



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Entwurf und Implementierung eines GIS-basierten Scriptwerkzeugs
zur Berechnung von Küstenlinienveränderungen am Beispiel des
natürlichen und vom Küstenschutz beeinflussten Bereichs von
Graal-Müritz bis Prerow

eingereicht von: Sophie Bartelt
eingereicht am: 26. April 2013
Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Lutz Vetter
Dr. agr. Lars Tiepolt
Institut: Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich: Landschaftsarchitektur, Geoinformatik, Geodäsie
und Bauingenieurwesen
Studiengang: Geoinformatik
urn: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2013-0113-0

Abstract

The zone between the continental and the open sea area is intensive influenced by currents, waves and wind so that the shoreline may shift daily. Long-term erosion processes near to populated shores arise a danger to humans. The coast-protection discovers these vulnerable areas and find the best suitable solution to protect life and natur. A good data collection and analysis tools are necessary in this case to be able to make a informed choice. The present paper begins by outlining the coastal dynamics and morphology of the southwestern Baltic Sea coast and the already existing coastal protection. Using orthophotos, a geographic information system and a developed script tool to calculate the dynamics on the coast of Mecklenburg Vorpommern is studied in the range between Graal-Müritz and Prerow in a timescope from 2002 and 2012. The aim of this work is both the evaluation of of these studies and the assessment of the tool in its applicability.

Kurzfassung

Der Bereich zwischen dem Festland und dem offenem Meer ist so stark von Strömungen, Brandung und Wind beeinflusst, dass die Uferlinie sich täglich verschieben kann. Langfristige Abtragungsprozesse an besiedelten Ufern können eine Gefahr für den Menschen darstellen. Der Küstenschutz ist hier gefordert, die verletzlichen Gebiete zu entdecken und geeignet zu schützen. Eine gute Datenerhebung und Analysewerkzeuge sind dabei notwendig, damit fundierte Entscheidungen getroffen werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst auf die Küstendynamik und -morphologie der südwestlichen Ostseeküste und den hier geleisteten Küstenschutz eingegangen. Mit-hilfe von Orthophotos, einem Geoinformationssystem und einem entwickelten Script-werkzeug zur Berechnung der Linienverschiebung wird die Dynamik an der Küste von Mecklenburg Vorpommern im Bereich zwischen Graal-Müritz und Prerow untersucht. Ziel dieser Arbeit ist sowohl die Auswertung dieser Untersuchungen als auch die Beu-teilung des Scirptwerkzeugs in seiner Anwendbarkeit.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Sophie Bartelt geb. in Rostock, die vorliegende Bachelorarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Neubrandenburg, der 26. April 2013

.....
(*Unterschrift der Kandidatin*)

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis	1
1. Einleitung	2
2. Grundlagen Ostsee	3
2.1. Entstehung und Überblick	3
2.2. Eigenschaften der Ostsee	5
2.3. Landschaftsformende Prozesse im Küstenbereich	6
2.3.1. Zerstörungs- und Abrasionsvorgänge	7
2.3.2. Aufbauvorgänge	7
2.4. Küstenmorphologie in Mecklenburg-Vorpommern	8
2.4.1. Ausgleichsküste	8
2.4.2. Aufbau der Küste	8
2.5. Definition einer Küstenlinie	10
2.6. Globaler Meeresspiegelanstieg und die Auswirkung auf die Ostsee	12
2.7. Beschreibung des Untersuchungsraumes	13
3. Grundlagen Küstenschutz	18
3.1. Organisation	18
3.2. Methoden des Küstenschutzes	19
3.2.1. Planungsgrößen	19
3.2.2. Datengewinnung	20
3.2.3. Datenverarbeitung	22
3.3. Realisierungen im Küstenschutz	23
3.4. Küstenschutz im Untersuchungsgebiet	25
4. Entwurf und Implementierung eines Scriptwerkzeugs	27
4.1. Arbeitsgrundlage	27
4.1.1. Bezugssysteme	27
4.1.2. Geoinformationssystem-Software ArcGIS 10	30
4.1.3. Programmiersprache Python	31
4.2. Scriptwerkzeug Detect Shifting	32
4.3. Datenmaterial	36
4.4. Küstenlinie feststellen	37
5. Ergebnisse und Zusammenfassung	38
5.1. Systematische Darstellung der Ergebnisse	38
5.2. Fazit im Bereich der Küstendynamik und im Küstenschutz	39
5.3. Fazit im Bereich des Scriptwerkzeugs	40
6. Literatur	42
A. Anhang	44

I. Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaften der Vermessungsverwaltungen
ATKIS	Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BLMP	Bund-Länder-Messprogramm
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BHW	Bemessungshochwasserstand
CTP	Conventional Terrestrial Pole
CONTIS	Continental Shelf Information System
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
DHHN92	Deutsches Haupthöhennetz 1992
GIS	Geoinformationssystem
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HN	Höhennull
IMK	Internes Messnetz Küste
ITRS	Internationales Referenzsystem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KKM	Küstenkilometrierung
LaIV	Landesamt für Innere Verwaltung
LU	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
MHW	mittlere Hochwasser
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NHN	Normalhöhennull
NMW	Normal-Mittelwasserstand
StaLU	Staatliche Ämter für Landwirtschaft und Umwelt
StaLU-MM	Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt - Mittleres Mecklenburg
UTM	Universale Transversale Mercatorprojektion
WMS	Web Map Server

1. Einleitung

„Die Küste ist das am weitesten verbreitete Landschaftselement der Erde“ [Kellertat1995]. Sie gehört zu den wandelbaren und verletzlichen Naturräumen. Gezeiten und Sturmfluten führen nicht nur zu einem veränderten Pegelstand, sondern formen auch das Bild der Küste. Morphologische Prozesse erzeugen Abrasion und Akkumulation. Ersteres bedeutet oft eine Gefahr für den Lebensraum des Menschen. 20% der Weltbevölkerung leben in Küstenbereichen. An dieser Stelle setzt der Küstenschutz ein. Sandaufspülungen, Dünenverstärkungen und Deiche sichern u.a. Siedlungsbereiche, landwirtschaftlich genutzte Flächen und Kulturerbe. Im engen Zusammenhang steht in diesem Bereich die Arbeit des Umweltmonitorings. Mit Luft- oder Satellitenaufnahmen und Felduntersuchungen werden die Entwicklungen von Naturräumen beobachtet.

Inhalt dieser Bachelorarbeit ist der Überblick der Morphologie und Küstendynamik an der südwestlichen Ostseeküste in Mecklenburg Vorpommern. Dafür stehen Orthofotos im Zeitraum von 2002 bis 2010 zur Verfügung, die mit einem Scriptwerkzeug innerhalb eines Geoinformationssystem untersucht werden. Die Küstenformen und die Entwicklung der einzelnen Untersuchungsgebiete von Graal-Müritz bis Prerow werden neben der allgemeinen Definitionfrage, wie eine Linie zwischen dem Meer und dem Land gezogen werden kann, im ersten Kapitel aufgeführt.

Im zweiten Teil werden die historische Entwicklung und die Arbeitsmethoden des Küstenschutzes im Raum Mecklenburg Vorpommern untersucht. Der Schutz der Uferzone wird durch unterschiedliche Bauwerke und Maßnahmen realisiert. Die verschiedenen Verfahren und deren benötigten Parameter werden beschrieben.

Zuletzt wird das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Scriptwerkzeug vorgestellt und seine Anwendung dokumentiert. Die Auswertung der Orthofotos und die Arbeit mit dem Geoinformationssystem führen zum Fazit bezüglich der Anwendbarkeit des Scriptwerkzeuges und der Dynamik der Küsten in den Untersuchungsgebieten.

2. Grundlagen Ostsee

Das Binnenmeer im Nordosten Europas, entstanden aus den glazial geformten Becken der letzten Eiszeit, früh besiedelt und bewirtschaftet und heute umgeben von acht europäischen Staaten und Russland, hat in vieler Hinsicht eine besondere Charakteristik. In diesem Teil der Arbeit wird auf die Entstehungsgeschichte, die hydrographischen und morphologischen Eigenschaften und die Bedeutung der Ostsee für Menschen eingegangen.

2.1. Entstehung und Überblick

Nachdem vor 12 000 Jahren v.u.Z. das skandinavische Eisschild begann abzuschmelzen entstand der Baltische Eisstausee. Zudem gelangte das erste Meerwasser von der Nordsee über die mittelschwedische Ebene in diesen See. Es entwickelte sich das Yoldiameer, ein brackiges salzreiches Gewässer. Vor 9500 Jahren v.u.Z. begann sich die mittelschwedische Ebene nacheiszeitlich zu heben und staute den somit entstandenen Anclyussee. Bis 8000 Jahre v.u.Z. strömte weiter salzreiches Wasser ein und das Meer wurde zunehmend brackiger [IOW2013]. Der darauffolgende starke globale Meeresspiegelanstieg ließ den Pegelstand der heutigen Ostsee um 20 m steigen. Die Ausuferung der Küsten durch einen Meeresspiegelanstieg nennt man Transgression. Nach eben dieser „Litorina“-Transgression und dem Abklingen des Meeresspiegelanstieges vor ca. 6000 v.u.Z. Jahren fängt der bis heute anhaltende Prozess des Küstenausgleichs an der Ostseeküste von Mecklenburg-Vorpommern (MV) an [StaLU-MM2009].

Die Ostsee, als eines der Nebenmeere des Atlantischen Ozeans, bedeckt heute eine Fläche von 412 560 km² und hat ein Volumen von 21 631 km³. Sie erstreckt sich etwa über 1300 km von 54° bis 66° nördlicher Breite und über 1000 km von 10° bis 30° östlicher Länge. Ihre mittlere Tiefe beträgt 52 m, die maximale 459 m am Landsorttief im westlichen Gotlandbecken an der schwedischen Küste [IOW2013]. Die Ostsee wird auch baltisches Meer genannt (engl. baltic sea). Sie ist von 9 Anrainerstaaten mit einer Gesamtküstenlänge von ca. 22 000 km umgeben [IKZM2011]. Bis auf die russische Exklave Kaliningrad und der östlichste Teil der Ostsee bei St. Petersburg gehören acht der Anrainerstaaten zu der Europäischen Union.

Das Einzugsgebiet eines Meeres fungiert nicht nur als Lebensraum für Flora und Fauna, sondern ist auch ein wichtiger Bereich für das internationale Wirtschaftssystem und dessen Infrastruktur. Weltweit wird bis zu 85% des Handels über die Schifffahrt betrieben, interkontinentaler Warenverkehr bis zu 95%. Auch die Anrainerstaaten der

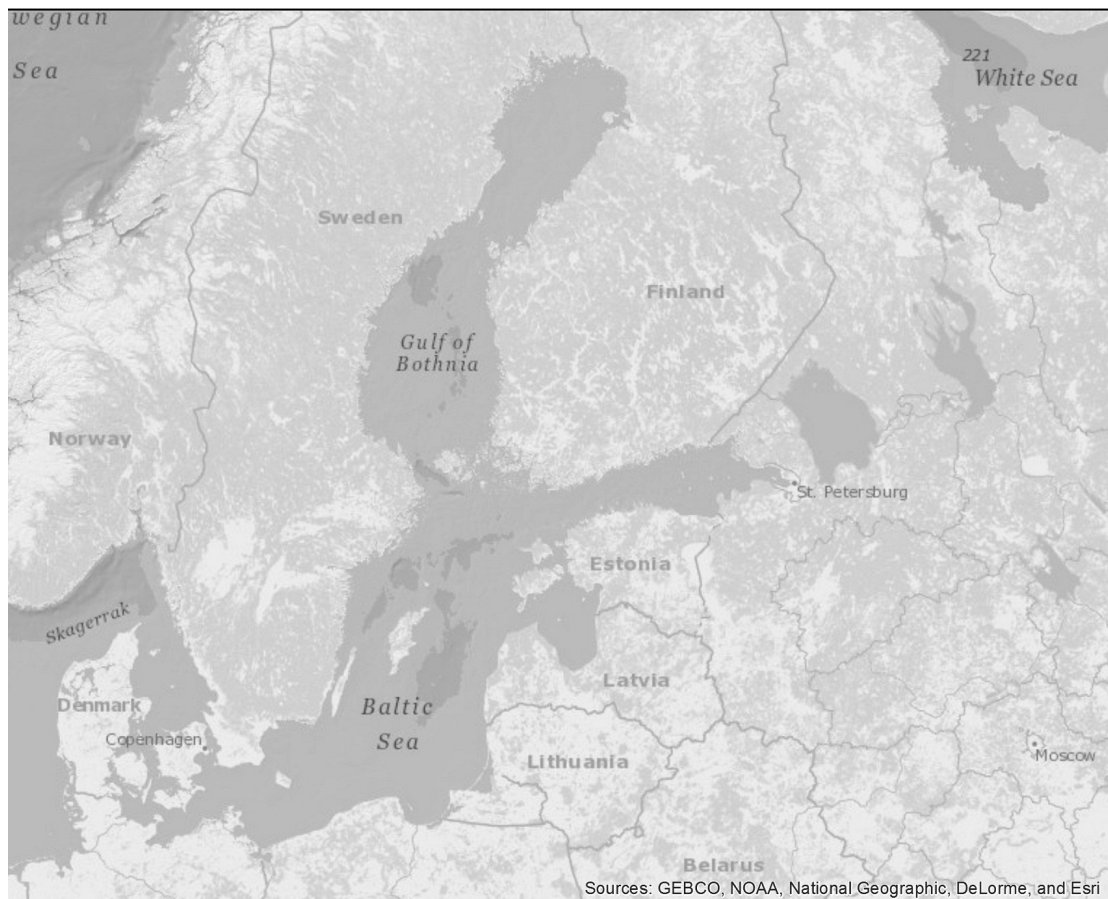


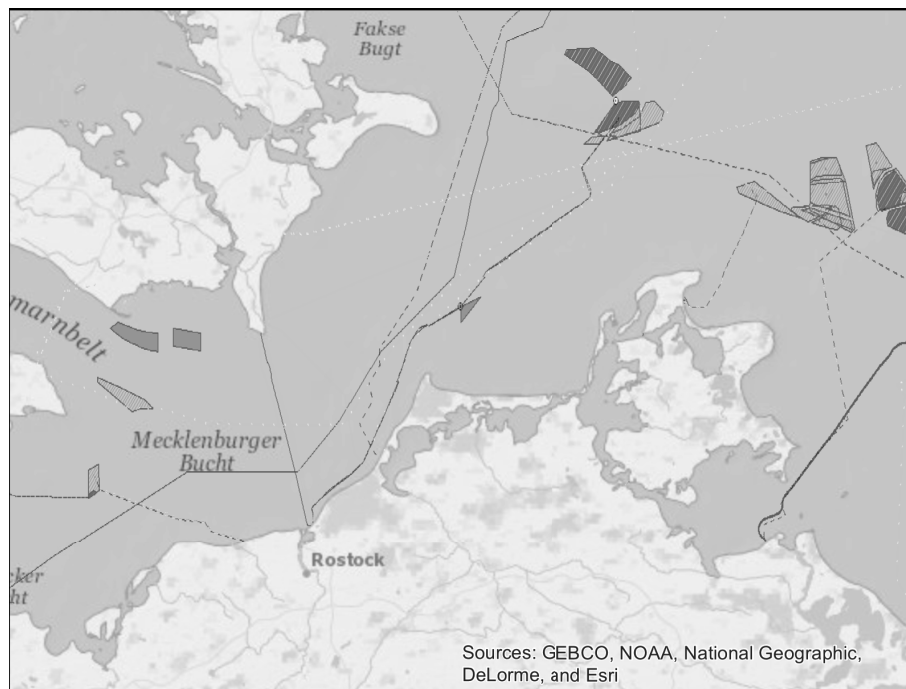
Abbildung 2.1.: Geographie der Ostsee, M 1: 20 Mio. [OB ArcGIS2013]

Ostsee nutzen das Meer für den intensiven Transport auf und unter dem Wasser. Der Meeresboden ist zu großen Teilen mit Leitungen belegt, die dem Transport von Öl, Gas, Strom und Daten dienen. Im November 2011 wurde die Erdgas Pipeline von Gasprom in Betrieb genommen. Vom russischen Wyborg bis nach Greifswald wurde eine Strecke von 1224 km mit Gasrohrleitungen verlegt. Neben dem Austausch der Energien zwischen den Ländern, wird auch der von den Off-Shore-Windparks erzeugte Strom via Kabel an das Festland transportiert. Momentan sind drei geplante Windparks in nordöstlicher Richtung vor der Küste Rügens vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) genehmigt [BSH2011].

Außerdem werden sowohl Kies und Sand gefördert, als auch der Schiffsverkehr durch Fahrrinnen optimiert und das Meeresgebiet für militärische Übungszwecke genutzt. Insgesamt entstehen sowohl in den vertikalen Ebenen (Meeresoberfläche, Wassersäule und Meeresboden) als auch in horizontalen Ebenen (Küste, offenes Meer mit Ländergrenzen) viele Lebensräume für Vegetation, Tierwelt und weitere eingreifende Wirtschaftsräume des Menschen. Die Verhütung von Umweltschäden und die Organisation aller Bereiche obliegt den Anrainerstaaten selbst.

So gibt es in Deutschland für die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) Raumordnungsverfahren, die den Bau und die dafür notwendigen Auflagen der Windparks und Pipelines festlegen. In der Abbildung 2.2 werden einige Nutzungstypen im

deutschen Ostseeraum dargestellt. Die AWZ erstreckt sich 200 Seemeilen (321.86 km) von der Basislinie, die normalerweise die Niedrigwasserlinie der Küsten ist. Zudem wird hier jedem oben erwähnten Sektor der Raum im und auf dem Meer gewährt. Auch die Bedingung Schutzräume zu schaffen und zu wahren gehört dazu. Für den Küstenbereich (12 Meilen seewärts von der Basislinie) sind jedoch die Bundesländer zuständig. Im Allgemeinen ist eine Kooperation mit den Nachbarstaaten notwendig, da die außerschließlichen Wirtschaftszonen in der Ostsee dicht aneinanderliegen.



Legende

● Ölplattformen	— Datenkabel	— Ölpipeline
● Gasplattformen	— Energiekabel	— Gaspipeline
● Messplattformen	■ Windfarmen	— Wasserpipeline

Übersichtskarte CONTIS Facilities
M 1: 2.5 Mio.

Abbildung 2.2.: Raumnutzungsplan CONTIS [BSH]

2.2. Eigenschaften der Ostsee

Der Salzgehalt eines Meeres, die Salinität, liegt im Allgemeinen bei ca. 35‰. In der Ostsee wird ein Wert von 5 – 10 ‰ gemessen. Die Konzentration nimmt von West nach Ost ab. Im Kattegat liegt der Gehalt noch bei 25 ‰, hier fließt das Meerwasser der Nordsee direkt ein. Das salzreiche Wasser aus der Nordsee ist schwerer und fällt ab. Dadurch entsteht ein „von Außen nach Innen gerichtetes Druckgefälle“ [Duphorn1995]. Dieser Einstrom ist mit 470 km³ pro Jahr sehr gering. Zusätzlich fließt durch die Mündungen der Flüsse (440 km³ pro Jahr) und mit dem Niederschlag (225 km³ pro Jahr) viel Süßwasser ein. Somit wird weiter östlich am Usedomer Bodden nur noch eine Salinität von 1 ‰ gemessen [Duphorn1995].

Gezeiten sind die rhythmische Veränderungen des Wasserstandes um einen Mittel-

wert mit einer Periode von Stunden bis zu einem Tag und einer Amplitude von gegen Null bis zu vielen Metern. Die Kräfte, die Flut und Ebbe erzeugen, sind die Anziehungskraft, die Fliehkraft der Erde und die Anziehungskraft des Mondes in Subtraktion und Addition mit der Anziehungskraft der Sonne [Kelletat1989]. Durch den engen Zugang zwischen Ostsee und Nordsee kann der Tidenhub des Atlantischen Ozeans nur gering weitertransportiert werden. Deshalb ist in der Ostsee eine maximale Amplitude von 15 cm in der Beltsee zu finden.

