengenangaben auf „Feste Masse“ wurde erstmalig im Jahre 1992 durchgeführt.

<sup>2)</sup> Volumenbilanz NN+5m/NN Westküste (Referenzvermessung zu 2008), s.o.

### Volumenbilanzen Westküste Sylt Referenzzustand - 17.11.2008

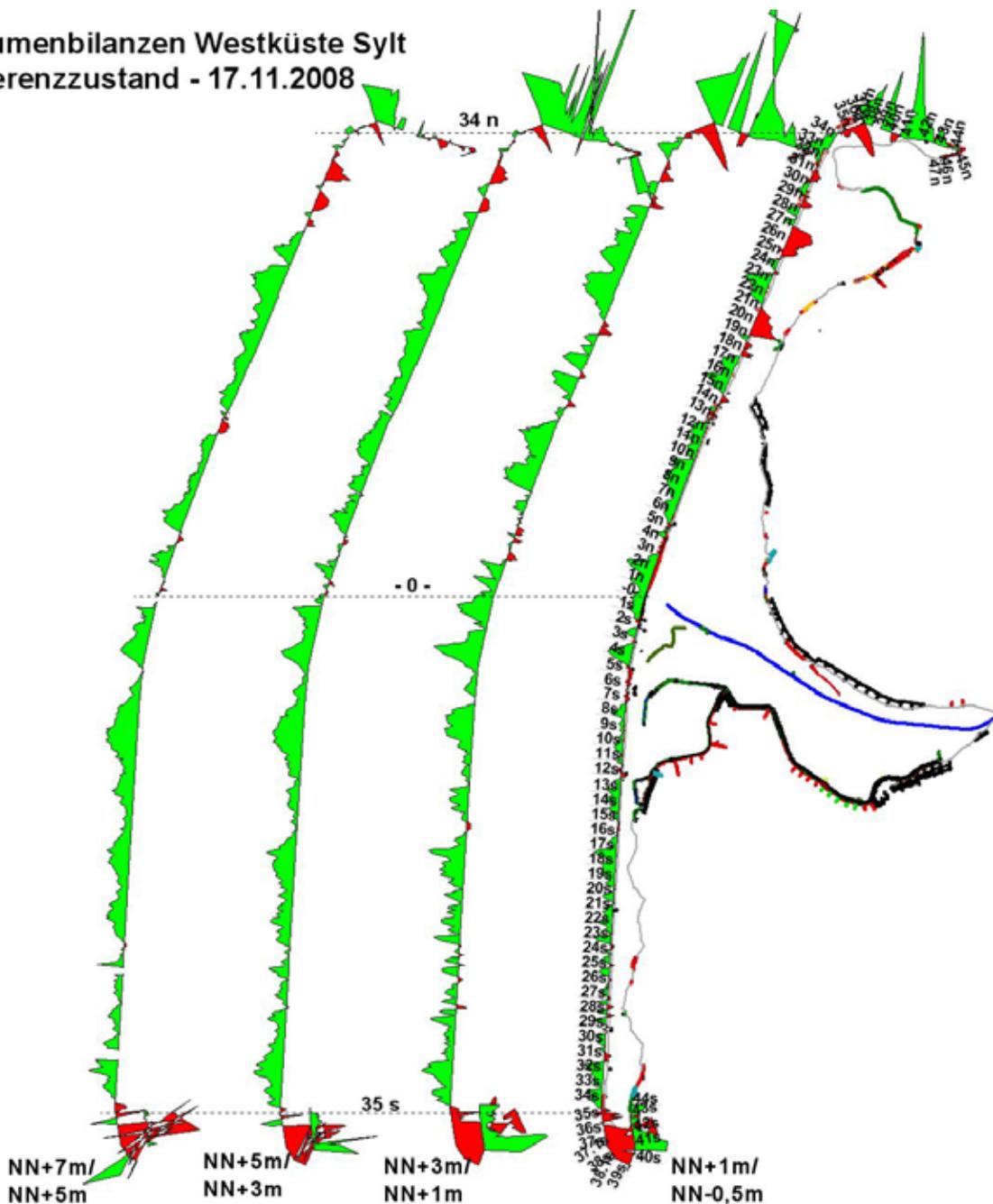


Abbildung 18: Volumenbilanzen innerhalb unterschiedlicher Höhenlamellen (Referenzvermessung zu 17.11.2008)

Zwischen 35s und 34n ist die Verteilung des Küstenabbruches innerhalb der Höhenbereiche unterschiedlich. Die Küstenabbrüche traten überwiegend unterhalb der NN+3m-Höhenkote auf. Da innerhalb dieses Zeitraumes eine Menge von rd. 32,8 Mio. m<sup>3</sup> Sand aufgespült worden ist (s. **Tabelle 2** und **Abbildung 3**), müssen diese Mengen als Volumenverlust angenommen werden. Im Hinblick auf die Referenzvermessung (1984), ergibt sich ein rechnerischer Verlust von rd. 1.2 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr im Höhenbereich NN+5m/NN und im Abschnitt 35s (Querwerk Hörnum) bis 34n (Deckwerk List).

Die tatsächlichen Verluste sind geringer, wenn in der Volumenbilanz die Sandmengen, die durch den äolischen Transport in den Höhenbereich oberhalb NN+5m gelangt sind, berücksichtigt werden. Außerdem bedeutet die Einbeziehung der Spülmengen in die Bilanzierung eine Überbestimmung der Rückgangsmengen, da nur rd. 2/3 der Spülmengen vermessungstechnisch erfasst werden und als Spülverluste die Nachbarbereiche zusätzlich versorgen. In diesem Falle beträgt der jährliche Volumentrückgang im Vermessungsbereich ca. 0,750 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr. Die dadurch enthaltenen Sandvolumen stellen einen zusätzlichen Puffer während auftretender Sturmfluten dar.

Am nördlichen Inselende (34n bis 47n) ergibt sich zwischen der Referenzvermessung und der Vermessung am 17.11.2008 im Höhenbereich NN+5m/NN ein Anwachs von rd. 0,9 Mio. m<sup>3</sup>.

Am südlichen Inselende (44s bis 35s) sind im Höhenbereich NN+5m/NN Verluste von insgesamt rd. 0,37 Mio. m<sup>3</sup> aufgetreten. Diese sind im Wesentlichen auf die Rückgänge südlich vom Tetrapodenquerwerk Hörnum (Station 68+537 bis Station 67+537) zurückzuführen.

### 3.2 Volumendefizite 2008, Profilvergleiche und Sandersatzbedarf 2009

Im Jahre 1972 fand erstmals eine Sandaufspülung auf Sylt statt. Diese wurde vor der Ufermauer platziert. 1978 wurde vor Westerland eine erste Wiederholungsaufspülung durchgeführt. Seit 1983 wird regelmäßig Sand aufgespült. Als Zeitpunkt der Referenzvermessung wird das Jahr 1984 angegeben. Sie stellt in der Regel den Zustand vor einer ersten Sandaufspülung dar.

Die Sandvolumina, die sich innerhalb der Höhenlamelle NN+5m/NN im Vergleich zum Referenzzustand am 17. November 2008 befinden, sind in **Abbildung 19** aufgetragen. Insgesamt wurden 9 Bereiche eingetragen, in denen – bezogen auf die Referenzmessung – ein Sanddefizit besteht:

- (1) Hörnum-Odde (39s-35s)
- (2) Hörnum (35s-34s)
- (3) Hörnum-Nord (28s)
- (4) Rantum (16s-15s)
- (5) Wenningstedt (3n-5n)
- (6) Klappholtal-Mitte (19n-20n)
- (7) List-Mitte (28n-29n)
- (8) List-Nord (31n-32n)
- (9) Deckwerk Ellenbogen (34n-36n)

Im Bereich der Hörnum-Odde (1) besteht im Vergleich zum Referenzzustand ein strukturelles Sanddefizit. Der Entwicklung der Hörnum-Odde ist geprägt von Abbrüchen an den Randdünen im Bereich südlich des Quermarkenfeuers bis zu den Resten der 2008/2009 abgetragenen Bunker. Vereinzelt sind aufgrund der geringen Dünenhöhen Randdünen durchbrüche möglich. Eine unmittelbare Gefährdung der Ortslage Hörnum ist durch die Abbrüche an der Hörnum-Odde nicht zu befürchten. Durch die 2008 erfolgten Sandzugaben südlich vom Tetrapodenquerwerk wird eine Auffüllung des Strandniveaus vor der Hörnum-Odde erwartet. Diese Maßnahme ist für das Jahr 2009 zu wiederholen.

Im Bereich des Hörnumer Hauptstrandes (2) sind vor den im Abtrag befindlichen Randdünen schmale Strände vorhanden. Zur Auffüllung der Strände und Sicherung der Randdünen ist eine Strandaufspülung im Jahre 2009 vorzusehen.

Im Bereich Hörnum-Nord (3) ist insbesondere die Wasserwechselzone erodiert. Allerdings beschränkt sich die Ausräumung auf einen kleinen Abschnitt, so dass auf eine Sandersatzmaßnahme in 2009 für diesen Abschnitt verzichtet werden kann.

Im Bereich Rantum (4) sollte auf eine Sandersatzmaßnahme verzichtet werden, um die Auswirkungen der Vorstrandaufspülungen aus dem Jahre 2006 weiter beobachten zu können.

Im Bereich Wenningstedt (5) ist der nasse Strand ausgeräumt. Eine Auffüllung des nassen Strandes könnte durch eine Vorstrandaufspülung und die kontinuierliche Versorgung von Westerland aus erreicht werden.

Im Bereich Klappholtal-Mitte (6) ist die Wasserwechselzone erodiert, während in den Vordünen erhebliche Sandmengen eingelagert sind, so dass auf eine Sandersatzmaßnahme verzichtet werden kann.

In den Bereichen List-Mitte (7) und List Nord (8) sind Randdünenabbrüche zu verzeichnen, so dass hier eine Stabilisierung der Randdünen und der Aufbau von Vordünen notwendig sind.

Im Bereich des Basaltdeckwerkes Ellenbogen (9) wurden zwischen 1992 und 2008 größere Sandmengen erodiert und weiter zum Nordellenbogen verfrachtet. Aufgrund der vorhandenen Küstenschutzanlagen ist eine Sandaufspülung nicht erforderlich. Die Fußsicherung des Basaltdeckwerkes ist in nächster Zeit jedoch zu erneuern.

Der für 2009 als notwendig gesehene Sandersatzbedarf wird endgültig nach der im Frühjahr vorgesehenen Strandbereisung festgelegt. Dabei wird zusätzlich die Strandentwicklung vom 17. November 2008 bis zur Strandbereisung im März 2009 zu berücksichtigen sein.

Die Strandentwicklung in sämtlichen Profilen ist von **Abbildung 20** bis **Abbildung 24** dargestellt.



Abbildung 19: Volumenbilanz in der Höhenlamelle NN+5m/NN (Stand: 17.11.2008) (nicht der Ersatzbedarf!)



Abbildung 20: Profilvergleiche List, Ellenbogen (Referenzvermessung – 17.11.2008), 10-fach überhöht

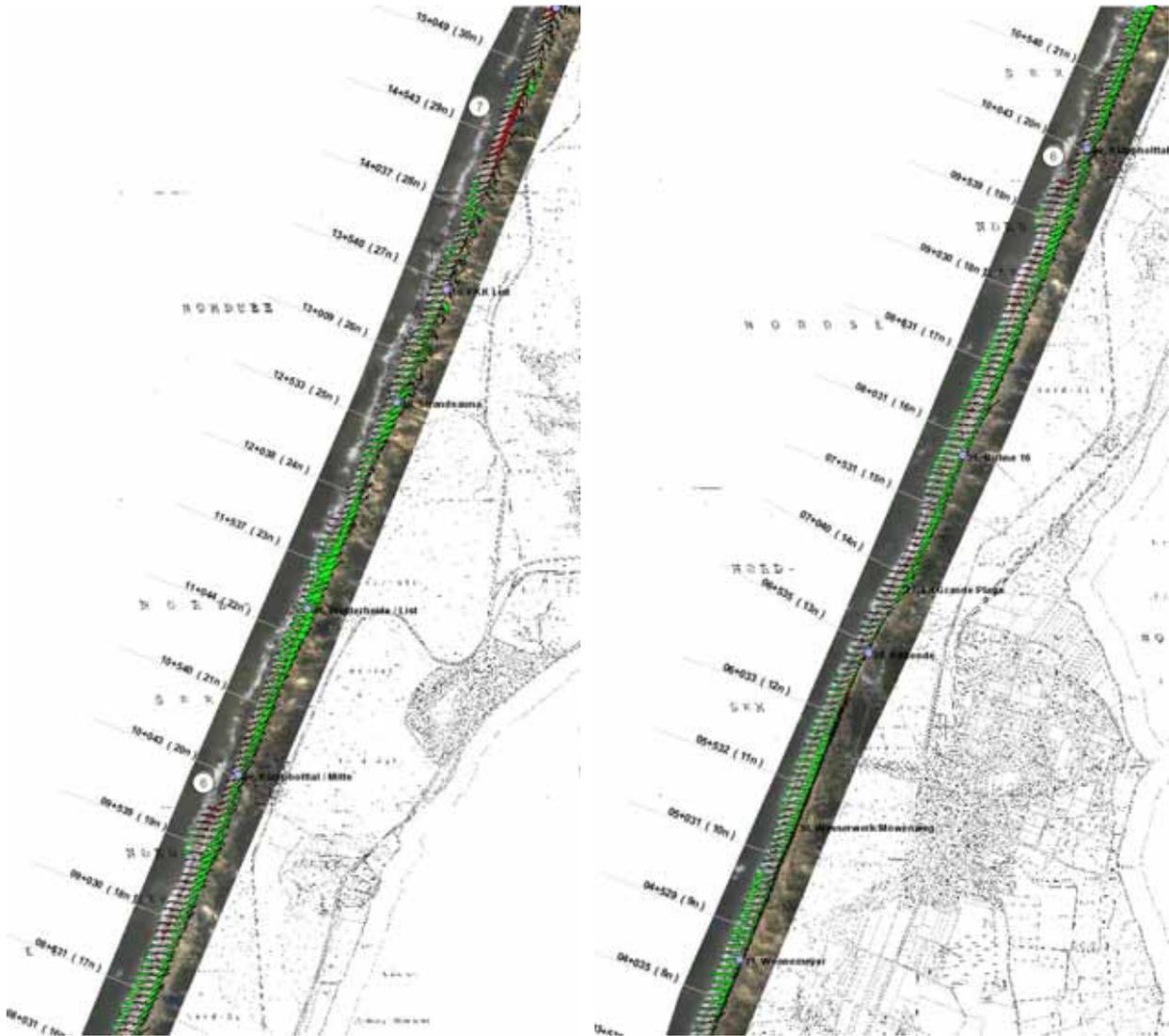


Abbildung 21: Profilvergleiche Klappholtal, Kampen (Referenzvermessung – 17.11.2008), 10-fach überhöht

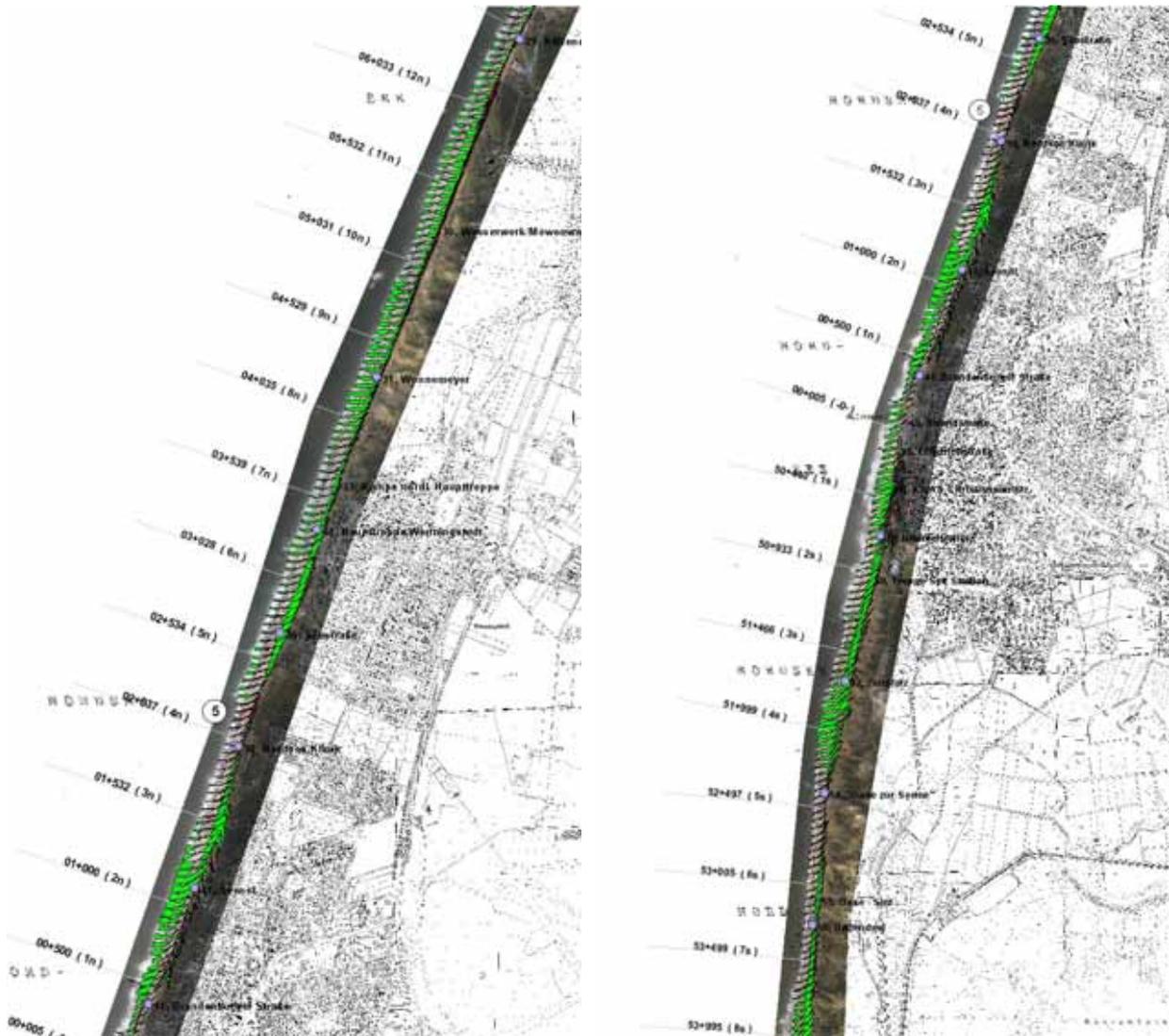


Abbildung 22: Profilvergleiche Wenningstedt, Westerland (Referenzvermessung – 17.11.2008), 10-fach überhöht

