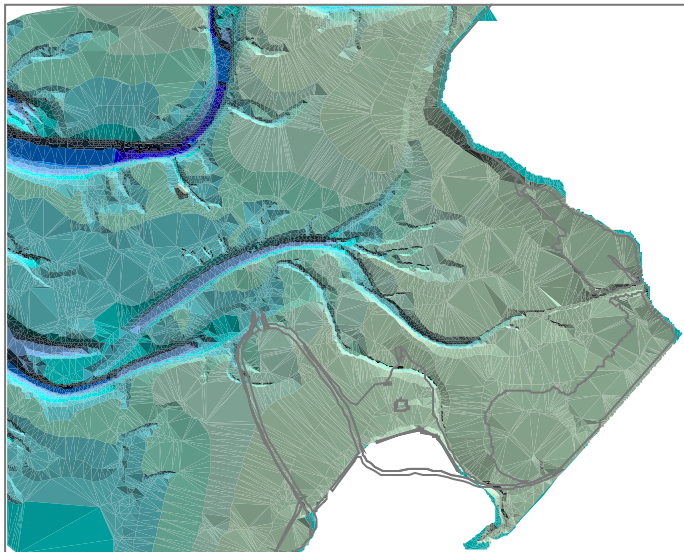


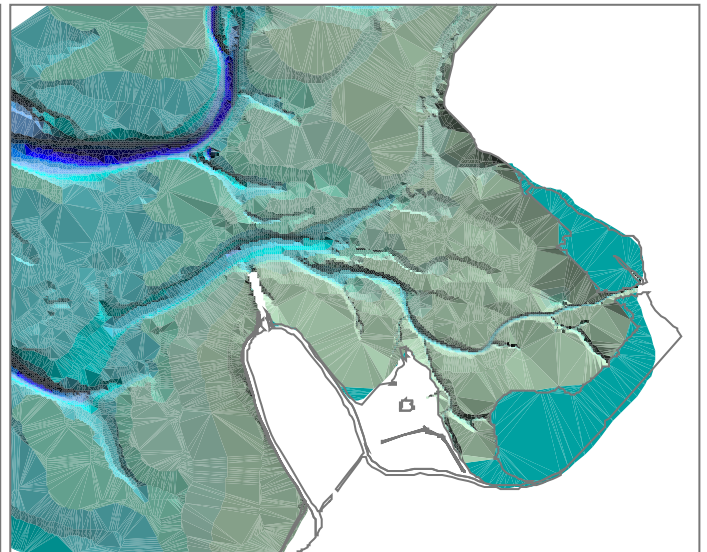


Niedersächsisches
Landesamt für
Ökologie

1972



1995



Cornelius Meyer

**Beweissicherung
Küstenschutz Leybucht
Morphologisch-sedimento-
logische Untersuchungen
(Abschlussbericht)**

Herausgeber:

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
- Forschungsstelle Küste-
1999

Bezug:

NLÖ-Forschungsstelle Küste
An der Mühle 5, 26548 Norderney
Tel.: 04932-916-0
Fax: 04932-1394
e-mail: info.crs @ t-online.de

**NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE
- FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE -**

Cornelius Meyer

**Beweissicherung
Küstenschutz Leybucht**

**Morphologisch-sedimentologische
Untersuchungen**

(Abschlussbericht)

Norderney, im Mai 2001

Leiter der
Forschungsstelle Küste
in Vertretung

Dezernent
Geomorphologie des Küstengebietes

Dr.-Ing. H.-J. Stephan

Dr. C. Meyer

Meyer, C. (2001): Beweissicherung Küstenschutz Leybucht Morphologisch-sedimentologische Untersuchungen (Abschlussbericht)			
Dienstber. Forschungsstelle Küste 6/2001	Unveröff.	17 S., 4. Abb., 25 Anl.	Norderney

Beweissicherung Küstenschutz Leybucht

Morphologisch-sedimentologische Untersuchungen

(Abschlussbericht)

Cornelius Meyer

Inhaltsverzeichnis:

1	EINLEITUNG UND VERANLASSUNG	1
2	LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	1
3	METHODIK	2
3.1	Kartenmaterial	2
3.2	Datenaufbereitung	3
3.3	Fehlerbetrachtung	3
4	MORPHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN	4
4.1	Entwicklung der Rinnenstrukturen	4
4.2	Entwicklung des Wattniveaus	5
4.3	Veränderungen von Flutraum und Sedimentvolumen	8
5	SEDIMENTOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN	10
5.1	Verteilung der Oberflächensedimente	10
5.2	Veränderungen im Verteilungsmuster	11
5.3	Sedimenteintreibungen ins Außentief	13
6	ZUSAMMENFASSUNG	14
7	LITERATURVERZEICHNIS	16
8	ANLAGENVERZEICHNIS	17

1 Einleitung und Veranlassung

Durch die vorgelagerten Ostfriesischen Inseln vor der offenen See weitgehend abgeschirmt, liegt die Leybucht im Einzugsgebiet der Osterems. Seit dem frühen Mittelalter ist die Entwicklung in der Leybucht, die ihre größte Ausdehnung im 14. Jahrhundert erreichte, durch anhaltende Verlandungsprozesse gekennzeichnet. Ihre Entwicklung in den letzten vier Jahrhunderten ist u.a. durch das Historische Kartenwerk der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung (HOMEIER 1972) kartenmäßig abgebildet. In jüngerer Vergangenheit führte der Verlandungsfortschritt dazu, dass der Kutterverkehr von und nach Greetsiel sowie die Binnenentwässerung des Hinterlandes durch einen unbefriedigenden Sielzug in Leybuchtziel zunehmend behindert wurde. Eine zunächst Anfang der 70er Jahre in mehreren Planungsvarianten zur Diskussion gestellte Volleindeichung der Leybucht zwischen Utlandshörn und der Hauener Hooge wurde aufgrund einer ökologischen Umorientierung aufgegeben.

Der Bau des "Leyhörn", einem von der Hauener Hooge nach SW verlaufenden Bauwerk, und die Vordeichung bis Leybuchtziel zwischen 1986 und 2000 gewährleisteten nicht nur den Küstenschutz, sondern sichern neben der Binnenentwässerung des Hinterlandes durch Verbesserung der natürlichen Vorflut auch eine ausreichend tiefe Zufahrt zum Greetsieler Hafen.

Gemäß Planfeststellungsbeschluss vom 25.09.85 und Verfügung der Bezirksregierung Weser-Ems vom 04.04.89 musste das Bauvorhaben durch Untersuchungen begleitet werden, die u.a. die Auswirkungen der baulichen Eingriffe auf sedimentologisch-morphologische Veränderungen erfassen. Der vorliegende Dienstbericht der Forschungsstelle Küste (FSK) fasst die bisherigen Untersuchungsergebnisse (RAGUTZKI & OTTEN 1991; STEPHAN 1984, 1991, 1995) zusammen und ergänzt sie durch neue Erkenntnisse.

2 Lage des Untersuchungsgebietes

Im äußersten Nordwesten von Niedersachsen gelegen, bildet die Leybucht im weiten Mündungsbereich der Ems eine tiefe Einbuchtung entlang der ostfriesischen Nordseeküste.

Wattstromrinnen teilen die Leybucht in ihre morphologischen Einheiten: Das Pilsumer Watt westlich der Hauener Hooge geht nach Norden in den Pilsumer Nacken über, der bis zur Fertigstellung des Außentiefs Leyhörn nach Osten ohne klare Grenze in den Greetsieler Nacken überging. Der Leysand stößt im Süden und Osten an das Vorland und wird von Norder Außentief (N) und Greetsieler Außentief (W) begrenzt. In größerem Umfang von Prielausläufern der Norderley durchschnitten, dehnt sich nördlich vom Norder Außentief der Schweinsrücken aus (Abb. 1).

Das Utlandshörner Watt zwischen Bantsbalje (NW), Greetsieler Legde/Norderley (S) und dem Festland (O) sowie der Hamburger Sand zwischen Norderley im Süden und Bantsbalje im Norden schließen sich im Nordwesten an die Leybucht.

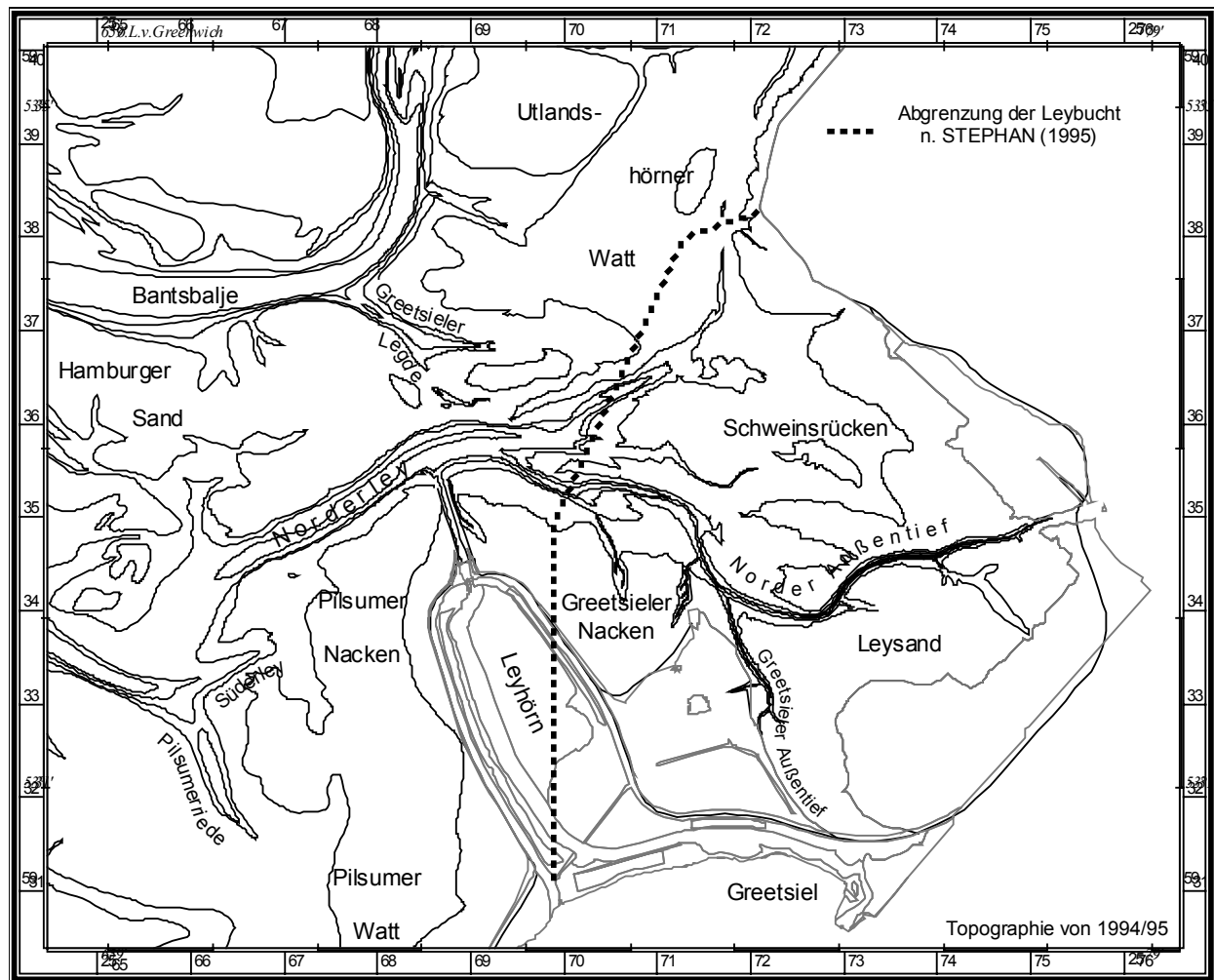


Abb. 1: Übersicht des Untersuchungsgebietes

3 Methodik

3.1 Kartenmaterial

Die bisherigen Auswertungen der morphologischen Entwicklung in der Leybucht beruhen auf den Topographischen Wattkarten der Forschungsstelle Küste (Anlagen 1 u. 2) aus den Jahren 1960 und 1972 (1: 25.000), 1990 und 1994/95 (1:10.000) sowie der KFKI-Karte von 1975 (1:25.000). Aktualisiert wird dieser Kartenbestand durch eine Flächenaufnahme der Leybucht durch die Forschungsstelle in den Jahren 1998/99. Mit dieser Neuvermessung ist es möglich, die von STEPHAN (1995) aufgestellte Prognose zur weiteren morphologischen Entwicklung der Leybucht zu überprüfen.

Für die sedimentologischen Untersuchungen liegen Sedimentverteilungskarten aus den Jahren 1983 (RAGUTZKI 1984), 1989 (RAGUTZKI & OTTEN 1991) und 1995/96 (MEYER 1999) vor. 1989 wurde aufgrund der damaligen Fragestellung nicht die gesamte Leybucht kartiert. Dies betrifft den größeren Teil von Leysand und den Bereich östlich vom Schweinsrücken.

3.2 Datenaufbereitung

LIEBIG & PUSCHMANN (1995) haben im Rahmen der Beweissicherung Leybucht die fachübergreifende Dokumentation von Daten mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) vorgestellt und die Möglichkeiten, Daten mit Hilfe eines GIS informativ aufzubereiten, zu analysieren und darzustellen, aufgezeigt. Diese Möglichkeiten werden in dem vorliegenden Endbericht umgesetzt, so dass alle Arbeitsschritte - von der Datenübernahme über die Auswertung bis hin zur Präsentation - GIS-gestützt erfolgten.

3.3 Fehlerbetrachtung

Neben möglichen Ungenauigkeiten, die auf die Originalstruktur der Vermessungsgrundlage zurückzuführen sind (Darstellungsmaßstab, Verzerrung der Kartengrundlage, Messmethode/-genauigkeit, Datendichte), birgt die Bearbeitung der Daten im GIS weitere Fehlerquellen. Während der Fehler, der durch unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe, durch Verzerrungen der Kartenvorlage und beim Arbeiten am Digitalisierbrett entsteht, quantitativ nicht zu fassen ist, lässt sich die Fehlerquote, die aus der Datenbearbeitung im GIS resultiert, größenordnungsmäßig bestimmen. Dabei kann auf aktuelle Arbeiten der FSK zurückgegriffen werden, in denen genau diese Problematik untersucht wurde (JETZES & STEPHAN 1999; MEYER & STEPHAN 2000).

Bevor Flächen-, und Volumenberechnungen durchgeführt werden können, müssen aus dem in Form von Isolinen vorliegenden Kartenmaterial mittels Dreieckvermaschung dreidimensionale Modelle generiert werden. (Anlage 3 u. 4). Aus diesen TIN's (Triangulate Irregular Network) lassen sich dann in einem weiteren Schritt gleichmäßige Raster mit konstanter Maschenweite (GRID) berechnen, die für Differenzberechnungen benötigt werden.

Bei diesen Umwandlungsroutinen treten nun Fehler auf, die allein auf den Rechenalgorithmus zurückzuführen sind: Im Gegensatz zu Punktteilungen, bei denen durch die einzelnen Punktdaten direkt explizite Knotenpunkte vorgegeben sind, werden die Isolinen abschnittsweise unterteilt und miteinander vermascht, um ein TIN zu erzeugen. Bei stark gekrümmten Verlauf der Isolinen setzt sich ein Dreieck aus Eckpunkten gleicher Tiefeninformation zusammen, so dass eine ebene Fläche interpoliert wird. Die Tiefe in diesem Dreieck wird dabei über- oder unterschätzt. Vergleichsberechnungen von Vermessungen aus dem selben Jahr, die zum einen als Punktinformationen, zum anderen als Liniendarstellung vorliegen, führen zu folgendem Ergebnis (MEYER & STEPHAN 2000; S. 9): *„Wird das Volumen für TIN_Punkt gleich 100% gesetzt, da hier die größte Datendichte vorliegt, ergibt sich zwischen NN±0m bis NN-6m für das TIN_Linie ein um 1-2% größeres, für den Bereich darunter ein um knapp 1% (NN-7m) bis 8% (NN-10m) kleineres Volumen. Bei der Flächenberechnung liegt die Abweichung ... für das TIN_Linie ... gegenüber dem TIN_Punkt bei +3%, wobei maximal Werte bis absolut 7% auftreten können ...“*

4 Morphologische Veränderungen

Detaillierte Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung in der Leybucht im Zusammenhang mit dem Bau des "Leyhörn" liegen von STEPHAN bereits aus den Jahren 1984, 1991 und 1995 vor. Auf diese Arbeiten wird an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen, da die von STEPHAN beschriebenen Erkenntnisse zur morphologischen Entwicklung in der hier vorliegenden Arbeit aufgegriffen und aktualisiert, sowie die daraus abgeleiteten Prognosen überprüft und ggf. korrigiert werden. Dabei ist aber zu beachten, dass den aktuellen Untersuchungsergebnisse GIS-basierte Analysen zugrunde liegen, die insbesondere bei Massenberechnungen aufgrund der höheren Auflösung im 3D-Modell zu etwas anderen Werten führen.

4.1 Entwicklung der Rinnenstrukturen

Die Süderley, über die bis 1960 die Leybucht entwässerte, verliert ihre Funktion als Hauptvorfluter. Sie zeigt über die Jahre – auch bereits vor dem Bau des „Leyhörn“ - starke Auflandung, so dass die Süderley bereits 1995 nur noch andeutungsweise ausgebildet ist (Anl. 6, Prof. 1).

Bereits im Zustand 1972 wird die Leybucht nun im wesentlichen über die Norderley geflutet und entleert. Über fast den gesamten Verlauf der Norderley kommt es deshalb zwischen 1960 und 1972 zu einer sprunghaften Tiefenzunahme von NN-4m auf NN-5m. Seit 1972 bewirkt dann aber der abnehmende Flutspeicherraum als Folge der fortschreitenden Sedimentationsprozesse in der Leybucht eine Verringerung des Stromarbeitsvermögen, so dass es wieder zu einer Querschnittsabnahme und Verflachung der Norderley kommt. Die Vermessung von 1999 zeigt, dass nur noch in zwei kleinen Teilabschnitten der Norderley Tiefen von NN-5m auftreten.

Insgesamt zeigt die bogenförmig um das Leyhörn verlaufende Norderley eine kontinuierliche NW-Verlagerung, die im Scheitelpunkt auf Höhe des Außentiefs etwas mehr als 300m beträgt (Anl. 6, Profil 2). Da hier das Außentief in den Gleithangbereich der Norderley einmündet, muss sich der Sielzug über eine zunehmend weitere Strecke ohne Stützung und Schutz der Leitdämme gegen die morphodynamischen Gestaltungsabläufe in der Norderley durchsetzen (s. auch Kap. 5.3).

Eine deutliche Veränderung zeigt sich zwischen 1995 und 1999 im Mündungsbereich der Norderley. Verschwenkte sie bis 1995 hier noch deutlich nach Süden und folgte damit den alten Strukturen der Süderley, verläuft die Norderley 1999 nunmehr nahezu geradlinig nach Nordwesten und geht in die Ley über (Anl. 4). Die Pilsumerriede, eine Flutstromrinne, die sich nach dem Bau des „Leyhörn“ infolge des veränderten Wasseraustausches auf dem Pilsumer Watt entwickelt hatte und seitdem durch Tiefenzunahme gekennzeichnet ist, scheint sich infolge der erneuten Änderung im Strömungsregime wieder zurückzuentwickeln.

Die Bantsbalje zeichnet sich durch hohe Lagestabilität aus. Dort, wo sie aus der W-O- in die N-S-Richtung umschwenkt, kommt es durch Prallhangerosion zu einer Abnahme des Krümmungsradius und einer Westverlagerung (ca. 3m/a). Diese Veränderungen lassen sich zwanglos durch die natürliche Dynamik erklären und lassen keine Bauwerkseinflüsse erkennen.

Norder Außentief und Greetsieler Außentief zeigen seit 1960 eine kontinuierliche Querschnittsabnahme. Nach Deichschluss bei Greetsiel im August 1991 hat sich diese Entwicklung im Greetsieler Außentief beschleunigt, so dass die Verschlickung noch zugenommen hat (Anl. 7 u. 8). Die gleiche Entwicklung ist jetzt auch im Norder Außentief und Umgebung zu erwarten, nachdem im Oktober 2000 das letzte Teilstück des Störtebecker-Deichs fertiggestellt wurde. Durch die Verlagerung der Binnenentwässerung zum Leyhörn wird nun auch im Norder Außentief nur noch das aus den Tideströmungen resultierende Stromarbeitsvermögen wirksam. Die Auflandung wird sich in beiden Außentiefs bis auf kleine Restquerschnitte beschleunigen. Eine weitere Konsequenz wird ferner sein, dass auch für die Norderley mit einer weiteren Querschnittsabnahme zu rechnen ist.

Von erheblicher Bedeutung für die weitere morphologische Gestaltung der Leybucht könnte die Entwicklung der Greetsieler Balje werden. Es handelt sich um einen von der Bantsbalje nach SO in Richtung Norderley verlaufenden Priel, der in seinen Anlagen bereits seit 1972 existiert (Anl. 4). Aber erst seit 1990, nach Fertigstellung des Bauwerks, entwickelt sich die Greetsieler Legde zu einer sich kontinuierlich vertiefenden Rinne (Anl. 9, Prof. 8), die immer weiter nach SO vorstößt. Bleibt dieser Entwicklungstrend weiter bestehen, ist zu erwarten, dass die Tide mittelfristig nicht mehr über die Norderley ein- und ausströmt. Vielmehr wird der Wasseraustausch in der Leybucht dann über die Greetsieler Legde hin zur Bantsbalje erfolgen. Als Folge davon ist eine rasche Auflandung der Norderley zu erwarten, da sie ihre Funktion als Hauptvorfluter verlieren würde. Eine Folge dieser Entwicklung wäre, dass mit Störungen beim Sielbetrieb zu rechnen ist.

4.2 Entwicklung des Wattniveaus

Die Leybucht ist gekennzeichnet durch langandauernde Wathöhenzunahme und Anwuchs der Vorlandkante. Dass diese Prozesse in Zeit und Raum naturgemäß weder stetig noch gleichmäßig verlaufen, verdeutlichen die Anl. 10-13. Hierzu wurde aus den TIN's der einzelnen Jahre je ein Gitternetz (GRID) mit einer Maschenweite von 25m berechnet. Durch Subtraktion der GRID's von jeweils zwei Jahrgängen lässt sich die Entwicklung des Wattniveaus über die Zeit mit hoher räumlicher Auflösung aufzeigen. Da bei den Vermessungen unterschiedlich große Flächen erfasst wurden, sind in den Abbildungen entsprechend auch nur die zwischen zwei Jahren deckungsgleichen Bereiche dargestellt.

Statistische Abfragen geben dann Auskunft über das mittlere Wattniveau h_m eines Jahre bzw. die mittlere Höhenzunahme Δh_m zwischen zwei Vermessungszuständen. Diese Mittelwertbildung wurde mehrfach durchgeführt, wobei der Berechnung unterschiedlich große Flächen zugrunde liegen. In den Anlagen 10-13 finden sich Angaben zur mittleren Höhenänderung, die sich auf die jeweils dargestellten und somit unterschiedlich großen Flächen beziehen. Diese in Klammern gesetzten Werte vermitteln einen ersten Eindruck von den im Mittel aufgetretenen Höhenänderungen. In Relation zueinander können diese Werte aber nicht gesetzt werden, da ihnen ein einheitlicher Flächenbezug fehlt.

Bleibt die Berechnung auf Teilgebiete beschränkt, die in allen Vermessungsjahren flächendeckend erfasst wurden, so können die daraus abgeleiteten mittleren jährlichen Sedimentationsraten $\Delta h_m/J$ verglichen werden. Zum einen wurde - in Anlehnung an die Arbeiten von

HOMEIER (1974) und STEPHAN (1995) - die eigentliche Leybucht ausgewählt, wobei die seewärtige Grenze der gepunkteten Linie in Abb.1 folgt und damit der Abgrenzung der Leybucht gegen das Vorfeld Süd, Mitte und Nord von HOMEIER bzw. STEPHAN entspricht. Zum anderen wurde eine Fläche gewählt, die in den Abbildungen durch die gepunktete Linie eingerahmt wird und – mit Ausnahme von 1983 - der größten gemeinsamen Fläche der Vermessungen von 1960 bis 1999 entspricht. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1: Verlandungstendenz in der Leybucht

	Leybucht			Größte gemeinsame Fläche		
	h_m [mNN]	Δh_m [cm]	$\Delta h_m / J$ [cm]	h_m [mNN]	Δh_m [cm]	$\Delta h_m / J$ [cm]
1960	0.19	+21	+1.8	-0.75	+17	+1.5
1972	0.40	+8	+2.7	-0.58	+12	+4.0
1975	0.48	+2	+0.3	-0.46	(+10)	(+1.3)
1983	0.50	+11	+1.6	(-0.36)	(+1)	(+0.1)
1990	0.61	+1	+0.2	-0.35	+22	+4.4
1995	0.62	+11	+2.8	-0.13	+3	+0.8
1999	0.73			-0.10		

Wird die Veränderung des mittleren Wattniveaus h_m über die Zeit graphisch aufgetragen, so lässt sich durch Extrapolation ein Endzustand der völligen Verlandung ($h_m \sim +1.25\text{mNN}$) prognostizieren. Eine solche Prognose wurde erstmals von HOMEIER (1974) aufgestellt, der bei Annahme fortgesetzter Landgewinnungsarbeiten diesen Endzustand für das Jahr 2000 erwartete. Bei gleichen Randbedingungen ermittelte REINECK (1980) als frühesten Termin für eine Verlandung der Leybucht das Jahr 2016. Bei einem Verzicht auf Landgewinnungsmaßnahmen vermuten sie allerdings als frühesten Zeitpunkt einer völligen Verlandung das Jahr 2100 (REINECK, 1980) bzw. 2120 (HOMEIER, 1974). STEPHAN (1984) greift die Untersuchungen von HOMEIER (1974) auf, ergänzt die Werte aus den Vermessungsjahren 1975, 1980 und 1983 und ermittelt dann den Schnittpunkt einer Ausgleichsgeraden mit der NN+1.25m-Linie für das Jahr 2015. Die Vermessungen aus den Jahren 1990 und 1995 und die Tatsache, dass Maßnahmen der Landgewinnung eingestellt wurden, veranlassen STEPHAN (1995) später dazu, die weitere Entwicklung des mittleren Wattniveaus nicht mehr als stetig zu betrachten. Unter diesen Bedingungen ist eine vollständige Verlandung der Leybucht nach 2040 zu erwarten (Abb. 2).

