



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Studiengang Geoinformatik

Aufbereitung von historischen Wetterdaten (Ostsee-Sturmflut 1872)

Bachelorarbeit

vorgelegt von: Mirko Kählke

zum Erlangen des akademischen Grades

„Bachelor of Engineering“

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Wehrenpfennig

Zweitprüfer: Dr. Birger Tinz

[urn:nbn:de:gbv:519-thesis2011-0052-1](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:519-thesis2011-0052-1)

Bearbeitungszeitraum: 05.01.2011-02.03.2011

Eidesstattliche Erklärung

zur Bachelorarbeit

Ich versichere, die Bachelorarbeit selbständig und lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst 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, den

Unterschrift

Danksagung

Ganz besonders möchte ich Prof. Dr.-Ing. Andreas Wehrenpfennig und Dr. Birger Tinz danken, die mich während der Anfertigung der Bachelorarbeit unterstützten und mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Des Weiteren gilt besonderen Dank meiner Familie, die mir das Studium an der Hochschule Neubrandenburg ermöglichten. Weiterhin bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Deutschen Wetterdienstes für die im Praxissemester und auch darüber hinaus zuvorkommende und hilfreiche Unterstützung.

Zusammenfassung

Im November 1872 kam es zu einer der schwersten durch Messungen belegte Sturmflut in der westlichen Ostsee. Die Pegelstände überstiegen damals deutlich die bekannten Höhen. 271 Menschen verloren ihr Leben und etwa 15 000 wurden obdachlos. Besonders betroffen waren die Küsten Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns. Verantwortlich war eine markante Wetterlage vom 01. November 1872 bis zum 13. November 1872. Um die Mechanismen einer solchen Lage zu verstehen und abzuschätzen, welche Auswirkung eine derartige Sturmflut heute hätte, ist es notwendig, die überlieferten, meteorologischen Daten zu analysieren. Durch Vergleiche mit überlieferten Daten können die Mechanismen einer solchen Lage untersucht werden. Zudem kann abgeschätzt werden, welche Auswirkung eine solche Sturmflut heute hätte. Als Ergebnisse liegen Windkarten sowie Pegelstände vor.

Summary

In November 1872 was one of the heaviest storm surge ever recorded occurred in the Western Baltic Sea. The water levels at the time clearly exceeded the known data. 271 people lost their lives and about 15 000 became homeless. Particularly affected were the coasts of Schleswig-Holstein and Mecklenburg-Western Pomerania. Responsible was a striking weather from 1st of November 1872 until 13th of November 1872. To understand the mechanisms of such weather and evaluate what effect such a strong tide today there would have it is necessary to analyze the traditional meteorological data to raise comparisons and draw conclusions. The results are wind maps, and water levels.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	7
1.1 Ziel Bachelorarbeit.....	7
1.2 Aufbau Bachelorarbeit.....	7
1.3 Deutscher Wetterdienst, Dienststelle Hamburg.....	8
2. Grundlagen.....	9
2.1 Ereignisbeschreibung Sturmflut 1872.....	9
2.2 Pegelstandsmessungen.....	10
2.3 Datengrundlage.....	10
2.4 Ausgangszustand.....	11
2.5 Meteorologische Zusammenhänge.....	13
2.6 Wetterlage Sturmflut November 1872.....	16
2.7 Interpolation.....	17
2.7.1 Ziele der Interpolation.....	17
2.7.2 Voraussetzung für die Anwendung im Einsatzfall.....	18
2.7.3 Auswahl Interpolationsverfahren.....	19
2.7.4 Prozesskette.....	22
2.8 Aufbereitung für Windberechnung.....	22
3. Systemaufbau.....	22
3.1 Verwendete Komponenten.....	22
3.1.1 ESRI ArcGIS.....	22
3.1.2 Microsoft Excel und Access.....	23
3.2 Architektur.....	24

4. Anwendung.....	25
4.1 Aufbereiten der Druckwert- und Koordinateninformationen.....	25
4.1.1 Möglichkeiten der Aufbereitung.....	25
4.1.2 Fazit.....	28
4.1.3 Resultat.....	28
4.2 Datenbank.....	30
4.3 ArcCatalog.....	31
4.4 Interpolation in ArcGIS.....	31
4.6 Visualisierung und Klassifizierung.....	37
4.7 Automatisierung der Prozesse.....	38
5. Auswertung.....	38
5.1 Auswahl der Szenarien.....	38
5.2 Fallstudie.....	43
5.3 Interpretation.....	47
5.4 Vergleich Natural Neighbour-Interpolation u. „Raster“-Interpolation.....	47
5.5 Datenausgabe.....	48
5.6 Windkarten.....	52
5.7 Pegelstände.....	54
5.8 Prozesskette.....	58
5.9 Softwaresystem.....	58
6. Fazit und Ausblick	59
6.1 Analyseergebnisse.....	59
6.2 Probleme und Verbesserungen.....	60
Glossar.....	61
Quellenverzeichnis.....	63
Abbildungsverzeichnis.....	64
CD-Beilage	

1. Einführung

1.1 Ziel der Bachelorarbeit

Die Idee für die Bachelorarbeit entstand im Praxissemester. Die Sturmflutwetterlage vom November 1872 wurde davor bereits rekonstruiert. Die Ergebnisse dieser Rekonstruktion waren zunächst der vom Luftdruck abgeleitete Wind und die vom Wind abgeleiteten Pegelstände. Dazu wurden Luftdruckdaten jener Zeit analysiert, digitalisiert und interpoliert (mathematisch geschätzt). Anschließend wurden die Ergebnisse der Interpolation auf ein Raster gelegt, ausgegeben und visualisiert. Dabei fielen jedoch und unrealistische Strukturen des Luftdrucks auf.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, mit Hilfe eines Geoinformationssystems zu untersuchen, ob es besseres Interpolationsverfahren für den Luftdruck gibt, welches realistischere Strukturen aufweist und zu analysieren, wie die daraus abgeleiteten Pegelstände mit den Messungen von BAENSCH 1875 übereinstimmen. Des Weiteren wird eine Prozesskette erstellt, in der alle notwendigen Schritte aufgezeigt werden, die nötig sind um aus den gegebenen Luftdruckdaten die Wasserstände zu errechnen. Mit der Auswahl eines optimalen Interpolationsverfahrens lassen sich zudem auch andere extreme historische Wetterlagen und daraus wiederum eventuelle Hochwasserstände besser rekonstruieren.

1.2 Aufbau der Bachelorarbeit

Die Bachelorarbeit ist in mehrere Abschnitte unterteilt. Im Ersten werden die Situationen der Ostseesturmflut von 1872 näher betrachtet, die meteorologischen Zusammenhänge erläutert und gezeigt, welche Möglichkeiten im verwendeten Geoinformationssystem vorhanden sind, um mit den relevanten meteorologischen Daten zu arbeiten.

Im nächsten Abschnitt liegt der Fokus besonders auf den verwendeten Softwarekomponenten, sowie auf der Umsetzung des Softwaresystems.

Der dritte Teil beinhaltet die Schritte, die notwendig sind, um mit den Daten in den genutzten Softwarekomponenten zu arbeiten. Ferner werden Vergleiche der Methodik erstellt und geschlussfolgert, welche der angewandten Methoden am besten geeignet sind. In Form einer Prozesskette wird das entstandene Softwaresystem graphisch gezeigt und erläutert, wie das System aufgebaut ist.

Im letzten Abschnitt wird ein Fazit gezogen und anhand einer Analyse ein Ausblick gegeben, welche Probleme vorhanden sind und Möglichkeiten zur Verbesserung aufgezeigt.

1.3 Deutscher Wetterdienst, Dienststelle Hamburg

Die Norddeutsche Seewarte eröffnete ihre Arbeit in Hamburg zur Sicherung der Schifffahrt am 1. Januar 1867. Georg von Neumayer und Wilhelm von Freeden bereiteten diese Institution der Schifffahrtssicherung vor. Ab Februar 1876 erschien von der deutschen Seewarte die erste deutsche, regelmäßige Wetterkarte. Die Wettervorhersagen waren jedoch nicht zuverlässig, da unter anderem meteorologische Beobachtungen noch nicht zahlreich vorhanden waren und vor allem aktuelle Beobachtungen von See fehlten. Mitte Juni 1906 gab die Deutsche Seewarte im Rahmen der Einrichtung einer „Öffentlichen Wetterdienststelle“ regelmäßige Wettervorhersagen heraus.

Ab 1909 konnten Schiffswettermeldungen in die Wetterkarten mit aufgenommen werden. Nach der Auflösung der Deutschen Seewarte im März 1946 durch die Alliierten übernahmen das Deutsche Hydrographische Institut, heute das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, die nautischen und hydrographischen Aufgaben. Das meteorologische Tätigkeitsfeld ging an das Meteorologische Amt für Nordwest-Deutschland, das heutige Seewetteramt. Diese Tätigkeitsbereiche wurden mit Wirkung vom 01. April 1952 in die durch Bundesgesetz geschaffene Bundesanstalt „Deutscher Wetterdienst“ überführt und am 01. Januar 1953 in das Seewetteramt des Deutschen Wetterdienstes in Hamburg umgewandelt. Weitere Dienststellen in Hamburg, sind neben der in St. Pauli, die in Sasel und die Luftfahrtsberatungszentrale auf dem Flughafen in Fuhlsbüttel.

Aufgaben des Deutschen Wetterdienstes sind die Erbringung meteorologischer Dienstleistungen, die meteorologische Sicherung der Luft- und Seefahrt, die Herausgabe von amtlichen Warnungen über Wettererscheinungen, der Betrieb der erforderlichen Mess- und Beobachtungssysteme, Bereithaltung, sowie die Dokumentierung und Archivierung meteorologischer Daten und Produkte. Beim Deutschen Wetterdienst sind gegenwärtig etwa 2700 Beamte und Angestellte beschäftigt. Die Zentrale des Deutschen Wetterdienstes befindet sich in Offenbach. Zu dem existieren 5 weitere große Niederlassungen: Neben der in Hamburg sind weitere in Potsdam, Leipzig, Essen, Stuttgart und München. [vgl. *Deutscher Wetterdienst, Aufgaben und Tätigkeit des Seewetteramtes*, 1993]

2. Grundlagen

2.1 Ereignisbeschreibung Sturmflut 1872

Im November 1872 ereignete sich an den Küsten der Westlichen Ostsee eine schwere Sturmflutkatastrophe, bei der 271 Menschen ihr Leben verloren und etwa 15 000 obdachlos wurden. Die Pegelstände überstiegen damals deutlich die bekannten Messwerte (Abb. 1). (vgl. *Rosenhagen und Bork, 2009 S.52*)

An der unter anderem besonders betroffenen Küste Schleswig-Holsteins starben 31 Menschen. In Travemünde gab es erhebliche Schäden im Seebadbereich. In Lübeck wurden selbst ganze Straßenzüge unter Wasser gesetzt. In Mecklenburg-Vorpommern wurde die Insel Usedom bei Koserow geteilt, der Durchbruch erreichte eine Breite von etwa 2,5 Kilometern. In Stralsund wurde der gesamte Hafenbereich überschwemmt und zahlreiche Schiffe zerstört. Der Ort Peenemünde wurde komplett überschwemmt. Durchbrüche zeigten sich auch auf der Insel Hiddensee und auf dem Darß. In Mecklenburg wurden im Ostseebad Boltenhagen zahlreiche Gebäude unterspült und stürzten ein. Insgesamt kamen in Mecklenburg-Vorpommern an Land 32 Menschen durch die Sturmflut ums Leben. An vielen dieser Orte sieht man heute noch an den Gebäuden die Hochwassermarken (Abb. 2). In Dänemark gab es 99 Tote. Die Meisten auf den Inseln Falster und Lolland. Eine Sturmflut solchen Ausmaßes wurden bis heute nicht mehr beobachtet. [vgl. *www.naturgewalten.de, Thomas Sävert, www1*]

