

Morphologischer Abschlussbericht Vorstrandaufspülungen Sylt 2006 (Untersuchungszeitraum 2006-2011)

Inhalt

1	Grundlagen und Ziele der Vorstrandaufspülungen	2
2	Rantum 2006.....	6
2.1	Maßnahme	6
2.2	Morphologische Entwicklung.....	8
3	Puan Klent 2006.....	16
3.1	Maßnahme	16
3.2	Morphologische Entwicklung.....	18
4	Sansibar 2006	26
4.1	Maßnahme	26
4.2	Morphologische Entwicklung.....	28
5	Morphologische Entwicklung in den Nachbar- bzw. Zwischenbereichen.....	36
5.1	Nördlicher Nachbarbereich	36
5.2	Nördlicher Zwischenbereich.....	36
5.3	Südlicher Zwischenbereich.....	37
5.4	Südlicher Nachbarbereich.....	38
6	Energiebetrachtungen.....	39
6.1	Wasserstände.....	39
6.2	Wind.....	41
7	Gesamtbewertung der Maßnahmen.....	43
8	Ausblick.....	56

LKN-SH

Husum, 27.09.2012

Bearbeitet:

Arfst Hinrichsen

1 Grundlagen und Ziele der Vorstrandaufspülungen

Die morphologischen Veränderungen im Küstenvorfeld werden seit 1984 durch hydrographische Vermessungen ermittelt. Die seit 1984 regelmäßig an unterschiedlichen Küstenabschnitten durchgeführten Strandaufspülungen haben die festgestellten Erosionen im Küstenvorfeld nicht überall ausgleichen können. Dagegen haben sich die Strandaufspülungen für den Schutz der Westküste grundsätzlich bewährt. Insbesondere wird damit der Vordünenaufbau begünstigt und somit der weitere Küstenrückgang am unteren Dünenfuß verhindert. Die Erosionen in der Brandungszone finden aufgrund der vorherrschenden hydrodynamischen Vorgänge auch weiterhin statt. Durch die Erosionen in der strandnahen Brandungszone und die Verbreiterung der Randdünen verringern sich die effektiven Strandbreiten. Nach Auftreten großer Sturmflutereignisse verbreitern sich die Strände durch Material aus dem Dünenabbruch wieder. Das Ziel der Vorstrandaufspülungen besteht insgesamt darin, sowohl die Erosion im Küstenvorfeld auszugleichen als auch die Strände zu stabilisieren. Mit Hilfe wiederholt durchgeführter Vermessungen konnte die Verweildauer des eingebrachten Sandes ermittelt werden.

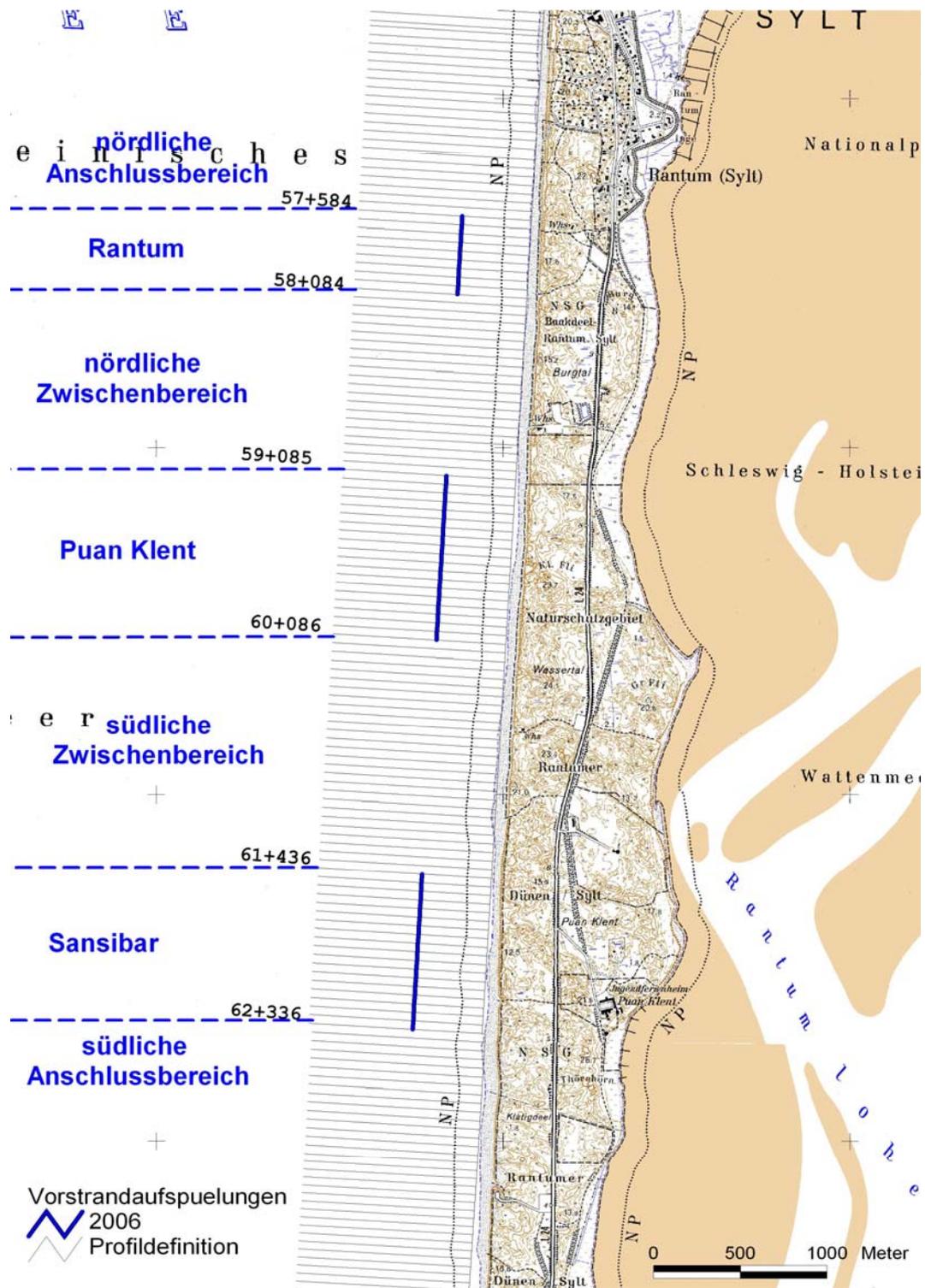


Abbildung 1: Lageplan Aufspülbereiche Vorstrand 2006



Abbildung 2: Spülschiff vor Tadjemdeel

Das Spülschiff verklappt rd. 500 Meter vor dem Rantumer Strand bei Tadjemdeel den Sand im Unterwasserbereich. Der eingebrachte Sand wirkt als Wellenbrecher und wird durch Tideströmungen und seegangsinduzierte Strömungen sowie den vom Wind angefachten Sandflug im System verteilt.

Küstenschutz Sylt Sandaufspülungen 2006

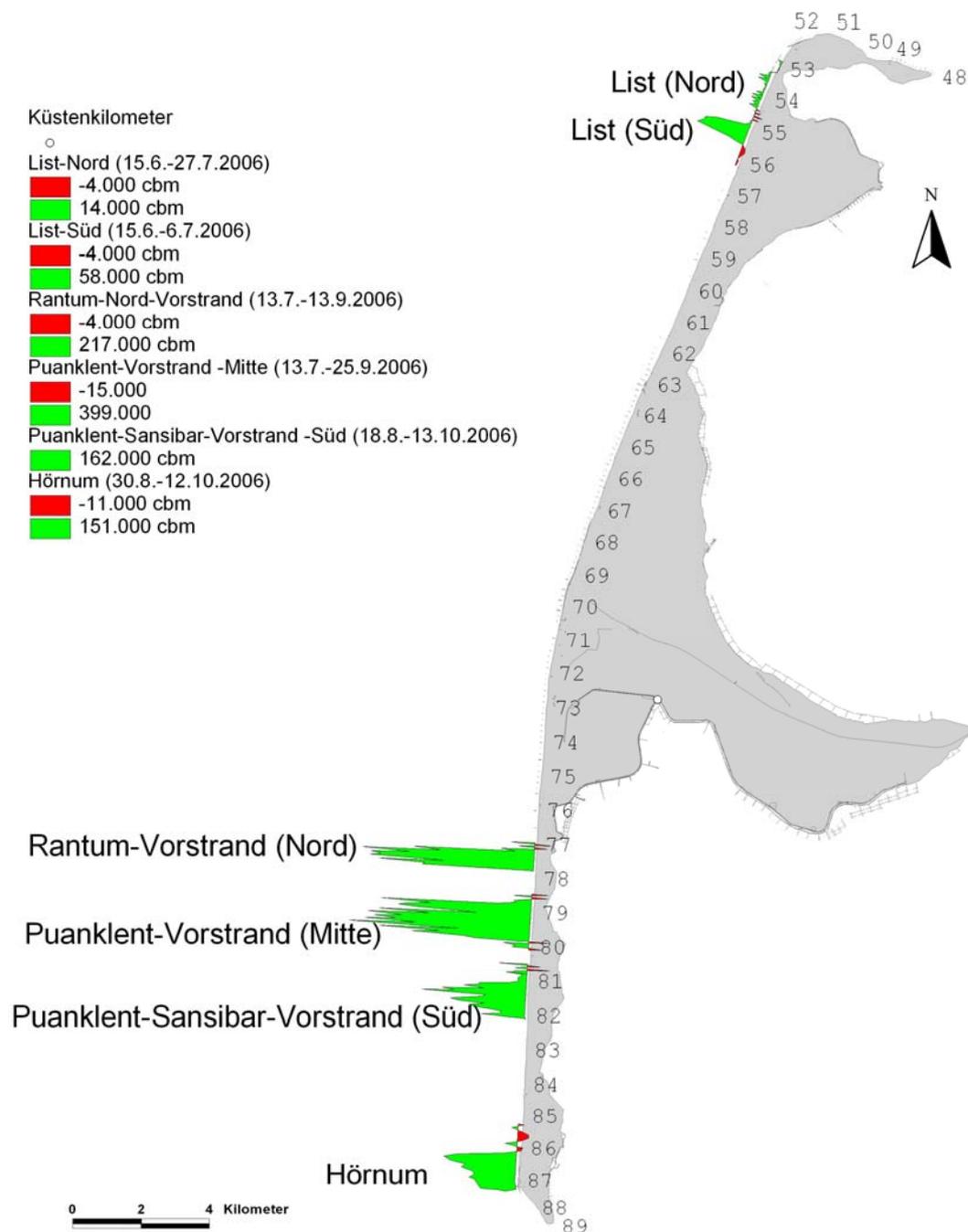


Abbildung 3: Sandaufspülungen Sylt 2006

Neben den Vorstrandaufspülungen vor Rantum (225.000 m^3 , $452 \text{ m}^3/\text{m}$), Puan Klent (391.000 m^3 , $391 \text{ m}^3/\text{m}$) und Sansibar (135.000 m^3 , $150 \text{ m}^3/\text{m}$) wurden Sandersatzmaßnahmen am Strand in Hörnum (244.000 m^3 , $203 \text{ m}^3/\text{m}$), List-Süd (132.000 m^3 , $187 \text{ m}^3/\text{m}$) und List-Nord (42.000 m^3 , $60 \text{ m}^3/\text{m}$) vorgenommen.

2 Rantum 2006

2.1 Maßnahme

Tabelle 1: Tabellenblatt Vorstrandaufspülung Rantum 2006

Rantum 2006	
Station (von)	58+084
Station (bis)	57+584
Aufspülstrecke	0,500 km
Aufspülmenge	0,225 Mio. m ³
Menge	452 m ³ /m
mittlerer Korndurchmesser	
Kosten	0,787 Mio. EUR
Sandentnahmegebiet	Westerland II
Aufspülbeginn	15.07.2006
Aufspülende	13.08.2006
Auftragnehmer	Rohde Nielsen A/S, Dänemark
Geräte	Hopperbagger: "Modi R" (3.493 kW); "Sif R" (3.052 kW)
Transportentfernung	
Spülentfernung	
Bemerkung	Vorstrandaufspülung/Verklappung

Sandaufspülung Sylt Spülbereich: Rantum (Vorstrand)

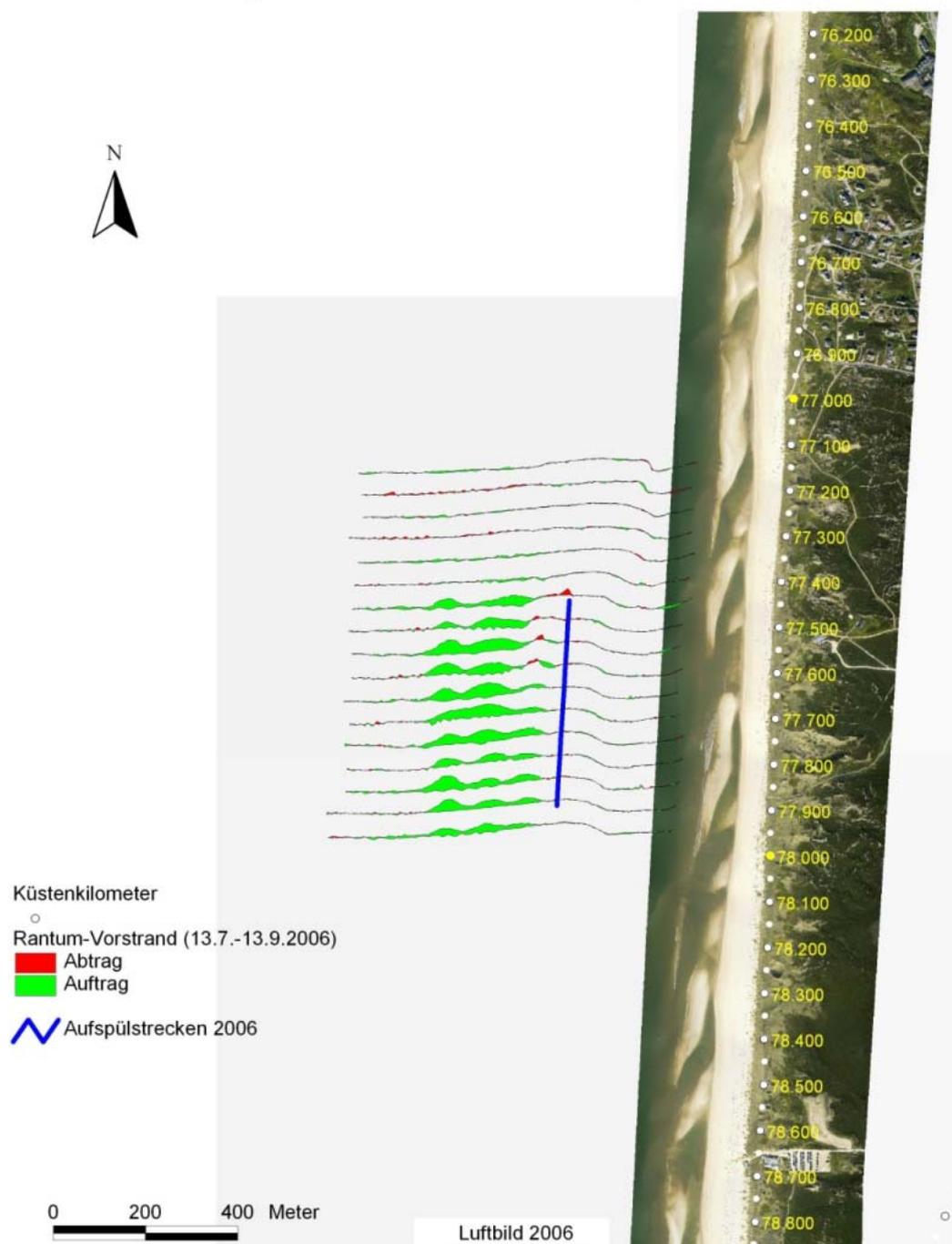


Abbildung 4: Querprofilvergleiche Rantum (Vorstrand) 13.7.-13.9.2006

Auf der nördlichen, rd. 500 Meter langen, Aufspülstrecke vor Rantum wurden 225.000 m³ seeseitig des Riffes aufgetragen (452 m³/m). Die vermessungstechnisch erfasste Aufspülmenge (NN-1 m / NN-10 m) lag bei 240.000 m³. Im Jahre 2010 konnten in dieser Höhenschicht noch rd. 91.000 m³ vermessungstechnisch erfasst werden. Dieses entspricht einem Anteil von 38 Prozent. Zu Beginn der Spülmaßnahme wurde der Sand nahezu punktuell im nördlichen Spülabschnitt seeseitig der Riffkrone gespült und dadurch ein zweites

Sandriff erstellt, wodurch das natürliche Sandriff an Höhe verlor. Das Verfahren wurde umgehend korrigiert und das Material gemäß der Planung flächig vor das Riff verklappt.

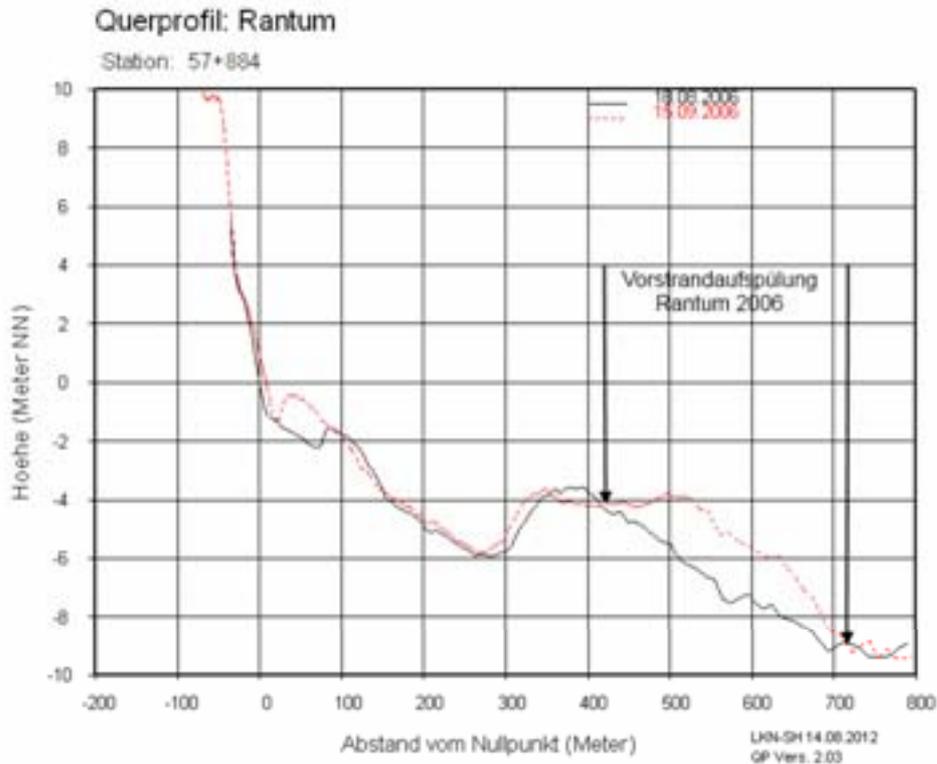


Abbildung 5: Profildarstellung Rantum (Station 57+884)

Die Einbauhöhe lag zwischen der NN-4 m und NN-8,50 m - Höhenschicht. Die Breite des Spülkörpers betrug ca. 300 Meter.

2.2 Morphologische Entwicklung

Folgende Messungen sind im Spülabschnitt Nord (Rantum) durchgeführt worden.

Tabelle 2: Übersicht Messungen im Bereich Vorstrandaufspülung Rantum 2006

Messtag	Strand	Vorstrand	Bemerkung
13.07.2006		X	Vorvermessung
19.07.2006		X	Kontrollmessung (Teilbereich)
20.07.2006	X		
17.08.2006		X	1. Zwischenvermessung
13.09.2006		X	2. Zwischenvermessung
14.09.2006		X	Zusatzvermessung GKSS
15.09.2006	X		Laserscan
13.10.2006		X	1. Nachvermessung
25.01.2007	X		Laserscan

Messtag	Strand	Vorstrand	Bemerkung
29.03.2007		X	2. Nachvermessung
25.04.2007	X		Laserscan
01.10.2007	X		Laserscan
23.10.2007		X	3. Nachvermessung
07.04.2008	X		Laserscan
15.04.2008		X	4. Nachvermessung
17.11.2008	X		Laserscan
26.09.2009	X		Laserscan
19.01.2010		X	5. Nachvermessung
10.06.2010		X	Gesamtvermessung Sylt
29.09.2010	X		Laserscan
16.09.2011	X		Laserscan

Die morphologische Entwicklung im Bereich der Vorstrandaufspülung Rantum 2006 wird anhand der Volumendifferenzen zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten und innerhalb unterschiedlicher Höhenschichten dargestellt.

Im Spülabschnitt **Rantum** wurden im Höhenbereich NN-4 m / NN-10 m rd. 230.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Die Spülmenge betrug 225.000 m³. Durch natürliche Auftragungen sind während der Sommermonate zusätzliche Sandmengen in das Untersuchungsgebiet gelangt. Insgesamt wurde in allen Höhenschichten (NN+5 m / NN-10 m) rd. 250.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Davon sind im Jahre 2010 noch rd. 80.000 m³ vorhanden (32 %).

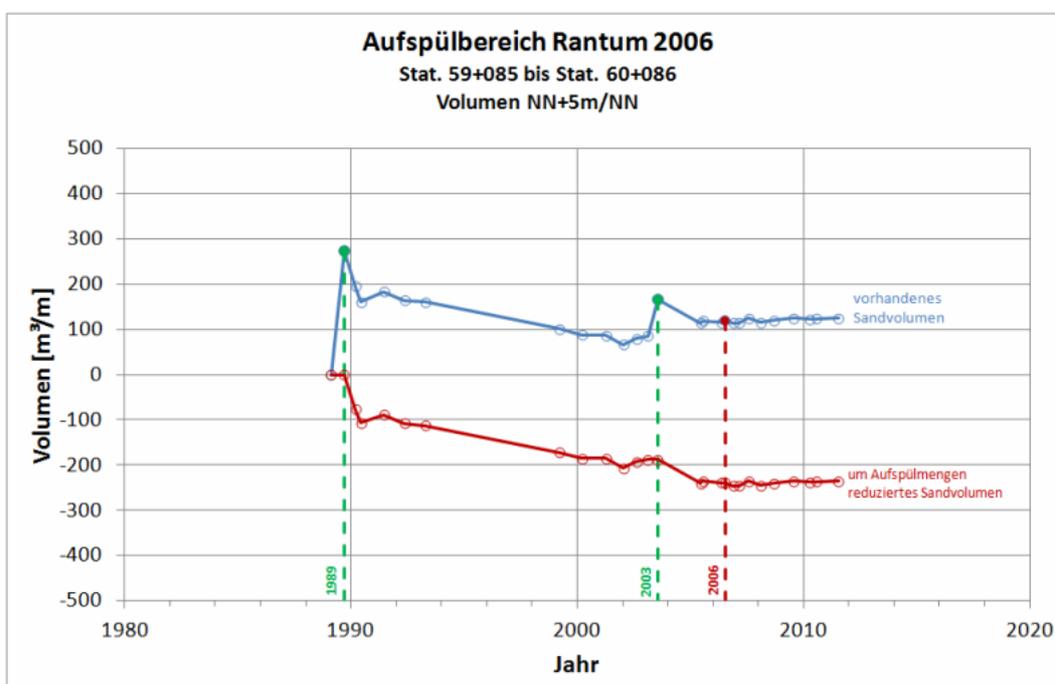


Abbildung 6: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (Aufspülbereich Rantum)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im Aufspülabschnitt Rantum zeigt den natürlich vorhandenen

Volumenrückgang auf, der lediglich durch die Sandaufspülungen 1989 und 2003 zwischenzeitlich gestoppt worden ist. Mit Hilfe der Methode "Reduzierung um Aufspülmengen" ist der Küstenrückgang zu erkennen. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Vorstrandaufspülungen im Jahre 2006 hat sich der Strandzustand stabilisiert.

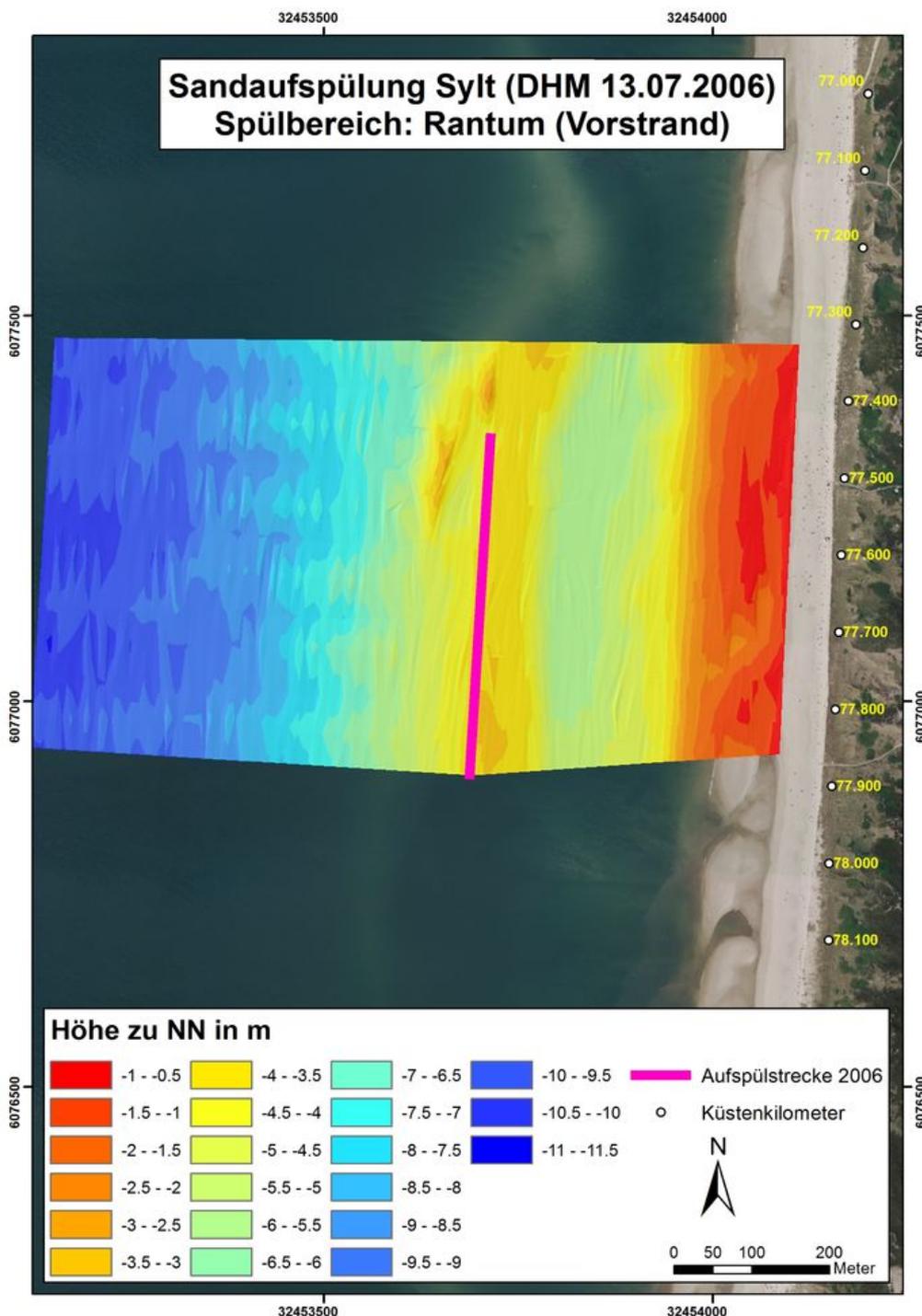


Abbildung 7: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Rantum (Vorvermessung 2006)

Zum Zeitpunkt der Vorvermessung 2006 liegen die durchschnittlichen Höhen des Riffes im Spülbereich Rantum in den Höhenschichten NN-3,5 m bis NN-4,5 m.