Die Küsten sind jedoch sturmbedingten Wasserschwankungen ausgesetzt [Duphorn1995]. Ein Pegelstand von 2.83 m über dem heutigen Normal-Mittelwasserstand (NMW) in Warnemünde wurde bei dem Ost-Sturmhochwasser im Jahr 1872 aufgezeichnet [Tiepol1994]. Es gibt vier Effekte die Sturmfluten in unterschiedlichen Maßen hervorrufen.

Treiben über einen längeren Zeitraum Südwest- bis Weststürme das Ostseewasser in nordöstliche Richtung, füllt sich die Ostsee zunehmend mit Wasser aus der Nordsee. Dieser *Füllungseffekt* kann eine Flut von 0.3 bis 0.5 m hervorrufen. Der *Schwingungseffekt* tritt danach ein, indem die Winde nachlassen. Das im Nordosten gestaute Wasser schwingt zurück und trifft auf die südwestlichen Ufer mit einer Höhe von 1 m über Normalwasserstand. Der *Stauereffekt* treibt zusätzlich durch Nord- und Nordostwinde das Oberflächenwasser in den Süden und erhöht die Sturmflutwelle um weitere 0.5 bis 1 m. Die Ostseeküste ist von großen und kleinen Buchten geprägt, welche in dieser Situation unter dem *Buchtenstau* leiden. Die auf die Küste zugeschobenen Wassermassen stauen sich in den Buchten und der Pegel kann gegenüber der Außenküste um einen halben Meter ansteigen [StaLU-MM2009]. Diese Stürme werden durch Tiefdruckgebiete der Westwinddrift hervorgerufen und sind besonders stark in den Wintermonaten zu verzeichnen [Duphorn1995]. Die Grafik 2.3 veranschaulicht den Anstieg der Fluthöhe durch die oben genannten Indikatoren.

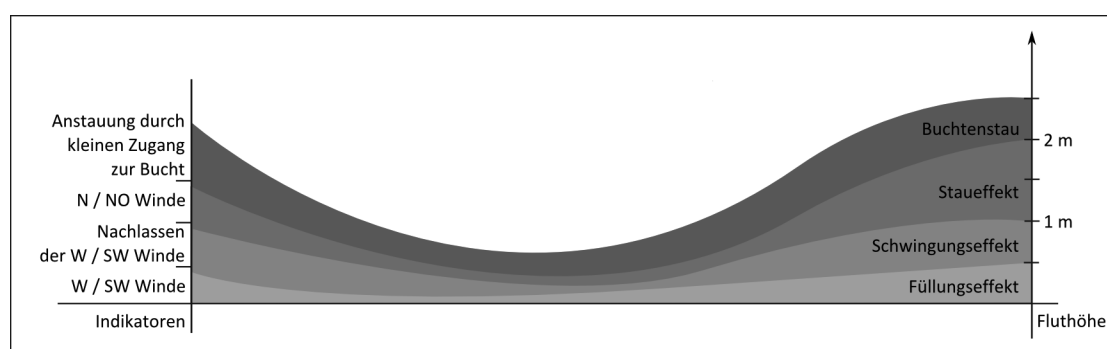


Abbildung 2.3.: Sturmflutindikatoren

2.3. Landschaftsformende Prozesse im Küstenbereich

65% der deutschen Ostseeküste weisen eine Rückgangstendenz auf. Jährlich weicht die Küste im Durchschnitt 35 cm zurück [StaLu-MM2009]. Ein steter Prozess verändert

das Bild der Ufer. Alle Vorgänge, Kräfte und Formen, die an einer Küste auftreten, werden als *litorale* Prozesse bezeichnet. Welche Kräfte wirken und wie sie am Gestaltungsprozess der Ostseeküste teilhaben, wird folgend erläutert.

2.3.1. Zerstörungs- und Abrasionsvorgänge

Küsten werden durch verschiedenen Einwirkungen abgebaut. Material wird abgetragen und die Küstenlinie wandert landeinwärts. Die mechanische Zerstörung wird im Ostseeraum durch Wellen- oder Windeinwirkung erzeugt, da andere endogene Kräfte wie Erdbeben und Vulkanismus hier nicht auftreten. Das Ausmaß der Zerstörung ist sowohl von der Windstärke abhängig, als auch von der Brandungsstärke, also der Energie der Wellen. Diese Abtragungseinwirkung der Meeresbrandung ist die *Abrasion* von Küsten [Murawski1992]. Zudem bestimmt die Höhe und Konstanz der Richtung der Wellen und auch das Material der Küste den Grad des Rückgangs. An den Ausgleichsküsten von MV wird das Lockermaterial, der Sand und Ton, stets durch die Brandungsströmung seitwärts transportiert. Die Felssteinküste hingegen, wie an den Steilküsten (s.u.) wird von den Wellen permanent und langwierig bearbeitet. Sie drücken gegen die Gesteinsoberfläche, Wasser und Wind gelangen abwechselnd in die Spalten einer Steilwand. Bereits vorhandenes Lockergestein vor dem Felsstein erhöht den Energieeintrag und dient zusätzlich als Schleifmaterial. Die Gesteinsteile in der Wand lockern sich sukzessiv, brechen anschließend heraus und rutschen schwerkraftsbedingt in die Brandungszone ab. Außerdem können Auftauvorgänge die Küstenlinie zurückdrängen. Hierbei tauen die Küsten z.B. im arktischen Bereich landeinwärts ab oder wie im Ostseeraum erfolgt eine subaërische Frostsprengung. Dabei sammelt sich Wasser zwischen den Gesteinsteilen und dehnt sich bei Frost aus. Aggressives Meerwasser oder die Salzverwitterung sind chemische Zerstörungsprozesse. Biologische Prozesse wie das Abscheiden aggressiver Körpersubstanzen oder Bohren und Graben von Tieren beeinflussen kleinräumig den Rückgang der Küsten.

2.3.2. Aufbauvorgänge

Der Abrasion stehen Aufbauvorgänge gegenüber, die durch die Akkumulation von anorganischen und organischen Materialien hervorgerufen werden. Die anorganischen litoralen Prozesse erfolgen bei der Anschwemmung der Lockermaterialien durch die Brandungsströmung. Sande vom Meeresboden, seitwärtigen Kliffabschnitten oder vom Festland werden angeliefert. Nur Wellen die über dem Meeresspiegel hinausragen können Material anlanden. Es entstehen Strandwälle, die bei geringem Wellengang austrocknen und dann bei günstigen Winden landeinwärts transportiert werden. Das feine Lockermaterial sammelt sich in den Dünen und verstärkt diese. Schwemmlandebenen benachbarter Flussmündungen liefern Material für Akkumulationen in den seitwärts gelegenen Küstenbereichen. Organische Materialien wie Tang und Seegras, aber auch Knochen und Muscheln erzeugen eine geringe Akkumulation [Kelletat1995].

2.4. Küstenmorphologie in Mecklenburg-Vorpommern

Hier sollen die Gliederung der Küstenformen und deren Eigenschaften erläutert werden. Der ganze Raum der südwestlichen Ostseeküste entstand vor 8000 Jahren v.u.Z. als die Litorina-Transgression die tiefer gelegene Grundmoränenlandschaft überflutete. Nachdem sich der Meeresspiegelanstieg 6000 Jahre v.u.Z. einstellte, treten bis heute nur noch leichte Schwankungen auf. Im jüngeren Pleistozän und in nacheiszeitlicher Entwicklung entstanden drei morphologische Küstentypen. Die *Großbuchtenküste* ist zu verzeichnen vom Priwall bis zum Nordstrand der Wismarer Bucht und geprägt von großräumigen Gletscherzonen. Zum Osten hin weisen die großen Buchten zunehmende Ausgleichsprozesse auf. Dies ist der Übergang zur gleichnamigen *Ausgleichsküste Mecklenburg*, die von der Bugspitze bis zur Rostocker Heide verläuft. Sie war ursprünglich stark gegliedert, jedoch der Sedimenttransport von Westen erzeugte eine Glättung des Verlaufs. Die dritte Form ist die von der Rostocker Heide bis zur Insel Usedom reichende *Boddenausgleichsküste*. Hier wurden bei der Transgression die erhöhten Moränen und Kuppen vom Wasser umschlossen, so dass Inseln und Inselketten entstanden.

2.4.1. Ausgleichsküste

In diesem Zusammenhang wird auf das Prinzip der *Ausgleichsküste* näher eingegangen. Eine Ausgleichsküste beschreibt einen Küstenbereich, bei dem sich durch litorale Prozesse die ursprüngliche Form verändert. Induziert durch Wellen und Wind, werden an einem Ort Materialien abgetragen und durch Strömungen an einem anderen Ort wieder angeschwemmt. Die reliefstarke Endmoränenlandschaft wird durch windbedingte Wasserströmungen bearbeitet. Die Hauptwindrichtung in der südwestlichen Ostsee ist West, daher nimmt die Küstenveränderung von West nach Ost zu. Die oben erwähnten Inselkerne werden durch Strömung und Seegang stark geformt, in dem Material an den herausragenden Bereichen abrasiert und selbiges mit der Strömung in beruhigteren Bereichen abgelagert wird. Das erodierte Material sammelt sich zwischen den Inselkernen an, so dass diese als Stützpunkte für die sich somit schließende Küstenlinie dienen. Sie stellen die Haken dar, an denen sich Nehrungen anhängen, die sich mit dem nächsten Kern verbinden und somit Teile der Küste vom Meer isolieren. Die sogenannten Bodden oder Haffe entstehen. Der Prozess der Ausgleichsküsten schreitet stets fort und wird begünstigt durch das leicht erodierbare Material der Steilküsten [StaLU-MM2009].

2.4.2. Aufbau der Küste

Die Beschreibung geomorphologischer Küstenformen benötigt die Gliederung des Raumes. Die Küste wird gebildet aus der Uferzone, der landseitige Teil und der Schorre, der seewärtige Teil als Einwirkungsbereich der Wellen auf dem Meeresboden ist. Bei den zwei typischen Küstenformen, der Steil- und der Flachküste, sind die Schorre und das Ufer jeweils unterschiedlich stark ausgeprägt. In der Schorre der Flachküste

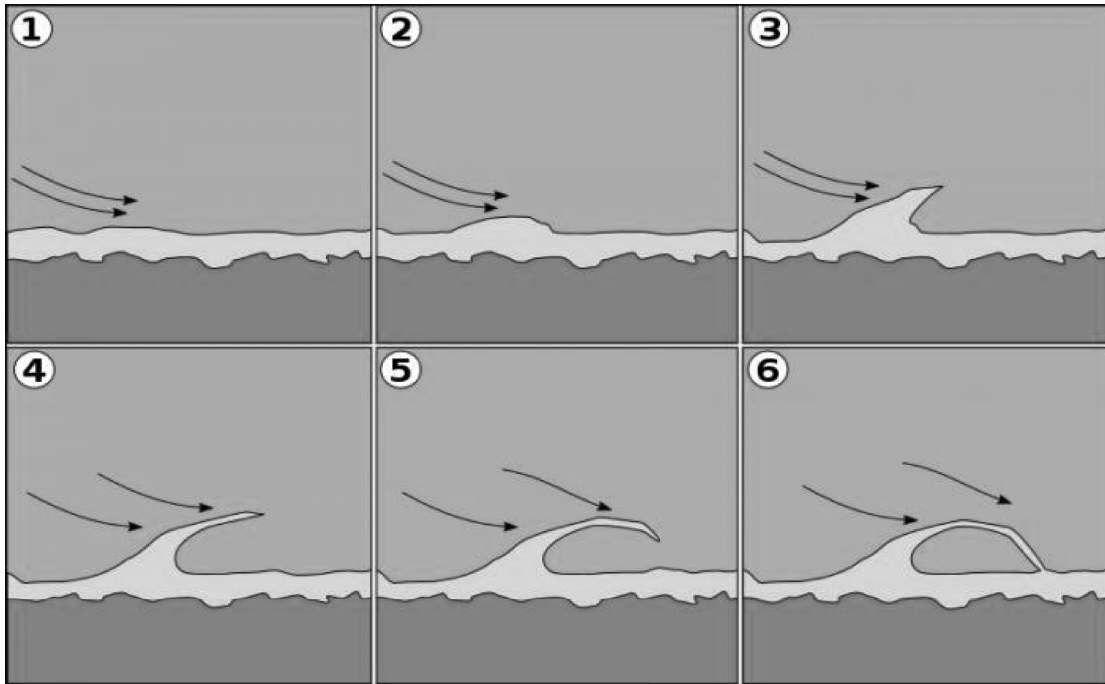


Abbildung 2.4.: Ausgleichsküste [IKZM]

sind die Sandriffe mit dem für den Akkumulationsprozess wichtigen Lockersedimenten, siehe auch Abb. 2.5. Bei aktiven Steilküsten hingegen befindet sich in der Schorre die Abrasionsplatte mit dem deutlich gröberen Geschiebemergel und Gesteinsblöcken, die mit dem Sog des zurückflutenden Unterstroms schleifend auf den Bereich einwirken [Zepp2004]. Die Uferzone ist an einer Flachküste durch den breiten mittel- bis feinsandigen Strand und den dahinter befindlichen Dünen gekennzeichnet. Vor den Kliffs der Steilküsten befindet sich auf dem meist sehr schmalen flachen Bereich gröbere Körnung bis hin zum Kies und Geröl [Kelletat1995].

Die Steilküstentypen werden nach ihren Sedimenten und verformenden Prozessen unterschieden. So ist die Steilküste aus Sand stark anfällig gegenüber Wind und weist eine hohe Rate von Hangrutschen auf. Eine horizontale Wechsellagerung von Sand und Geschiebemergel, also wasserdurchlässigen und -stauenden Sedimenten, leidet unter Abbruch- und Abrutschprozessen zwischen den Schichten. Hangrutsche werden durch auftretende Belastungsänderungen hervorgerufen, so wie das Durchfeuchten eines Hanges durch starke Niederschläge, Absickern von Oberflächenwasser oder das Auftauen von im Gestein gebildeten Frost. Die Meeresbrandung wirkt von unten auf den Hang ein, indem sie in den Hangfuß eine Brandungshöhle einfräst (siehe Abb. 2.6). Darüber liegende Sedimente fallen schwerkraftbedingt und durch lockere Lagerung begünstigt herab. Diese Sedimente werden wie oben beschrieben von der Brandungstömung bis in beruhigte Bereiche transportiert, deswegen sind die Steilküsten die „Sedimentlieferanten für benachbarte Flachküsten“ [StaLU-MM2009]. Die Flachküsten entstehen also durch Abrasionsgebiete in direkter Nachbarschaft und sind Akkumulationskörper littoraler Lockersedimente in Form von Haken und Nehrungen. Aber auch die Flachküsten unterliegen einem Küstenrückgang, da diese Sedimentlieferungen abnehmen. Dies kann

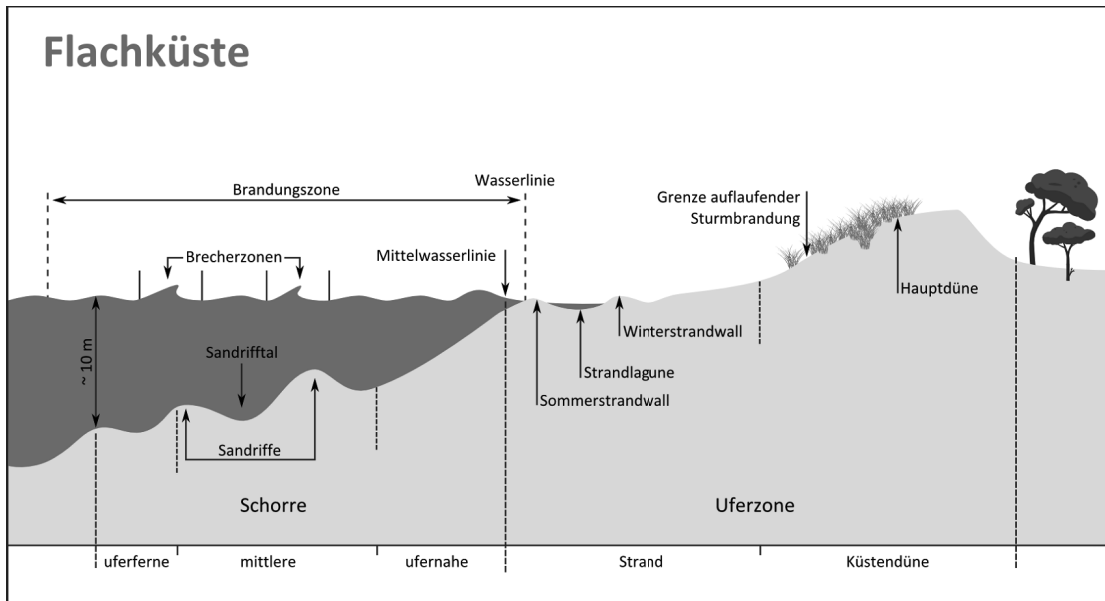


Abbildung 2.5.: Flachküstenprofil, nach [StaLU-MM2009]

zu Küstendurchbrüchen führen, wobei die Breite von Nehrungen und Haken sich soweit verringert, dass diese Nahtstellen gefährdet sind überflutet zu werden.

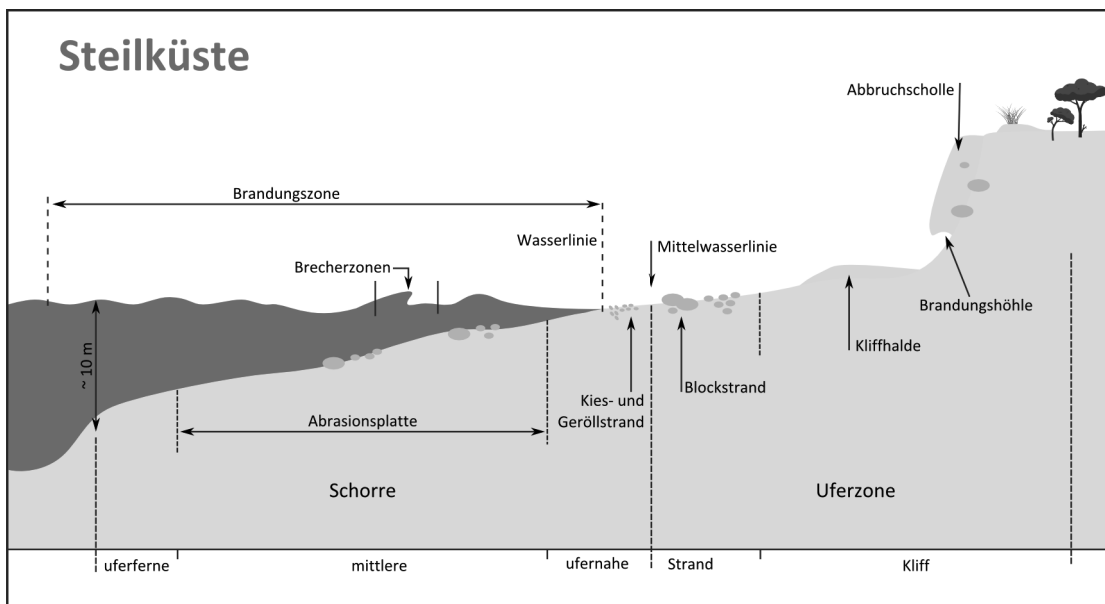


Abbildung 2.6.: Steilküstenprofil, nach [StaLU-MM2009]

2.5. Definition einer Küstenlinie

Die Küste ist „die Zone land- und seewärts der jeweiligen Berührungslinie von Wasser und Land (Uferlinie)“ [Murawski1992].

So die Definition einer Küste. Die Frage, wo denn exakt diese Berührungslinie liegt,

ist offen. Eine genau definierte Linie, die die beiden Landschaftsräume Festland und Gewässer voneinander trennt, existiert nicht, da die beiden Räume sich stets überschneiden. Die maximale Reichweite einer Welle endet immer im Uferbereich und hat somit schon den Festlandbereich überschritten. Die Küste vereint also die Grenzbereiche beider Räume. Um eine Veränderung des Küstenraumes in einem Zeitraffer festzustellen bedingt es nun aber einer definierten Linie. Es gibt viele Definitionen einer Grenze zwischen Meer und Land, und für jeden Nutzen haben sie ihre Vor- und Nachteile. Sie unterscheiden sich in der horizontalen und vertikalen Lage, in Raum und Zeit und sind abhängig vom vorliegenden Datenmaterial.