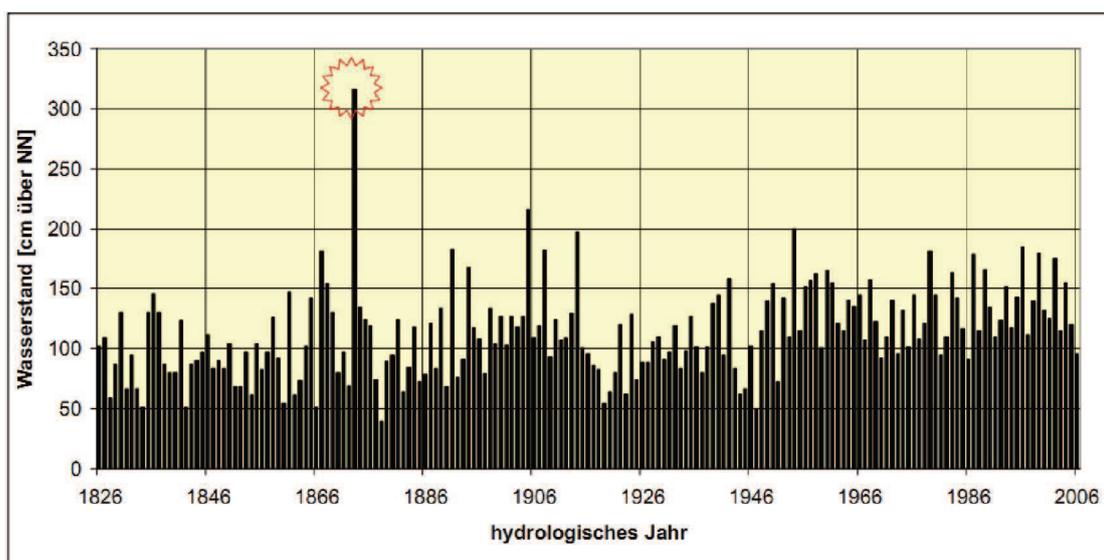


Abb. 1 Höchstwasserstände des Pegels Travemünde aus [*Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 1*]

2.2 Pegelstandsmessungen

Die überlieferten Pegelstände stammen aus der Veröffentlichung von BAENSCH 1875 und sind die einzigen Überlieferungen, die in Tabellenform vorliegen und genaue Zeitangaben enthalten. [vgl. *Rosenhagen und Bork, 2009, S.5*] Diese Werte wurden nach MUDERSBACH 2008 korrigiert, wobei diese Korrektur nach Osten hin unsicherer wird. Zwar sind noch an einigen Gebäuden die Flutmarken sichtbar, aber aufgrund der sich ändernden Topografie der Ostseeküste sind diese nur eingeschränkt brauchbar.



Abb. 2 Hochwassermarke in Schleswig 1836, 1694 und 1872

[Foto: R. Sedlatschek aus *Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 3*]

2.3 Datengrundlage

Die Analyse der Wetterlage ist nur möglich, wenn meteorologische Eingangsdaten vorhanden sind. Dazu liegen Messwerte des Luftdrucks von 175 Stationen (Abb. 3) vom 01.11.1872 bis zum 13.11.1872 vor, welche zunächst geprüft und standardisiert wurden. Die Prüfung war notwendig, da die angeforderten Messwerte unterschiedlich auf Meeresniveau reduziert wurden, verschiedene Maßeinheiten sowie nicht eindeutige Zeit- und Ortsangaben besaßen. Aufgrund der Größe der Tiefdruckgebiete, welche die Sturmflut verursachten, mussten großräumige Untersuchungen des Windes unternommen werden. Es wurde ein Gebiet von Nordskandinavien bis nach Italien und von Island bis zum Baltikum betrachtet. Auf dessen Grundlage erfolgte die synoptische Analyse der Druckfelder. Synoptisch bedeutet, dass mit Hilfe von Eingangsdaten die Wetterlage zu einem Zeitpunkt meteorologisch zusammengefasst wurde. Die aus den Luftdruckmessungen interpolierten Isobaren, also Linien gleichen Drucks, wurden anhand von dem Geoinformationssystem

ArcGIS der Firma ESRI digitalisiert. Als Datengrundlage für diese Arbeit werden also die Luftdruckwerte der digitalisierten Isobaren herangezogen. Es liegen Koordinaten in Grad und die dazugehörigen Druckwerte in hPa in ASCII-Dateien vor und werden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt.



Abb. 3 Messstationen des Luftdrucks im November 1872
aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 5]

2.4 Ausgangszustand

Bei der bisher vorgenommenen Rekonstruktion wurde folgender Maßen vorgegangen. Die in ArcGIS digitalisierten Isobaren wurden in dem Fortran-Programm „Raster“ einer modifizierten Version von „Spheremap“, interpoliert und die daraus resultierenden Gitterpunktwerte mit einer Maschenweite von $0,5^\circ$ in Ost-West und $0,5^\circ$ in Nord-Süd berechnet und ausgegeben. Bei „Spheremap“ und „Raster“ handelt es sich um Programme, mit denen Punktdaten räumlich interpoliert werden können. Das Interpolationsverfahren ist nicht bekannt. Aus diesen Luftdruckdaten wurde mit Hilfe eines vom Seewetteramt erstellen Programms namens „gostsee“ der geostrophische Wind (Abb. 4) berechnet und daraus der Bodenwind in 10 m Höhe (Abb. 5) abgeleitet. Anschließend wurden die Werte an den jeweiligen Gitterpunkten ausgegeben. Unter Verwendung eines IDL-Moduls namens „isoplot“ ist es möglich aus diesen Daten eine Windkarte zu erstellen (Abb. 4 und 5). IDL steht für Interactive Data Language und dient zur Analyse und Visualisierung von Daten. In diesem Modul können Einstellung bezüglich der Visualisierung und Klassifizierung des Windes und auch des Drucks vorgenommen werden. Es stellt lediglich die Situation grafisch in Form von Windkarten bzw. Windkarten als 2D-Plot dar.

Die simulierten Pegelstände waren das Ergebnis des operationellen Modells des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (Abb. 6). Die roten Flächen in den Abb. 4 und 5 repräsentieren die höchsten Windgeschwindigkeiten, die blauen entsprechend niedrige. Auffällig sind in die Isobaren im unteren Bildbereich, die aufgrund ihres zackigen und kantigen Verlaufes einen eher unrealistischen Eindruck hinterlassen.

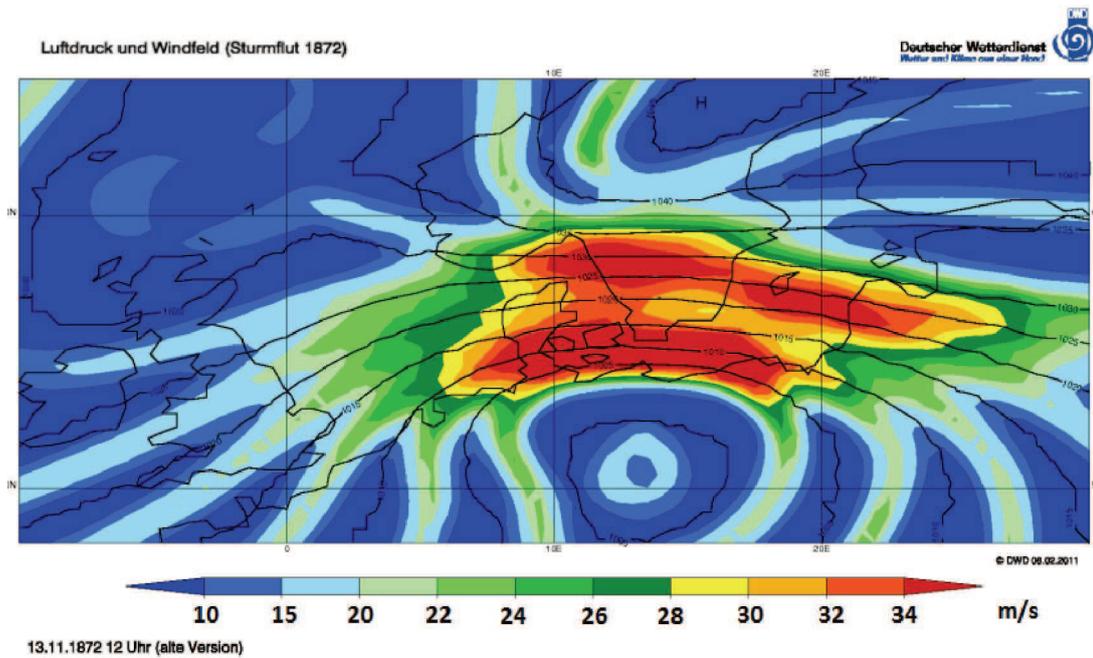


Abb. 4 Geostrophischer Wind nach alter Rekonstruktion mit „isoplot“ (Daten DWD)

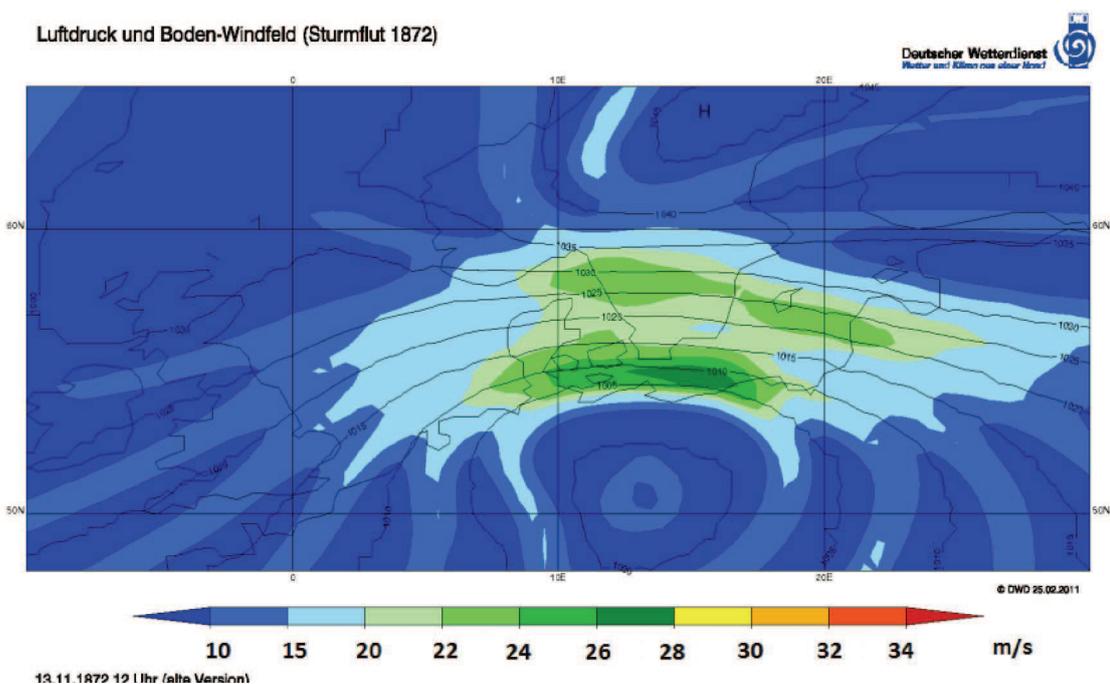


Abb. 5 Bodenwindfeld nach alter Rekonstruktion mit „isoplot“ (Daten DWD)