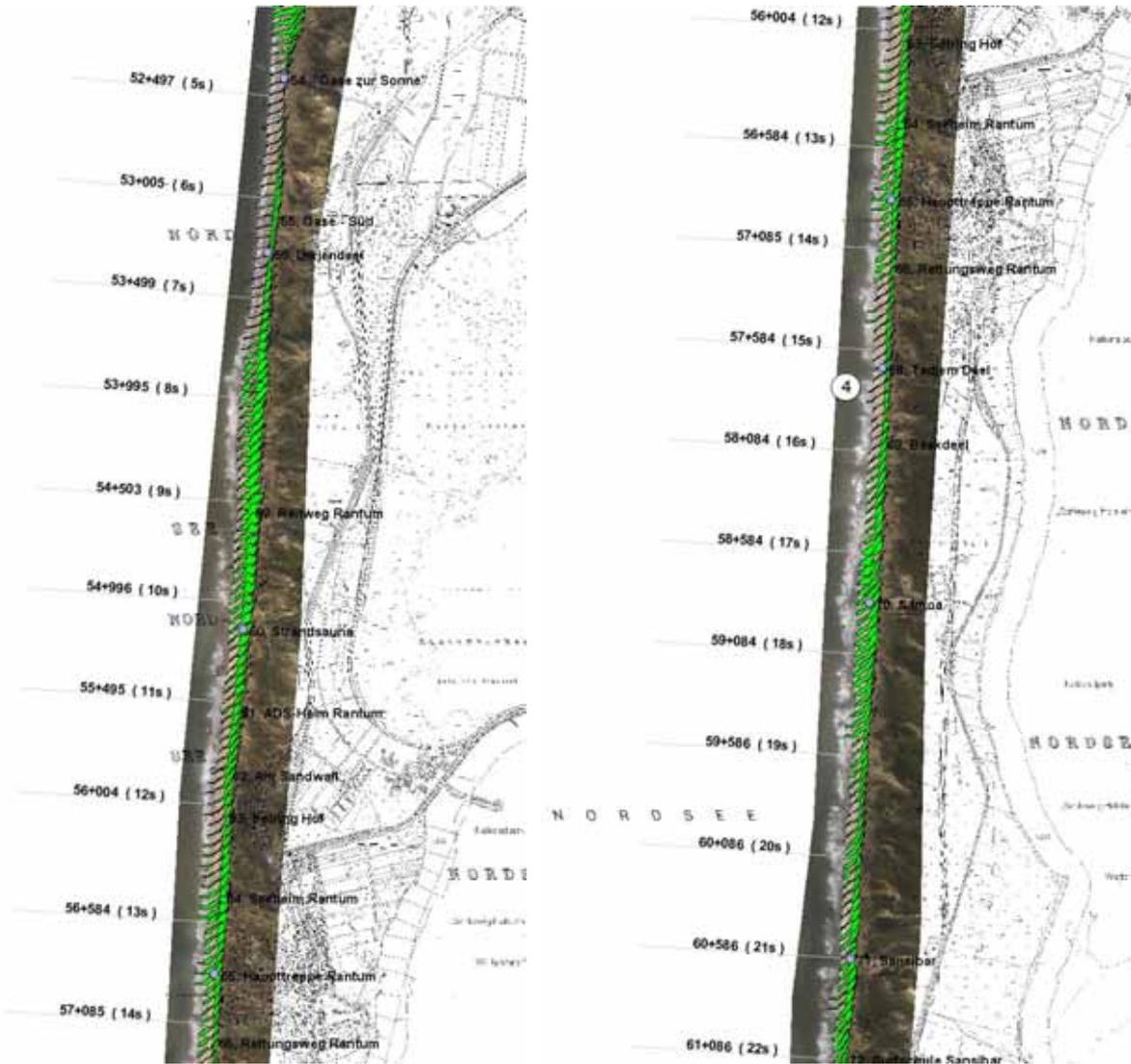


Abbildung 23: Profilvergleiche Rantum (Referenzvermessung – 17.11.2008), 10-fach überhöht

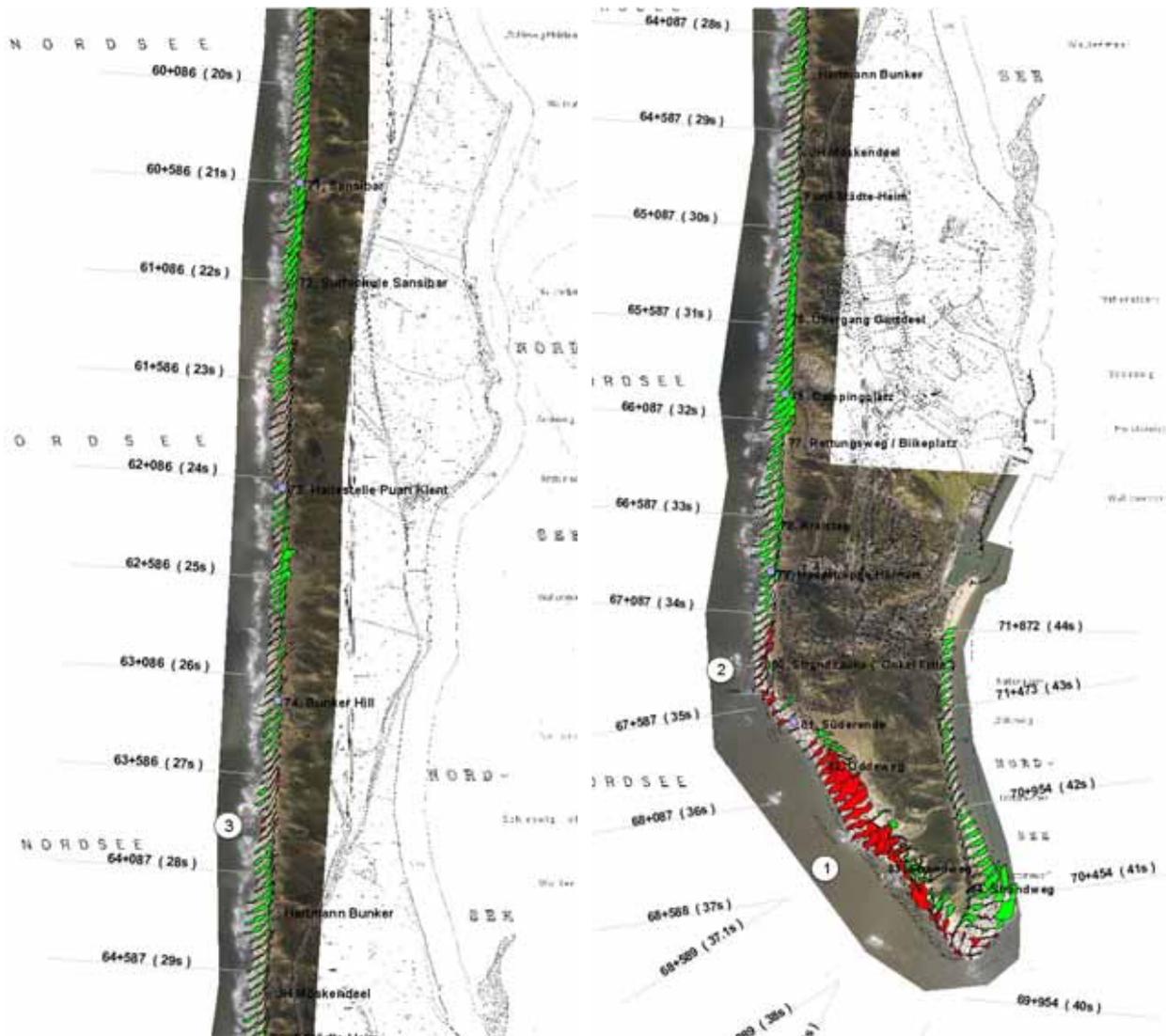


Abbildung 24: Profilvergleiche Puan Klent, Hörnum (Referenzvermessung – 17.11.2008), 10-fach überhöht

Aufgrund der Zustandes im November 2008 und der bisherigen Volumenentwicklung ergibt sich für 2009 ein Sandersatzbedarf von rd. 1,2 Mio. m<sup>3</sup> (Tabelle 4, Abbildung 25). Da im Winterhalbjahr 2008/2009 weitere Sandverluste zu erwarten sind, müssen insbesondere vor Hörnum-Nord (5-Städte-Heim), Westerland, Wenningstedt und Kampen zusätzliche Sandersatzmaßnahmen vorgesehen werden.

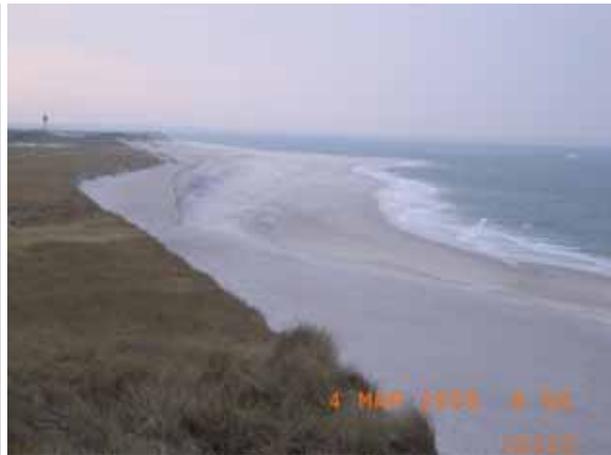
**Tabelle 4: Sandersatzbedarf 2009**

lfd. Nr.	von	bis	Länge [km]	Bereich	Menge [cbm]	Priorität	cbm/m
1	68+838	67+637	0.200	Hörnnum-Odde	70.000	1	350
2	67+637	66+937	0.700	Hörnnum	140.000	1	200
3	65+687	64+487	1.200	Hörnnum-Nord	100.000	1	83
4	00+055	00+750	0.695	Westerland	90.000	2	129
5	01+250	02+237	0.987	Wenningstedt *)	400.000	2	405
6	05+882	07+440	1.558	Kampen	150.000	1	96
7	14+693	14+237	0.456	List-Mitte	100.000	1	219
8	15+199	16+151	0.952	List-Nord	150.000	1	158
			<b>6.748</b>		<b>1.200.000</b>	<b>Gesamt</b>	

\*) als Vorstrandaufspülung vorzusehen



**Abbildung 25: Sandersatzbedarf 2009 Westküste Sylt**



Spülbedarfsbereich 1: Hörnum-Odde



Spülbedarfsbereich 2: Hörnum



Spülbedarfsbereich 3: Hörnum-Nord



Spül-

Spülbedarfsbereich 4: Westerland



Spülbedarfsbereich 5: Westerland-Nord



Spülbedarfsbereich 6: Kampen



Spülbedarfsbereich 7: List Mitte



Spülbedarfsbereich 8: List Nord

### 3.3 Profilvergleiche Inselenden

Zur Überwachung der morphologischen Entwicklung der Inselenden wurden 2008 Peilungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen für das nördliche Inselende erhebliche Anwachsmengen am Nordellenbogen, wobei sowohl der Strand als auch der Unterwasserstrand nach Norden anwächst. Hingegen weist der Weststrand insbesondere im Vorstrand ein generelles Sanddefizit auf (Abbildung 26).

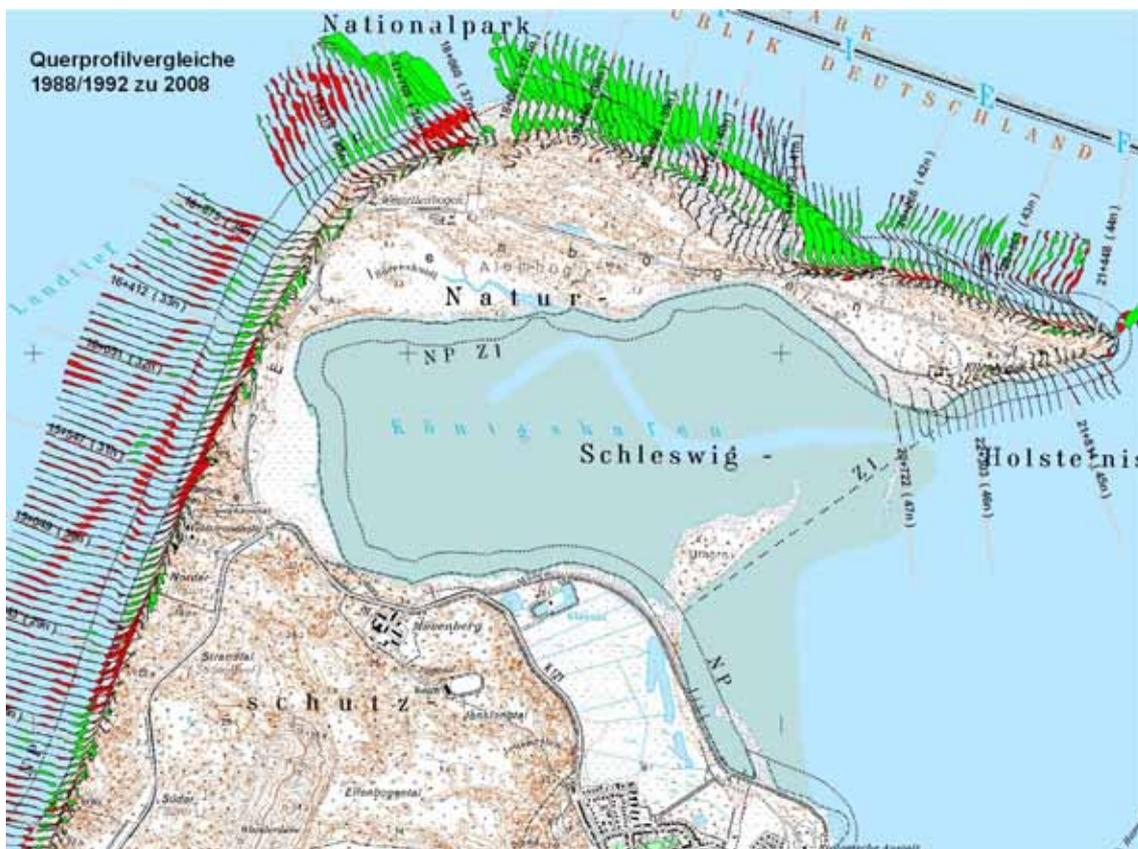


Abbildung 26: Profilvergleiche 1988/92-2008 nördliches Inselende (rot: Abtrag, grün: Auftrag)

Die morphologische Entwicklung am südlichen Inselende weist im Südosten erhebliche Sandakkumulationen auf, während im Westen und Südwesten die Abträge überwiegen (Abbildung 27). Nördlich des Tetrapodenquerwerkes Hörnum ist die Volumenbilanz im Vorstrand überwiegend negativ, wobei sich südlich des Querwerkes ca. 300 m bis 400 m vor der Küste ein Akkumulationsstreifen befindet