Boak und Turner (2005) behandeln diese Problematik ausführlich und stellen fest, dass die Deklaration der Trennung zwischen Meer und Land für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft eine interdisziplinär wichtige Rolle spielt. So muss gewährleistet sein, dass z.B. die Akteure des Küstenschutzes oder Entwickler der Frühwarnsysteme dieselbe Definition einer Referenzlinie benutzen. Zu beachten ist, dass die gewählte Grenze in Relation zu der Dynamik der Küste steht und sie die Veränderung des Raumes durch natürliche Prozesse beschreibt. Ein aufgeschütteter Strand ist keine natürliche Veränderung und somit ist seine Ufergrenze nicht im gleichem Maße aussagekräftig wie die Veränderung durch die natürliche Küstendynamik. Die zeitliche Frequenz der Beobachtungen sollen dem Ergebnis gerecht werden. Eine Wellenuntersuchung bedarf sekundliche Aufnahmen, aber für die Küstendynamik ist eine etwa eine zweijährige Wiederholungsbeobachtung ausreichend. Die unterschiedlichen Ansätze einer „Küstenlinie“ werden in Abhängigkeit von Verwendungszweck und dem vorliegenden Arbeitsmaterial (DGPS-Messung, Satellitenbilder oder Orthofotos) anders festgelegt. Faktoren wie Gezeiten, Strömungen, Wellen, Wind, Akkumulation, Abrasion und Vegetation wirken beeinflussend auf die Gestalt der Küste und können gleichzeitig ein Indikator für eine Küstenlinie sein. Ein Indikator ist ein Material oder ein Ereignis, welches das Wesen des Untersuchungsgebietes am besten beschreibt und anhand dessen Aussagen über Veränderungen getroffen werden kann. Dabei werden Indikatoren in drei Hauptgruppen geteilt. Die *visuell sichtbaren Indikatoren* sind z.B. die Nass-Trocken-Grenze zu einem bestimmten Zeitpunkt oder die Hochwasserlinie der letzten Flut, erkennbar durch angeschwemmtes Material. Für ein aussagekräftiges Ergebnis erfordern die beiden Beispiele Aufnahmen zur selben Jahres- und Tageszeit als auch bei gleicher Mondphase. Genauso auch bei den *gezeitenbasierten Indikatoren*. Dies kann der Schnittpunkt zwischen dem Küstenprofil und der Höhe des Meeresspiegels sein, wie z.B. das mittlere Hochwasser (MHW). Außerdem unterscheidet man die Indikatoren, die nur mit einer Spektalkamera und nicht für das menschliche Auge sichtbar sind. Nach Boak und Turner gibt es in der Literatur bis zum Jahr 2005 45 verschieden definierte Küstenlinien, von denen in der Abbildung 2.7 nur einige aufgeführt sind. Welcher Indikator für der Untersuchung der Veränderung im Küstenraum von Graal-Müritz und Fischland-Darß gewählt wird, wird im Kapitel 4.4 erörtert.

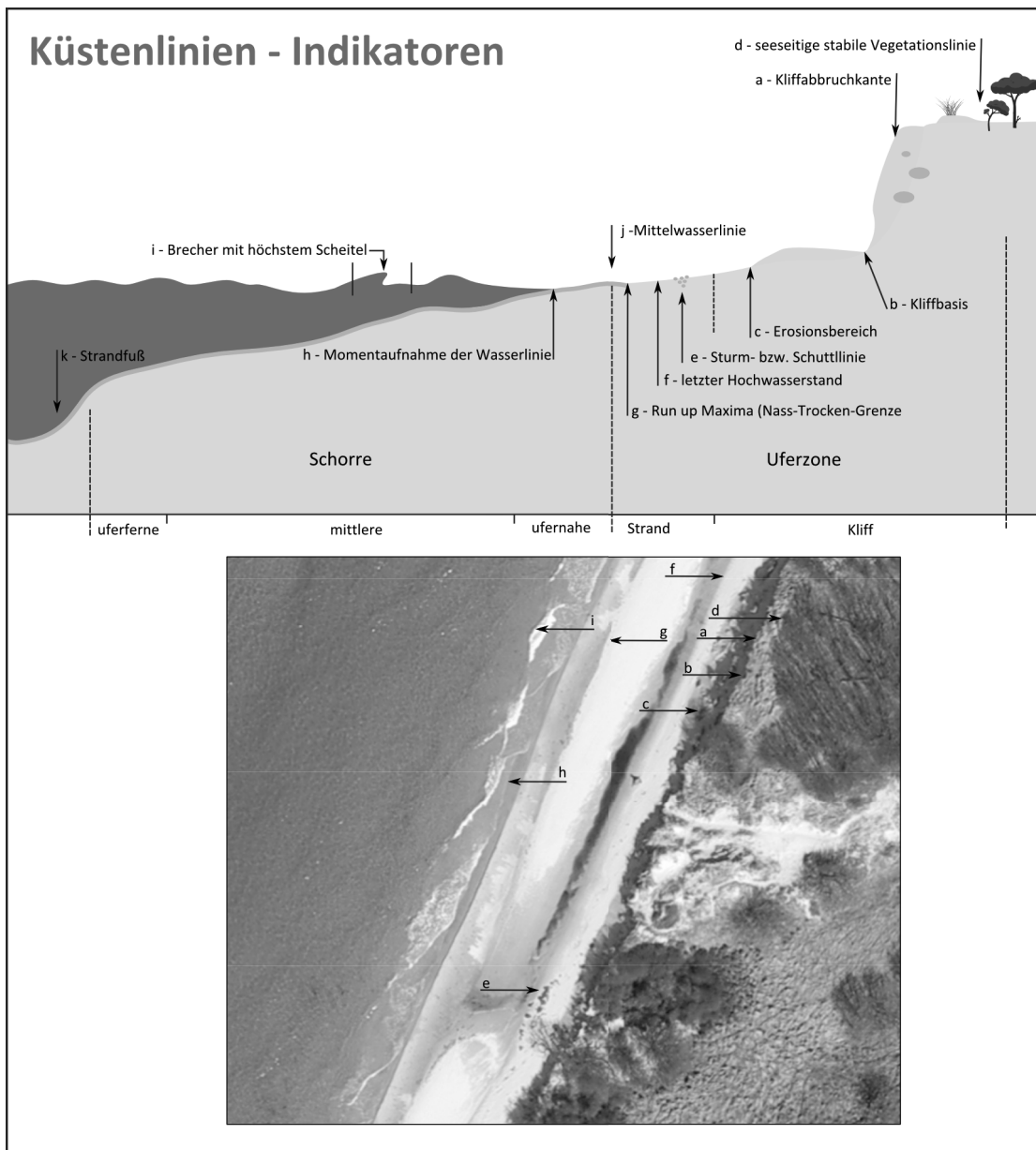


Abbildung 2.7.: Küstenliniendefinitionen. Eine Auswahl nach Boak und Turner (2005), Orthofoto vom Weststrand auf dem Darß M 1: 500

2.6. Globaler Meeresspiegelanstieg und die Auswirkung auf die Ostsee

Das Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt - Mittleres Mecklenburg (StaLU-MM) errechnet momentan einen Meeresspiegelanstieg von 50 cm innerhalb der nächsten 100 Jahre. Diese Prognose beinhaltet die Faktoren des tatsächlichen Anstieges, die Eustasie und der Isostasie. Die Eustasie beschreibt die Stabilität von Prozessen in einem Ökosystem. So ist der eustatische Meeresspiegelanstieg die über Jahrhunderte auftretende Eigenschwankung des Meeresspiegels durch die Massenverlagerungen des Wassers aufgrund klimabedingter Änderungen des globalen Wasserhaushaltes (Verschiebung der Anteile von Wasser und Eis) und das

langsamen Auffüllen der Meeresbecken mit Sedimenten oder im negativen Sinne durch Entstehen neuer Meeresbecken. Außerdem ist die Wärmehaushaltsveränderungen des Meerwassers und die daraus resultierende Volumenzunahme ein Indikator für den eustatischen Meeresspiegelanstieg. Die Isostasie ist die durch das Einspielen des Schwerkgleichgewichtes von einzelnen Schollen der Erdrinde verursachte Höheneinstellung zwischen Lithosphäre und der darunter liegenden Asthenosphäre. Die Landmassen, die einst unter dem skandinavischen Eisschild lagen, heben sich heute noch an [Murawski1992]. Die Angaben vom StaLU-MM basieren auf Messreihenauswertungen von Flensburg bis nach Swinemünde anhand aller vorhandenen Pegelständen seit Beginn der Dokumentation.

Das Institut für Planetare Geodäsie der Technischen Universität Dresden berechnet einen durchschnittlichen Anstieg von 10-15 cm pro Jahrhundert mit linearer Veränderung [Seemann2008]. Im vierten Sachstandsbericht des Weltklimarates Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 2007 wird der durchschnittliche Anstieg des Meeresspiegel bis 2100 zwischen 18 und 59 cm festgesetzt, wobei es große raumbezogene Schwankungen gibt. In dem selben Bericht genannte Gründe sind die Ausdehnung des Wassers infolge der Erwärmung und das Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen. Laut IPCC sind ca. 20% der Weltbevölkerung im Bereich der unmittelbaren Küste (30 km vom Ufer entfernt) angesiedelt, sogar ca. 40% leben im Bereich bis zu 100 km. Kleine Inselgruppen mit geringfügiger Höhe über dem Meeresspiegel und große Ballungszentren direkt an den Meeren gehören zu den größten Risikobereichen.

Für den Bereich der Nord- und Ostsee hat das Potsdamer Institut für Klimaforschung Projektionen entwickelt, die an die IPCC-Szenarien angelehnt sind, aber im Gegensatz zu dem Klimarat-Bericht wurden die neuen Erkenntnisse über das Abschmelzen in der Arktis hineingezogen. Zwei verschiedene Szenarien mit jeweils unterschiedlicher Ausprägung sind Grundlage für die von Jörg Seemann (2008) aufgeführten Ergebnisse, wobei sich der Meeresspiegel bis 2100 an der deutschen Ostseeküste zwischen 25 cm und 100 cm heben wird.

2.7. Beschreibung des Untersuchungsraumes

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Mecklenburg Vorpommern an der südwestlichen Ostseeküste. Es erstreckt sich östlich von Graal-Müritz bis nach Prerow entlang des Ufers. Aufgrund vorliegender Materialien, Orthofotos von 2002 bis 2010, soll hier eine Veränderung der Gestalt der Küste dokumentiert werden.

Der gesamte Raum des Untersuchungsgebietes umspannt ein Gebiet von der rechten unteren Ecke bei 54°14' nördliche Breite und 12°12' östliche Länge bis zur rechten oberen Ecke bei 54°30' n.Br. und 12°36' ö.L. Somit ergibt sich bei einer Breite 22.8 km und einer Länge von 2,5 km eine Fläche von ca 566 km².

Das StaLU-MM verwendet zur großräumigen Orientierung eine Einteilung des

Tabelle 2.1.: Untersuchungsgebiete und deren Küstenkilometrierung

Lfd. Nr.	KKM von	KKM bis	Ortsbezeichnung	Untersuchungsraum Nr.
24	159.000	162.000	Graal-Müritz West	U1
25	162.000	165.250	Graal-Müritz Ost	U1
30	183.000	192.000	Westdarß	U2
31	192.000	197.000	Darßer Ort	U3
32	197.000	202.250	Prerow	U4

Küstenverlaufs in eine Küstenkilometrierung (KKM). Die KKM beginnt am westlichsten Ende von MV in Priwall und erstreckt sich über 666 km bis nach Rieth. Dies ist die Kilometrierung für die Außenküste. Für die Inseln und die Binnenküsten gibt es eigenständige Kilometrierungen. Die imaginären Haupt- und Nebenpunkt im Abstand von 250 m entlang der Küste sind mit Pfeilern markiert. Sie stellen nicht die Uferlinie oder einen Pegelstand dar. Sie erleichtern die Orientierung im Küstenbereich für zum Beispiel Vermessungsaufgaben. Es sind Küstenabschnitte definiert, die sich meist auf einen Ort beziehen und mit dem Anfangs-, Endkilometer begrenzt und einer laufenden Nummer verzeichnet sind. Nach dieser Einteilung lässt sich das Untersuchungsgebiet in fünf Abschnitte gliedern.

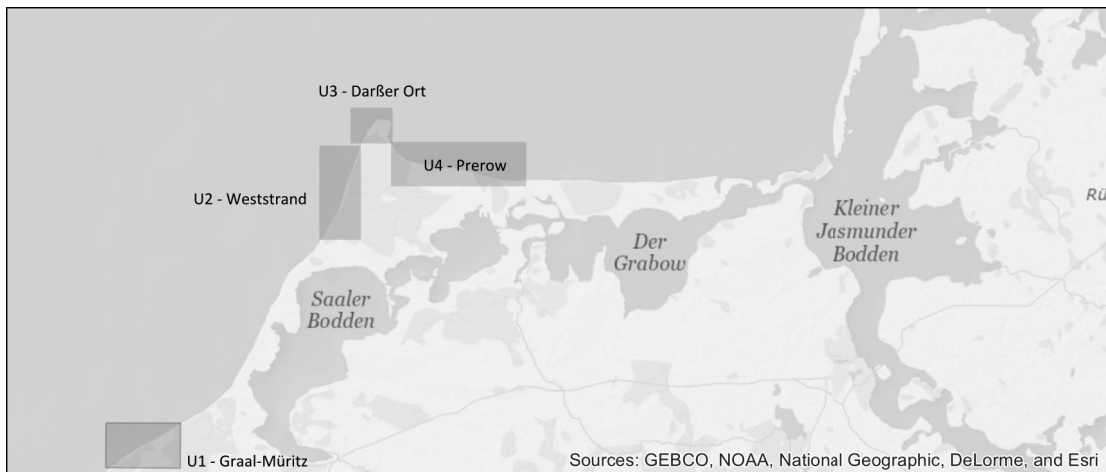


Abbildung 2.8.: Übersicht Untersuchungsgebiet, M 1: 1 Mio.

In den folgenden Ausführungen werden die Abschnitte 24 und 25 der KKM zu Graal-Müritz (Untersuchungsgebiet 1 = U1) zusammengefasst. Die Abschnitte 30, 31 und 32 werden weitgehend getrennt voneinander als U2, U3 und U4 untersucht. Die Untersuchung begrenzt sich außerdem ausschließlich auf die Küste wie oben definiert und betrachtet nicht den Offenwasserbereich oder die Landschaft landseitig der Uferzone.

Graal Müritz

In der Mecklenburger Bucht zwischen Rostock und dem Fischland-Darß-Zingst gelegen, ist Graal-Müritz nördlich von der Ostsee, südwestlich von der Rostocker Heide und östlich vom Ribnitzer Moor umgeben. Entstanden im Jahr 1358 aus den Höfen Graal und Müritz etabliert sich die kleine Gemeinde durch die Fischerei und Kleinlandwirtschaft. Als Tourismusgebiet ab ca. 1820 entdeckt, entwickelt sich Graal-Müritz bis 1960 zu einem Heilbad. Heute gehört Graal-Müritz zum Amt Rostocker Heide, welches 8659 Einwohner zählt [SISMV2011]. Graal-Müritz befindet sich in einer flachen Grundmoränenlandschaft mit leicht erodierbaren Heidesanden und Moorniederungen. Die Ortschaft liegt nur einige Meter über dem Meeresspiegel, ist somit von Abrasionsprozessen betroffen, aber schon früh wurden Küstenschutzmaßnahmen entwickelt wie in Kapitel3 erläutert wird.

Fischland-Darß

Die Untersuchungsräume U2 bis U4 befinden sich auf der ca. 45 km langen Halbinsel Fischland-Darß-Zingst an der südwestlichen Ostseeküste von MV. Fischland ist die Verbindung zum Festland im südwestlichen Teil. Nordöstlich erstreckt sich der Darß, der im Osten zu Zingst übergeht. Die zu untersuchenden Räume befinden sich demzufolge nur auf dem Darß. Auch der Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft beginnt erst ab dem Darß und reicht über Zingst und Hiddensee bis in den Westrügener Bodden. Der Nationalpark ist in zwei unterschiedliche Schutzzonen eingeteilt. Die Schutzzone 1, die Kernzone, unterliegt strengem Naturschutz und darf nur auf markierten Wegen betreten und seewärtig nicht befahren werden. „Die ungestörte Entwicklung natürlicher und naturnaher Lebensgemeinschaften zu sichern sowie gestörte Lebensgemeinschaften in natürliche oder naturnahe Zustände zu überführen“ [NVB1990] ist hier das Ziel. Militärische und wirtschaftliche Nutzungen sind verboten. Die Schutzzone 2 wird beschrieben als Pflege- und Entwicklungszone. In diese Zone fallen u.a. die Siedlungen mit ihren wirtschaftlichen Strukturen. Die Halbinsel besteht aus einer „Abfolge spätweichseleiszeitlichen Kernen und diese verbindenden Meeressandebenen“ [Duphorn1995].

Westdarß

Zugehörig zum Neudarß unterliegt der nach Westen exponierte Strand starker Küstenerosion. Die Aufzeichnungen der schwedischen Matrikelkarte von 1695 und dem preußischen Urmesstischblatt von 1835 wiesen einen jährlichen Rückgang von 1.67 m pro Jahr auf. Zwischen 1835 und der ersten Deutschen Luftbildkarte im Jahr 1937 vom Fischland-Darß-Zingst werden 0.55 m Rückgang pro Jahr dokumentiert. Nach Billwitz (2009) ist der Rückgang bis heute wieder auf einen Meter angestiegen. Der Weststrand gehört zur Kernzone des Nationalparks Vorpommersche Küste.

Darßer Ort

Der Darßer Ort ist der nördlichste Landvorsprung zwischen dem Darßer Riff (Senke

größerer Länge), dem Leuchtturm und dem Nothafen. Die Fläche von nur 2 km² liegt zwischen 0 und 8 m über Höhennull (HN). Als einer der Akkumulationsbereiche für Sande, wächst der Darßer Ort sehr stark. Die Sedimente kommen aus der unmittelbaren Nachbarschaft vom Fischland und dem Weststrand. So wuchs diese Nehrung in den letzten 300 Jahren um ca. 2000 m [Billwitz2009]. Aufgrund seiner nahen Lage zum Darßer Riff und zu der viel befahrenen Kadettrinne fungierte der Darßer Ort schon immer als Seerettungsstelle. Heute gibt der Nothafen, ein ehemaliger Militärhafen und jetzt in der Verantwortung von der Umweltstiftung World Wide Fund For Nature (WWF), Zuflucht in Gefahrensituationen. Das Dünen- und Strandseengelände des Darßer Ortes mit einer umlaufenden Flachwasserzone von 1000 m Breite ab Mittelwasserlinie gehören zur Schutzzone 1 des Nationalparks Vorpommersche Boddenlandschaft [Billwitz2009].

Prerow

Die Gemeinde Prerow befindet sich am nordöstlichen Ende des Halbinselteils Darß. Nördlich ist der Ort von der Ostsee, südwestlich vom Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft und dem Darßwald begrenzt und im Osten befindet sich der Prerower Strom, welcher auch die natürliche Grenze zwischen Darß und Zingst ist. Schon im 12. Jh. wurde das Gebiet der auslaufenden Reffs (überdünte Strandwälle) und Riegen (Rinnen zwischen den Strandwällen) des Neudarßes besiedelt. Die Reffs eigneten sich durch ihre Höhe für die trockene Bebauung und die feuchten Riegen wurden als Weide- und Gartenfläche genutzt. Somit entstand das typische zeilenförmige Stadtbild. Bereits im 13. Jh. gab es hier 13 Fischerei- und Bauernhöfe. Die Seeschiffahrt wurde in Prerow im 17. Jh. wichtig. Ab 1848 gab es eine Navigationsvorschule und 1870 öffnete eine Werft am Prerower Strom. Als im 19. Jh. die Schiffahrt wieder abschwächte, wurde die Fischerei und vor allem der Tourismus bedeutsamer. Der 5 km und 80 m breite Strand wurde immer attraktiver und 1880 bekam Prerow den Titel als Ostseebad zugesprochen. Bis heute hält der Besucherstrom an, im Jahr 2006 wurde ein Touristen-/ Besucherverhältnis von 8:1 gezählt.