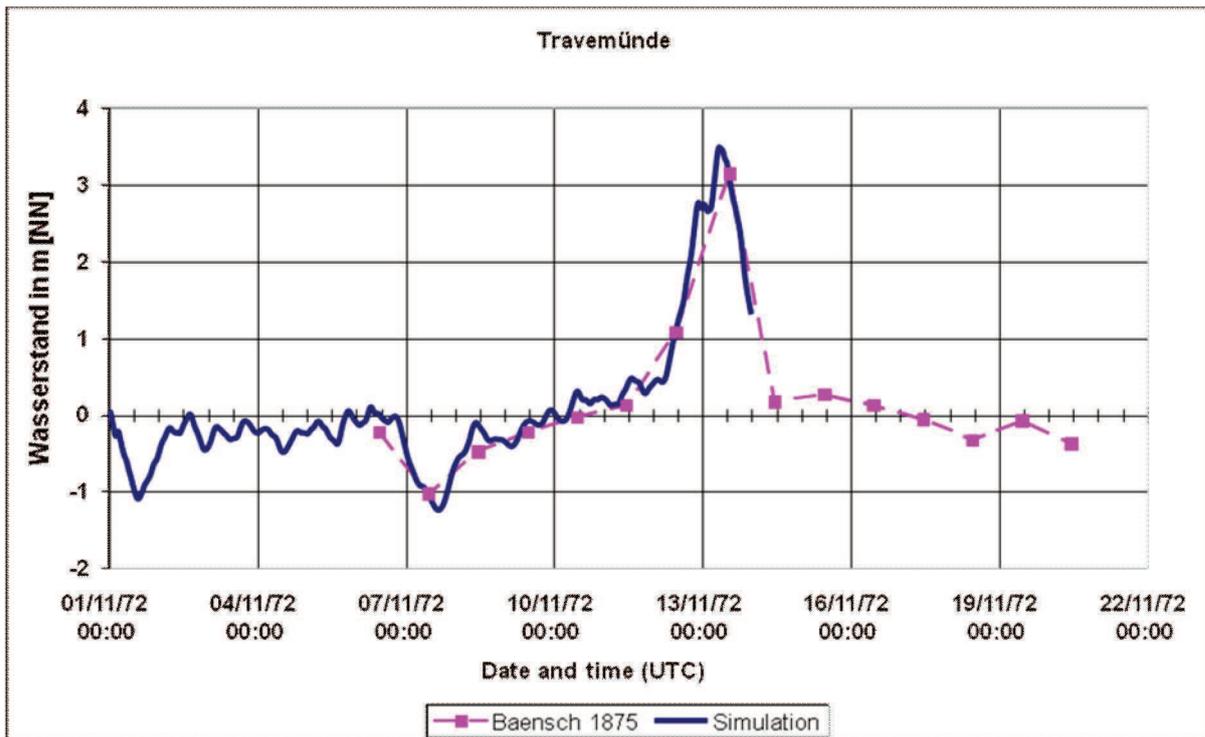


Abb. 6 rekonstruierter Pegelstand aus dem operationellen Modell des BSH und den Messungen von BAENSCH 1875 im November 1872 in Travemünde aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 12]

2.5 Meteorologische Zusammenhänge

Wichtig zum Verständnis dieser Bachelorarbeit ist es, einige meteorologische Grundlagen zu kennen. Dazu gehören hier vor allem Luftdruck und Wind. Für den Luftdruck gilt: Der aufgrund der Schwerkraft ausgeübte Druck der Atmosphäre wird Luftdruck genannt.

Gemessen wird der Luftdruck nach internationaler Vereinbarung seit 1969 in der Einheit Pascal (Abkürzung Pa). „1 Pa ist der Druck, der entsteht, wenn senkrecht auf die Fläche von 1 m² die Kraft von 1 Newton wirkt“ [Walter Sönning u. Claus G. Keidel, 2009, S.14].

Frühere Maßeinheiten sind das Torr und das Bar. Der durchschnittliche Luftdruck in Meereshöhe beträgt etwa 1013 hPa. Zur Luftdruckmessung werden in der Meteorologie hauptsächlich Quecksilberbarometer oder Aneroid- oder Dosenbarometer verwendet. Da die Luft wie jedes andere Gas komprimierbar ist, nimmt die Dichte mit der Höhe nichtlinear ab. Dieses vollzieht sich nach dem Gesetz der „barometrischen Höhenformel“ welche besagt, „dass der Luftdruck in gleichen Höhenintervallen jeweils auf seinen halben Wert abnimmt“ [Walter Sönning u. Claus G. Keidel, 2009, S.15].

Wegen dieser Höhenabhängigkeit müssen an den Wetterstationen gemessene Luftdruckwerte auf das Meeresniveau (NN) reduziert werden. Erst so sind sie für Analysen geeignet.

Der Luftdruck hat fundamentale Bedeutung für das Wetter- und Witterungsgeschehen. Durch Luftdruckunterschiede entsteht Wind, mit welchem Bewölkung, Niederschlag und Wärme transportiert wird.

Ein Tiefdruckgebiet oder auch Zyklon ist ein Begriff aus der synoptischen Meteorologie und bezeichnet ein Gebiet mit geringerem Luftdruck gegenüber dessen Umgebung. Um nun einen Ausgleich der Druckdifferenz zu erzielen, strömt die Luft immer aus einem Gebiet mit hohem Druck in Gebiete mit einem niedrigeren Druck. Dies würde, wenn nur die Druckgradientkraft auf die Luftteilchen wirken würde, rasch geschehen. Stärkere Luftdruckgegensätze könnten sich nicht aufbauen. Aufgrund der Rotation der Erde wirkt eine weitere Kraft auf die sich bewegenden Luftteilchen, die Corioliskraft. Sie bewirkt auf der Nordhalbkugel eine Ablenkung nach rechts. Es ergibt sich der geostrophische Wind, der parallel zu den Isobaren weht. Betrachtet man den Wind um ein Tief, so sieht man, dass er sich entgegen dem Uhrzeigersinn bewegt (Abb. 7). Auf der Südhalbkugel entsprechend andersrum. Da auch die Reibung mit der Erdoberfläche eine Rolle spielt, weht der wahre Wind in ein Tief hinein und aus einem Hochdruckgebiet heraus. [vgl. *Peter Hupfer u. Wilhelm Kutter*, 2006, S.12]

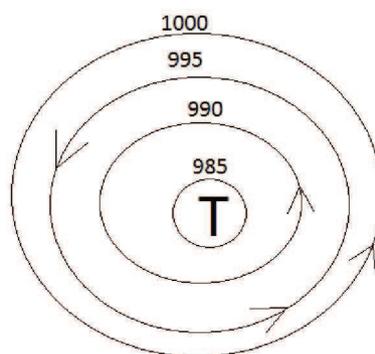


Abb. 7 Tiefdruckgebiet

In einer Wetterkarte ist ein Tief mit einem T (Tief) oder L (Low) (Abb. 7) gekennzeichnet. Als Wind wird die gerichtete horizontale Luftbewegung in der Atmosphäre bezeichnet. Antriebskraft ist die Gradientenkraft (horizontaler Luftdruckgradient). Die Gradientenkraft ist die Kraft, die auf ein Luftteilchen aufgrund eines Luftdruckgefälles einwirkt. Je stärker das Luftdruckgefälle bzw. die Gradientenkraft, umso größer ist die Windgeschwindigkeit.

Es wurden zwei Arten des Windes untersucht. Zum einen der geostrophische Wind und zum anderen der Bodenwind.

Mit Beginn einer Bewegung in der Atmosphäre beginnt auch entsprechend die Strömungsgeschwindigkeit der Corioliskraft zu wirken. Mit zunehmender Beschleunigung infolge der Druckkraft wird die Geschwindigkeit wie die Coriolisbeschleunigung zunehmen, was wiederum zu einer Verstärkung der Richtungsablenkung führt. Schließlich erreicht die Corioliskraft die Größe der Druckkraft und kompensiert diese. Daraus ergibt sich eine Gleichgewichtsströmung, welche das Resultat des Gleichgewichts von Corioliskraft und Druckgradientenkraft ist. Diese Strömung wird als geostrophischer Wind bezeichnet. Der Einfluss der Reibung an der rauen Oberfläche bleibt dabei unberücksichtigt. [vgl. *Peter Hupfer u. Wilhelm Kutter*, 2006, S.128ff]

In bodennahen Schichten wird die horizontal bewegte Luft durch Unebenheiten (Pflanzen, Gebirge etc.) der Erdoberfläche abgebremst, was sich bis auf etwa 1500 m nachweisen lässt. Aus Werten des geostrophischen Windes lässt sich für die freie See mit Hilfe empirischer Ansätze der Wind in 10 Metern über Grund abschätzen.

In der Atmosphäre gibt es aber auch auf – oder abwärtsgerichtete Luftbewegungen, d.h. senkrecht zur Erdoberfläche. Der Wind setzt sich daher immer aus vertikalen und horizontalen Anteilen zusammen. Vertikalwinde sind dabei besonders für die Entstehung von Wolken, Niederschlag und der Gewitter, aufgrund der Übertragung von Wärme und Feuchte nach oben, von fundamentaler Bedeutung. Die horizontale Bewegung hingegen ist für den Transport der Luftteilchen über weite Strecken verantwortlich.

Der Wind hat die Eigenschaft, eine Kraft auf den Gegenstand auszuüben, auf den er trifft. Diese Eigenschaft wird für die Messung und Beobachtung ausgenutzt. Sir Francis Beaufort führte im frühen 19. Jh. die nach ihm benannte Beaufort-Skala ein. Sie stellt eine Abschätzung der Windstärke dar und ist in 13 Stufen von Windstille (0 Bft) bis Orkan (12 Bft) unterteilt. 1956 ist diese Skala durch fünf zusätzliche Teilintervalle ergänzt worden, so dass sie nun bis Stärke 17 mit über 200 km/h reicht. Geschwindigkeiten jenseits der Stärke 12 sind am Boden sehr selten und werden überwiegend in Tornados oder tropischen Wirbelstürmen beobachtet. [vgl. *Walter Sönning u. Claus G. Keidel*, 2009, S.17]

Ein Hochdruckgebiet ist das Gegenstück zum Tiefdruckgebiet und bezeichnet ein Gebiet, welches im Vergleich zur Umgebung relativ hohen Luftdruck aufweist. Hier wird im Gegensatz zum Tiefdruckgebiet die Luft nicht ins Zentrum des Druckgebildes getrieben, sondern davon weg. Die Luftmassen bewegen sich infolge dessen immer mit antizyklonalem Drehsinn um ein Hochdruckgebiet herum, d.h. der Wind umströmt ein

Hochdruckgebiet auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn (Abb. 8), auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn. Der Drehsinn wird wie auch beim Tief durch die auftretende Corioliskraft bestimmt. In der Wetterkarte wird ein Hochdruckgebiet mit dem Buchstaben "H" gekennzeichnet.

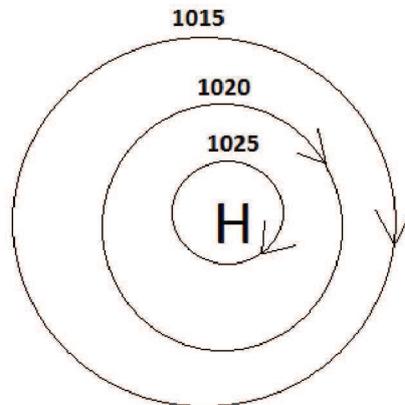


Abb. 8 Hochdruckgebiet

2.6 Wetterlage November 1872

Die Sturmflut wurde durch eine Wetterlage verursacht, die im kommenden Abschnitt näher analysiert wird. Es sind drei grundlegende Perioden zu betrachten, die für diese Katastrophe ausschlaggebend waren.