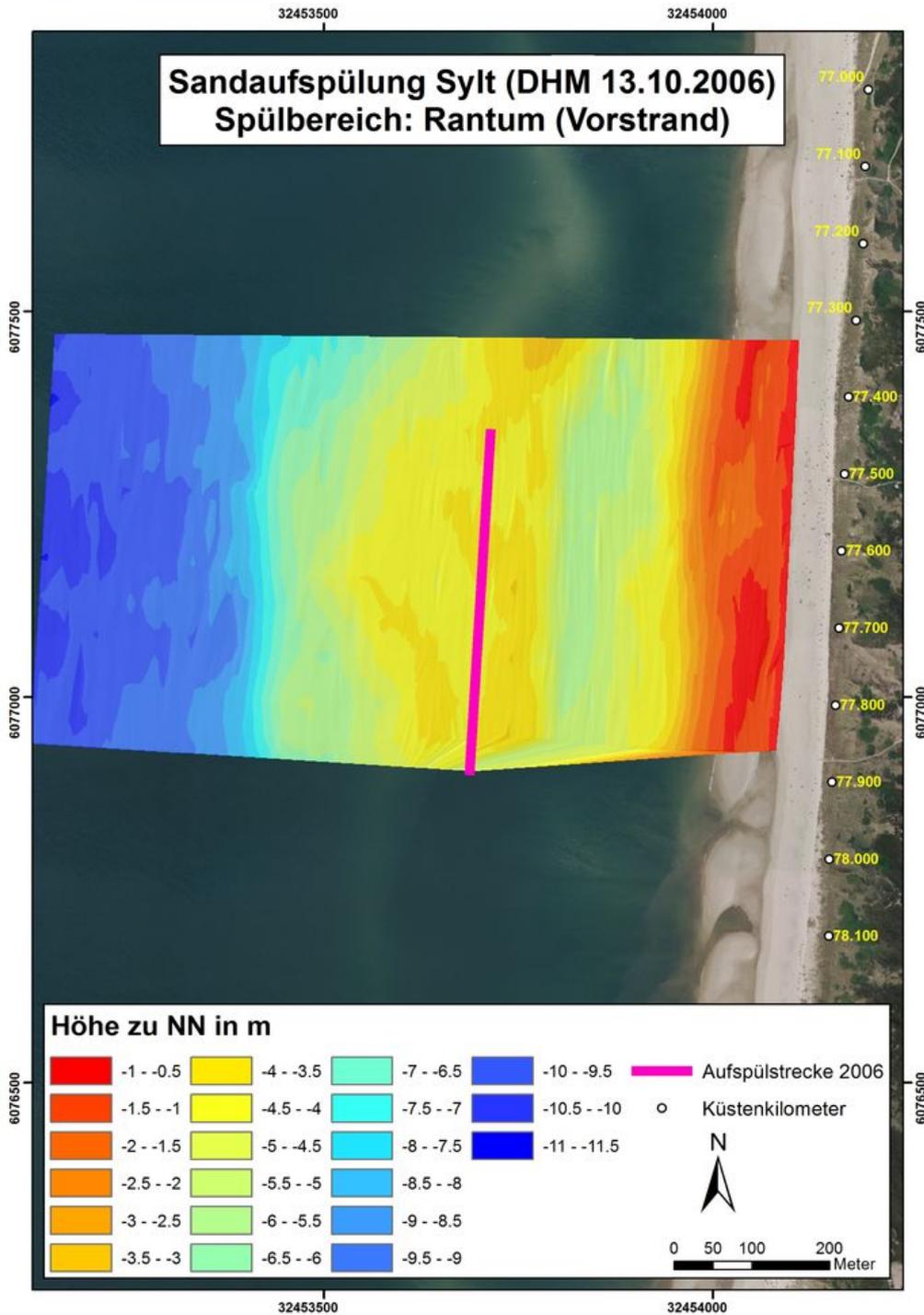


Abbildung 8: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Rantum (1. Nachvermessung 2006)

Die Höhenbereiche NN-3,5 m bis NN-4,5 m haben sich zum Zeitpunkt der 1. Nachvermessung 2006 durch die zusätzlich eingebrachten Sandmengen um rund 200 Meter seawärts ausgeweitet. Im nördlichen Teil ist eine Rifföffnung aus gebildet.

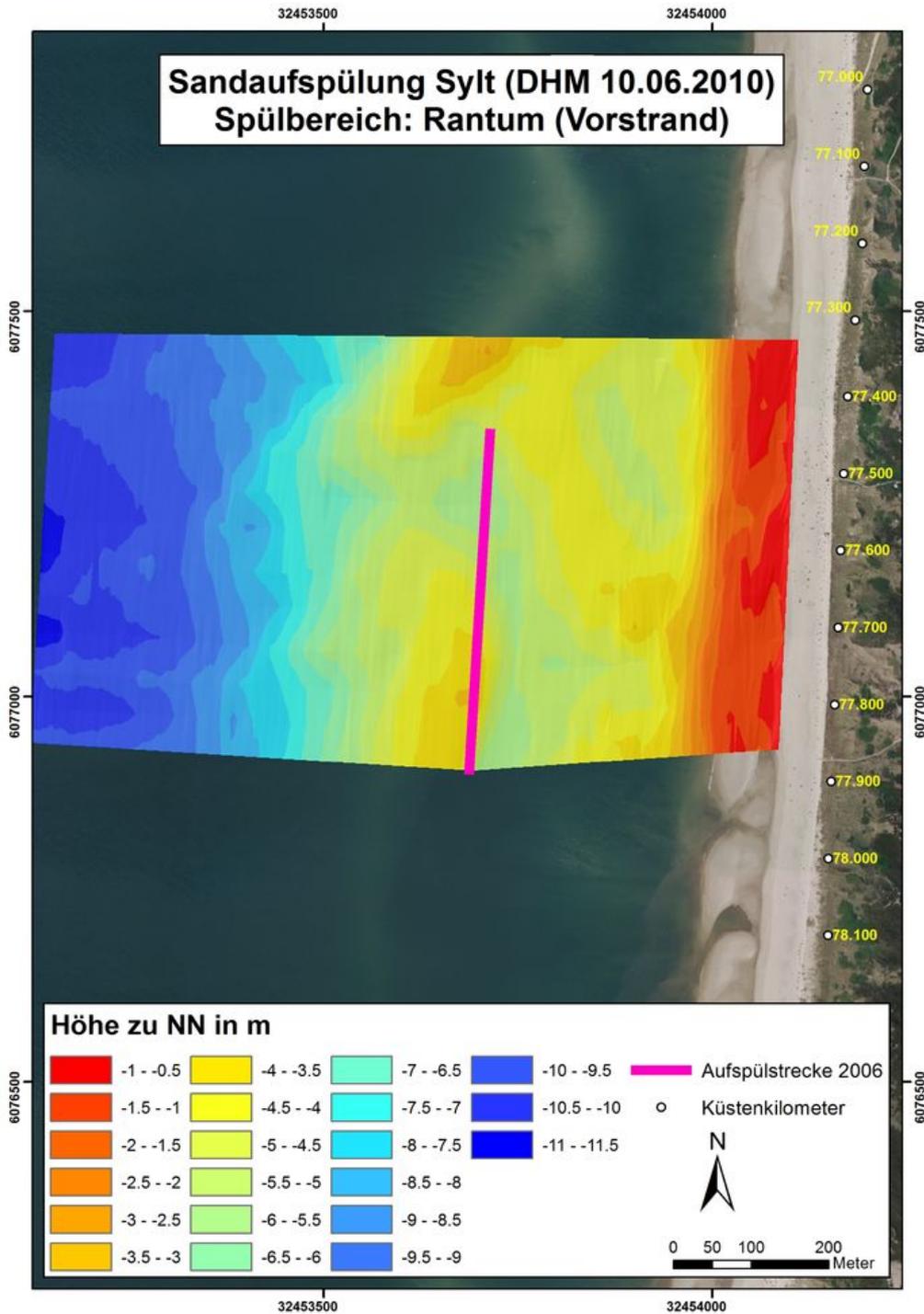


Abbildung 9: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Rantum (Gesamtvermessung 2010)

Der Zustand zum Zeitpunkt der Gesamtvermessung 2006 zeigt die Verlagerung der Rinne in westlicher Richtung und die Verlagerung des aufgespülten Sandes landwärts des Riffes.

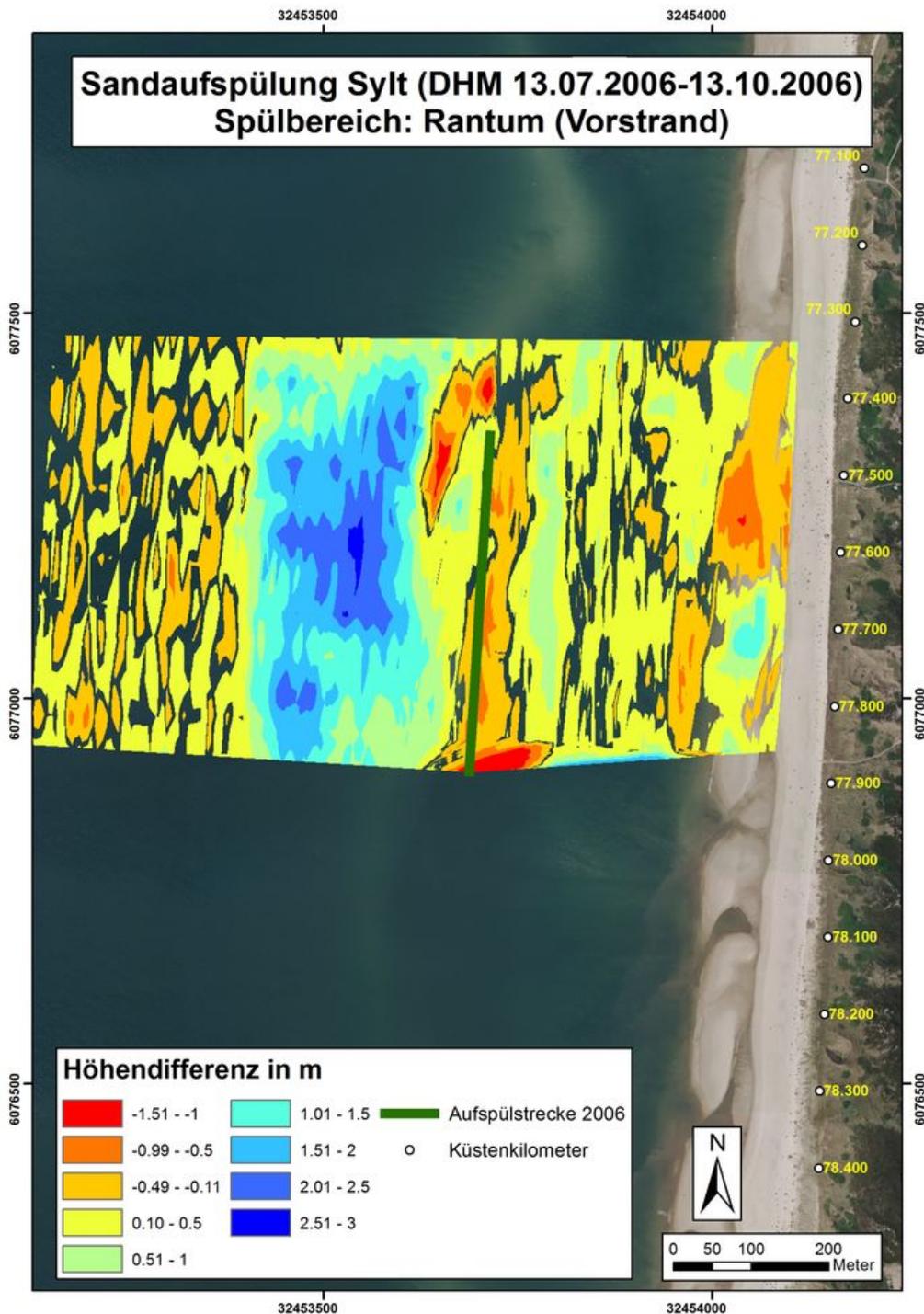


Abbildung 10: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Rantum (Vorvermessung / 1. Nachvermessung 2006)

Die Erstellung des Differenzrasters (Vorvermessung 2006 / 1. Nachvermessung 2006) weist im Bereich des Spülkörpers Rantum eine Höhendifferenz von bis zu 3 Meter auf, das auf die zusätzlich eingebrachten Sandmengen zurückzuführen ist.

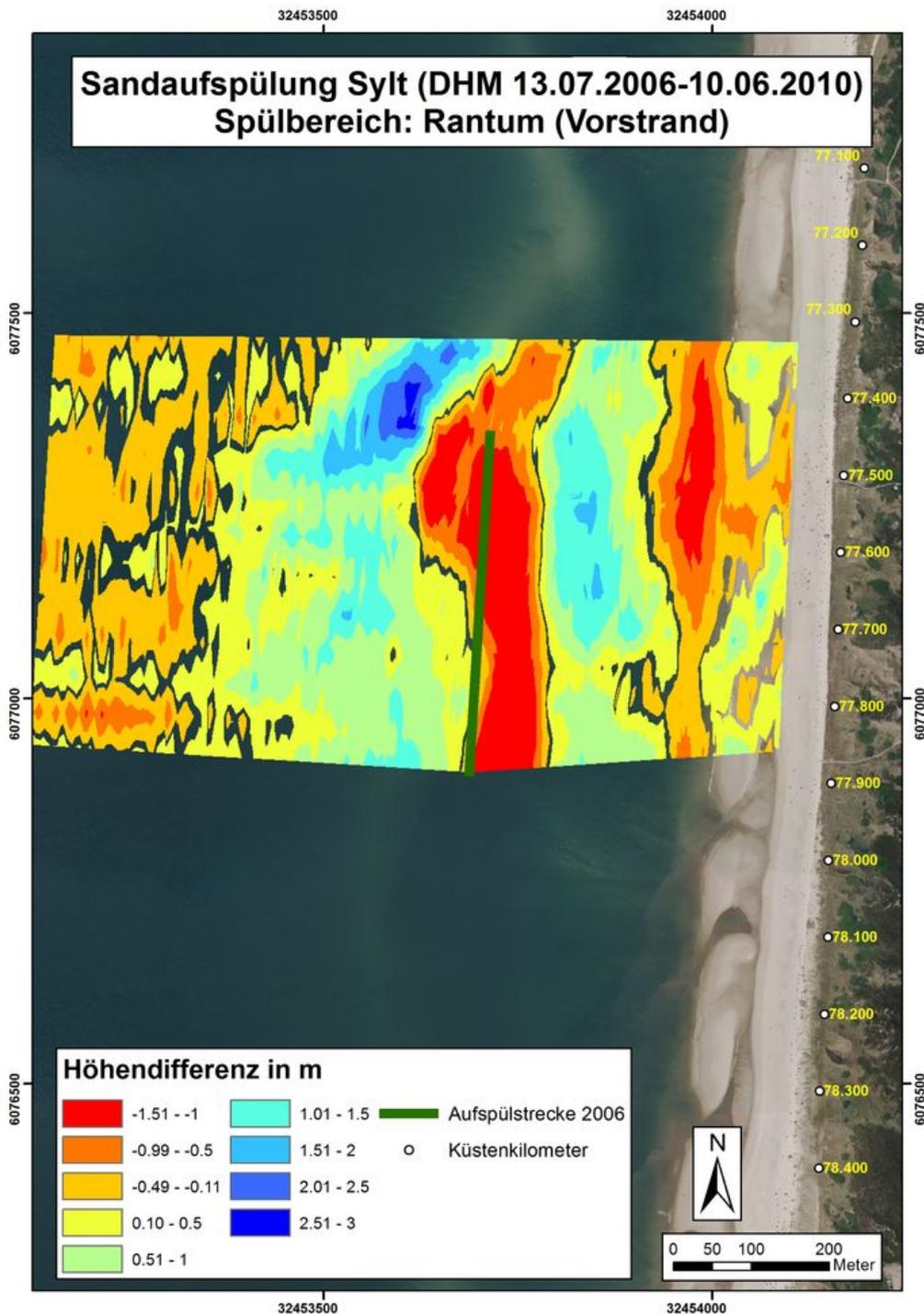


Abbildung 11: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Rantum (Vorvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Höhendifferenz zwischen der Vorvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 zeigt seawärts des Riffs unregelmäßige Höhenunterschiede von 2,5 m bis -1,5 m im Spülbereich Rantum auf. Im Vergleich zu den Höhendifferenzen zwischen der Vorvermessung 2006 und der 1. Nachvermessung 2006 deutet sich landwärts des Riffes die Vergrößerung der vorhandenen Rinne an.

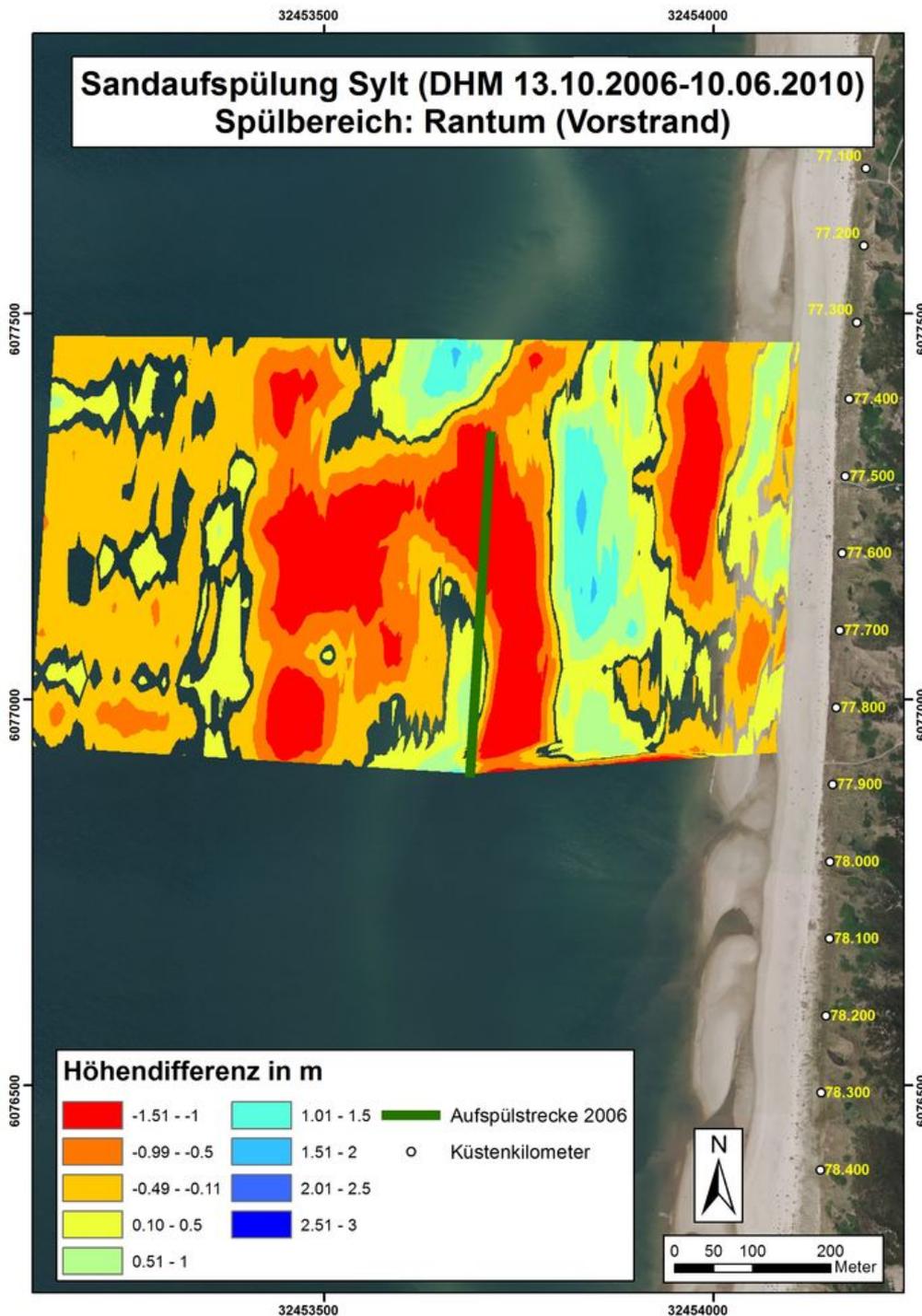


Abbildung 12: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Rantum (Nachvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Differenz zwischen der 1. Nachvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 weist eine Höhendifferenz von bis zu -1,5 m im Spülgebiet Rantum auf, das auf eine großflächige Abtragung des eingebrachten Sandes hindeutet.

3 Puan Klent 2006

3.1 Maßnahme

Tabelle 3: Tabellenblatt Vorstrandaufspülung Puan Klent

Puan Klent 2006	
Station (von)	60+086
Station (bis)	59+084
Aufspülstrecke	1,001 km
Aufspülmenge	0,391 Mio. m ³
Menge	391 m ³ /m
mittlerer Korndurchmesser	
Kosten	1,367 Mio. EUR
Sandentnahmegebiet	Westerland II
Aufspülbeginn	25.07.2006
Aufspülende	28.09.2006
Auftragnehmer	Rohde Nielsen A/S, Dänemark
Geräte	Hopperbagger: "Modi R" (3.493 kW); "Sif R" (3.052 kW)
Transportentfernung	
Spülentfernung	
Bemerkung	Vorstrandaufspülung/Verklappung

Sandaufspülung Sylt Spülbereich: Puan Klent-Mitte (Vorstrand)

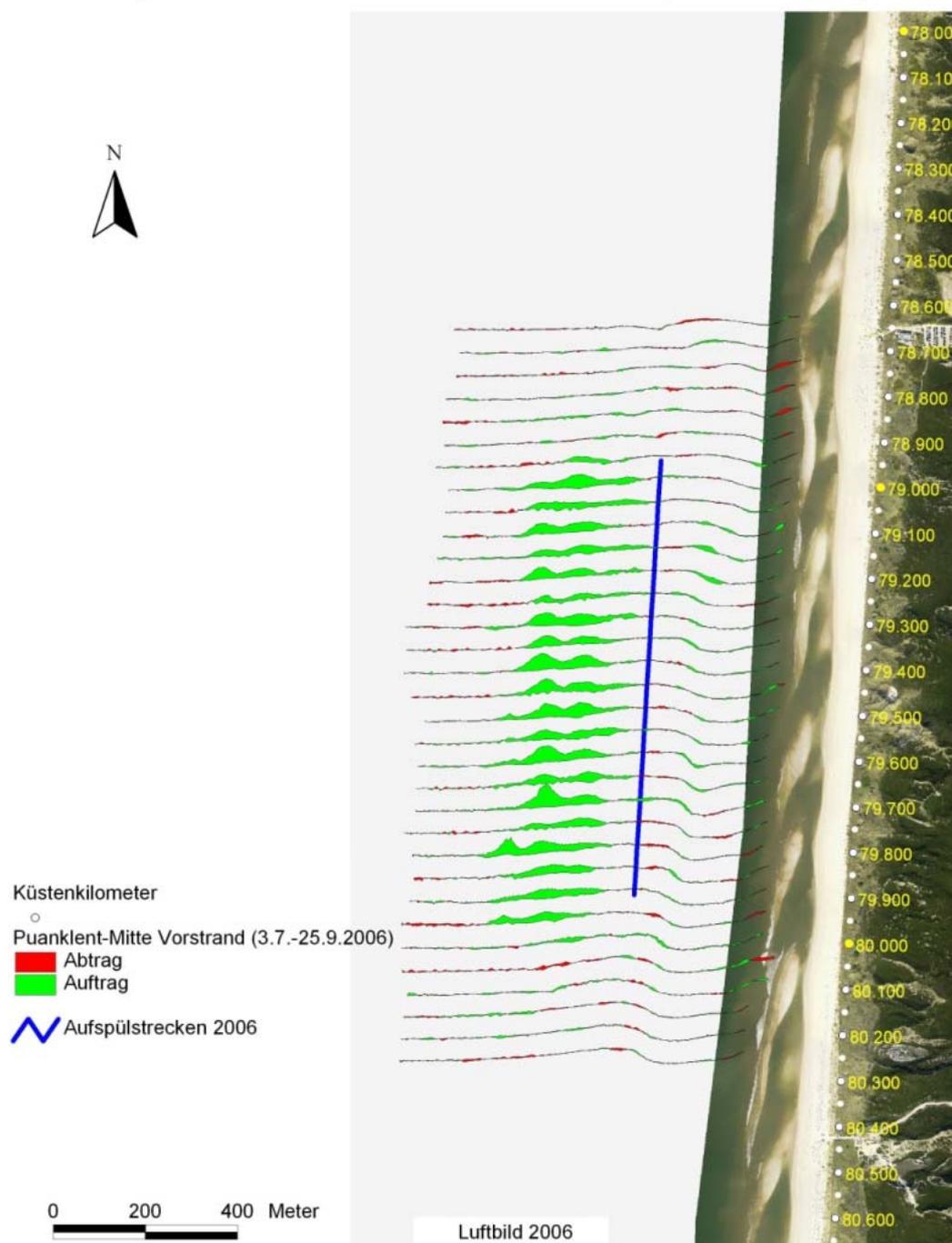


Abbildung 13: Querprofilvergleiche Puan Klent (Vorstrand) 3.7.-25.9.2006

Auf der mittleren rd. 1.000 Meter langen Aufspülstrecke vor Puan Klent wurden 391.000 m³ seeseitig des Riffes aufgetragen (391 m³/m). Die vermessungstechnisch erfasste Aufspülmenge (NN-1 m / NN-10 m) lag bei 380.000 m³. Im Jahre 2010 konnten in dieser Höhenschicht noch rd. 252.000 m³ vermessungstechnisch erfasst werden. Dieses entspricht einem Anteil von 66 Prozent.