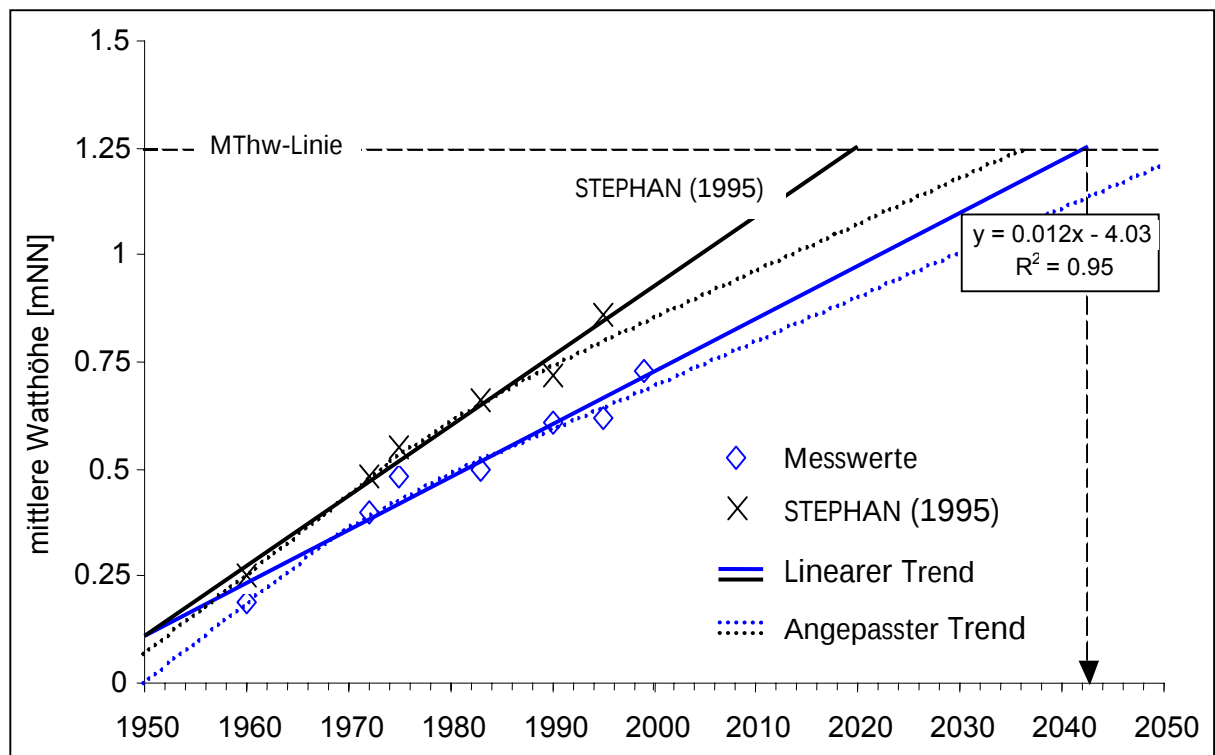


Abb. 2: Verlandungstendenzen in der Leybucht

Die letztlich auf der Grundlage der digitalen Geländemodelle neu berechneten Werte der mittleren Watthöhe für die sieben vermessungstechnisch erfassten Zustände zwischen 1960 und 1999 machen deutlich, dass h_m bei den älteren, nach planimetrischen Verfahren durchgeführten Berechnungen überschätzt wurde. Es wird aber auch deutlich, dass das Leyhörn das Sedimentationsgeschehen zwischen 1983 und 1990 im Mittel nicht wesentlich beeinflusst hat, wenngleich es im Nahbereich des Bauwerks zu verstärkter Sedimentablagerung gekommen ist (Anl. 11). Unter der Annahme, dass das mittlere Wattniveau gleichmäßig ansteigt, wäre die vollständige Verlandung der Leybucht nach dem Jahr 2040 zu erwarten. Eine Annahme, die in Anbetracht einer mittleren jährlichen Sedimentationsrate von 2.8 cm zwischen 1995 und 1999 sowie der Durchdeichung des Norder Außentiefs Ende 2000 und der damit zu erwartenden verstärkten Aufschlickung durchaus realistisch erscheint und nicht zuletzt durch ein Bestimmtheitsmaßes von $r^2=0.95$ ($n=6$) statistisch gestützt wird (Abb. 2). Zum Vergleich sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Messwerte von STEPHAN (1995) mit $r^2=0.98$ ($n=6$) durch eine Ausgleichsgerade sogar noch mit einer etwas höheren Genauigkeit wiedergegeben werden. Der Schnittpunkt dieser Ausgleichsgeraden mit der NN+1.25m-Linie würde dann zu der Prognose führen, dass die Verlandung der Leybucht im Jahr 2020 ihren Abschluss findet. Würde man auf der anderen Seite davon ausgehen, dass die durch die neu berechneten h_m -Werte gelegte Trendlinie nicht linear verläuft, sondern sich künftig eine geringere jährliche Sedimentationsrate einstellt, so wäre der Endzustand der Verlandung etwa 2055 erreicht.

Außer Acht gelassen wurde bei diesen Prognosen bisher die Tatsache, dass es durch den säkularen Meeresspiegelanstieg zu einer Veränderung im MThw kommt: Während für die Vermessungsjahrgänge 1960 bis 1983 ein langjähriges Mittel von NN+1.25m für das MThw mit ausreichender Genauigkeit den Berechnungen zugrunde gelegt werden kann, muss für den nachfolgenden Zeitraum bis 1999 im Mittel mit einem erhöhten MThw von NN+1.3m

gerechnet werden. Langfristige Änderungen im MTnw sind leider sehr unzulänglich dokumentiert. Der über den Zeitraum von 1992 bis 1999 gemittelte Wert für das MTnw liegt bei NN-1.45m. Für weiterführende Berechnungen (vgl. Kap. 4.3) wird deshalb von einem langjährigen mittleren MTnw von NN-1.5m für den Zeitraum bis 1983, und von NN-1.45m für den nachfolgenden Zeitraum bis 1999 ausgegangen.

In Anbetracht des sich stetig erhöhenden MThw-Spiegels verschiebt sich naturgemäß auch der Schnittpunkt einer extrapolierten Ausgleichsgerade mit der MThw-Linie. Für die zeitliche Prognose einer vollständigen Auflandung der Leybucht dürfte diese MThw-Entwicklung eine Verzögerung von etwa einem Jahrzehnt bedeuten.

4.3 Veränderungen von Flutraum und Sedimentvolumen

Über einen Zeitraum von 39 Jahren (1960 – 1999) wurden in der Leybucht auf einer Fläche von 29.4 km² knapp 15 Mio. m³ Sediment abgelagert; dies entspricht einem Zuwachs von 23%. Ein Prozess, der zwischen 1960 und 1975 von 64.7 Mio. m³ auf 73.1 Mio. m³ mit einer mittleren jährlichen Volumenzunahme von über einer halben Million Kubikmeter Sediment erst rasch voranschreitet, sich dann aber bis 1995 (77.1 Mio. m³) mit durchschnittlich nur noch 0.2 Mio. m³/J deutlich verlangsamt, um schließlich zwischen 1995 und 1999 (79.5 Mio. m³) mit einem Sedimenteintrag von über 0.6 Mio. m³/J wieder verstärkt einzusetzen (Tab. 2).

Tab. 2: Entwicklung des Sedimentvolumen in der Leybucht oberhalb definierter Tiefenstufen

	NN-200	NN-150	NN-100	NN-50	NN+/-0	NN+50
	[m ³ x 10 ⁶]					
1960	64.7	50.4	36.6	23.7	12.6	5.1
1972	70.7	56.2	41.9	28.2	15.8	7.0
1975	73.1	58.6	44.3	30.6	17.9	8.2
1983	73.4	58.9	44.7	31.0	18.5	8.9
1990	76.9	62.4	48.0	34.1	21.3	10.9
1995	77.1	62.4	47.9	33.9	20.9	10.3
1999	79.6	65.0	50.7	36.6	23.3	11.7

Mit 6.6 Mio. m³ kommen etwa 45% dieser Sedimentmassen im Bereich oberhalb von NN+0.5m zur Ablagerung, entsprechend einem Volumenzuwachs um ca. 130% auf 11.7 Mio. m³. Gleichzeitig erfährt dieser Bereich ein Flächenzuwachs von ehemals 9.9 km² (1960) auf 18.8 km² (1999). Von den verbleibenden 8.2 Mio. m³ Sediment entfallen 4.1 Mio. m³ auf den Tiefenhorizont zwischen NN und NN+0.5m (27%), 2.3 Mio. m³ (15%) bzw. 1.1 Mio. m³ (7%) auf die beiden nachfolgenden 0.5m-Tiefenstufen. Die verbleibenden 0.74 Mio. m³ Sediment wurden unterhalb von NN-1m abgelagert (Abb. 3). Die Anlagen 14-17 vermitteln einen Eindruck, wie der Überflutungsraum von diesen Sedimentakkumulationen geformt wird.

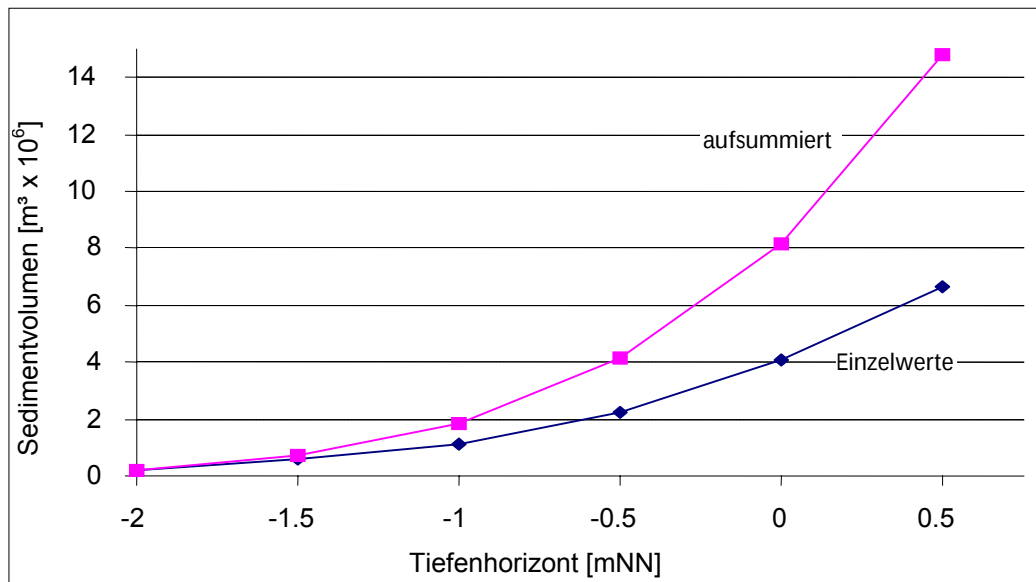


Abb. 4: Entwicklung des Sedimentvolumens in der Leybucht

Die Entwicklung des Flutspeicherraum, definiert als Volumen zwischen MTnw und MThw, verläuft naturgemäß gegenläufig. Er nimmt bis 1975 um 27% auf 22.3 Mio. m^3 ab, reduziert sich bis 1995 um weitere 8% auf 20 Mio. m^3 , und umfasst 1999 mit 16.6 Mio. m^3 nur noch 54% des ursprünglichen Volumens (Abb. 4).

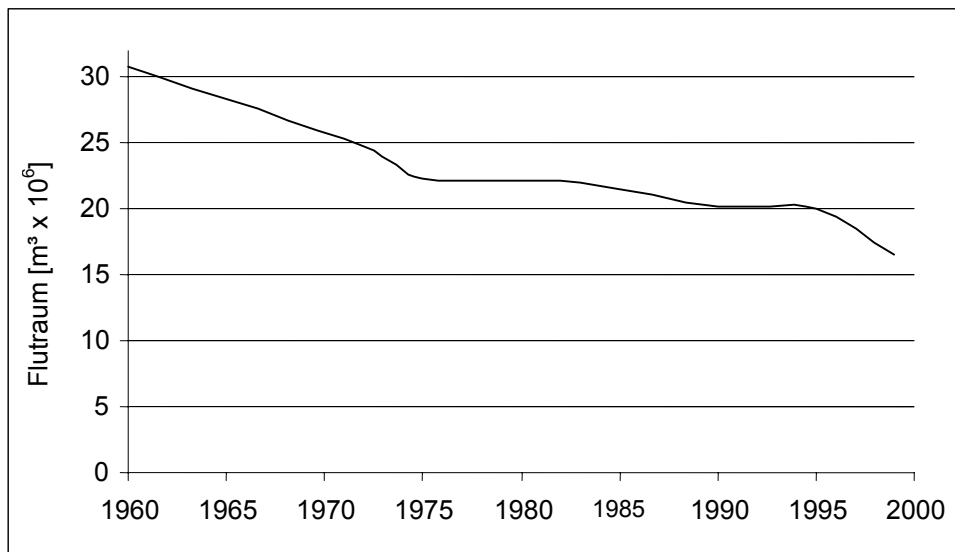


Abb. 3: Entwicklung des Flutspeicherraums

5 Sedimentologische Veränderungen

5.1 Verteilung der Oberflächensedimente

Die Einteilung der Sedimente folgt dem Klassifizierungsschema von RAGUTZKI (1982). Demnach wird unterschieden zwischen

hellen Sandwatten (Sand):	Kornfraktion kleiner 0.063mm	< 8%
dunklen Sandwatten (Schlicksand):	-, -	8-12%
Mischwatten (sandiger Schlick):	-, -	12-40%
Schlickwatten (Schlick):	-, -	> 40%

Davon abweichend sind Sedimente mit einem Schluffanteil unter 40% auch dann als Schlickwattsedimente einzustufen, wenn der Tonanteil (Fraktion < 2µm) über 8% liegt oder der Gehalt an organischer Substanz (ermittelt als Glühverlust) auf über 4% steigt. Dann bekommen die Sedimente einen so bindigen Charakter, dass sie als Schlicke anzusprechen sind.

Die Verteilung der Sedimente in der Leybucht lassen sich für die einzelnen Jahre wie folgt zusammenfassen:

1983 (vor dem Bau; Anl. 18)

Pilsumer Watt: Hier zeigt sich die typische Dreigliederung in Sand-, Misch- und Schlickwatt in Richtung auf die MTnw-Linie.

Greetsieler Nacken: Eine Dreigliederung bleibt zwar erhalten, ist aber nur noch undeutlich erkennbar. Das Misch- und Schlickwatt dehnt sich nach Nordwesten aus.

Schweinsrücken: Mischwatten treten flächenmäßig in den Vordergrund. Schlickablagerungen beschränken sich im wesentlichen auf die nähere Umgebung der Lahnungsfelder und auf den Randbereich des Norder Außentiefs.

Leysand: Trotz seines Namens sind die Sedimente auf dem Leysand weder als Sand noch als schlickiger Sand zu klassifizieren. Vielmehr kommen hier ausgeprägt schlickige Sedimente zur Ablagerung, die nur in einem kleinen Teilbereich dem Mischwatt zuzuordnen sind.

1989 (nach Abschluss der Vordeichung; Anl. 18)

Pilsumer Watt: Flächenmäßig ist Schlickwatt am weitesten verbreitet, geht aber mit zunehmendem Abstand vom Deckwerk in Mischwatt über. Die im Westen durch den Kartenrand abgeschnittenen kleinen Sandwattflächen lassen auch nach Fertigstellung von Leyhörn eine Dreigliederung des Pilsumer Wattes vermuten.

Greetsieler Nacken: Schlickige Ablagerungen sind weit verbreitet und werden nur im Norden von Sedimenten der Misch- und Sandwattzone verdrängt.

Schweinsrücken: Für den nur partiell erfassten Bereich des Schweinsrückens ist die Gliederung in Sand-, Misch- und Schlickwatt charakteristisch, die durch die deutlichen Übergänge von hellen zu dunklen Sanden noch hervorgehoben wird. Abweichend davon treten Schlickwattsedimente auch im Randbereich des Norder Außentiefs auf.

Leysand: Auf dem Leysand sind nur schlickige Sedimente anzutreffen. Allerdings wurde nur ein Drittel der Fläche von der Kartierung erfasst.

1995/96 (Anl. 19)

Pilsumer Watt: Die typische Dreigliederung in Schlick-, Misch- und Sandwatt ist deutlich erkennbar. Für den dargestellten Kartenausschnitt sind ausgedehnte Schlick- und Mischwattgebiete charakteristisch.

Greetsieler Nacken: Mit der Übergangszone in etwa auf Höhe der Spitze von Leyhörn baut sich der Greetsieler Nacken aus schlickigen Sedimenten im Süden und Schlicksand im Norden auf.

Schweinsrücken: Helles und dunkles Sandwatt sowie Mischwatt bestimmen das Bild auf dem Schweinsrücken. Schlickwatt tritt in einem langgestreckten Streifen vor allem entlang des Norder Außentiefs auf.

Leysand: Dieser Bereich wird vollständig von Schlicksedimenten bedeckt.

5.2 Veränderungen im Verteilungsmuster

Um die Veränderungen im Verteilungsmuster der Sedimente während des betrachteten Zeitraumes nach Art, Umfang und Lage exakt darstellen zu können, wurden die Sedimentkarten folgendermaßen miteinander verknüpft: Durch eine im GIS als „Verschneidung“ bezeichnete Rechenoperation werden die Flächen zweier Jahre in der Form kombiniert, dass sich neue Teilflächen mit den Eigenschaften aus den Ursprungsflächen beider Jahre ergeben. Da nur Flächen von Interesse sind, die auch in den beiden Jahren durch die Sedimentkartierung erfasst wurden, ist die Ausdehnung der Verschnittflächen nach der Rechenanalyse geringer. Das Ergebnis der Verschneidung der Sedimentkarten von 1983 mit der von 1989 und 1995/96, bzw. von 1989 mit der von 1995/96 zeigen die Anl. 20 u. 21. Damit lassen sich die Veränderungen im Detail erkennen und durch Datenbankabfragen größenordnungsmäßig erfassen (Tab. 3).

Allerdings werden aufgrund der Informationsvielfalt allgemeine Entwicklungstendenzen im Verteilungsmuster der Sedimente nur wenig ersichtlich. Es wurde deshalb in einem nächsten Schritt eine Generalisierung vorgenommen, so dass - unabhängig vom tatsächlichen Sedimenttyp – nur noch zwischen Flächen unterschieden wird, die sich entweder nicht verändert haben (grau) oder für die sich eine Zunahme (rot) oder Abnahme (blau) des Feinkornanteils nachweisen lässt. Die Farbsättigung ist ein Maß für die Intensität der Veränderungen (Anl. 22 u. 23).

Pilsumer Watt: Fast der gesamte Bereich des Pilsumer Watts ist durch eine Zunahme des Feinkornanteils gekennzeichnet. Im nördlichen Teil ist im Schutze des sich etwa vier Kilometer nach NNW erstreckenden Bauwerks die Zunahme feiner Korngrößen besonders ausgeprägt, während im südlichen Teil nur wenig Veränderung, teilweise sogar ein Rückgang des Feinkornanteils festzustellen ist. Diese Entwicklung entspricht den Erwartungen über die langfristige Auswirkung der baulichen Eingriffe aufs Pilsumer Watt. Demnach wurde hier die Entstehung eines kleinflächigen Buchtenwattes erwartet (RAGUTZKI 1984).

Greetsieler Nacken: Erwartungsgemäß kommt es auf dem durch das Leyhörn deutlich geschützteren Greetsieler Nacken verstärkt zur Ablagerung feiner Sedimente. Der Bereich zwischen Leyhörn und Bohrinseldamm wird unverändert von schlickigem Material aufgebaut. Auffällig ist der stellenweise deutliche Rückgang des Feinkornanteils im Norden des Greet-

sieler Nackens zwischen 1983 und 1989. Hier ist ein Zusammenhang mit der Zusammenlegung von Süder- und Norderley zu vermuten; Strömung und Seegang konzentrieren sich auf eine Rinne, woraus eine höhere hydrodynamische Belastung resultiert. Zudem weisen geodätisch-morphologische Untersuchungen darauf hin, dass sich zum einen infolge des veränderten Pilsumer Watteinzugsgebietes im Wurzelbereich der Ley verstärkt eine Flutstromrinne ausbildet, sich zum anderen die Greetsieler Legde vertieft hat und somit ein verstärkter Wasseraustausch der Leybucht zur Bantsbalje anzunehmen ist (RAGUTZKI & STEPHAN 1991).

Tab. 3: Prozentuale Veränderungen im Verteilungsmuster der Sedimente

	[%]		
	1983-1989	1989-1995	1983-1995
helles Sandwatt, unverändert	2.3	1.7	2.5
dunkles Sandwatt, unverändert	5.1	4.8	2.2
Mischwatt, unverändert	13.0	14.0	18.0
Schlickwatt, unverändert	26.5	45.5	29.2
helles -> dunkles Sandwatt	1.3	4.4	4.9
helles Sandwatt -> Mischwatt	1.7	1.5	2.9
helles Sandwatt -> Schlickwatt	3.7	0.3	1.1
dunkles -> helles Sandwatt	0.4	1.1	0.4
dunkles Sandwatt -> Mischwatt	1.9	8.1	3.9
dunkles Sandwatt -> Schlickwatt	5.5	1.0	2.9
Mischwatt -> helles Sandwatt	4.6	0.2	1.5
Mischwatt -> dunkles Sandwatt	8.9	2.9	9.4
Mischwatt -> Schlickwatt	24.4	2.2	18.0
Schlickwatt -> helles Sandwatt	<0.1	0.5	<0.1
Schlickwatt -> dunkles Sandwatt		1.6	
Schlickwatt -> Mischwatt	0.6	10.3	3.2

Schweinsrücken: Im Gegensatz zu den anderen morphologischen Einheiten der Leybucht ist für den Schweinsrücken der großflächige Verlust der Feinkornfraktion mit einer in Richtung auf den Deich abnehmenden Intensität kennzeichnend. Als Ursache dürfte auch hier die bereits im vorherigen Absatz genannten Veränderungen der hydrodynamisch-morphologischen Bedingungen zu nennen sein.

Leysand: Auf dem Leysand wird der letzte von Schlicksanden aufgebaute Bereich wird verdrängt. Damit wird der Leysand einheitlich von Schlicksedimenten bedeckt.

Tab. 4: Verteilung der Oberflächensedimente in der Leybucht

	1983 [km²]	1995 [km²]	1983 [%]	1995 [%]
helles Sandwatt	2.6	1.0	11.6	4.4
dunkles Sandwatt	2.1	3.7	9.5	16.4
Mischwatt	10.3	6.4	46.0	28.0
Schlickwatt	7.4	11.7	32.9	51.2

Insgesamt wird mit etwa 4.7 km² ein unverändert großer Bereich der Leybucht von den Sandwatten aufgebaut. Dies entspricht einem Flächenanteil von gut 20%. Allerdings ist eine deutliche Verschiebung von den hellen, hin zu den dunklen Sandwatten zu beobachten (vgl. Tab. 4). Stellten die Mischwatten 1983 mit einer Ausdehnung von über 10km² noch 46% der Oberflächensedimente, so finden sie sich 1996 nur noch auf 28% der erfassten Fläche. Mit über 50% dominieren 1996 die Schlickwattzonen, die 1983 noch einen Anteil von gut 30% hatten.

5.3 Sedimenteintreibungen ins Außentief

Sedimenteintreibungen in das Außentief „Leyhörn“ waren Anlass, Art und Verteilung der Sedimente im Mündungsbereich und im Außentief zwischen Schleuse und Leitdammkopf durch die Entnahme von 41 Greiferproben entlang von 12 Profilen Ende Oktober 1995 zu bestimmen. Die Profile A-I sind WSW-OSO orientiert und liegen parallel zueinander in einem Abstand von etwa 100 m. Hierzu rechtwinklig verlaufen die Profile K-M. Während die Sedimentproben 0-15 sowie 40-45 (Profile A-D) aus der Norderley stammen, liegen die übrigen Proben innerhalb des Außentiefs (Anl. 24).