In der ersten Periode vom 01. November 1872 – 10. November 1872 lag ein Tief über dem Nordmeer und Skandinavien. Über der Südlichen und Westlichen Ostsee wehte ein stürmischer Wind aus West bis Südwest. Während dieser Zeit wurde Wasser aus der Nordsee in die Ostsee bis Finnland transportiert. Dies scheint auf den ersten Blick nicht ungewöhnlich. Sieht man sich den Zeitraum aber näher an, so fällt auf, dass dieser Wassertransport über eine Woche anhielt und die transportierte Wassermenge entsprechend groß war. Die zweite Phase begann am 10. November 1872. Zu diesem Zeitpunkt stellte sich die Wetterlage grundlegend um. Ein atlantisches Tiefdruckgebiet zog auf südöstlicher Bahn in Richtung Mitteleuropa. In Skandinavien stieg der Luftdruck an. Von Westen her setzte über der Ostsee eine vorübergehende Schwachwindperiode ein, so dass das zuvor nach Osten gedrückte Ostseewasser nach Westen zurückfließen konnte. Diese Konstellation mit tiefem Luftdruck über Mitteleuropa und einem Hoch über Skandinavien blieb in den Folgetagen erhalten, wobei die beiden Druckgebilde sich noch zunehmend verstärkten.

Der Wassertransport setzte sich durch Ost- bis Nordostwind weiter fort. Dass massive Zurückdrücken des Wassers begann jedoch erst mit Beginn der letzten Phase, dem Orkan, am 12. November. Die Wasserstände an den deutschen und süddänischen Ostseeküsten stiegen.

Am Mittag des 13. November 1872 herrschte über der Westlichen Ostsee zwischen einem Tief mit Kerndruck von 990 hPa über der Lausitz und einem Hoch über Mittelskandinavien mit über 1045 hPa ein enormer Luftdruckgradient (Abb. 9). Der daraus resultierende Wind erreichte Orkanstärke. Mit kräftigem Windstau und hohem Seegang erreichte die Hochwasserkatastrophe mit schweren Folgen ihren Höhepunkt. Im Laufe des 13. November ließ der Wind mit abnehmenden Luftdruckgradienten rasch nach, so dass der Wasserstand wieder fiel. [vgl. *Rosenhagen und Bork, 2009, S.62ff*]

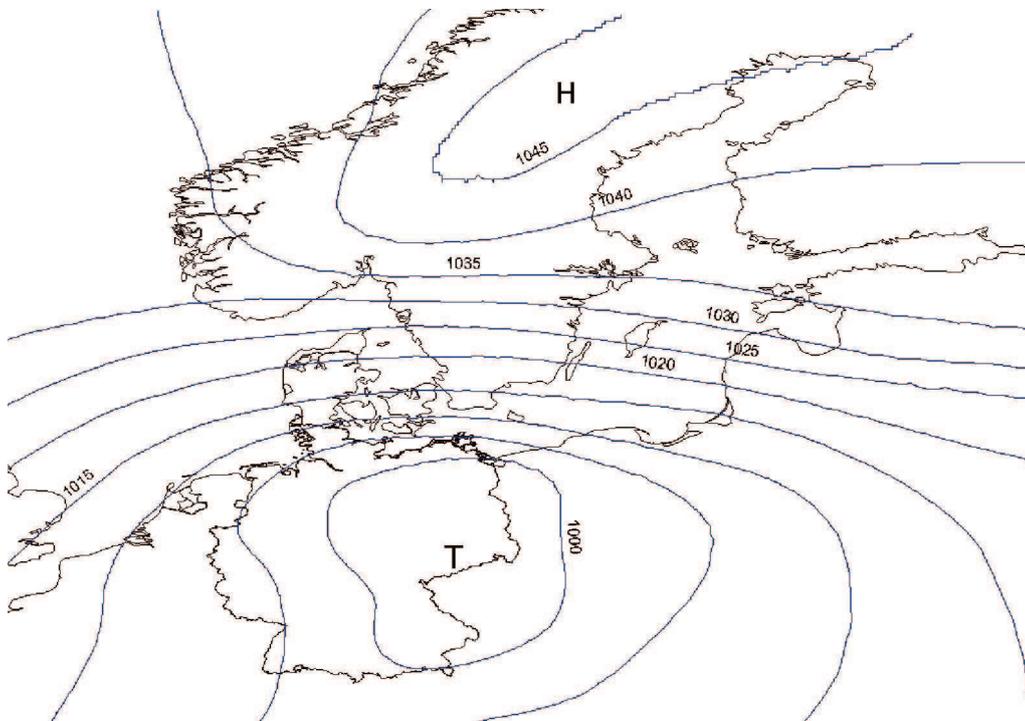


Abb. 9 Bodendruckfeld (5 hPa Isobaren) am 13.11.1872 um 12 Uhr

2.7 Interpolation

2.7.1 Ziele der Interpolation

Eine flächenhafte Erfassung von Messwerten ist für viele Zwecke aus Mangel an Zeit und Geld bzw. in diesem Fall zu wenigen Messstationen nicht möglich. Zwar wurden hier Eigenschaftswerte durch synoptische Analysen ermittelt, diese reichen aber für eine

flächenhafte Aussage nicht aus. Daher müssen weitere Eigenschaftswerte für unerprobte Orte aus Stichproben mathematisch geschätzt werden.

Diese Abschätzung eines unbekanntes Werts an einem gegebenen Punkt, wenn zwei oder mehr benachbarte Punkte bekannt sind, wird Interpolation genannt. Dabei werden bekannte Punkte mit einer Funktion eines bestimmten Typs in Verbindung gebracht und daraus der unbekanntes y-Wert für den zu schätzenden x-Wert mit Hilfe dieser Funktion berechnet.

[vgl. www.statistics4u.com, Hans Lohninger, www2]

Raumbezogene Daten, wie hier der Luftdruck aber auch andere meteorologische Daten wie Temperatur und Niederschlag, werden in der Regel punktuell erfasst. An verschiedenen Orten werden Werte der physikalischen Größen gemessen. Man ist jedoch nicht an den Punktdaten interessiert, sondern möchte Informationen über die flächenhaften Strukturen der Messdaten erhalten. Ziel ist es also, von den punktuell gemessenen Daten Aussagen über deren räumliche Verteilung zu erhalten. Zu diesem Zweck können verschiedene Interpolationsverfahren eingesetzt werden. Mit diesen kann nun geprüft werden, ob die Ergebnisse der vorgenommenen Interpolation überhaupt annehmbar sind und welches Interpolationsverfahren für die Bestimmung bzw. Schätzung des Luftdrucks vorteilhafter ist. Zwar sind auch wenige Windwerte aus der damaligen Zeit überliefert, diese Werte reichen allerdings nicht für eine flächenhafte Aussage und damit zur weiteren Analyse aus. Die interpolierten Luftdruckfelder werden später zur Berechnung des geostrophischen sowie des Bodenwindes benutzt. Aus dieser Berechnung werden Schlüsse über Pegelstände gezogen. Es wird der Zeitraum vom 01.11.1872 bis zum 13.11.1872 analysiert.

2.7.2 Voraussetzung für die Anwendung im Einsatzfall

Eine Interpolation setzt immer Eingangswerte z.B. in Form von Beobachtungs- bzw. Messwerten voraus. Außerdem müssen zur Verwendung in einem Geoinformationssystem zu diesen Eingangswerten räumliche Zuweisungen in Form von Koordinaten vorhanden sein. Dabei ist darauf zu achten, übereinstimmende Koordinatensysteme zu wählen.

Wird das Koordinatensystem im Geoinformationssystem nicht unterstützt, muss eine Transformation vorgenommen werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Eingangsdaten in das Geoinformationssystem importiert werden können bzw. ein kompatibles Format besitzen.

2.7.3 Auswahl Interpolationsverfahren

Es gibt eine Reihe von Interpolationsmethoden. Alle beruhen auf der Annahme, dass sich angrenzende Messwerte eher den gleichen Wert besitzen, als weiter entfernte.

Grundsätzlich gilt also: „Räumlich nah beieinander liegende Werte weisen eine größere Ähnlichkeit auf als räumlich weit voneinander entfernte. Aus den beobachteten Daten und diesen räumlichen Ähnlichkeiten, die neben der Distanz auch von der Richtung abhängen können, werden die Werte der Beobachtungsvariablen an den unerprobten Orten geschätzt“ [Held, Jacob, Blotevogel, Zeisberger, Kämmerer, 2008, S.12, www3].

Grundsätzlich wird in zwei Arten unterschieden, in statistische und deterministische (nichtstatistische) Verfahren. In den deterministischen Interpolationsverfahren wird der Wert der Beobachtungsvariablen an einem unerprobten Ort durch ein gewichtetes Mittel der benachbarten, gemessenen Werte geschätzt. Im statistischen Verfahren wird ein statistisches Modell angewendet, um die gesuchten Werte und die Genauigkeit der Vorhersagen möglichst genau bestimmen zu können. „Die Interpolationswerkzeuge Inverse Distance Weighted und Spline werden als deterministische Interpolationsmethoden bezeichnet, da sie Standorten Werte basierend auf den umliegend gemessenen Werten und auf ausgewählten mathematischen Formeln zuweisen, welche die Glattheit der sich ergebenden Oberfläche bestimmen“ [ESRI, ArcGIS Resource Center, <http://help.arcgis.com>, www4].

Die geostatistischen Methoden (z. B. Kriging) arbeiten mit den statistischen Beziehungen zwischen den gemessenen Punkten. Aus diesem Grund liefern geostatistische Methoden nicht nur eine Oberfläche auf Basis der angenommenen Werte, sondern können auch einen gewissen Grad an Gewissheit oder Genauigkeit der Vorhersagen gewährleisten.

Des Weiteren unterscheiden sich Interpolationsverfahren durch unterschiedliche Modellierung der räumlichen Zusammenhänge. Bei den globalen Interpolationsmethoden werden alle verfügbaren Informationen einbezogen um die Fläche des gesamten relevanten Gebietes zu berechnen.

Die lokalen Methoden ziehen für die Berechnung eines Punktes nur Werte aus der direkten Umgebung des zu berechnenden Punktes heran (Abb. 10). Somit ist sichergestellt, dass die berechneten Gitterzellen nur aus Werten der direkten Nachbarschaft genähert werden und die Anpassung so gut wie möglich ist. Die Teilbereiche der lokalen Interpolationen werden so zum Gesamtbild hinzugefügt. Da globale Verfahren alle kleinräumigen, lokalen

Variationen in der Fläche als zufällig verteiltes Rauschen behandeln, werden keine feineren Strukturen berücksichtigt.

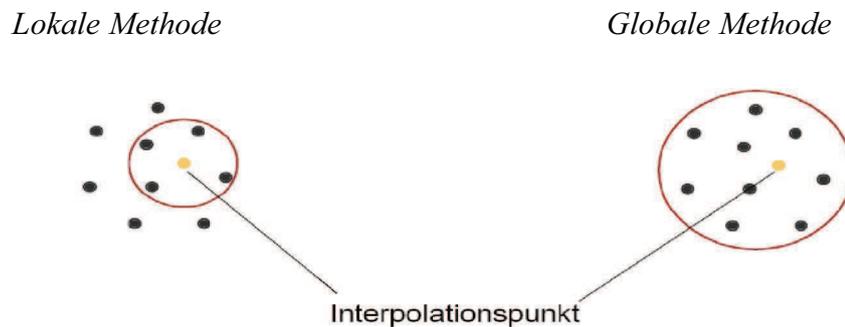


Abb. 10 Schema lokale und globale Interpolationsmethode aus [F. Hebler, *räumliche Interpolation & hydrostatische Funktion in ArcGIS*, www5]

Inverse Distance Weight

Bei dieser Methode wird angenommen, dass räumlich benachbarte Werte einen höheren Zusammenhang aufweisen als die Werte, die weiter voneinander entfernt liegen.