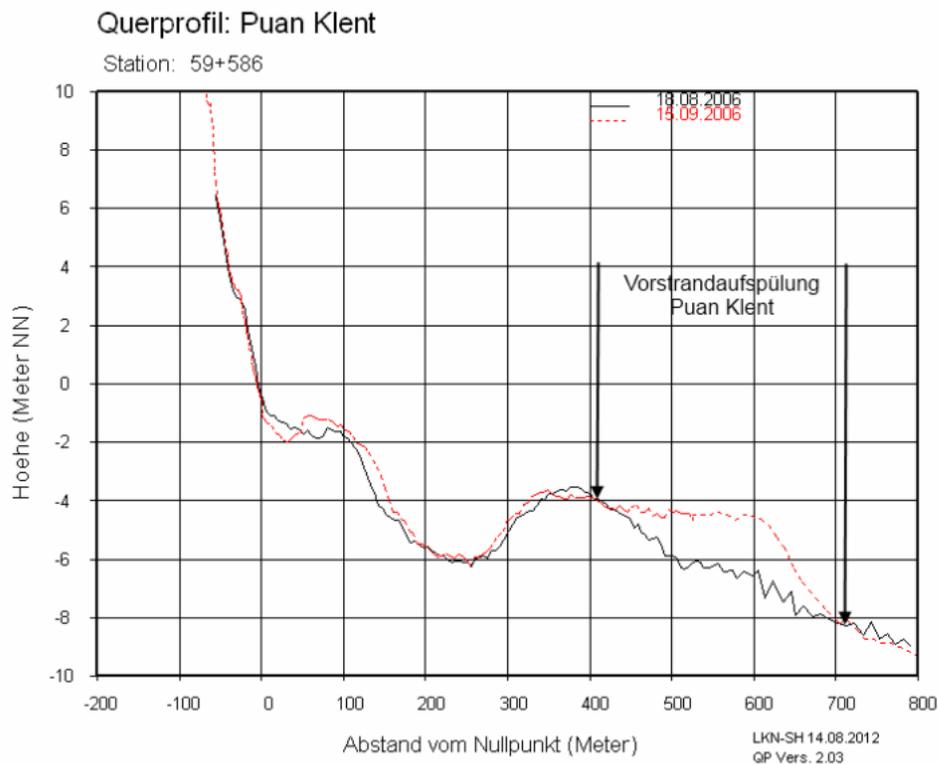


Abbildung 14: Profildarstellung Puan Klent (Station 59+586)

Die Einbauhöhe lag zwischen der NN-4 m und NN-8,50 m - Höhenschicht. Die Breite des Spülkörpers betrug ca. 300 Meter.

3.2 Morphologische Entwicklung

Folgende Messungen sind im Spülabschnitt Mitte (Puan Klent) durchgeführt worden.

Tabelle 4: Übersicht Messungen im Bereich Vorstrandaufspülung Puan Klent 2006

Messtag	Strand	Vorstrand	Bemerkung
13.07.2006		X	Vorvermessung
20.07.2006	X		Vorvermessung
13.09.2006		X	1. Zwischenvermessung
15.09.2006	X		Laserscan
29.09.2006		X	2. Zwischenvermessung
25.01.2007	X		Laserscan
13.10.2006		X	1. Nachvermessung
29.03.2007		X	2. Nachvermessung
25.04.2007	X		Laserscan
01.10.2007	X		Laserscan
23.10.2007		X	3. Nachvermessung
07.04.2008	X		Laserscan

Messtag	Strand	Vorstrand	Bemerkung
15.04.2008		X	4. Nachvermessung
17.11.2008	X		Laserscan
26.09.2009	X		Laserscan
19.01.2010		X	5. Nachvermessung
16.06.2010		X	Gesamtvermessung Sylt
29.09.2010	X		Laserscan
16.09.2011	X		Laserscan

Die morphologische Entwicklung im Bereich der Vorstrandaufspülung Puan Klent 2006 wird anhand der Volumendifferenzen zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten und innerhalb unterschiedlicher Höhenschichten dargestellt.

Im Spülabschnitt **Puan Klent** wurden im Höhenbereich NN-4 m / NN-10 m rd. 360.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Die Spülmenge betrug 391.000 m³. Ein Teil der Aufspülmengen hat sich zwischen der Vor- und Nachvermessung in andere Höhenbereiche umgelagert. Insgesamt sind in allen Höhenschichten (NN+5 m / NN-10 m) rd. 390.000 m³ vermessungstechnisch erfasst worden. Davon sind im Jahre 2010 noch rd. 270.000 m³ vorhanden (69 %).

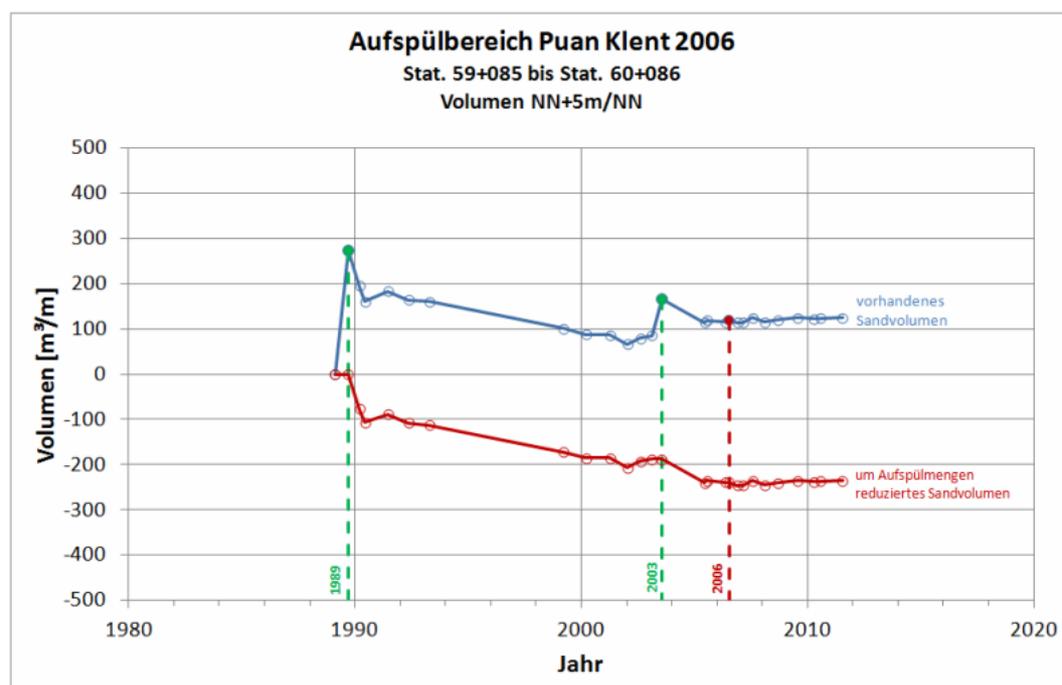


Abbildung 15: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (Aufspülbereich Puan Klent)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im Aufspülabchnitt Puan Klent zeigt den natürlich vorhandenen Volumenrückgang auf, der lediglich durch die Sandaufspülungen 1989 und 2003 zwischenzeitlich gestoppt worden ist. Mit Hilfe der Methode "Reduzierung um Aufspülmengen" ist der Küstenrückgang zu erkennen. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Vorstrandaufspülungen im Jahre 2006 hat sich der Strandzustand deutlich stabilisiert.

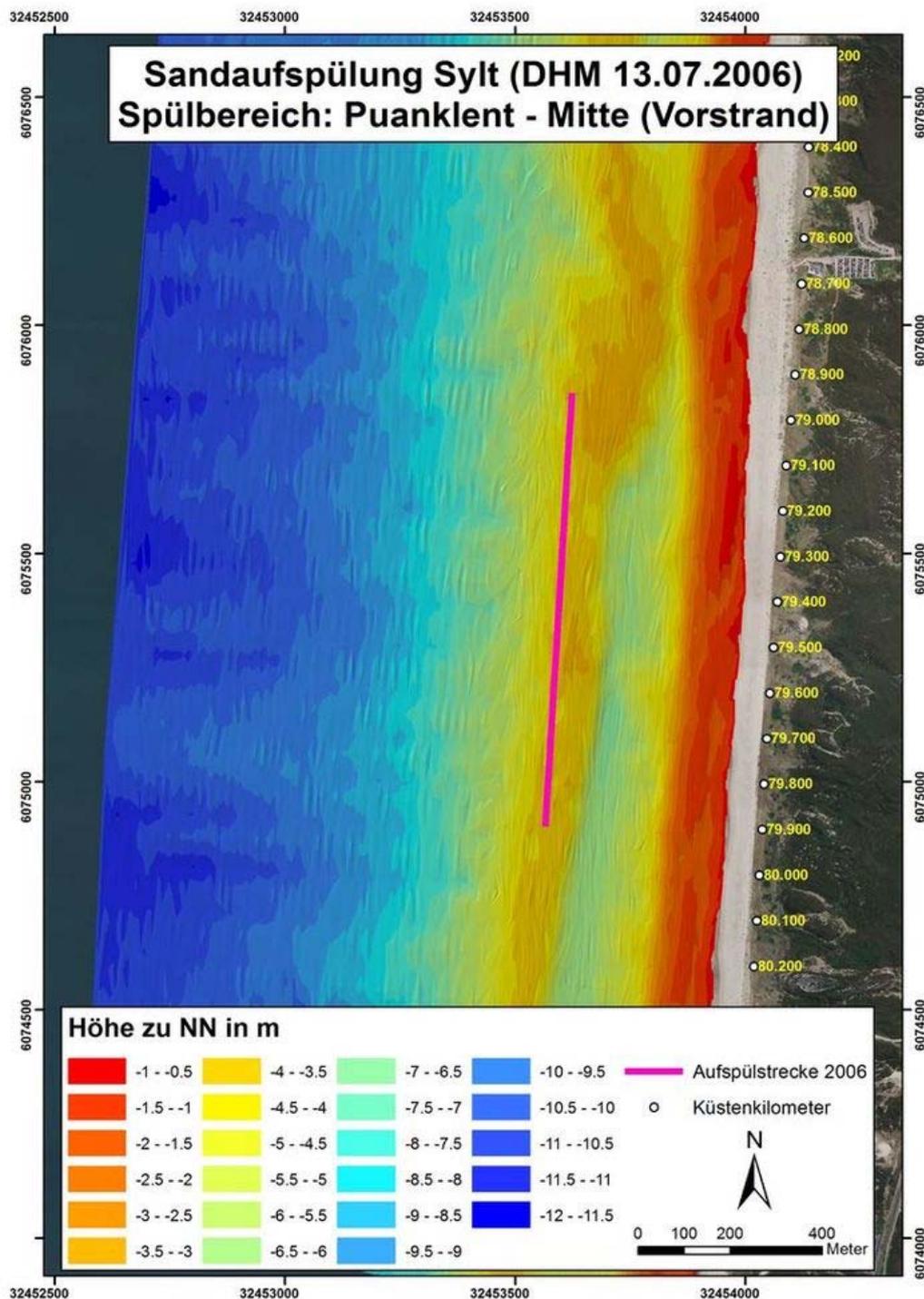


Abbildung 16: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufpülung Puan Klent (Vorvermessung 2006)

Der Zustand zum Zeitpunkt der Vorvermessung 2006 im Spülbereich Puan Klent zeigt, dass sich das Riff in einem Höhenbereich von NN-3,5 m bis NN-4,5m und über eine Breite von ca. 200 Meter erstreckt. Landwärts befindet sich eine Rinne mit Tiefen von NN-6,5 m bis NN-7,5 m.

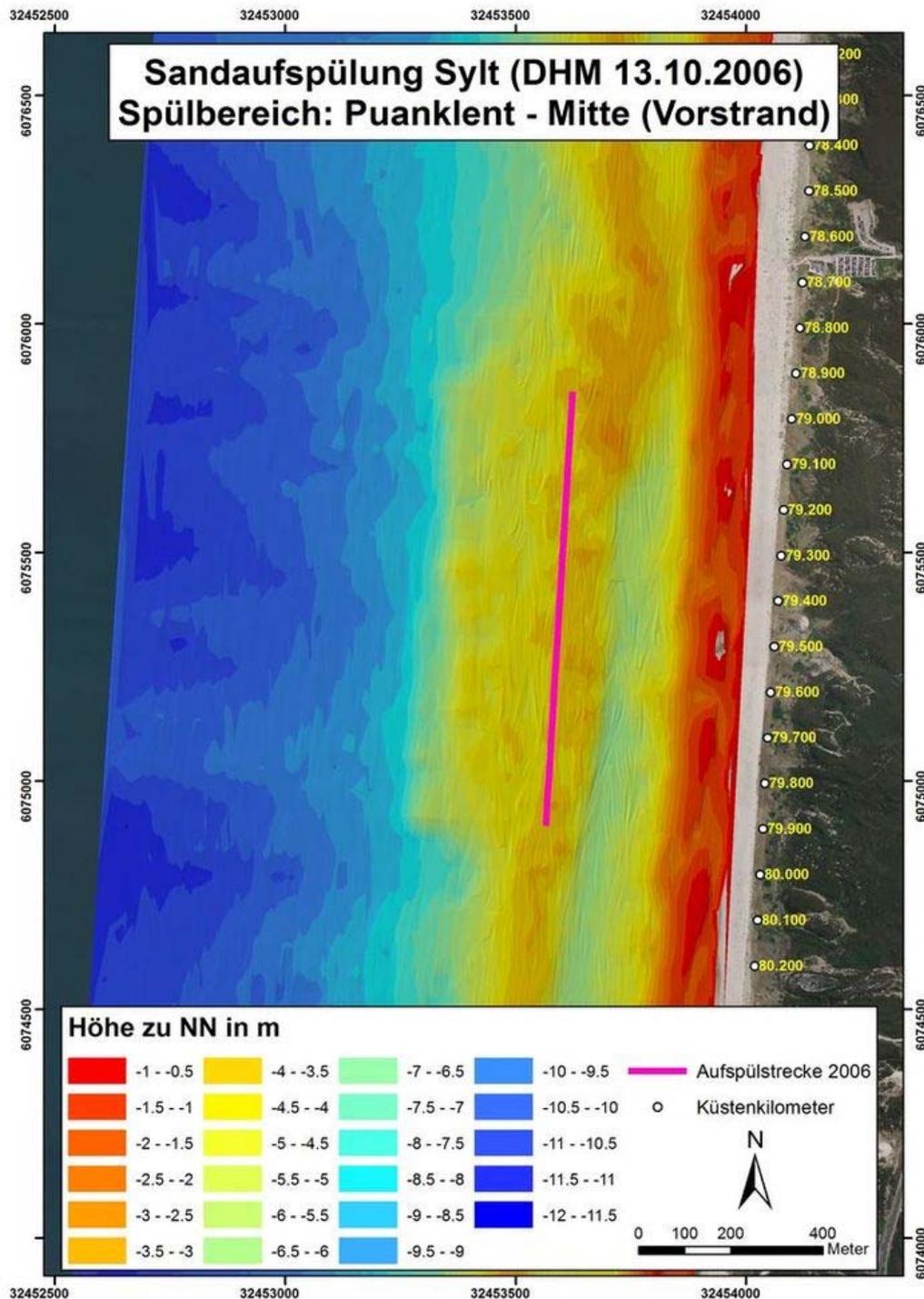


Abbildung 17: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Puan Klent (1. Nachvermessung 2006)

Aufgrund der Vorstrandaufspülung 2006 zeigt sich zum Zeitpunkt der 1. Nachvermessung 2006 im Aufspülbereich Puan Klent eine Erweiterung der Höhenschichten NN-3,5 m bis NN-4,5 m in seeseitiger Richtung von etwa 150 Meter, wo der zusätzlich eingebrachte Sandes eingebracht worden ist.

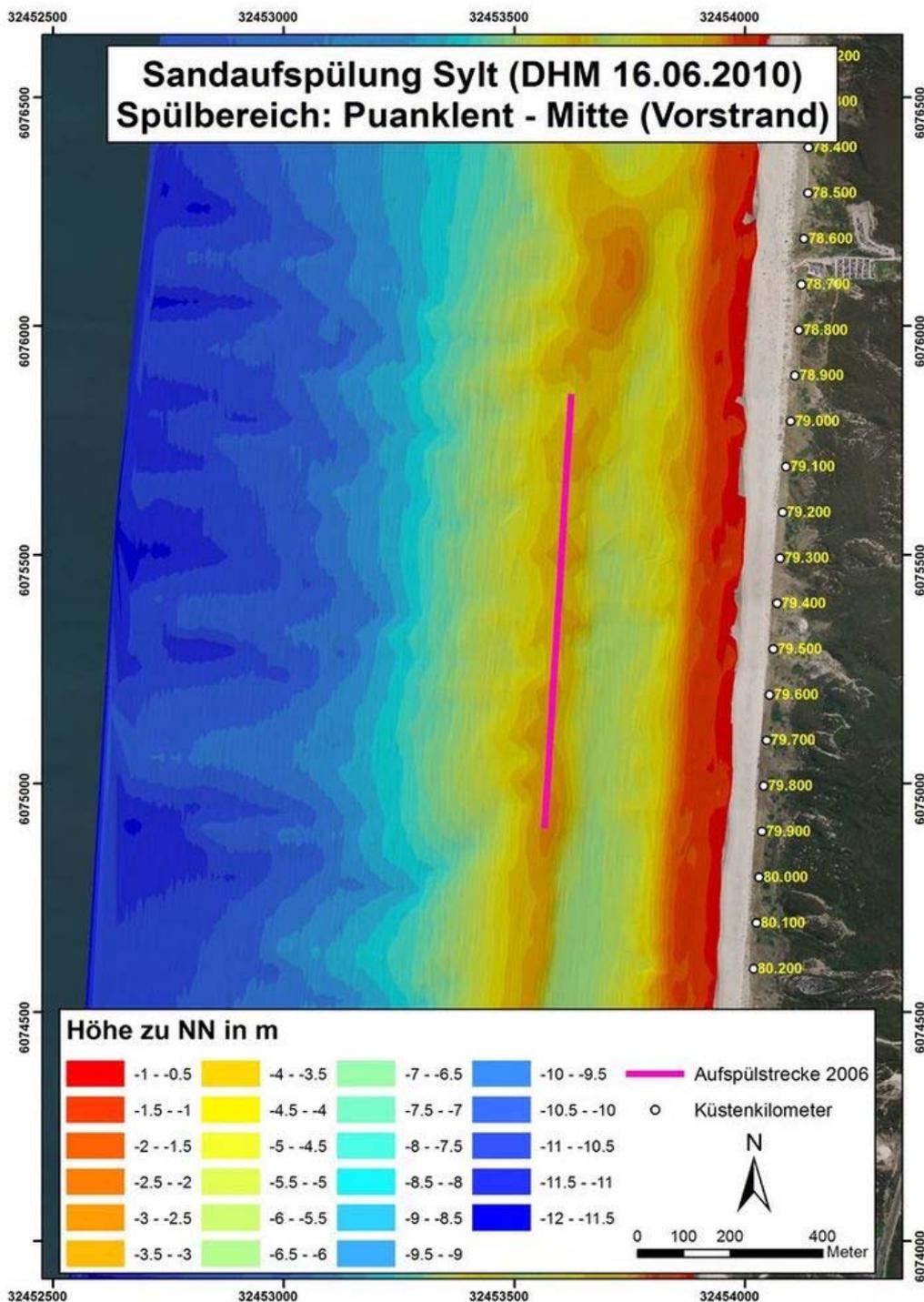


Abbildung 18: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Puan Klent (Gesamtvermessung 2010)

Mit Hilfe der Gesamtvermessung 2010 ist im westlichen Bereich des Spülbereichs Puan Klent ein Abtrag des Spülkörpers in den Höhenschichten NN-3,5 m bis NN-4,5 m feststellbar. Landwärts ist im nördlichen Bereich des Spülgeländes eine Ablagerung des Sandes zu verzeichnen. Im Vergleich zu der Vorvermessung 2006 ist eine Erhöhung des Riffrückens entlang der Spülstrecke von durchschnittlich ca. 1 Meter erkennbar.

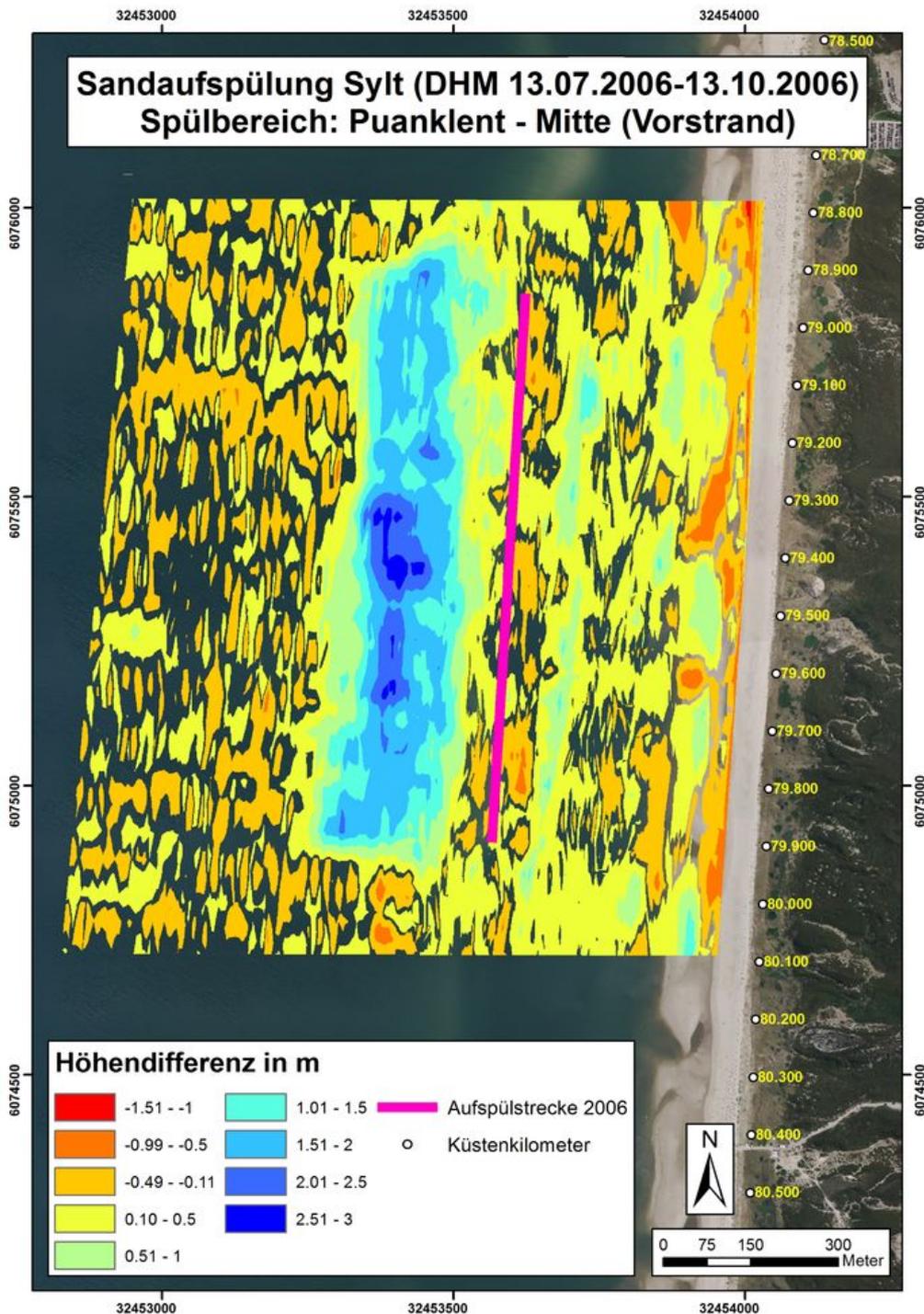


Abbildung 19: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Puan Kent (Vorvermessung / 1. Nachvermessung 2006)

Die Erstellung des Differenzrasters zwischen der Vorvermessung 2006 und der 1. Nachvermessung 2006 weist im Bereich des Spülkörpers Puan Kent eine Höhendifferenz von bis zu 3 Meter auf.