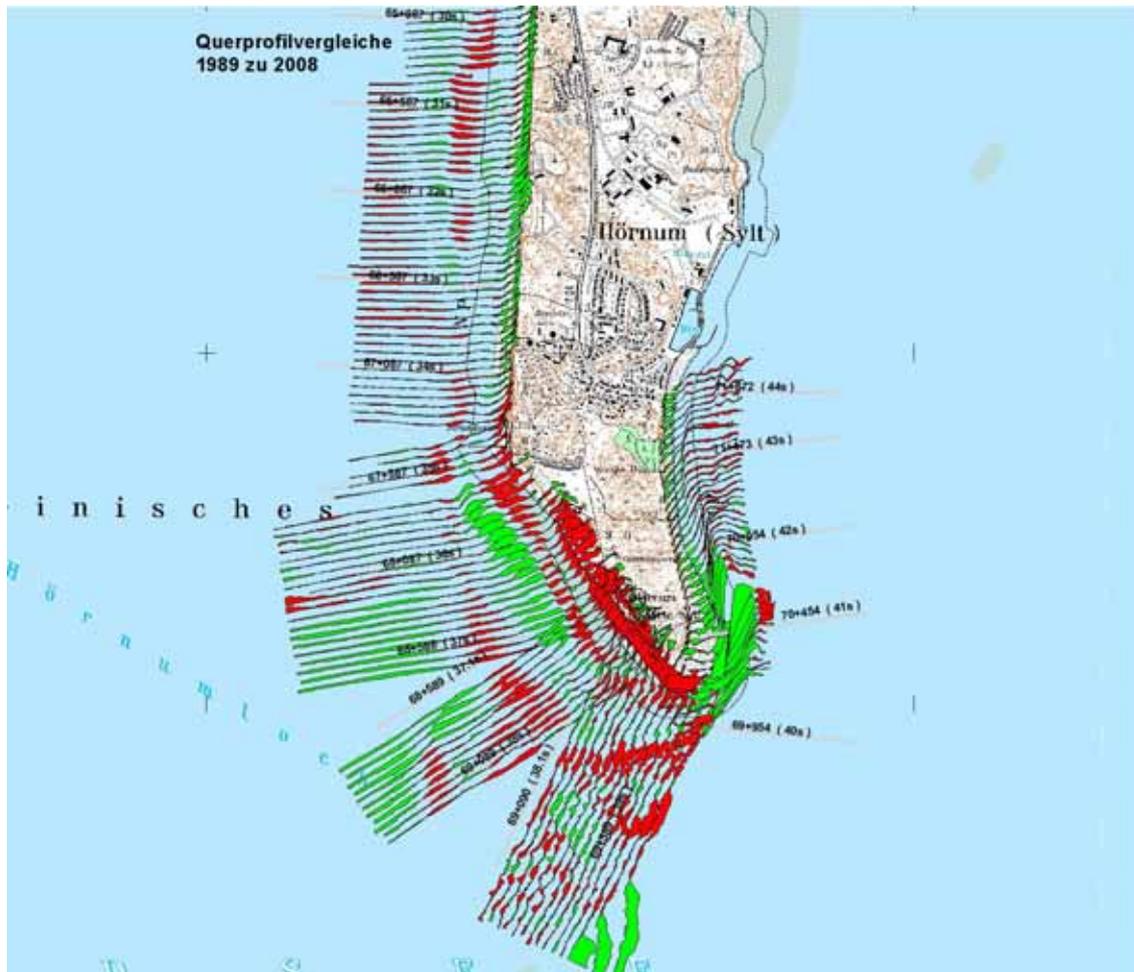


Abbildung 27: Profilvergleiche 1989 zu 2008 südliches Inselende (rot: Abtrag, grün: Auftrag)

### 3.4 Volumenänderungen von April 1999 bis November 2008

Aufgrund der öffentlichen Diskussion über einen Klimawandel und dessen Folgen für den Küstenschutz wurde im Frühjahr 2008 eine zusätzliche Laserscanbefliegung der gesamten Westküste Sylts durchgeführt. Die Volumenbilanzen aus den Laserscanbefliegungen werden für die unterschiedlichen Höhenkoten (vergleiche Regelprofil, **Abbildung 28**) für die Westküste Sylt (Tetrapodenquerwerk Hörnum bis Basaltdeckwerk Ellenbogen) sowie den Ellenbogen und die Hörnum-Odde dargestellt.

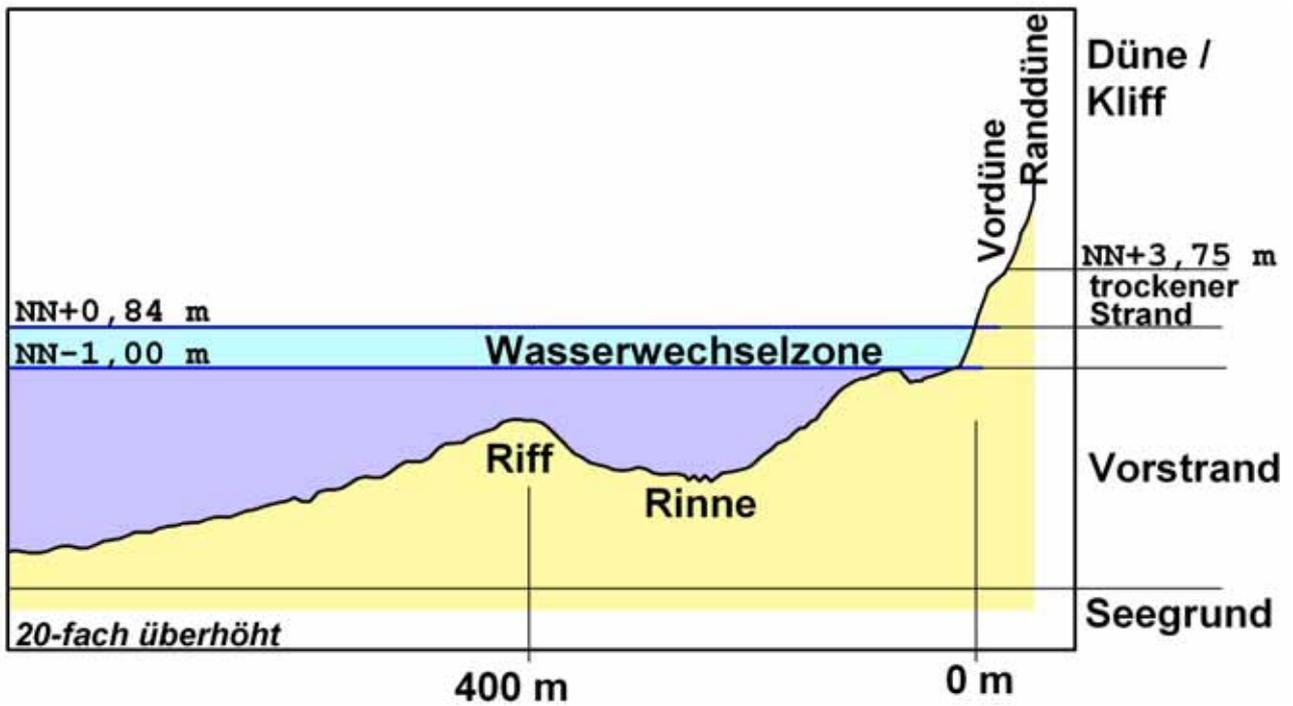


Abbildung 28: Regelprofil Westküste Sylt

Die Volumenbilanz des Strandes an der Westküste der Insel zwischen Oktober 2007 und April 2008 ist in **Abbildung 29** dargestellt. Demnach sind im Winterhalbjahr 2007/2008 rd. 725 000 m<sup>3</sup> aus dem Messbereich heraus verlagert worden.

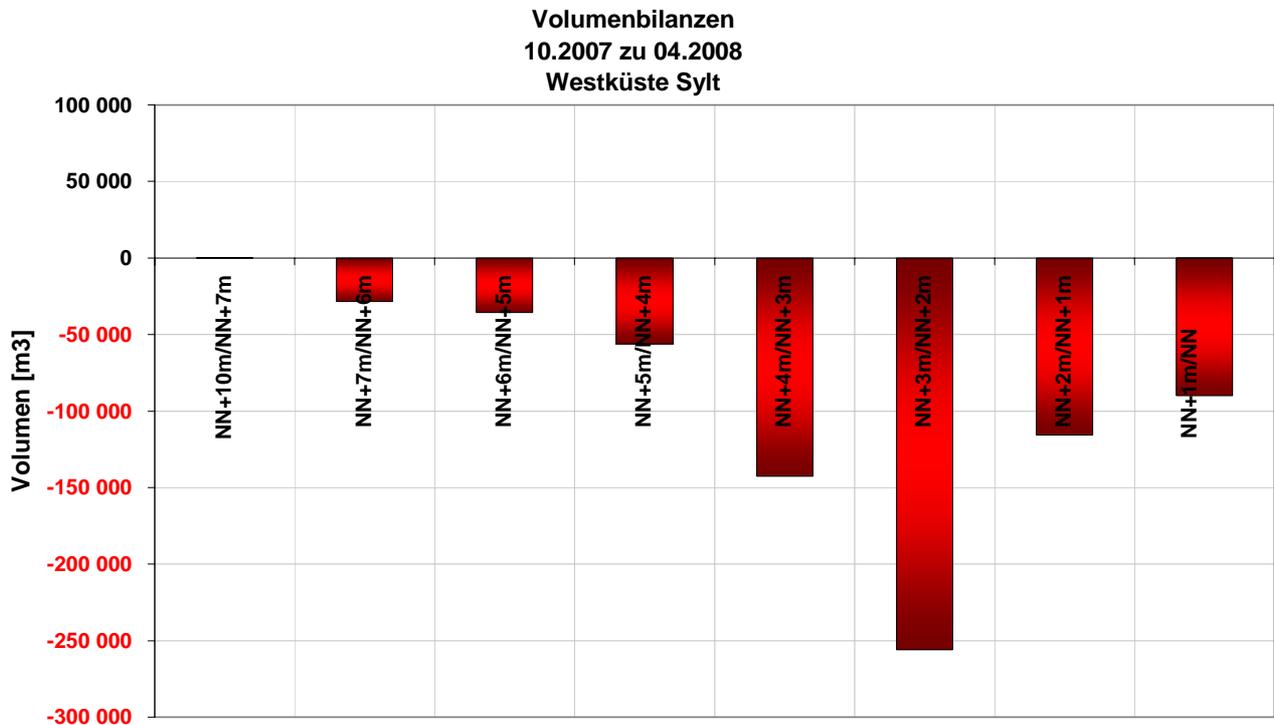
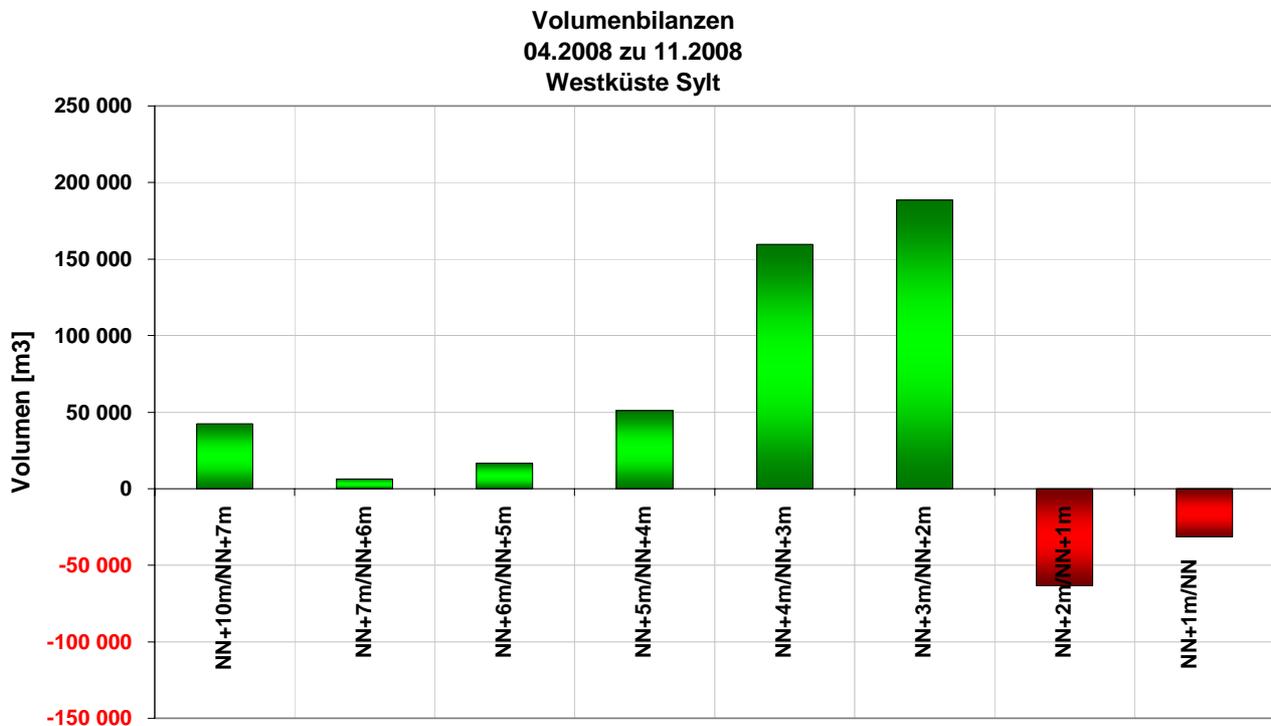


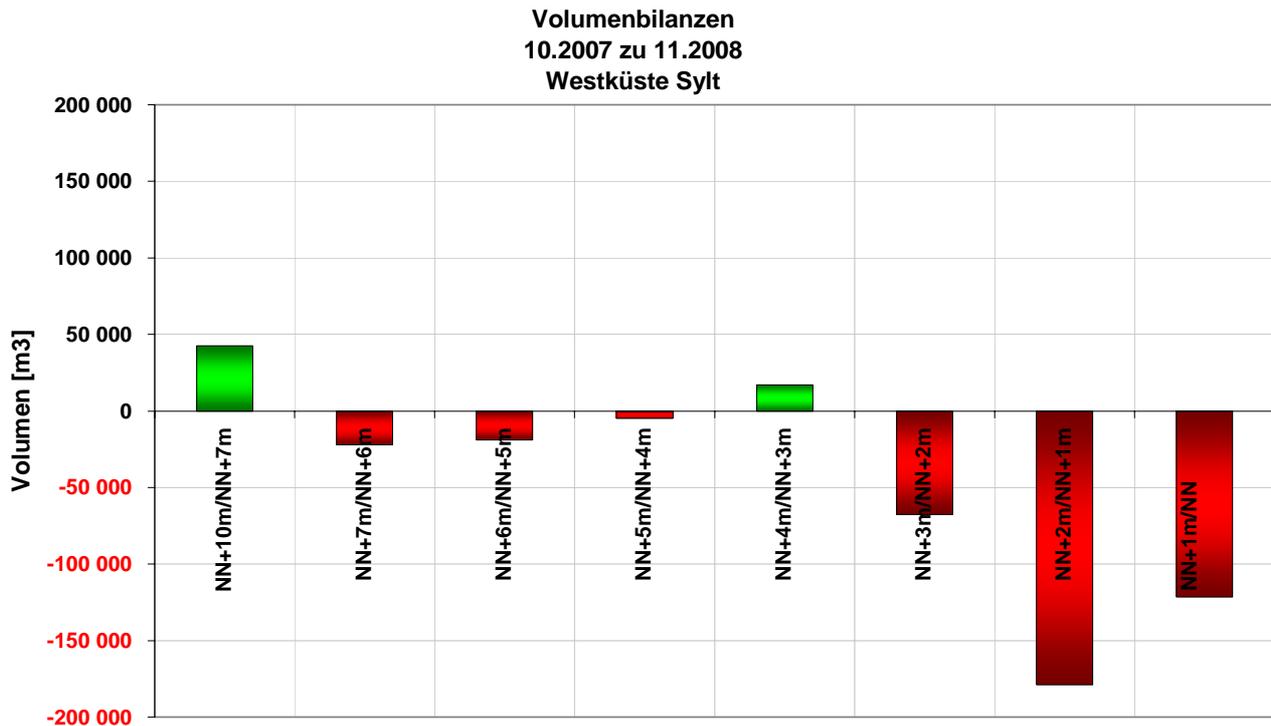
Abbildung 29: Volumenbilanzen in unterschiedlichen Höhenlamellen zwischen 10.2007 und 04.2008

Die Bilanz zwischen April 2008 und November 2008 ergibt einen Sandüberschuss von 0,370 Mio. m<sup>3</sup> (**Abbildung 30**), wobei insbesondere die strandnahe Wellenauflauf- und Brandungszone ein bleibendes Sanddefizit aufweist. Die Aufspülmenge betrug rd. 1,2 Mio. m<sup>3</sup>.