Hier wird der Wert an einem nicht beobachteten Punkt durch ein gewichtetes Mittel der benachbarten gemessenen Werte der Beobachtungsvariablen geschätzt. Die Gewichte des dabei verwendeten, linearen Schätzers sind proportional zu den Inversen des Abstands zwischen dem unbekanntem Punkt und dem verwendeten gemessenen Punkt, das bedeutet, wenn die Distanz größer wird, wird das Gewicht um einen Faktor reduziert.

[vgl. www.ifgivor.uni-muenster.de, www6]

Natural Neighbour

Die Interpolationsmethode Natural Neighbour, zu Deutsch „Natürlicher Nachbar“, sucht nach der nächstgelegenen Teilmenge von Eingabemessungen zu einem Abfragepunkt und weist diesen Daten proportional zur Fläche eine Gewichtung zu, um diesen Punkt zu schätzen. Daraus resultiert die grundlegende Eigenschaft der lokalen Begrenzung, da lediglich eine Teilmenge von Eingabemessungen um den gesuchten Punkt berücksichtigt wird, und die Tatsache, dass interpolierte Werte immer innerhalb des Bereichs liegen, der durch die Eingabemessungen begrenzt wird. Sie liefert gleich gute Ergebnisse sowohl bei gleichmäßig als auch bei ungleichmäßig verteilten Daten.

Sie wird auch als „Sibson“- oder „Area-Stealing“-Interpolation bezeichnet. [vgl. *ESRI, ArcGIS Resource Center*, <http://help.arcgis.com>, www7]

Kriging

Kriging ist ein fortschrittliches geostatistisches Verfahren, welches nach dem südafrikanischen Bergbauingenieur D. G. Krige benannt wurde.

Bei der Kriging-Methode wird davon ausgegangen, dass die Entfernung oder Richtung zwischen Referenzpunkten eine räumliche Korrelation widerspiegelt, mit deren Hilfe Variationen auf der Oberfläche erklärt werden können. Das Werkzeug Kriging passt eine mathematische Funktion an eine angegebene Anzahl von Punkten bzw. alle Punkte in einem angegebenen Radius an, um den Ausgabewert für jede Position zu bestimmen. Kriging ist ein mehrstufiger Prozess, der Folgendes umfasst: die einleitende statistische Analyse der Daten, die Variogramm-Modellierung, die Erstellung der Oberfläche und (optional) die Untersuchung einer Varianzoberfläche. Es wird häufig in der Bodenkunde und Geologie eingesetzt. [vgl. *ESRI, ArcGIS Resource Center, <http://help.arcgis.com, www4>*].

Betrachtet werden „Ordinary“- und „Simple Kriging“. Beim „Simple Kriging“ wird der Trend $f(x)$ konstant gesetzt, das heißt, man setzt den globalen Mittelwert als Trend ein. „Ordinary Kriging“ ist die allgemeinste und am häufigsten verwendete Kriging-Methode und geht von der Annahme aus, dass der konstante Mittelwert unbekannt ist.

Spline

Hier werden mittels mathematischer Funktionen (Polynome) Werte so geschätzt, dass die Oberflächenkrümmung minimiert wird. Es ist so, als würde man eine Gummischeibe so biegen, dass sie durch die Punkte oder auch Knoten verläuft, während die Gesamtkrümmung der Oberfläche so gering wie möglich gehalten wird. Als Spline werden hier die Polynome bezeichnet. Die Methode passt beim Durchlaufen der Referenzpunkte eine mathematische Funktion an eine angegebene Anzahl der am nächsten gelegenen Eingabepunkte an. Diese Methode ist am besten für leicht variierende Oberflächen geeignet, z. B. Höhenangaben, Wasserspiegelhöhen oder Verschmutzungskonzentrationen. [vgl. *ESRI, ArcGIS Resource Center, <http://help.arcgis.com, www8>*]

Radial Base Functions

Auch hier wird eine Art „Gummihaut“ durch die gegebenen Punkte gespannt. Allerdings wird hier das Polynom durch alle Punkte gelegt.

2.7.4 Prozesskette

Folgende Schritte bauen nacheinander auf:

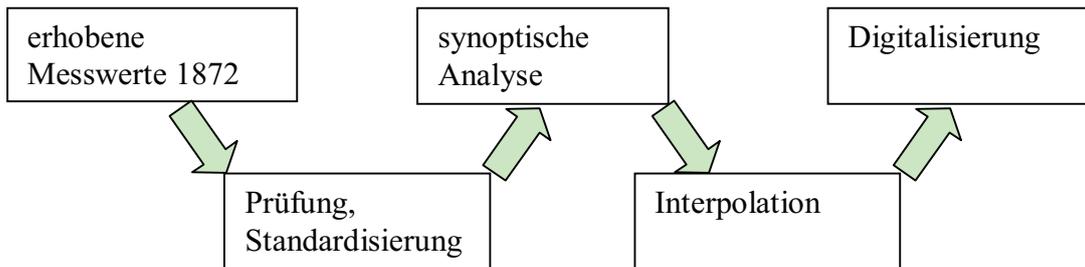


Abb. 11 Prozesskette Eingangsdaten

2.8 Aufbereitung für Windberechnung

Zur weiteren Vorgehensweise werden die interpolierten Gitterpunktwerte in ArcGIS zunächst als DBF-Datei ausgegeben und nachträglich anhand eines VBA-Makros in das Format PRN konvertiert. Zudem weisen alle Datensätze eine einheitliche Formatierung auf. Dies ist notwendig um auf der UNIX-Ebene weiterarbeiten zu können.

3. Systemaufbau

3.1 Verwendete Komponenten

Das System zur Interpolation beinhaltet mehrere Schritte, daher werden zur Umsetzung Softwarekomponenten benötigt. Diese werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

3.1.1 ESRI ArcGIS

Zur Bewältigung der Kernaufgabe des Projekts eignet sich das Geoinformationssystem „ArcGIS“ von der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute). Ein Geoinformationssystem ist ein Informationssystem, welches die Erfassung, Speicherung, Verarbeitung sowie die Darstellung von räumlichen Informationen ermöglicht.

Bestandteile des Desktop-ArcGIS sind separat lauffähige GIS-Module- bzw. Applikationen ArcCatalog, ArcMap und ArcToolbox. Letzteres kann aus diesen beiden Modulen aufgerufen werden. ArcMap und ArcCatalog bilden den Kern der ArcGIS Desktop-Applikationen (Abb. 12) Sie werden häufig auch als "ArcView" bezeichnet, sind aber gegenüber dem älteren ArcView 3.x in Funktionsmöglichkeiten und Nutzerfreundlichkeit deutlich verbessert worden. [vgl. *Einführung in ArcGIS*, <http://ifgivor.uni-muenster.de>, www9]

Mit ArcView lassen sich Geodaten erstellen und auswerten und somit Karten editieren, auswerten und erstellen. Verschiedene Interpolationsverfahren können mit der Desktopapplikation ArcMap auf die Daten angewendet, visualisiert und die gewonnenen Daten auf ein Raster beliebiger Maschenweite ausgegeben werden. Verwendet wurde die Software in den Versionen 9.2 und 10.

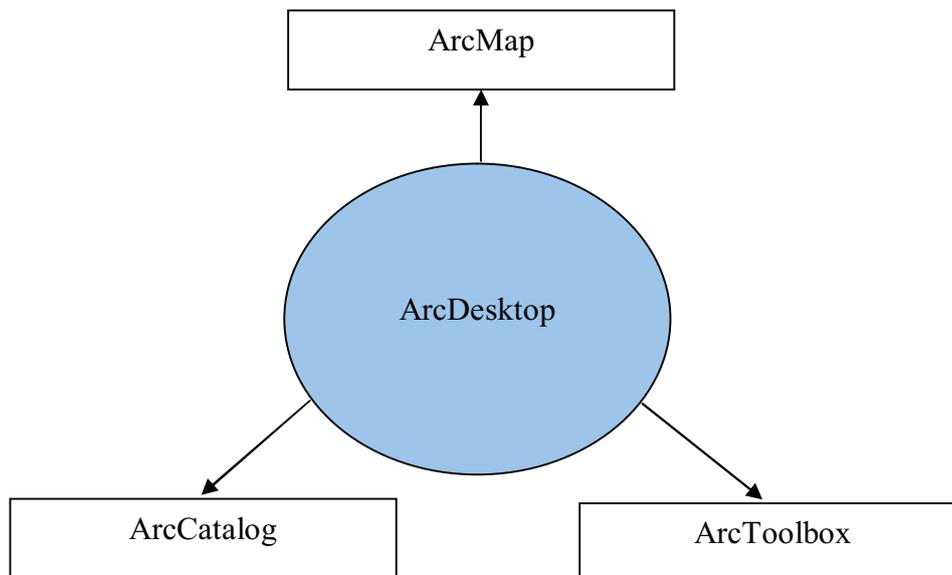


Abb. 12 Aufbau Desktop-ArcGIS

3.1.2 Microsoft Excel und Access

Eine der Nebenaufgaben ist es die Quelldateien, deren Formatierung für die Verwendung mit ArcGIS ungeeignet ist, so zu bearbeiten, dass sie in ArcGIS importiert und verwendet werden können. Da es sich um mehrere Daten handelt bietet es sich an, ein Script in Form eines Makros zu schreiben, welche die nötigen Formatierungen übernimmt. Microsoft Excel besitzt eine integrierte VBA-Programmierung, die dazu verwendet wird.

Zusätzlich wird auch ein Script für den Export der gewonnenen Daten zwecks der weiteren Verarbeitung in den Fortran-Programmen erstellt. Das hat den Vorteil, dass viel Zeit gespart wird und eine notwendige Formatierungsgleichheit gewährleistet ist.

Die konvertierten Dateien bilden die Basis für das Anlegen einer Datenbank in Access. Hierbei handelt es sich um ein relationales Datenbankprogramm der Firma Microsoft, welches auch die Makrosprache VBA enthält. Verwendet wird das Paket Microsoft Office 2003.

3.2 Architektur

Zusammenfassend werden also folgende Softwarekomponenten und die dazugehörigen Schritte benötigt:

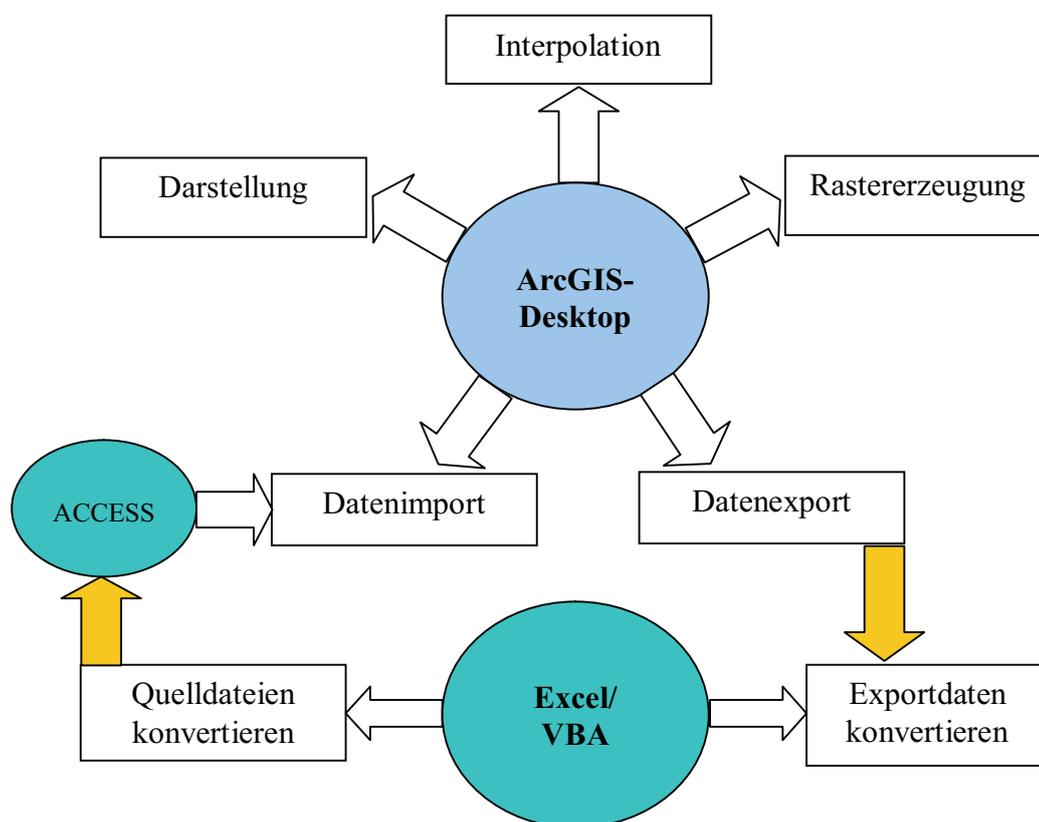


Abb. 13 Architektur des System

4. Anwendung

4.1 Aufbereiten der Koordinateninformationen

In diesem Abschnitt wird die Aufbereitung der Daten erläutert. Es wird dargestellt, mit welchen Möglichkeiten dies getan werden kann, welche Probleme vorhanden sind und wie gelöst werden können.