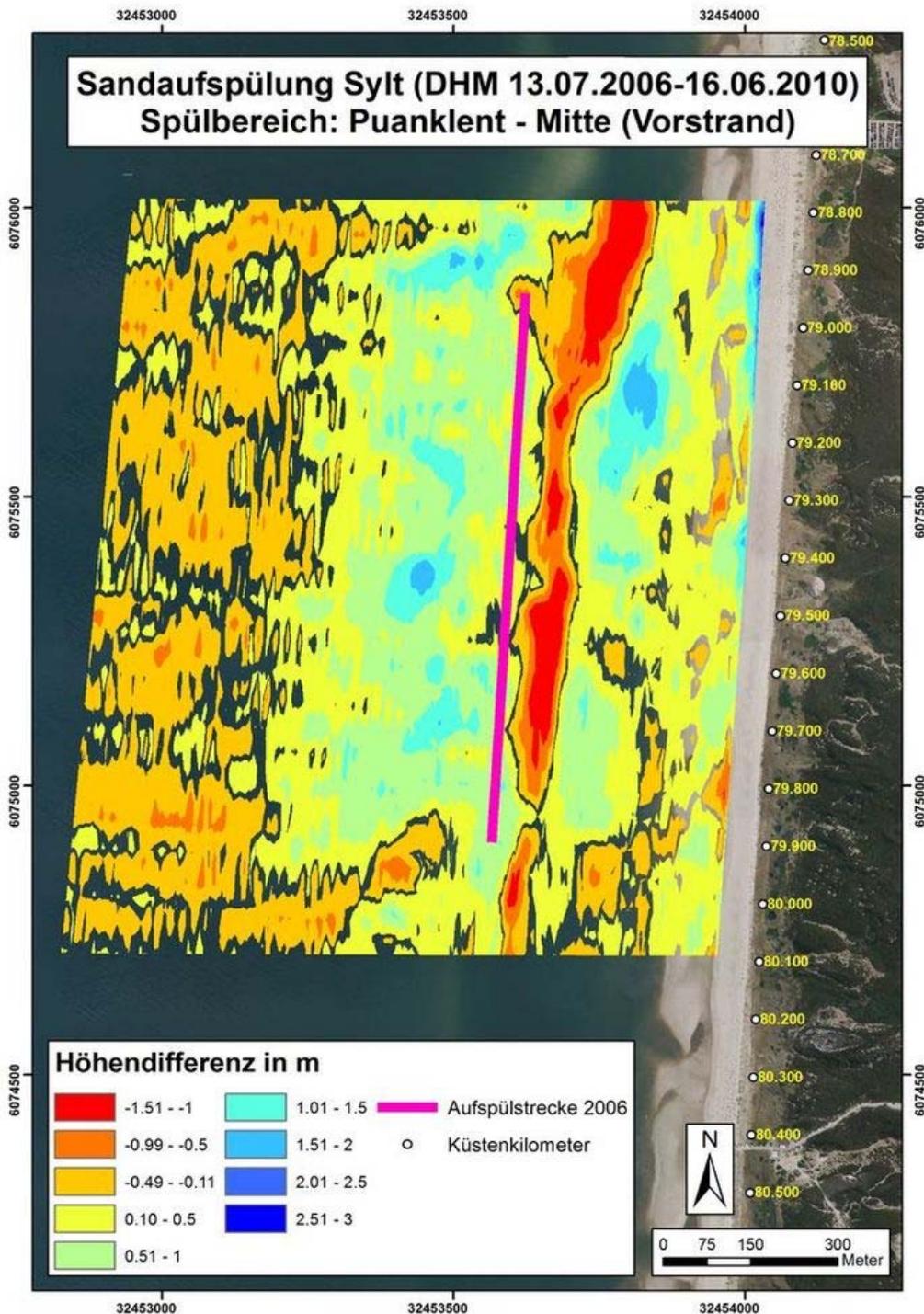


Abbildung 20: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Puan Klent (Vorvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Differenz zwischen der Vorvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 zeigt seawärts des Riffes eine durchschnittliche Höhendifferenz von 1 Meter bis 1,5 m im Spülbereich Puan Klent auf. Die Rinne hat sich vertieft.

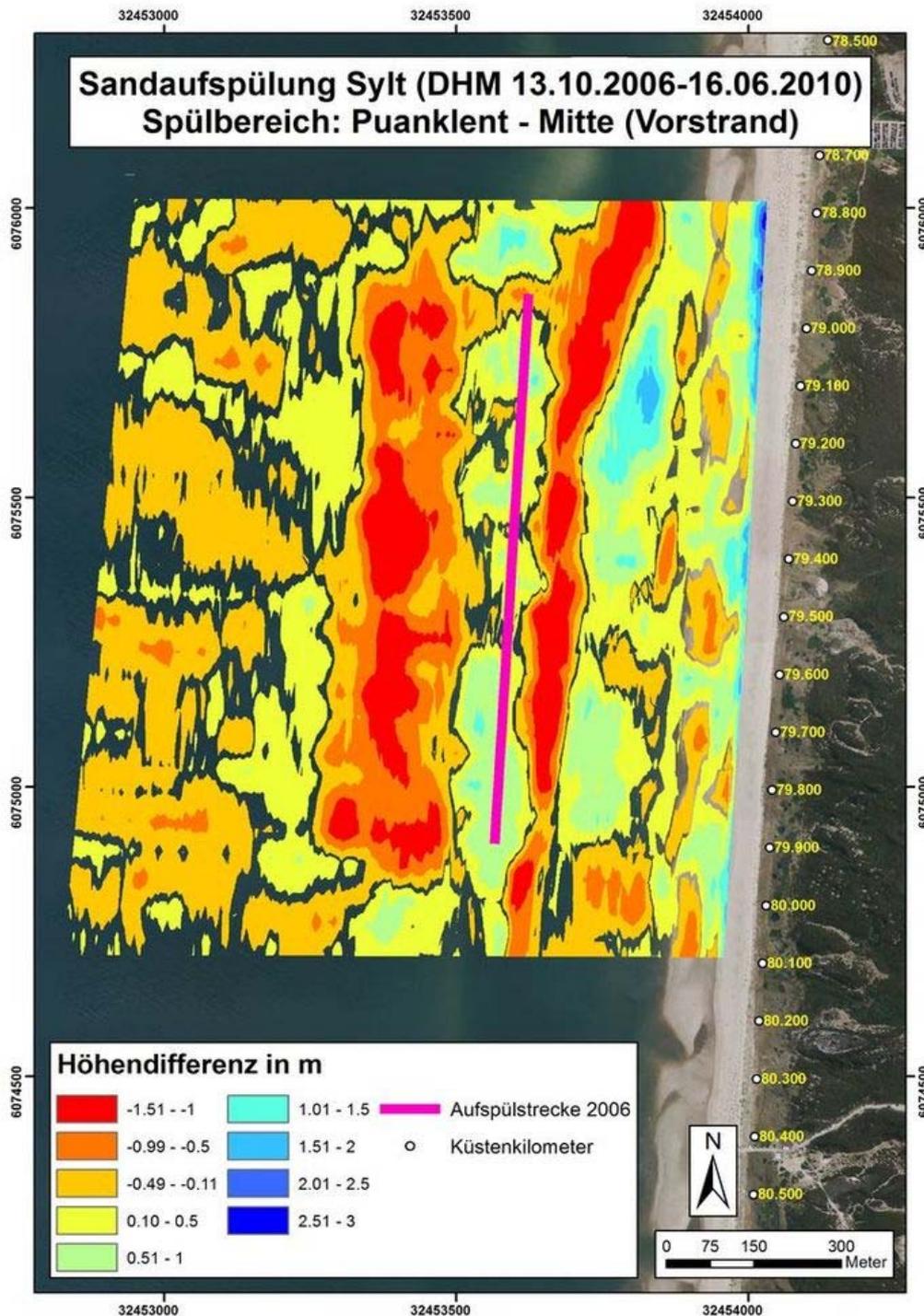


Abbildung 21: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Puan Klent (Nachvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Differenz zwischen der 1. Nachvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 weist eine Höhendifferenz von bis zu -1,5 m im Spülgebiet Puan Klent auf, wodurch die Abtragung des eingebrachten Sandes deutlich wird. Zusätzlich sind auch in der Rinne Erosionen aufgetreten.

4 Sansibar 2006

4.1 Maßnahme

Tabelle 5: Tabellenblatt Vorstrandaufspülung Sansibar 2006

Sansibar 2006	
Station (von)	62+336
Station (bis)	61+436
Aufspülstrecke	0,900 km
Aufspülmenge	0,135 Mio. m ³
Menge	150 m ³ /m
mittlerer Korndurchmesser	
Kosten	0,471 Mio. EUR
Sandentnahmegebiet	Westerland II
Aufspülbeginn	10.09.2006
Aufspülende	02.10.2006
Auftragnehmer	Rohde Nielsen A/S, Dänemark
Geräte	Hopperbagger: "Modi R" (3.493 kW); "Sif R" (3.052 kW)
Transportentfernung	
Spülentfernung	
Bemerkung	Vorstrandaufspülung/Verklappung

Sandaufspülung Sylt Spülbereich: Puanklent-Süd (Vorstrand)

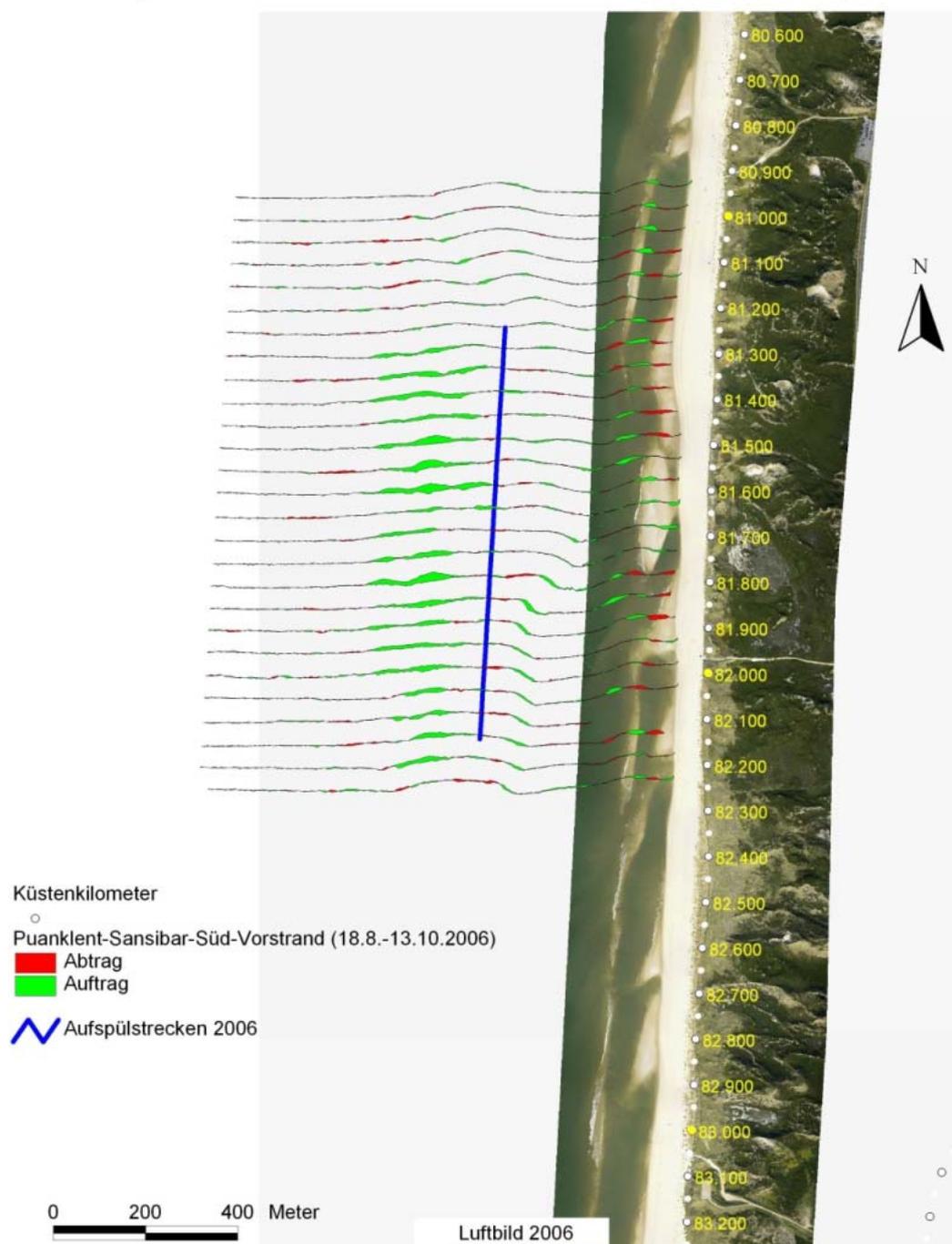


Abbildung 22: Querprofilvergleiche Sansibar (Vorstrand) 18.8.-13.10.2006

Auf der südlichen rd. 900 Meter langen Aufspülstrecke im Bereich von Sansibar wurden 135.000 m^3 seeseitig des Riffes aufgetragen ($150 \text{ m}^3/\text{m}$). Die vermessungstechnisch erfasste Aufspülmenge (NN-1 m / NN-10 m) lag bei 150.000 m^3 . Im Jahre 2010 konnten in dieser Höhenschicht noch rd. 90.000 m^3 vermessungstechnisch erfasst werden. Dieses entspricht einem Anteil von 60 Prozent.

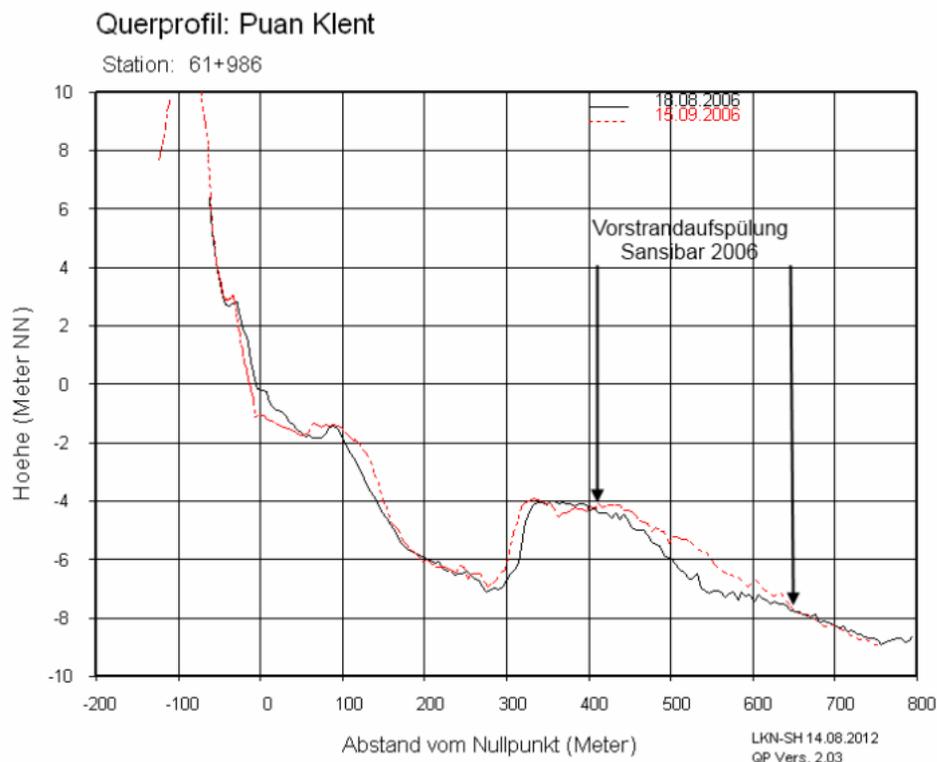


Abbildung 23: Profildarstellung Puan Klent (Station 61+986), Aufspülbereich Sansibar

Die Einbauhöhe lag zwischen der NN-4 m und NN-8,50 m - Höhenschicht. Die Breite des Spülkörpers betrug ca. 300 Meter.

4.2 Morphologische Entwicklung

Folgende Messungen sind im Spülabschnitt Süd (Sansibar) durchgeführt worden.

Tabelle 6: Übersicht Messungen im Bereich Vorstrandaufspülung Sansibar 2006

Messtag	Strand	Vorstrand	Bemerkung
18.08.2006		X	Vorvermessung
21.08.2006	X		Vorvermessung
13.09.2006		X	1. Zwischenvermessung
14.09.2006		X	Zusatzvermessung GKSS (3 Profile)
15.09.2006	X		Laserscan
25.09.2006		X	2. Zwischenvermessung (Teilbereich)
13.10.2006		X	1. Nachvermessung
25.01.2007	X		Laserscan
29.03.2007		X	2. Nachvermessung
25.04.2007	X		Laserscan
01.10.2007	X		Laserscan
23.10.2007		X	3. Nachvermessung

Messtag	Sstrand	Vorstrand	Bemerkung
07.04.2008	X		Laserscan
15.04.2008		X	4. Nachvermessung
17.11.2008	X		Laserscan
26.09.2009	X		Laserscan
19.01.2010		X	5. Nachvermessung
16.06.2010		X	Gesamtvermessung Sylt
29.09.2010	X		Laserscan
16.09.2011	X		Laserscan

Die morphologische Entwicklung im Bereich der Vorstrandaufspülung Sansibar 2006 wird anhand der Volumendifferenzen zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten und innerhalb unterschiedlicher Höhenschichten dargestellt.

Im Spülabschnitt **Sansibar** wurden im Höhenbereich NN-4 m / NN-10 m rd. 140.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Die Spülmenge betrug 135.000 m³. Durch natürliche Auftragungen sind während der Sommermonate zusätzliche Sandmengen in das Untersuchungsgebiet gelangt. Insgesamt sind in allen Höhenschichten (NN+5 m / NN-10 m) rd. 160.000 m³ vermessungstechnisch erfasst worden. Davon sind im Jahre 2010 noch rd. 130.000 m³ vorhanden (81 %).

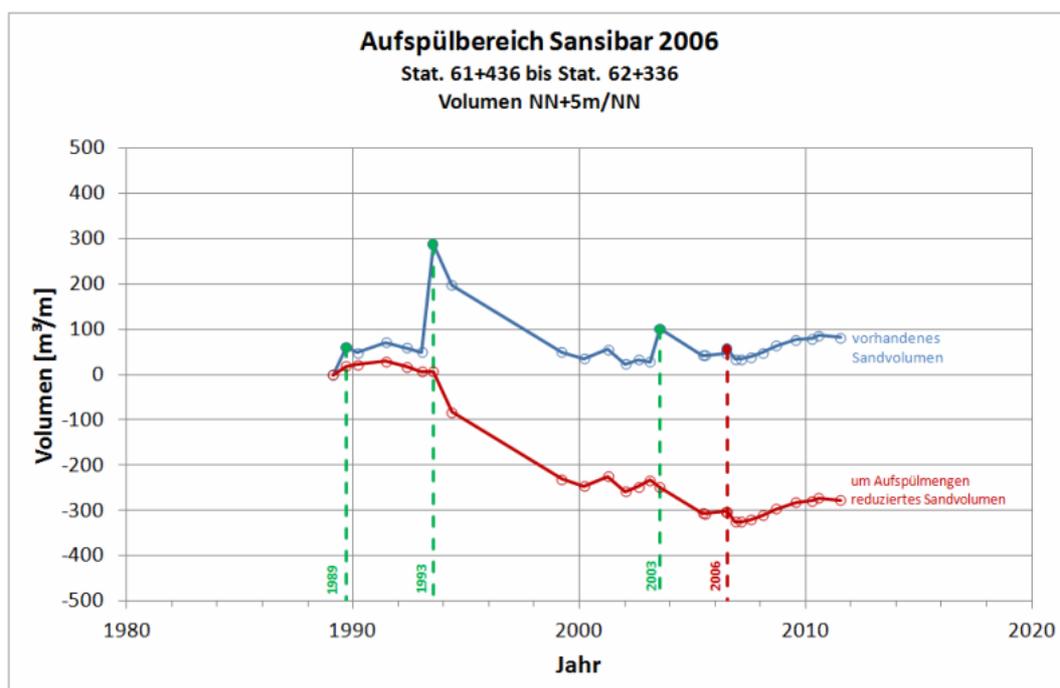


Abbildung 24: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (Aufspülbereich Sansibar)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im Aufspülabschnitt Sansibar zeigt den überwiegend natürlich vorhandenen Volumentrückgang auf, der lediglich durch die Sandaufspülungen 1989, 1993 und 2003 zwischenzeitlich gestoppt worden ist. Mit Hilfe der Methode "Reduzierung um Aufspülmengen" ist der stetige Küstenrückgang deutlich zu erkennen. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Vorstrandaufspülungen im Jahre 2006 hat sich der Strandzustand deutlich verbessert.

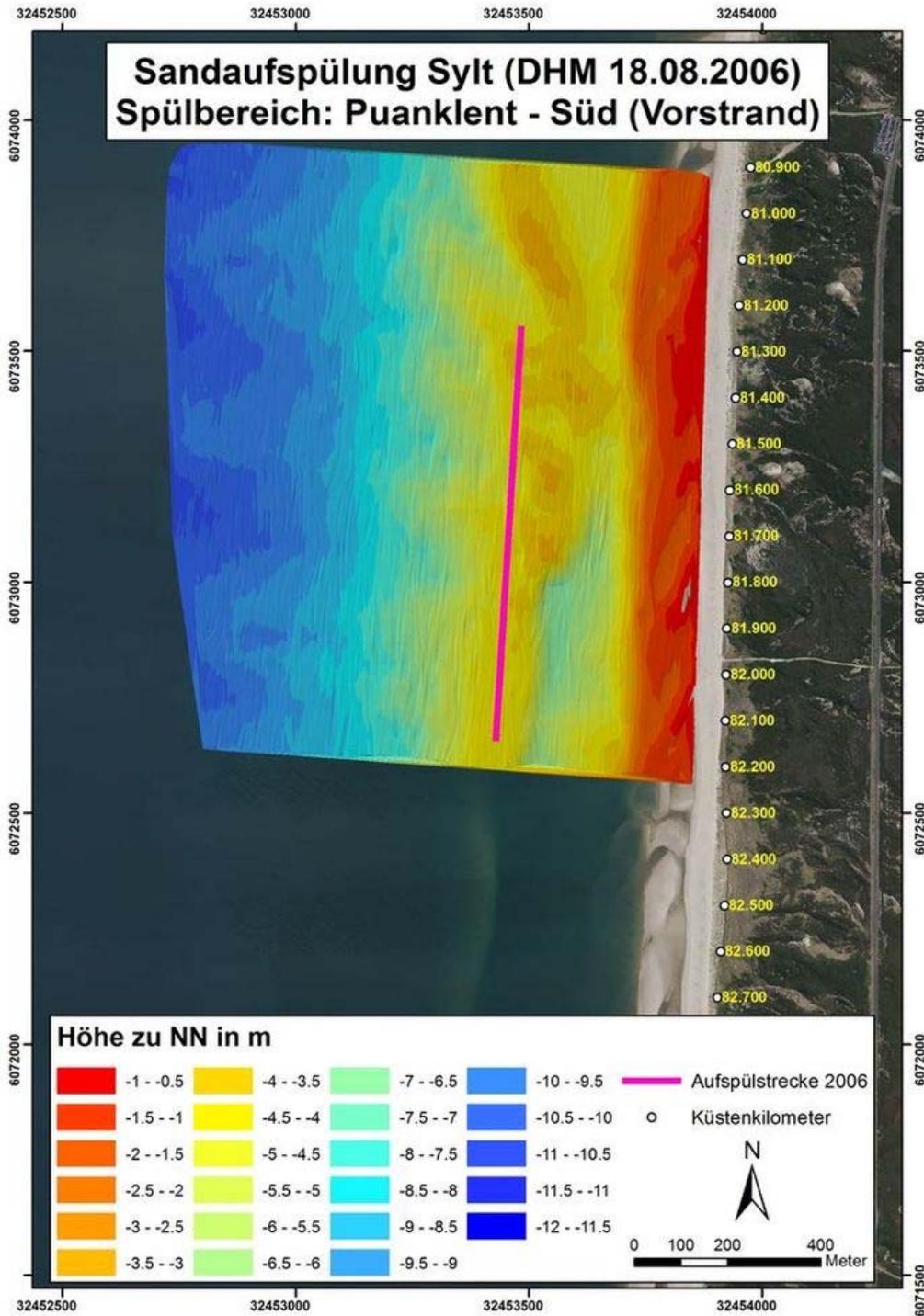


Abbildung 25: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Sansibar (Vorvermessung 2006)

Zum Zeitpunkt der Vorvermessung 2006 liegen die durchschnittlichen Höhen des Riffes im Spülbereich Sansibar in den Höhenschichten NN-3,5 m bis NN-4,5 m.