Auch wenn das Korngrößenspektrum z.T. erheblich variiert, sind fast alle Proben bei Massenanteilen von mindestens 40% für die Fraktion <0.063mm den Schlicksedimenten zuzuordnen (Anl. 25). Lediglich bei fünf Proben (1, 5-8), die aus dem Bereich des Prallhanges oder unmittelbarer Nähe stammen, ist der Prozentsatz für diese Korngrößenklasse geringer. Wird außer Acht gelassen, dass nach Ragutzki (1982) auch diese Proben aufgrund von C_{org}-Gehalten über 4% als reine Schlicke einzustufen sind, so handelt es sich zumindest um sandige Schlicke. Die granulometrischen Analysen für die Proben aus der Norderley und im Mündungsbereich bringen deutlich zum Ausdruck, dass ein sehr hohes Sedimentangebot auch bei den feinen Kornfraktionen besteht. Das Sediment wird mit dem Tidestrom in das Außentief transportiert, wo in ruhigen Bereichen besonders die Schluff- und Tonanteile abgelagert werden. Sedimenteinträge über einen leitdammparallelen Priel auf der östlichen Seite dürften von untergeordneter Bedeutung sein.

Aufgrund des hohen Sedimentangebotes ist davon auszugehen, dass bauliche Maßnahmen nur einen geringen Einfluss auf den Umfang der Sedimenteintreibungen in das Außentief haben. Dennoch ist aus folgenden Überlegungen eine Fixierung des Prallhanges durch eine Querbuhrne auf der Höhe des Außentiefs sinnvoll: Bei einer weiteren Verlagerung des Gleithanges müsste sich der Sielzug über eine immer größer werdende Strecke ohne Stützung und Schutz durch Leitdämme gegen die morphologischen Gestaltungsvorgänge in der Norderley durchsetzen. Je weiter aber der Gleithang nach Norden vorrückt, desto stärker wird sich der Mündungsbereich trichterförmig aufweiten. Der Abfluss würde dann zunehmend flächenhaft erfolgen und das Stromarbeitsvermögen des Sielzuges in diesem Bereich zurückgehen. Die Folge wäre eine Tiefenabnahme und die Tendenz zur Mäanderbildung.

Um im Außentief die für die Fahrinne erforderliche Mindesttiefe erhalten zu können, werden auch weiterhin Baggerungen erforderlich werden. Das Stromarbeitsvermögen des Sielzuges ließe sich dadurch erhöhen, dass das Speicherbecken für den Spülbetrieb genutzt wird. Hier stellt sich dann natürlich die Frage, ob und in welchem Ausmaß eine Beeinflussung von Flora und Fauna durch schwebstoffbelastetes Salzwasser zugelassen werden soll oder kann, und damit nicht zuletzt die Frage nach der Bewirtschaftungsform des Speicher-

beckens. Zumindest in Zeiten extrem niedriger Oberwasserabflüsse könnte durch den Spülbetrieb einer raschen Querschnittsabnahme im Außentief entgegengewirkt werden.

Um eine Gefährdung des Leitdammes durch einen parallel verlaufenden Priel auszuschließen – mit einer Reduzierung von Sedimenteintreibungen als Nebeneffekt – ist es sinnvoll, diesen Priel etwa 50 m vor dem Leitdammkopf durch eine Querbuhne – vielleicht in Form eines sandgefüllten Gewebes Schlauches - abzudrängen.

Auf eine morphologische Entwicklung, die bereits in Kap. 4.1 Erwähnung findet, soll an dieser Stelle noch einmal eingegangen werden, da sie mittel- bis langfristig Art und Umfang der Sedimenteintreibungen in das Außentief beeinflussen könnte: Durch den verstärkten Wasseraustausch zwischen Leybucht und Bantsbalje hat sich die Greetsieler Legde vertieft. Schreitet diese Entwicklung weiter fort, wie es sich in den Vermessungen von 1998/99 abzeichnet, so könnte die Norderley ihre Funktion als Hauptstromrinne verlieren und das Außentief in die Greetsieler Legde entwässern. Damit würde sich nicht zuletzt das gesamte Sedimentationsgeschehen in diesem Bereich erheblich verändern.

6 Zusammenfassung

Auf der Grundlage topographischer Karten aus den Jahren 1960, 1972, 1975, 1990, 1995 und 1999 wird die morphologische Entwicklung in der Leybucht aufgezeigt und untersucht, ob eine Beeinflussung durch das Bauwerk „Leyhörn“ nachzuweisen ist. Die Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Süderley verliert zwischen 1960 und 1972 die Funktion des Hauptvorfluters und verlandet so stark, dass sie 1999 nur noch andeutungsweise ausgebildet ist.
- Seit 1972 entwässert die Leybucht über die Norderley, die nach sprunghaften Tiefenzunahmen zwischen 1960 und 1972 wieder verflacht und durch Querschnittsabnahme gekennzeichnet ist.
- Auf dem Pilsumer Watt hat sich infolge des „Leyhörn“ eine Flutstromrinne, die Pilsumerriede gebildet, die sich aber zwischen 1995 und 1999 wieder zurückentwickelt. Als Ursache hierfür ist die Verlagerung der Norderley im Mündungsbereich zu nennen.
- Norder und Greetsieler Außentief zeigen zwar bereits seit 1960 eine kontinuierliche Querschnittsabnahme, die aber im Rahmen der Baumaßnahmen durch den Deichschluss bei Greetsiel (August 1999) und Leybuchtsiel (Oktober 2000) stärker voranschreitet. Damit ist in beider Außentiefs nur noch das aus den Tideströmungen resultierende Stromarbeitsvermögen wirksam.
- Die Bantsbalje zeichnet sich durch hohe Lagestabilität aus und lässt in ihrer Entwicklung keine Bauwerkseinflüsse erkennen.
- Die Greetsieler Balje, ein bereits seit 1972 existierender, von der Bantsbalje nach Südosten verlaufender Priel, entwickelt sich seit Fertigstellung des „Leyhörn“ zu einer sich stetig vertiefenden Rinne. Bei einer Fortsetzung dieser Entwicklung ist zu erwarten, dass der Wasseraustausch in der Leybucht nicht mehr vorrangig über die Norderley, sondern durch die Greetsieler Balje erfolgen würde. Die Norderley dürfte dann erheblich an Stromar-

beitsvermögen verlieren, was zu einer erheblichen Querschnittsabnahme führen würde. Es käme zu Beeinträchtigungen beim Sielbetrieb.

- Die Leybucht ist durch beständige Zunahme des Wattniveaus gekennzeichnet, die zwischen 1960 und 1999 im Mittel bei 1.4 cm pro Jahr lag.

Die sedimentologischen Untersuchungsergebnisse stützen die Aussagen zur morphologischen Entwicklung in der Leybucht:

- Das Pilsumer Watt entwickelt sich infolge des „Leyhörn“ zu einem kleinflächigen Buchtenwatt mit einer ausgedehnten Schlickwattzone.
- Auf dem Greetsieler Nacken kommen im Schutz des Bauwerks verstärkt feinkörnige Sedimente zur Ablagerung. Allerdings finden sich im nördlichen Teil aufgrund der erhöhten Energieeinträge über die Norderley und die Greetsieler Legde noch verstärkt Mischwatt- und Sandwattzonen.
- Auf dem Schweinsrücken kommen verstärkt gröbere Sedimente zur Ablagerung. Dies ist auf höhere hydrodynamische Belastungen zurückzuführen, die aus dem veränderten Strömungsmuster über die Norderley und dem verstärkten Wasseraustausch der Leybucht zur Bantsbalje über die sich vertiefende Greetsieler Legde resultieren.

Insgesamt werden die morphologischen und sedimentologischen Vorgänge in der Leybucht durch das Bauwerk „Leyhörn“ nur wenig beeinflusst: Als unmittelbare Folge des Bauwerks hat sich das Pilsumer Watt und der Greetsieler Nacken durch Ablagerung feinkörniger Sedimente stark erhöht. Außerdem führt die Durchdämmung von Norder und Greetsieler Außentief dazu, dass der Verschlickungsprozess in den Rinnen verstärkt fortschreitet. In der Gesamtbilanz zeigt sich aber weder temporär noch langfristig ein signifikanter Einfluss der Baumaßnahme auf das allgemeine Sedimentationsgeschehen in der Leybucht.

7 Literaturverzeichnis

HOMEIER, H. (1972): Beiheft zu: Niedersächsische Küste, Historische Karte 1:50.000, Nr. 4 der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung. – Forschungsstelle Insel- u. Küstenschutz, Norderney

HOMEIER, H. (1974): Untersuchungen zum Verlandungsfortschritt im Bereich der Leybucht. – Jahresber. Forschungsstelle Insel- u. Küstenschutz Norderney, 25

JETZES, U. & STEPHAN, H.-J. (1999): Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselschutz Ostfriesische Inseln - Morphologische Entwicklung des Norderneyer Seegats (Zwischenbericht). – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, 15/1999

LIEBIG, W. & PUSCHMANN, M. (1995): Beweissicherung Küstenschutz Leybucht – Dokumentation von Daten mit einem Geographischen Informationssystem (GIS). – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, 25/1995

MEYER, C. & G. RAGUTZKI (1999): KFKI-Forschungsvorhaben „Sedimentverteilung als Indikator für morphodynamische Prozesse“ – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, 21/1999

MEYER, C. & STEPHAN, H.-J. (2000): Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselschutz Ostfriesische Inseln - Morphologische Entwicklung des Norderneyer Seegats – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, 4/2000

RAGUTZKI, G. (1982): Verteilung und Eigenschaften der Wattsedimente des Jadebusens. - Jahresber. Forschungsstelle Insel- u. Küstenschutz Norderney, 34

RAGUTZKI, G. (1984): Untersuchung zur Sedimentverteilung auf den Leybucht-Watten im Zusammenhang mit dem Bauvorhaben Leyhörns. - Jahresber. Forschungsstelle Insel- u. Küstenschutz Norderney, 35

RAGUTZKI G. & OTTEN, O. (1991): Sedimentologische Untersuchungen zu Auswirkungen von Baggergut-Verspülungen auf dem Pislumer Watt. – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, Norderney

REINECK, H.-E. (1980): Sedimentationsbeträge und Jahresschichtung in einem marinen Einbruchgebiet/Nordsee. – Senckenbergiana marit., 12, Frankfurt a.M.

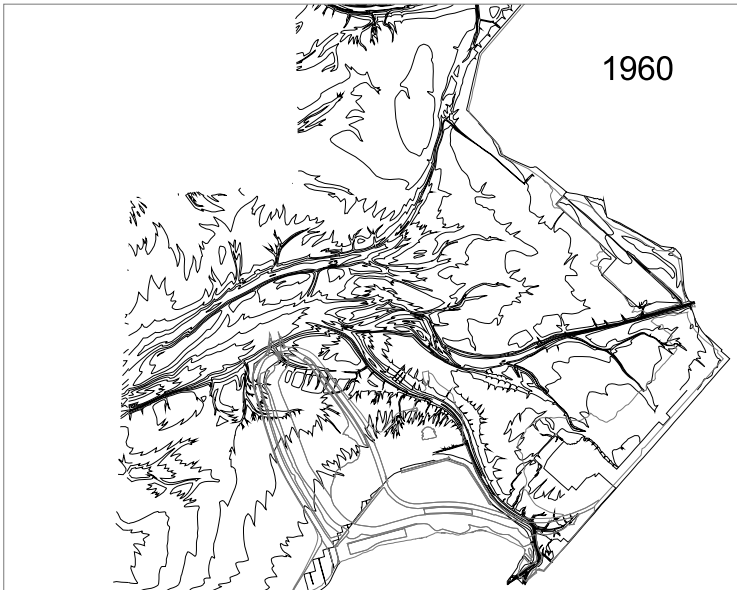
STEPHAN, H.-J. (1984): Abschätzung künftiger Gestaltungsvorgänge in der Leybucht als Folge des Leyhörns. – Jahresber. Forschungsstelle Insel- u. Küstenschutz Norderney, 35

STEPHAN, H.-J. (1991): Baubegleitende geodätisch-morphologische Untersuchungen der Forschungsstelle Küste zum Vorhaben Leyhörns-Leybucht. – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, Norderney

STEPHAN, H.-J. (1995): Beweissicherung Küstenschutz Leybucht – Morphologische Untersuchungen (Okt. 1995). – unveröff. Dienstber. Forschungsstelle Küste, 17/1995, Norderney

8 Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Kartengrundlage 1960 – 1983
- Anlage 2: Kartengrundlage 1990 – 1999
- Anlage 3: Dreidimensionale Darstellung der Topographie 1960 – 1983
- Anlage 4: Dreidimensionale Darstellung der Topographie 1990 – 1999
- Anlage 5: Lageplan der Profile
- Anlage 6: Profilquerschnitte 1 u. 2
- Anlage 7: Profilquerschnitte 3 u. 4
- Anlage 8: Profilquerschnitte 5 u. 6
- Anlage 9: Profilquerschnitte 7 u. 8
- Anlage 10: Wattniveauänderungen 1960 – 1972 und 1972 - 1975
- Anlage 11: Wattniveauänderungen 1975 – 1983 und 1983 - 1990
- Anlage 12: Wattniveauänderungen 1990 – 1995 und 1995 - 1999
- Anlage 13: Wattniveauänderungen 1960 – 1999
- Anlage 14: Ausdehnung der Wasserbedeckung 1960 und 1972
- Anlage 15: Ausdehnung der Wasserbedeckung 1975 und 1983
- Anlage 16: Ausdehnung der Wasserbedeckung 1990 und 1995
- Anlage 17: Ausdehnung der Wasserbedeckung 1999
- Anlage 18: Sedimentverteilung in der Leybucht 1983 und 1989
- Anlage 19: Sedimentverteilung in der Leybucht 1996
- Anlage 20: Veränderungen in der Sedimentverteilung 1983 – 1989 und 1989 - 1996
- Anlage 21: Veränderungen in der Sedimentverteilung 1983 – 1996
- Anlage 22: Änderungstendenzen in der Sedimentverteilung 1983 – 1989 und 1989 – 1996
- Anlage 23: Änderungstendenzen in der Sedimentverteilung 1983 – 1996
- Anlage 24: Lageplan der Greiferproben Außentief „Leyhörn“
- Anlage 25: Analyseergebnisse der Greiferproben im Bereich Außentief „Leyhörn“



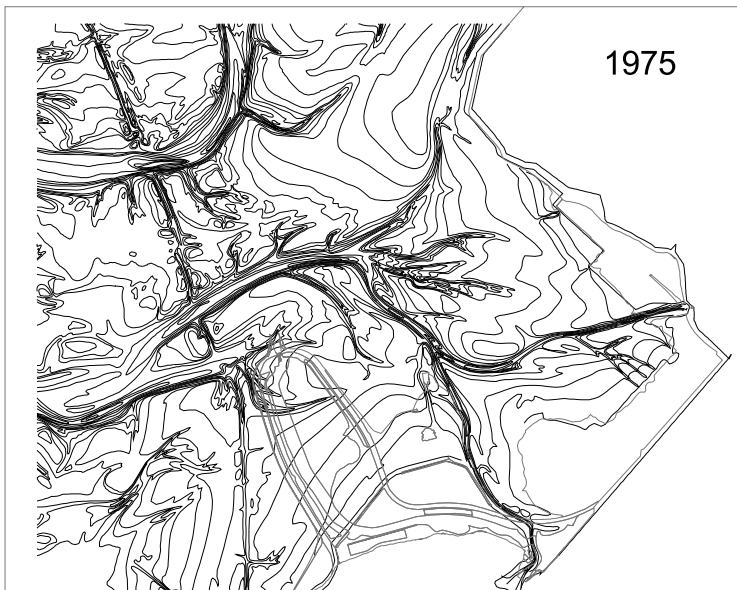
1960

Quelle: Topographische Wattkarte 1:25.000; Forschungsstelle Küste



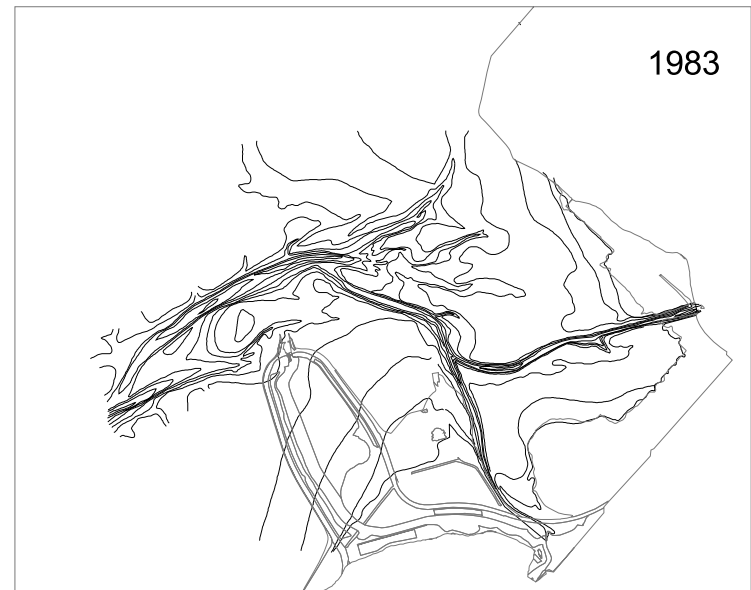
1972

Quelle: Topographische Wattkarte 1:25.000; Forschungsstelle Küste



1975

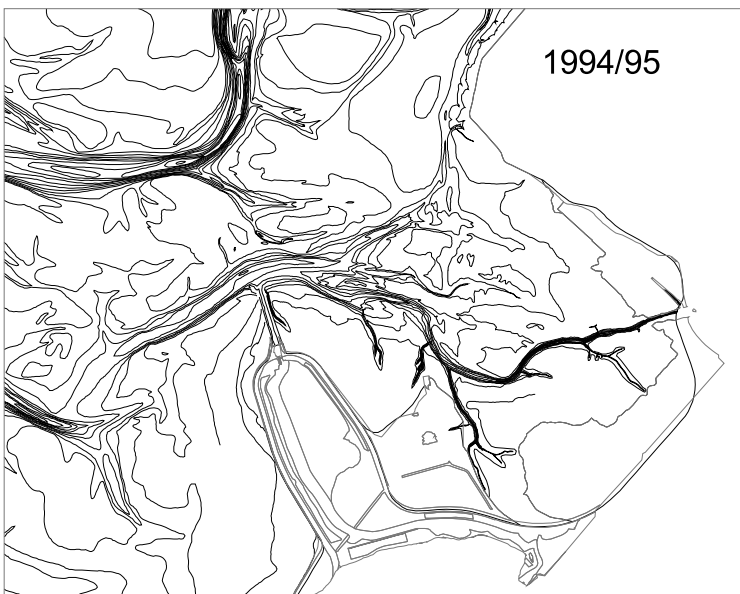
Quelle: Topographische Wattkarte 1:25.000; KFKI



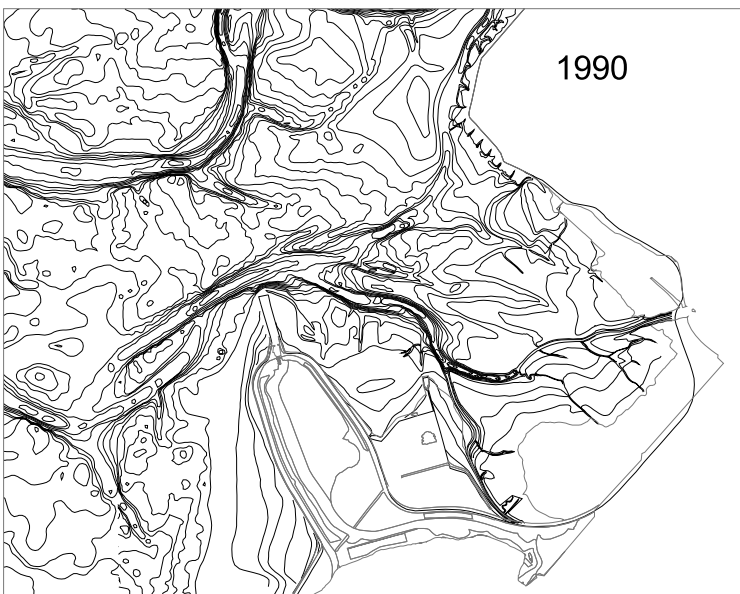
1983

Quelle: Topographische Wattkarte 1:10.000; Forschungsstelle Küste

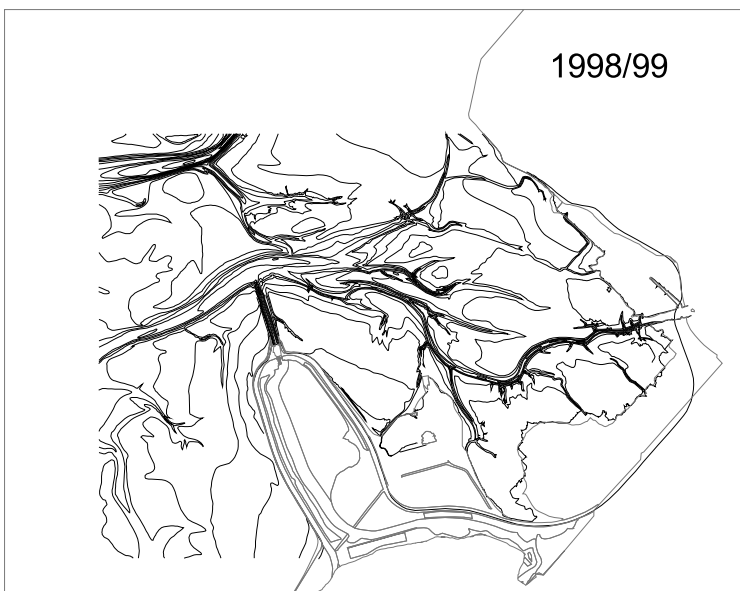
Kartengrundlage



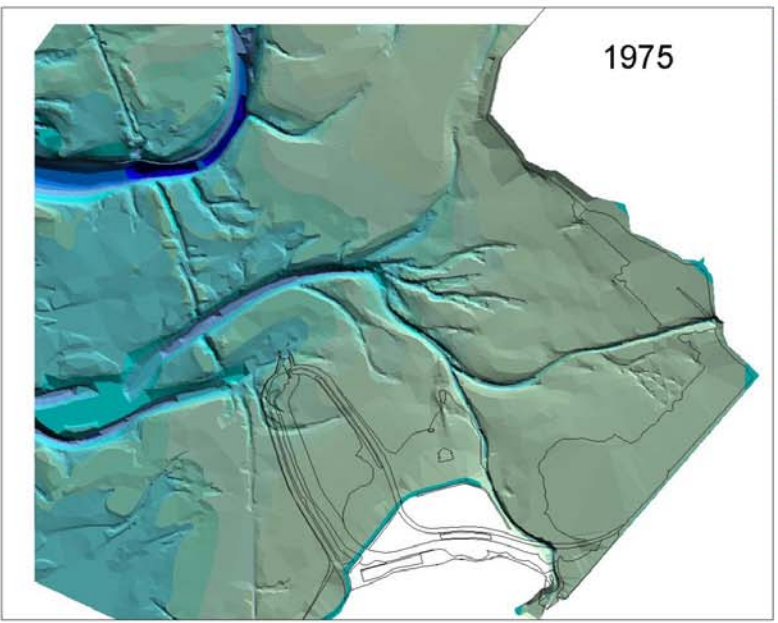
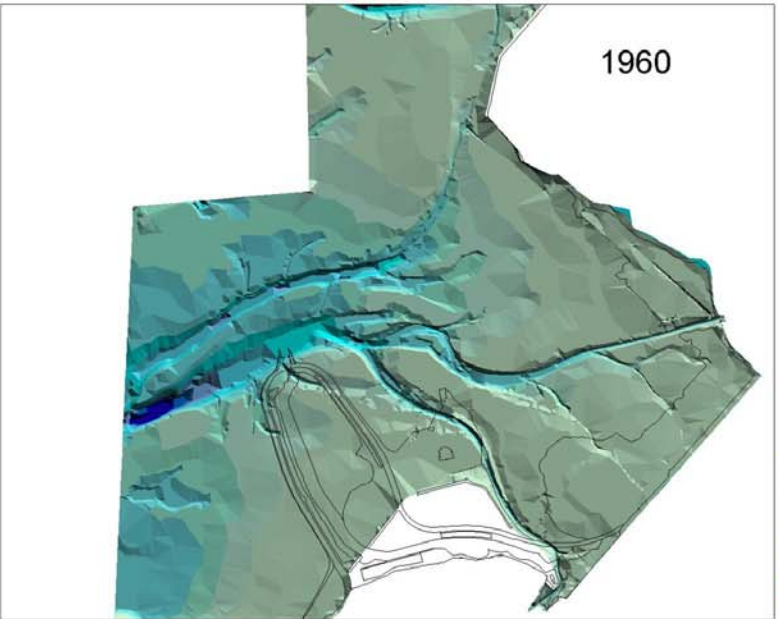
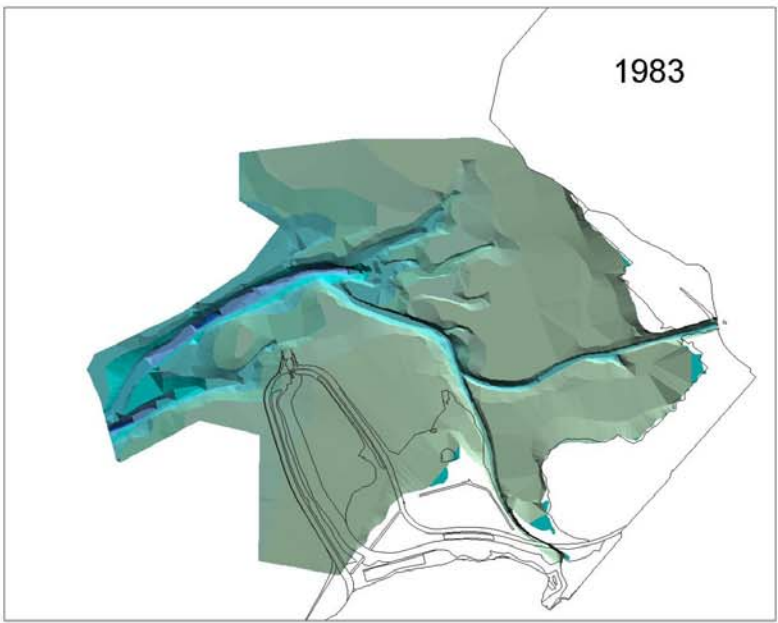
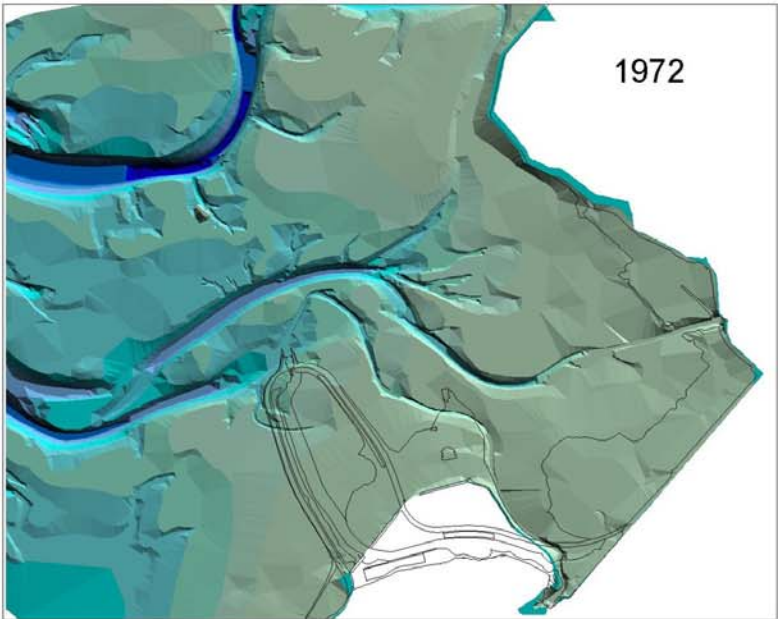
Quelle: Topographische Wattkarte 1:10.000; Forschungsstelle Küste