Prerow liegt im Landschaftsschutzgebiet und grenzt an weitere nationale und internationale Schutzzonen (Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft, Flora und Fauna Habitat nach EU-Richtlinien, EU-Vogelschutzgebiet). Außerdem befindet sich nördlich der Ortschaft ein geschütztes Geotop, die Prerower Küstendüne. Entstanden ist sie mit dem Prerower Strom. Seine Mündung in die Ostsee verhinderte den küstenparallelen Sedimenttransport und ein breiter Strand entstand westlich der Mündung. Der Sand trocknete und wehte zur Düne landeinwärts. Entstanden ist eine max. 13.7 m HN hohe Düne, die 2000 m lang und 250 m breit ist. Seit 1874 der Prerower Strom geschlossen wurde, gibt es keine neue Sandzufuhr mehr.

Die Ostseeküste von MV ist geprägt durch unterschiedliche Küstenformen, die in einer ständigen Wechselbeziehung zueinander stehen. Auch wenn das baltische Meer aufgrund seiner sehr geringen Gezeiten ruhig wirken mag, formen litorale Prozesse stetig den Küstenbereich und der (wenn auch geringe, aber fortwährende) Meeresspiegelanstieg verlagert die Land-Wasser-Grenze immer weiter landeinwärts. Sturmfluten nehmen zu und einige Bereiche sind durch oben genannte Faktoren verletzlich geworden. Der Mensch, der nahe Bewohner des Meeres, reagiert mit Schutzmaßnahmen um den Lebensraum zu wahren. Wie dieser Schutz in Mecklenburg-Vorpommern gestaltet wird behandelt das nächste Kapitel.

3. Grundlagen Küstenschutz

Eine nahe an der Küste liegende Siedlung, die sich nur wenige Meter über dem Meeresspiegel befindet, ist stets gefährdet bei Hochwassern überflutet zu werden. Menschenleben, Ackerflächen und kultureles Erbe sind bedroht. An anderen Stellen ist die Überflutung lebensnotwendig für die Lebewesen, wie z.B. in den Salzwiesen, die zudem durch ihr großes Wasserspeichervolumen auch als Küstenschutzelement dienen können.

Die höchsten Sturmfluten von 1872, 1913/14 und 1957 erinnern an die zerstörende und lebensgefährliche Kraft, die von der Ostsee ausgehen kann. Der Schutz besiedelter Bereiche und landwirtschaftlich genutzter Flächen gehören zu den Aufgaben des Küstenschutzes. Die Sicherung der Hafeneinfahrt von Rostock im 13. Jh. mit Flechtzäunen zum Auffangen von windtransportierten Sand wird als erste Küstenschutz-Maßnahme in MV betrachtet [Billwitz2009]. Der erste planmäßige Küstenschutz wurde aber erst im Jahr 1840 angewiesen, da erkannt wurde, dass „Küstenschutz mit Dünenpflege, Deich- und Bühnenbau für die weitere Entwicklung der Infrastruktur, Landwirtschaft und Tourismus von großer Bedeutung ist“ [Tiepolt1994]. Somit entstanden ab 1840 auf der Insel Ruden im Greifswalder Bodden die ersten Faschinenbuhnen (mit Draht umwundenes Reisigbündel), einreihige und zweireihige Pfahlbuhnen und zwischen Wustrow und Dierhagen wurden die Dünen wieder Instand gesetzt. Die Sturmflut von 1872 erforderte weitere Schutzmaßnahmen und Seedeiche wurden gebaut. Zwischen 1932 und 1934 wurden die Zweier-Pfahlreihen mit Faschinenpackungen zusätzlich mit Beton beschwert. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen an Flachküsten. Auch Steilküsten wurden einst vor Abrasion geschützt (siehe 3.3, Wellenbrecher). Jedoch wurde bald erkannt, dass die erodierten Materialien die wichtigen Sedimentlieferungen für die Flachküsten sind und somit werden diese Anlagen heute nicht mehr an Steilküsten eingesetzt.

3.1. Organisation

In Deutschland ist die oberste Wasserbehörde das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz (LU) die zentrale Stelle für den Küstenschutz. Die obere Wasserbehörde, das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) in Güstrow ist zuständig für die Planfeststellung, Umweltverträglichkeitsprüfung und Genehmigung von Küstenschutzanlagen. Die Staatliche Ämter für Landwirtschaft und Umwelt (StaLU) in Mecklenburg Vorpommern mit dem zentralen Dezernat Küste im StaLU-MM in Rostock ist als untere Wasserbehörde das ausführende Organ. Als wasserrechtliche Vollzugsbehörde nimmt es die Aufgaben des Küstenschutzes für ganz MV wahr und hat außerdem gegenüber dem LU und dem LUNG beratende Verpflichtungen

[StaLU-MM2009]. Grundsätzlich ist festgelegt, dass der Bau und die Unterhaltung nur den Küstenschutzanlagen zugesichert wird, die dem Schutz landwirtschaftlicher und besiedelter Räume dienen.

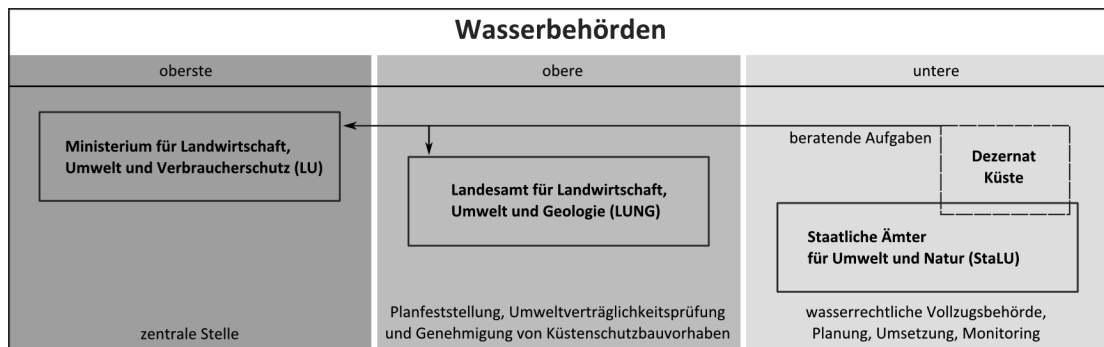


Abbildung 3.1.: Organisation im Küstenschutz

3.2. Methoden des Küstenschutzes

Ob ein ufernahes Gebiet geschützt werden muss und wo welche Anlagen zum Einsatz kommen, wird vom Zustand der Küste abgeleitet. Der Zustand beschreibt u.a. die Morphologie des Ufers, die Hydrographie im Schorrebereich und die litoralen Prozesse. Folgend wird auf die Methoden der Datenerhebung zur Ermittlung schützenswerter Gebiete und die unterschiedlichen Arten der Küstenschutzanlagen eingegangen. Anschließend wird zusammengetragen, welche Schutzanlagen und -maßnahmen im Untersuchungsgebiet betrieben werden.

3.2.1. Planungsgrößen

Die Grundsätze des Küstenschutzes sagen aus, dass sämtliche Maßnahmen im Einklang mit der Natur geplant und bereits bestehende Anlagen ausgebaut und weiterentwickelt werden müssen. Der allgemeine Fokus liegt auf den bebauten Flächen, also Siedlungsräume, Infrastruktur und landwirtschaftlich genutzte Bereiche. Einflussgrößen der Bemessung, also Größen wie die Höhe, Fußbreite oder Kubatur (Volumen, Form) der Anlage, müssen den Schutzzweck gewährleisten. Schutzzweck bedeutet die Sicherung bestimmter Objekte gegen Sturmflutereignisse bestimmter Stärke. Der Schutzgrad ist von dem Charakter des zu schützenden Objektes abhängig. Eine Ackerfläche wird also nicht so kostenintensiv geschützt wie ein besiedelter Raum. Eine Kosten/Nutzen-Analyse stützt sich auf folgende Aussage: „sofern keine akute Gefahr für Leib und Leben zu erwarten ist werden Küstenschutzanlagen nur errichtet, wenn der durch sie verhinderte Schaden den Aufwand für ihren Bau und ihre Unterhaltung übersteigt“ [StaLU-MM2009]. Bei der Bestimmung schützenswerter Bereiche müssen auch Fragen zu Eigentumsverhältnissen und Aspekte des Naturschutzes und der Raumordnung beachtet werden. Zudem ist zu klären, welche Art der Anlage (siehe 3.3) gewählt und wie lange die Lebensdauer des Bauwerkes voraussichtlich sein wird.

Die fundamentale Größe für die Planung der Höhe und Breite einer Küstenschutzanlage ist der *Bemessungshochwasserstand (BHW)*. Grundlage ist der höchste Pegelstand, der bisher bei einer Sturmflut gemessen wurde. Für diese ortsabhängige Größe ist für die Außenküsten der Scheitelwert der Sturmflut von 1872 gewählt worden. Diese Werte wurden untersucht, mit den Pegelständen von 1625, 1874, 1904 und 1913 verglichen und leicht korrigiert. Die Boddenküsten haben keine repräsentativen Werte, so wird hier eine Modellrechnung herangezogen, die davon ausgeht, dass die Anlagen an den Außenküsten nicht versagen und keine zusätzlichen Einströme zwischen Bodden und Ostsee auftritt. Da die Sturmflut, auf die sich der BHW bezieht, schon 140 Jahre zurückliegt, wird ein Anstiegsbetrag von 20 bis 30 cm bis zum Jahr 2070 festgelegt [StaLU-MM2009], [Tiepolt1994]. Trotz dieser Regeln, darf der BHW nicht als starres Instrument genutzt werden. Dieser kann bei Einsparmaßnahmen um bis zu 25% gekürzt werden. Dies geschieht nicht an den Außenküsten und nicht bei besiedelten Regionen. Der BHW nimmt von Osten nach Westen zu (BHW= Kap Arkona 2.35 m über Normalhöhennull (NHN) und 3.5 m NHN in Pötenitz).

Einbezogen wird auch der *Bemessungsseegang*. Dies ist die winderzeugte, unregelmäßige wellenförmige Bewegung der Wasseroberfläche. Der Bemessungsseegang erreicht je nach Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Windstreichlänge eine gewisse Höhe und Frequenz mit unterschiedlichen Energieeintrag. Je höher dieser Eintrag ist, desto gravierender ist die Zerstörungskraft und die geplanten Anlagen müssen gegenüber dieser Energie standhalten können. Diese ortsabhängige Größe beeinflusst oft die Bauweise der Anlage, z.B. die Größe der Steine, die Böschungsneigung oder die Kronenhöhe.

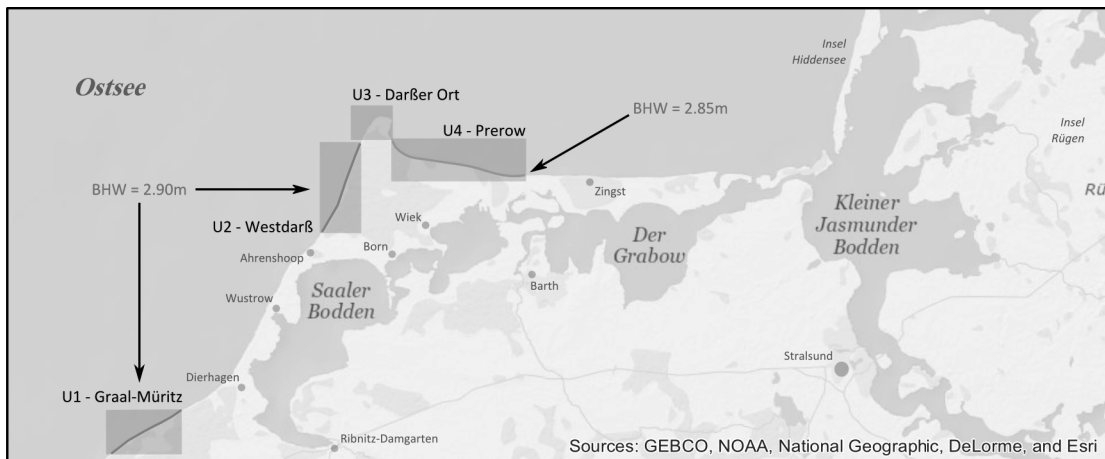


Abbildung 3.2.: Bemessungshochwasserstand, M 1: 1 Mio. [OBArcGIS2013]

3.2.2. Datengewinnung

Die Luftbildaufnahmen von dem gesamten Bundesland Mecklenburg Vorpommern werden durchgeführt und verwaltet von der Luftbildstelle im Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen im Landesamt für Innere Verwaltung (LaIV). Jährlich wird u.a. für die Verarbeitung im Amtlich Topographisch-Kartographisches

Informationssystem (ATKIS) und in den topographischen Landeskartenwerken ein Drittel des Bundeslandes befliegen und Digitalbilder mit einer Bodenauflösung von min. 0.2 m aufgenommen [LaIV2013]. Diese Luftbilder werden durch Transformation in ein orthogonales Koordinatensystem entzerrt und zu digitalen Orthofotos (DOP's) verarbeitet. Sie bilden u.a. die Küstensituation in MV ab und sind somit eine geeignete Quelle für die multitemporale Untersuchung.

Satellitenbilder sind von in mehreren hundert Kilometer Höhe erdumkreisenden Flugobjekten zeilenweise aufgenommene Rasterbilder, die digital an Bodenstationen gesandt werden. Der Satellit QuickBird-2 erstellt z.B. Aufnahmen mit einer Auflösung im panchromatischen Bereich von 65 cm. In 482 km Bahnhöhe umkreist der Satellit ca. alle 20 Tage den selben Punkt und liefert somit geeignetes Material für Veränderungsanalysen. Von diesen Erdbeobachtungssatelliten gibt es eine Vielzahl in der Erdumlaufbahn (SPOT, Landsat 7, GeoEye, ERS, Envisat u.v.m.) die als Umwelt- oder Wettersatelliten dienen.

Vom StaLU-MM wurde im Jahr 2003 und 2006 an der Ostseeküste von MV Airborne Laserscanning durchgeführt. Mit einem Flugzeug wird hierbei ein Gebiet mit einem Laser abgescannt und die Entfernung zu allen registrierbaren Objekten berechnet und verwendet um ein digitales Geländemodell zu erstellen. Um die Veränderung einer Küstenlinie zu detektieren ist diese Quelle jedoch ungeeignet, da in dem Bereich der Brandung eine starke Streuung der reflektierten Laserimpulse auftritt.

Vor und nach jedem Bauprojekt einer Küstenschutzanlage wird eine terrestrische Vermessung ausgeführt, welche in den Bauakten im Archiv vom StaLU-MM dokumentiert ist. Zudem gibt es sechs Stationen zur Erfassung küstennaher Parameter und 2 Bojen zur Messung des Tiefwasserseegangs (Waverider), die Daten für das Internes Messnetz Küste (IMK) sammeln. Die meteorologischen und hydrologischen Mehrparameterdaten, u.a. Seegang und Wasserstand, Wind- und Strömungsverhältnisse dienen der operativen Planung im Sturmflutfall und sind Grundlage für die Berechnung des BHW bei bauliche Vorhaben.

An der deutschen Nord- und Ostseeküste ist das BSH zuständig für die Hydrographie, die Vermessung der Topografie und der Bathymetrie des Meerebodens. Dabei sind die Messschiffe wie die DENEK mit einem Vertikal- und Fächerlot ausgestattet. Hier wird ein Schallimpuls in die Tiefe gesandt und die Zeit gemessen bis das vom Meeresgrund reflektierte Signal zurückgelangt. Die daraus berechnete Tiefe zusammen mit der GPS-Position wird für die Seenavigation in den digitalen Seekarten eingearbeitet. Nach dem Bund-Länder-Messprogramm (BLMP) sollen Nord- und Ostsee auch mit Übergangs- und Küstengewässer mit einer Frequenz von sechs Jahren gescannt werden [BMLP2010].

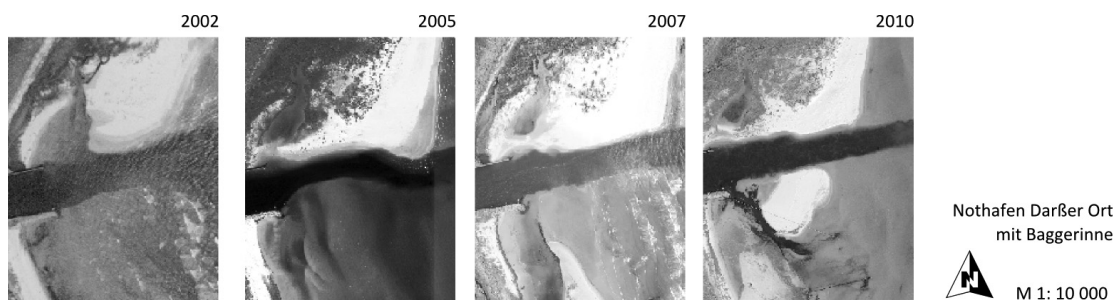


Abbildung 3.3.: Beispiel multitemporale Orthofotos

3.2.3. Datenverarbeitung

Datenbankensysteme verwalten die erfassten Daten bedarfsgerecht, erlauben eine effiziente Bearbeitung und stellen Abfragemechanismen für Analysen bereit. Hier können u.a. Informationen der Hydrographie, der Ufer-Vermessung, Pläne und Dokumentationen von Bauvorhaben gesammelt werden. Mehrere eigens für den Küstenschutz konzipierte Datenbanken werden vom StaLU-MM im Dezernat Küste gepflegt und verwendet. Die Daten werden je nach Verwendung in problemorientierte Monitoringprogramme eingespeist und unter bestimmten Untersuchungspunkten zusammen dargestellt. Die Geoinformationssystem (GIS) dienen der Darstellung und dem Analysieren von Informationen, die einen Raumbezug und einen Sachbezug haben. Die Dynamik der Küste wird berücksichtigt, um eine Basis für die Planung der Anlagen zu schaffen. Zudem können Aussagen über den Wirkungsgrad der Anlagen und den Einfluss auf die Natur vorgenommen werden. Folgende GI- und Datenbank-Systeme werden im Bereich des Küstenschutzes benutzt.

Das GIS KÜSTE MV beinhaltet raumbezogene, den Küstenschutz betreffende Daten. Objektdaten, geomorphologische Daten und Informationen der Küstendynamik können überlagert und somit miteinander für gewisse Fragestellungen verschnitten werden. Seit 2009 werden alle Daten in dem Bezugssystem ETRS89/DHHN92 referenziert.

Das digitale Geländemodell Küste MV enthält historische und aktuelle Höhendaten der Küste von MV in einem flächendeckenden digitalen Geländemodell. 6500 km² Fläche aus Vermessung, Laserscanning und Digitalisierung in Kombination mit Rasterdaten können dargestellt werden. Die Wasserstände sind ansteuerbar und somit Überflutungsszenarien rekonstruierbar. Die unterschiedlichen Pegelstände, bei denen Überflutungen auftreten, sind die Einstauhöhen. Dabei können je nach Einstauhöhe potentielle (mit Anlagen) und reale (ohne Anlagen) Überflutungsflächen gestaffelt angezeigt werden. Somit ist auch das Schadenspotential für den IST-Zustand berechenbar und eine zukünftige Planung möglich. Auch die Dokumentationsstelle Küste befindet sich im StaLU-MM, welche die Baudokumente, Projektordner, Gutachten, hydrographische Daten, Karten, Literatur und auch eine Fotoarchiv beherbergt.