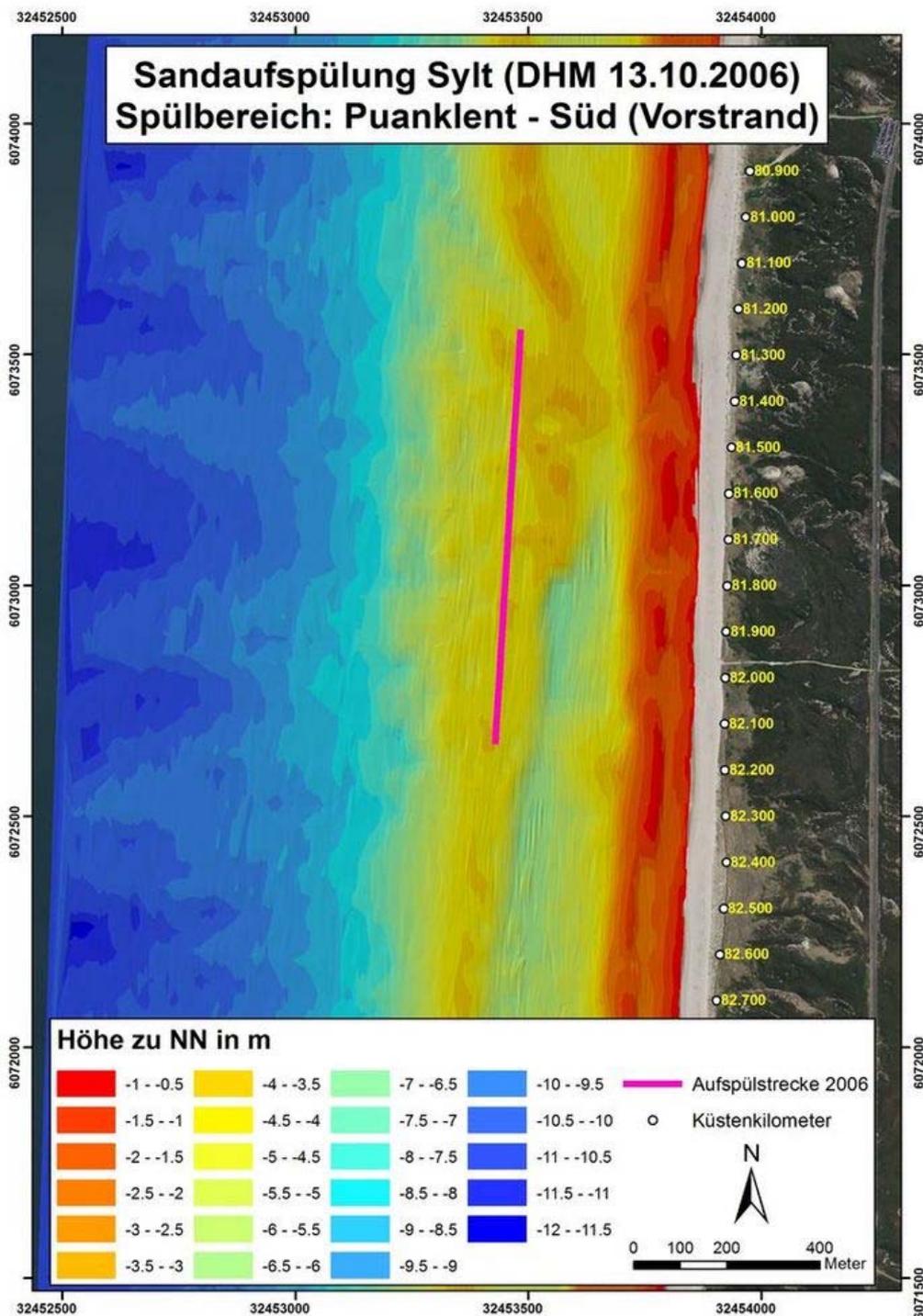


Abbildung 26: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Sansibar (1. Nachvermessung 2006)

Die Höhenbereiche NN-3,5 m bis NN-4,5 m haben sich zum Zeitpunkt der 1. Nachvermessung 2006 infolge des eingebrachten zusätzlichen Sandes im Aufspülbereich Sansibar um rd. 50 m seewärts verbreitert.

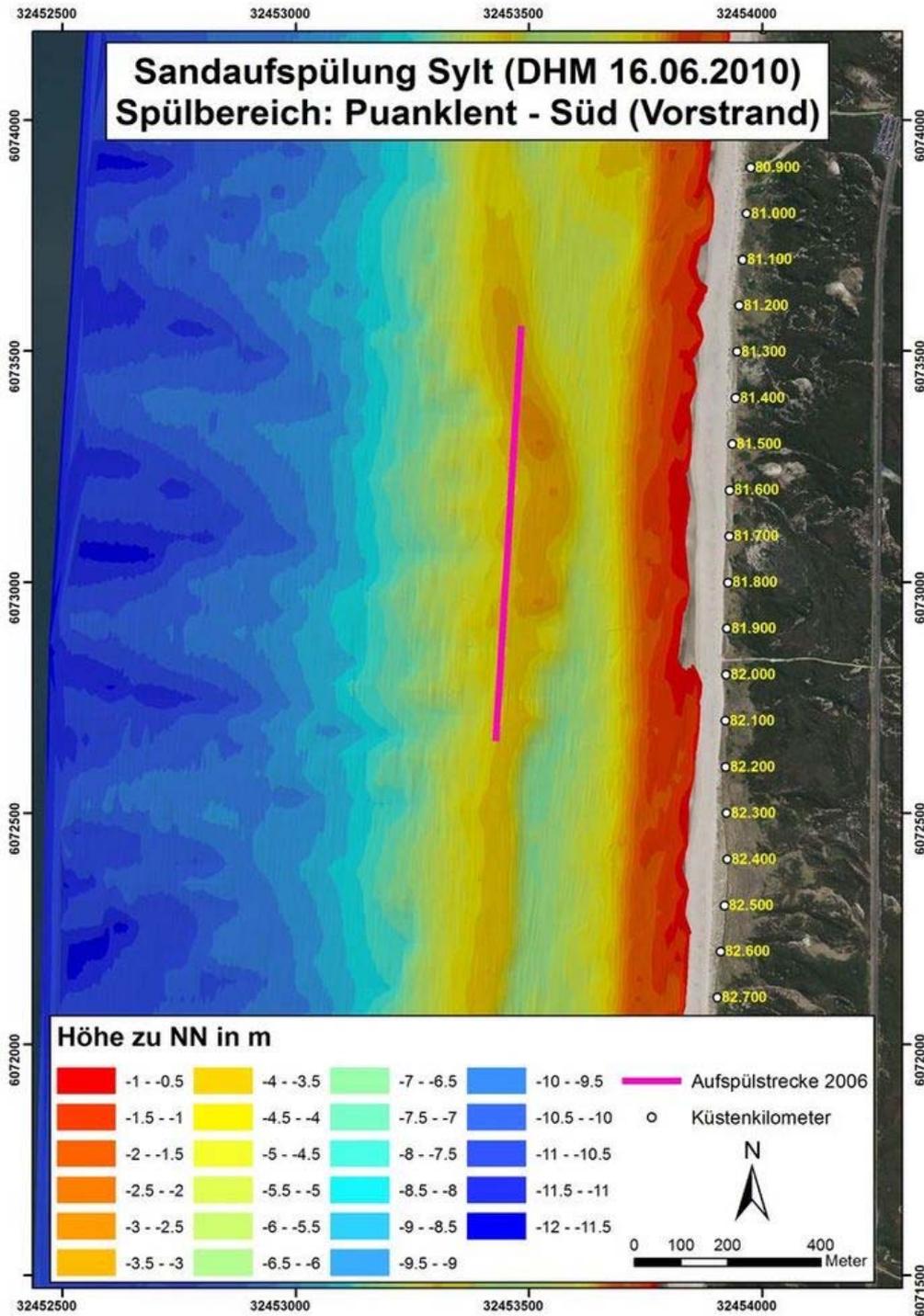


Abbildung 27: Digitales Höhenmodell Vorstrandaufspülung Sansibar (Gesamtvermessung 2010)

Der Zustand zum Zeitpunkt der Gesamtvermessung 2010 weist auf eine Erhöhung des Riffes im Bereich des Spülgebietes Sansibar hin.

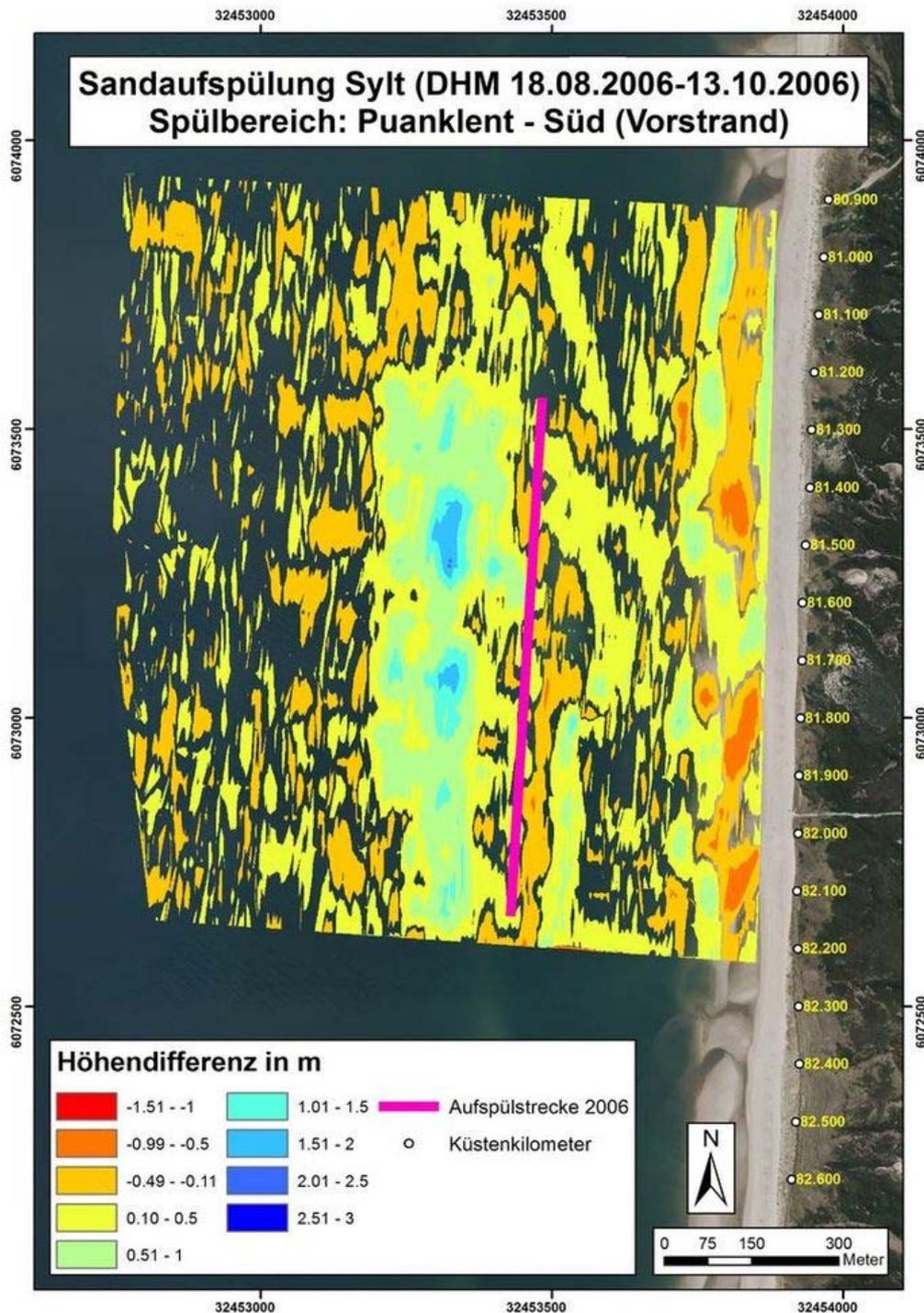


Abbildung 28: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Sansibar (Vorvermessung / 1. Nachvermessung 2006)

Das Differenzraster (Vorvermessung 2006 / 1. Nachvermessung 2006) weist im Bereich des Spülkörpers Sansibar eine Höhendifferenz von bis zu 2 Meter auf.

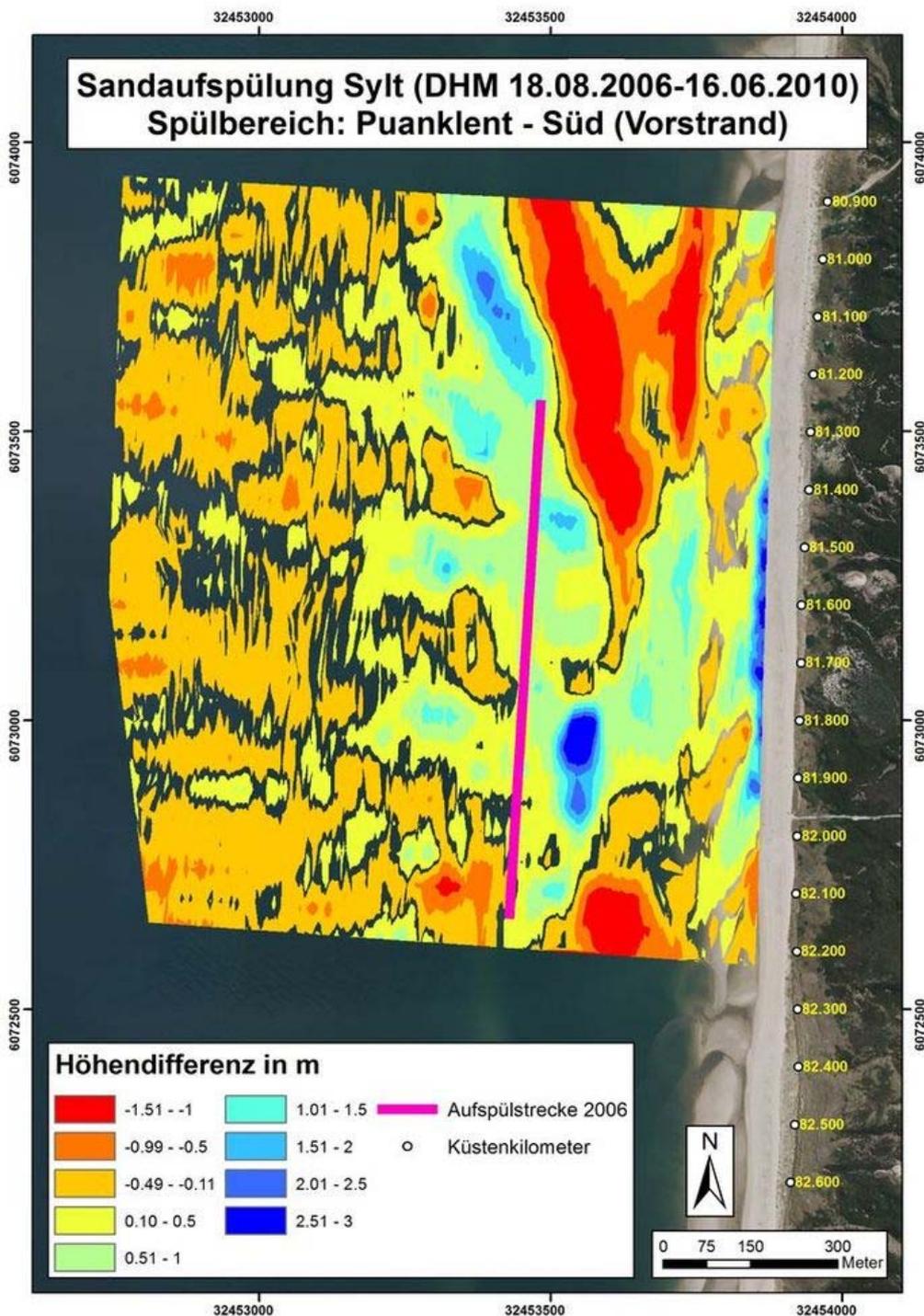


Abbildung 29: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Sansibar (Vorvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Differenz zwischen der Vorvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 zeigt seawärts des Riffs unregelmäßige Höhenunterschiede von 1 m bis 1,5 m im Spülbereich Sansibar auf. Im nördlichen und südlichen Bereich des Spülkörpers wurde landseitig des Riffkörpers Sand abgetragen.

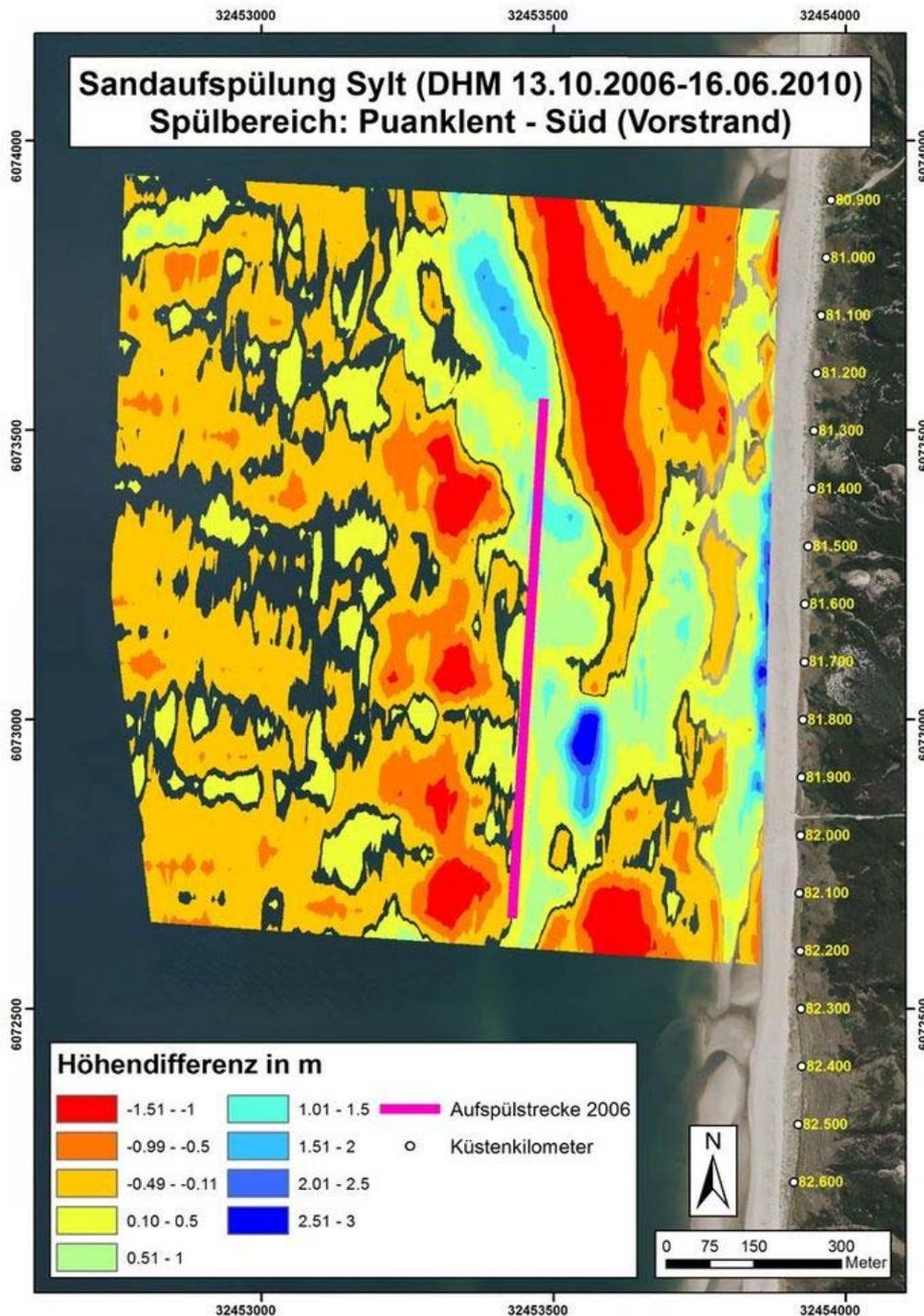


Abbildung 30: Höhendifferenzen Vorstrandaufspülung Sansibar (Nachvermessung 2006 / Gesamtvermessung 2010)

Die Differenz zwischen der 1. Nachvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010 weist eine Höhendifferenz von bis zu -1,5 m im Spülgebiet Sansibar auf, wodurch eine teilweise Erosion des eingebrachten Sandes offensichtlich ist. Landwärts des Riffkörpers fand eine Erosion statt.

5 Morphologische Entwicklung in den Nachbar- bzw. Zwischenbereichen

Aufgrund des bestehenden Küstenlängstransportes kann eine Materialbewegung parallel zur Küste stattfinden. So lagert sich der aufgespülte Sand nicht nur innerhalb der Aufspülstrecken, sondern auch in die Nachbarbereiche um.

5.1 Nördlicher Nachbarbereich

Im **nördlichen Nachbarbereich** (bis 900 Meter nördlich der Aufspülung Rantum) wurde zwischen der Vor- und Nachvermessung im gesamten Höhenbereich (NN+5 m / NN-10 m) eine Anlagerung von rd. 50.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Im Jahre 2010 ist in bezug auf die Vorvermessung ein Sandverlust im nördlichen Nachbarbereich von rd. 100.000 m³ aufgetreten. Weder die Strandsituation noch die Verhältnisse im Vorstrand haben sich verbessert. Ein Transport des südlich verklappten Materials nach Norden hat gemäß des vorherrschenden Küstenlängstransportes nicht stattgefunden.

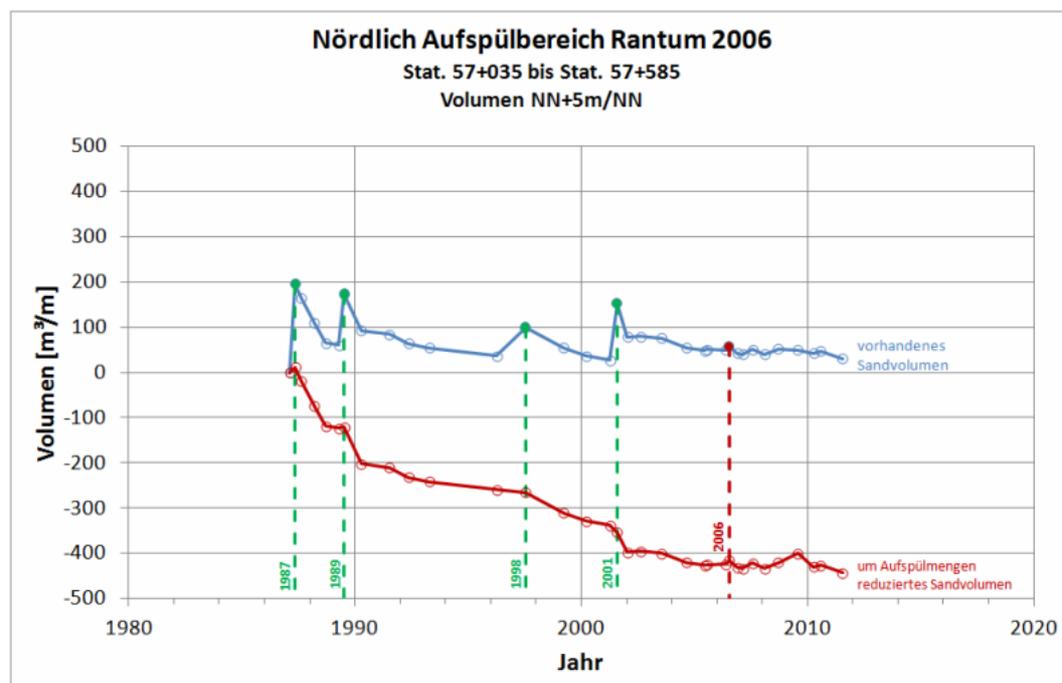


Abbildung 31: Volumengänglinien NN+5 m / NN+0 m (nördlicher Nachbarbereich)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im nördlichen Nachbarbereich zeigt den stetigen natürlich vorhandenen Volumenrückgang auf, der lediglich durch die Sandaufspülungen 1987, 1989, 1998 und 2001 zwischenzeitlich gestoppt worden ist. Mit Hilfe der Methode "Reduzierung um Aufspülmengen" ist der stetige Küstenrückgang deutlich zu erkennen. Im Zusammenhang mit den südlich durchgeführten Vorstrandaufspülungen hat sich der Strandzustand stabilisiert und zwischenzeitlich gar verbessert.

5.2 Nördlicher Zwischenbereich

Im **nördlichen Zwischenbereich** (zwischen der Aufspülung Rantum und der Aufspülung Puan Klent) wurde zwischen der Vor- und Nachvermessung im gesamten Höhenbereich (NN+5 m / NN-10 m) eine Anlagerung von rd. 40.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Im Jahre 2010 beträgt der Volumengewinn im nördlichen Zwischenbereich rd. 75.000 m³. Dabei wurde insbesondere der Vorstrand unterhalb der NN-4 m - Schichtlinie aufgefüllt.

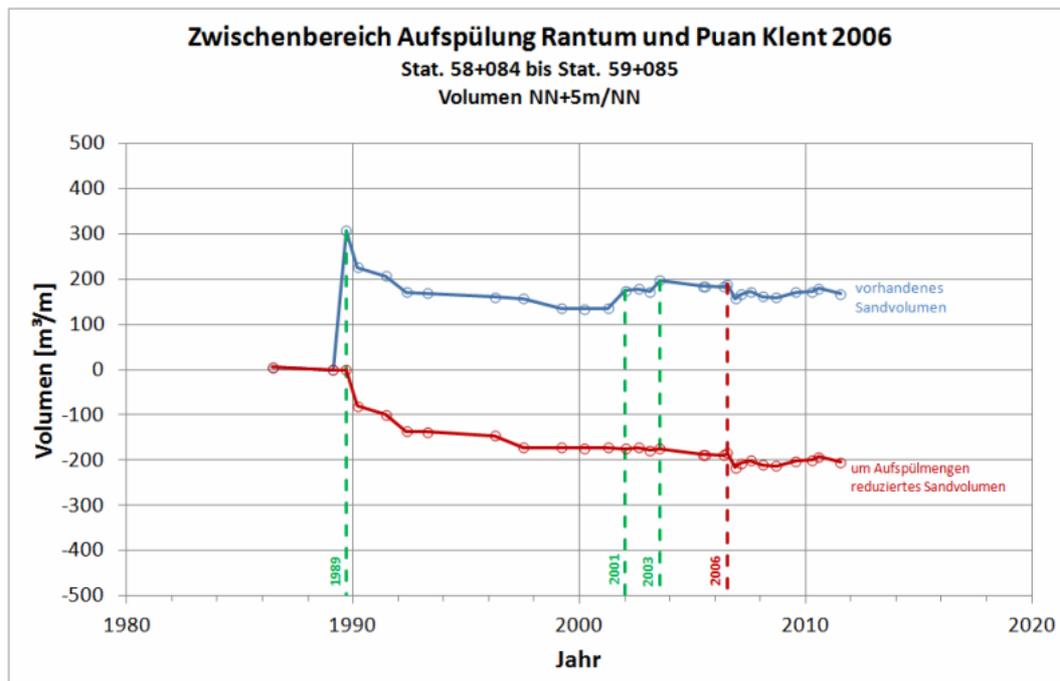


Abbildung 32: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (nördlicher Zwischenbereich)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im nördlichen Zwischenbereich zeigt den stetigen natürlichen vorhandenen Volumentrückgang auf, der lediglich durch die Sandaufspülungen 1987, 1989, 1998 und 2001 zwischenzeitlich gestoppt worden ist. Mit Hilfe der Methode "Reduzierung um Aufspülmengen" ist der stetige Küstenrückgang deutlich zu erkennen. Im Zusammenhang mit den südlich durchgeführten Vorstrandaufspülungen hat sich der Strandzustand stabilisiert und zwischenzeitlich gar verbessert.