**Abbildung 30: Volumenbilanzen in unterschiedlichen Höhenlamellen zwischen 04.2008 und 11.2008**

In der Jahresbilanz von Oktober 2007 bis November 2008 ist für die Westküste der Insel Sylt ein Volumendefizit von insgesamt rd. 0,350 Mio. m<sup>3</sup> Sand vorhanden, wobei die Sandmengen in den Vorstrand verlagert bzw. aus den betrachteten Höhenlamellen heraus transportiert worden sind. Insgesamt haben die im Jahre 2008 aufgespülten Sandmengen die Sandbilanz an der Westküste nicht ausgeglichen. Die Sandmengen, die in den Vorstrand gelangt sind, können anhand der vorliegenden Datensätze nicht bilanziert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass unter Berücksichtigung des im Vorstrand vorhandenen Sandmaterials, eine ausgeglichene Bilanz vorhanden ist. Die größten Strandverluste traten in der Höhenschicht NN+2m/NN auf. Die Vor- bzw. Randdünen sind oberhalb der NN+7m-Höhenkote weiter gewachsen.



**Abbildung 31: Volumenbilanzen in unterschiedlichen Höhenlamellen zwischen 10.2007 und 11.2008**

Da seit Mai 1999, mit Ausnahme des Jahres 2004, jährlich mindestens eine Laserscanningmessung durchgeführt worden ist, kann die Volumenbilanz aus diesen Messdaten berechnet werden. Für unterschiedliche Höhenlamellen und unterschiedliche Küstenbereiche werden nachfolgend die Volumenbilanzen dargestellt.

Die Volumenbilanz des Nordellenbogens ist im Zeitraum April 1999 und November 2008 für den Strandbereich in nahezu allen Höhenlamellen positiv, wobei sich die Auffüllung verstärkt hat. Insgesamt ist ein Anwachs von rd. 1 Mio. m<sup>3</sup> festzustellen (**Abbildung 32**).

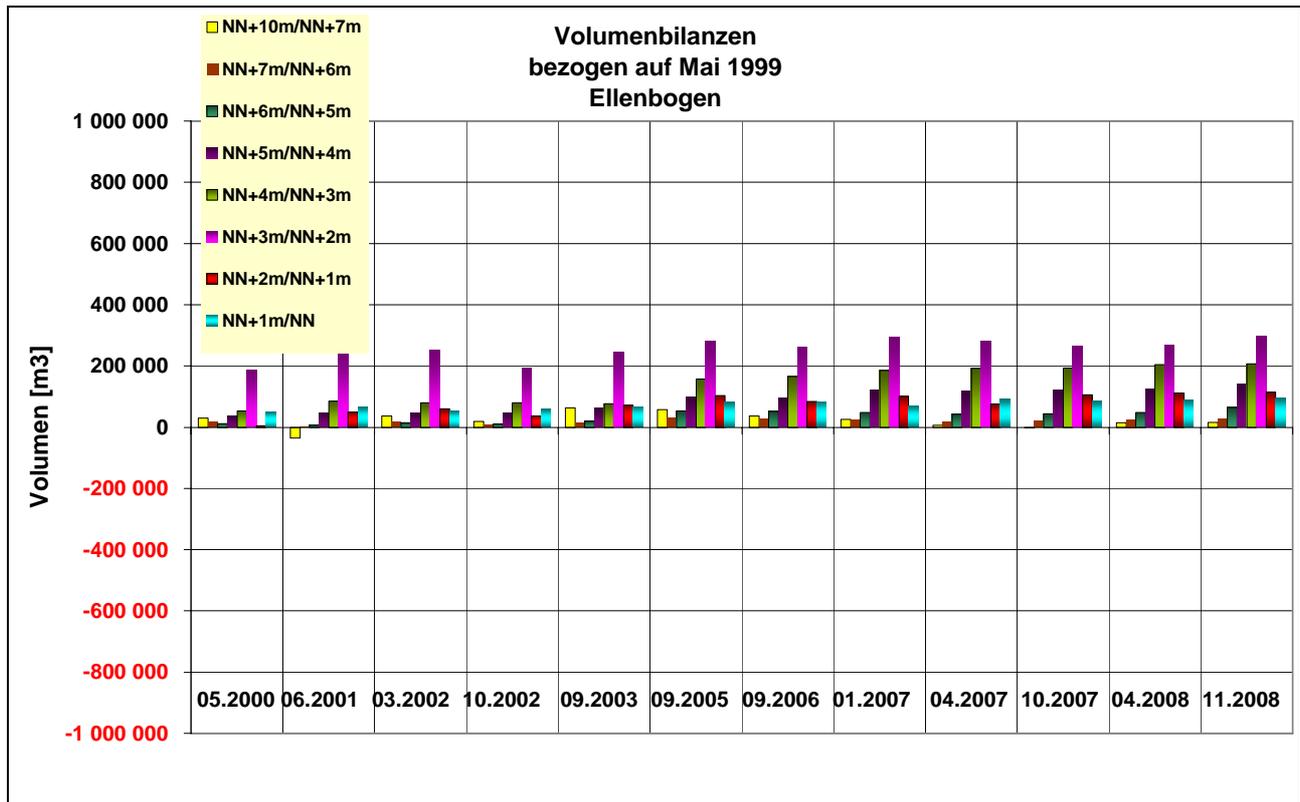


Abbildung 32: Volumenbilanz Ellenbogen zwischen Mai 1999 und November 2008 (Laserscanmessungen)

Die Volumenbilanz der Hörnum-Odde ist dagegen im Zeitraum Mai 1999 bis November 2008 für den Strandbereich in nahezu allen Höhenlamellen negativ. Besonders auffällig sind die starken Randdünenverluste oberhalb der NN+7m-Höhenkote. Darüber hinaus sind zunehmende Erosionen unterhalb der NN+2m Höhenkote festzustellen. Insgesamt ist für die Hörnum-Odde ein Volumenverlust von rd. 2 Mio. m<sup>3</sup> festzustellen (Abbildung 33).

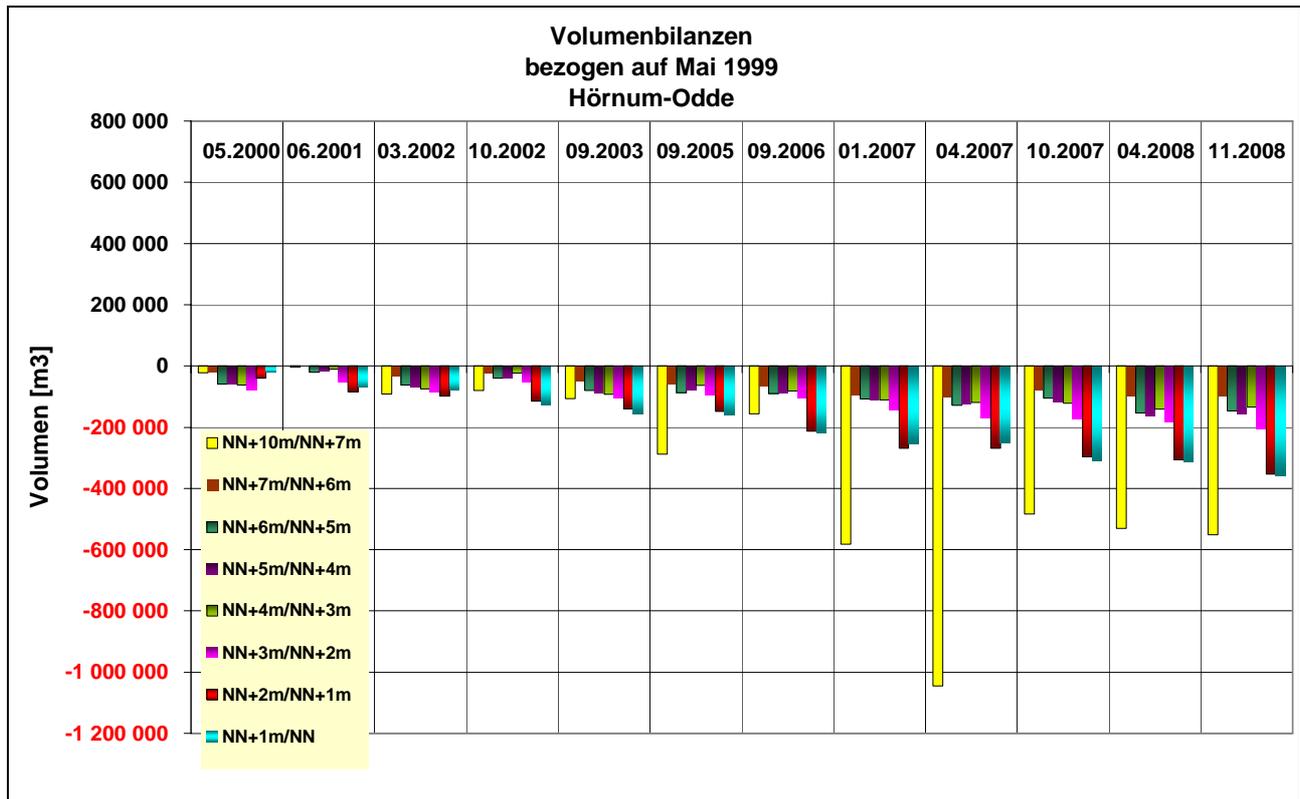


Abbildung 33: Volumenbilanz Hörnum-Odde zwischen Mai 1999 und November 2008

Die Volumenbilanz der nördlichen Inselhälfte ist zwischen Mai 1999 und November 2008 mit  $5.000 \text{ m}^3$  leicht positiv (Abbildung 34) und im Wesentlichen auf die stetigen Volumenzuwächse oberhalb der NN+7m-Höhenkote in den Vor- und Randdünen zurückzuführen. Unterhalb der NN+2m-Höhenkote sind in diesem Zeitraum Verluste zu verzeichnen.

Die Volumenbilanz entlang der südlichen Inselhälfte ist zwischen Mai 1999 und November 2008 mit  $650.000 \text{ m}^3$  deutlich positiv (Abbildung 35) und zum Teil ebenfalls auf die stetigen Volumenzuwächse oberhalb der NN+7m-Höhenkote in den Vor- und Randdünen zurückzuführen. Die Verluste, die unterhalb der NN+2m-Höhenkote vorhanden sind, weisen jedoch geringere Beträge als im Nordteil auf.

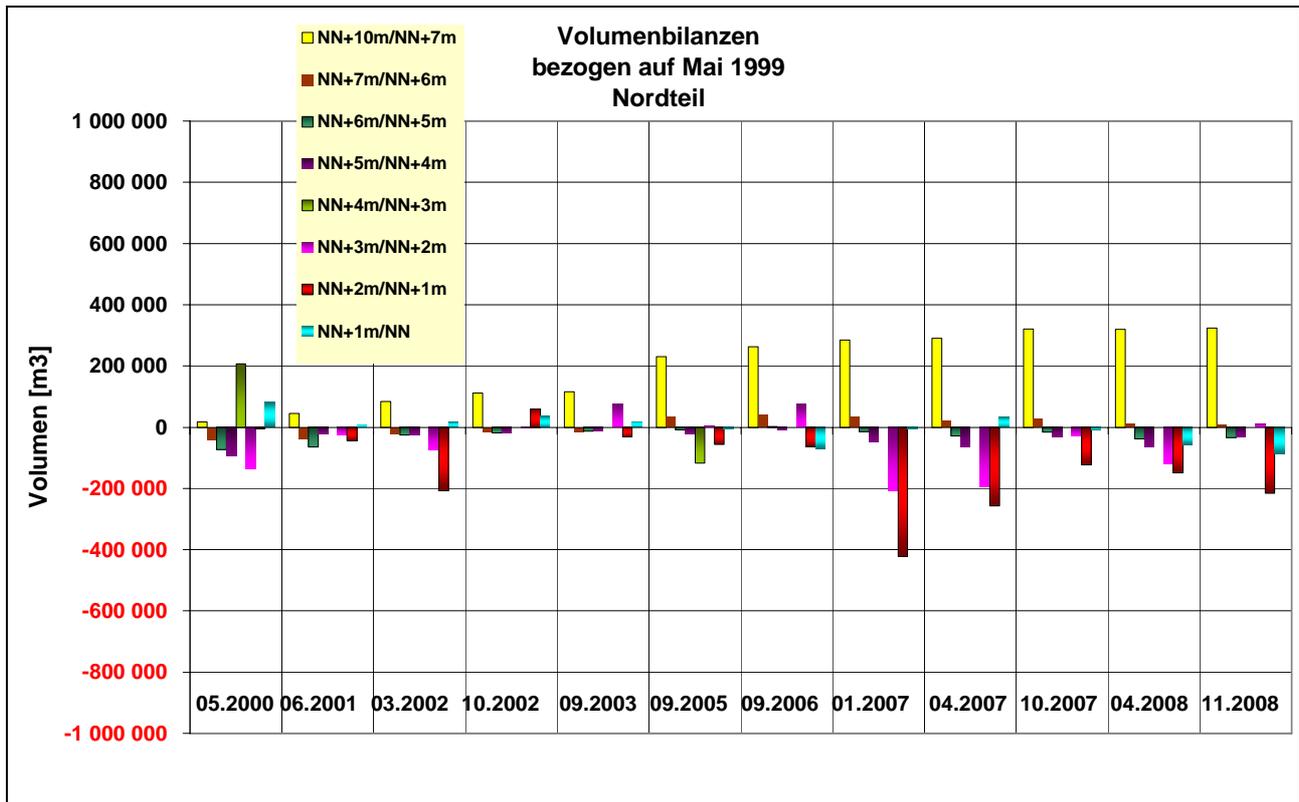


Abbildung 34: Volumenbilanz Nordteil Sylt zwischen Mai 1999 und November 2008

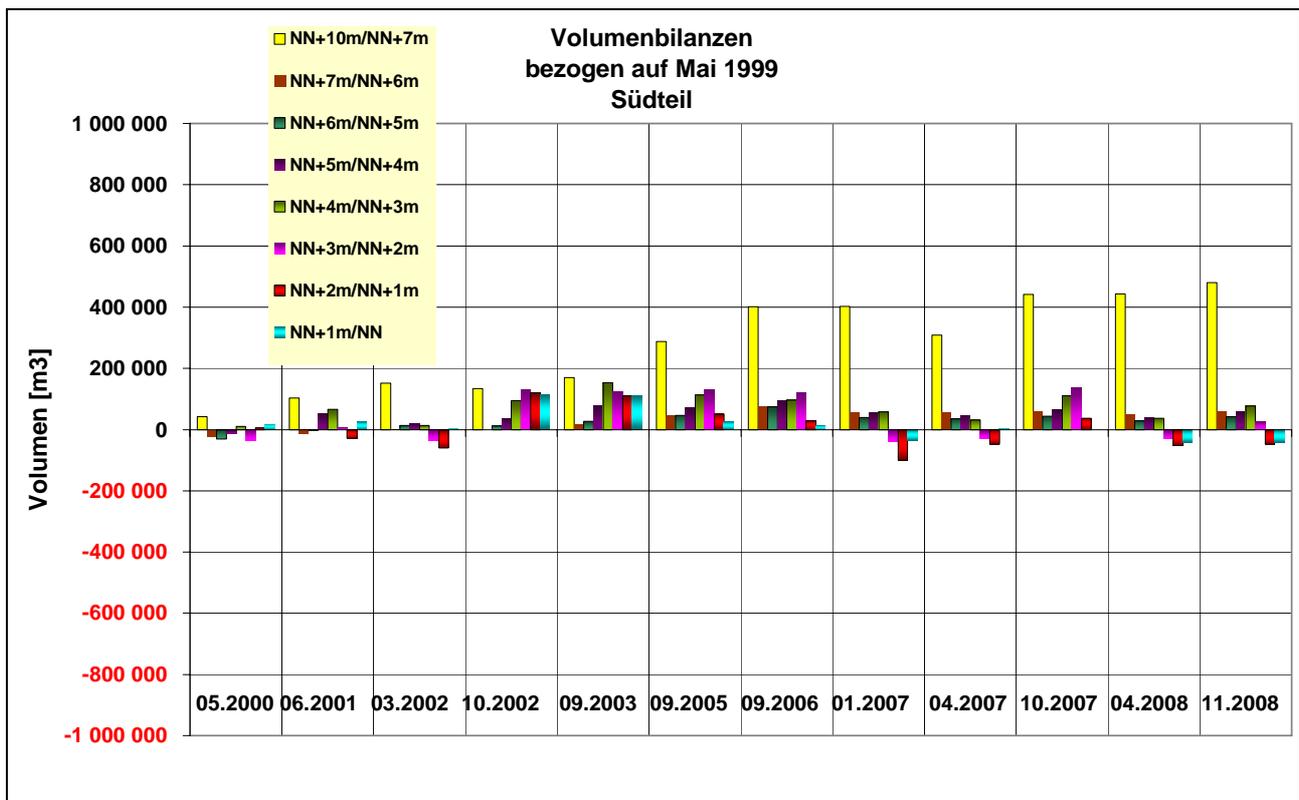


Abbildung 35: Volumenbilanz Südteil Sylt zwischen Mai 1999 und November 2008

Die Volumenbilanzen zwischen Mai 1999 und November 2008 sind für die gesamte Westküste in Abbildung 36 dargestellt.