4.1.1 Möglichkeiten der Aufbereitung

Bei den Koordinatendateien handelt es sich um mehrere ASCII- bzw. Textdateien. Sie können in der derzeitigen Konfiguration nicht in ArcMap und ArcCatalog verwendet werden, da die Dateien keine Dateinamenserweiterung besitzen. ArcMap bzw. ArcCatalog setzt für den Import von Dateien aber einen Dateityp wie z.B. „txt“ voraus.

Möglichkeit 1

Für die Erstellung der TXT-Datei dient das Programm „Microsoft Word“. Mit ihm kann eine Quelldatei geöffnet und anschließend als „txt“-Datei abgespeichert werden. Sollte das Importieren dieser Datei in ArcMap funktionieren, so könnte ein Script dafür sorgen, dass sämtliche Quelldateien die Dateinamenserweiterung „txt“ bekommen. Bei einem Importversuch dieser „txt“-Datei gibt ArcMap jedoch eine Fehlermeldung aus.

“A selected Item could not be added to the map General Function Failure”

Wird versucht eine Textdatei zu importieren, erstellt der Treiber im Verzeichnis der Quelldateien eine Datei mit Information über den Inhalt und das Format dieser Datei. Diese taucht unter dem Namen „schema.ini“ auf und ist für alle Dateien des Verzeichnisses gültig. Ini steht für Initialisierungsdatei. Es handelt sich hierbei um eine Datei, bei der Programmeinstellungen in Form von Text abgelegt werden können.

Auszug einer Quelldatei:

64.49053818 18.34033442 973.0045.47142856 26.48609643 1021.00

Inhalt der angelegten Datei „Schema.ini“:

```
[18721101_06.txt] // Name der Datei  
Format=CSV Delimited // Spalten durch Komma getrennt
```

Da ein Dezimalsymbol durch Fehlen des Eintrags „*DecimalSymbol* =.“ nicht zugewiesen ist, wird das Komma als Dezimaltrennzeichen aufgrund der Ländereinstellung, hier Deutsch, erwartet. Aus diesem Grund werden die Daten nicht richtig interpretiert. Zu dem sind die Spalten in den TXT-Dateien korrekt zu definieren. Ein zusätzliches Problem besteht darin, dass die Spalte der Y-Koordinaten mit zwei Leerzeichen von der der X-Koordinaten getrennt ist. Die Dateien können sind zwar integrierbar, die Koordinaten enthalten aber fehlerhafte Werte. In der „Schema.ini“ kann nur ein Leerzeichen als Trennung definiert werden. Es muss also dafür gesorgt werden, zwei Leerzeichen durch eins zu ersetzen. Dies kann mit der Funktion „Ersetzen“ in Word getan werden. Die Datei „Schema.ini“ ist wie folgt zu modifizieren.

```
[18721101_14.txt]
ColNameHeader=false           // erste Zeile keine Daten
Format=Delimited( )          // Leerzeichen als Trennzeichen
decimalsymbol=.              // Punkt als Dezimalsymbol
Col1=Y_Koor double width 11   // erste Spalte Y-Koordinaten Typ Double
Col2=X_Koor double width 11   // zweite Spalte X-Koordinaten Typ Double
Col3=pp double Width 8       // dritte Spalte Luftdruck pp Typ Double
```

Möglichkeit 2

Eine Alternative besteht darin, ein Skript zu schreiben, welches die nötigen Formatierungen der Textdateien vornimmt und in ein kompatibles Dateiformat abspeichert. Die Entscheidung fiel auf ein VBA-Makro, welches in Microsoft Excel erstellt werden kann. VBA steht für „Visual Basic for Applications“ und ist eine in Microsoft Office implementierte, objektorientierte Skriptsprache, welche sehr stark an VB (Visual Basic) angelehnt ist. Unterschiede gibt es nur in der Namensgebung bei Formularen und Steuerelementen. VBA dient dazu, den Umfang und die Funktionalität der Officeprodukte zu erweitern. Um eine Formatierung vorzunehmen, bietet es sich an, sämtliche Schritte manuell durchzuführen und diese mit Hilfe der Funktion „Makros aufzeichnen“ festhalten zu lassen. Diese Schritte beinhalten, das Öffnen der Datei, das Formatieren und die anschließende die Speicherung. Öffnet man nun dazu eine beliebige Quelldatei, so erscheint der Textimportassistent. Hierbei handelt es sich um eine Hilfsfunktion, die automatisch startet, wenn eine Text-Datei mit Excel geöffnet wird. Hier lassen sich Konfigurationen wie Dezimaltrennzeichen, Spaltentrennzeichen und der Dateiusprung

vornehmen. Im ersten und zweiten Schritt des Assistenten können die vorgeschlagenen Einstellungen übernommen werden. Im dritten muss unter dem Button „weitere“ als Dezimalsymbol der „.“ und das 1000er-Trennzeichen entfernt werden. Beendet man nun den Assistenten, öffnet sich die neu entstandene Arbeitsmappe, die drei Spalten mit den entsprechenden Daten enthält. Anschließend sind die Spalten mit „Y“, „X“ und „pp“ zu definieren und die Datei im XLS-Format zu speichern. Ferner liegt nun auch das Komma als Dezimaltrennzeichen vor. Die Makroaufzeichnung kann beendet werden. Dieses Makro wird als VBA-Programmcode abgelegt und kann dann so modifiziert werden, dass sämtliche Quelldateien automatisch auf diese Weise bearbeitet und gespeichert werden. Das hat bei mehreren Dateien den Vorteil, dass viel Zeit gespart werden kann. Die Formatierung beinhaltet die Definition der Spalten sowie das Setzen des Kommas als Dezimaltrennzeichen. Zu diesem Zweck wird eine XLS-Datei erstellt. In dieser Excel-Datei mit den Namen „konvertieren.xls“ ist der in Abb. 14 gezeigte Programmablaufplan realisiert. Seit ArcGIS 9.2 können Microsoft Excel-Dateien direkt importiert werden.

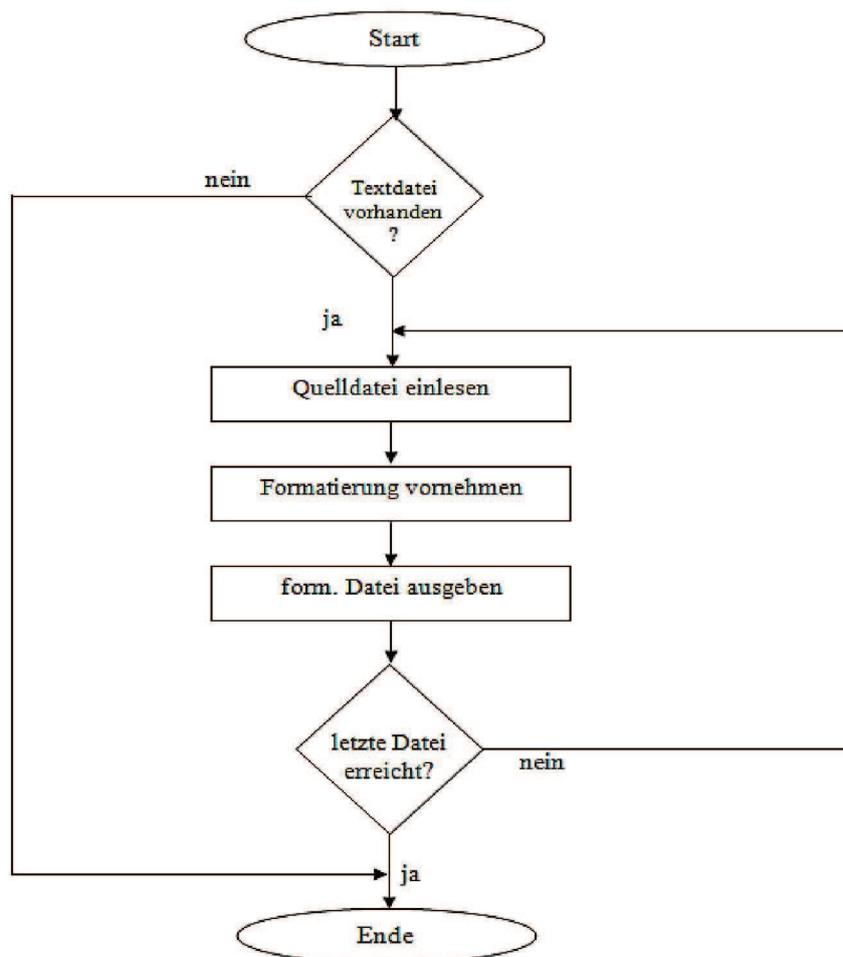


Abb. 14 Programmablaufplan Aufbereitung der Quelldateien



Abb. 15 Makro „ASCII 2 XLS“

4.1.2 Fazit

Die erste der erwähnten Möglichkeiten beinhaltet mehrere Schritte. Zunächst müssen die Quelldateien für den Import eine Dateinamenserweiterung wie z.B. „.txt“ bekommen. Anschließend ist die Trennung der Spalten auf ein Leerzeichen zu setzen und die Datei „Schema.ini“ zu modifizieren.

In der hier gezeigten Alternative via VBA-Makro, wird der Inhalt mit Hilfe der Formatierung klar strukturiert, wodurch eine bessere Kompatibilität zu anderen Programmen gegeben ist. Zudem lassen sich die konvertierten Daten besser lesen. Die Vor- und Nachteile werden in der folgenden Übersicht noch einmal zusammengefasst. Daher fiel die Entscheidung auf die hier zuletzt gezeigte Möglichkeit, da sie die meisten Vorteile bietet.

Möglichkeit	schema.ini	Script
Vorteile	- schema.ini schnell anpassbar	- Dateiinhalte formatiert - bessere Kompatibilität - Daten besser lesbar - wenig Schritte nötig
Nachteile	- viele Schritte (evtl. Script, Word, Mod.) - fehleranfällig	- programmiertechnischer Aufwand - evtl. Anpassungen schwieriger

4.1.3 Resultat

Sobald man auf die Schaltfläche „ASCII 2 XLS“ (Abb. 15) geklickt hat, erscheint ein Fenster in dem der Ordner ausgewählt werden kann, in dem sich die Quell- bzw. Textdateien befinden. Ist dieser Ordner selektiert, erscheint ein neues Fenster, in dem jener Ordner ausgewählt werden kann, in welchem die XLS-Dateien abzulegen sind. Optional dazu kann auch ein neuer Ordner erstellt werden. Der Vorgang kann, je nach Anzahl und Größe der Dateien etwas länger andauern. Im Ordner befinden sich jetzt die konvertierten Dateien (Abb. 16).