5.3 Südlicher Zwischenbereich

Im **südlichen Zwischenbereich** (zwischen der Aufspülung Puan Klent und der Aufspülung Sansibar) wurde zwischen der Vor- und Nachvermessung im gesamten Höhenbereich (NN+5 m / NN-10 m) eine Anlagerung von rd. 30.000 m³ vermessungstechnisch erfasst. Im südlichen Zwischenbereich ergibt sich im Jahre 2010 ein Volumenverlust von rd. 180.000 m³ in Bezug zur Vorvermessung 2006. Der Verlust betrifft besonders stark den Höhenbereich oberhalb der NN-4 m - Schichtlinie.

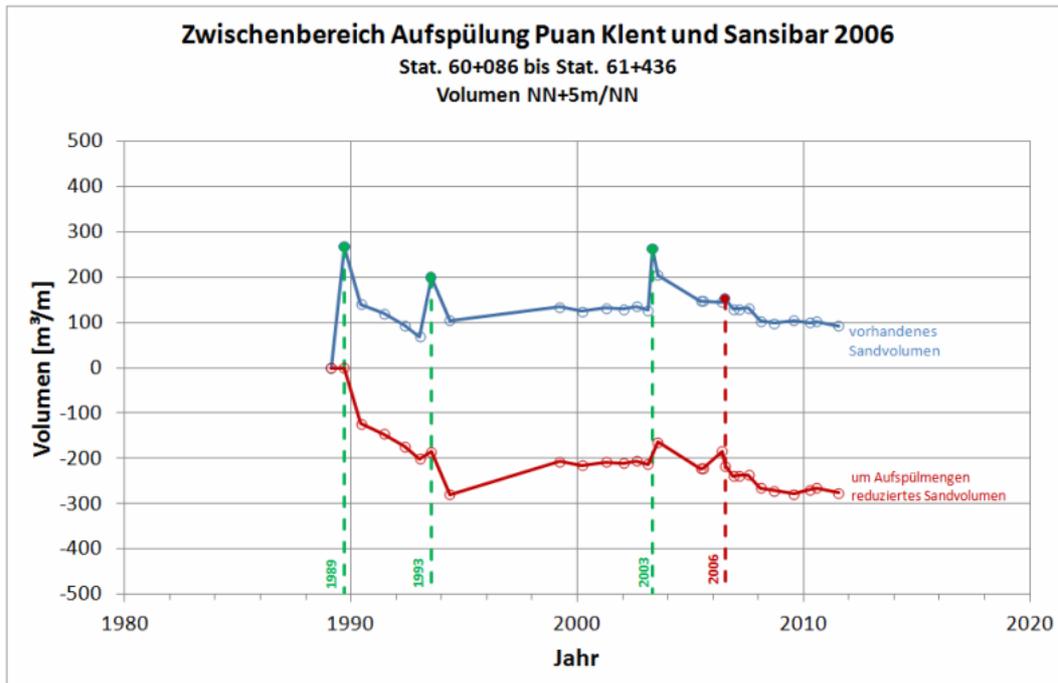


Abbildung 33: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (südlicher Zwischenbereich)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im südlichen Zwischenbereich zeigt einen wechselnden natürlich vorhandenen Volumenrückgang und Phasen der Stabilität. In den Jahren 1989, 1993 und 2003 wurden Strandaufspülungen durchgeführt. Der Volumenrückgang ist seit 2008 relativ gering. Die Ursachen für die Entwicklung des Strandes liegen auch in der Entwicklung des Küstenvorfeldes begründet, in dem Erosionen festzustellen sind.

5.4 Südlicher Nachbarbereich

Für den **südlichen Nachbarbereich** liegen keine ausreichenden Daten für den Vorstrand vor, um eine entsprechende Betrachtung für die Vor- und Nachvermessungen durchführen zu können.

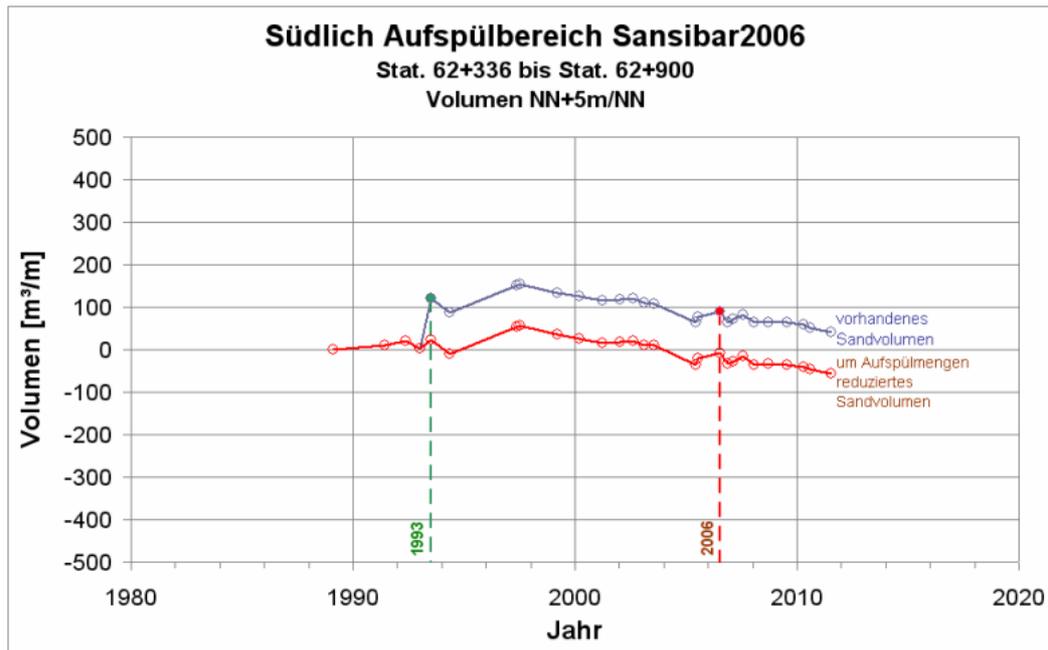


Abbildung 34: Volumenganglinien NN+5 m / NN+0 m (südlicher Nachbarbereich)

Der zeitliche Verlauf der Volumenentwicklung in der Höhenschicht zwischen den NN+5 m und NN - Höhenkoten im südlichen Nachbarbereich zeigt einen relativ geringen natürlich vorhandenen Volumenrückgang auf. Die Sandaufspülung im Jahre 1993 hat den Zustand für viele Jahre stabilisiert. Durch die nördlich anschließende Vorstrandaufspülung im Jahre 2006 ist keine erkennbare Strandverbesserung eingetreten.

6 Energiebetrachtungen

6.1 Wasserstände

Um die Wirkung der Maßnahme beurteilen zu können, muss der Energieeintrag berücksichtigt werden. Die kann über die Wasserstände, den Seegang oder den Wind erfolgen. Aufgrund eines längeren Geräteausfalles der Seegangsboje vor Westerland ist eine Energieflussbetrachtung für den Zeitraum nicht möglich.

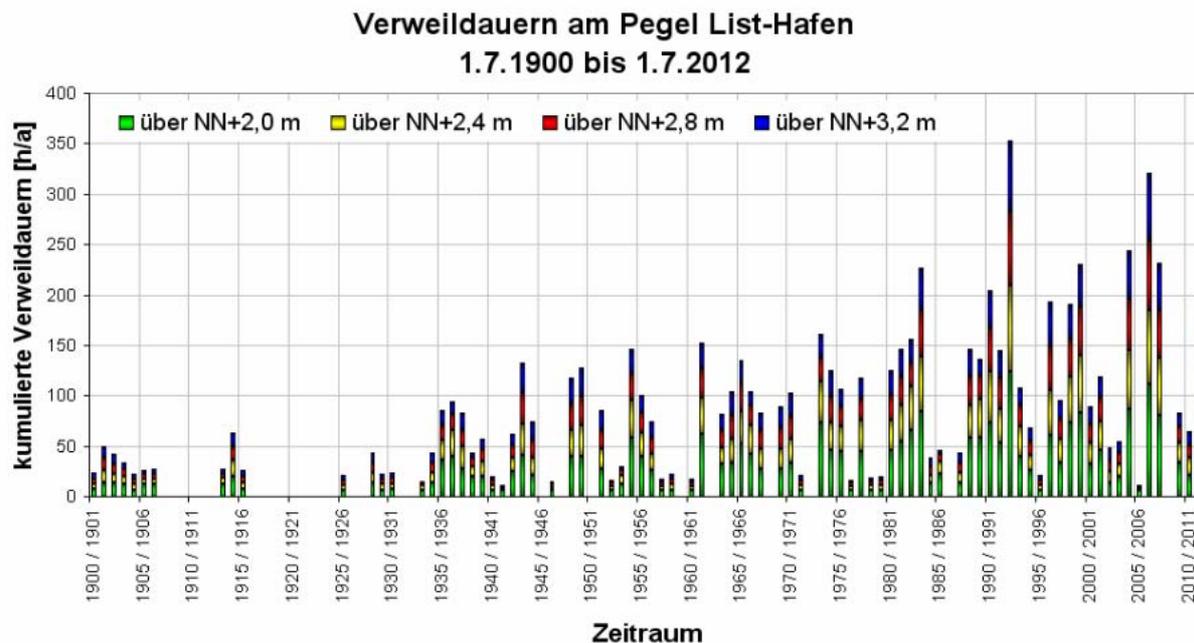


Abbildung 35: Verweilzeiten am Pegel List (1900-2012) Betreiber: WSA Tönning

Für den Gesamtzeitraum 1900 bis 2012 liegen für den Pegel List-Hafen die Scheitelwasserstände und die Verweilzeiten von Wasserständen über NN+2 m vor. In den Winterhalbjahren 2006/07, 2007/08 sowie 2011/12 sind relativ lange Verweildauern erhöhter Wasserstände aufgetreten. 2008/09 traten keine erhöhten Wasserstände auf, 2009/10 und 2010/11 waren mittlere Verhältnisse vorherrschend.

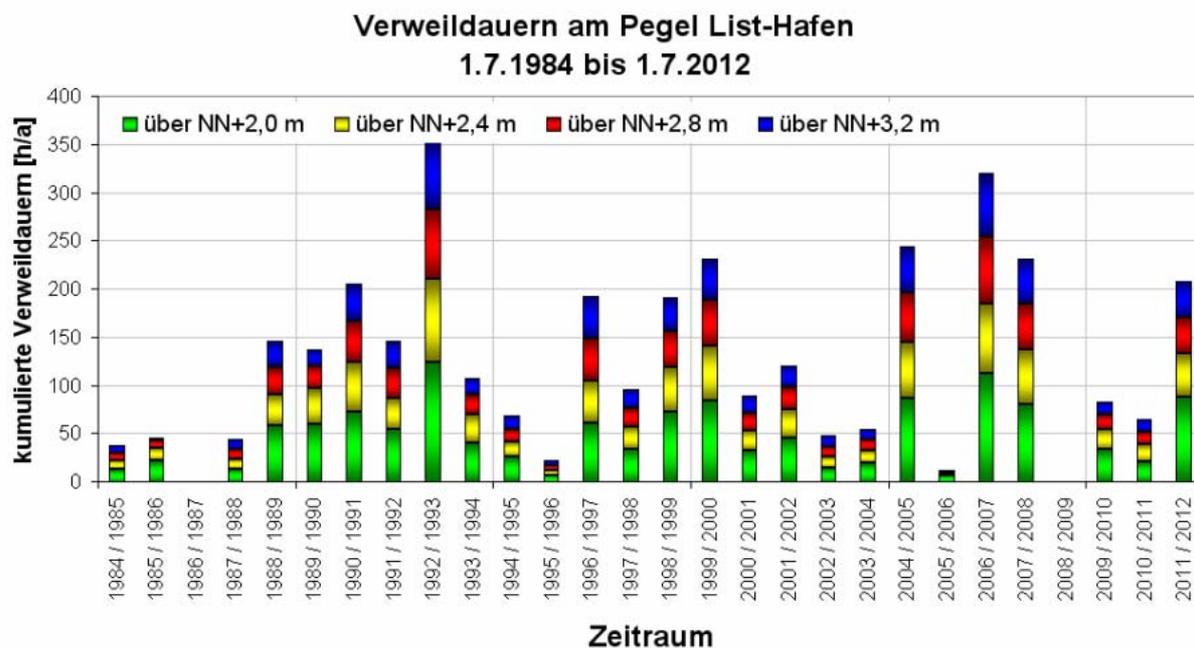


Abbildung 36: Verweilzeiten am Pegel List (1984-2012) Betreiber: WSA Tönning

Die Verweildauern erhöhter Wasserstände im Beobachtungszeitraum 1984 bis 2012 (seit den regelmäßig durchgeführten Sandaufspülungen) weisen darauf hin, dass im Zeitraum 2006 bis 2012 mittlere bis starke Belastungen der Strände und des Küstenvorfeldes aufgetreten sind.

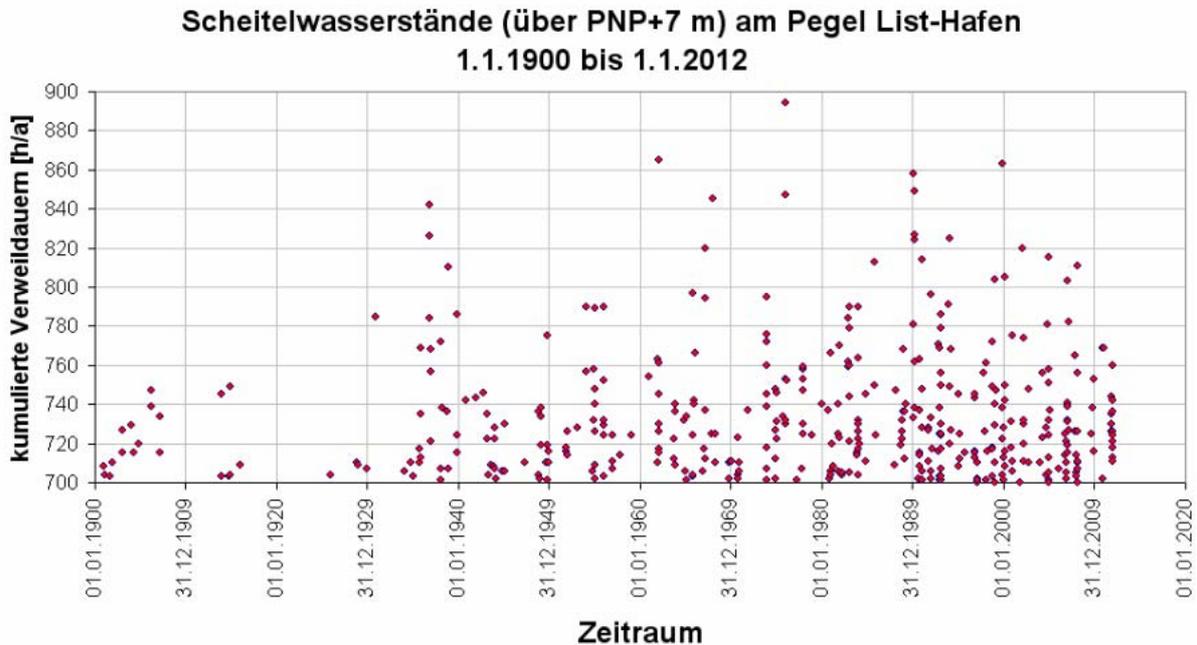


Abbildung 37: Höchste Scheitelwasserstände am Pegel List (1900-2012) Betreiber: WSA Tönning

Die höchsten Scheitelwerte traten am Pegel List im Zeitraum 01.07.2006 bis 01.07.2012 an folgenden Tagen auf:

- 12.01.2007 NN+3,03 m (Rang 23 im Zeitraum 1900-2012) mit 7 Stunden und 34 Minuten über NN+2 m (Rang 18 im Zeitraum 1900-2012)
- 01.03.2008 NN+3,11 m (Rang 19 im Zeitraum 1900-2012) mit 8 Stunden und 23 Minuten über NN+2 m (Rang 10 im Zeitraum 1900-2012)

Im Zeitraum 2006-2012 traten somit insgesamt energiereiche Sturmflutereignisse auf, so dass die Maßnahmen auch den erhöhten Angriffen Stand halten mussten.

6.2 Wind

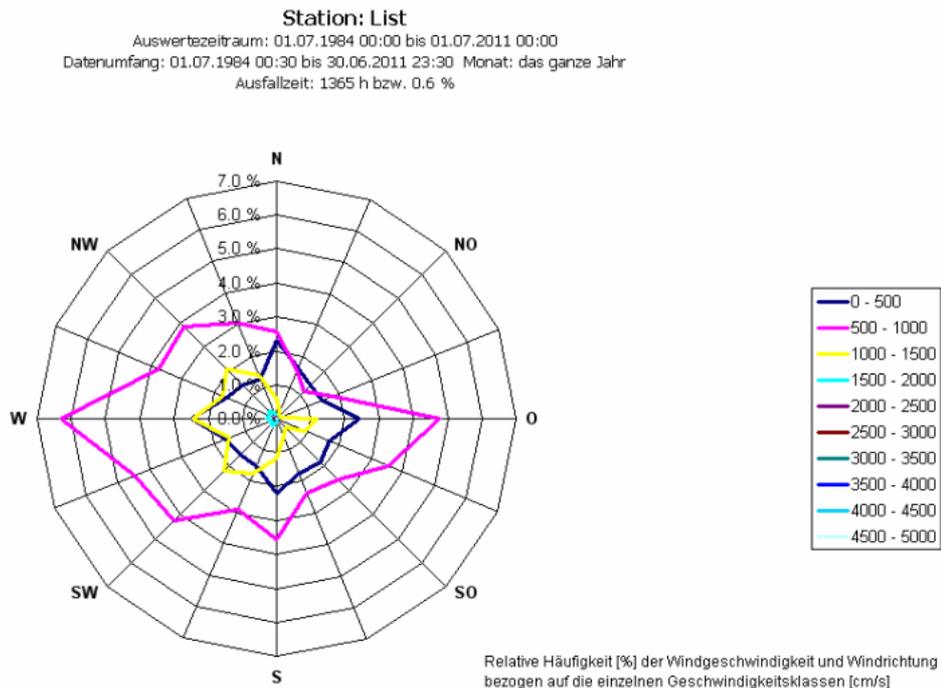


Abbildung 38: Windstatistik an der Messstation List (1984-2011) Betreiber: DWD

Die relative Verteilung der Windrichtungen und -stärken an der Station List im Zeitraum 1984 bis 2012 (seit den regelmäßig durchgeführten Sandaufspülungen bis vier Jahre nach Abschluss der Maßnahmen) zeigt das Vorherrschen der Winde aus westlichen Richtungen mit Windstärken von 5 m/s bis 10 m/s .

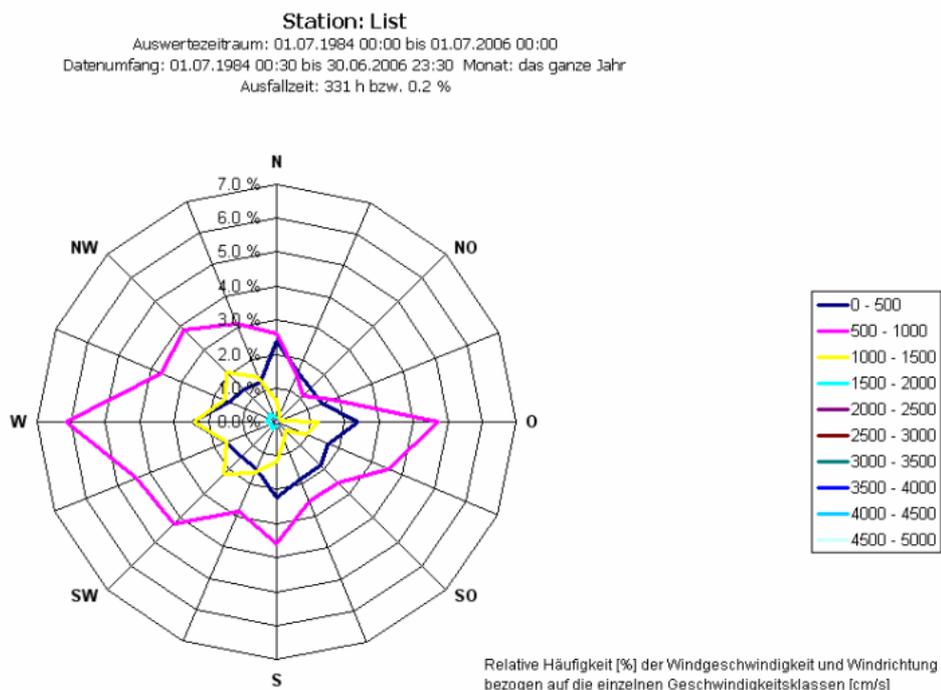


Abbildung 39: Windstatistik an der Messstation List (1984-2006) Betreiber: DWD

Im Zeitraum 1984 bis 2006 (**vom Beginn der regelmäßig durchgeführten Aufspülungen bis zum Beginn der Maßnahmen**) entspricht die relative Verteilung der Windrichtungen und -stärken an der Station List nahezu der Verteilung des Zeitraumes 1984 bis 2011.

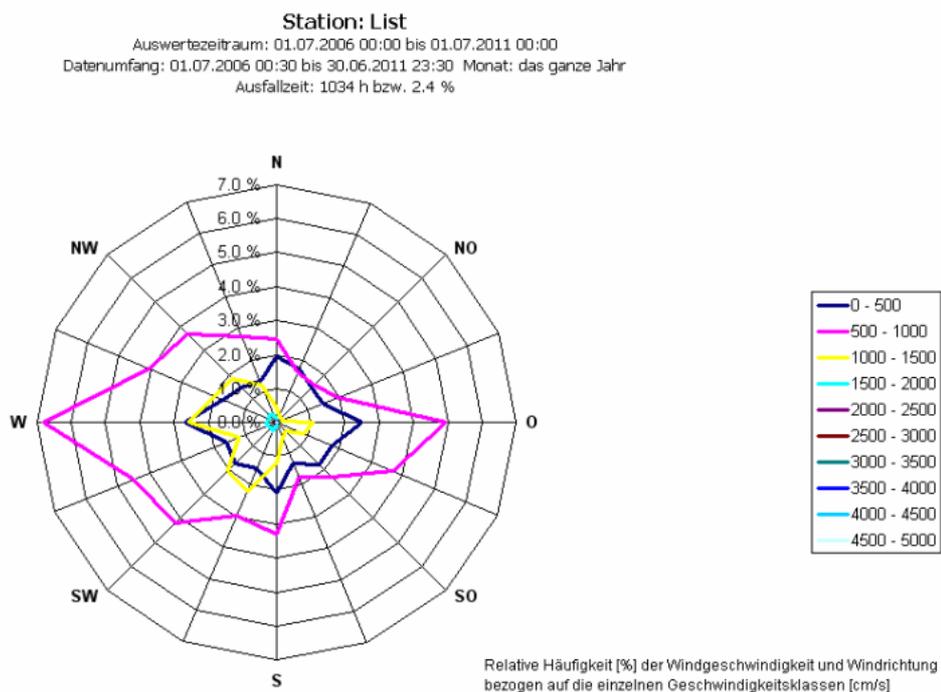


Abbildung 40: Windstatistik an der Messstation List (2006-2011) Betreiber: DWD

Im Zeitraum 2006 bis 2011 (**vom Beginn der Maßnahmen bis vier Jahre nach Abschluss der Maßnahmen**) entspricht die relative Verteilung der Windrichtungen und -stärken an der Station List nahezu der Verteilung des Zeitraumes 1984 bis 2011. Im Vergleich zum Zeitraum 1984 bis 2006 hat sich der Windanteil aus West leicht erhöht und aus SSO bzw. SO leicht verringert.

7 Gesamtbewertung der Maßnahmen

Aufgrund der Messergebnisse betrug der Volumengewinn im Bereich des sich auf rd. 6 Kilometer erstreckenden Untersuchungsgebietes Rantum bis Puan Klent zwischen der Vorvermessung und der ersten Nachvermessung im Jahre 2006 rd. 900.000 m³. Die im Vorstrand eingebrachten Sandmengen lagen gemäß dem Hopperaufmaß bei rd. 750.000 m³. Somit sind in diesem Zeitraum weitere rd. 150.000 m³ aufgrund der natürlichen hydrodynamischen Bedingungen in das Untersuchungsgebiet eingetragen worden. Zusätzlich kann die begrenzte Messungenauigkeit bei den eingesetzten Verfahren (hydrografische Vermessungen, Laserscanning) die Bilanz beeinflussen. Im Jahre 2010 ist noch ein Sandüberschuss von rd. 270.00 m³ vorhanden. Dies entspricht einem Anteil von rd. 30 Prozent, so dass in den ersten fünf Jahren 70 Prozent der Sandmengen außerhalb des Untersuchungsgebietes umgelagert worden sind.