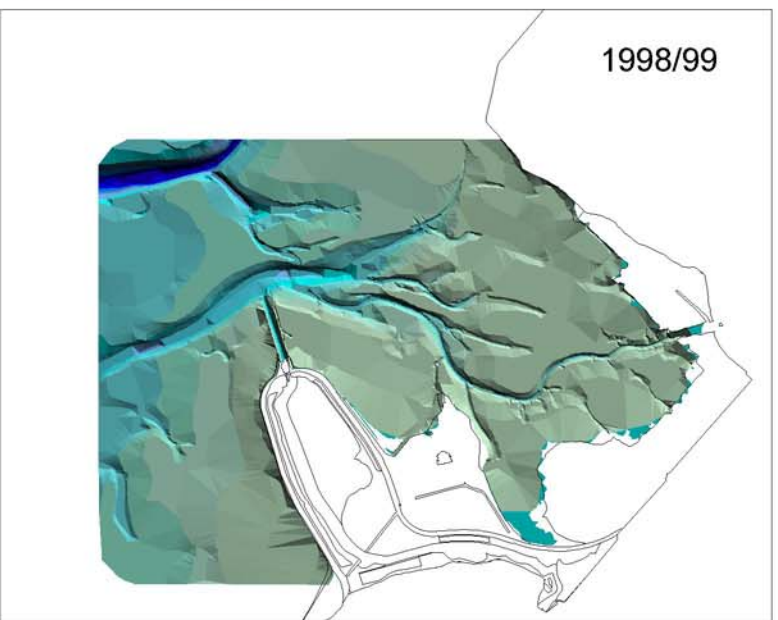
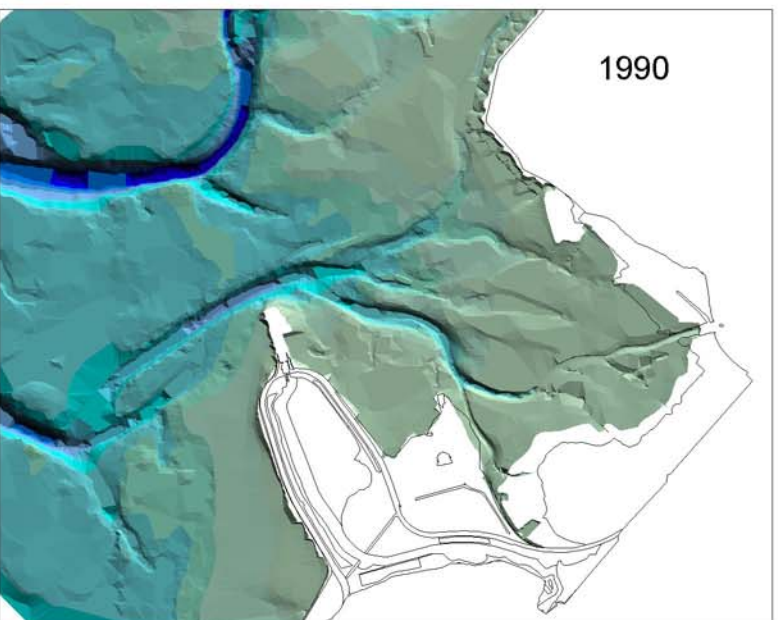
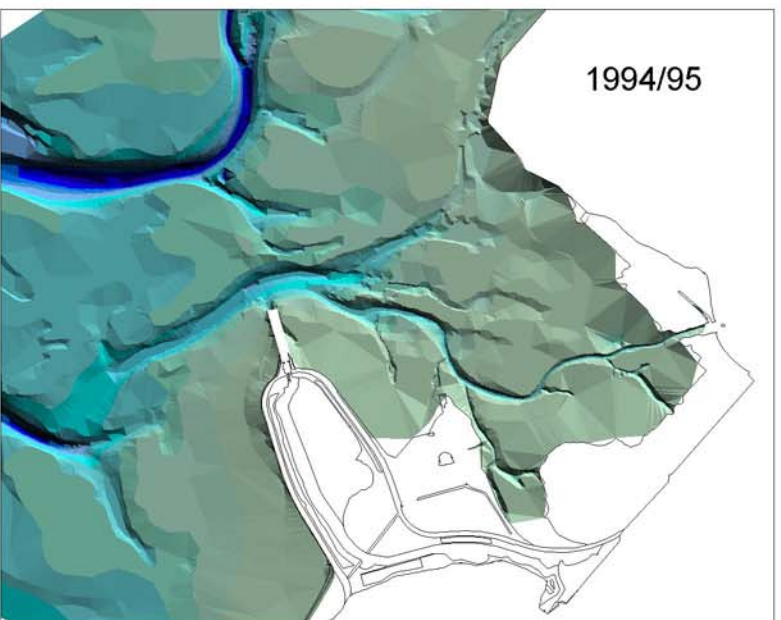
Quelle: Topographische Wattkarte 1:10.000; Forschungsstelle Küste



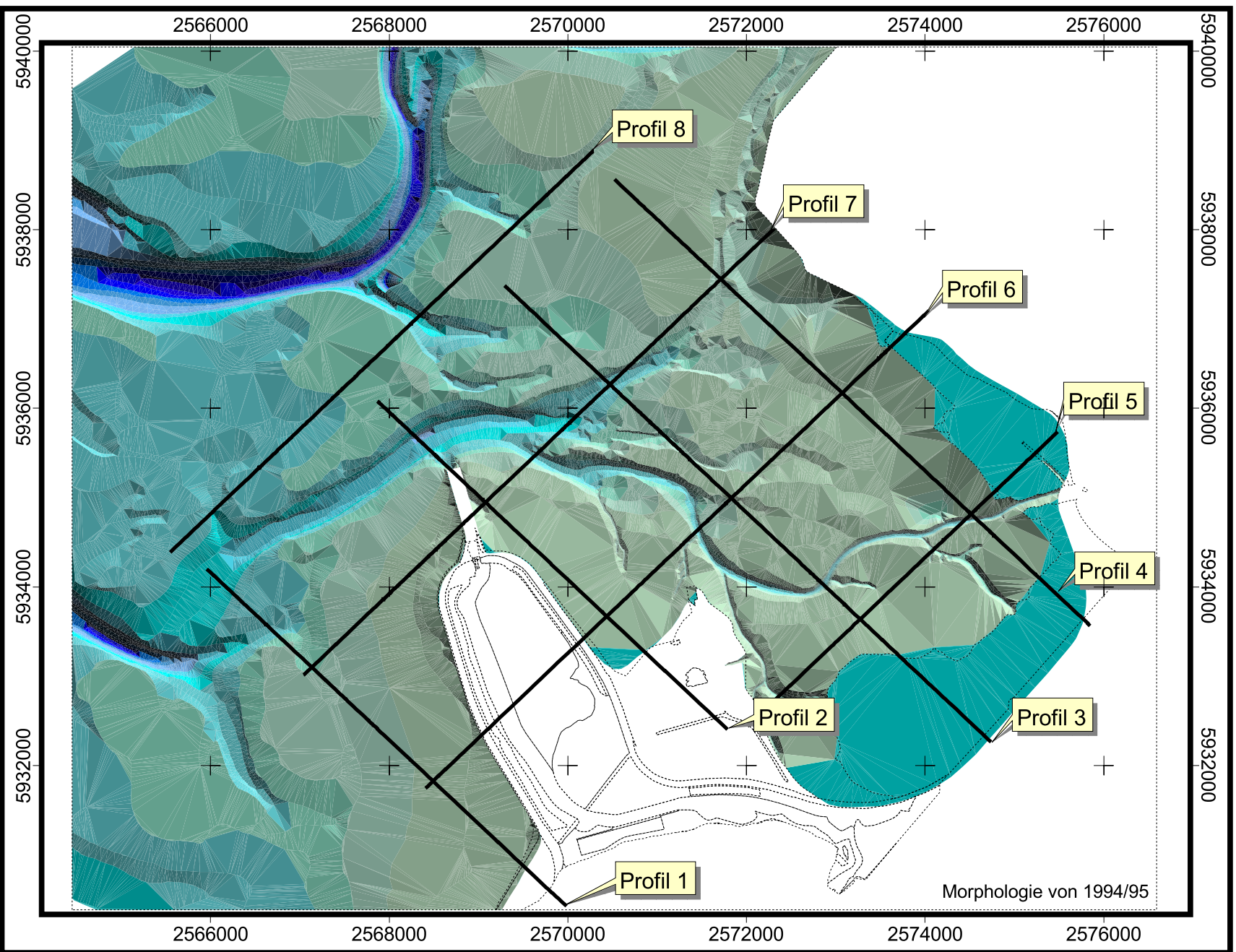
Quelle: Topographische Wattkarte 1:10.000; Forschungsstelle Küste

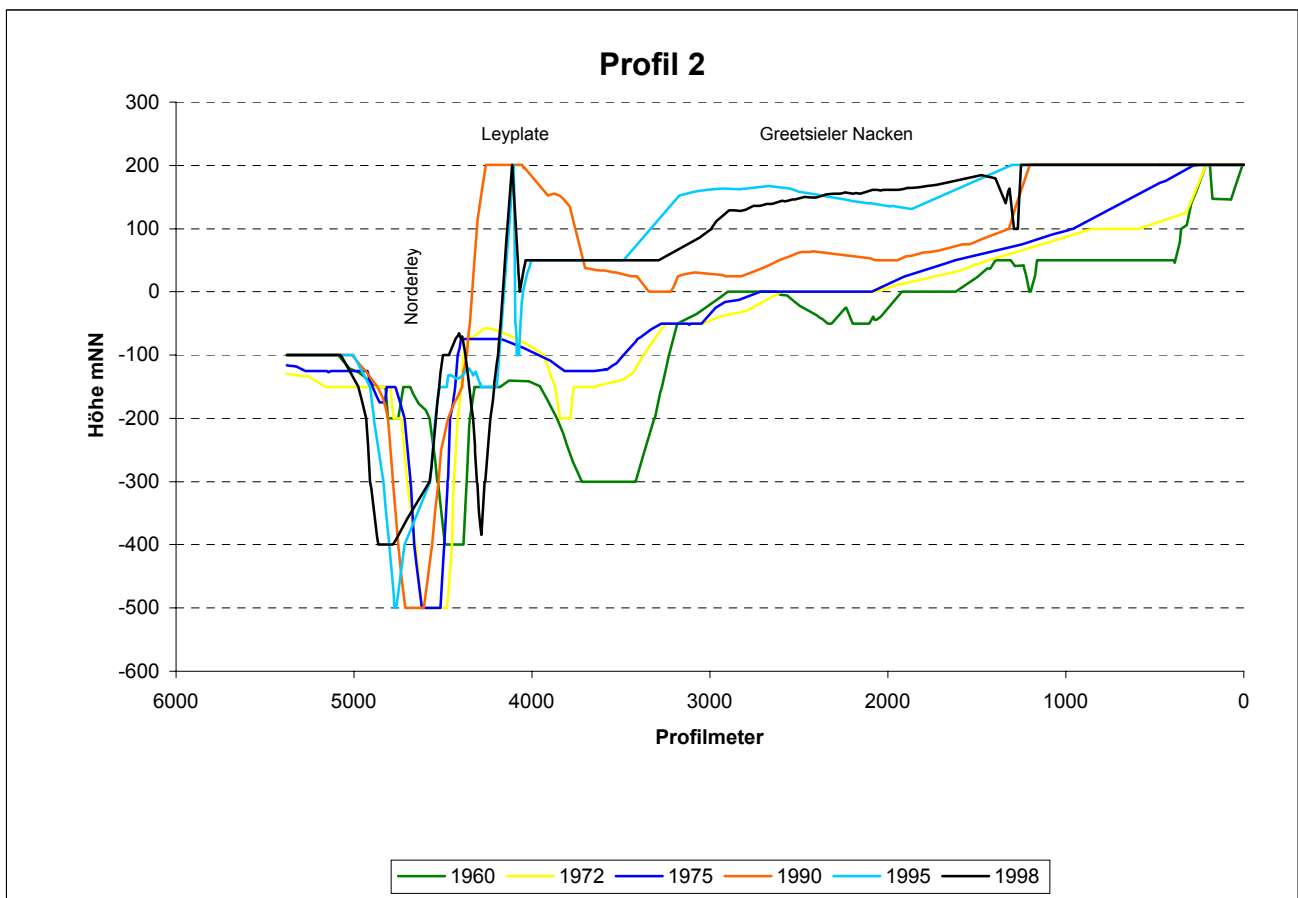
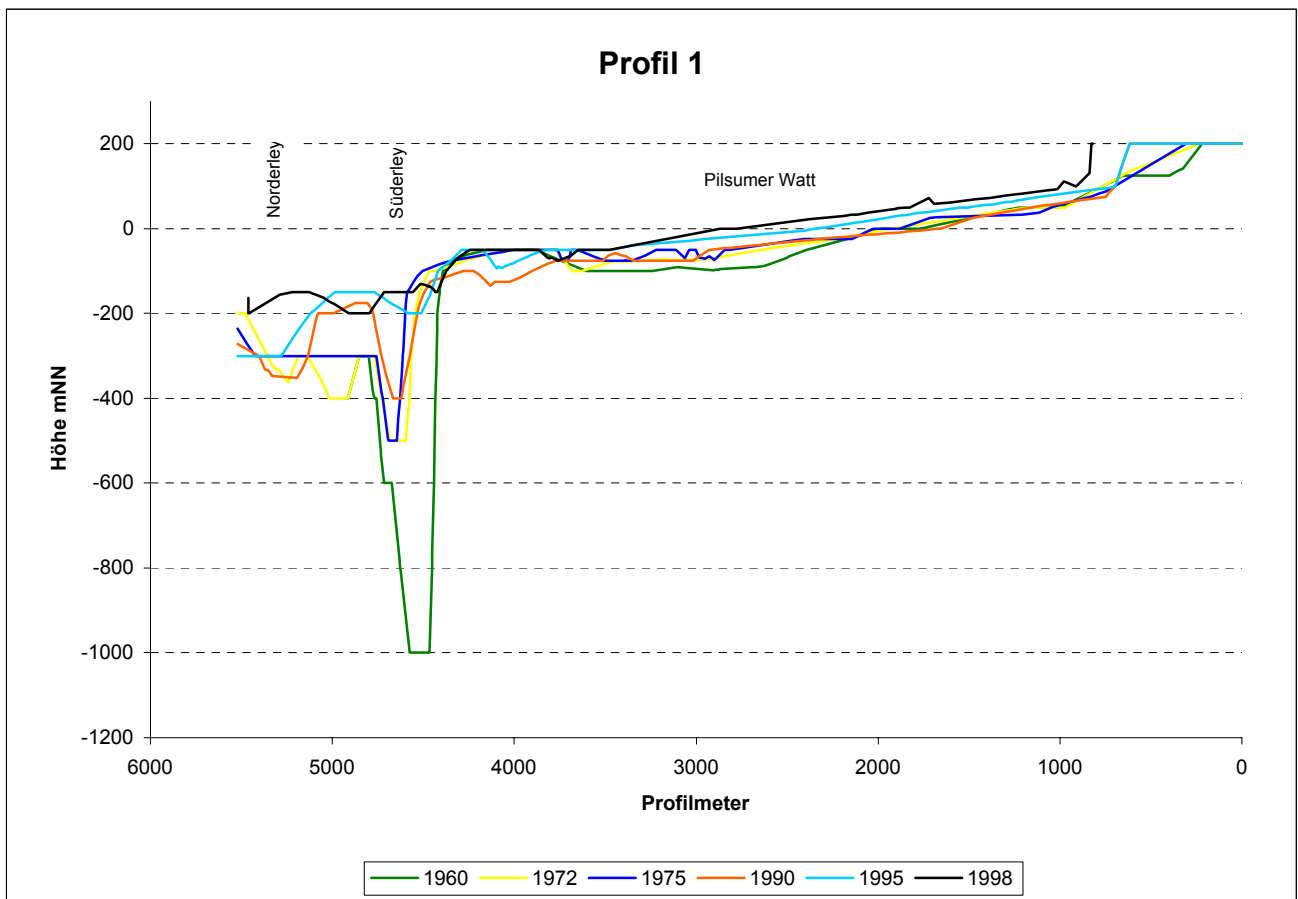


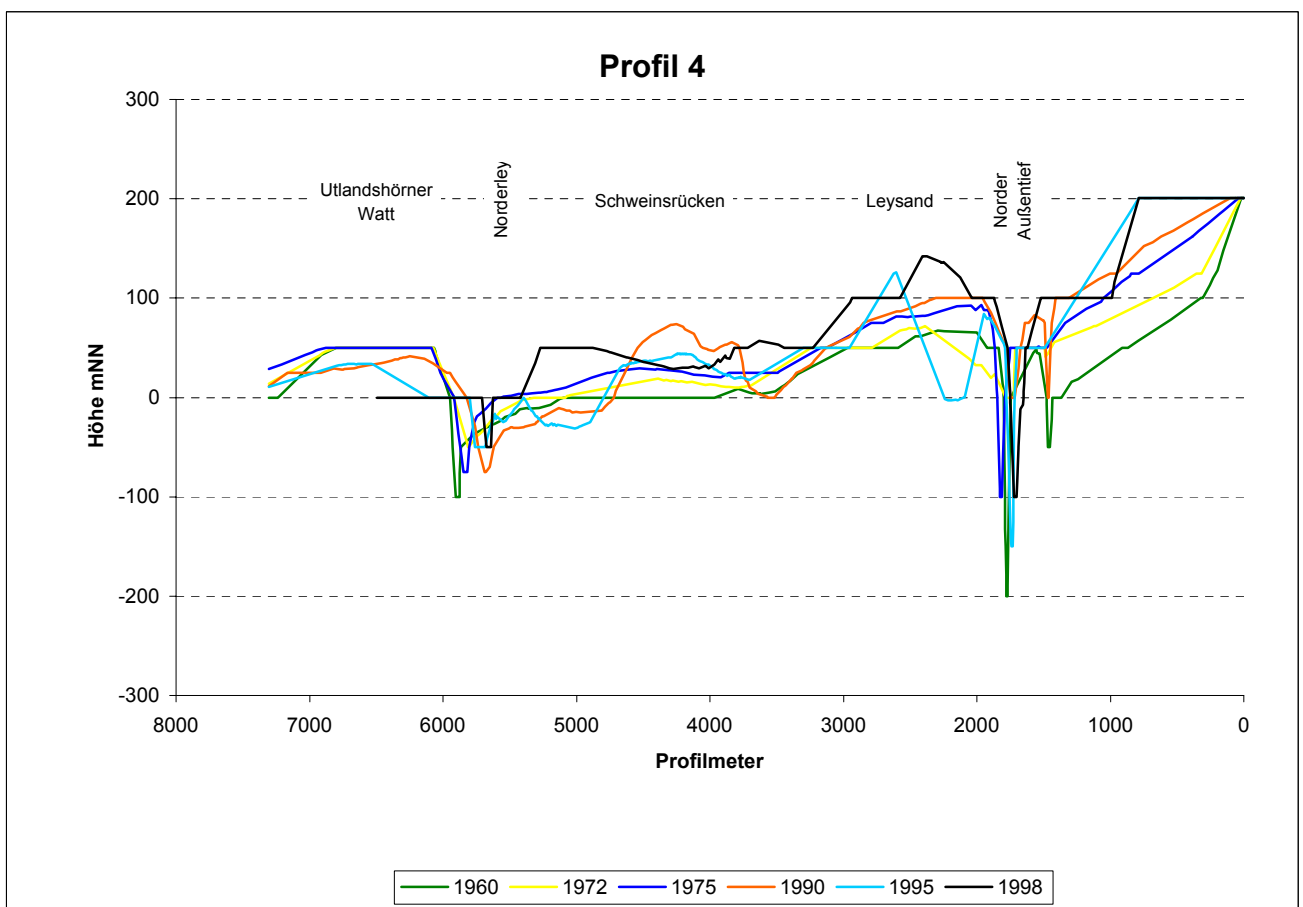
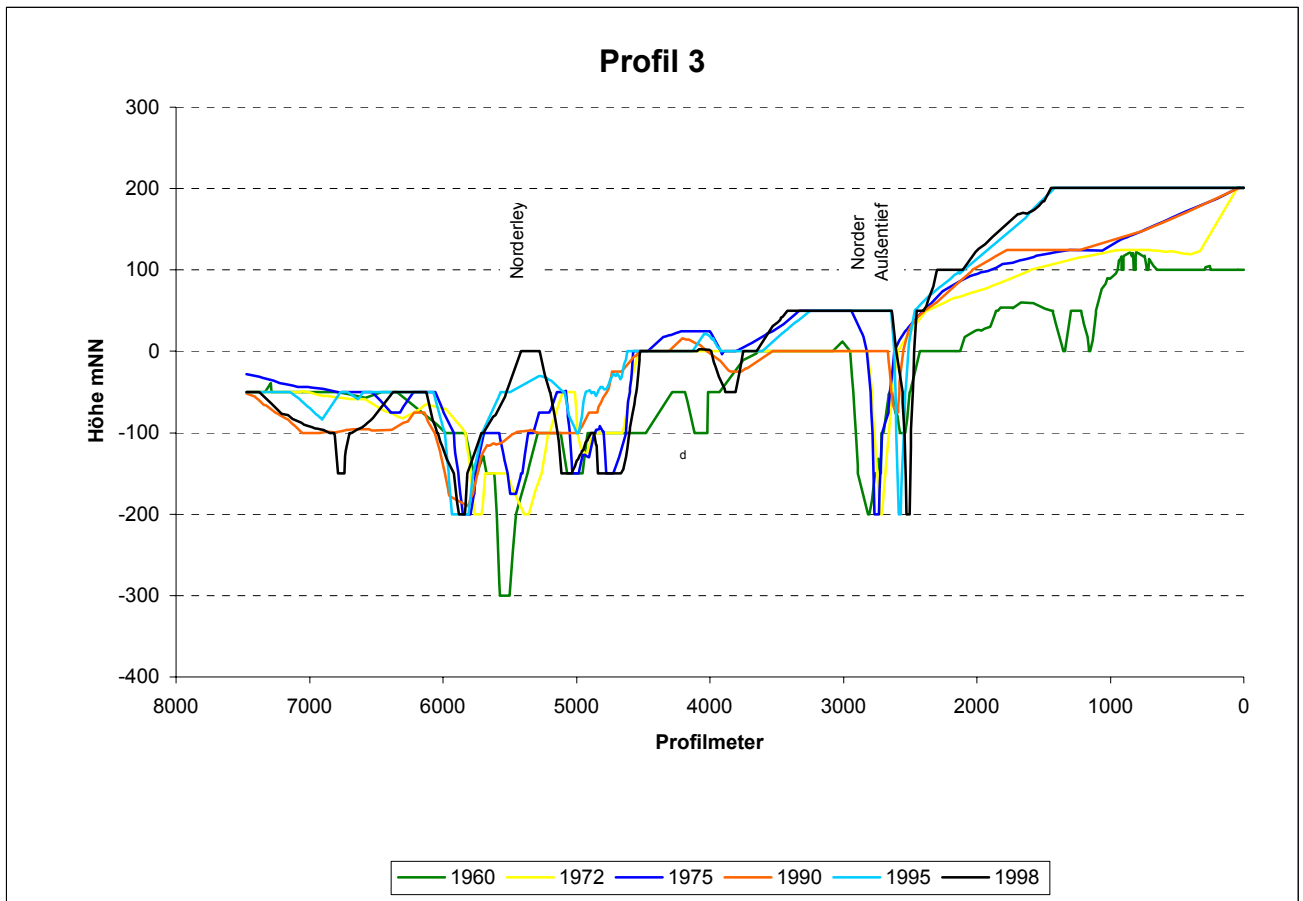
Dreidimensionale Darstellung der Topographie