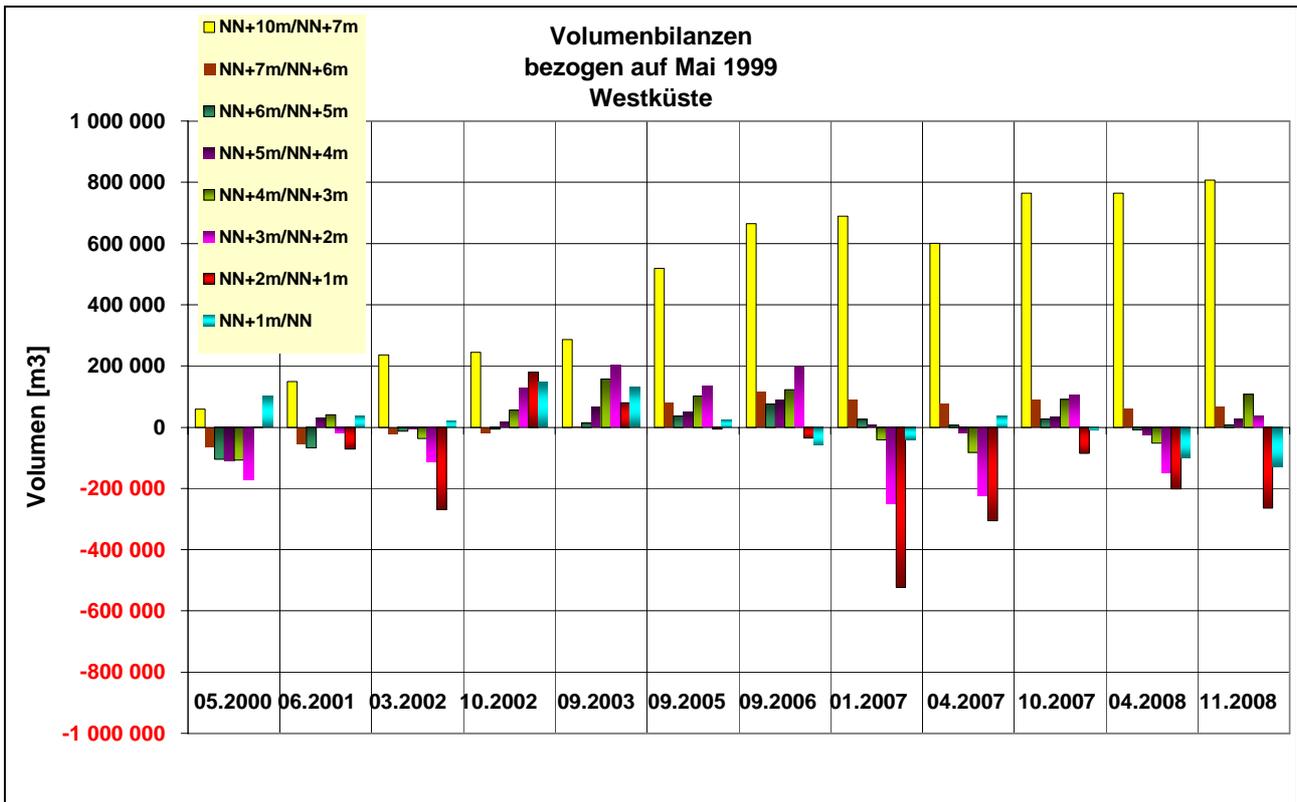


Abbildung 36: Volumenbilanz Westküste Sylt zwischen Mai 1999 und November 2008

## 4 Entwicklung der bisher durchgeführten Riff- bzw. Vorstrandaufspülungen Sylt

Tabelle 5: Bisher durchgeführte Sandersatzmaßnahmen im Riff bzw. Vorstrand

Gebiet	von	bis	Länge Kilometer	Menge Mio. m <sup>3</sup>	Menge m <sup>3</sup> /m	Spülbeginn	Spülende
	Station	Station					
Kampen (Riff)	04+979	06+131	1,152	0,240	208	27.04.1996	11.06.1996
Wenningstedt (Vorstrand)	02+037	03+028	0,991	0,233	235	07.08.2004	11.11.2004
Rantum (Vorstrand)	57+585	58+084	0,499	0,225	452	15.07.2006	13.08.2006
Puan Klent (Vorstrand)	59+085	60+086	1,001	0,391	391	25.07.2006	28.09.2006
Sansibar (Vorstrand)	61+436	62+336	0,900	0,135	150	10.09.2006	02.10.2006

### 4.1 Vorstrandaufspülung Wenningstedt 2004

Vom 07.08. bis 11.11.2004 wurde zwischen Stat. 02+037 und Stat. 03+028 auf rd. 1 Kilometer Länge die Menge von 233 000 m<sup>3</sup> im Bereich des Vorstrandes (auf Höhe und seeseitig der Riffkrone) verklappt (**Abbildung 37**). Der Strand hat sich auf Höhe der Vorstrandaufspülung im Zeitraum 2004-2008 im nördlichen Bereich erhöht (**Abbildung 38**), wobei der Sand am Strand gemäß dem mittleren Energiefluss nach Norden verlagert wird. Der südliche Bereich weist weiterhin ein geringes Puffervolumen auf, wobei in diesem Abschnitt im Jahre 2008 erstmalig gespült wurde.

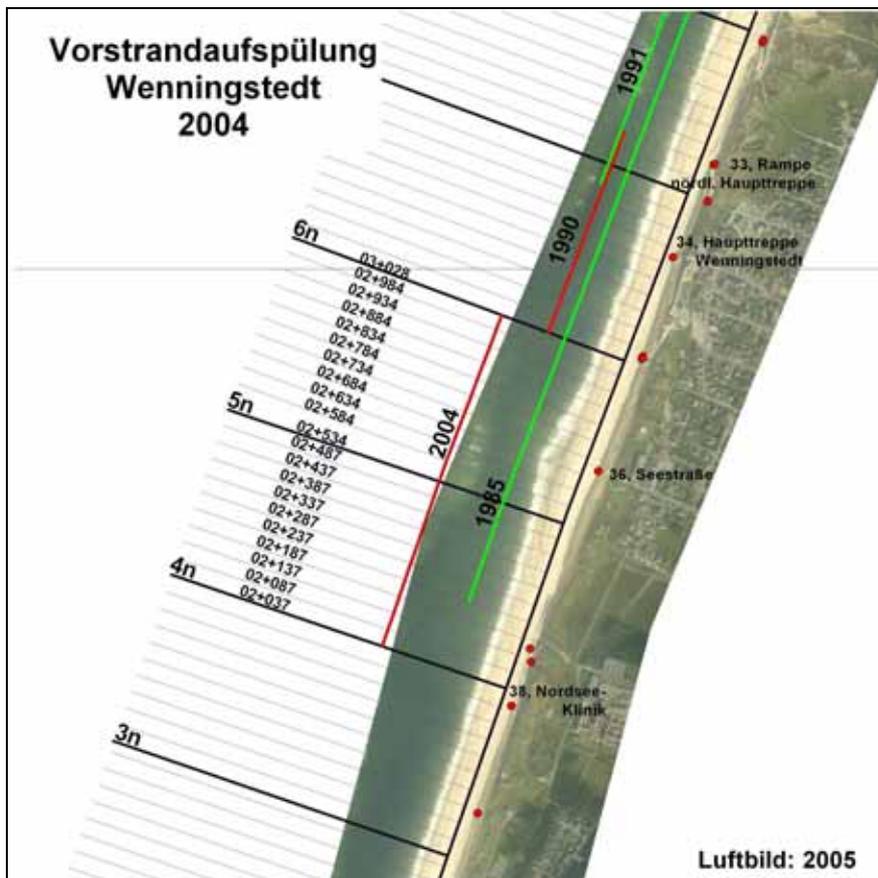


Abbildung 37: Lageplan Vorstrandaufspülung Wenningstedt 2004

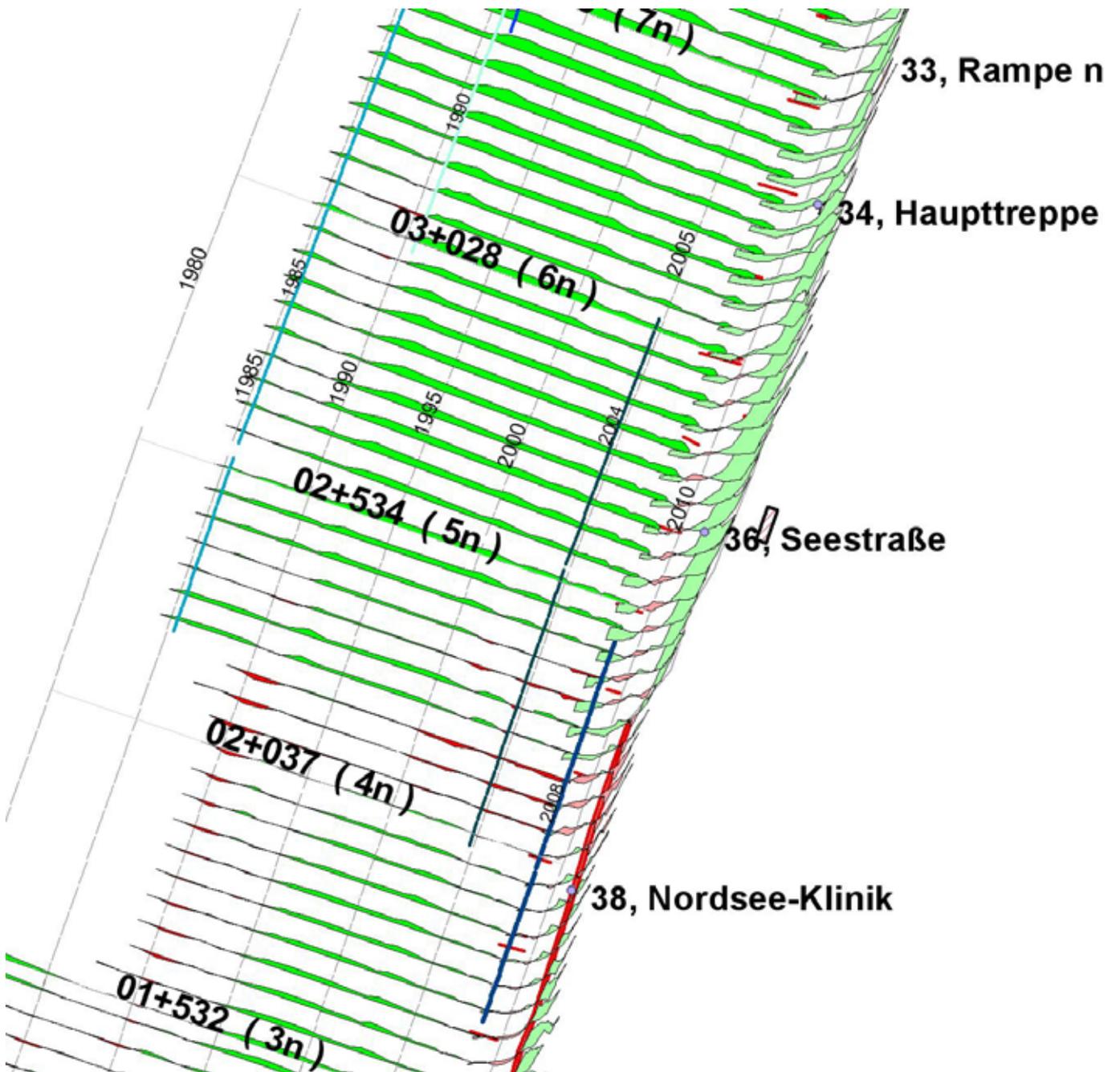


Abbildung 38: Vorstrandaufspülung Wenningstedt 2004; links: Volumenganglinien (1985-2008, NN+5m/NN), rechts: Profilvergleiche (1985/2008)

## 4.2 Vorstrandaufspülungen Rantum - Puan Klent 2006

Um die Auswirkungen der 2006 durchgeführten Vorstrandaufspülungen bewerten zu können, wurden sieben Untersuchungsgebiete gebildet (Abbildung 39). Das Gebiet II entspricht der Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Nord), das Gebiet IV der Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Mitte) und das Gebiet VI der Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Süd)

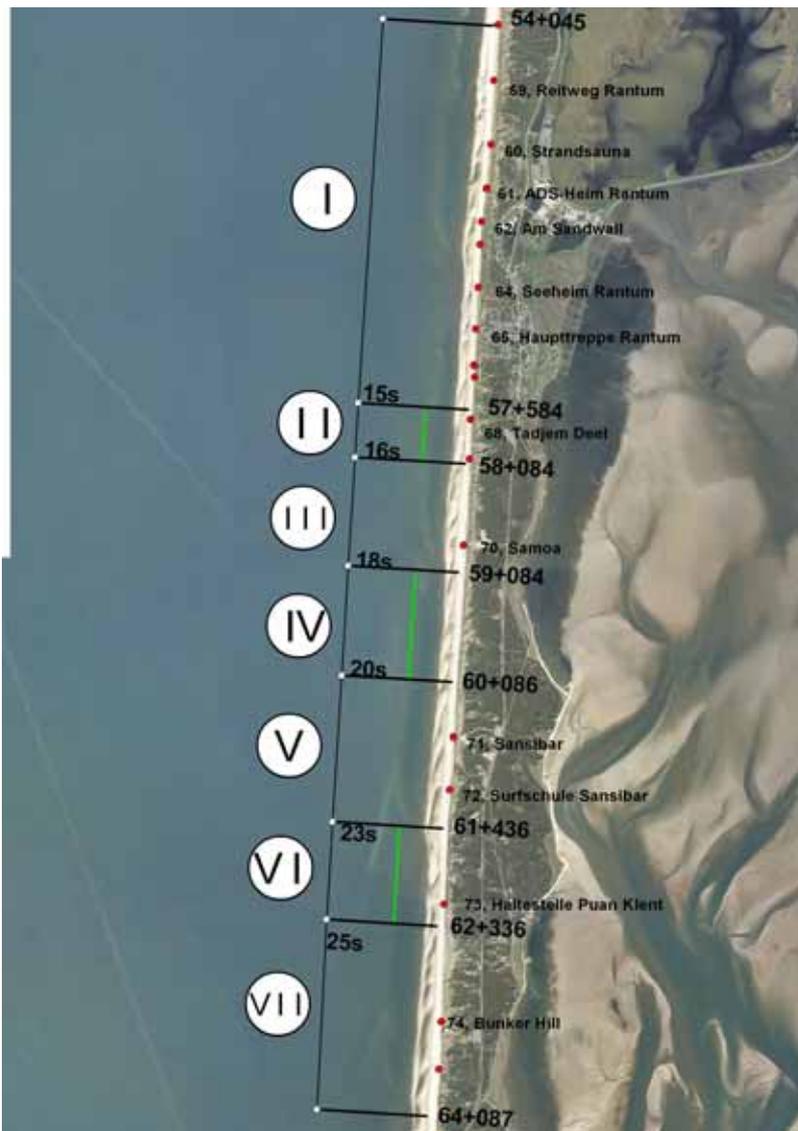


Abbildung 39: Übersicht der verschiedenen Messgebiete im Rahmen der Vorstrandaufspülungen 2006

Obwohl der Beobachtungszeitraum von 2,5 Jahren zu kurz ist, um gesicherte Aussagen machen zu können, werden nachfolgend die bisherigen Ergebnisse zusammengestellt. Eine Bewertung der 2006 durchgeführten Maßnahmen im Vorstrand zwischen Rantum und Puan Klent kann frühestens 2010 erfolgen.

#### 4.2.1 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Nord)

Die Volumenganglinien in den Höhenbereichen NN+5m/NN sind grundsätzlich durch den Wechsel von Auf- und Abtrag gekennzeichnet. Es sind Anzeichen vorhanden, dass zwischen 2006 und 2008 der Strand im Bereich der Vorstrandaufspülung weniger Sand verloren hat als der südliche Anschlussbereich. Darüber hinaus sind im nördlichen Anschlussbereich Sandakkumulationen festzustellen (Abbildung 40).



Abbildung 40: Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Nord); links: Volumenganglinien (1987-2008, NN+5m/NN), rechts: Profilvergleiche (2006/2008)

#### 4.2.2 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Mitte)

Die Volumenganglinien (NN+5m/NN) werden von den Sandaufspülungen und dem Volumenverlust geprägt. Die Vorstrandaufspülung 2006 hat zunächst den weiteren Strandrückgang verringert (Abbildung 41). Die Umlagerung des Spülkörpers begann mit Fertigstellung der Maßnahme. Ein Teil des Materials hat die Nachbarbereiche versorgt.