3.3. Realisierungen im Küstenschutz

„Küstenschutz ist Daueraufgabe“ [StaLU-MM2009]. Das ständige Einwirken der Strömung auf den Schorre- und Uferbereich bewirkt Abrasion und Akkumulation. Nur wenn der Ein- und Austrag etwa gleich ist, ist ein Küstenabschnitt trotz ständigem Wandel stabil. Diese Stabilität soll mit dem Einfluss folgender Küstenschutzanlagen erreicht werden.

Schutzdeiche sind künstlich aufgeschüttete Erddämme an Flüssen, Außen- und Boddenküsten. Sie schützen vor Überflutungen von bebauten oder landwirtschaftlich genutzten Gebieten. Eine ausreichende Kubatur und Kronhöhe wird durch die Berechnung des BHW mit Berücksichtigung des Wellenaufbaus und der Vorlandverhältnisse gewährleistet.

Landesküstenschutzdünen sind linienförmige Sandkörper die meist parallel zur Uferlinie hinter einem breiten Strand liegen. Es gibt Vollschutzdünen mit ausreichend Bemessung für den alleinigen Schutz und Systemschutzdünen, die nur in Kombination mit Buhnen und aufgeschütteten Strand den nötigen Schutz gewährleisten können. Bei Sturmfluten werden Dünen oft umgeformt, zum Teil abgetragen und auf den Strand oder in die Schorre umgelagert. Danach ist eine künstliche Sandzufuhr (Aufspülung) gegen eine negative Sedimentbilanz erforderlich. Eine neue Bauwerksform zur Verstärkung von Dünen sind die **Geotextilanlagen**. Das sind wasser- und luftdurchlässige Geo-Vliesstoffe in Lamellen oder Containerform mit Sand befüllt. Sie werden als letzte Durchbruchssicherung vor den Dünen platziert.

Die **Sandaufspülungen** sind Maßnahmen zum Erhalt eines ausgeglichenen Sedimenthaushaltes. Bei diesem naturnahen Verfahren wird abtransportiertes Material durch neues ersetzt, so bei der oben erwähnten Dünenverstärkung oder zur Aufhöhung des Schorre- und Strandbereiches. Die Sedimente werden mehrere Kilometer vor der Küste aus pleistozänen Lagerstätten mit einem Saugbagger vom Meeresgrund aus einer Tiefe von ca. 10-15 m gefördert, mit Schutten an die Küste gefahren und mit Rohrleitungen an Land gepumpt. Die Sande müssen eine bestimmte Kornzusammensetzung haben um die Lagestabilität zu gewährleisten und dürfen keine biogene oder bindige Komponenten sowie Munitionsreste oder andere gesundheitsgefährdende Stoffe beinhalten. Das ökologisch vertretbar und kostengünstige Verfahren wird seit 1968 betrieben und die umweltrelevanten Folgen in einem Monitoring überwacht. Unregelmäßig aber in einem Mindestabstand von fünf Jahren werden Wiederholungsaufspülungen vorgenommen.

Buhnen sind seewärts gerichtet Querbauwerke, die den küstennahen, uferparallelen Sedimenttransport einschränken, indem sie den Wellen die Energie nehmen. Ergebnis ist eine seeseitige Verlagerung der Uferlinie und die Verstärkung der Dünen. Für die Buhnen wird spezielles Holz genutzt, das sowohl elastisch ist und eine Lebensdauer von

min. 60 Jahren haben muss. Nach dem Befall des ehemaligen Kiefernholzes mit dem Schiffsbohrwurm wird nur noch FSC- und PEFC-Tropenhartholz aus Brasilien und Uruguay verwendet. Die Holzpfähle werden in Reihe mit gestaffelter Durchlässigkeit in den Boden gerammt.

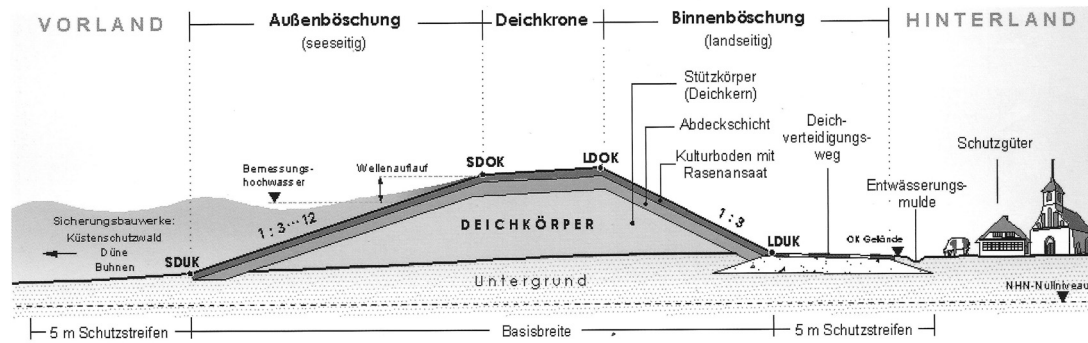


Abbildung 3.4.: Anlagen im Küstenschutz [StaLU-MM2009]

Ingenieur-biologische Verfahren sind Erd- und Wasserbauverfahren zur Oberflächensicherung mit Gräsern, Sträuchern und Gehölzen. Die Bepflanzung von Strandhafer begünstigt die Akkumulation von windtransportierten Sand auf den Dünen. Besteht ein Wald zwischen Deich und Düne, bietet dieser zusätzlichen Schutz auch nach Abtrag der Düne. Jedoch sind heutige Waldbreiten an der Küste von MV von unter 30 m nicht mehr effektiv genug in ihrer dämpfenden Wirkung. Deichrückbau soll ermöglicht werden um den Zugang zu Salzgraslandschaften zu ermöglichen. Sie sind zusätzlicher Wasserspeicher bei Hochwasserständen und benötigen das Wasser für ihre Pflanzen und Tiere.

Wellenbrecher sind uferparallele Bauwerke aus Stein im Schorrbereich. Sie schwächen die Brandungsenergie der Wellen frontal und in ihrem Wellenschatten entstehen durch Akkumulation halbinselförmige Ablagerungen. Sie schützen vor dem Rückgang an Steilküsten und wurden erstmalig und zuletzt im Jahr 1978 gebaut. Nach der Erkenntnis, dass die Steilküsten Sedimentlieferanten für benachbarte Flachküsten sind, wurde diese Maßnahme nicht mehr umgesetzt.

Längswerke sind uferparallele Bauwerke an Land, die den Küstenrückgang verzögern und den Küstenabbruch verhindern. Sie sind sehr statisch und haben durch die hohe Reflexion der Brandung einen großen Einfluss auf ihre Umgebung. Dieses Verhalten ist negativ und somit werden Deckwerke (mit schweren Naturstein erzeugt Packwerke), Ufermauern und Steinwälle (wasserdurchlässige wallartige Steinschüttungen) nur in Bereichen, in denen zuvor genannte Maßnahmen nicht mehr standhalten, gebaut [StaluMM-2009].

3.4. Küstenschutz im Untersuchungsgebiet

Graal Müritz, im Bereich der Küstenkilometrierung von 159 bis 165.25 km, ist niedrig gelegen und die Sedimente sind leicht erodierbar [Stalu-MM2011]. Die Moorniederung hinter Graal Müritz begünstigt zudem das Überflutungspotential in den Ortschaften Ribnitz-Damgarten, Dändorf und Dierhagen. Das Moor ist wie eine Verbindung zwischen ihnen und nur das beständige System aus Dünen, Buhnen, Geotextilien direkt am Ufer und den Deichen sowohl vor als hinter der Graal-Müritz kann den nötigen Schutz für alle Ortschaften bilden. Auf 4350 m sind 59 Buhnen zur Energieminderung der küstenparallelen Brandung aufgestellt und die Dünen mit einer Höhe von 4.65 bis 5.64 m NHN werden alle drei bis fünf Jahre wiederholt aufgespült. Vor dem Jahr 2009 stellte eine Öffnung in dieser Düne durch den Mündungsbereich eines Stroms ein erhebliches Risiko dar. Das Wasser des Stromgrabens wird nun in einem Einlaufbehälter aufgefangen und mit einem 280 m langen Rohr durch die geschlossene Düne in die Ostsee abgeleitet. Ein Geotextilwall mit einer Länge von 400 m und einer Höhe von 4 m NHN schützt seit dem Jahr 2000 verstärkt den Deich landseitig und dient als letzte Durchbruchssicherheit vor der Ortschaft. Ein schon am Ende des 19. Jh. erbauter Seedeich hat keine vollschützende Funktion mehr, da er nach dem heutigen BHW von 2.90 m NHN unterdimensioniert ist.

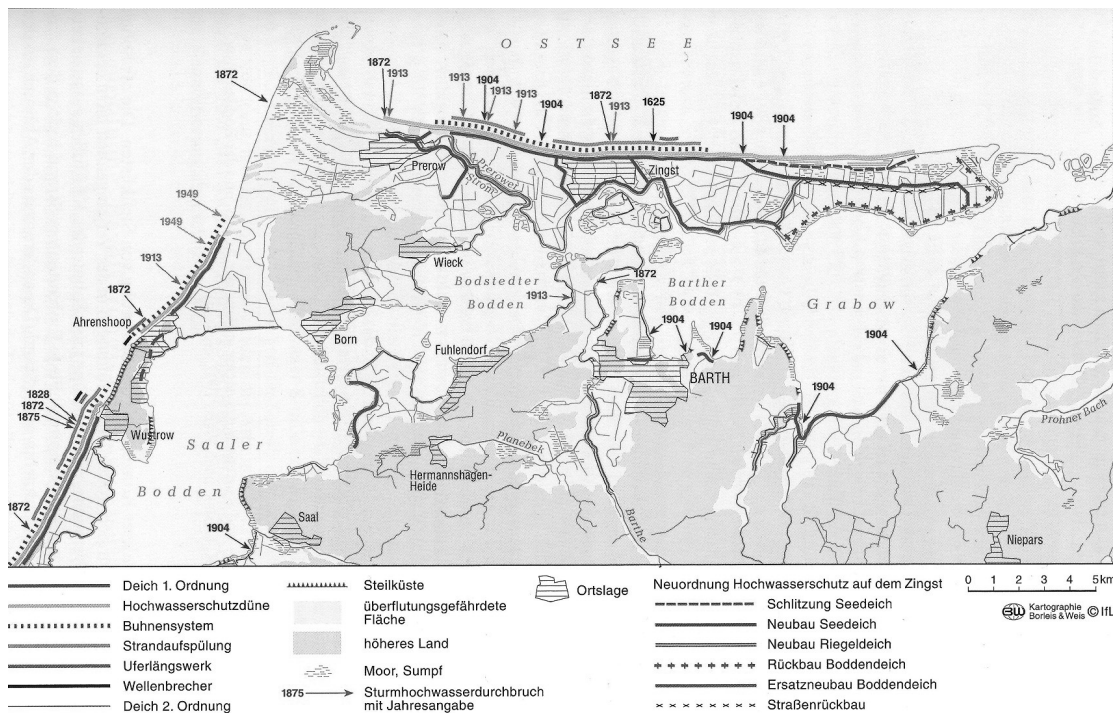


Abbildung 3.5.: Küstenschutz im Untersuchungsgebiet [Billwitz2009]

Große Teile der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und auch der Bereich hinter dem Bodden liegen nur wenige Zentimeter über dem Meeresspiegel. Nach der Sturmflut von 1872 wurden auf dem Darß und in Zingst ein Schutzsystem aus Deichen mit einer Höhe von 2.5 m über Mittelwasser und 1 m über Sturmflutpegel (2.4 m NHN) erbaut. Der erste Zingster Deich aus dem Jahre 1848 wurde erneuert durch zusätzliche Riegeldeiche

gesichert und ein zusätzlicher Deich zwischen Zingst und Prerow erbaut. Es folgen Deiche in Wustrow, Faschinenbuhnen vor Ahrenshoop und Zingst und bis heute die stetige Verstärkung, Erneuerungen und Aufspülung zum Schutz der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und seinem Hinterland. Die Abbildung 3.5 zeigt eine Übersicht der im Zeitraum 1848 bis 1949 gebauten Schutzanlagen im Bereich der Untersuchungsgebiete U2 bis U4.

4. Entwurf und Implementierung eines Scriptwerkzeugs

Für die Feststellung einer Veränderung des Küstenraumes sind Materialien verschiedener Zeitpunkte notwendig. Für diese Arbeit werden Orthofotos aus den Jahren 2002 bis 2010 für die oben erwähnten Untersuchungszeiträume U1 bis U4 vom LaIV zur Verfügung gestellt. Die Abbildungen und die daraus abgeleiteten Informationen werden multitemporal verglichen. Dazu werden sie in einem GIS integriert und bearbeitet, die jeweilige Küstenlinie ermittelt und ein Werkzeug zur Berechnung der Bewegung der linienförmigen Objekte angewandt. Sowohl die Materialien als auch das GIS und vor allem das Werkzeug sind in diesem Kapitel vorgestellt und deren Anwendung dokumentiert. Anschließend sind die Ergebnisse der Analyse aufgeführt und interpretiert.

4.1. Arbeitsgrundlage

4.1.1. Bezugssysteme

Die litoralen Prozesse verändern die Gestalt des Raumes. Eine Küstenlinie wird verschoben, Dünen wandern oder Steilküstenkliffe rutschen ab. Um die Ausprägung zu detektieren und zu analysieren, brauchen die zu untersuchenden Objekte multitemporale Angaben zu ihrer Lage und Höhe in einem Raum. Die Position wird mit Koordinaten genau beschrieben. Die Koordinaten beziehen sich stets auf eine *Koordinatenreferenzsystem*, welches sich aus einem *geodätischen Bezugssystem* und dem *Koordinatensystem* zusammensetzt. Folgend werden die Systeme erläutert, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden.

geodätischen Bezugssystem

In MV ist seit 1991 ein einheitliches amtliches geodätisches Bezugssystem durch die Landesvermessungsämter festgelegt. Dieses besteht aus einem Referenzrahmen und einem Referenzsystem. Das Referenzsystem legt die anzuwendenden physikalischen Größen, den Referenzellipsoid und die Lage, Orientierung und den Maßstab gegenüber dem Ellipsoid fest. Der Referenzrahmen ist die Realisierung des Systems. In der materiellen Umsetzung sind das Festpunktfelder und mit Satelliten gestützte Positionierungsdienste. Geodätische Bezugssysteme beschreiben Positionen in der Lage, Höhe und Schwere. Deshalb gibt es folgende drei Bezugssysteme:

- Lagebezugssystem ETRS89

- Höhenbezugssystem DHHN92
- Schwerebezugssystem DHSN96

Da in dieser Arbeit die Schwere nicht betrachtet wird, folgen nur Erläuterungen zum European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) und Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN92).

Das Lagebezugssystem ETRS89

In Mecklenburg Vorpommern ist das amtlich geodätische Lagebezugssystem das European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89). Es bezieht sich auf den Referenzellipsoid vom Geodetic Reference System 1980 (GRS80). Das ist ein geometrisches Erdmodell in Form eines Ellipsoids. Beschrieben wird dieser idealisierte Körper mit der kleinen und großen Halbachse und der mittleren polaren Abplattung.

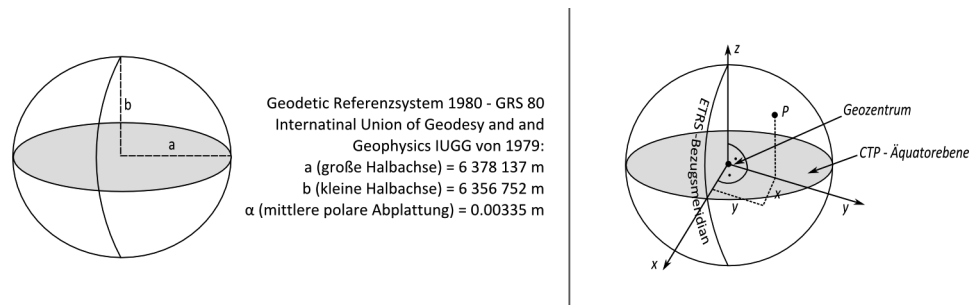


Abbildung 4.1.: links GRS80-Referenzellipsoid und seine Dimensionen, rechts geozentrisches dreidimensionales Koordinatensystem

Punkte auf dem Bezugsellipsoiden werden mit geozentrischen dreidimensionalen Koordinaten X, Y und Z angegeben. Der Ursprung des Koordinatensystems liegt im Massenmittelpunkt der Erde (Geozentrum). Die z-Achse entspricht genähert der mittleren Erdrotationsachse. Exakt ist sie durch das Geozentrum und den Conventional Terrestrial Pole (CTP) definiert. Die x-Achse ist die Schnittgerade der Ebene des ETRS89-Bezugsmeridians (Nullmeridian von Greenwich) und liegt in der CTP-Äquatorebene. Die y-Achse steht rechtwinklig auf der x- und z-Achse in der CTP-Äquatorebene und ergänzt ein XYZ-Rechtssystem. Abgeleitet vom Internationalen Referenzsystem (ITRS) ist das ETRS89 auf die eurasische Kontinentalplatte gebundene Umsetzung zur Epoche 1989.0 (01.01.1989).

Realisiert wird das Lagebezugssystem ETRS89 durch den Referenzrahmen EUREF. Dieser ist materialisiert durch Festpunktfelder unterschiedlicher Hierarchien von oberster Ebene mit dem Europäischen Referenznetz über das Deutsche Referenznetz (DREF), dem MVREF (GPS-bestimmte Referenznetz Mecklenburg-Vorpommern) bis hin zu SAPOS-Referenzstationen und den nachgeordneten Verdichtungsnetzen. Die ETRF-Koordinaten der Festpunkte werden im Abstand einiger Jahre neu bestimmt und auch mit geophysikalischen Bewegungsmodellen verglichen.

Das Höhenbezugssystem DHHN92

Bis 1993 der Arbeitsgemeinschaften der Vermessungsverwaltungen (AdV) beschloss eine amtliches einheitliches Höhenbezugssystem in Deutschland gab es in der Bundesrepublik 2 unterschiedliche Systeme zur Angabe der Höhen. In den neuen Bundesländern wurde das SNN76 mit den Normalhöhen (HN) bezogen auf den Kronstädter Pegel und in den alten Bundesländern das DHHN85 mit den Normalorthometrischen Höhen bezogen auf den Amsterdamer Pegel verwendet. Die Differenz der beider Pegel betrug etwa 14-16cm, was zu strukturellen und wirtschaftlichen Problemen führte. Festgelegt wurde das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN92). Die Höhen werden angegeben mit dem Abstand in Metern über Normalhöhennull (m über NHN). Das Normalhöheniveau ist der der Quasigeoid, der durch das Abtragen von Normalhöhen von der Erdoberfläche nach unten. Die Normalhöhen werden berechnet mit gemessener Schwere und der geopotenziellen Kote (negative Schwerepotentialdifferenz des Punktes zum Geoid). Im Küstenbereich fällt der Quasigeoid mit dem Geoid in ein Niveau. Der Geoid ist eine Bezugsfläche in Höhe des mittleren Meeresspiegels als Niveaufläche des von verschiedenen Einflüssen befreiten Erdeschwerefeldes.