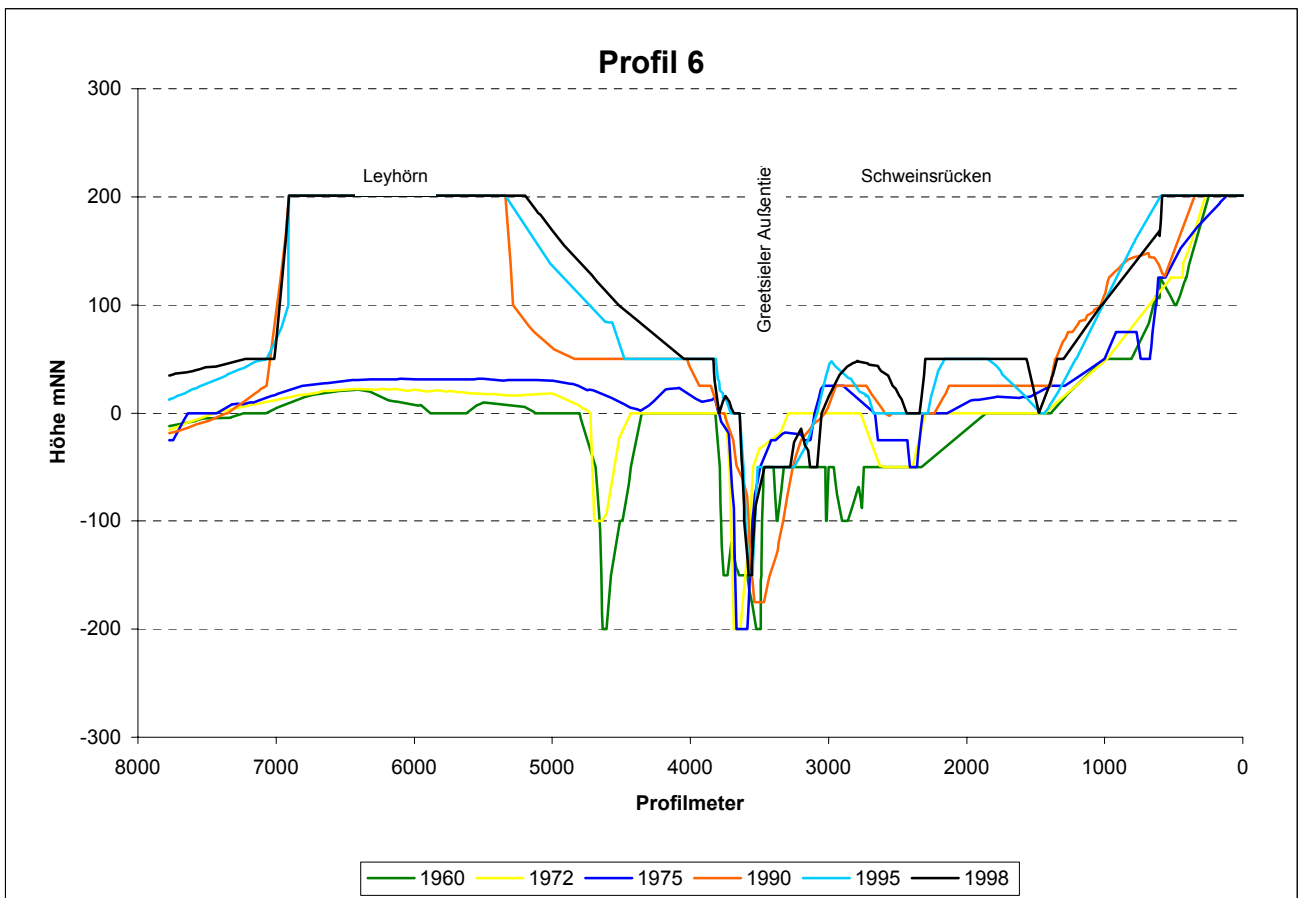
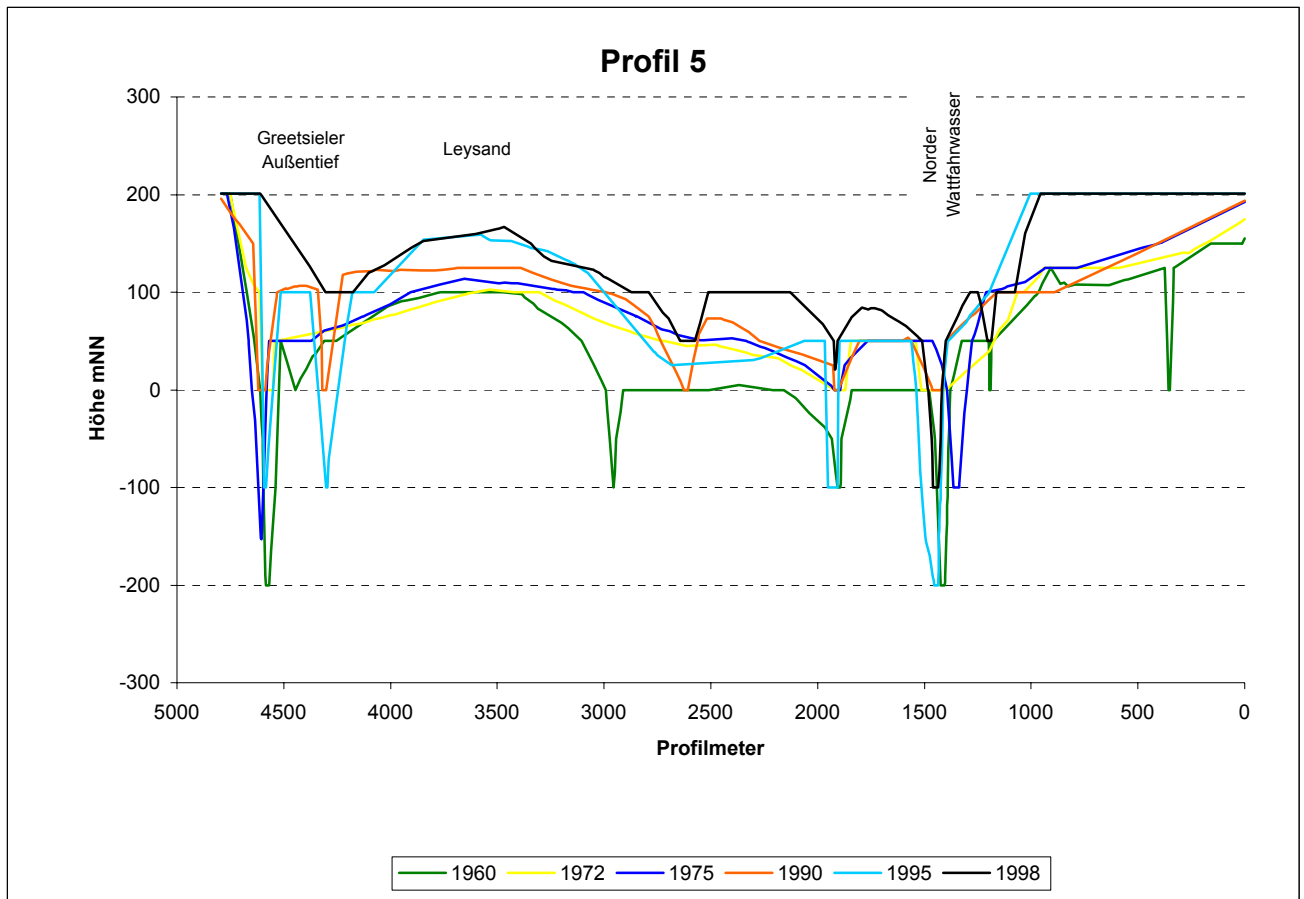


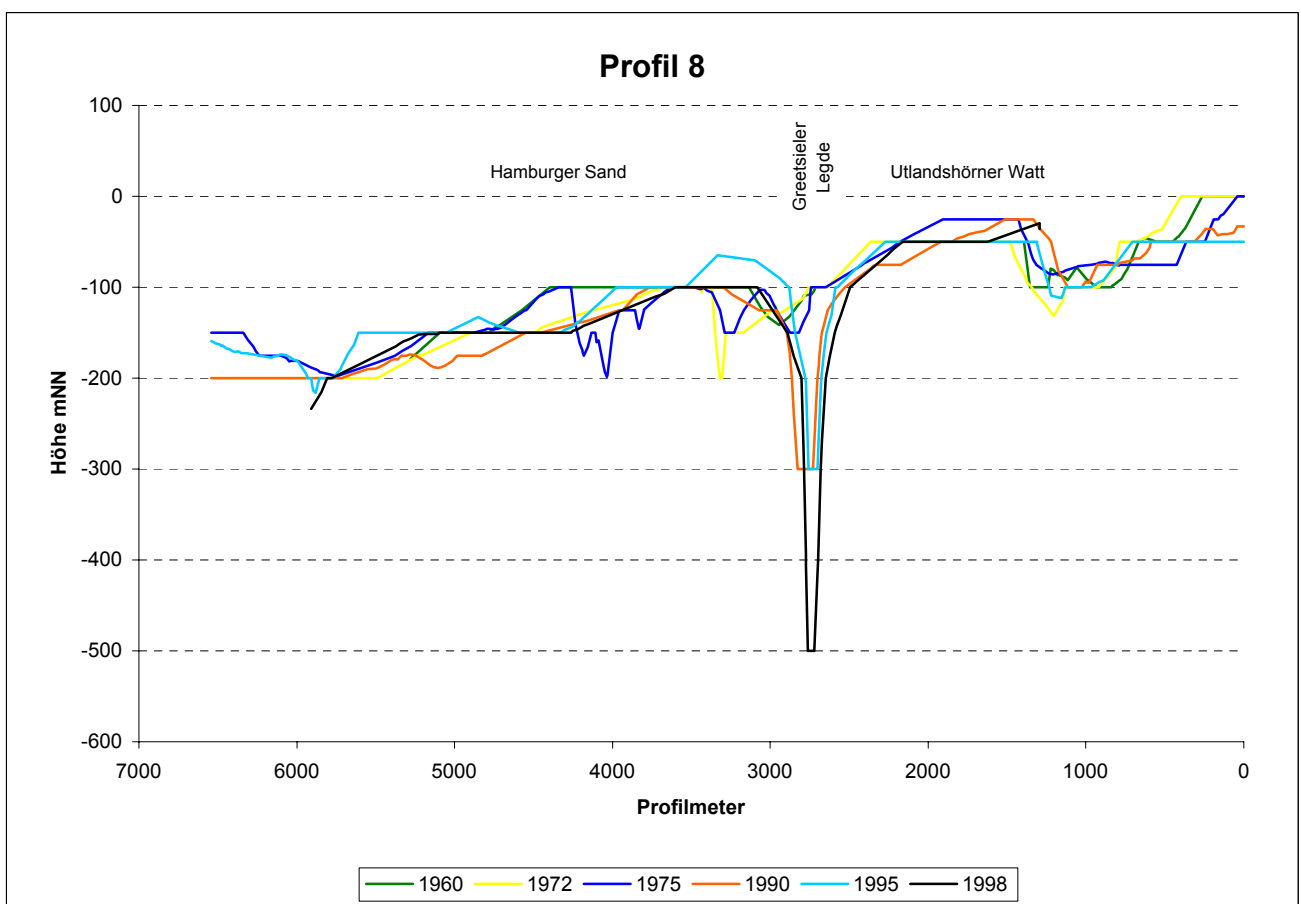
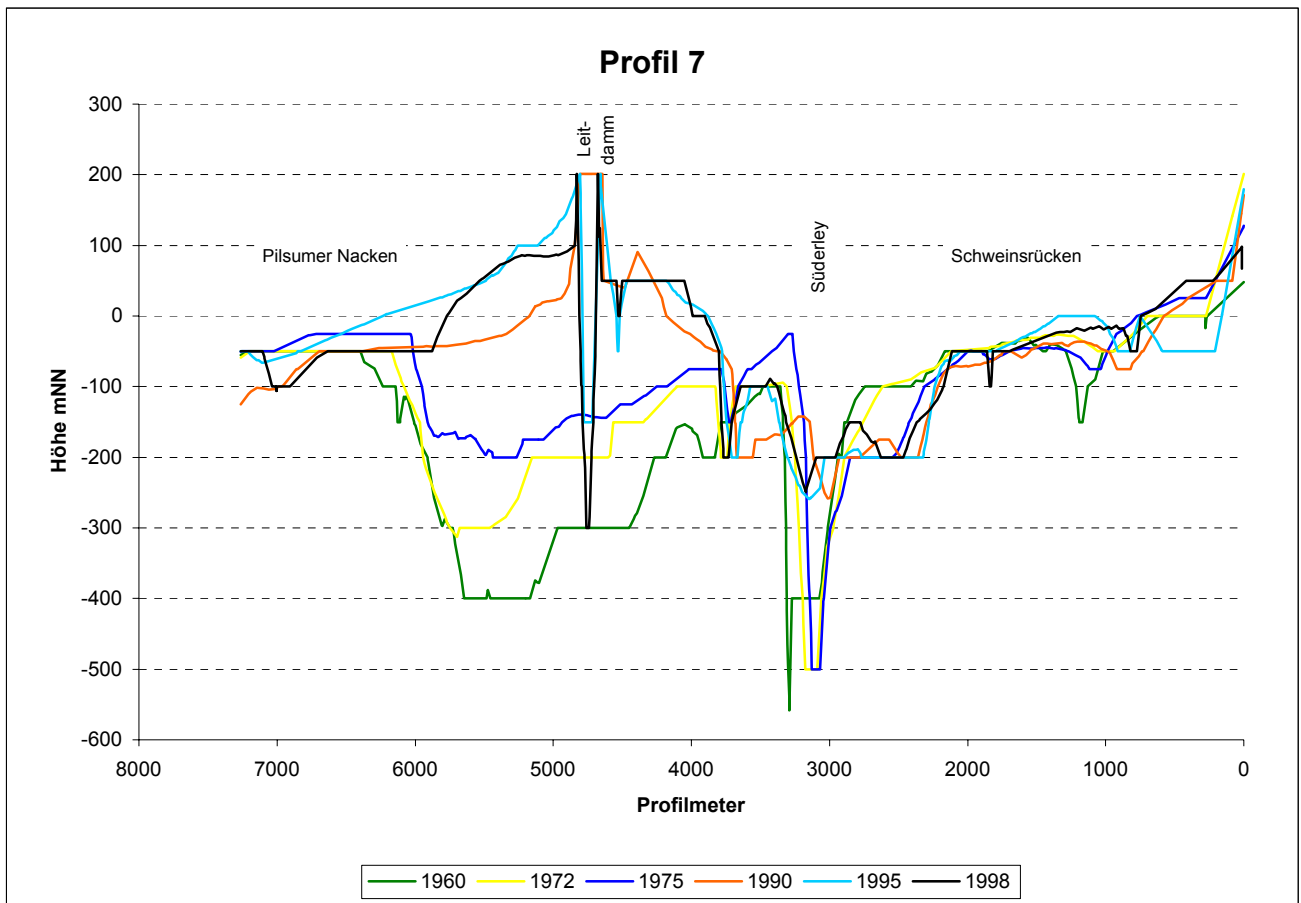
Lageplan der Profile

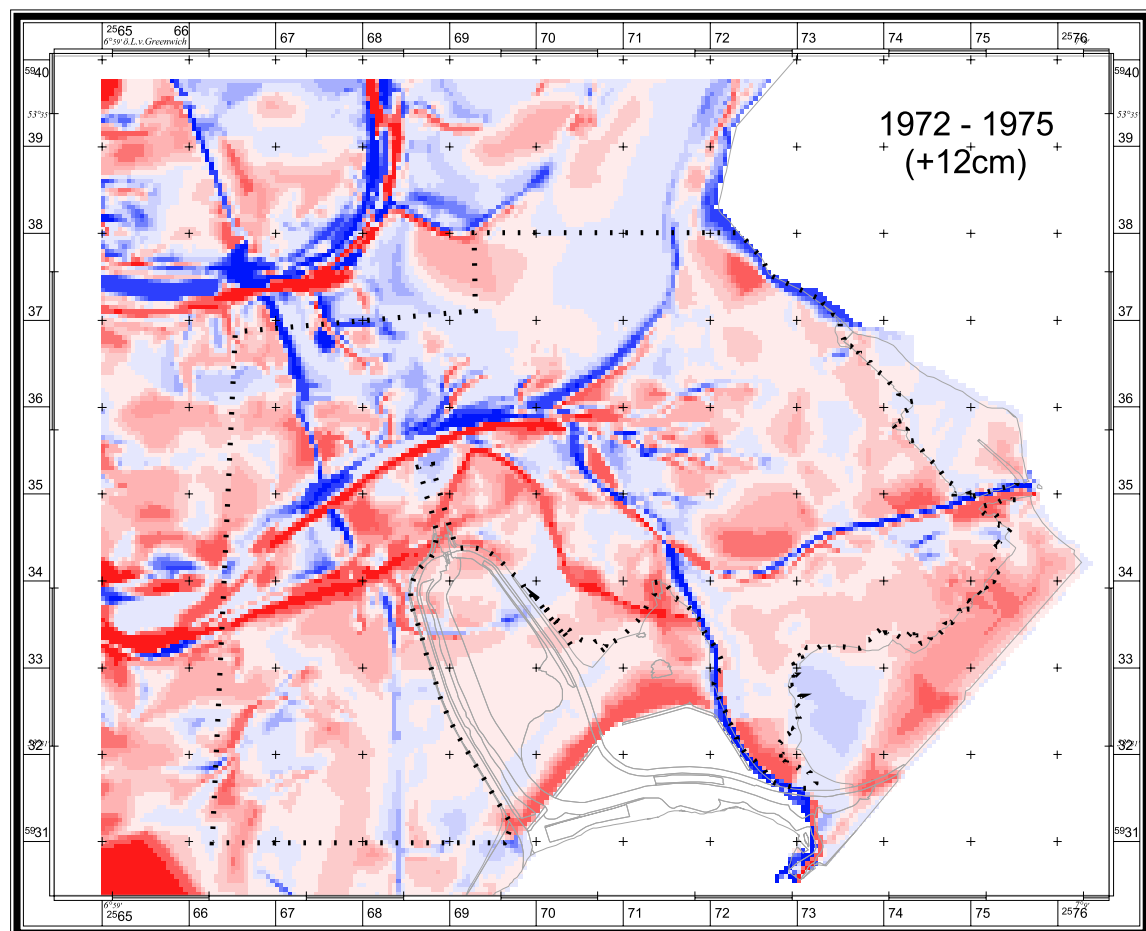
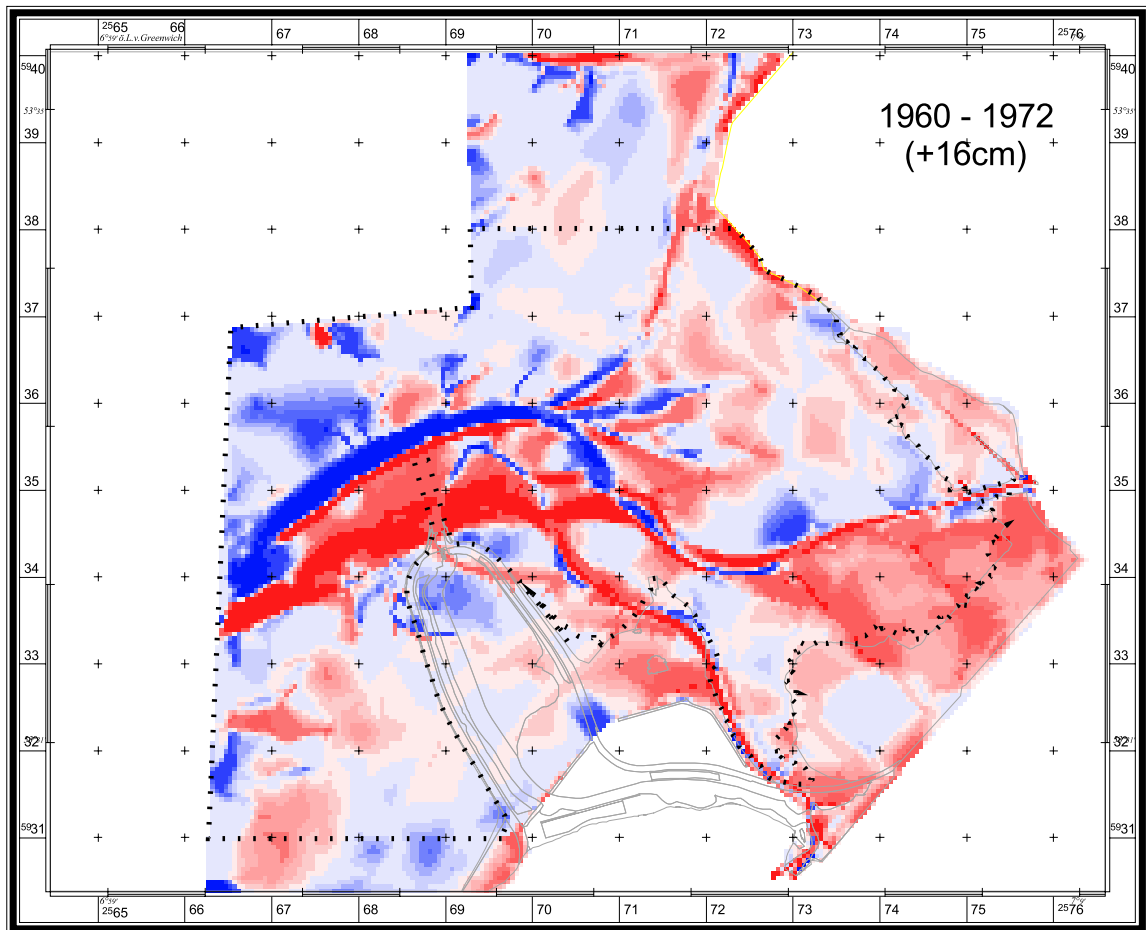