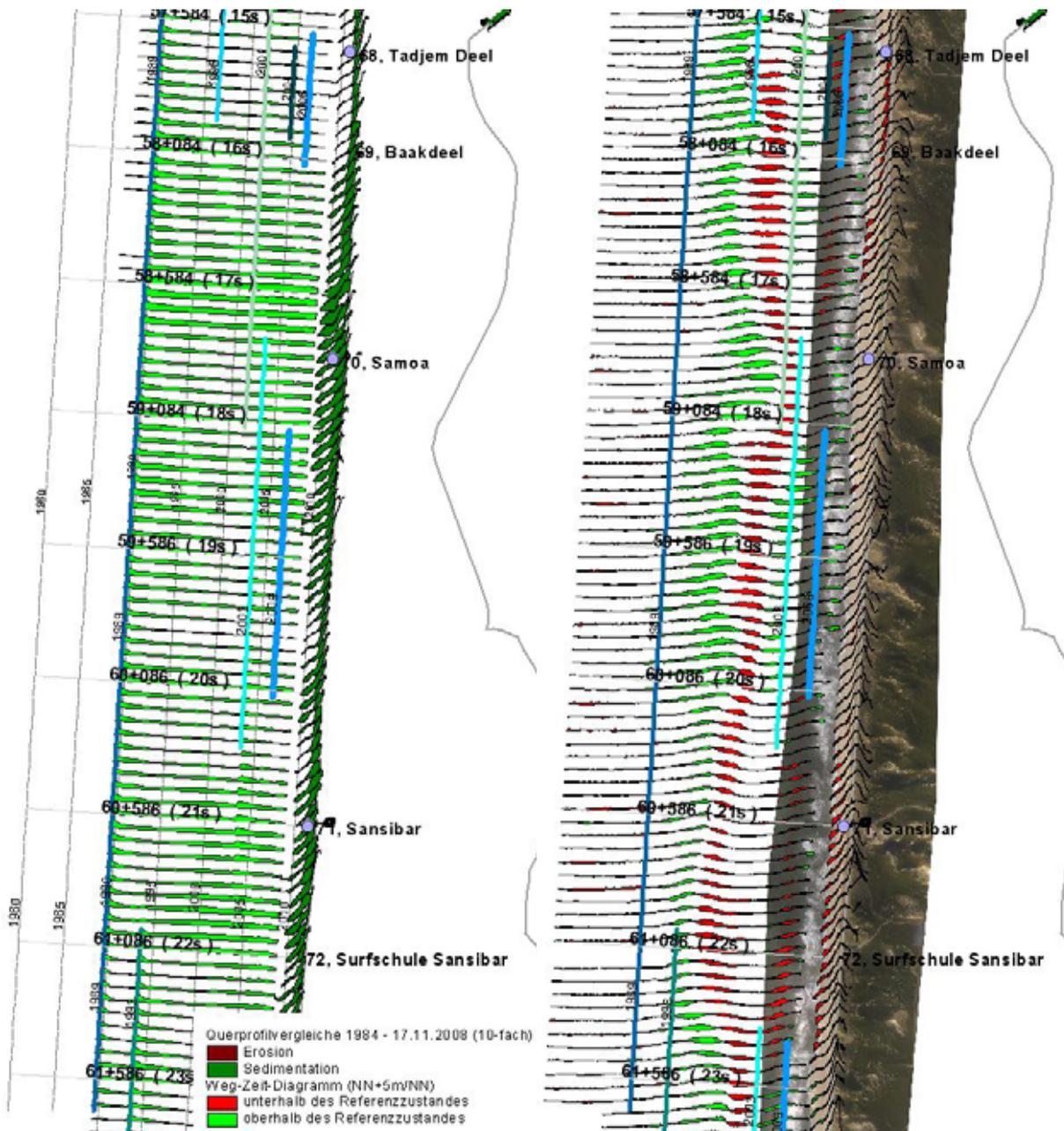


Abbildung 41: Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Mitte); links: Volumenganglinien (1987-2008, NN+5m/NN), rechts: Profilvergleiche (2006/2008)

### 4.2.3 Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Süd)

Das Sandvolumen hat sich im Strandbereich (NN+5m/NN) seit 2006 vergrößert (Abbildung 42).

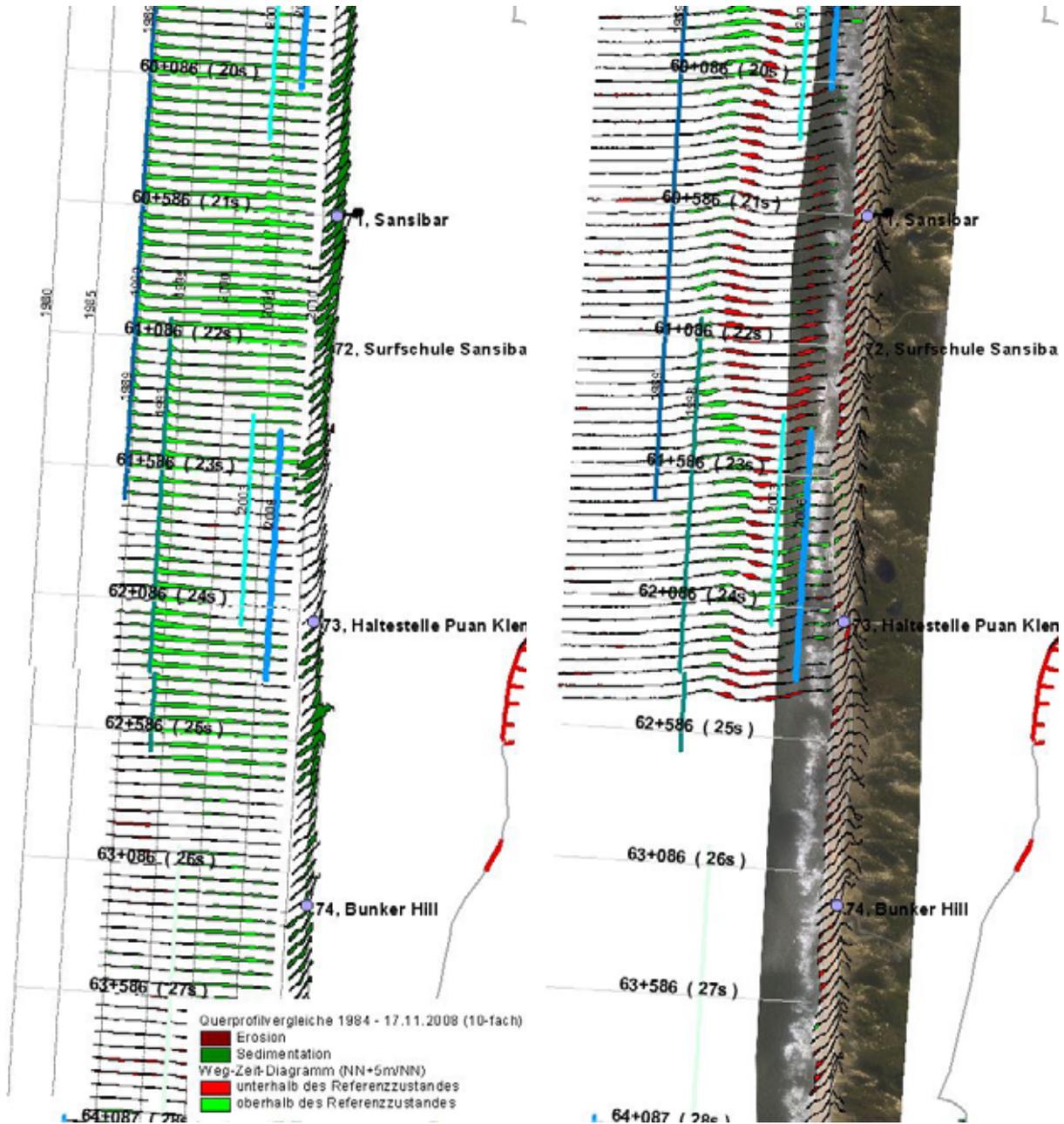


Abbildung 42: Vorstrandaufspülung Sylt 2006 (Süd); links: Volumenganglinien (1987-2008, NN+5m/NN), rechts: Profilvergleiche (2006/2008)

## **5 Sonstige durchgeführte bauliche Maßnahmen**

### **5.1 Tetrapodenquer- und -längswerk Hörnum**

Im Bereich Hörnumer Hauptstrand wurden 70-80 Längswerktetrapoden aufgenommen und zur Verstärkung des Querwerkes bzw. als Zwischenlagerung in Querwerksnähe verwendet, um den Strand vom Strandüberweg „Onkel Fritz“ aus für Rettungsfahrzeuge bzw. für Fußgänger in Haupttreppennähe passierbar zu machen. Außerdem wurde der Wurzelbereich des Tetrapodenquerwerkes von Tetrapoden frei gehalten, damit der Strandabschnitt befahrbar ist.

### **5.2 Strandschieben**

In Wenningstedt und nördlich Kampen Nord wurde der Strandwall hochgeschoben, um den Strand zu erhöhen bzw. ein Wasserloch zu schließen.

### **5.3 Biotechnische Maßnahmen**

Bei den zwischen 1994 und 2008 durchgeführten biotechnischen Maßnahmen wird im Wesentlichen zwischen den Arbeitsarten des Setzens von Sandfangzäunen und dem Durchführen von Halmpflanzungen unterschieden.

Die Bereiche, in denen biotechnische Maßnahmen durchgeführt worden sind, sind in den **Abbildung 43** und **Abbildung 44** dargestellt, wobei **Abbildung 44** zusätzlich die im Zeitraum 1994-2008 insgesamt durchgeführten biotechnischen Küstenschutzmaßnahmen zeigt.

Insgesamt wurden 2008 rd. 26,2 Kilometer an Sandfangzäunen gesetzt und auf einer Fläche von 1,830 ha Halmpflanzungen durchgeführt. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag in den Bereichen Hörnum und List.

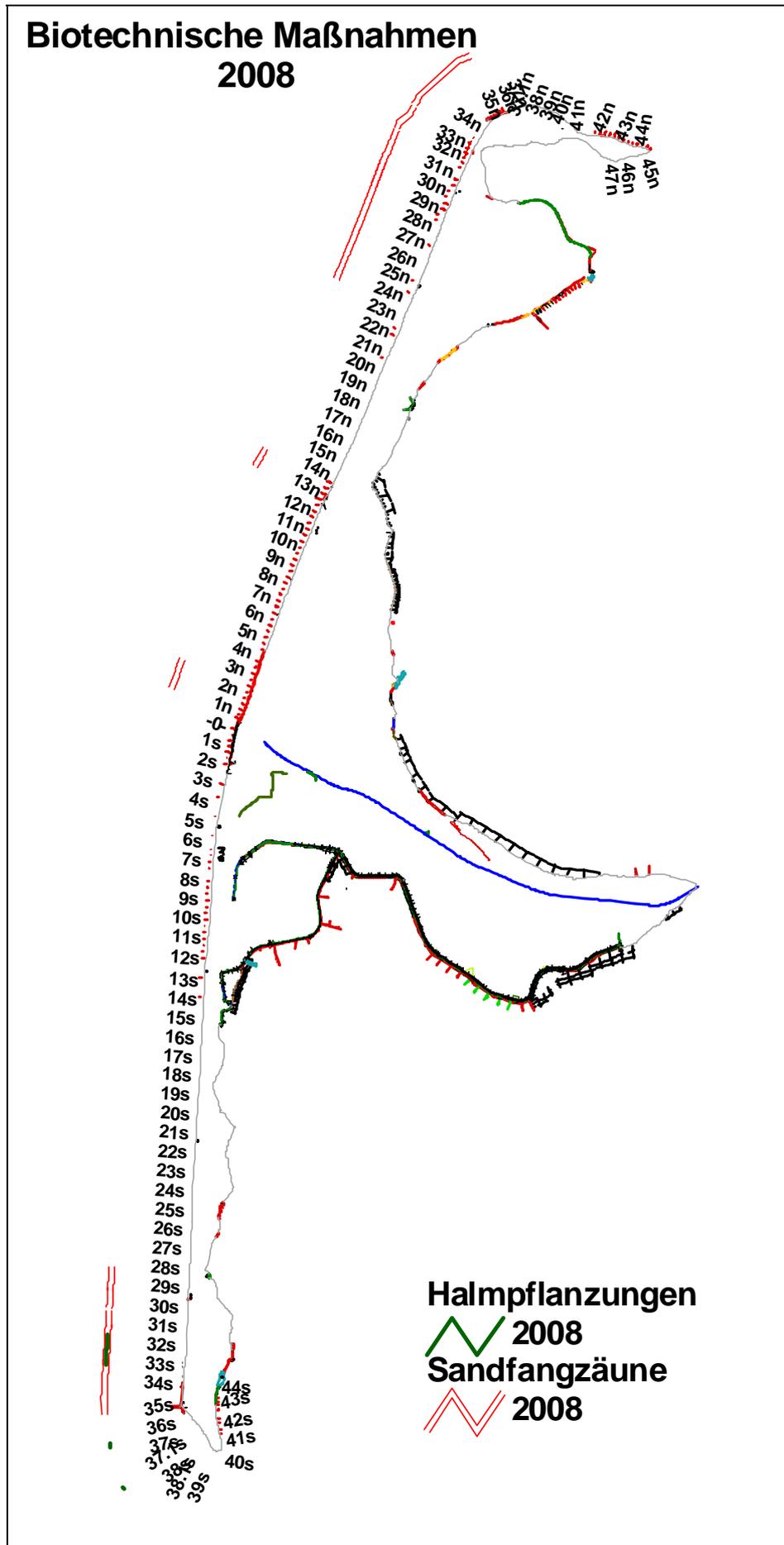
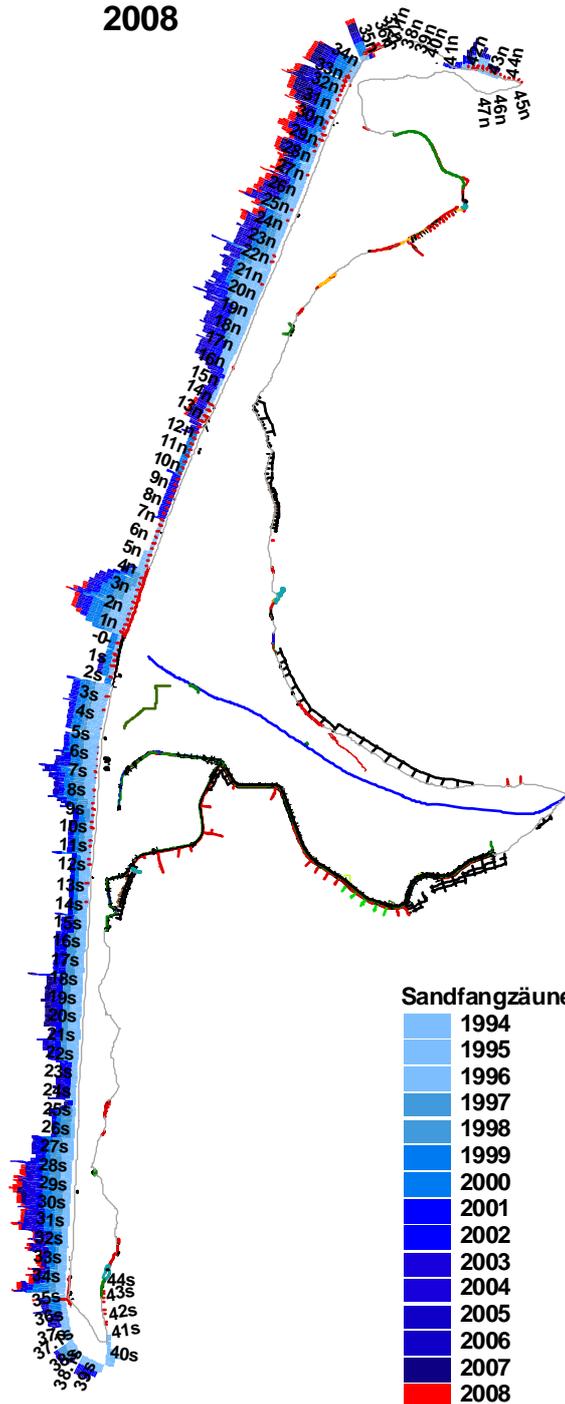