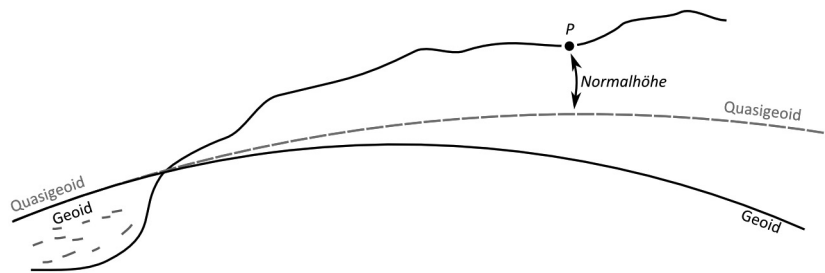


Abbildung 4.2.: Quasigeoid und Normalhöhe

Koordinatensystem

Koordinaten beschreiben die Lage eines Punktes mit Zahlenwerten die sich auf einen Ursprung beziehen. Dabei kann die Bezugsfläche eine Kugel, eine Ellipsoid oder eine Ebene als Teil der Erdoberfläche sein. Mit höherem Genauigkeitsanspruch verringert sich die Maßstabszahl und ebene Koordinaten werden benutzt, um Verzerrungen zu vermeiden. Geographische Koordinaten beziehen sich auf den idealisierten Erdkörper als Kugel oder Ellipsoid. Die Koordinatenwerte sind die zwei Winkel der geographischen Breite ϕ und der geographischen Länge λ . Die Länge ist der Winkel zwischen dem Nullmeridian und dem Meridian im Punkt. Vom Nullmeridian, der durch Greenwich geht, gehen 180 Längengrade jeweils in westliche und östliche Richtung. Die Breite ist der Winkel, der sich zwischen dem im Punkt errichteten Lotrechten und der Äquatorebene bildet. Vom Äquator aus gehen in nördliche und südliche Richtung jeweils 90 Breitengrade. Angegeben werden die Koordinaten in Grad($^{\circ}$), Minuten ($'$) und Sekunden ($''$). Nutzt man das Rotationsellipsoid als Bezug, sind die zwei Koordinatenwerte als *geodätische Breite* B und *geodätische Länge* L ähnlich definiert.

Die Abbildungsvorschrift zur Verebnung der Koordinaten im System ETRS89 ist die

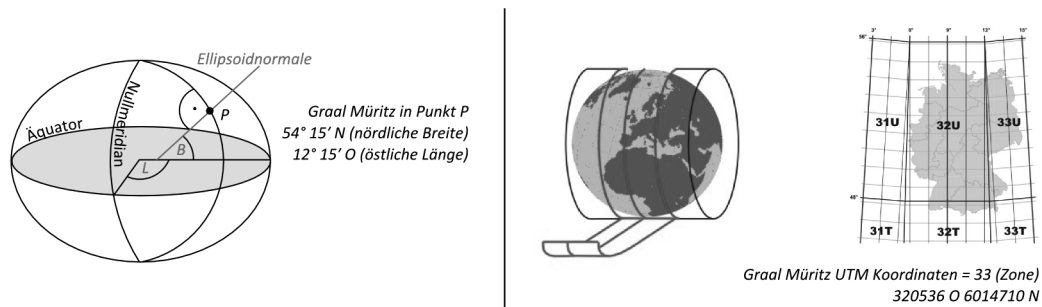


Abbildung 4.3.: geodätische Koordinaten und UTM-Abbildung

Universale Transversale Mercator Projektion. Sie projiziert Koordinaten aus dem dreidimensionalen Raum in die Fläche. Dabei wird die Erde in 6° breite Streifen eingeteilt. In maximal dieser Breite werden die Zonen abgebildet um Verzerrungen im Randbereich zu vermeiden. Der Mittelmeridian so einer Zone wird mit einem Maßstabsfaktor von 0,9996 abgebildet. Der erste Meridianstreifen beginnt bei 177° w.L. hinter der Datumsgrenze und wird in 60 Zonen rund um die Erde weitergeführt. Mecklenburg-Vorpommern ist im Bereich der Mittelmeridiane 9° und 15 östliche Breite und somit in der 32. und 33. Zone. Die Koordinaten sind der Ostwert E (Zonenziffer und Abstand vom Mittelmeridian in Meter) und der Nordwert N (Abstand vom Äquator in Meter).

4.1.2. Geoinformationssystem-Software ArcGIS 10

Geoinformationssysteme

„Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“(Bill, 2002). Die Software für eine GIS kann entweder kommerziell erworben werden (von z.B. AutoDesk, Intergraph und ESRI) oder kostenlos von einem OpenSource Projekt (z.B. Quantum GIS, OpenJump und GRASS GIS) genutzt werden.

ArcMap

Die Hauptkomponente der Produktparte ArcGIS von der Firma Environmental Systems Research Institute (ESRI) ist das Produkt ArcMap. Es dient dem Anzeigen, Analysieren und Bearbeiten von Geodaten und der kartographischen Gestaltung. Zusammen mit dem ArcCatalog, eine Verwaltungsoberfläche für Daten, bildet ArcMap das Paket *ArcGIS Desktop*. In dieser Arbeit wird die Version ArcDesktop 10.1 verwendet.

AcrToolbox

Mit Geoverarbeitungswerkzeugen (Geoprocessing Tools) werden in ArcMap Aktionen ausgeführt, die Geodaten erstellen, analysieren und manipulieren. Ein festes Repertoire an Werkzeugen steht dem Nutzer in der Standard-Installation von *ArcGIS*

Desktop organisiert in Toolboxes zur Verfügung. Häufig genutzte Werkzeuge sind das Ausschneiden, Selektieren, Puffern, Vereinigen, Verschneiden und Überschneiden von Geodaten [Brand2012]. Zusätzliche Toolboxes können nachträglich installiert werden oder eigens mit Python-Scripts (s.u.) erstellt werden.

ModelBuilder

Die ArcToolbox stellt mehrere Werkzeuge zur Verfügung. Um einzelne Werkzeuge miteinander zu koppeln, wird der ModelBuilder genutzt. Hier kann ein Modell aus mehreren Prozessen erstellt werden. Ein Prozess ist ein Werkzeug. So wird z.B. ein Modell mit dem Puffern begonnen und dessen Ergebnis gleich an ein Verschneiden-Werkzeug übergeben. Auch komplexe Abläufe mit Bedingungen, Schleifen, Listen etc. lassen sich erstellen. Die Modelle werden in der Oberfläche von *ArcGIS Desktop* erzeugt und können in Form eines Scriptes in der Programmiersprache *Python* exportiert werden. Somit lassen sie sich auch in andere Anwendungen integrieren oder durch *Python*-Befehle erweitern.

WMS

Der Web Map Server (WMS) ist eine Schnittstelle zum Internet, um Geodaten im Rasterformat von einem Geodatenserver über das HTTP innerhalb eines GIS-Viewers darzustellen. Z.B. stellt das BSH über eine URL-Adresse WMS Dienste zum Thema CONTIS-Facilities oder NAUTHIS Topography frei zur Verfügung. Die Daten können nur gelesen und nicht bearbeitet werden. In dieser Arbeit werden die Topographischen Karten durch den WMS-Dienst vom GDI-MV dargestellt.

4.1.3. Programmiersprache Python

Python ist eine interpretierte, objektorientierte und erweiterbare Programmiersprache. Eine interpretierte Programmiersprache benötigt einen Interpreter, der die Anweisungen für den Prozessor übersetzt. Objektorientiert ist Python, weil die Sprache das Paradigma erfüllt jede Instanz einer Klasse mit ihrem Zustand und ihrem Repertoire an Operationen als gleichwertige und nach außen einheitliche erscheinende Objekte zu behandeln. Auch das Prinzip der Vererbung von Zuständen und Fähigkeiten von Objekten untereinander und die Kapselung wird hier angewandt. Kapselung heißt, dass die Objekte nach außen einheitlich erscheinen, der innere Aufbau wird ignoriert, ein Zugriff von außen auf interne Funktionen ist nicht möglich. Über Nachrichten, die von Objekten verschickt und empfangen werden können, werden die Fähigkeiten anderer Objekte erfragt und aktiviert. Dabei ist die Art und Weise wie eine Operation ausgeführt wird nicht relevant für den Fragenden, denn die Objekte handeln in eigener Verantwortung [Lutz2002].

Python-Toolbox

Eine Python-Toolbox *.pyt* ist ein Python-Script, das sich an den vorhandenen Werk-

zeugen in der ArcToolbox (s.o.) bedienen kann. Sequentiell werden diese in Interaktion gebracht und durch Anweisungen mit z.B. Berechnungen erweitert, welche von den bereits existierenden Werkzeugen nicht erfüllt werden könnten. Die Toolbox wird innerhalb von *ArcGIS Desktop* erzeugt und beinhaltet rudimentär eine Toolbox-Klasse und eine Werkzeug-Klasse. Ein Python-Programm mit der Erweiterung *.py* ist ein einzelnes Werkzeug, welches in diese Toolbox geladen wird. Das Programm wird in einem Editor (hier: Notepad++) geschrieben. Grundlegend für die Nutzung der Geoverarbeitungstools von *ArcGIS Desktop* ist der Import der Teilbibliothek *ArcPy* in das Script. Bibliotheken liefern eine Sammlung von Unterprogrammen in der jeweiligen Programmiersprache. Nachdem Import am Anfang des Scripts wird z.B. mit dem Befehl `arcpy.AddXY-Management(Punkt-Feature)` die Anweisung gegeben, zu Punkt-Feature in der Attributtabelle die X- und Y-Koordinaten hinzuzufügen. Als Feature wird im Allgemeinen die Ausprägung einer Geometrieklasse bezeichnet. Ein Shapefile besteht aus den Features einer Geometrieklasse (Point, Polygon oder Polyline) und einer Attributtabelle, die die Ausprägung (Geometrie- und Sachdaten) der Features auflistet.

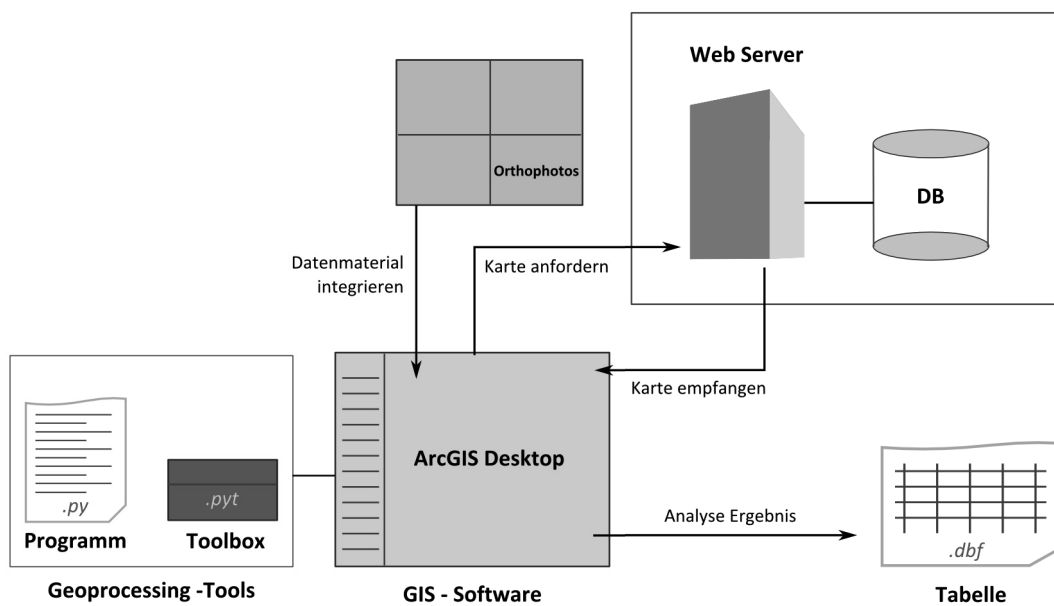


Abbildung 4.4.: Arbeitsgrundlage Umgebung

4.2. Scriptwerkzeug Detect Shifting

Das Python-Script *Detect Shifting* wurde im Rahmen des Praktikums an der UFPE in Recife Brasilien entwickelt und für die Bachelorarbeit fertiggestellt. Es wird eingesetzt um multitemporale Daten miteinander zu vergleichen und somit die Veränderung der Küste zu ermitteln. Um den Abstand zwischen den Küstenlinien der unterschiedlichen Zeitpunkte zu berechnen, wird der Abstand auf einer Lotrechten von einem Punkt

auf einer Referenzlinie bis zum Schnittpunkt mit einer anderen Linie bestimmt. Das Ergebnis weist die Dynamik der Küste auf und kann für statistische Zwecke genutzt werden.

Die Graphik 4.2 beschreibt den Ablauf eines allgemeinen Prozesses zur Analyse multitemporaler linienförmiger Objekte. Ausgang sind die Daten die zur Verfügung stehen. Gibt es alte Luftbilder, müssen diese evt. eingescannt und georeferenziert werden. Diese Scans werden zusammen mit anderen Daten, wie z.B. GPS-Messungen und Orthofotos in ein GIS geladen und räumlich übereinandergelegt. Bei unterschiedlichen Raumbezügen erfolgt eine Transformation der Daten. Bei den Rasterdaten werden die zu vergleichenden Linienobjekte nachgezeichnet. D.h. mit dem Editor werden die Küstenlinien als Polylinien dargestellt.

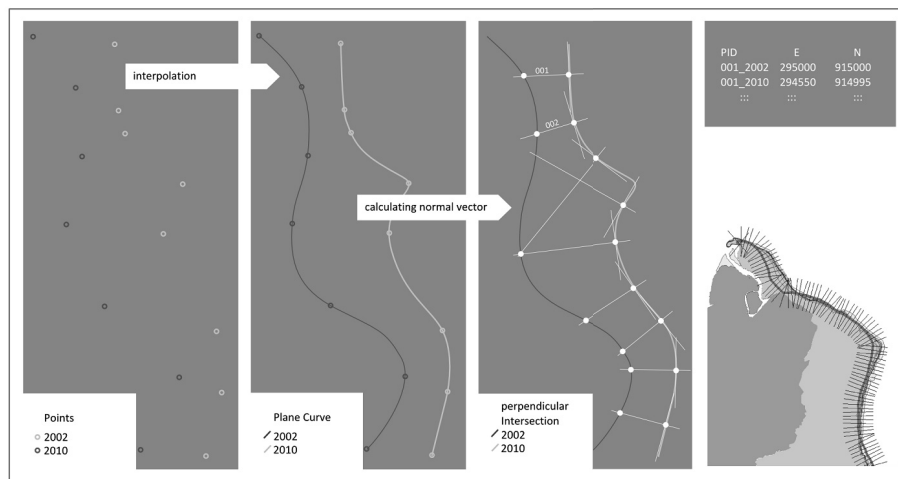


Abbildung 4.5.: Analyse linienförmiger Objekte

Liegen die Polylinien der unterschiedlichen Zeitpunkte als einzelne Shapefiles vor, kann das Scriptwerkzeug angewendet werden. Die Graphik 4.6 zeigt den Programmablaufplan des Scripts. Als Input benötigt das Script eine Referenzlinie, die zu vergleichenden Linien und deren Aufnahmedaten. Zudem werden zwei Parameter vom Script gefordert. Das *densify distance* ist der Abstand zwischen den Punkten, an denen die lotrechten Linien von der Referenzlinie abgehen. Die *perpendicular length* beschreibt die Länge der lotrechten Linie von der Referenzlinie aus. Die Daten und Parameter werden mit Werkzeugen der ArcToolbox in folgender Reihenfolge behandelt:

Editing Tool „Densify Points“

Das Script errechnet neue Punkte entlang der Referenzlinie im vorgegebenen Abstand

(densify distance).

Data Management Tool „Split Line at Vertices“

Die Referenzlinie wird an den oben errechneten Punkten geteilt und alle Linienstücke als einzelne Features in ein neues Shapefile geschrieben. Dieses Shapefile besitzt eine Attribut-Liste, in der alle Liniensegmente mit einer Identifikationsnummer und dem Anfangs- und Endpunktkoordinaten beschrieben sind.

Data Management Tool „Calculate field“

Die Koordinaten vom Anfangs- und Endpunkt der Liniensegmente werden benutzt um die Richtung des Normalvektors zu berechnen. Jedes Liniensegment stellt eine Gerade g dar, dessen Normalvektor folglich seine Orthogonale ist.

Hat die Gerade g also die Richtung

$$\vec{v} = (a, b)$$

So sind die beiden Normalvektoren

$$\vec{v} = (-b, a)$$

und

$$\vec{v}(b, -a)$$

Die Vektoren stellen jeweils die Orthogonale in die rechte bzw. linke Richtung von der Gerade g dar. Ausgehend vom Mittelpunkt der Linien wird sequenziell die Richtung der Orthogonalen mit der Punkt-Richtung-Gleichung berechnet:

$$y_{normalpoint} - y_{midpoint} = \tan(\alpha) * x_{normalpoint} - x_{midpoint}$$

Ist α also die Richtung des Normalvektors so folgt:

$$\alpha = \text{atan}(y_{normalpoint} - y_{midpoint} / x_{normalpoint} - x_{midpoint})$$

Data Management Tool „Bearing Distance to Line“

Es wird ein neues Shapefile mit den orthogonalen Linien erstellt. Die Anfangspunkte für die jeweiligen Linien sind die oben aufgeführten Mittelpunkte. Der Parameter perpendicular length bestimmt die Länge der neu erzeugten Linien.

Spatial Analyst Tool „Intersection“ und Data Management Tool „Add XY Coordinates“

Dieses Werkzeug ermittelt alle Schnittpunkte von Orthogonalen und zu vergleichenden

Linien und schreibt die Punkte in eine neues Punkt-Shapefile. Anschließend werden die XY-Koordinaten in die Attribut-Tabelle des neuen Shapefiles geschrieben.

Data Management Tool „Calculate field“

Erneut wird dieses Tool verwendet um eine spezielle Berechnung durchzuführen. Hier wird der Abstand d vom Mittelpunkt bis zum Schnittpunkt errechnet:

$$d = \sqrt{(x_{intersection} - x_{midpoint})^2 + (y_{normalpoint} - y_{midpoint})^2}$$

Statistic Analysis Tool

Erstellt eine Tabelle mit dem maximalen Wert, dem minimalen Wert, der Standardabweichung und dem Mittelwert des rechtwinkligen Abstandes der Referenzlinie zu den anderen Linien d .

Das Script wird in ArcGIS integriert indem zunächst mit ArcToolBox eine neue Toolbox erstellt wird und dann das Script in diese neue Toolbox geladen wird. Die Tests nach der Entwicklung bewiesen die Funktionalität und korrekte Berechnung des Scripts. Ein Test mit eine großen Datenmenge (Referenzlinie 150km, ca. 3000 Punkte) wurde erfolgreich, aber mit einer Dauer von 56 min berechnet.

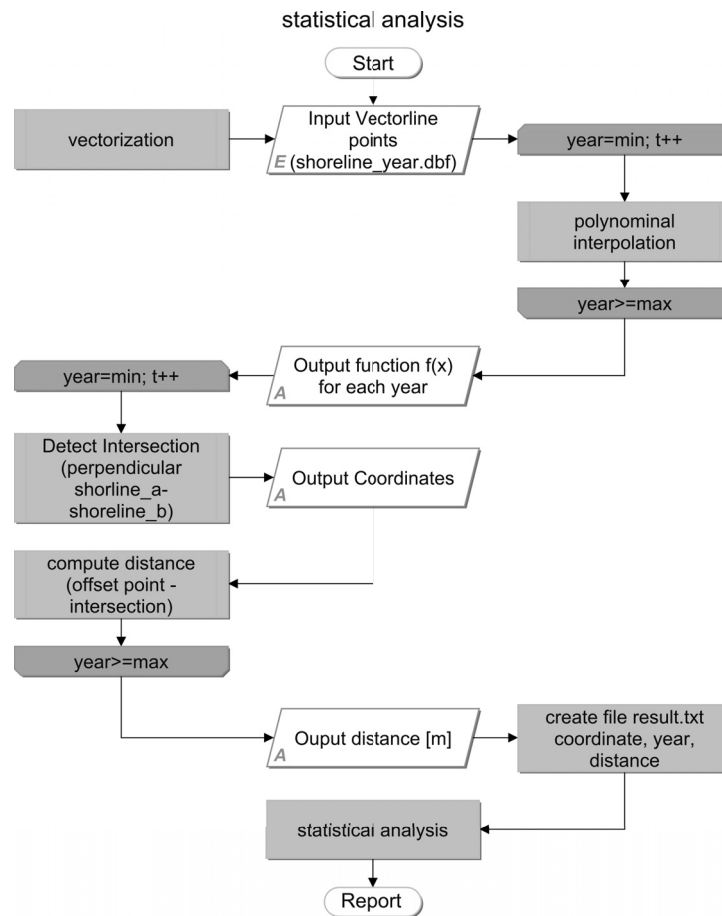


Abbildung 4.6.: Programmablaufplan Detect Shifting

4.3. Datenmaterial

Das Landesamt für Innere Verwaltung mit dem Amt für Geoinformation, Vermessung und Katasterwesen stellt im Rahmen dieser Arbeit Orthofotos zur Verfügung. Die oben genannten Untersuchungsgebiete werden von ca. 400 Fotos abgedeckt. Die Aufnahmen wurden zu vier verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen:

- 10.05.2002
- 25.04.2005
- 14.04.2007
- 29.04.2010 (U1) bzw. 19.04.2010 (U2 bis U4)

Somit umfasst die multitemporale Auswertung einen Zeitraum von 8 Jahren. Die Orthofotos vom Jahr 2002 haben eine Auflösung von 0.4 m Bodenpixelgröße. Alle späteren Aufnahmen besitzen eine Auflösung von 20 cm Bodenpixelgröße. Die Daten liegen im Lagebezugssystem ETRS89 und in der entsprechenden Abbildungsvorschrift Universale Transversale Mercatorprojektion (UTM) vor. Eine Transformation ist somit nicht notwendig.