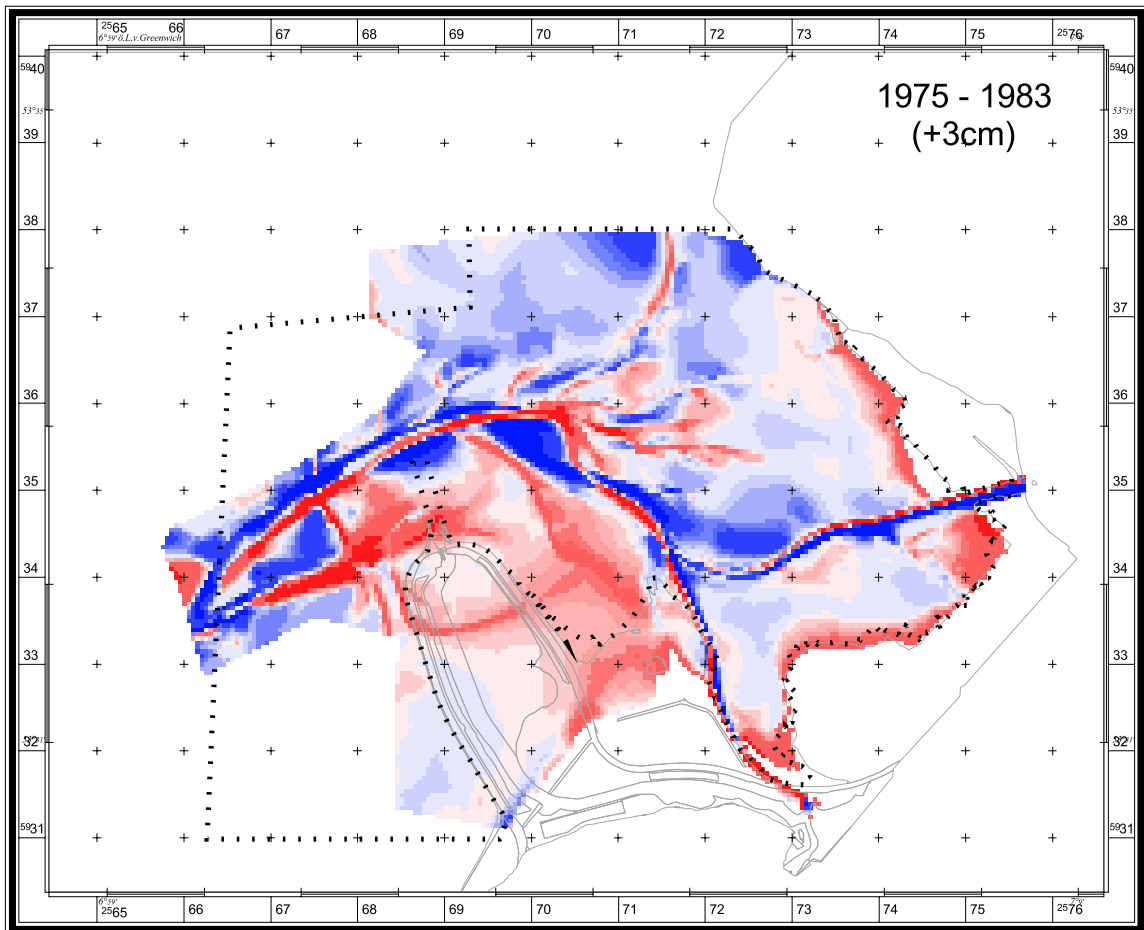




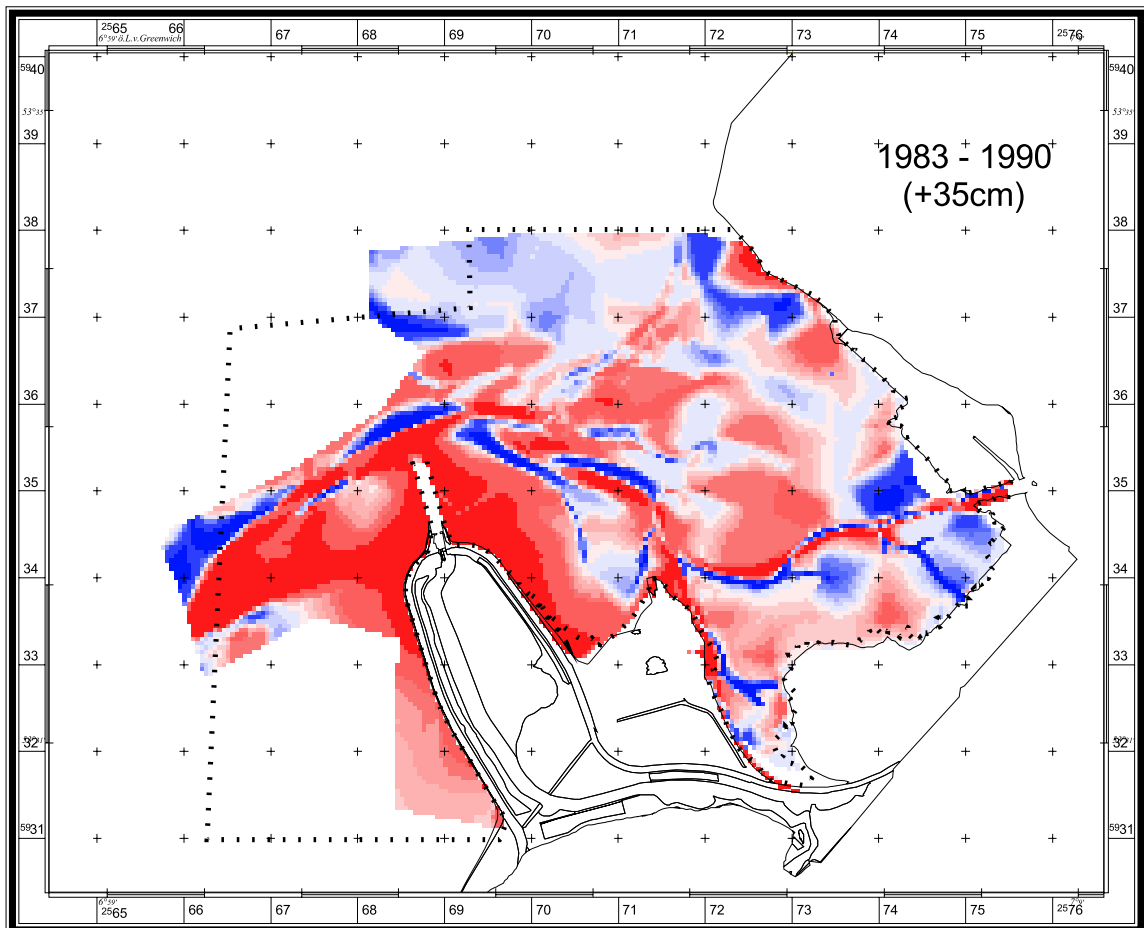


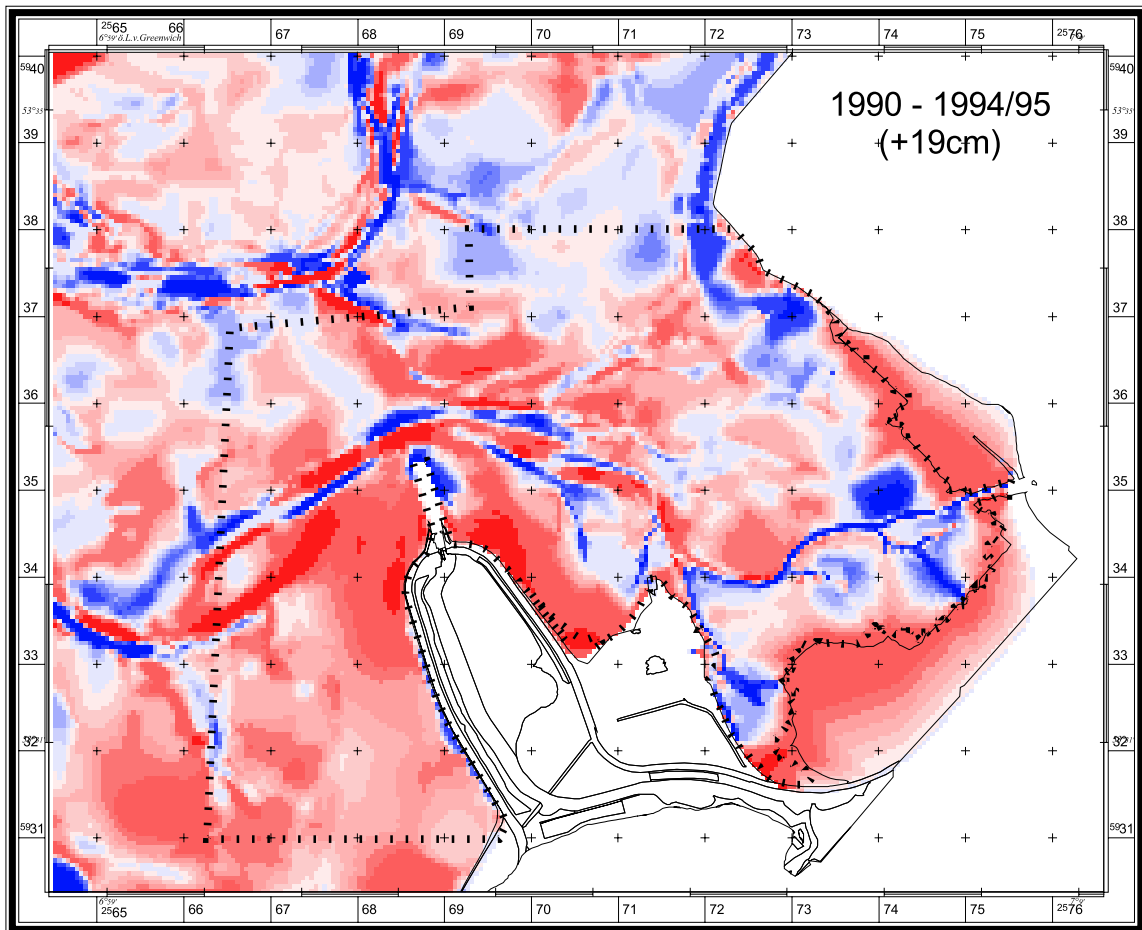




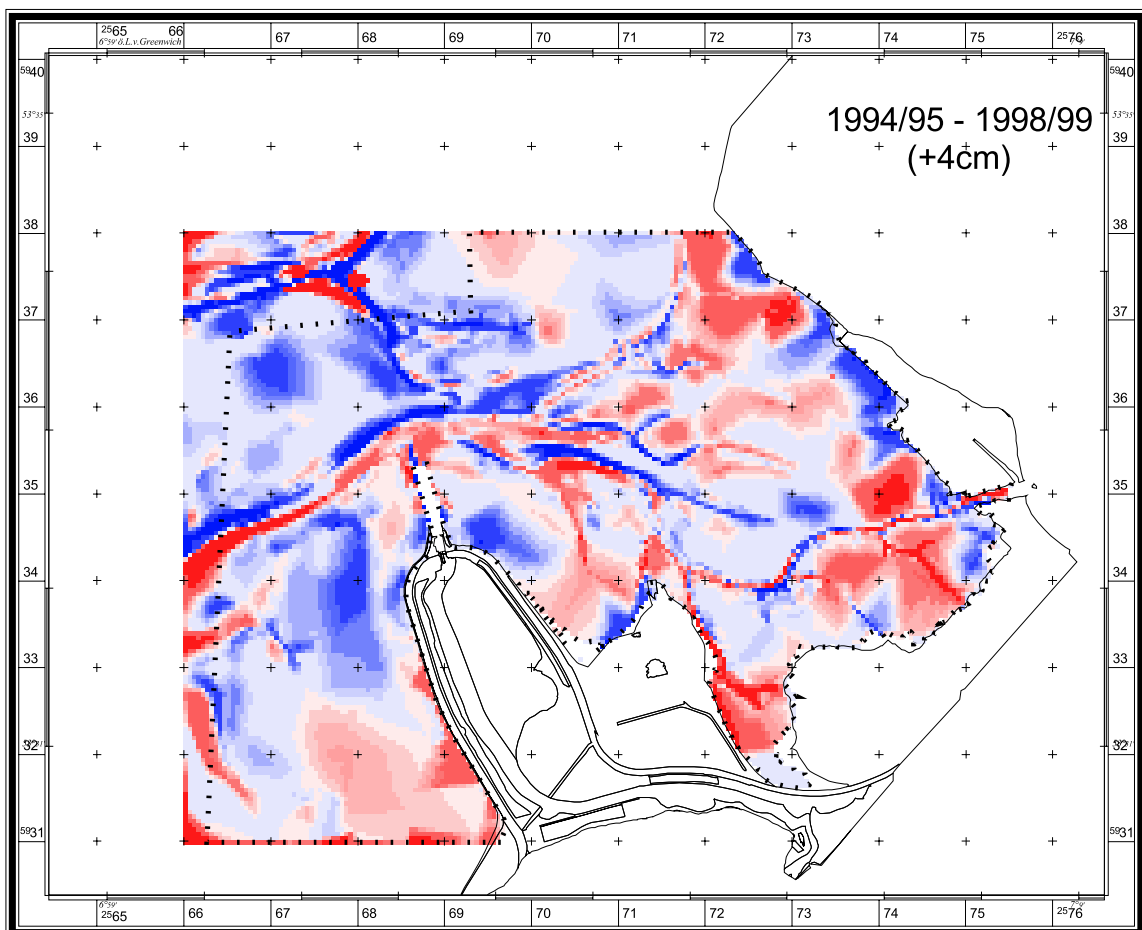


Legende s. Anlage 13

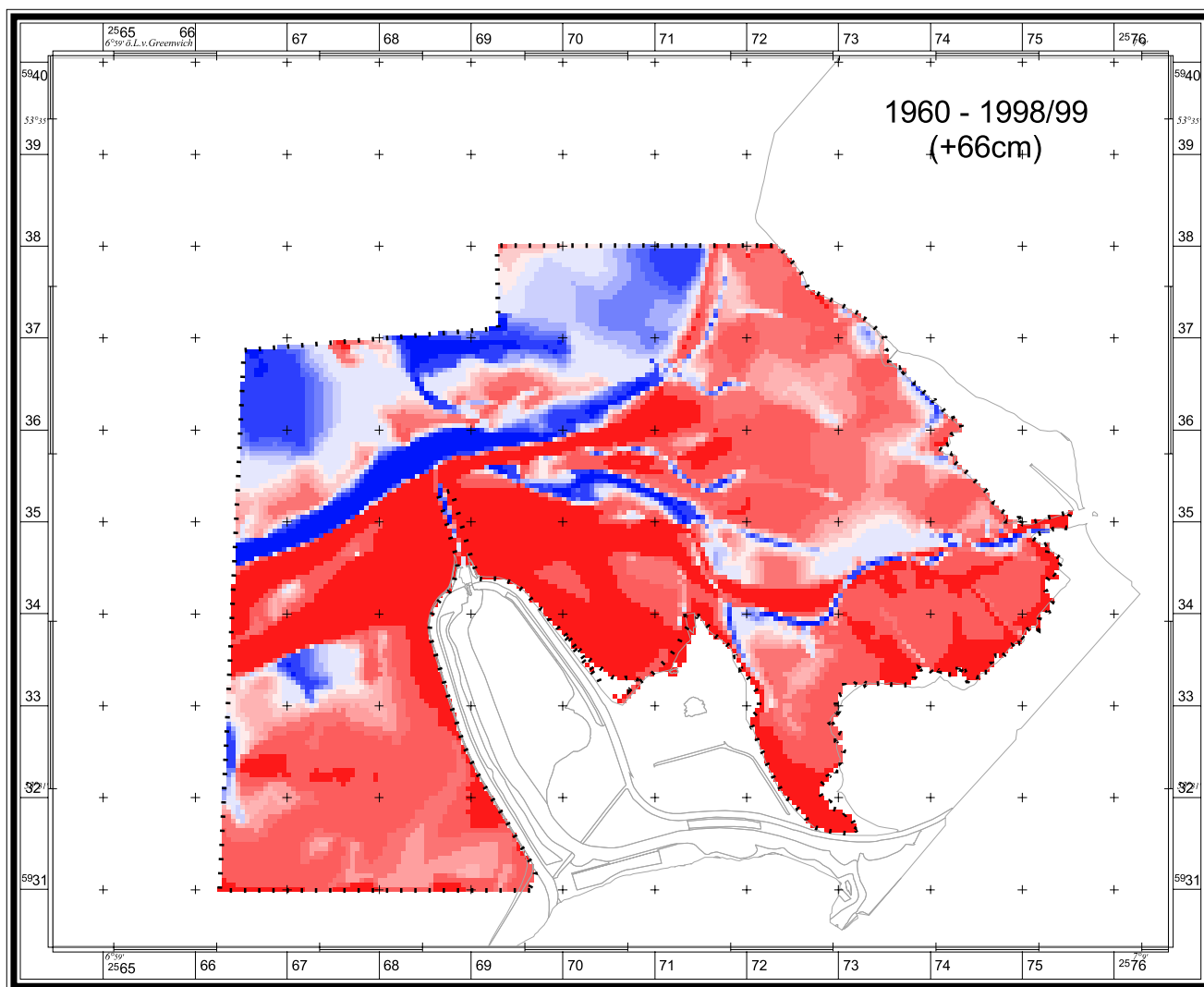




Legende s. Anlage 13



Wattniveauänderungen



Die Zentimeterangaben in Klammern beziehen sich auf die mittlere Höhenveränderung innerhalb der jeweils abgebildeten Verschneidungsfläche

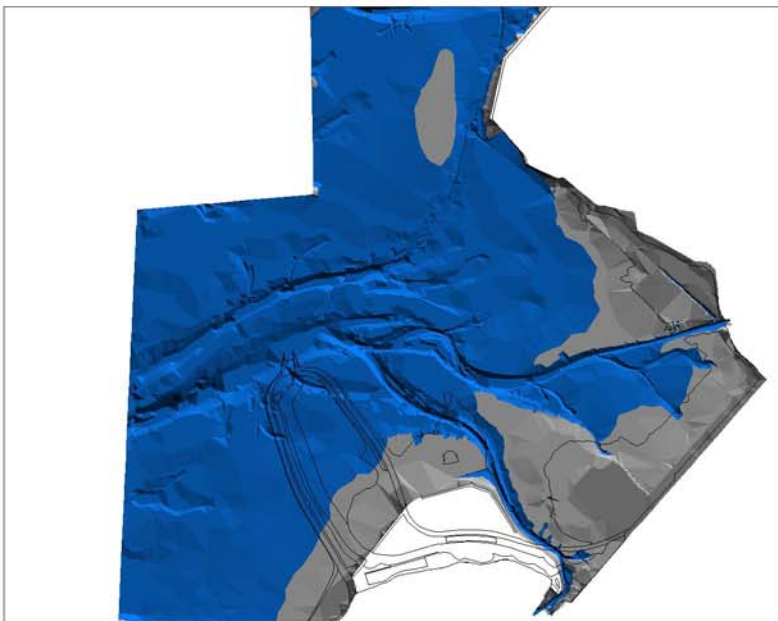
	-1000cm - -100cm
	-100cm - -50cm
	-50cm - -40cm
	-40cm - -30cm
	-30cm - -20cm
	-20cm - -10cm
	-10cm - 0cm

	0cm - 10cm
	10cm - 20cm
	20cm - 30cm
	30cm - 40cm
	40cm - 50cm
	50cm - 100cm
	100 - 1000

Wasserbedeckung

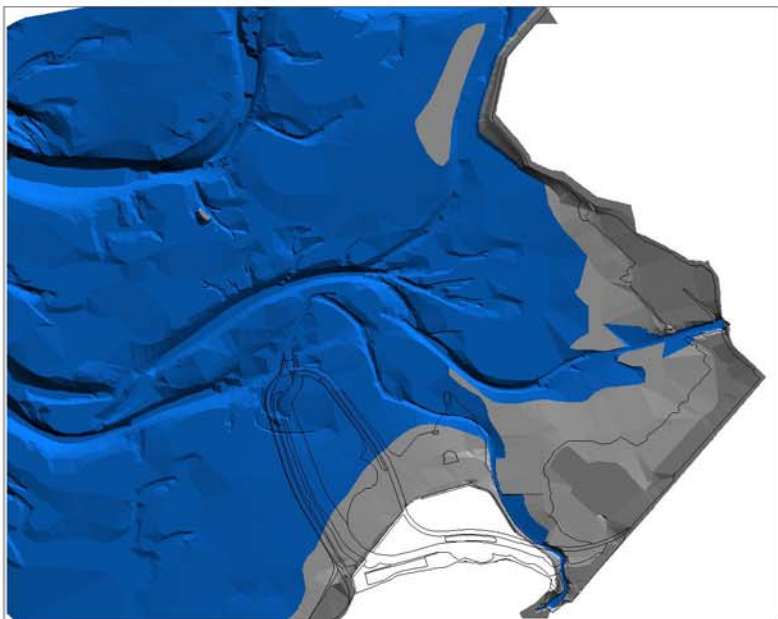
Anlage 14

Wasserstand: NN+50cm



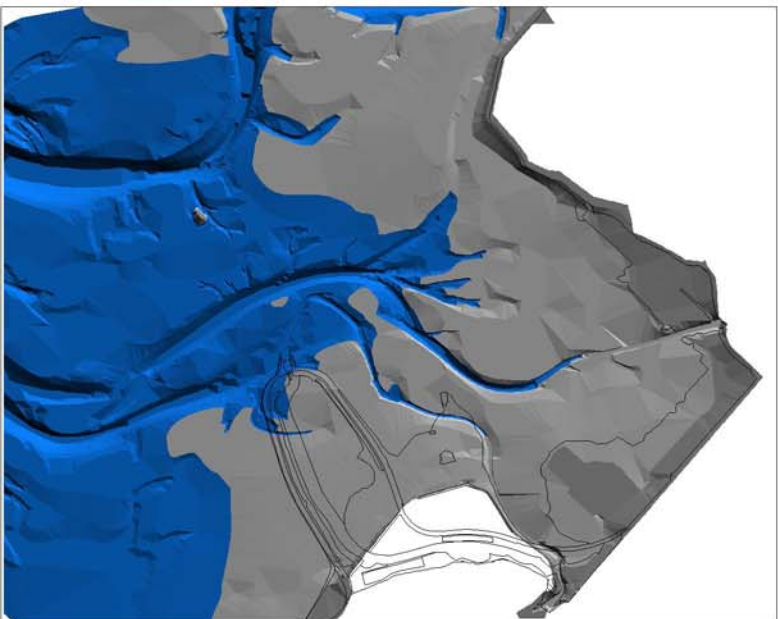
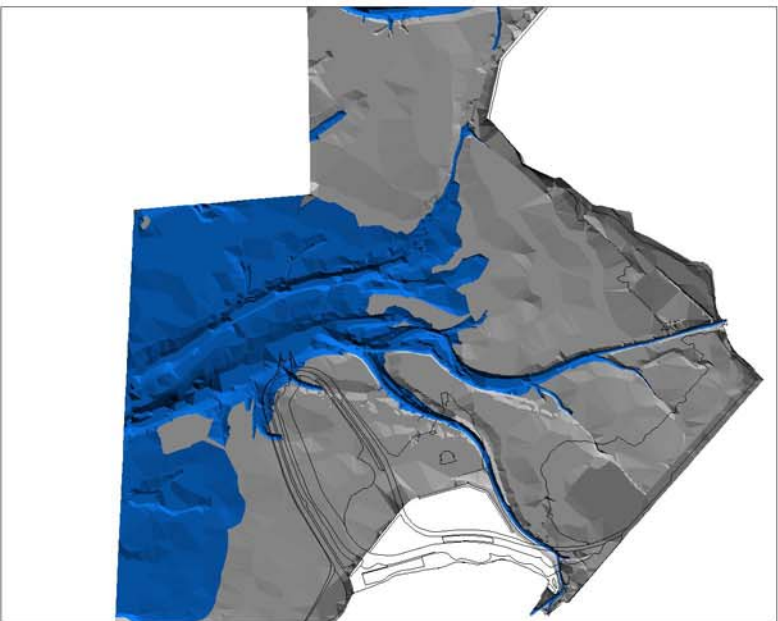
1960