Abbildung 43: Biotechnischen Maßnahmen 2008

**Biotechnische Maßnahmen  
2008**



**Biotechnische Maßnahmen  
2008**

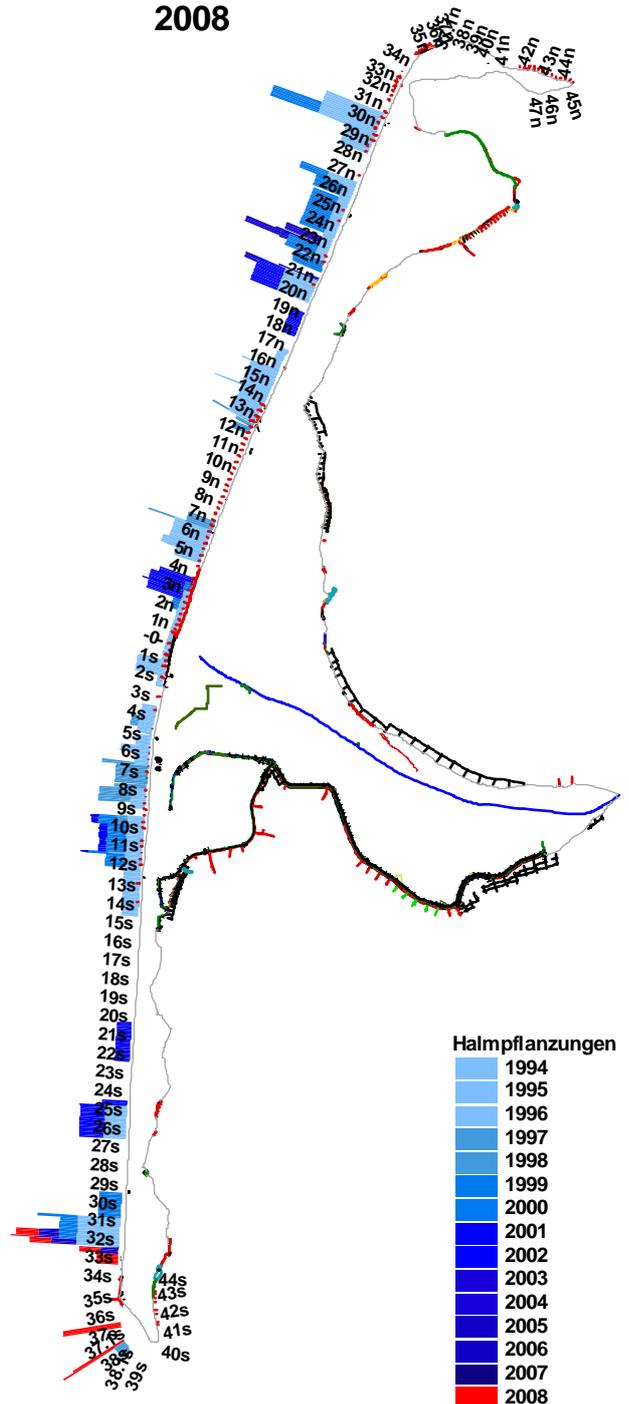


Abbildung 44: Umfang der biotechnischen Maßnahmen im Zeitraum 1994-2008

## 6 Sandentnahmegebiet Westerland II/III

### 6.1 Datengewinnung und –aufbereitung im Sandentnahmegebiet

Folgende Ansprüche wurden im Morphologischen Bericht 01/2008 für eine erfolgreiche Kontrolle der Entnahmestellen definiert:

- Vorvermessung des Gesamtgebietes auf Profillinien (Profilabstand: 50 Meter, Ost-West ausgerichtete Profile)
- Nachvermessung des Entnahmegebietes (alle 50 Meter) mit einer Verdichtung im Umkreis der von der Spülfirma benannten Sandentnahmetrichter von 100 Metern als Kreuzpeilung mit einem Profilabstand von 10 Metern.
- Einrichtung einer Sperrzone für weitere Sandentnahmen im Umkreis von 100 Metern um die Entnahmetrichter für die nächsten 10 Jahre, um eine Wiederauffüllung zu ermöglichen.

Nur mit Hilfe der verdichteten Daten sind künftige qualitativ gesicherte morphologische Aussagen über das Verhalten der Sandentnahmestellen möglich. Der Aufwand für die durchzuführende Kreuzpeilung im Bereich der zwischen 2001 und 2007 entstandenen Sandentnahmetrichter, beträgt bei einem Profilabstand von 10 m eine Fläche von 5,6 km<sup>2</sup>, entsprechend 1.120 Profilkilometer. Danach sollten nur noch die jeweils neu entstandenen Trichter verdichtet aufgemessen werden und eine Gesamtaufnahme aller nach 2001 entstandenen Trichter alle 5 Jahre erfolgen, erstmalig 2010.

Im April 2008 wurde durch das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Tönning eine Vermessung der Sandentnahmegebiete II und III (teilweise) mit Hilfe eines Fächerecholots durchgeführt (s. **Abbildung 45**). Das Fächerecholot kartiert mit einer Anzahl von fächerförmig ausgesandten akustischen Signalen einen Streifen des Meeresbodens entlang dem Schiffskurs. Fügt man mehrere Streifen zusammen, ergibt sich, nach Berechnung eines digitalen Geländemodells zur Glättung, eine topografische Karte. Die laterale Reichweite des Fächerecholots ist dabei, neben dem verwendeten Modell, von der Wassertiefe abhängig: Je tiefer das Wasser, desto breiter ist der aufgenommene Streifen.



Abbildung 45: Lage und Darstellung der im April 2008 gewonnenen Fächerecholot-Daten als DGM, Messgebiet (links), Gebiet mit Vergrößerung (rechts)

## 6.2 Beispielhafte Untersuchung eines Sandentnahmetrichters

Zurzeit existieren im Untersuchungsraum lediglich Fächerecholotdaten für die Messung vom April 2008. Ältere Daten liegen in geringerer räumlicher Auflösung vor. Zur Analyse der Entnahmemengen älterer Jahrgänge werden daher auch diese Daten geringerer Dichte über geeignete Interpolationsverfahren modelliert, um zu einer flächenhaften Aussage zu gelangen.

Beispielhaft soll an dieser Stelle die Auswertung für einen Trichter erfolgen, aus dem im Jahre 2007 Sand gewonnen wurde. Als Entnahmemenge werden über die Betriebsdaten des Baggergeräts für den gewählten Ausschnitt  $183.152 \text{ m}^3$  angegeben. Hierbei handelt es sich um eine Summe, die aus den Einzelentnahmemengen gebildet wurde (s. **Abbildung 46**). Der absolute Abtrag bezogen auf eine Flächeneinheit muss dabei als Funktion der dem Entnahmepunkt zugeordneten Menge und der relativen Verteilung dieser betrachtet werden (s. **Abbildung 47**, **Abbildung 48**).

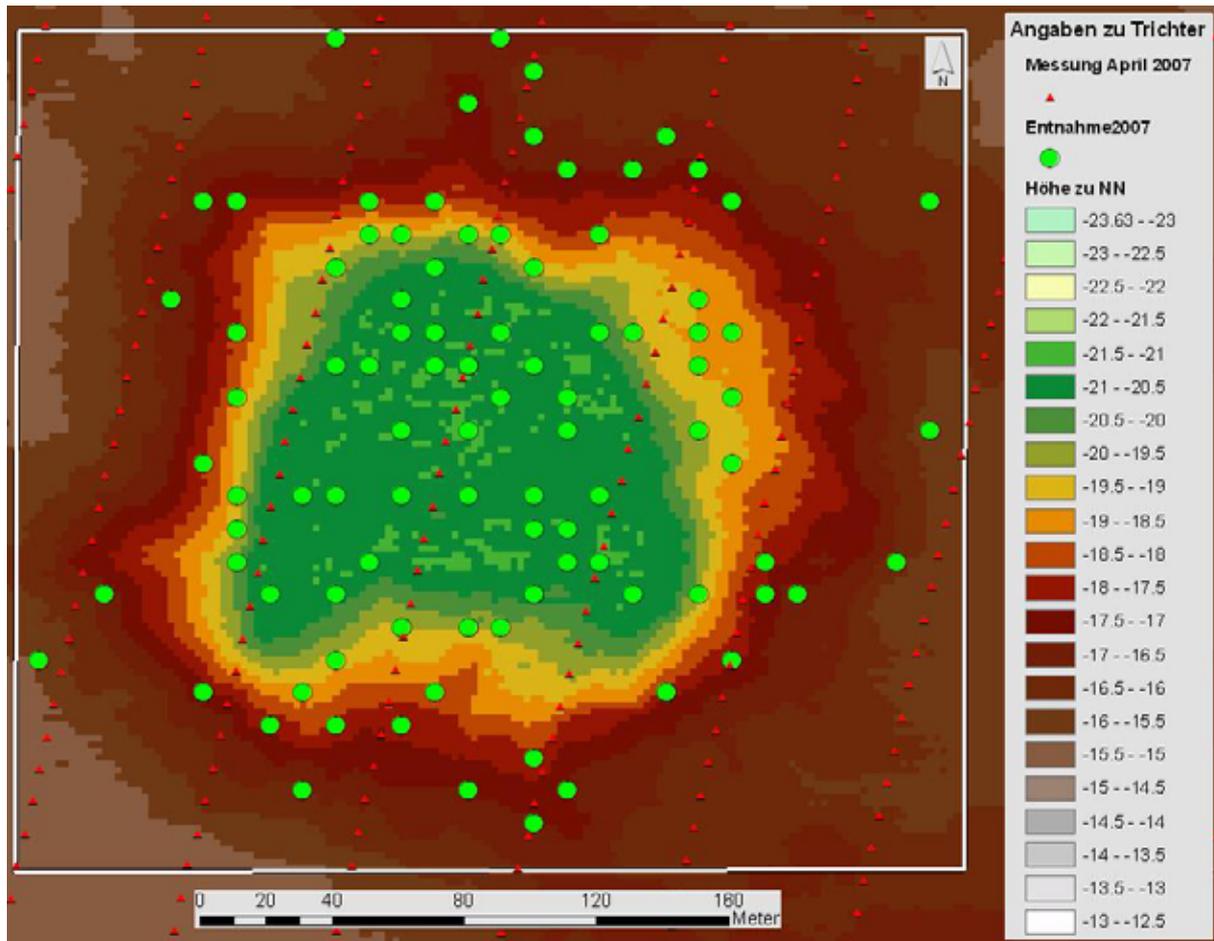
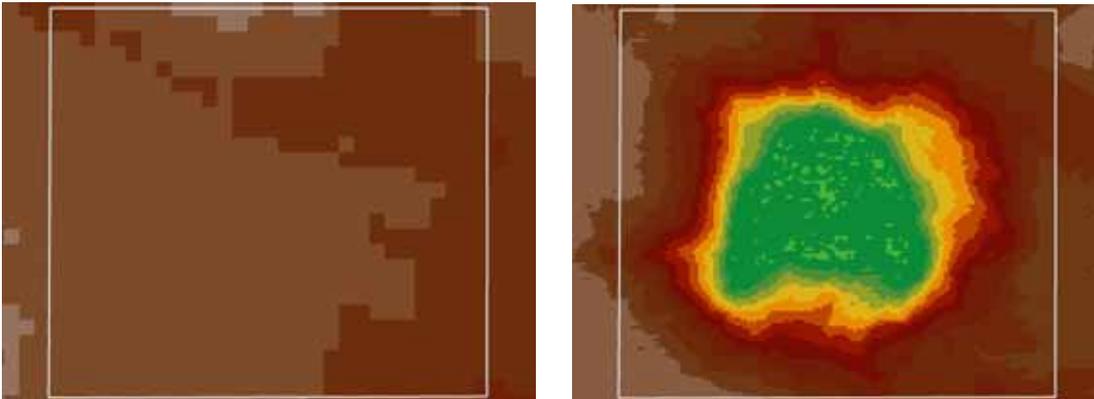


Abbildung 46: Entnahmepunkte und Profilmessungen 2007

Im Jahr 2007 wurden die Profile in einem Abstand von 50 m gemessen. Für den ausgewählten Bereich ergibt sich daraus eine Anzahl von 147 Messpunkten. Das Höhenmodell wurde mit Hilfe der IDW-Methode (Inverse Distance Weighting) berechnet. Hierbei wird der Tiefenwert an einem nicht beobachteten Punkt des zu bildenden Modells durch ein gewichtetes Mittel der benachbarten gemessenen Tiefenwerte geschätzt. Die Gewichte des dabei verwendeten linearen Schätzers sind proportional zu den Inversen des Abstands zwischen dem unbekanntem Punkt und dem verwendeten gemessenen Punkt. In diesem Fall wurden bei flexiblem Suchradius 5 Punkte der Umgebung zur Schätzung der Beobachtungsvariablen genutzt. Eine erheblich höhere Datendichte weist mit 139.000 Punkten die Messung aus dem Jahr 2008 auf.

Für das Modell wurde, basierend auf den Daten der Vermessung im Jahr 2007, eine Rasterzellengröße von 10 m x 10 m gewählt. Die bereits vom WSA Tönning aufbereiteten Daten lagen in einer Zellengröße von 2 m x 2 m vor. Aufgrund der geringen Datendichte

ist von größeren Ungenauigkeiten in der Abbildung der Wirklichkeit im Modell 2007 auszu-  
 gehen.



Modell 2007 (Basis: Profilmessungen, 50m) Modell 2008 (Basis: Messungen Fächerecholot, 2m)

Abbildung 47: Ergebnisse der Modellrechnungen

Die Differenz beider Modelle weist einen Volumenverlust für den Trichter von 130.526 m<sup>3</sup>  
 auf.

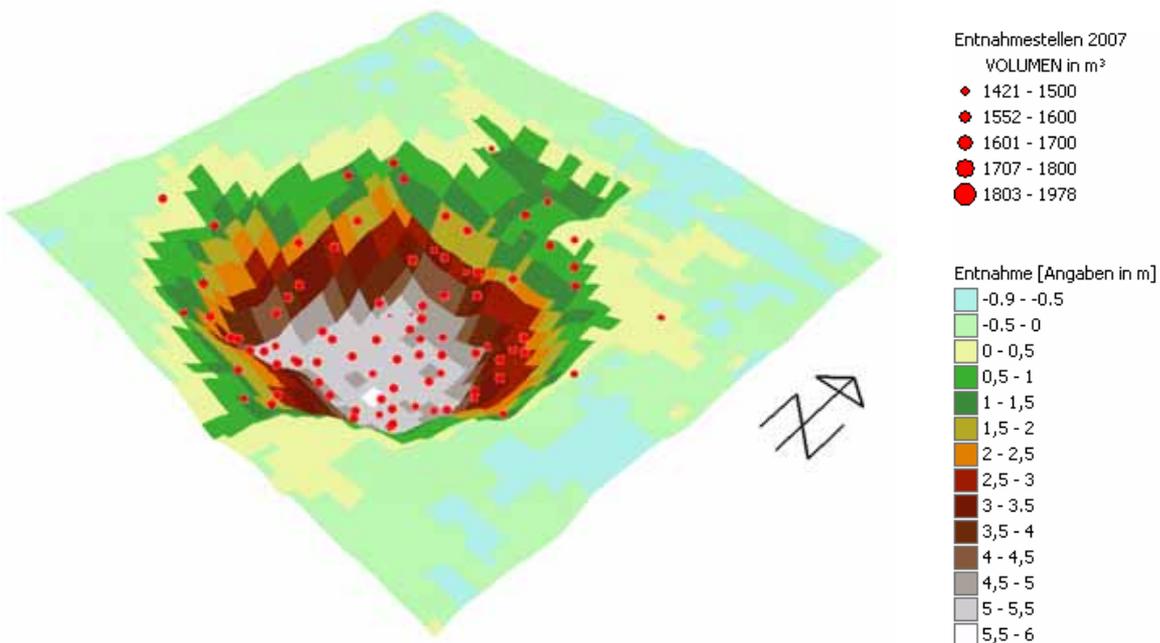


Abbildung 48: Beispielhafte Darstellung der Entnahmemenge

Weitere Verfahren wurden im Hinblick auf das Verhältnis zu den durch den Baggerbetrieb  
 bereitgestellten Angaben getestet (Tabelle 6). Die Daten aus dem Jahre 2007 wurden in  
 diesem Zuge mit Hilfe eines weiteren geostatistischen Interpolationsverfahrens, Kriging,

aufbereitet und mit dem Modell des WSA Tönning verrechnet (M2). Die Berechnung eines Modells höherer Auflösung – 1 m x 1 m – basierend auf den Daten des WSA Tönning hatte im Ergebnis keine signifikante Änderung der Volumenangaben zur Folge (M3).

**Tabelle 6:      Verfahrensvergleiche zur Berechnung der Volumendifferenzen**

	2008, Fächerlot	Methode	Parameter	2007, Profile	Methode	Parameter	Volumen- differenz
M1	2-m-Raster 7,43 Werte/Zelle	---	---	10-m-Raster 0,18 Werte/Zelle	IDW	Suchradius variabel Anz. Punkte 5	130526 m <sup>3</sup>
M2	2-m-Raster 7,43 Werte/Zelle	---	---	2-m-Raster 0,008 Werte/Zelle	Kriging	Sphärisches Modell Suchradius variabel Anz. Punkte 12	130881 m <sup>3</sup>
M3	1-m-Raster 1,88 Werte/Zelle	Kriging	Suchradius variabel Anz. Punkte 5	10-m-Raster 0,18 Werte/Zelle	IDW	Suchradius variabel Anz. Punkte 5	130963 m <sup>3</sup>

Mit Hilfe der Fächerecholotvermessung sollte jährlich im Frühjahr vor der jeweiligen Sandentnahme eine Gesamtvermessung des Gebietes durchgeführt werden. Die Zusammenstellung in 2 m x 2 m Raster-Daten ist ausreichend. Nur mit Hilfe dieser Daten sind künftige qualitativ gesicherte morphologische Aussagen über das Verhalten der Sandentnahmestellen möglich.