Außerdem stellt das StaLU-MM Vermessungsdaten zur Verfügung, die jeweils vor oder nach Bauvorhaben getätigt wurden. Diese stellen aber immer nur einen kleinen Bereich der Untersuchungsreihe dar und können somit nur Aussagen in kleinräumigen weiteren Untersuchungen relevant sein und sind in Bezug auf die hier ausgewählten Untersuchungsgebiete nicht genügend aussagekräftig.

Wasserstand, Wellenhöhe, Windstärke und Strömungsverhältnisse an den oben aufgeführten Tagen stellt auch das StaLU-MM bereit. Die Daten wurden aufgenommen mit dem Internen Messnetz Küste und stellen den Messabschnitt Rerik bis Darßer Ort dar, aufgenommen von der Messtation in Warnemünde. Alle Parameter stündlich aufgenommen worden. Der Wasserstand wird in Metern über dem NMW angegeben. Der NMW ist der feste, generalisierte Mittelwasserstand der Küstenpegel der Ostsee. Dieser entspricht dem NHN des DHHN92, also 500 cm über Pegelnull. Dies gilt jedoch nur vereinfachend für den Küstenschutz. Die Windstärke wird angegeben als Windgeschwindigkeit in m/s. Die signifikante Wellenhöhe ist die mittlere Wellenhöhe der 33% höchsten gemessenen Wellen einer Zeitreihe. Gemessen wird die Höhe der Welle nach dem Zero-Downcrossing Verfahren. Dies ist eine Analyseverfahren, bei dem die einzelnen Wellen abgegrenzt werden, um Wellenperioden und deren Wellenhöhe zu ermitteln [IKZM2011]. Zuletzt werden noch die Strömungsverhältnisse mit den Parametern Strömungsgeschwindigkeit im m/s in x-Richtung (küstenparallel) und in y-Richtung (küstennormal) angegeben.

4.4. Küstenlinie feststellen

Nach Sichtung der Materialien wurde festgelegt, dass die definierte Küstenlinie die Nass-Trockengrenze sein soll. Diese ist auf den Orthofotos gut erkennbar und gibt eine stabilere Linie als die momentane Wasserlinie [Boak2005]. Jedoch ist auch sie beeinflusst vom Wasserstand, Wellenhöhe und Strömungsverhältnissen zu den unterschiedlichen Zeitpunkten. Deshalb ist bei der Auswertung der Daten darauf zu achten, dass sie nur im Zusammenhang mit den hydrografischen Messparametern aussagekräftige Ergebnisse erzeugen können.

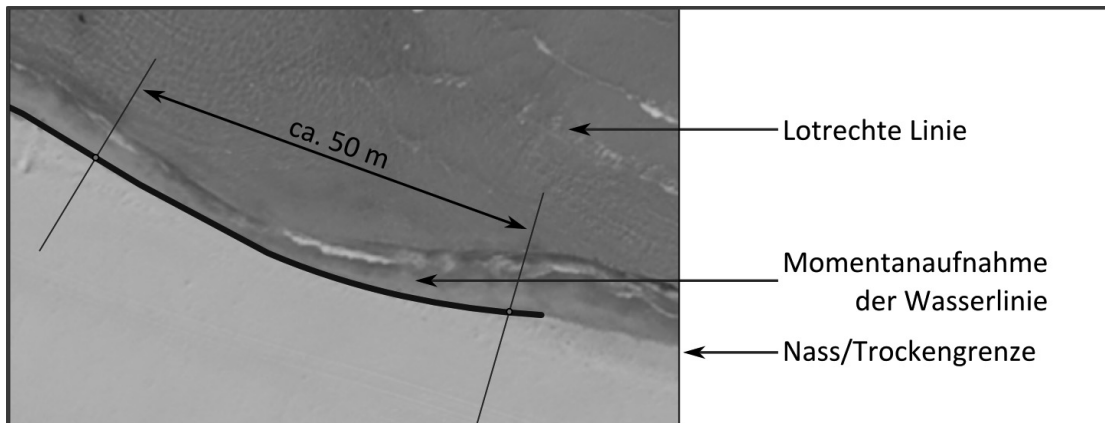


Abbildung 4.7.: Digitalisierung der Nass/Trocken-Grenze als Küstenlinie

Bei der Digitalisierung der Küstenlinie werden Generalisierungen und Interpolationen vorgenommen, die die Genauigkeit des Ergebnisses beeinflussen. Zunächst werden die Punkte entlang der Küste in einem ungefähren Abstand von 50 m gesetzt. Die Linien, die zwischen diesen Punkten verläuft, beschreibt eine Interpolation aller dazwischen liegenden Punkte. Eine Generalisierung wurde vorgenommen, indem Kurven der Küstenlinie zwischen den Punkten nicht beachtet wurden. Die Linie erscheint in geglätteter Form gegenüber ihrer wahren Gestalt. Ein Punkt wird an die Stelle gesetzt, an der die Trocken/Nass-grenze zu erkennen ist und kann bei einer Bodenauflösung von 20 cm und einem Digitalisiermaßstab von konstant $M 1 : 250$ mit einer Lagegenauigkeit von ca. 32.28 cm dargestellt werden. Dies resultiert aus dem minimalen Abstand zweier gegebener Punkte mit dem genannten Maßstab von ca. 0.2 mm im Orthofoto und somit 5 cm in der Natur. Dem zugerechnet wird die Diagonale eines Pixels welches 20 cm in der Natur in Länge und Breite darstellt (28.28 cm).

5. Ergebnisse und Zusammenfassung

5.1. Systematische Darstellung der Ergebnisse

Nach der Analyse mit dem Tool „Detect Shifting“ liegt für jedes Untersuchungsgebiet eine zusammenfassende Tabelle vor. Diese gibt Auskunft über die mittlere Linienverschiebung, die maximale Akkumulation und Abrasion im Zeitraum zwischen den Aufnahmen der Orthofotos. Außerdem wird für diese Zeitspanne die mittlere Verschiebung der Küstenlinie pro Jahr berechnet.

Zusammenfassend liegt im gesamten Untersuchungsgebiet von Graal-Müritz bis Prerow eine Akkumulation von 55 cm pro Jahr vor. In den einzelnen Untersuchungsgebieten fanden jedoch mittlere Veränderungen von 0.11 m Abrasion bis 2.62 m Akkumulation von 2002 bis 2010 statt. Außerdem betragen die maximalen Verschiebungen an lokalen Stellen die Werte 162.07 m in der Akkumulation und 79.39 m in der Abrasion. Die Tabelle mit der gesamten statischen Auswertung befindet sich im Anhang Nr.(A). Außerdem stellen die Pläne 1 bis 4 eine Übersicht der Veränderungen in den einzelnen Untersuchungsgebieten dar.

Graal Müritz

In Graal Müritz fand eine überwiegende Akkumulation statt. Dies ist mit den knapp 60 Buhnen und den wiederholten Aufspülungen in diesem Bereich zu erklären. Die maximale Akkumulation im gesamten Zeitraum beträgt 34.38 m (siehe Plan Nr.:1, Abb. U1 a). Die größte Abrasion fand am westlichen Ende des U1-Strandes mit nur 7.02 m statt. Zum Zeitpunkt der beiden Aufnahmen beträgt der Pegelunterschied nur 4.54 cm und die Wind- und Wellenverhältnisse sind ähnlich. Zwischen 2005 und 2007 tritt in der Tabelle die maximale Abrasion von 21.19 m auf (siehe Plan Nr.:1 Abb. U1 c). Hier muss beachtet werden, dass die Pegeldifferenz mit 23.28 cm ein Indikator für stark unterschiedlich gelagerte Küstenlinien sein kann (siehe Anhang Nr. 2). Eine positive Veränderungen der Küstenlinie ist auch im Bereich der Stromschließung nach 2009 zu erkennen (siehe Plan Nr.:1 Abb. U1 d).

Weststrand

Am Weststrand fand ein in sich geschlossener Ausgleichsprozess statt. Es gibt starke Akkumulationsbereiche (siehe Plan Nr.: 2, Abb. U2 a) mit Werten bis knapp 50 m und Abrasionen bis ca. 40 m (siehe Plan Nr.: 2, Abb. U2 c), aber insgesamt veränderte sich die Küstenlinie von U2 nicht signifikant (mittlere Verschiebung zwischen 2002 und 2008 = +0.03 m). Auffällig ist auch der Bereich, in dem die Buhnenanlagen entfernt worden sind und somit eine starke Abrasion im Zeitraum von 2007 bis 2010 stattfand

(siehe Plan Nr.: 2, Abb. U2 b & d). Der größte Mittelwert pro Jahr liegt zwischen 2005 bis 2007 mit einer durchschnittlichen Abnahme von 1.86 m. Auch hier ist wieder auf einen starken Unterschied der Pegelstände zu den Aufnahmezeitpunkten hinzuweisen.

Darßer Ort

Aufgrund stark unterschiedlich exponierter Lagen am Darßer Ort, werden die westlichen Strände und der östliche Teil getrennt voneinander betrachtet. Der nördliche Teil wird von der Untersuchung ausgeschlossen, da das Tool aufgrund seiner rechtwinkligen Messungen die starke Veränderung in verschiedene Richtungen kaum mit aussagekräftigen Zahlen beschreiben kann.

Der westlicher Teil vom Darßer Ort ist unter den Untersuchungsgebieten eindeutig am stärksten von der Abrasion betroffen. Zwischen den Aufnahmen von 2005 bis 2007 ist ein jährlicher Rückgang von 4.88 m zu verzeichnen. Insgesamt wird in den 8 Jahren des Untersuchungszeitraums eine Abrasion von 0.88 m und eine maximale lokale Abnahme 28.92 m verzeichnet (siehe Plan Nr.: 3, Abb. U3a) . Die stärkste Akkumulation zählt 29.54 m zwischen den Jahren 2002 und 2005, in denen auch der einzig positive Mittelwert pro Jahr (1.91 m) berechnet wird.

Der östliche Teil vom Darßer Ort weist die größten lokalen Veränderungen mit landseitiger Küstenlinienverschiebung von 79.39 m (siehe Plan Nr.: 3, Abb. U3c) im Bereich eines Durchbruchs oberhalb des Nothafens und einer maximalen Akkumulationen von 162.07 m direkt unterhalb der Schwemmlandebene des Nothafenausgangs (siehe Plan Nr.: 3, Abb. U3d) zwischen 2002 und 2010 auf. Durch diese extreme Dynamik fand sich in diesem Gebiet auch die größte durchschnittliche jährliche Veränderung von 12.45 m zwischen 2005 und 2007 statt. Insgesamt wirken die Prozesse aber ausgleichend, denn die gesamte mittlere Verschiebung pro Jahr beträgt nur 11 cm.

Prerow

In den Jahren von 2002 bis 2007 fand eine stetige Akkumulation statt. Eine lokale Zunahme von 45.86 m wurde erreicht (siehe Plan Nr.:4 , Abb. U4b). Ab 2007 ist eine größere Abrasion zu verzeichnen, die an einigen Stellen eine landseitige Küstenlinienverschiebung um 37.15 m verursacht. Insgesamt spiegelt die Statistik aber einen Zuwachs von 0.83 m zwischen 2002 und 2010 ab. Diese wird auch hier, wie in Graal-Müritz, durch die ständige Küstenschutzmaßnahmen wie z.B. Sandaufspülungen erklärt.

5.2. Fazit im Bereich der Küstendynamik und im Küstenschutz

Der vorigen Ausführung zufolge ist verallgemeinert eine Tendenz der Akkumulation zu erkennen. Dies bezieht sich nur auf die Gebiete, die in dieser Arbeit untersucht werden und lässt nicht auf die gesamte Ostseeküste in Mecklenburg Vorpommern schließen. Trotzdem kann in Hinblick auf den geleisteten Küstenschutz zusammenfassend beurteilt

werden, dass in den Gebieten, die in der Literatur zuvor als abrasionsgefährdet bezeichnet waren, nun stabile oder gar wachsende Küsten zu erkennen sind. Nach diesen Untersuchungen ist der Küstenschutz in den Jahren des Untersuchungszeitraums wirksam gewesen. Jedoch muss bei der Beurteilung der Küstendynamik aufgrund der vorliegenden Auswertungen beachtet werden, dass keine multitemporale und räumlich identische Küstenlinie festgelegt werden kann. Der unterschiedliche Pegelstand zu den Aufnahmezeitpunkten und die oben ermittelte Lagegenauigkeit der digitalisierten Punkte von ca. 32 cm müssen in Bezug auf die Aussagekraft der Ergebnisse mit einbezogen werden.

5.3. Fazit im Bereich des Scriptwerkzeugs

Das Tool „Detect Shifting“ kann effizient zur schnellen Ermittlung von Küstenlinienveränderungen eingesetzt werden. Es liefert eine übersichtliche Tabelle mit den wichtigsten Fakten zur Beurteilung litoraler Prozesse. Die Integration ist schnell in ArcGIS über den ToolboxManager vollzogen. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt hierbei nicht vom Scriptwerkzeug, sondern vom Ausgangsmaterial ab. Außerdem muss die Zeichnung der Küstenlinien nach wie vor selbst getätigt werden. Im Bereich von starken Kurven treten fehlerhafte Berechnungen durch Überschneidungen auf. Mit der Lösung dieser Konfliktbereich, zusätzlichen statistischen Analysen und einer grafischen Darstellungen in Form von Diagrammen kann das Programm erweitert werden und somit effizienter auch in anderen Bereichen des Umweltmonitorings z.B. Dünenwanderungen eingesetzt werden.

Abbildungsverzeichnis

2.1. Geographie der Ostsee, M 1: 20 Mio. [OBArcGIS2013]	4
2.2. Raumnutzungsplan CONTIS [BSH]	5
2.3. Sturmflutindikatoren	6
2.4. Ausgleichsküste [IKZM]	9
2.5. Flachküstenprofil, nach [StaLU-MM2009]	10
2.6. Steilküstenprofil, nach [StaLU-MM2009]	10
2.7. Küstenliniendefinitionen. Eine Auswahl nach Boak und Turner (2005), Orthofoto vom Weststrand auf dem Darß M 1: 500	12
2.8. Übersicht Untersuchungsgebiet, M 1: 1 Mio.	14
3.1. Organisation im Küstenschutz	19
3.2. Bemessungshochwasserstand, M 1: 1 Mio. [OBArcGIS2013]	20
3.3. Beispiel multitemporale Orthofotos	22
3.4. Anlagen im Küstenschutz [StaLU-MM2009]	24
3.5. Küstenschutz im Untersuchungsgebiet [Billwitz2009]	25
4.1. links GRS80-Referenzellipsoid und seine Dimensionen, rechts geozentri- sches dreidimensionales Koordinatensystem	28
4.2. Quasigeoid und Normalhöhe	29
4.3. geodätische Koordinaten und UTM-Abbildung	30
4.4. Arbeitsgrundlage Umgebung	32
4.5. Analyse linienförmiger Objekte	33
4.6. Programmablaufplan Detect Shifting	35
4.7. Digitalisierung der Nass/Trocken-Grenze als Küstenlinie	37

6. Literatur

[Billwitz2009] Billwitz, Haik Thomas Porada (2009). *Die Halbinsel Fischland-Darß-Zingst und das Barther Land*. Boehlau Verlag, Köln.

[BMLP2010] o.V., Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2010). *Monitoring Kennblatt Bathymetrie*. online: http://www.blmp-online.de/Monitoringhandbuch/Kennblaetter/Kennblatt_Bathymetrie.pdf - abgerufen am 12.02.2013.

[Boak2005] E.H. BOAK; I.L. Turner (2005). *Shoreline definition and detection: A review*. Journal of Coastal Research, Vol. 21, 688 - 703.

[Brand2012] Klaus Brand, GI Geoinformatik GmbH (2012). *ArcGIS 10, das deutschsprachige Handbuch für Desktop Basic und Editor*. Wiechmann, Berlin.

[BSH2011] o.V., Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2011). *textitRaumnutzungsplan der Ostsee*. online: http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Raumordnung_in_der_AWZ/index.jsp - abgerufen am 12.03.2013.

[Duphorn1995] Klaus Duphorn u.a. (1995). *Die Deutsche Ostseeküste*. Borntraeger, Berlin.

[IKZM2011] Anke Vorlauf, EUCC - Die Küsten Union Deutschland e.V. (2011). *Die Ausgleichsküste*. online: <http://www.ikzm-d.de/main.php?page=166,3681> - abgerufen am 18.03.2013.

[IOW2013] o.V., Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (2013). *Steckbrief der Ostsee*. online: <http://www.io-warnemuende.de/steckbrief-der-ostsee.html> - abgerufen am 14.02.2013.

[Kelletat1989] Dieter Kelletat (1989). *Physische Geographie der Meere und Küsten*. Teubner, Stuttgart.

[LaIV2013] o.V., Landesamt für Innere Verwaltung, Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen. *Digitale Orthofotos*. online: http://www.laiv-mv.de/land-mv/LAiV_prod/LAiV/AfGVK/ATKIS/atkis.dop.jsp - abgerufen 19.02.2013.

[Lutz2002] Mark Lutz (2002). *Python kurz und gut*. O'Reilly Verlag, Köln.

[Murawski1992] Hans Murawski (1992). *Geologisches Wörterbuch*. Spektrum, Heidelberg.

[NVB1990] o.V., Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft(1990). *Verordnung über die Festsetzung des Nationalparkes Vorpommersche Boddenlandschaft*.

[OBArcGIS2013] Open Basemap in ArcGis. ESRI (2013).

[Seemann2008] Jörg Seemann (2008). Diplomarbeit *Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Ostseeküste*. Universität Rostock.

[SISMV2011] Staatliches Institut für Statistik Mecklenburg Vorpommern (2012). *Bevölkerung Stand 2011*. online: <http://sisonline.statistik.m-v.de/regionaldaten.php> - abgerufen am 18.02.2013.

[StaLU-MM2009] o.V., Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt - Mittleres Mecklenburg (2009). *Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern*. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Schwerin.

[StaLU-MM2011] o.V., Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt - Mittleres Mecklenburg (2011). *Küstenschutz im Ostseebad Graal-Müritz*. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Schwerin.

[Tauber2013] Franz Tauber u.a., Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (2013). *Die Geschichte der Ostsee*. online: <http://www.io-warnemuende.de/geschichte-der-ostsee-2489.html> - abgerufen am 14.02.2013.

[Tiepolt1994] Lars Tiepolt (1994). Dissertation *Landerschließung und Landerhaltung in der nordwestpommerschen Boddenlandschaft seit 1692*. Universität Rostock.

[Zepp2004] Harald Zepp (2004). *Geomorphologie*. UTB, Stuttgart.