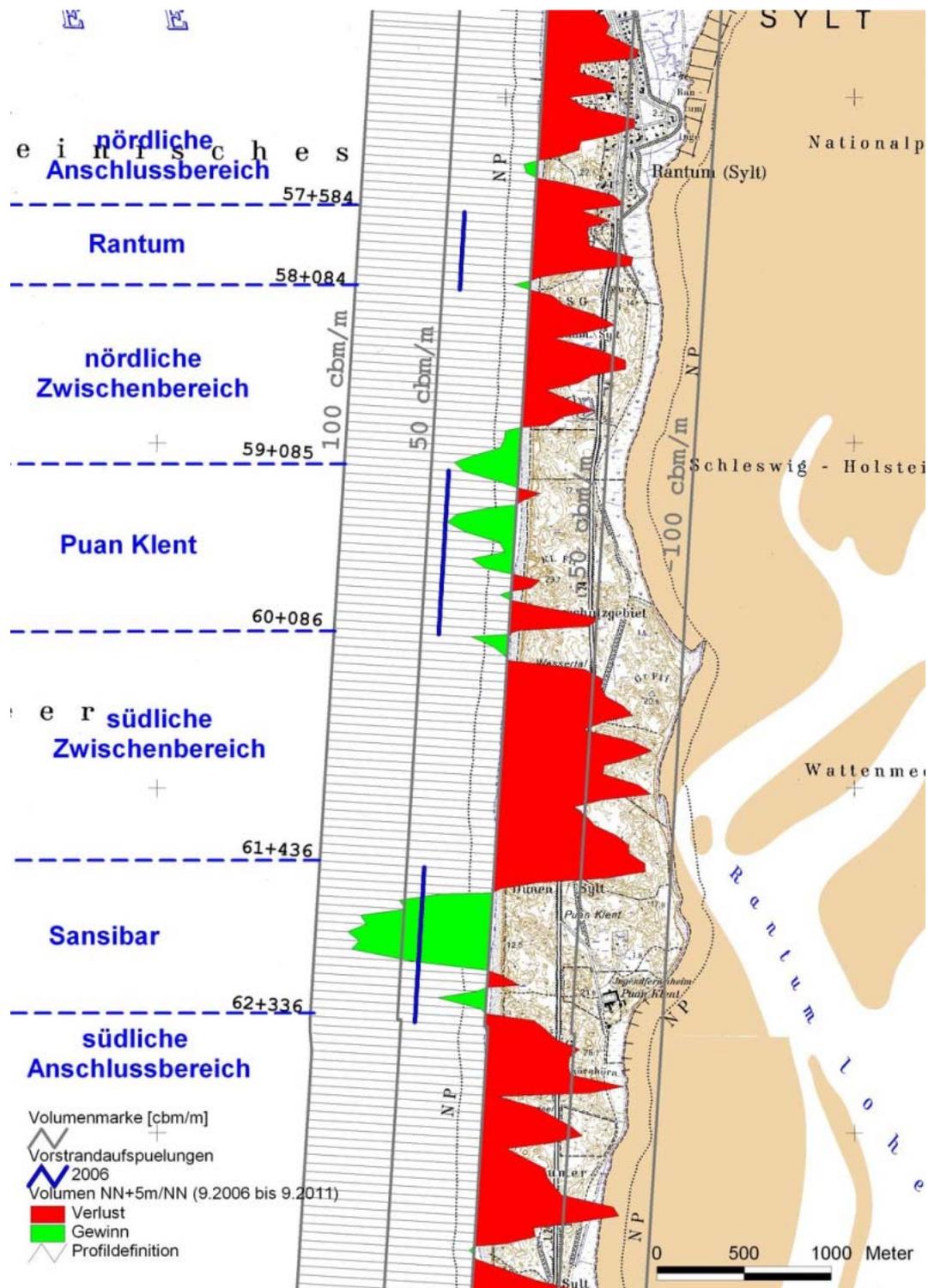


Abbildung 41: Volumenveränderungen Sept. 2006 zu Sept. 2011

Die Maßnahme Vorstrandaufspülungen 2006 hat überwiegend zu einer deutlichen Stabilisierung des Strandes beigetragen. Insbesondere landeten fünf Jahre nach Ende der Maßnahme im südlichen Spülabschnitt (Sansibar) am Strand (Höhenbereich NN+5 m / NN) bis zu $75 \text{ m}^3/\text{m}$ an. Im mittleren Spülabschnitt (Puan Klent) betragen am Strand (Höhenbereich NN+5 m / NN) die Volumenankündungen bis zu $30 \text{ m}^3/\text{m}$. Im nördlichen Spülabschnitt (Rantum), der im Gegensatz zu den beiden südlich gelegenen Abschnitten lediglich 500 Meter lang war, ist die Volumenbilanz am Strand (Höhenschicht NN+5 m / NN)

nach 5-jähriger Beobachtungszeit lediglich an den Spülenden leicht positiv. Jedoch konnte der seit 1989 beobachtete stetige Volumenverlust in der Höhenschicht NN+2 m bis NN aufgrund der Maßnahme vorerst gestoppt werden.

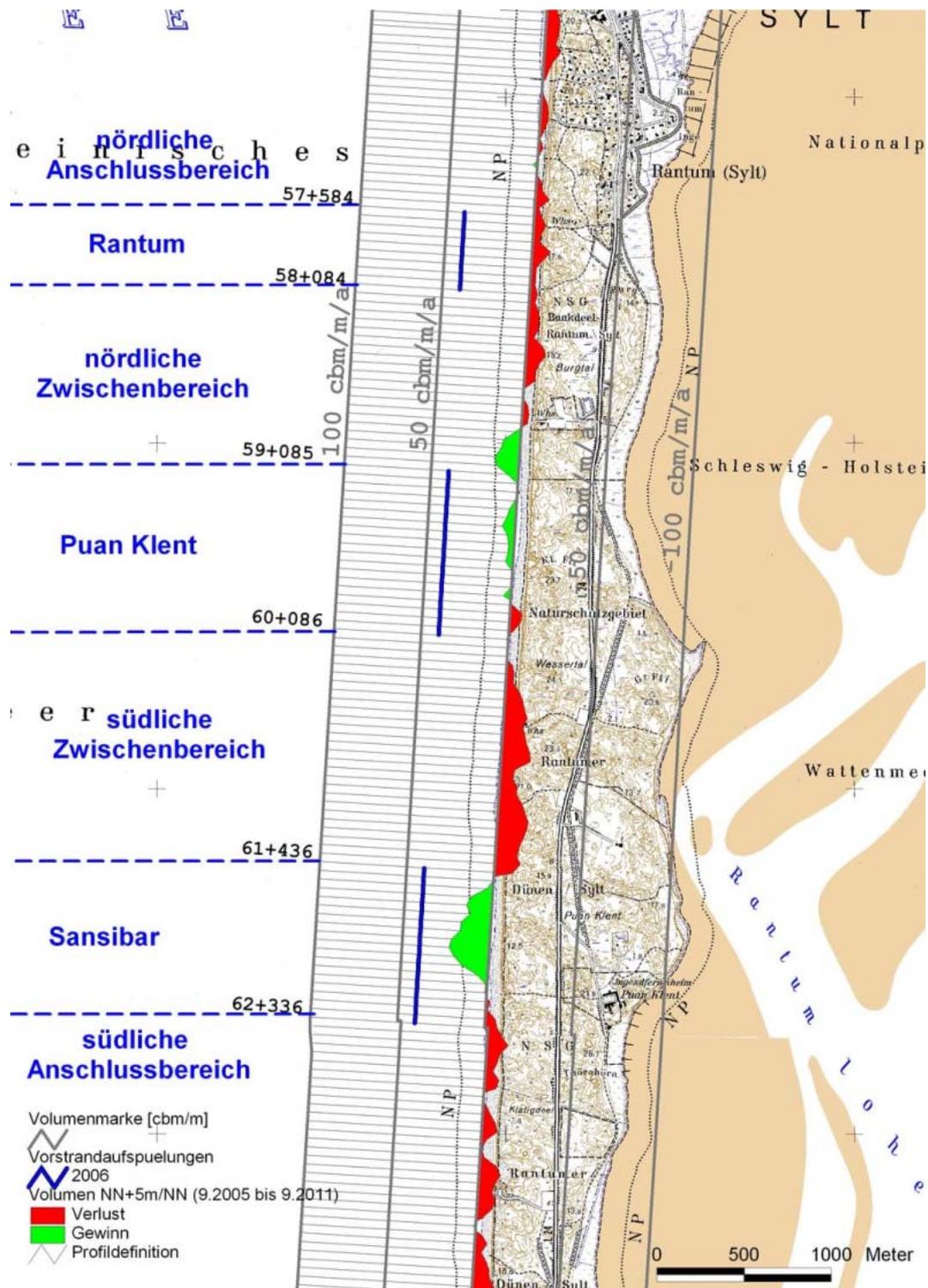


Abbildung 42: Jährliche Volumenänderungsrate im Zeitraum Sept. 2005 bis Sept. 2011

Die Berechnungen der mittleren Rückgangsraten (mit der Methode der reduzierten Aufspülmengen) zeigen im Höhenbereich NN+5 m / NN für den Zeitraum September 2005 (vor den Maßnahmen) und September 2011 (5 Jahre nach den Maßnahmen) in den

Spülabschnitten eine geringere jährliche Verlustrate (Abschnitt Rantum) bzw. einen deutlichen jährlichen Volumenanstieg (Abschnitte Puan Klent, Sansibar) im Vergleich zu den Zwischen- und Nachbarbereichen. Die Daten deuten darauf hin, dass im Abschnitt des Spülbereiches Rantum der Volumenverlust ohne die Vorstrandaufspülung Rantum 2006 höher ausgefallen wäre.

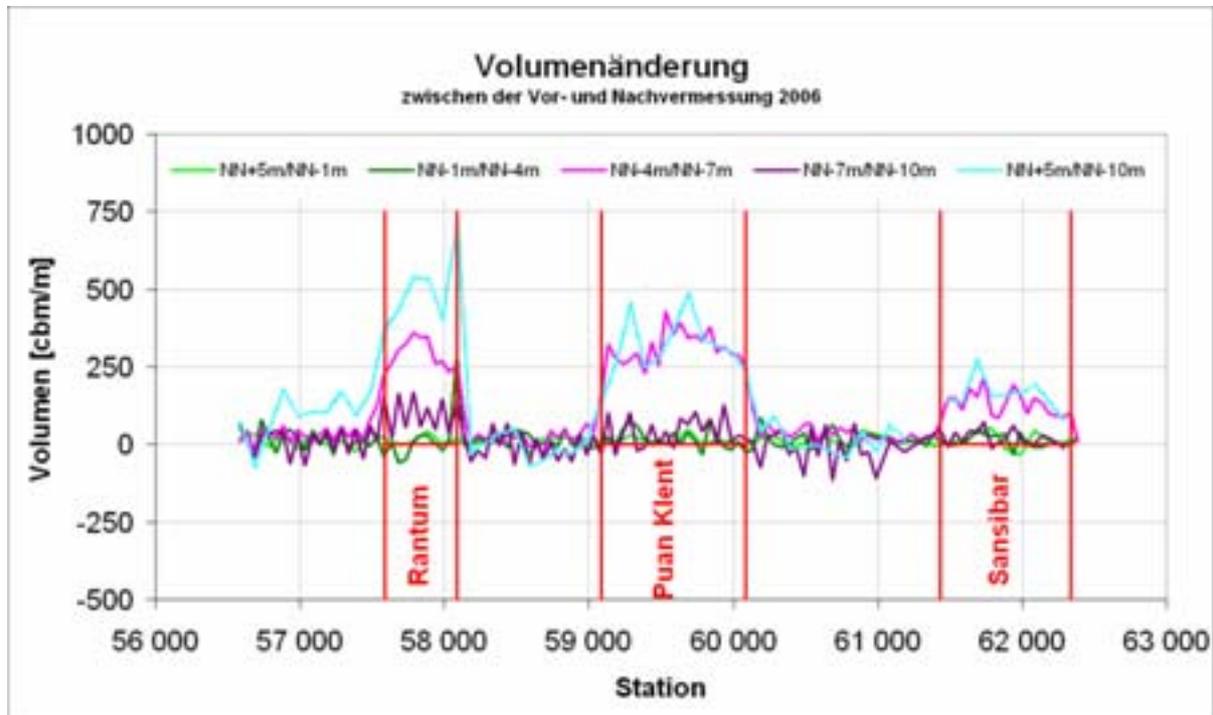


Abbildung 43: Volumenänderung zwischen der Vor- und Nachvermessung 2006

Für die unterschiedlichen Höhengschichten (NN+5 m / NN-1 m, NN-1 m / NN-4 m, NN-4 m / NN-7 m, NN-7 m / NN-10 m, Gesamt: NN+5 m / NN-10 m) zeigen die Volumendifferenzen zwischen der Vorvermessung (Vermessung **vor** der Maßnahme) und der Nachvermessung (Messung **nach** Abschluss der Maßnahme) das in das System eingebrachte zusätzliche Sandvolumen.

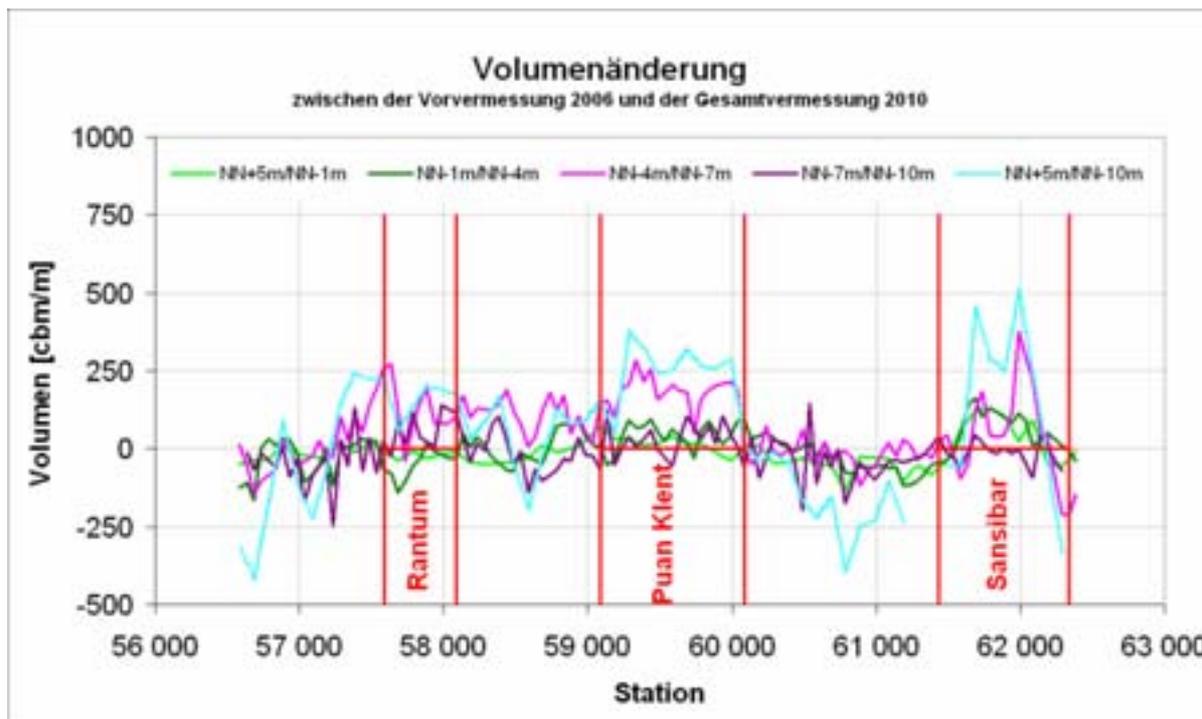


Abbildung 44: Volumenänderung zwischen der Vorvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010

Für die unterschiedlichen Höhengschichten (NN+5 m / NN-1 m, NN-1 m / NN-4 m, NN-4 m / NN-7 m, NN-7 m / NN-10 m, Gesamt: NN+5 m / NN-10 m) zeigen die Volumendifferenzen zwischen der Vorvermessung (Vermessung vor der Maßnahme) und der Gesamtvermessung im Jahre 2010 (Messung vier Jahre nach Abschluss der Maßnahme) das im System verbliebene Sandvolumen.

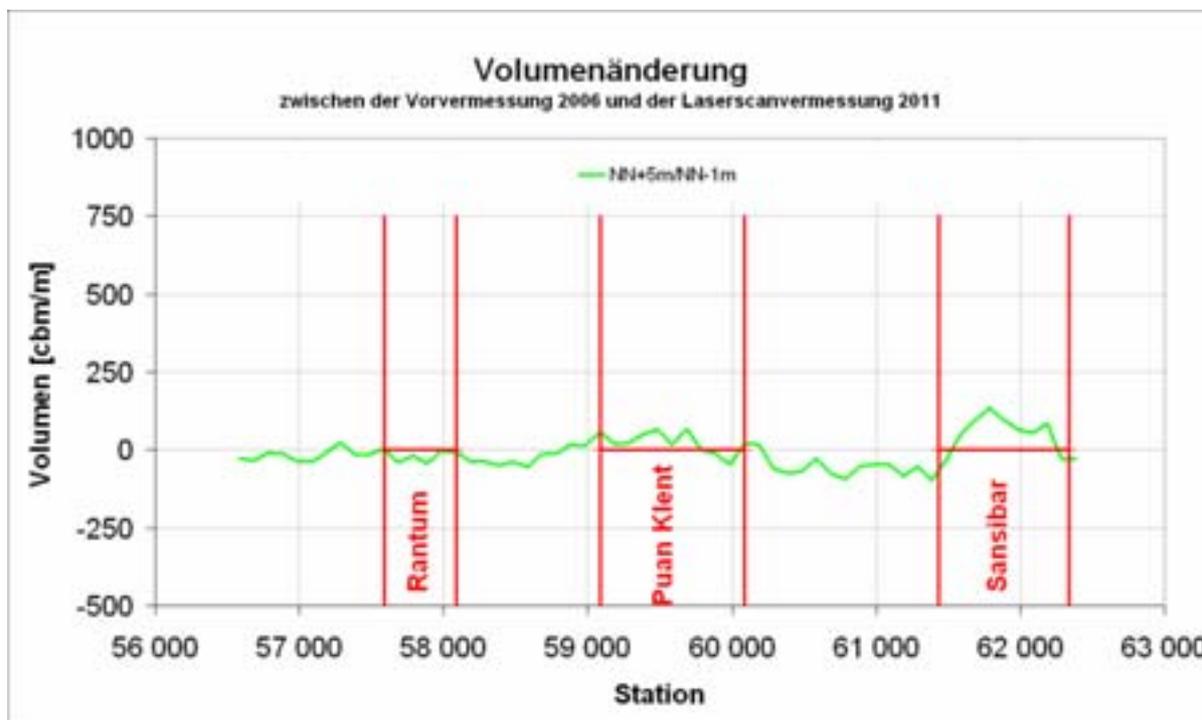


Abbildung 45: Volumenänderung zwischen der Vorvermessung 2006 und der Laserscanvermessung 2011

In der Höhenschicht NN+5 m / NN - 1 m deuten die Volumendifferenzen zwischen der Vorvermessung (Vermessung **vor** der Maßnahme) und der Laserscanvermessung im Jahre 2011 (Messung **fünf Jahre nach** Abschluss der Maßnahme) auf eine positive Volumenentwicklung hin. In den beiden südlichen Aufspülabschnitten hat eine Sandakkumulation stattgefunden, während der Rückgang im nördlichen Spülabschnitt geringer als in den Nachbarbereichen gewesen ist.

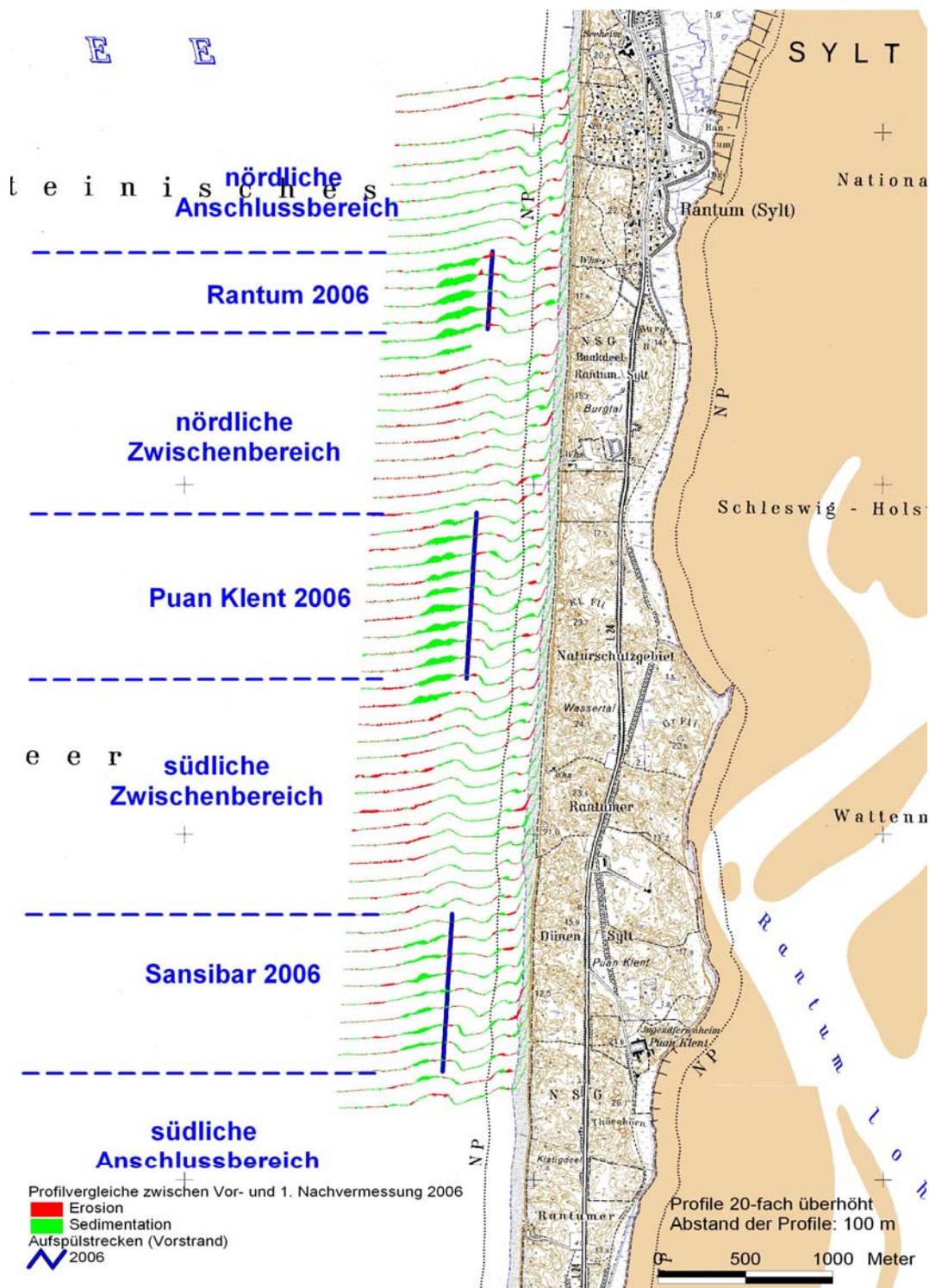


Abbildung 46: Querprofilvergleiche zwischen Vorvermessung 2006 und 1. Nachvermessung 2006

Mit Hilfe der Profilvergleiche sind die Umlagerungen innerhalb des Profiles und in die Nachbarabschnitte zu erkennen. Der Vergleich der Profile zwischen der **Vorvermessung 2006** und der **1. Nachvermessung 2006** zeigt die Bereiche der eingebrachten Sandmengen an.

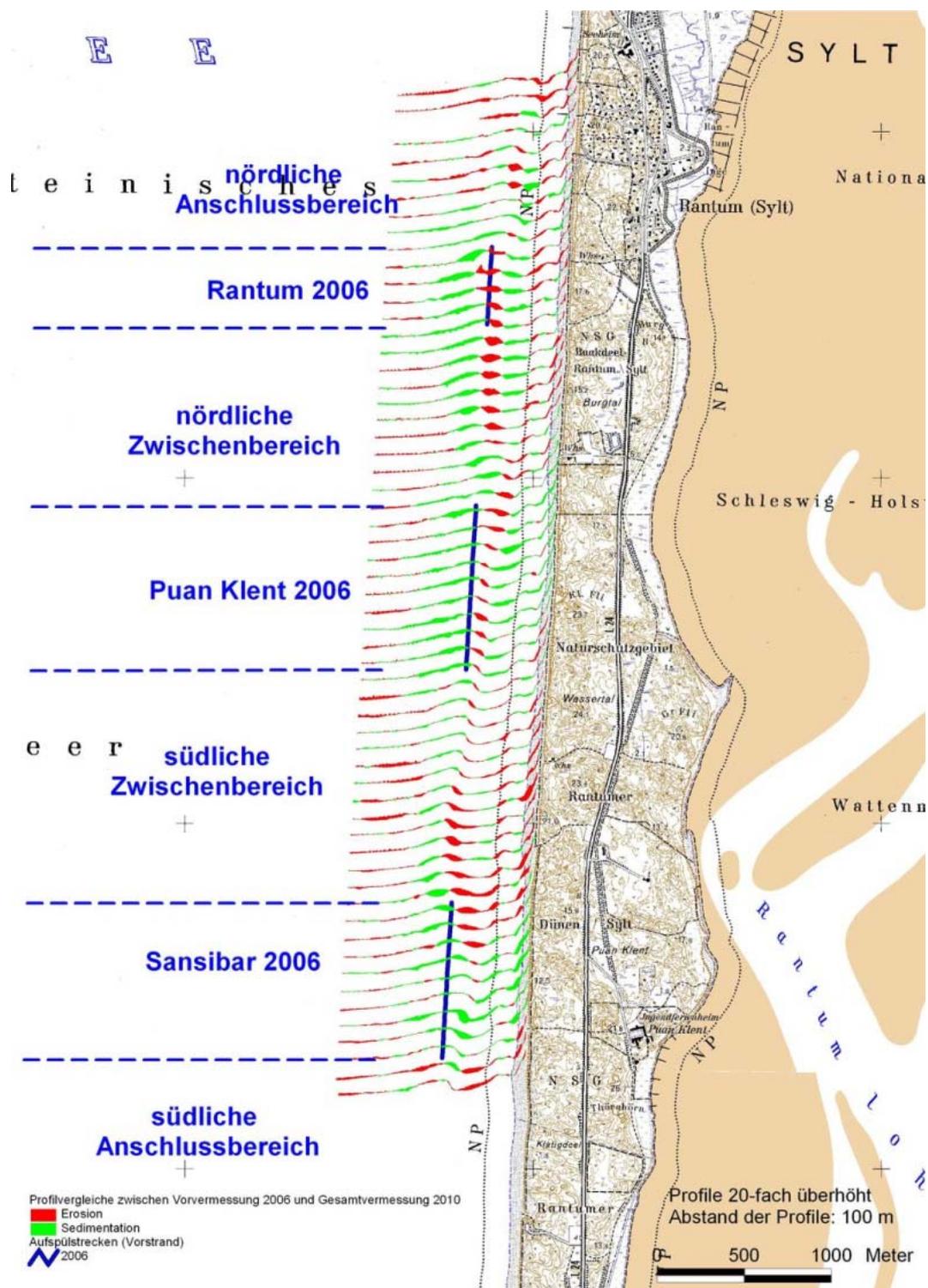


Abbildung 47: Querprofilvergleiche zwischen Vorvermessung 2006 und Gesamtvermessung 2010

Bei den Profilvergleichen zwischen der **Vorvermessung 2006** und der **Gesamtvermessung 2010** kann die Wirkung der eingebrachten Sandmengen erkannt werden.