## 7 Energieeinträge

### 7.1 Wind

Die Parametrisierung des Windes, die durch die unterschiedlicher Stärke und Richtung gekennzeichnet wird, durch eine skalare Größe wird in Form der „Windbelastung“ vorgenommen. Dabei wird die Häufigkeit der jeweiligen Windrichtung mit der Stärke gewichtet. Die Windbelastung hat sowohl aus Südwest als auch aus Nordwest im Jahr 2007/2008 zugenommen, wobei die Belastung aus Südwest auch im langjährigen Mittel größer ist. Die Windbelastung aus Westen war 2007/2008 insgesamt sehr ausgeprägt und im langfristigen Vergleich stärker ausgeprägt. Ostwindlagen traten dagegen seltener auf (**Abbildung 49**). Aufgrund dieser vorherrschenden Windverhältnisse ist ein verstärkter Küstenlängstransport nach Norden bzw. nach Süden zu erwarten. Der Wiederaufbau des Strandes bei Ostwindlagen konnte nur seltener erfolgen.

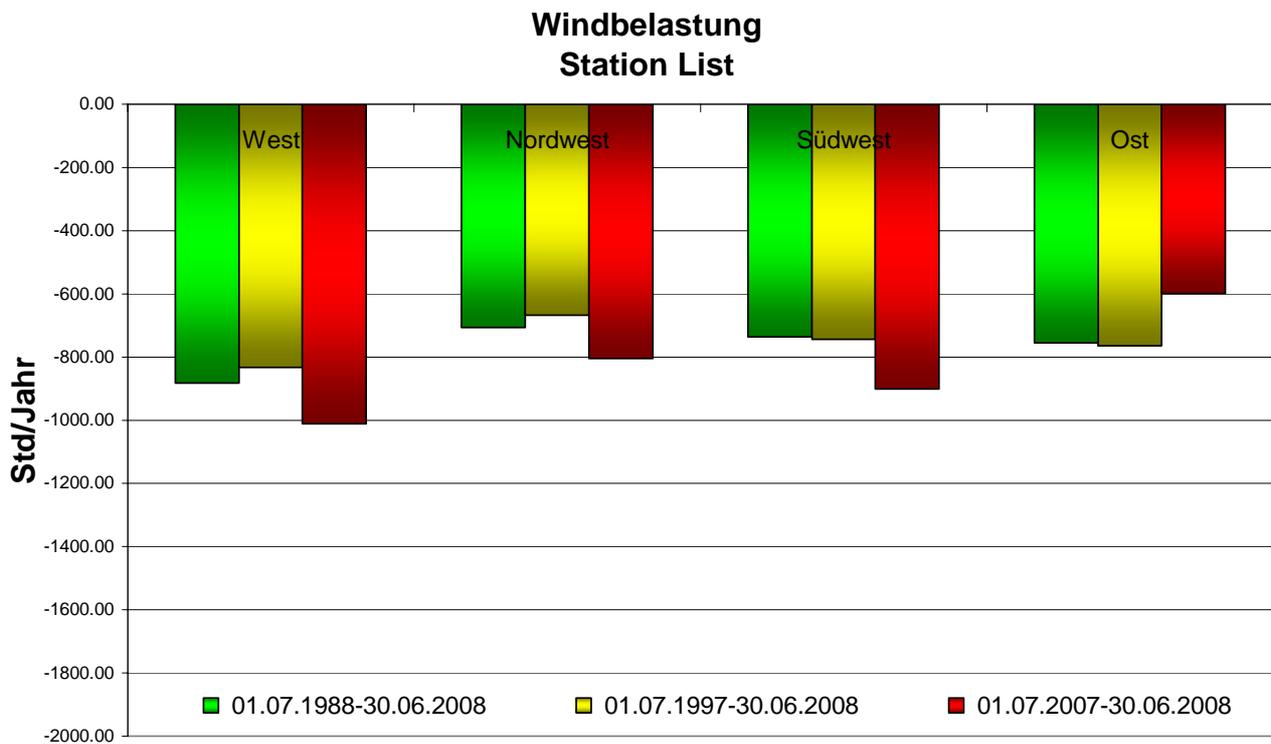


Abbildung 49: Windbelastung an der Station List

## 7.2 Seegang

Der seegangsinduzierte Energiefluss wird beispielhaft für den Bereich Rantum angegeben. Der Energiefluss kann in seine küstensenkrechten und küstenparallelen Komponenten aufgeteilt werden. Der nach Norden gerichtete küstenparallele Energiefluss ( $F_{I\_N}$ ) war im Jahre 2007/2008 besonders ausgeprägt. Der gesamte Energiefluss ( $F_{tot}$ , Summe von  $F_n$ ,  $F_{I\_S}$  und  $F_{I\_N}$ ) war 2007/2008 besonders groß (**Abbildung 50**). Sowohl der nach Süden gerichtete küstenparallele Energiefluss ( $F_{I\_S}$ ) als auch der nach Norden gerichtete Energiefluss ( $F_{I\_N}$ ) lag deutlich über dem langjährigen Mittel. Der küstennormale Energiefluss ( $F_n$ ) war infolge der größeren Windbelastungen aus Westen ebenfalls erhöht. Der küstennormale Energiefluss bewirkt jedoch keinen Sandverlust aus dem System heraus.

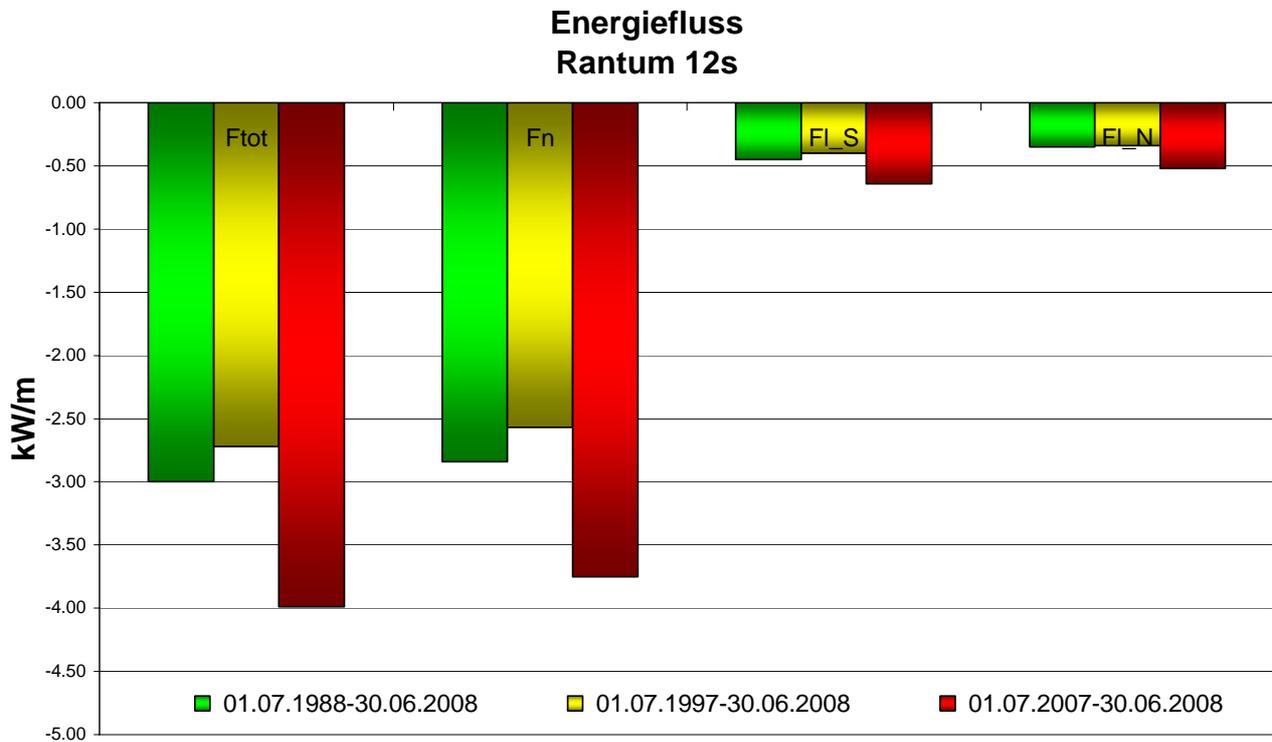


Abbildung 50: Energiefluss im Bereich Rantum (Profil 12s)

### 7.3 Wasserstand

Die Häufigkeitsverteilung der Wasserstände am Pegel Westerland belegt, dass sich das Jahr 2007/2008 durch erhöhte Wasserstände in sämtlichen höheren Wasserstandslamel- len auszeichnet (**Abbildung 51**). Die 20 höchsten Sturmfluten seit 1900 am Pegel List-Hafen sind in **Tabelle 7** aufgeführt und bieten einen Vergleich mit den im Winterhalbjahr 2008/2009 eingetretenen Ereignissen.

Das MThw (1999-2008) am Pegel Westerland beträgt PN+5,87 m. Die Klassifizierung von Sturmfluten lautet:

Flutklasse	Grenzwerte
Sturmflut	1,5 m bis 2,5 m über MThw
Schwere Sturmflut	2,5 m bis 3,5 m über MThw
Sehr schwere Sturmflut	Ab 3,5 m über MThw

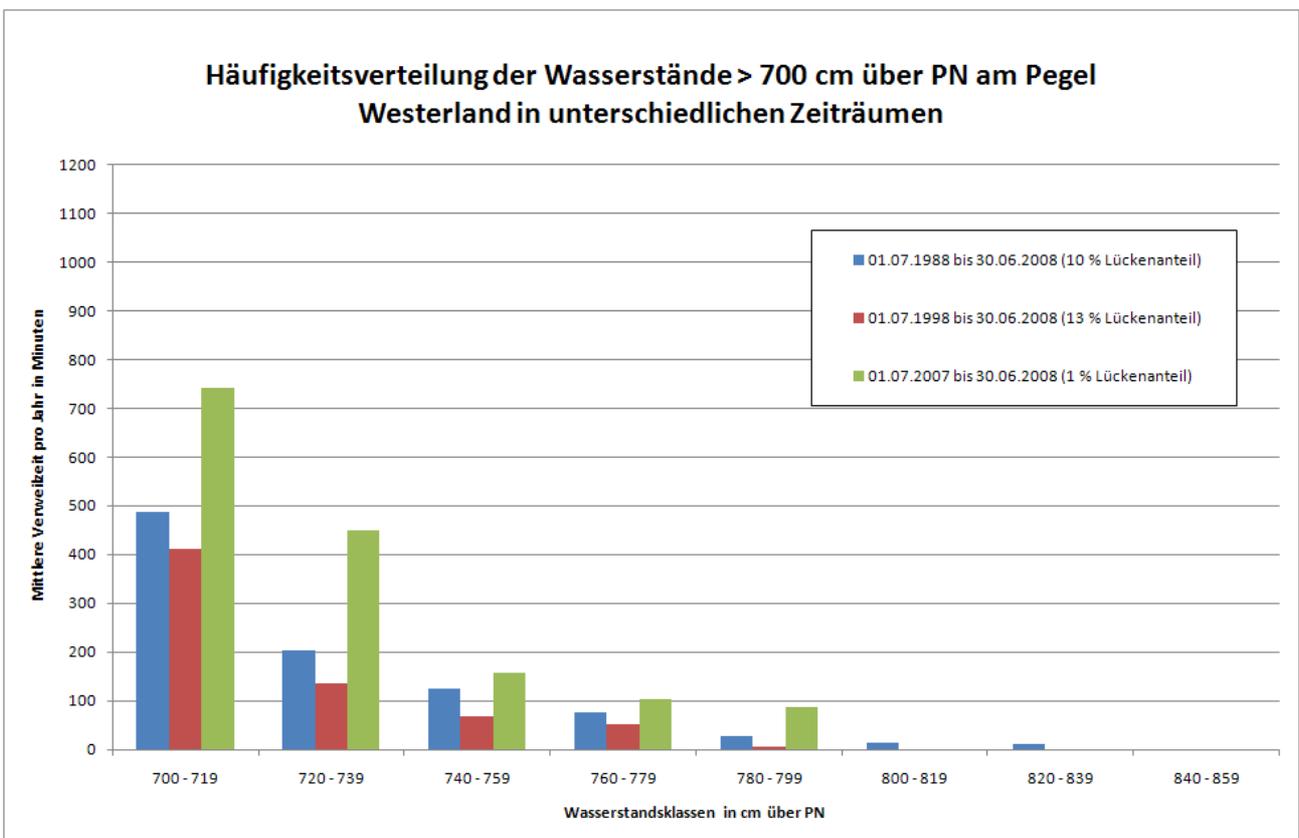


Abbildung 51: Verweilzeiten am Pegel Messpfahl Westerland

**Tabelle 7: Verweilzeiten am Pegel List-Hafen mit den 20 höchsten Scheitelwasserständen seit 1900**

Rang	Beginn der Überschreitung Tag der Sturmflut	Thw [cmPN]	Verweilzeiten von Wasser- ständen über 700 cmPN in Minuten
1	24.11.1981	905	620
2	03.01.1976	894	455
3	16.02.1962	865	645
4	03.12.1999	863	537
5	26.01.1990	858	629
6	27.02.1990	849	445
7	21.01.1976	847	500
8	15.01.1968	845	335
9	18.10.1936	842	280
10	28.02.1990	827	410
11	27.10.1936	826	460
12	28.01.1994	825	411
13	26.02.1990	824	541
14	23.02.1967	820	585
15	28.01.2002	820	282
16	08.01.2005	815	340
17	09.01.1991	814	316
18	06.11.1985	813	570
19	01.03.2008	811	503
20	24.11.1938	810	405

Im Winterhalbjahr 2007/2008 ist am Pegel List ein Sturmflutereignis mit PN+8,11 m aufgetreten, das zu den 20 höchsten Sturmfluten seit 1900 gehört.

## 8 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht über den morphologischen Zustand der Westküste der Insel Sylt liefert die Ab- und Auftragsmengen, die aufgrund der Vermessung vom 17.11.2008 im Vergleich zur Referenzmessung (1984/92) festzustellen sind. Die Sandmengen, die im Jahre 2008 aufgespült worden sind, sind in den Auswertungen berücksichtigt.

Zwischen 1984 und 2008 ist für die Westküste von Sylt im Strandbereich ein rechnerischer jährlicher Verlust von rd. 1,2 Mio. m<sup>3</sup> festzustellen. Dieser wurde durch Sandaufspülungen weitestgehend ausgeglichen. Für den Strandbereich stellt dieser Wert in jedem Falle die obere Grenze dar, wobei der tatsächliche Sandverlust am Strand geringer ist. Eine Bilanzierung, die den Vorstrand einschließt, ist (nach 1992, 2000, 2005) wieder für das Jahr 2010 vorgesehen. Im Höhenbereich oberhalb NN+7 m sind durch den äolischen Sandtransport größere Mengen akkumuliert, die bei Sturmfluten weiterhin als Puffervolumen wirken können.

Die bisherigen Auswirkungen der Vorstrandaufspülungen Rantum - Puan Klent des Jahres 2006 werden dargestellt. Der Beobachtungszeitraum ist noch zu kurz, um abschließende Aussagen zu ermöglichen. Erste Anzeichen auf eine stabilisierende Wirkung der Maßnahme sind vorhanden. Die Strände im Bereich der Vorstrandaufspülungen zeigen sich überwiegend in einem guten Zustand. Im Zusammenhang mit der Gesamtvermessung 2010 sind weitere Erkenntnisse zu erwarten.

Am südlichen Inselende (nördlich und südlich vom Querwerk) sind auf rd. 1 km Länge größere Sandmengen abgetragen worden. Am Nordellenbogen sind hingegen bedeutende Anlandungen zu verzeichnen.

In folgenden Bereichen ergibt sich für 2009 ein rechnerischer Sandersatzbedarf:

1	Hörnum-Odde	6	Kampen
2	Hörnum	7	List-Mitte
3	Hörnum-Nord	8	List-Nord
4	Westerland		
5	Wenningstedt (als Vorstrandaufspülung)		

Für den Bereich der Hörnum-Odde (36s-37s) ist eine Wiederherstellung des Referenzzustandes aufgrund der starken Veränderungen nicht möglich. Hier wird die Küstenlinie einen veränderten, angepassten Verlauf annehmen müssen. Durch die Sandzufuhr südlich des Tetrapodenquerwerkes wird eine weitere Versorgung in diesem Bereich stattfinden können.

Husum, 27.02.2009

**Bearbeitet:**

Arfst Hinrichsen