A. Anhang

Tabelle Nr.1 Auswertung der Analyse in ArcGIS

**Tabelle Nr.2 Hydrografische Messung zum Zeitpunkt der
Aufnahmen**

Plan Nr.1 - Untersuchungsgebiet U1

Plan Nr.2 - Untersuchungsgebiet U2

Plan Nr.3 - Untersuchungsgebiet U3

Plan Nr.4 - Untersuchungsgebiet U4

Tabelle Nr. 1 Auswertung der Analyse in ArcGIS

U1 – Graal Müritz		Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard- abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2005	10.102	30.559	-8.785	6.330	05/24/2005	3.041	3.322
2002	2007	6.250	24.895	-12.908	7.777	04/14/2007	4.932	1.267
2002	2010	13.292	34.385	-7.019	9.663	05/19/2010	7.934	1.675
2005	2007	4.013	14.978	-21.185	6.975	05/15/2007	2.058	1.951
2007	2010	7.253	26.859	-9.263	6.430	05/19/2010	3.041	2.385
U2 – Weststrand		Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard- abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2005	2.718	34.669	-18.204	10.549	04/25/2005	2.962	0.918
2002	2007	-2.753	49.604	-31.559	13.206	04/14/2007	4.932	-0.558
2002	2010	-0.506	49.487	-41.434	17.897	04/24/2010	8.030	-0.063
2005	2007	-3.662	31.737	-28.705	10.207	04/14/2007	1.970	-1.859
2007	2010	1.208	36.162	-31.377	12.442	04/24/2010	3.099	0.390
U3 – Darßer Ort West		Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard- abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2005	5.652	29.547	-16.847	12.917	04/25/2005	2.962	1.908
2002	2007	-3.297	30.293	-22.862	15.714	04/14/2007	4.932	-0.669
2002	2010	-6.574	26.254	-28.932	15.874	04/24/2010	4.945	-1.329
2005	2007	-9.628	9.104	-28.194	7.771	04/14/2007	1.970	-4.888
2007	2010	-3.022	5.690	-15.051	5.171	04/24/2010	3.016	-1.002
U3 – Darßer Ort Ost		Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard- abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2005	8.349	33.414	-88.917	36.960	04/25/2005	2.962	2.819
2002	2007	-16.287	108.673	-50.817	33.537	04/14/2007	4.932	-3.303
2002	2010	7.137	79.389	-162.069	62.777	04/24/2010	7.948	0.898
2005	2007	-24.716	84.334	-7.140	25.171	04/14/2007	1.970	-12.547
2007	2010	17.252	36.479	-88.130	41.972	04/24/2010	3.085	5.593
U4 – Prerow		Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard- abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2005	9.782	39.694	-17.787	11.850	04/25/2005	2.962	3.303
2002	2007	13.474	44.274	-14.951	14.240	04/14/2007	4.932	2.732
2002	2010	4.258	45.856	-17.142	15.458	04/24/2010	7.948	0.536
2005	2007	3.945	41.606	-11.608	10.048	04/14/2007	1.970	2.003
2007	2010	-7.132	20.206	-37.246	10.247	04/24/2010	3.016	-2.364

Tabelle Nr. 2 Hydrografische Messungen zum Zeitpunkt der Aufnahmen

Datum	Wasserstand [cm über NMW]	Windgeschwindigkeit [m/s]	signifikante Wellenhöhe [m]	Strömung Vx [cm]	Strömung Vy [cm]
10/05/2002	24.583	3.513	0.464	#NV	#NV
05/24/2005	-11.125	3.027	0.154	-0.014	0.096
14/04/2007	12.167	2.117	0.078	0.010	0.000
04/29/2010	0.094	4.854	1.625	0.081	-0.006
19/04/2010	29.119	3.274	0.321	0.006	0.014



Übersichtskarte Untersuchungsgebiet 1 - Graal Müritz - M 1:50 000

U1 - Graal Müritz		max.	max.	Standard-			Mittelwert
Datum	Akkumulation	Abrasion	abweichung	Datum	Jahre	pro Jahr	
10.05.2002	30.559	-8.785	6.330	24.05.2005	3.041	3.322	
24.05.2005	24.895	-12.908	7.777	14.04.2007	4.532	1.267	
14.04.2007	34.385	-7.019	9.663	19.05.2010	7.934	1.675	
19.05.2010	4.013	14.978	-21.185	6.975	15.05.2007	2.068	1.951
	7.253	26.859	-9.263	6.430	19.05.2010	3.041	2.385

Ergebnistabelle der Analyse der Küstenlinienverschiebung

Datum	Wasserstand [cm über NNW]	Windgeschwindigkeit [m/s]	signifikante Wellen- höhe [m]	Strömung [cm]	Vx [cm]	Strömung Vy [cm]
10.05.2002	24.583	3.513	0.464	#NV	#NV	
24.05.2005	-11.125	3.027	0.154	-0.014	0.036	
14.04.2007	12.167	2.117	0.078	0.010	0.000	
19.05.2010	4.944	1.676	0.083	-0.006	0.028	

Hydrographische Messdaten zu den Zeitpunkten der Aufnahmen. Quelle: StatU-MM

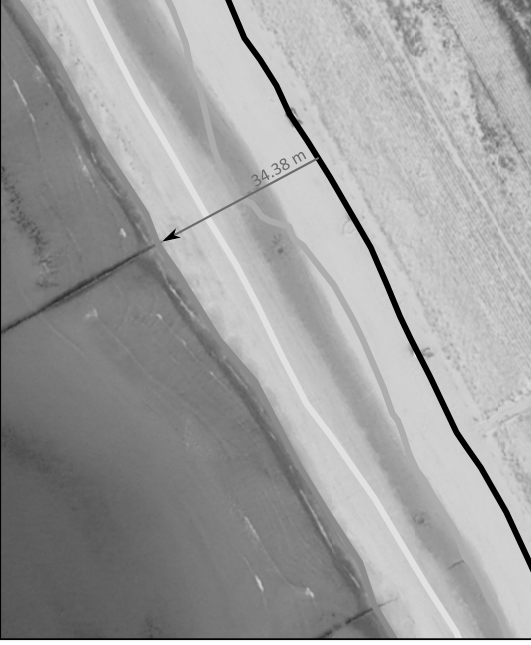
Legende

- Uferlinie vom 10.05.2002
- Uferlinie vom 24.05.2005
- Uferlinie vom 14.04.2007
- Uferlinie vom 19.04.2010
- Detailkarten

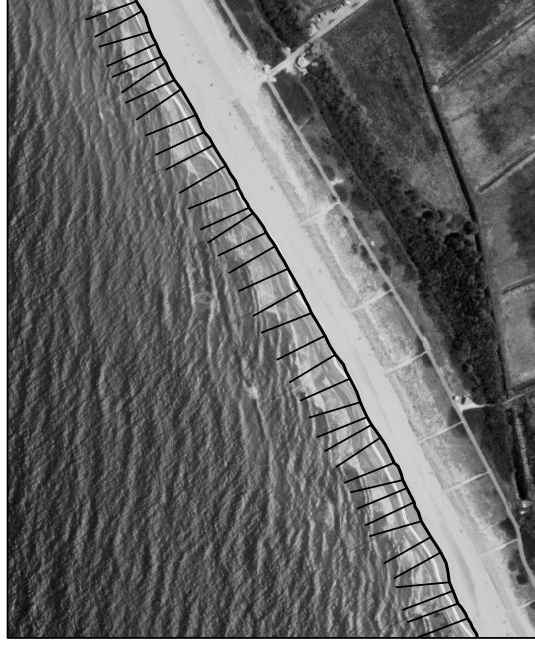


Quellen

- U1 - GDI MV Web Map Server
- U1 a bis U1 d - LaIV Luftbildstelle



Detailkarte U1 a - Ort der maximalen Akkumulation (34.38 m) zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1: 1000



Detailkarte U1 c - Schematische Darstellung der Küstenlinienveränderung zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2002), M 1: 5000



Detailkarte U1 b - Ort der maximalen Abrasion (21.19 m) zwischen 2005 und 2007 (Orthophoto 2005), M 1: 1000



Detailkarte U1 d - Ort der Schließung des Stroms im Jahr 2009 (Orthophoto 2010), M 1: 2000

Auswertung der Küstenlinienveränderung im Untersuchungsgebiet 1 - Graal Müritz Plan Nr.: 1

multitemporale Analyse von 2002 bis 2010

Bearbeitungsstand April 2013

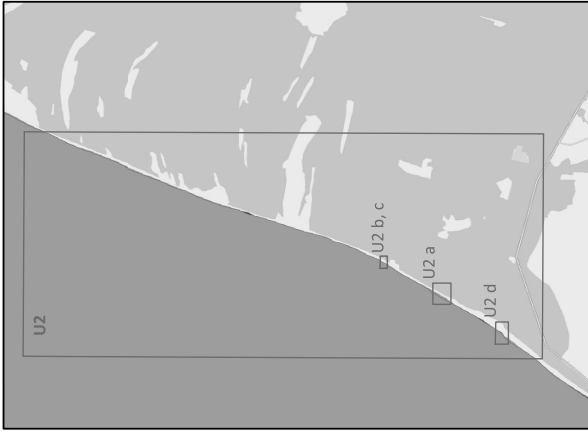
Bachelorarbeit im Studiengang Geoinformatik
Hochschule Neubrandenburg

Bearbeiter: Sophie Bartelt

Betreuer: Prof. Dr. Lutz Vetter
Dr. agr. Lars Tiepolt



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Übersichtskarte Untersuchungsgebiet 2 - Weststrand - M 1: 70 000



Detailkarte U2 a - Ort der maximalen Akkumulation (49.48 m) zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1: 600

Legende

- Uferlinie vom 10.05.2002
- Uferlinie vom 24.05.2005
- Uferlinie vom 14.04.2007
- Uferlinie vom 19.04.2010
- Detailkarten

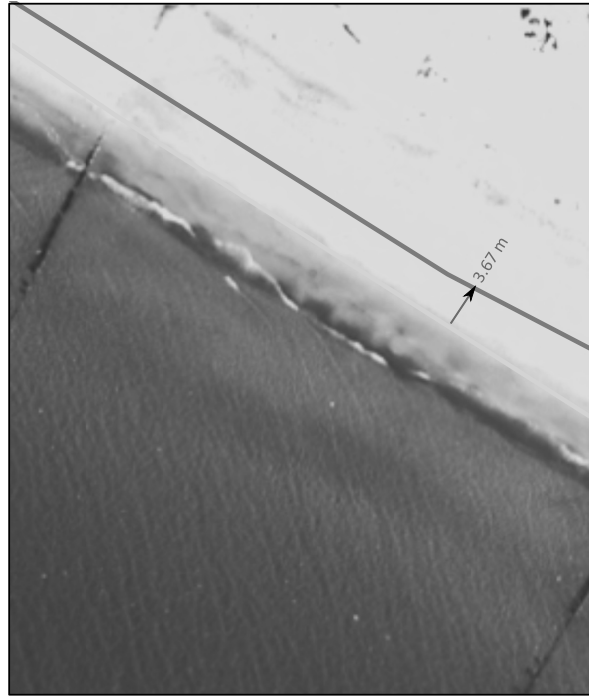
Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

**Auswertung der Küstenlinienveränderung
im Untersuchungsgebiet 2 - Weststrand Plan Nr.: 2
multitemporale Analyse von 2002 bis 2010**

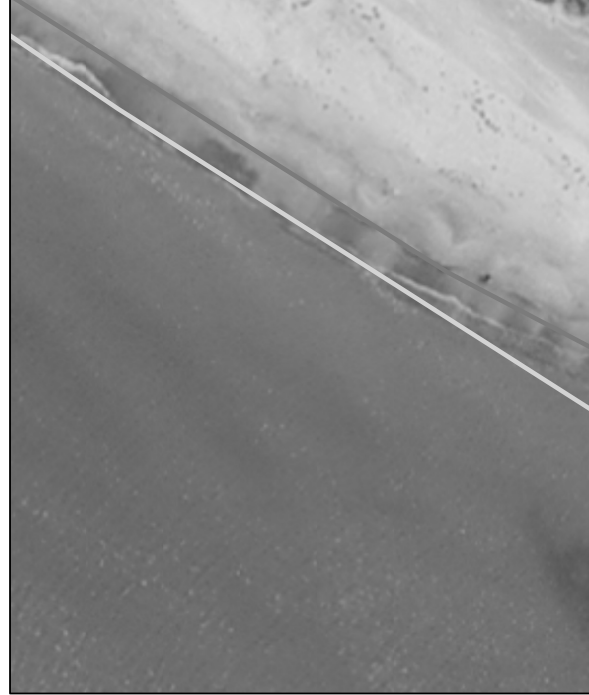
Bearbeitungsstand April 2013

Bachelorarbeit im Studiengang Geoinformatik
Hochschule Neubrandenburg

Bearbeiter: Sophie Bartelt
Betreuer: Prof. Dr. Lutz Vetter
Dr. agr. Lars Tiepolt



Detailkarte U2 c - Übersicht der Küstenlinienveränderung zwischen 2007 und 2010 (Orthophoto 2007), M 1: 500



Detailkarte U2 c - Übersicht der Küstenlinienveränderung zwischen 2007 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1: 500



Detailkarte U1 d - Ort der maximalen Abrasion (41.44 m) zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1: 1000

U2 - Weststrand	Mittelwert	max. Akkumulation	max. Abrasion	Standard-abweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	2,718	34,668	-18,204	10,549	25.04.2005	2,962	0,918
2002	-2,753	49,604	-31,559	13,206	14.04.2007	4,932	-0,568
2002	-0,506	49,487	-41,434	17,897	24.04.2010	8,030	-0,063
2005	-3,662	31,737	-28,705	10,207	14.04.2007	1,970	-1,859
2007	1,208	36,162	-31,377	12,442	24.04.2010	3,099	0,390

Ergebnistabelle der Analyse der Küstenlinienveränderung

Datum	Wasserstand [cm über NN]	Windgeschwindigkeit [m/s]	signifikante Wellen-höhe [m]	Strömung Vx [cm]	Strömung Vy [cm]
10.05.2002	24,583	3,513	0,464	#NV	#NV
24.05.2005	-11,125	3,027	0,154	-0,014	0,096
14.04.2007	12,167	2,117	0,078	0,010	0,000
29.04.2010	0,094	4,854	1,625	0,081	-0,006

Hydrographische Messdaten zu den Zeitpunkten der Aufnahmen, Quelle: StatLU-MM

Quellen

U2 - GDI MV Web Map Server
U2 a bis U2 d - LaV Luftbildstelle



Übersichtskarte Untersuchungsgebiet 4 - Prewow - M 1:70.000

U4 - Prewow	Mittelwert	max.	Akkumulation	max.	Abrasion	max.	Standardabweichung	Datum	Jahre	Mittelwert pro Jahr
2002	8,782	38,694	-17,737	11,850	04/25/2005	2,892	3,303			
2002	13,474	44,274	-14,951	14,240	04/14/2007	4,932	2,732			
2002	4,258	45,856	-17,142	15,458	04/24/2010	7,948	0,536			
2005	3,945	41,606	-11,608	10,048	04/14/2007	1,970	2,003			
2007	-7,132	20,206	-37,248	10,247	04/24/2010	3,018	-2,384			

Ergebnistabelle der Analyse der Küstenlinienverschiebung

Datum	Wasserstand (cm über NNW)	Windgeschwindigkeit (m/s)	signifikante Wellen-Höhe (m)	Strömung Va (cm)	Strömung Vb (cm)	#NV	#NV
10.05.2002	24,563	3,513	0,164	#NV	#NV	0,086	
24.06.2005	-11,125	3,027	0,154	-0,014	0,010	0,000	
14.04.2007	12,167	2,117	0,078	0,010	0,000	0,000	
19.05.2010	4,944	1,676	0,083	-0,006	0,028		

Hydrographische Messdaten zu den Zeitpunkten der Aufnahmen, Quelle: StatL-MM

Auswertung der Küstenlinienveränderung im Untersuchungsgebiet 4 - Weststrand Plan Nr.: 4 - multitemporale Analyse von 2002 bis 2010
 Bearbeitungsstand April 2013 - Bachelorarbeit im Studiengang Geoinformatik - Hochschule Neubrandenburg

Legende

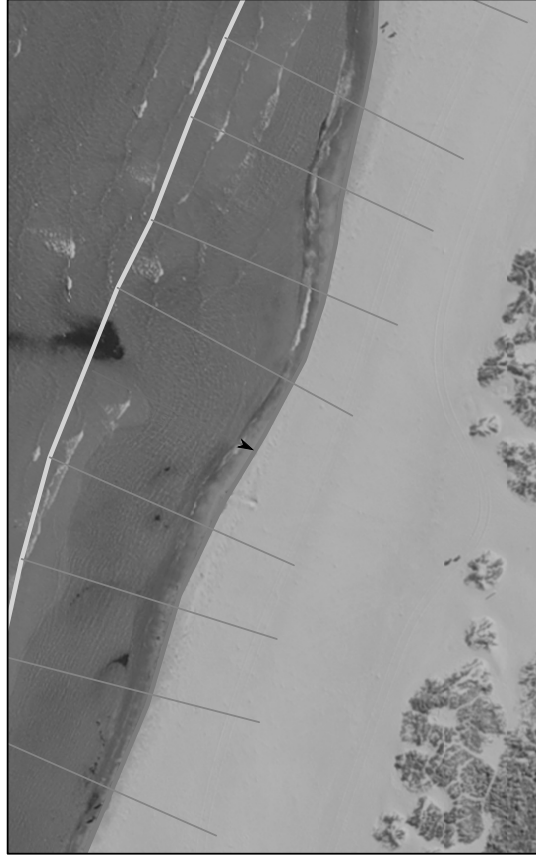
Uferlinie vom 10.05.2002
 Uferlinie vom 24.05.2005
 Uferlinie vom 14.04.2007
 Uferlinie vom 19.05.2010

Quellen

U4 - GDI MV Web Map Server
 U4 a bis U4 d - LaV Luftbildstelle

Bearbeiter: Sophie Bartelt
Betreuer: Prof. Dr. Lutz Vetter
 Dr. agr. Lars Tiepolt

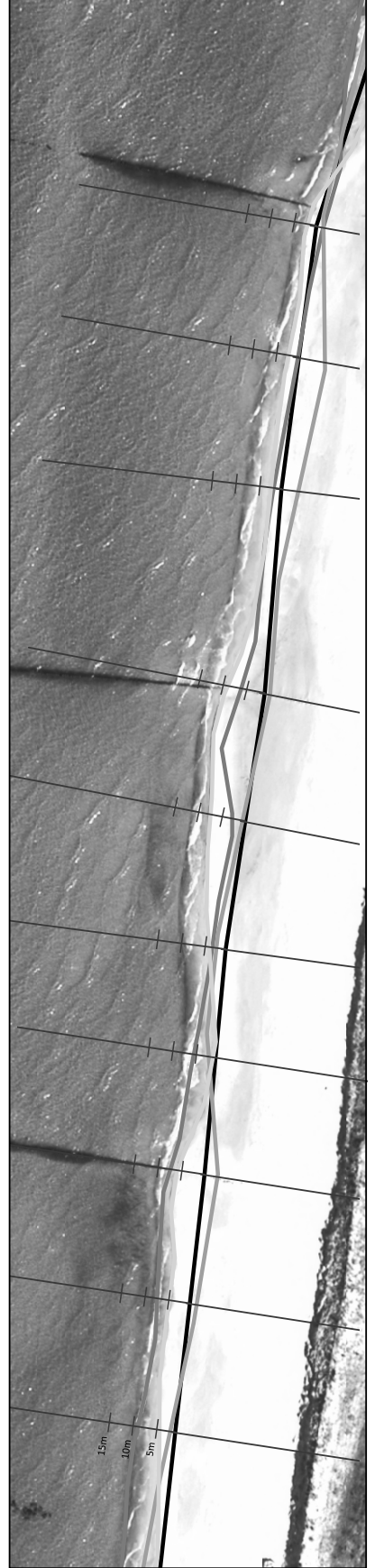
Hochschule Neubrandenburg
 University of Applied Sciences



Detaillkarte U4 a - Ort der maximalen Abrasion von 37,15 m zwischen 2007 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1:1.000



Detaillkarte U4 b - Ort der maximalen Akkumulation von 45,86 m zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2010), M 1:1.000



Detaillkarte U4 c - Küstenlinienveränderung zwischen 2002 und 2010 (Orthophoto 2007), M 1:1.000