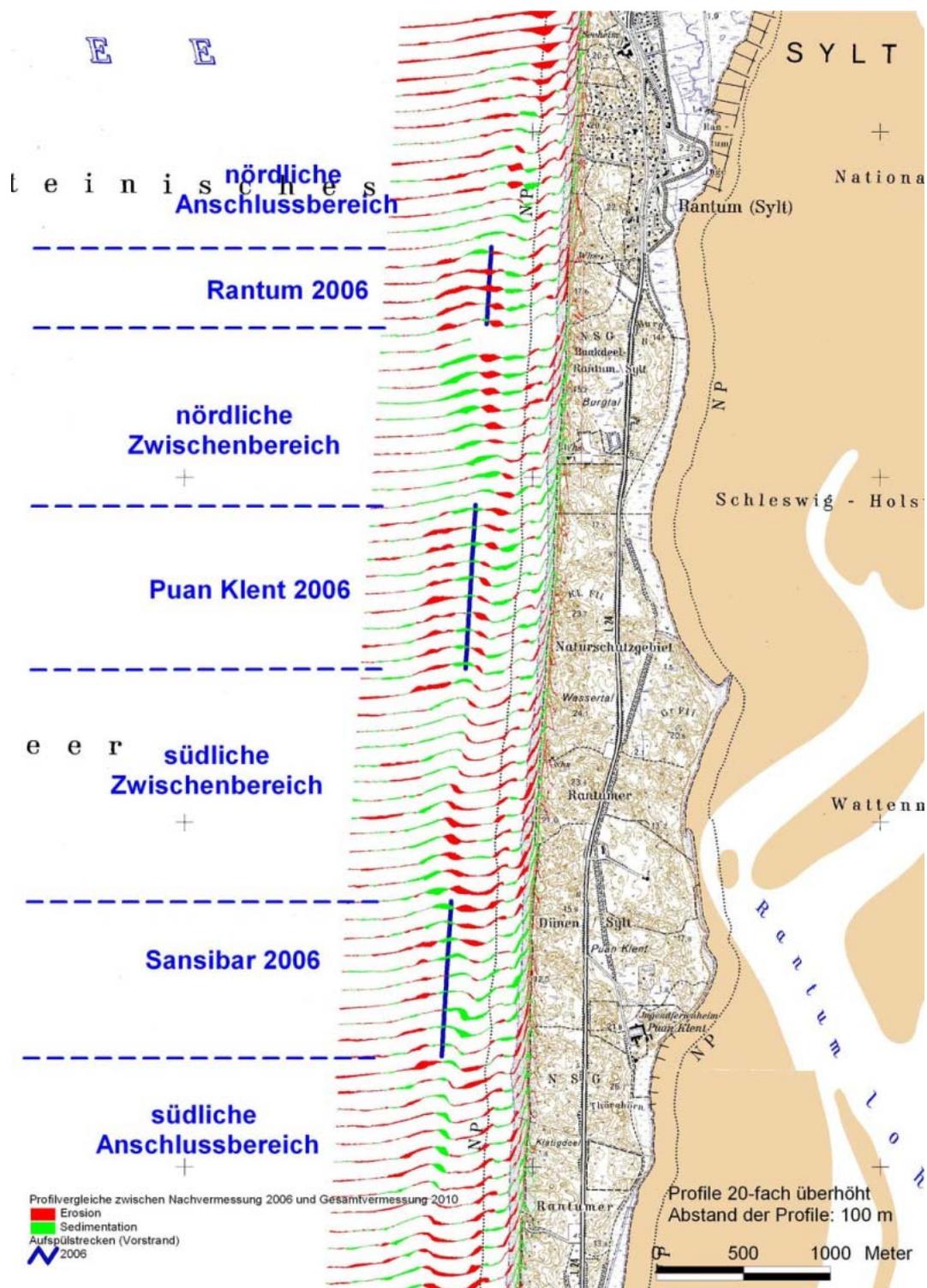


Abbildung 48: Querprofilvergleiche zwischen 1. Nachvermessung 2006 und Gesamtvermessung 2010

Die Profilvergleiche zwischen der **1. Nachvermessung 2006** und der **Gesamtvermessung 2010** zeigen die Reaktion des Systems aufgrund der zusätzlich eingebrachten Sandmengen seeseitig des natürlichen Randraffes.

Im südlichen Spülabschnitt (Sansibar) wurden die geringsten Mengen pro lfd. Meter gespült ($150 \text{ m}^3/\text{m}$). Es zeigt sich, dass in diesem Bereich die Beeinflussung des natürlichen Sandriffes am geringsten gewesen ist. Gleichzeitig sind deutliche Anlandungen am Strand zu

beobachten. Im Bereich des nördlichen Spülabschnittes (Rantum) wurden die größten Mengen pro lfd. Meter gespült ($452 \text{ m}^3/\text{m}$). Dort hat sich das natürliche Sandriff seawärts verlagert. Die Verlagerung ist vermutlich auf natürliche strömungsdynamische Ursachen zurückzuführen, da dieser Effekt auch in den anderen Abschnitten zu beobachten war. Gleichzeitig verbreiterte sich die Rinne bei einer Auffüllung des landseitigen Rinnenanges. Die Anlandungen am Strand sind in diesem Bereich geringer als in den beiden südlichen Spülabschnitten.

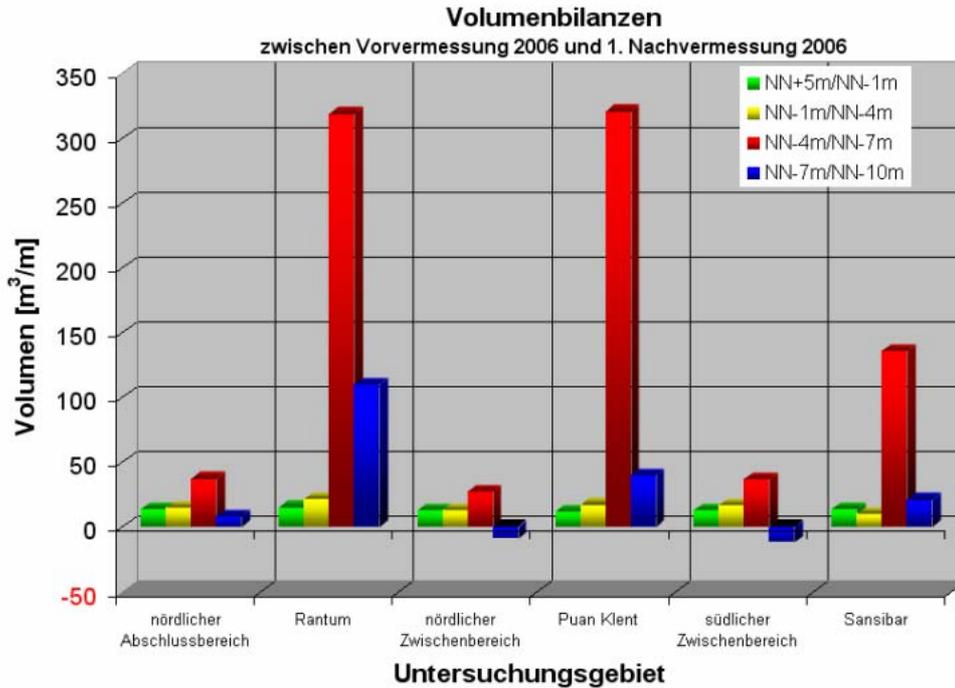


Abbildung 49: Mittlere Volumenbilanzen zwischen der Vorvermessung 2006 und der 1. Nachvermessung 2006

Die mittleren Volumenbilanzen für die betrachteten Untersuchungsgebiete in den unterschiedlichen Hörschichten zwischen der **Vorvermessung 2006 und der 1. Nachvermessung 2006** stellen die Mengenverteilungen dar. Der größte Anteil der Spülmengen entfällt auf die Hörschichten NN-4 m bis NN-7 m. Im Spülabschnitt Rantum wurden auch in den tieferen Schichten größere Sandmengen verbracht.

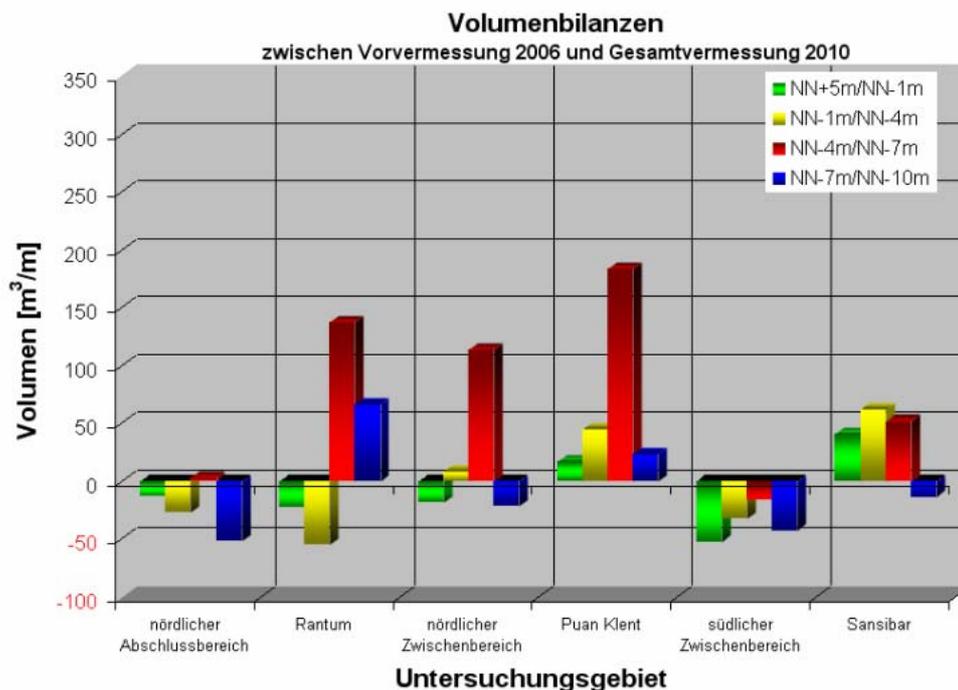


Abbildung 50: Mittlere Volumenbilanzen zwischen der Vorvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010

Die mittleren Volumenbilanzen zwischen der **Vorvermessung 2006** und **Gesamtvermessung 2010** zeigen, dass der nördliche Zwischenbereich in der Höhengschicht NN-4 m bis NN-7 m erhebliche Sandzufuhr aus den vorgespülten Mengen erfahren hat. In den beiden südlichen Spülabschnitten ist das Volumen in den höher liegenden Schichten durch natürliche Umlagerungen aufgefüllt worden.

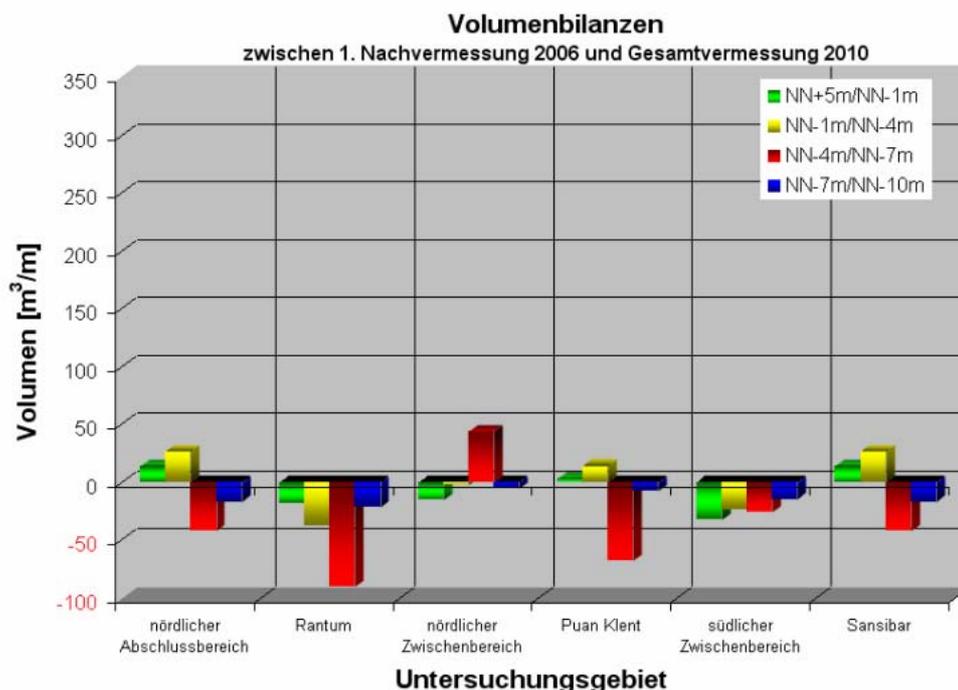


Abbildung 51: Mittlere Volumenbilanzen zwischen der 1. Nachvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010

Die mittleren Volumenbilanzen zwischen der **1. Nachvermessung 2006 und der Gesamtvermessung 2010** zeigen die Umlagerungen nach Ende der Maßnahmen an. Im nördlichen Anschlussbereich akkumulierten in der Höhengschicht NN+5 m bis NN-4 m größere Sandmengen. Im nördlichen Zwischenbereich vergrößerte sich das Volumen in der Höhengschicht NN-4 m bis NN-7 m. In den beiden südlichen Spülabschnitten vergrößerten sich die Sandmengen sowohl in der Höhengschicht NN+5 m / NN-1 m als auch in der Höhengschicht NN-1 m / NN-4 m. Für den Bereich des Spülabschnitts Rantum weisen die Daten darauf hin, dass durch die Vorstrandaufspülung der natürlich zu erwartende Rückgang im Strandvolumen reduziert worden ist.

Die Veränderung der Sandvolumen im Strandbereich (NN+5 m / NN-1 m), die vier Jahre nach Durchführung der Maßnahmen festzustellen sind, werden in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 7: Sandvolumen NN+5 m / NN-1 m (Sept. 2006 bis Sept. 2010) Station 56+584 bis Station 62+336

Sandvolumen NN+5 m / NN-1 m (Sept. 2006 bis Sept. 2010) Station 56+584 bis Station 62+336			
Bereich	[m ³ /m]	[m ³]	Strecke [m]
nördlicher Nachbarbereich	-14	-12.982	951
Spülabschnitt Rantum	-18	-9.160	500
nördlicher Zwischenbereich	-15	-13.600	900
Spülabschnitt Puan Klent	3	3.046	1.002
südlicher Zwischenbereich	-32	-40.075	1.250
Spülabschnitt Sansibar	14	12.500	900
südlicher Nachbarbereich	-	-	-
Mittelwert/Summe	-10.5	-60.270	5.752
mittlere jährliche Rate (2006-2010)	-2,6 m ³ /m/Jahr	-15.000 m ³ /Jahr	
mittlere jährliche Rate (1984-2006)	-10,0 m ³ /m/Jahr	-58.000 m ³ /Jahr	

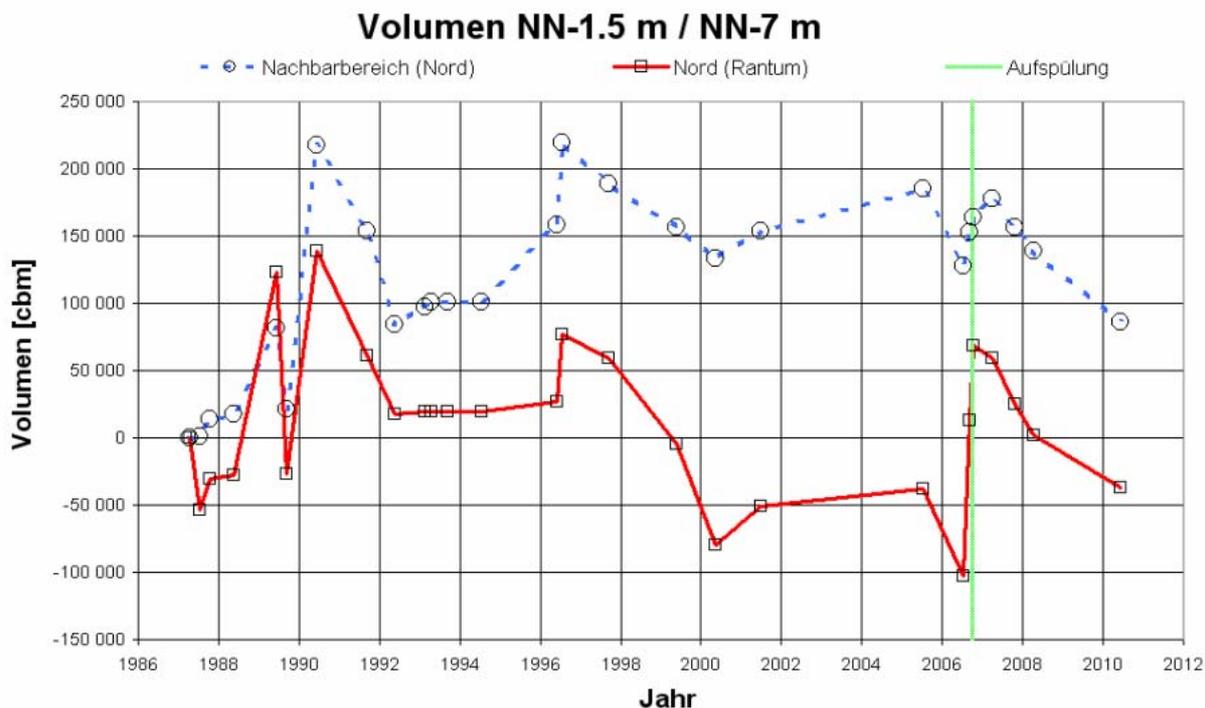


Abbildung 52: Ganglinie Vorstrandvolumen (NN-1,5 m / NN-7 m) im nördlichen Abschnitt

Die zeitliche Entwicklung des Volumens im Vorstrand (NN-1,50 m / NN-7 m) zeigt für die beiden nördlichsten Bereiche eine einmalige Auffüllung 2006/2007 und einen anschließenden Volumenrückgang.

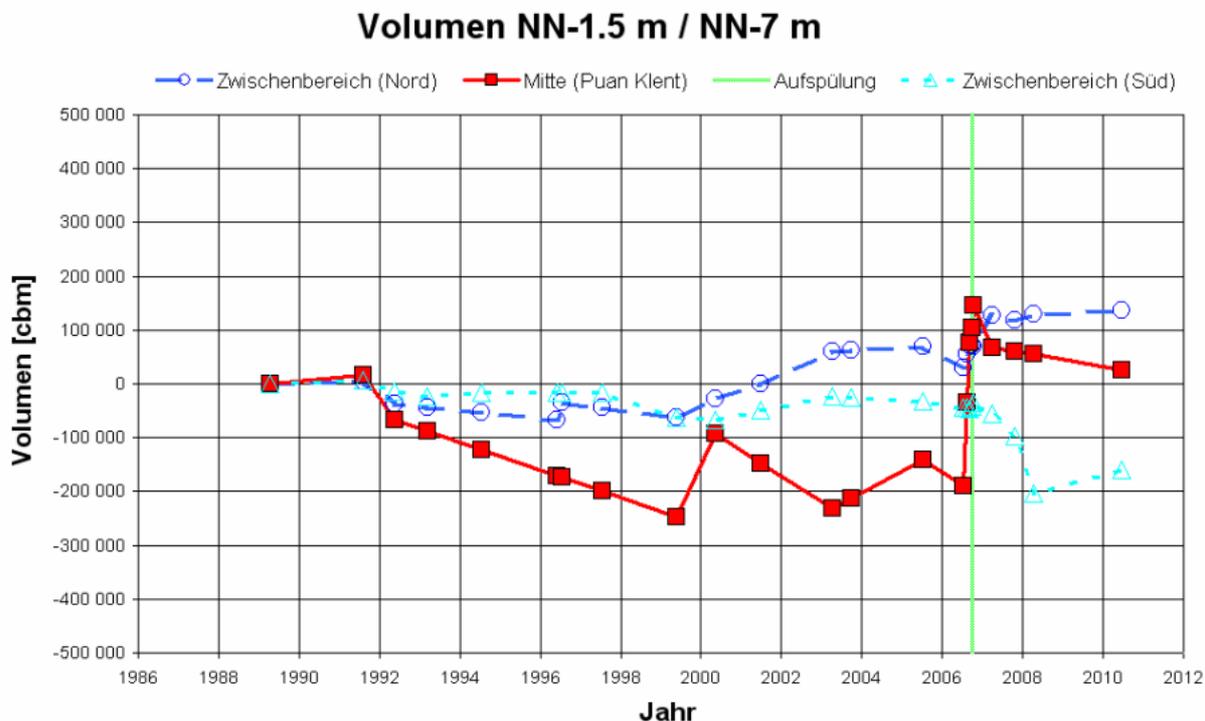


Abbildung 53: Ganglinie Vorstrandvolumen (NN-1,5 m / NN-7 m) im mittleren Abschnitt

In den mittleren Bereichen ist zeitliche Entwicklung des Volumens im Vorstrand (NN-1,50 m / NN-7 m) überwiegend von einem stetigen Volumenrückgang geprägt. Durch die Vorstrandaufspülung im Jahre 2006 konnte der Vorstrand im nördlichen Zwischenbereich und im Aufspülbereich deutlich stabilisiert und verbessert werden.

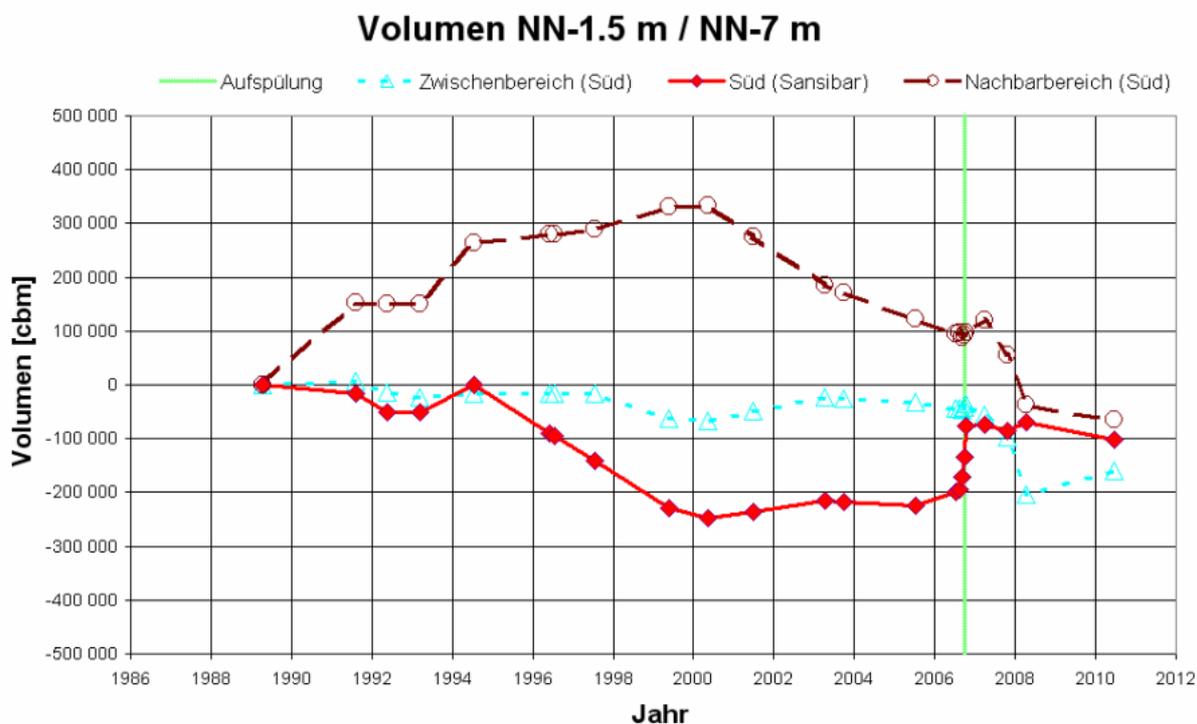


Abbildung 54: Ganglinie Vorstrandvolumen (NN-1,5 m / NN-7 m) im südlichen Abschnitt

Der kontinuierliche Rückgang im Vorstrandvolumen (NN-1,50 m / NN-7 m) hat sich durch die Vorstrandaufspülung Sansibar 2006 in dem südlichen Zwischenbereich und dem südlichen Nachbarbereich verringert. Unmittelbar im Spülabschnitt Sansibar wurde der Vorstrand deutlich über mehrere Jahre aufgefüllt.

Im Vergleich zu den mittleren Rückgangsraten 1984-2006 hat sich der Küsten- bzw. Volumenrückgang insgesamt deutlich verringert. Zusätzlich ist das Küstenvorfeld stabilisiert worden. Damit ist belegt, dass ein Volumenaustausch vom Vorstrand in den Strand erfolgt, der durch Aufspülungen im Vorstrand (seeseitig der Riffachse) unterstützt werden kann.

Eine unmittelbare Erhöhung/ Verstärkung des Riffes ist nicht zielführend, da dadurch das natürliche Gleichgewicht stärker verändert wird und größere Umlagerungsprozesse im Riff-Rinne-Bereich initiiert werden. So haben sich im Zeitraum 2006-2010 die Riff- und Rinnenachsen landwärts verschoben und die Rinne insbesondere im mittleren Aufspülabschnitt vertieft. Aufgrund der hydrodynamischen Bedingungen war diese Entwicklung jedoch auch in den Nachbar- und Zwischenbereichen zu beobachten.

8 Ausblick

Aufgrund der Auswertungsergebnisse erscheint die Methode einer Vorstrandaufspülung erfolgversprechend. Als weitere Maßnahme wären Sandersatzmaßnahmen im Vorstrand für die Zwischenbereiche vorzunehmen, um auch dort die Erosion im Vorstrand auszugleichen und die Strände zu stabilisieren. Auch an weiteren Strecken entlang der Westküste der Insel Sylt sind Vorstrandaufspülungen geeignet, um den langfristig beobachteten Küstenrückgang zu reduzieren und den Erosionen im Vorstrand zu begegnen.