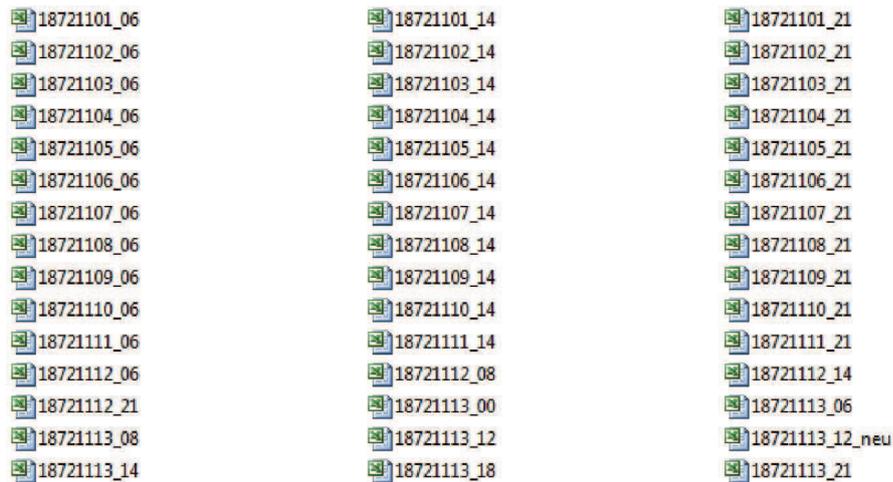


Abb.16 erstellte XLS-Dateien

Der Inhalt der Dateien sieht jetzt folgendermaßen aus (Ausschnitt):

	A	B	C
1	Y	X	PP
2	64,4905382	18,3403344	973
3	45,4714286	26,4860964	1021
4	64	-10	986
5	66,6655317	18,3020737	975
6	66,0486035	16,2622552	975
7	64,9387977	14,6367591	975
8	63,8216309	14,3649081	975

Abb. 17 Inhalt einer XLS-Datei

Jetzt sind die Spalten mit Y als geographische Breite und X als geographische Länge sowie pp als Luftdruck definiert (Abb. 17). Darüber hinaus ist jetzt als Trennzeichen ein Komma vorhanden. Die entstandenen Dateien können nun in ArcMap ohne Probleme integriert werden. Außerdem wurde dafür gesorgt, dass die Dateien einen klar definierten Dateityp erhalten, so kompatibler mit anderen Programmen und besser lesbar sind.

Alte Struktur

64.49053818 18.34033442 973.0045.47142856 26.48609643 1021.00

Neue Struktur

Y X pp
64,49053818 18,34033442 973
45.47142856 26.48609643 1021.00

4.2 Datenbank

Jetzt kann mit dem Anlegen der Datenbank begonnen werden. Diese dient als Schnittstelle zwischen den XLS-Dateien und ArcGIS und erleichtert, aufgrund der relativ hohen Anzahl von Datensätzen, den Import in ArcMap. Zum Erstellen wird im geöffneten Microsoft Access „Datei -> Neu“ angeklickt und anschließend am rechten Bildschirmrand „leere Datenbank“ ausgewählt. Damit nicht jede XLS-Datei manuell hinzugefügt werden muss, ist es vom praktischen Vorteil, auch diesen Prozess zu automatisieren. Mit Hilfe eines Moduls ist das möglich. Der benötigte VBA-Code befindet sich in der Datei importxls.bas. Um diese Vorlage zu nutzen, muss ein neues Modul angelegt werden.

Es erscheint der Visual Basic Editor. Hier kann jetzt die BAS-Datei bzw. der Quellcode, über Einfügen -> Datei importiert werden

VBA-Funktion: *DoCmd.TransferSpreadsheet acImport*

Um diesen auszuführen auf das  Symbol klicken und im anschließend erscheinenden Fenster „import“ wählen. Ist das Programm gestartet, erscheint als Erstes eine Abfrage, wo sich der Ordner mit den *.XLS-Dateien befindet. Ist dieser gewählt, beginnt im Anschluss das Importieren der Excel-Tabellen.

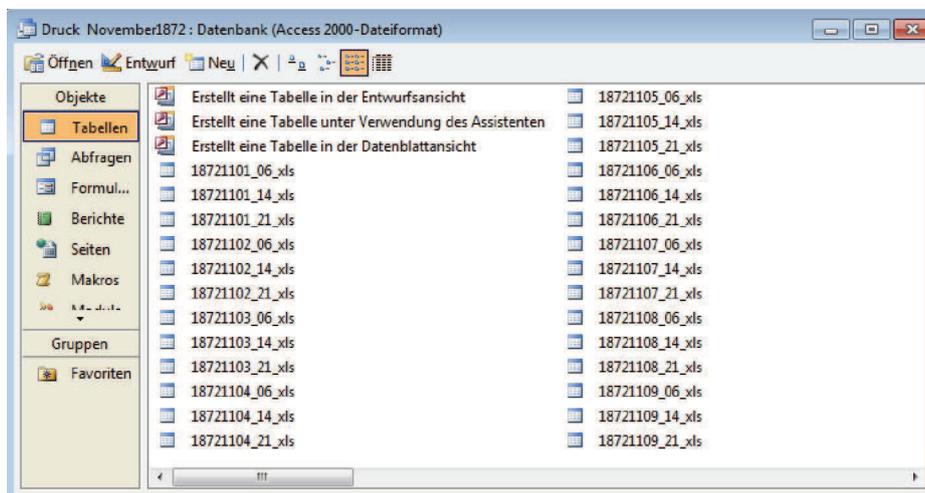


Abb. 18 Datenbank mit den XLS-Dateien

Die Datenbank ist nun erstellt und Access kann geschlossen werden. Die Datensätze liegen jetzt in der Datenbank „Druck November 1872.mdb“ (Abb. 18) vor.

4.3 ArcCatalog

Spezialisiert auf das Betrachten und Suchen von Geodaten lässt sich ArcCatalog mit dem Windows Explorer vergleichen. Mit Hilfe dieses Programms können neue raumbezogene Daten (Shapes, Layer, Tabellen etc.) erstellt, gelöscht, kopiert oder umbenannt werden. Im linken Fenster befinden sich die Laufwerke und Verzeichnisse, im rechten die Geodaten, z.B. Tabellen und Shapefiles. Im Übrigen können Tabellen aus einer Microsoft Access-Datenbank in ArcMap über eine OleDb-Verbindung verwendet werden. OleDb ist ein Standard zur gemeinsamen Verwendung von Daten zwischen Anwendungen.

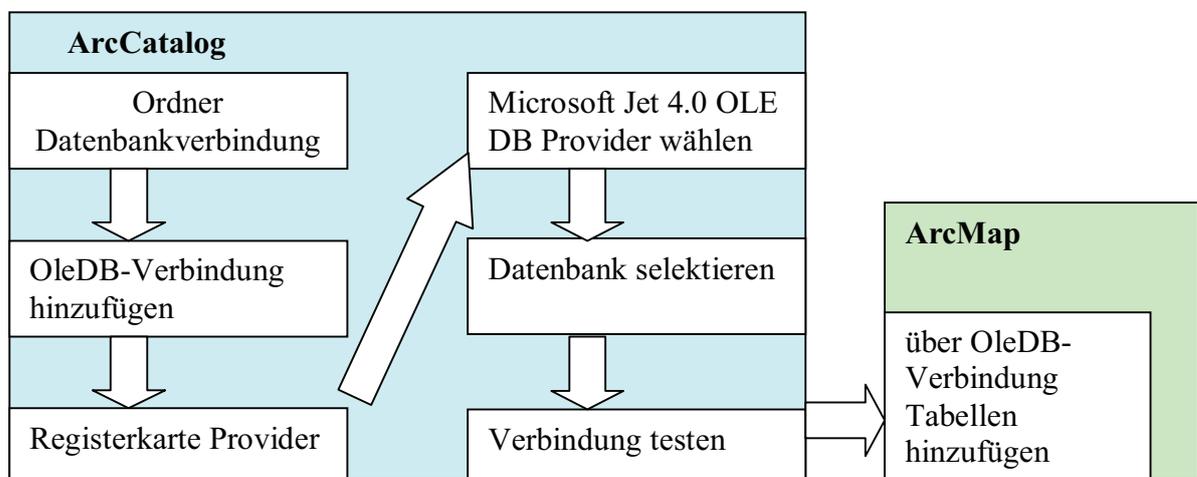


Abb. 19 Ablauf DB-Einbindung

4.4 Interpolation in ArcMap

Um in ArcMap arbeiten zu können, muss eine Kartengrundlage vorhanden sein. Diverses Kartenmaterial wird von ESRI zur Verfügung gestellt und befindet sich im Verzeichnis „C:\...\ArcGIS\ArcGlobeData“. Dort findet man unter anderem die zwei Dateien „continent.shp“ und „germany.shp“. Es handelt sich bei diesen Dateien um sogenannte SHAPE-Dateien. Dieses Format wurde von der Firma ESRI entwickelt und dient als Austausch- und Speicherformat von GIS-Daten und besteht aus mindestens drei Dateien (Abb. 20). Die SHP-Datei dient zur Speicherung der Geometriedaten. Die DBF-Datei beinhaltet die Sachdaten bzw. Attributdaten während die SHX-Datei als Index der Geometrie zur Verknüpfung der Sachdaten dient.

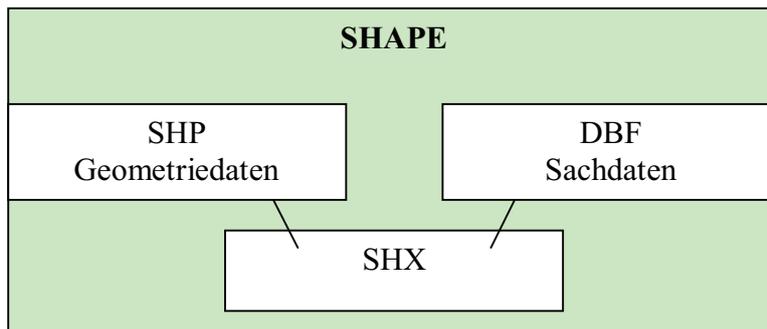


Abb. 20 Aufbau des Shape-Formats

In einem Shapefile können jeweils nur die Basiselemente eines Geoinformationssystems gespeichert werden. Dazu gehören der Punkt, eine Linie oder eine Fläche. Werden diese Dateien nun hinzugefügt, so erhält man den Layer „continent“ und „germany“. Ein Layer ist eine andere Bezeichnung für Thema, welches in ArcMap dargestellt werden kann. Dieses Thema kann eine Karte, Messwerte in Form von Punkten oder auch grafische Darstellungen in Form von Linien und Flächen sein. Zu jedem Layer in einem ArcGIS-Projekt existiert genau eine Datei mit der Endung "shp". Es muss darauf geachtet werden, diese beiden Layer in der Symbolauswahl auf transparent bzw. „*hollow*“ zu setzen, da sie sonst weitere Layer verdecken. Man sieht, dass ein großer Teil der Erde nun als zylindrische Abbildung (Zylinderprojektion) dargestellt wird (Abb. 21).