Wasserstand: NN+50cm

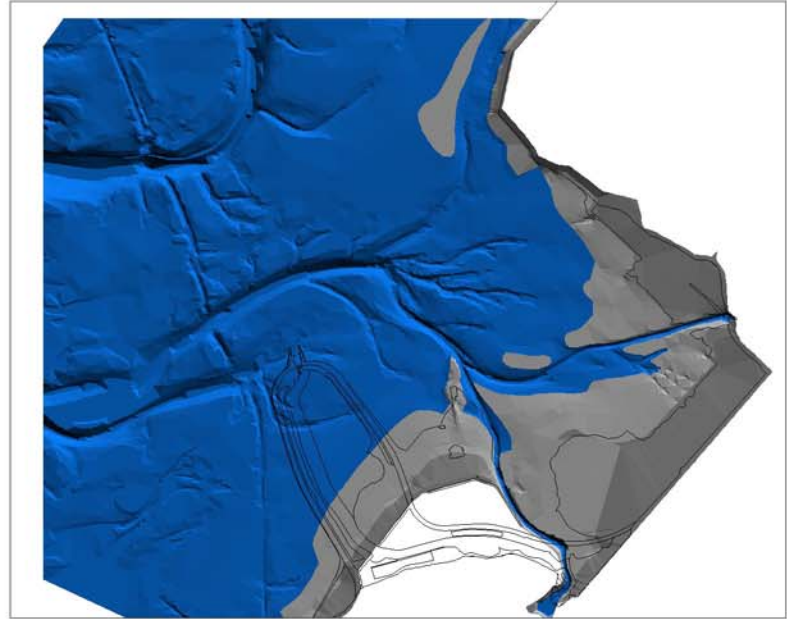


1972

Wasserstand: NN-50cm

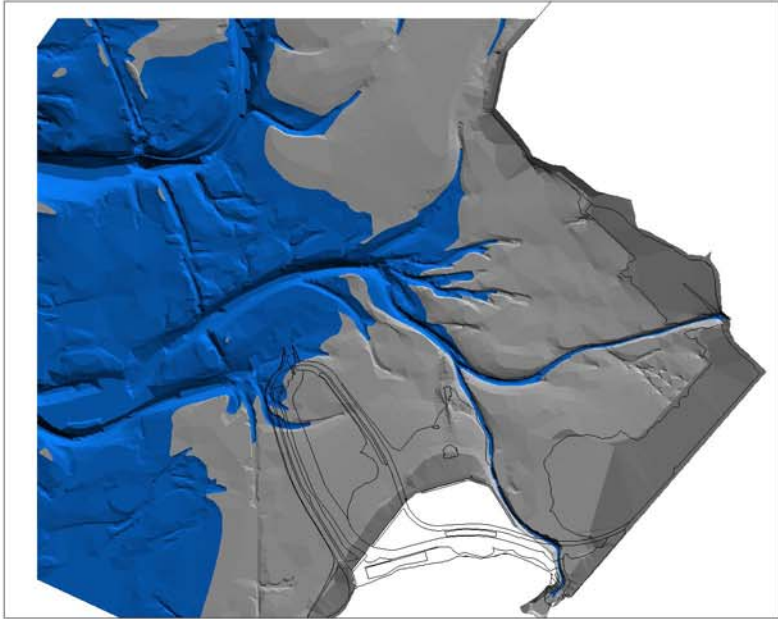


Wasserstand: NN+50cm

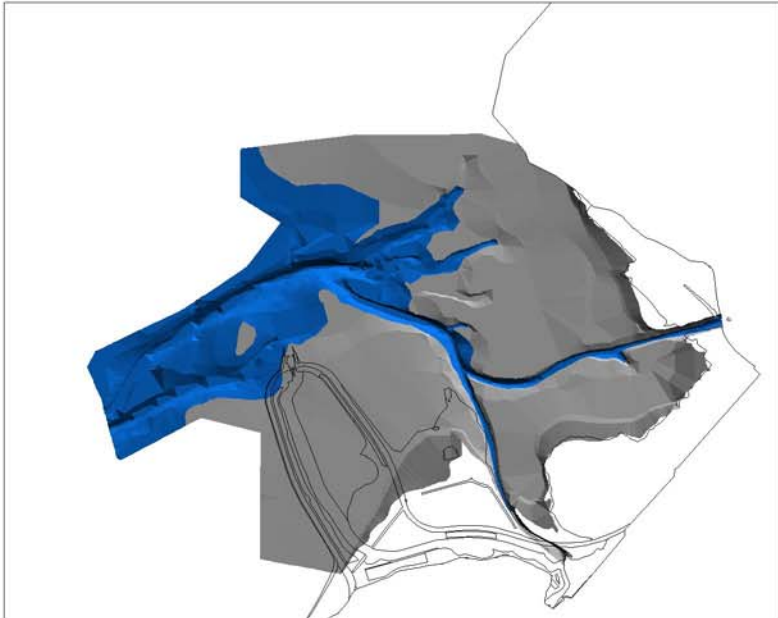
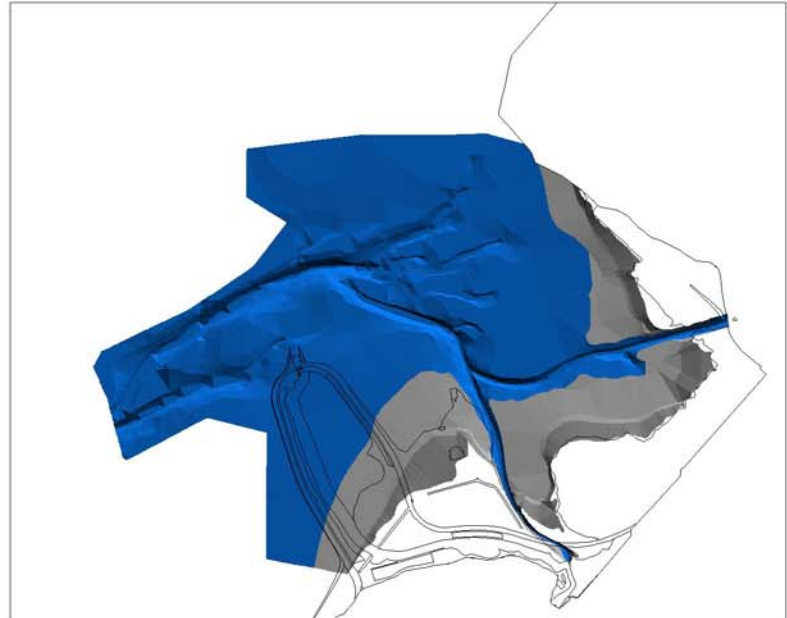


1975

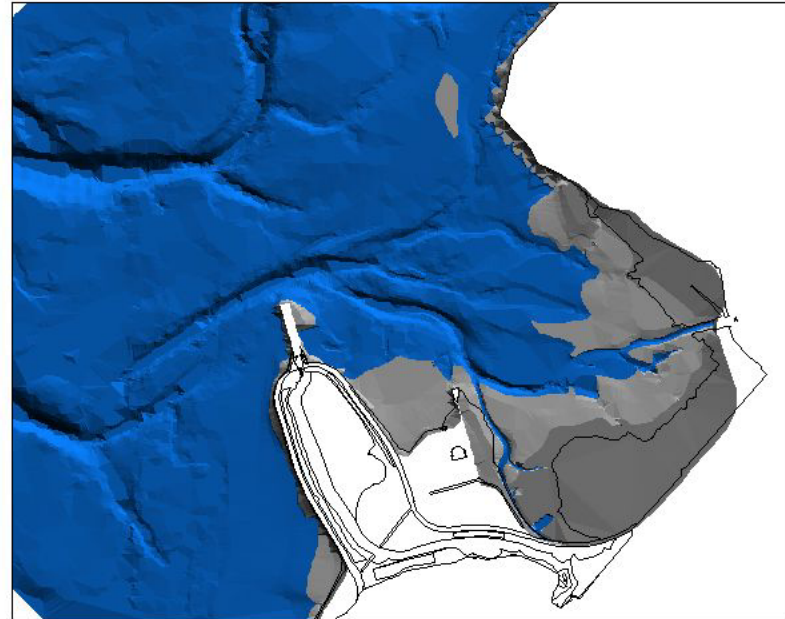
Wasserstand: NN-50cm



1983

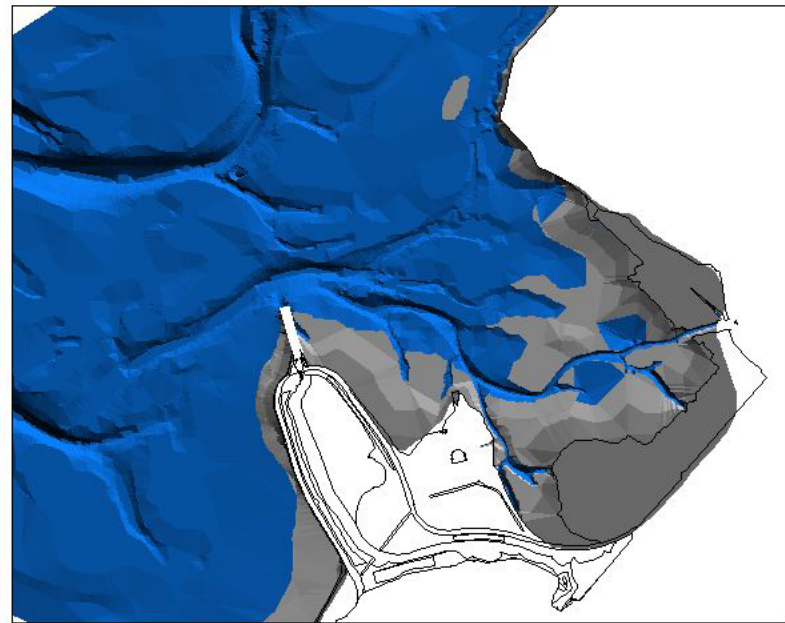


Wasserstand: NN+50cm

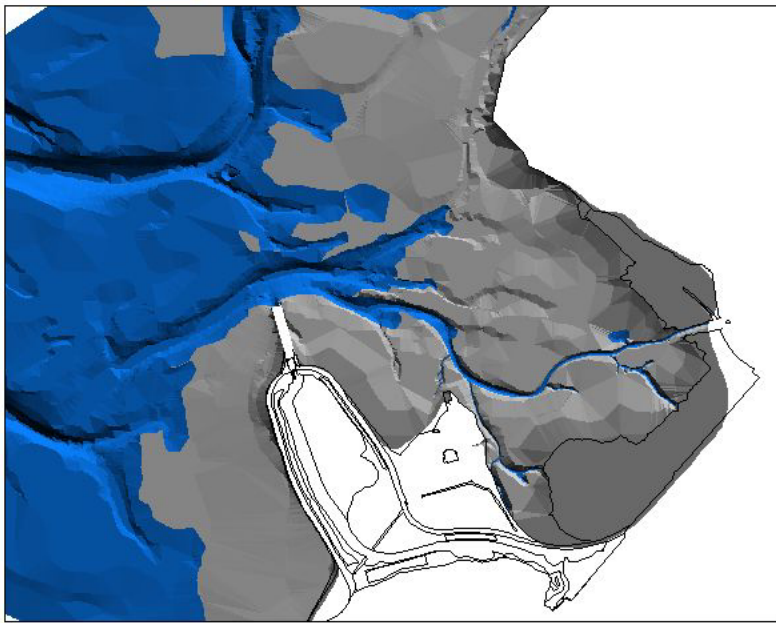
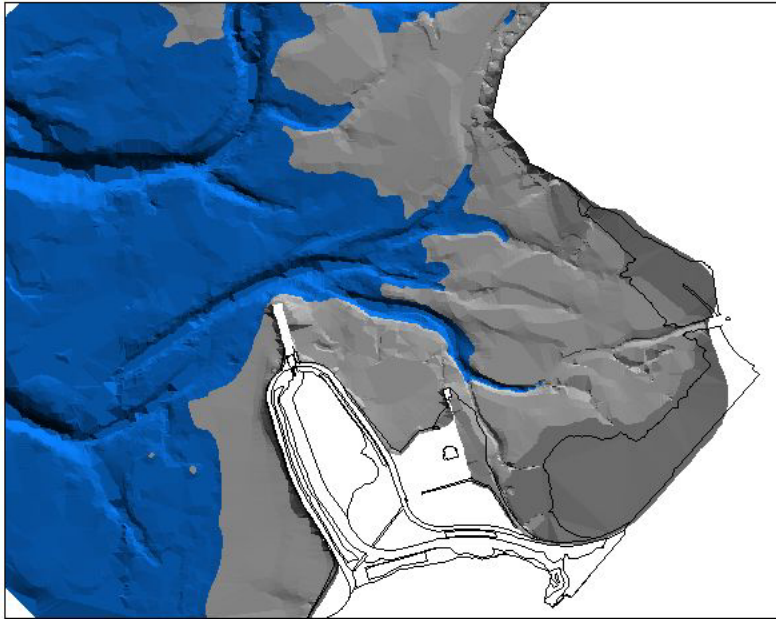


1990

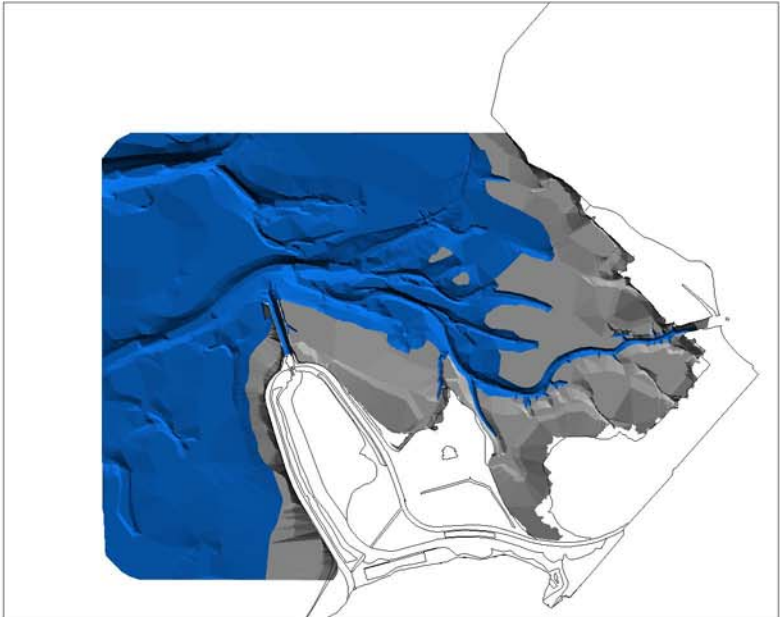
1994/95



Wasserstand: NN-50cm

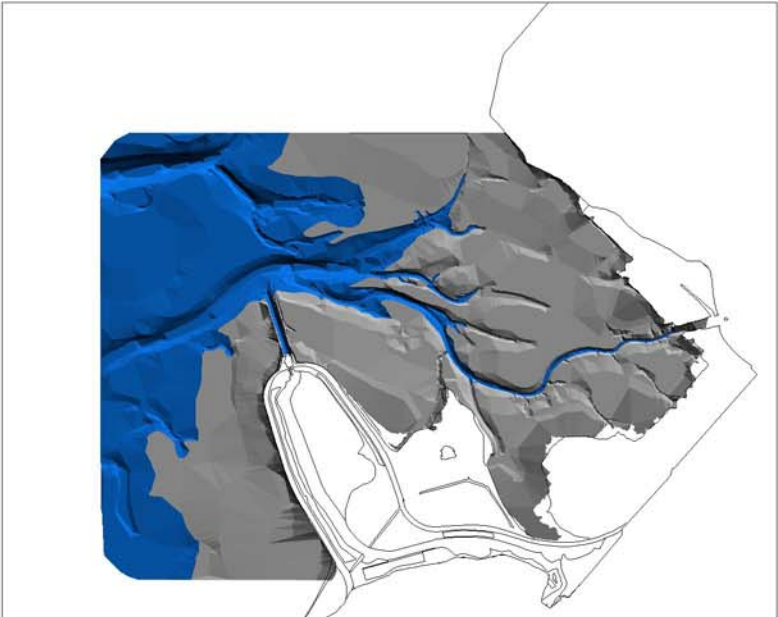


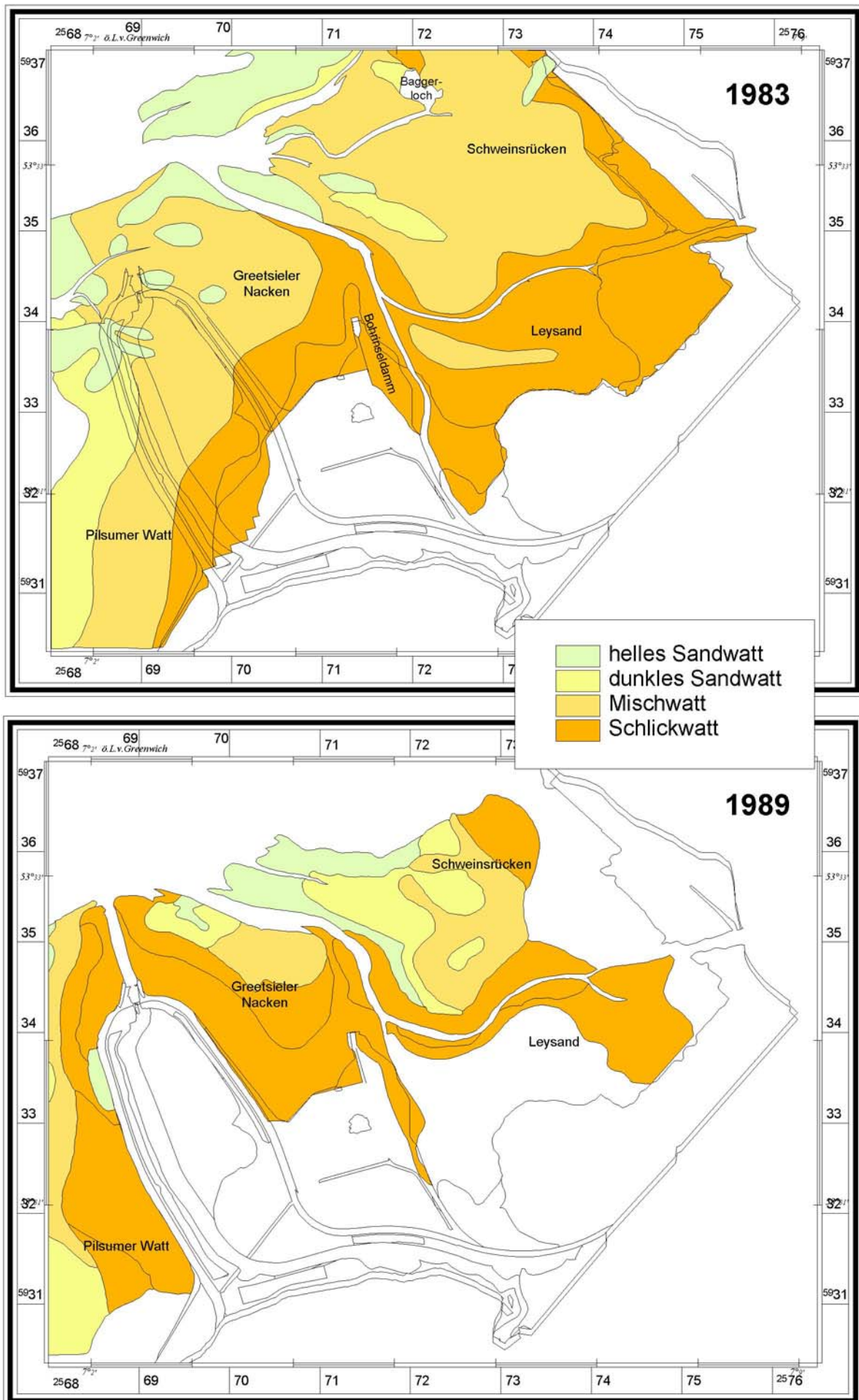
Wasserstand: NN+50cm



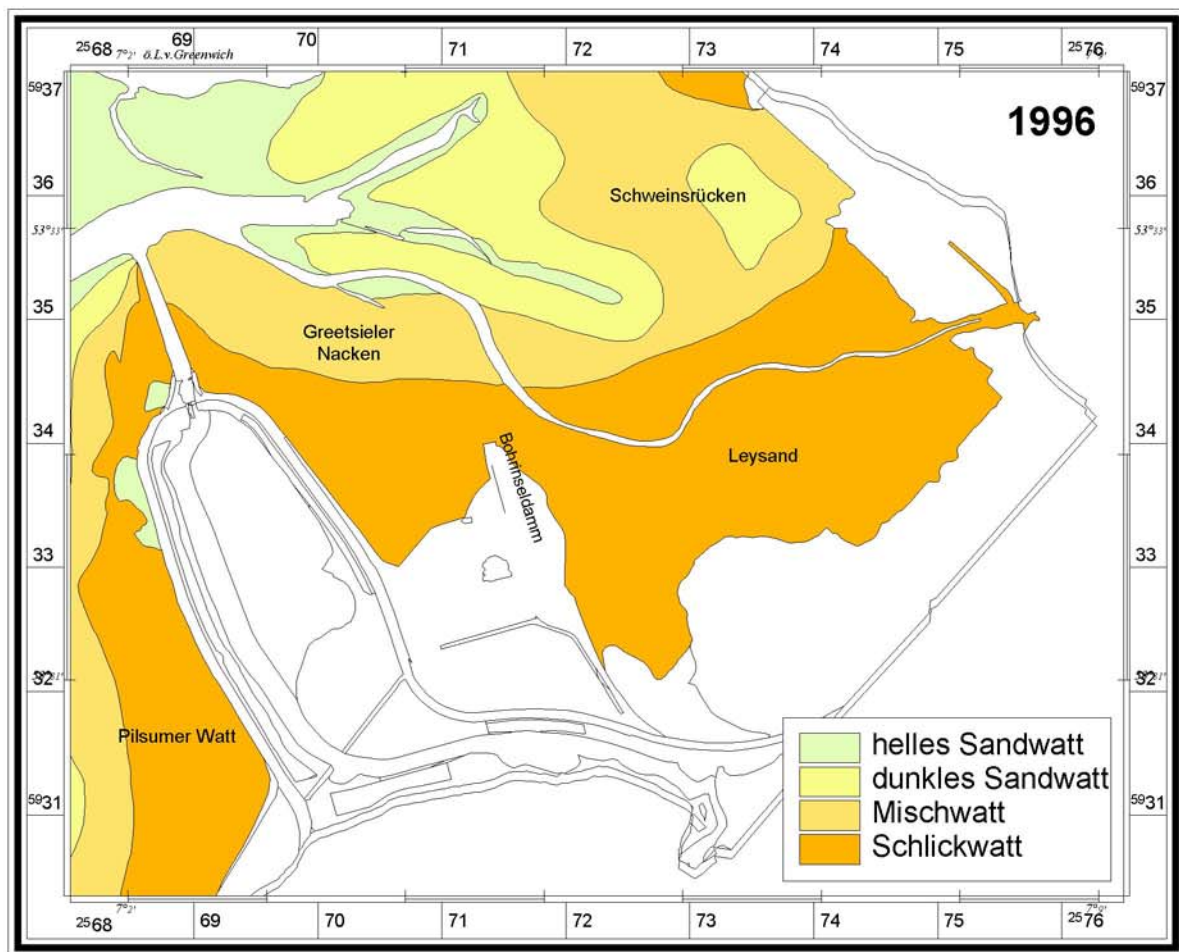
1998/99

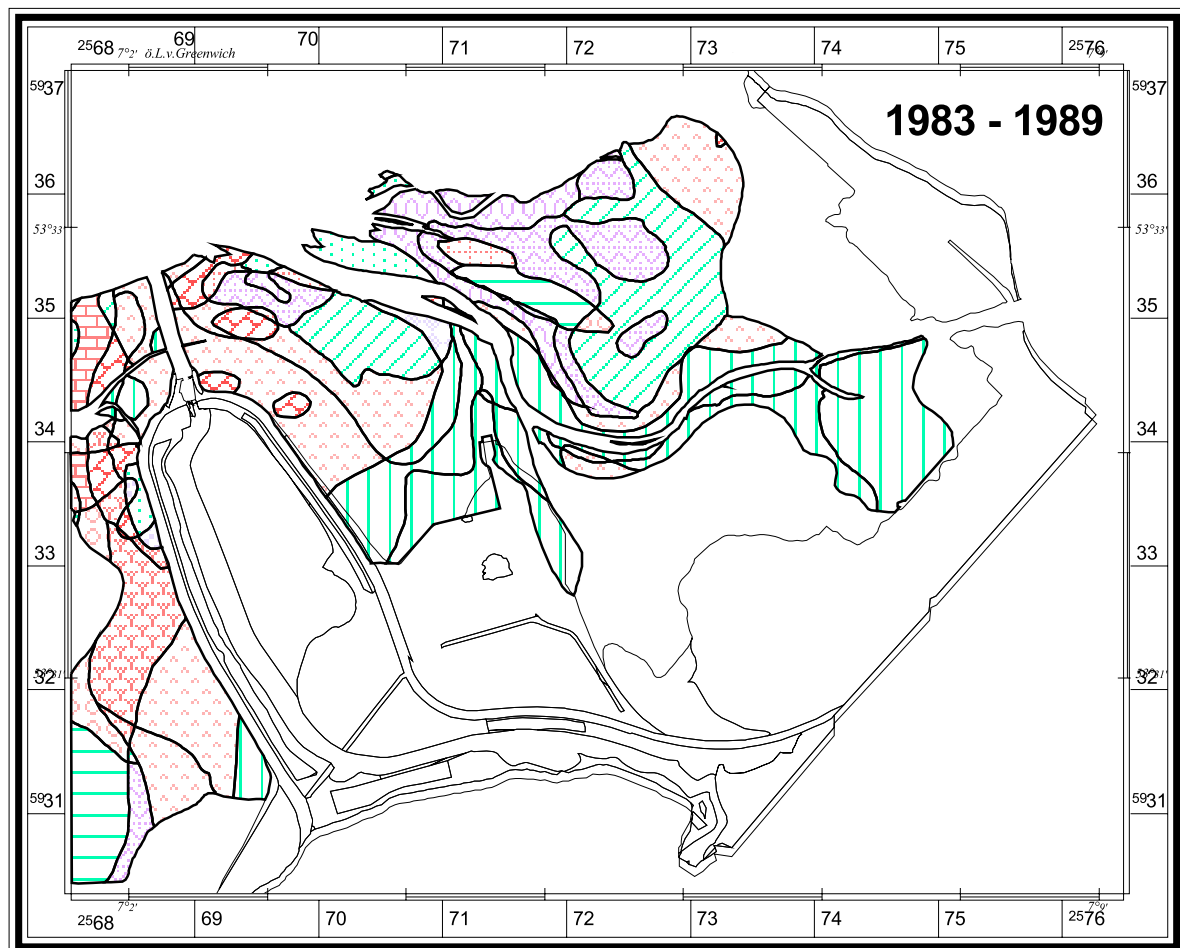
Wasserstand: NN-50cm



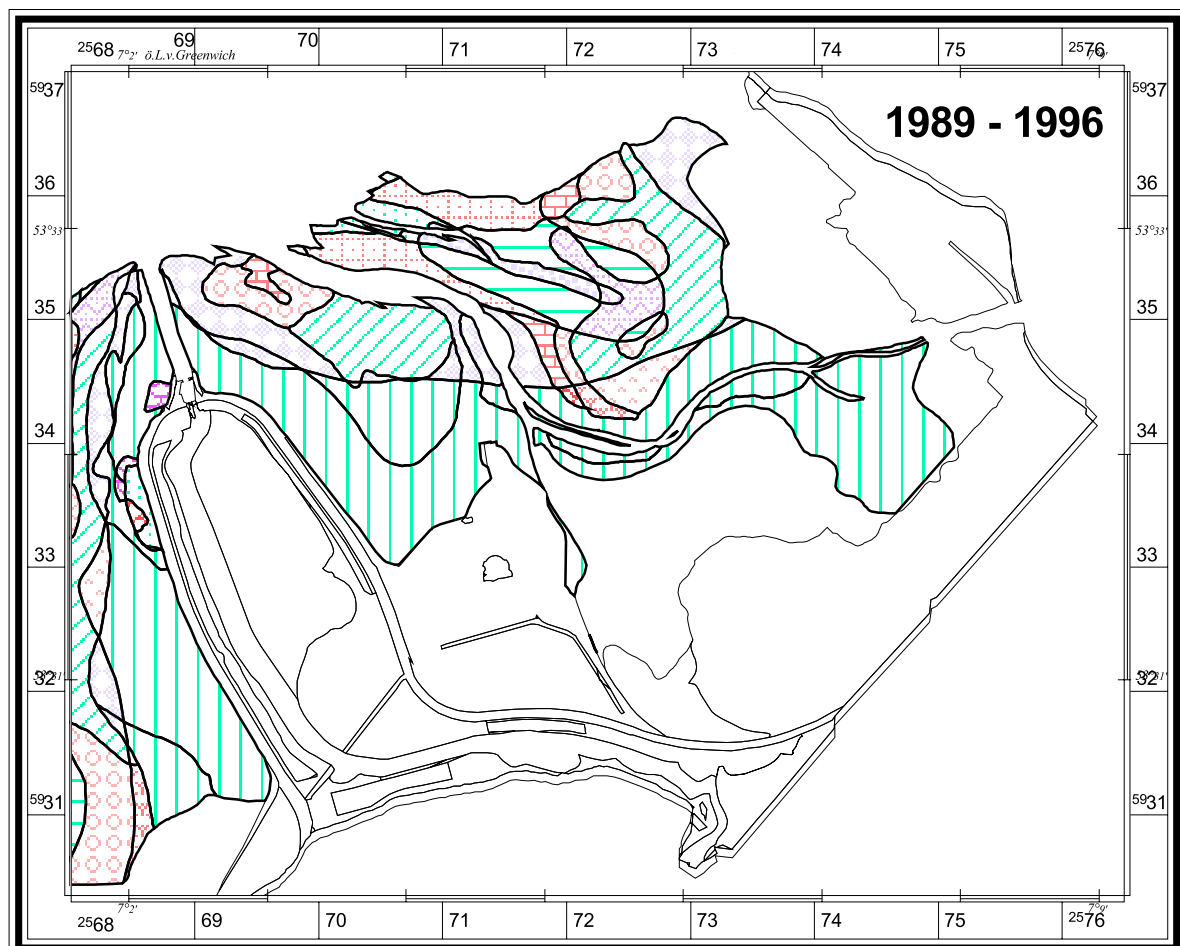


Sedimentverteilung in der Leybucht

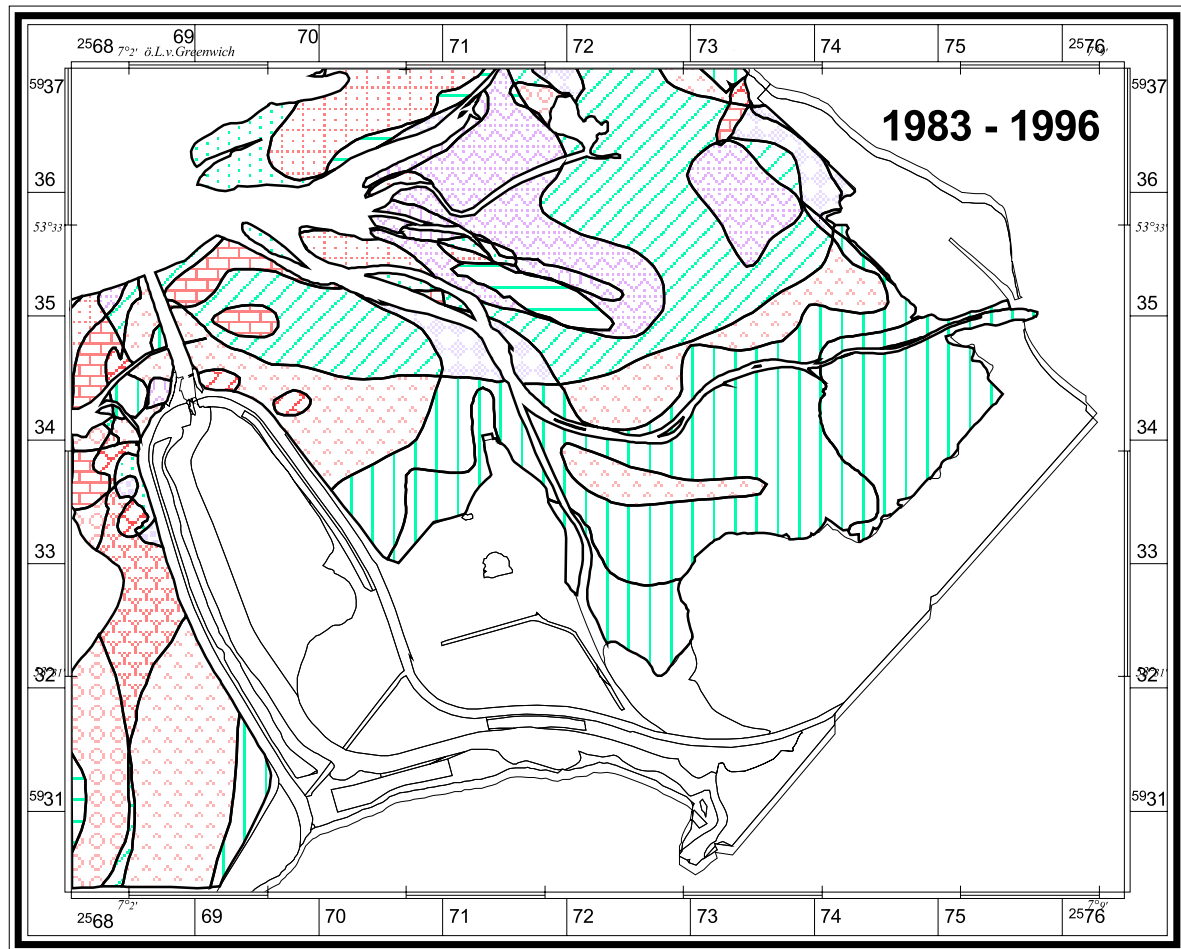




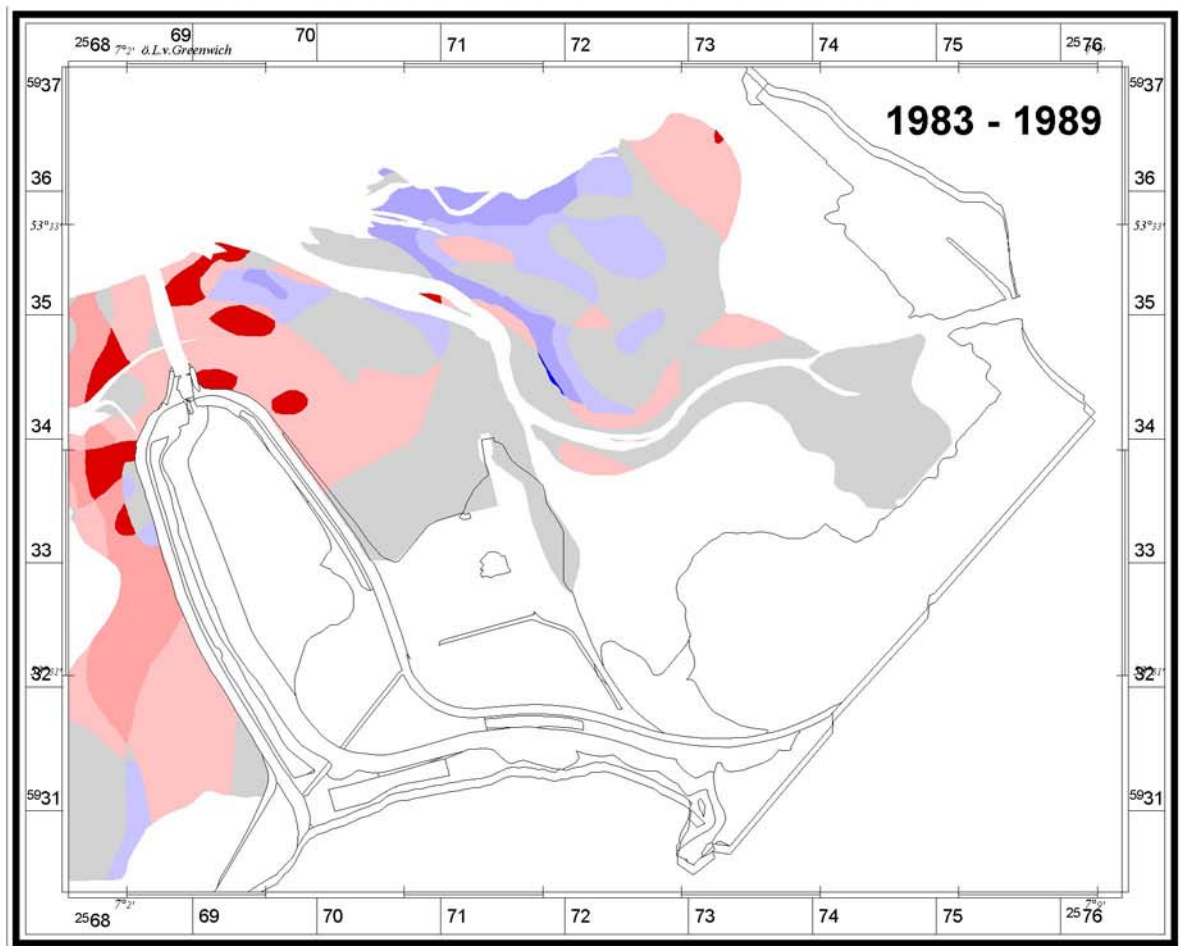
Legende s. Anlage 16



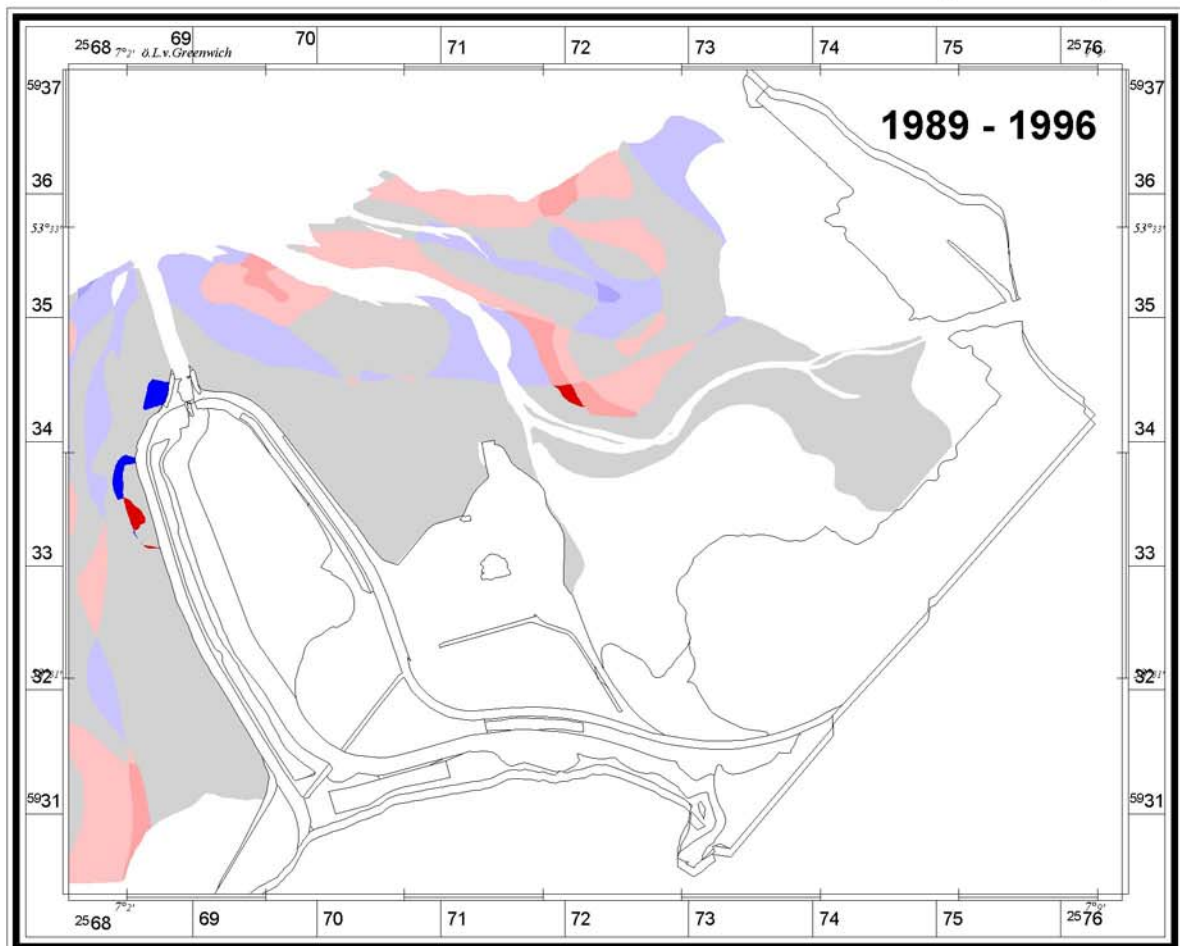
Veränderungen in der Sedimentverteilung



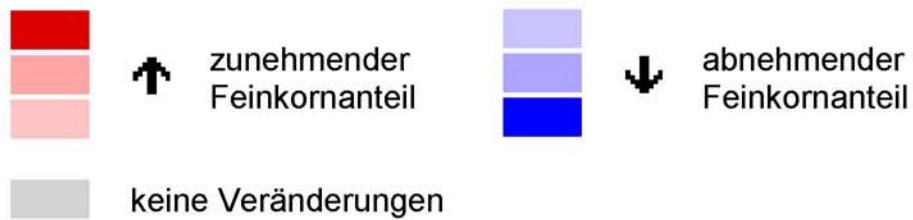
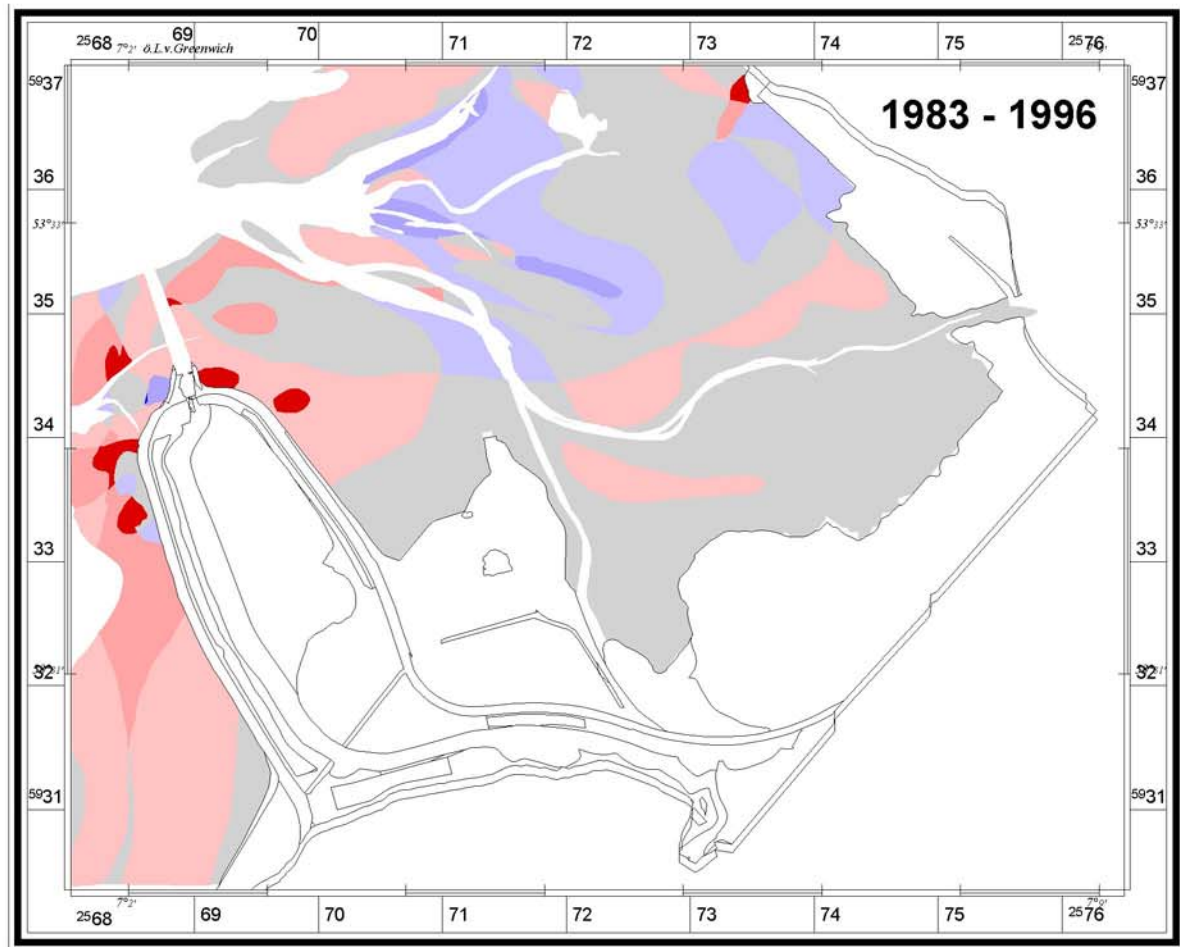
	helles Sandwatt, unverändert		dunkles Sandwatt ---> helles Sandwatt
	dunkles Sandwatt, unverändert		dunkles Sandwatt ---> Mischwatt
	Mischwatt, unverändert		dunkles Sandwatt ---> Schlickwatt
	Schlickwatt, unverändert		
	helles Sandwatt ---> dunkles Sandwatt		Mischwatt ---> helles Sandwatt
	helles Sandwatt ---> Mischwatt		Mischwatt ---> dunkles Sandwatt
	helles Sandwatt ---> Schlickwatt		Mischwatt ---> Schlickwatt
	Schlickwatt ---> helles Sandwatt		
	Schlickwatt ---> Mischwatt		



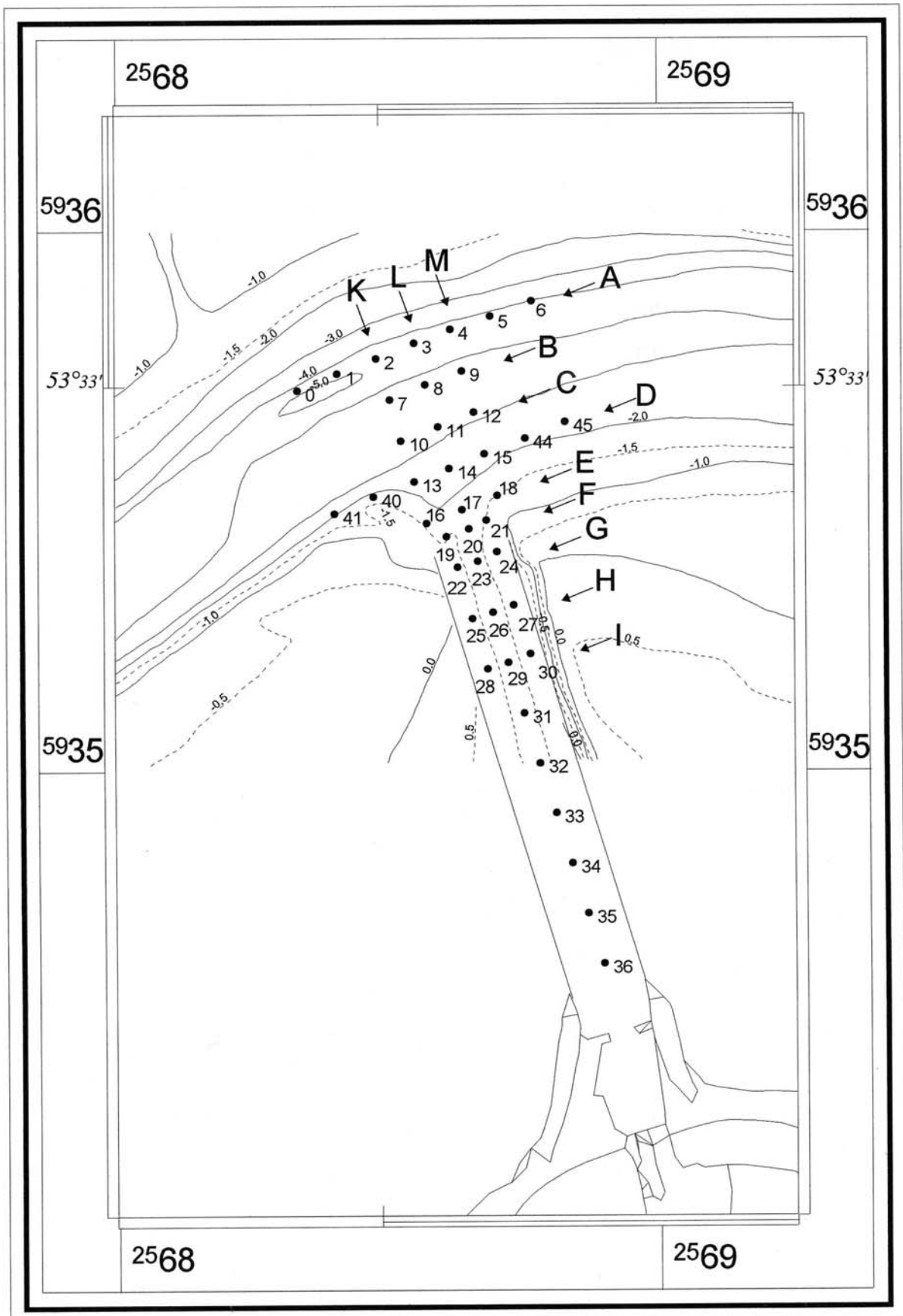
Legende s. Anlage 19



Änderungstendenzen in der Sedimentverteilung



Lageplan der Greiferproben Außentief „Leyhörn“



Analysen der Greiferproben im Bereich Außentief „Leyhörn“

Probe	Massenanteil in [%] für den Korngrößenbereich							Glühverlust [%]
	<63µm	63 - 90µm	90 - 125µm	125 - 180µm	180-250µm	250 - 355µm	>355µm	
0	48.98	14.66	25.94	8.62	1.58	0.06	0.16	7.7
1	28.50	6.40	34.22	28.14	2.24	0.16	0.34	7.15
2	49.44	13.36	18.46	10.94	5.32	0.84	1.64	9.14
3	43.46	6.76	18.40	22.70	6.76	0.88	1.04	9.01
4	72.20	8.30	7.80	6.56	3.70	1.22	0.22	13.23
5	14.90	8.86	28.90	26.92	17.96	1.14	1.32	4.84
6	28.52	10.70	22.38	22.84	11.92	3.46	0.18	4.43
7	18.66	9.78	43.00	26.50	1.34	0.36	0.36	4.91
8	33.42	8.16	31.06	24.36	2.40	0.32	0.28	7.73
9	50.86	15.40	26.62	6.68	0.22	0.08	0.14	10.06
10	35.62	15.04	34.30	13.52	1.18	0.14	0.20	6.93
11	44.52	16.38	30.16	8.74	0.16	0.02	0.02	7.77
12	46.34	13.50	32.46	5.72	0.50	0.14	1.34	10.2
13	36.20	9.74	26.22	27.12	0.54	0.06	0.12	
14	38.64	7.36	26.86	25.08	1.64	0.08	0.34	
15	65.50	15.74	15.92	2.48	0.14	0.06	0.16	
16	89.28	6.42	3.30	0.72	0.12	0.08	0.08	
17	76.96	11.60	5.08	5.22	0.72	0.32	0.10	
18	88.76	7.84	2.82	0.44	0.08	0.02	0.04	
19	95.14	3.72	0.90	0.16	0.02	0.02	0.04	
20	76.50	12.72	7.90	1.72	0.48	0.18	0.50	
21	50.92	16.00	23.46	9.00	0.36	0.18	0.08	
22	87.94	6.78	4.30	0.52	0.24	0.04	0.18	
23	88.62	6.86	3.36	0.76	0.22	0.06	0.12	
24	36.76	19.46	35.50	8.04	0.18	0.02	0.04	
25	86.78	7.94	4.54	0.56	0.04	0.02	0.12	
26	87.08	6.56	5.12	1.10	0.14	<0.01	<0.01	
27	36.28	23.44	36.80	3.44	0.04	<0.01	<0.01	
28	67.96	11.62	17.24	3.02	0.16	<0.01	<0.01	
29	95.12	3.02	1.48	0.30	0.08	<0.01	<0.01	
30	59.28	17.44	21.26	1.94	0.08	<0.01	<0.01	
31	64.82	11.10	20.46	3.46	0.14	0.02	<0.01	
32	89.76	4.16	4.60	1.10	0.20	0.10	0.08	
33	93.46	2.82	2.86	0.72	0.14	<0.01	<0.01	
34	63.86	15.22	18.98	1.88	0.06	<0.01	<0.01	
35	67.40	11.30	16.42	4.50	0.34	0.04	<0.01	
36	97.74	1.20	0.74	0.18	0.10	0.04	<0.01	
40	92.66	4.60	1.90	0.48	0.12	0.04	0.20	
41	48.02	19.20	24.58	4.84	0.22	0.16	2.98	
44	29.28	16.54	38.46	14.52	0.48	0.04	0.68	
45	13.04	9.36	43.14	33.74	0.42	0.02	0.28	