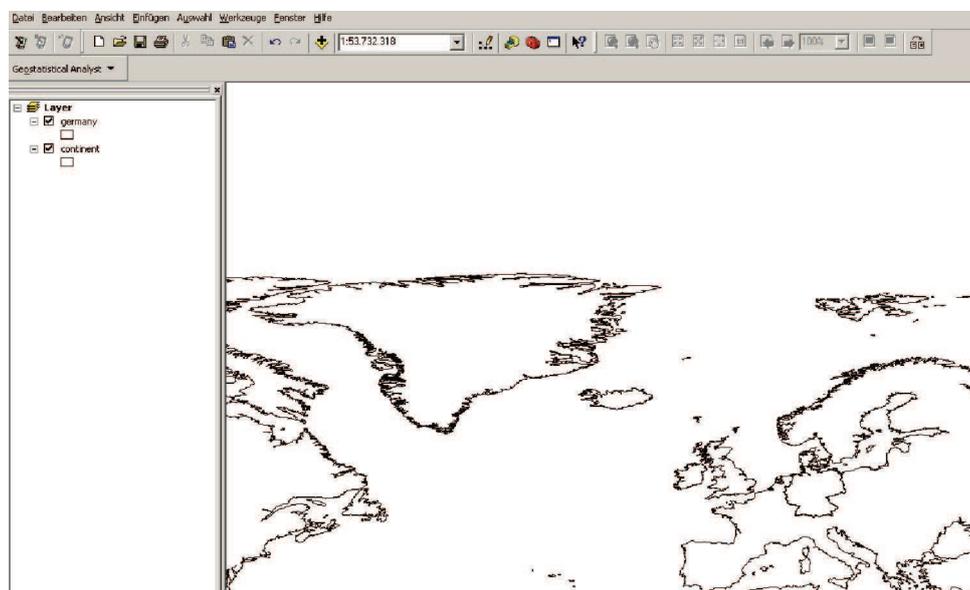


Abb. 21 Layer „germany“ und „continent“ in ArcMap

Um zu sehen, in welchem Koordinatensystem sich die Daten des Datenrahmes befinden, muss im Layerfenster auf dem Layer „continent“ rechtsgeklickt werden.

Den Menüpunkt Eigenschaften und anschließend Quelle auswählen. Für die Layer „continent“ und „germany“ liegt folgendes an:

Geographisches Koordinatensystem: GCS_WGS_1984

Datum: D_WGS_1984

Nullmeridian: Greenwich

Winkeleinheit: Degree

Mit der Funktion „Daten hinzufügen  - Database Connections“ kann die erstellte Datenbank in ArcMap integriert werden. Den importierten Daten, die als Tabellen vorliegen, muss zu dem dasselbe Koordinatensystem zugewiesen werden. Mittels der über Rechtsklick auf die jeweilige Tabelle aufrufbaren Funktion „XY-Daten anzeigen“ kann dieser Schritt erledigt werden. Die entsprechenden Koordinatensysteme liegen in dem Ordner „C:\...\ArcGIS\Coordinate Systems“ als *.prj-Dateien vor.

Bei einem falsch ausgewählten Koordinatensystem werden die Daten am falschen Ort abgebildet.

Das hier verwendete System ist das World Geodetic System 84 kurz WGS84, welches heute als einheitliche Grundlage für Positionsangaben auf der Erde und im erdnahen Weltraum dient und spielt besonders im GPS-Bereich eine wichtige Rolle.

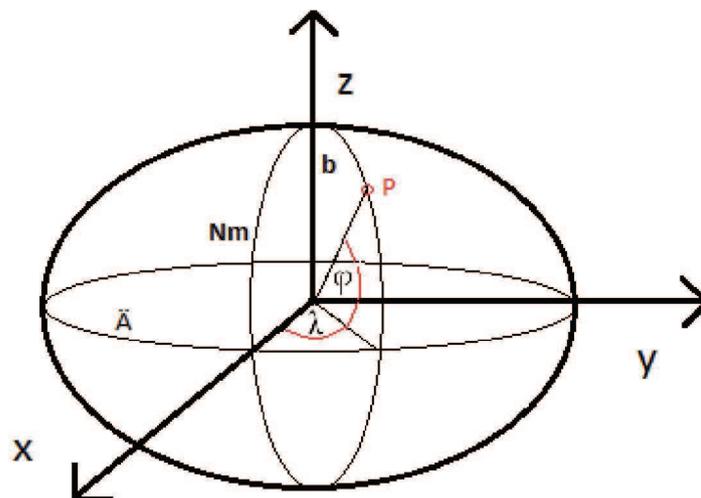


Abb. 22 WGS Koordinatensystem

Dieses System besteht unter anderem aus einem Referenzellipsoid, welches in seiner Einfachheit bestmöglich der Erdoberfläche angepasst ist. Genutzt werden für die Ortsangaben die geographische Länge λ und Breite φ (Abb. 22). „Nm“ kennzeichnet in der Abb. den Nullmeridian, bzw. 0° Ost-West, der durch London Greenwich definiert ist und „Ä“ den Äquator. Bei Meridianen handelt es sich im Gradnetz der Erde um halbe Längengrade auf der Erdoberfläche. Sie verlaufen zwischen den beiden geografischen Polen. Das Gegenstück dazu sind die Breitenkreise, die parallel zur Äquatorebene verlaufen.

Der Äquator selbst ist der längste Breitenkreis und ist mit 0° definiert. „P“ ist ein beliebiger Punkt auf dem Ellipsoid. „P“ liegt östlich von Greenwich (östliche Länge) und nördlich des Äquators (nördliche Breite).

Der Meridian der durch „P“ verläuft wird auch Ortsmeridian genannt und gibt an in welchem Winkel „ λ “ der Punkt „P“ von „Nm“ entfernt ist, während „ φ “ den Winkel zur der Äquatorebene, also die nördliche Breite angibt. Über die geographische Länge und Breite kann nun die Position des Punktes „P“ auf dem Ellipsoid bestimmt werden.

Beispielkoordinaten des Punktes „P“

λ	= 10° ö.L.	
φ	= 53° n.B.	→ Hamburg

Für die weiteren Arbeiten in ArcMap ist es zudem nicht nötig, die gesamte Fläche der Erde darzustellen, da sich das relevante Sturmgebiet nur über den Großraum Europa erstreckt.

Zur besseren Übersicht sollte deshalb unter „Datenrahmen“-> „Feste Ausdehnung“ der nicht benötigte Bereiche mittels Angabe der Breiten- und Längengrade (decimal Degree) angegeben und „abgeschnitten“ werden. Für diesen Zweck können die Werte aus Abb. 23 genommen werden.

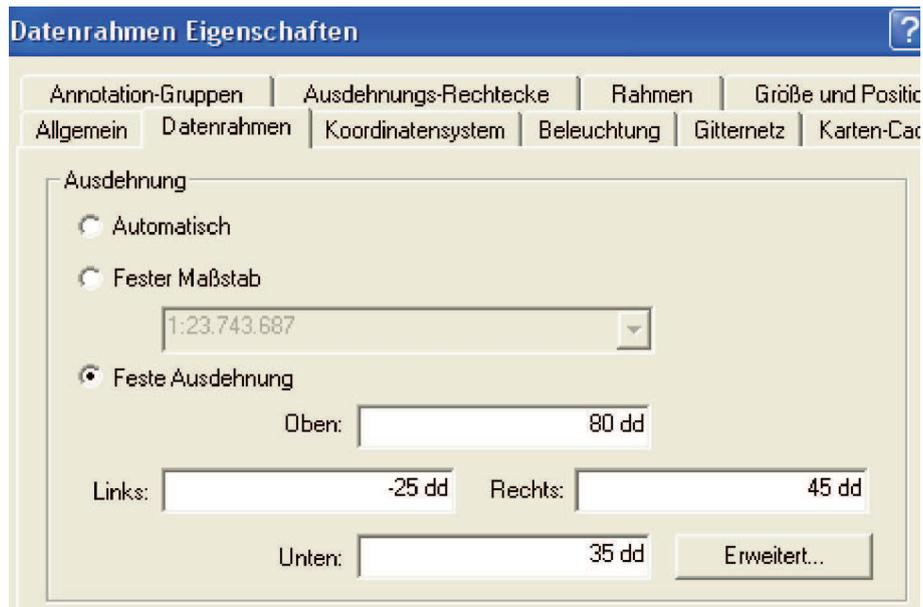


Abb. 23 Datenrahmen festlegen

Zur Veranschaulichung wird der Datensatz vom 13.11.1872 um 12 Uhr verwendet.

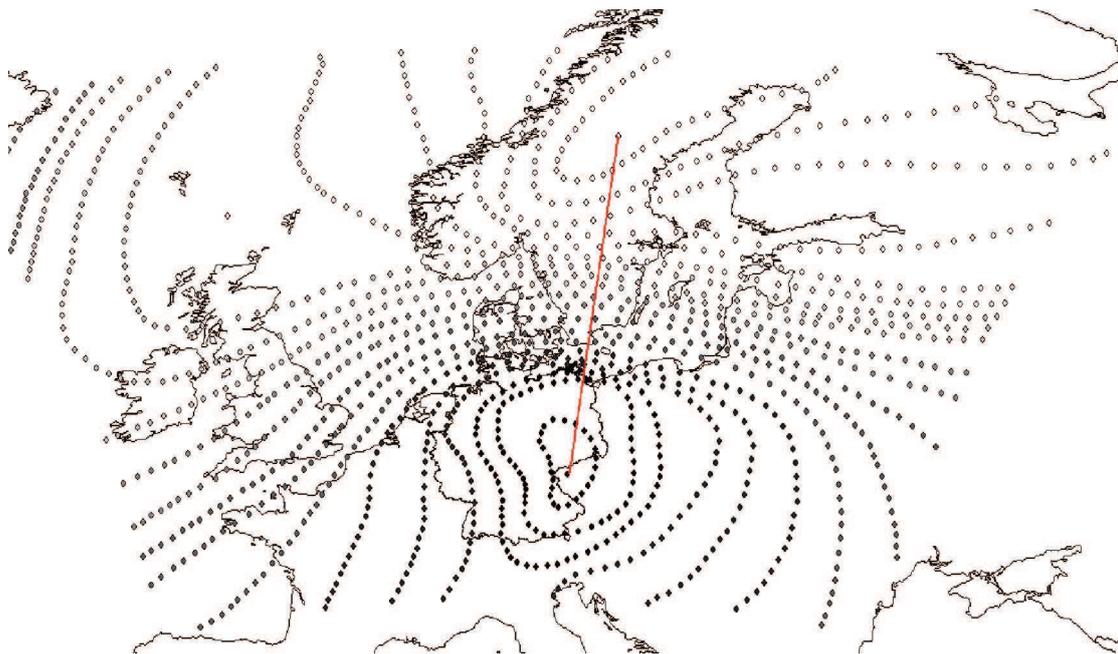


Abb. 24 Import der Datei 18721113_12_neu.xls

Die dargestellten Punkte repräsentieren die synoptisch analysierten und digitalisierten Werte, schwarze Punkte sind Werte mit relativ niedrigem Druck, weiß ausgefüllte mit entsprechend hohem Druck. Zwischen den Isobaren, die eng aneinander liegen, herrscht ein stärkerer Druckgradient (Druckunterschied).

Auffällig ist, wie dicht die Drucklinien im Bereich der Ostsee aneinander liegen. Je höher der Gradient, desto kräftiger ist der Wind. Vor allem im Bereich von Dänemark bis zum Baltikum war das Sturmfeld sehr stark ausgeprägt.

Grund für den hohen Druckunterschied war ein kräftiges Hochdruckgebiet über Skandinavien und der gewaltige Tiefdruckkomplex über Mitteleuropa samt Tiefdruckkern über dem Erzgebirge. Auf einer Strecke von ca. 1400 km (Abb. 24 rote Linie) betrug der Gradient ca. beachtliche 50 hPa. Bevor mit der Interpolation begonnen werden kann, muss sicher gestellt werden, dass im Programm unter Werkzeuge die Erweiterungen „3D-Analyst“ und „Geostatistical Analyst“ freigeschaltet sind. Nun kann mit der Interpolation begonnen werden. Es werden verschiedenen Interpolationsverfahren, wie Inverse Distance Weight, Natural Neighbour, Spline, Radial Basis Functions sowie verschiedene Kriging-Verfahren betrachtet. Die Stationshöhen müssen bei dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden, da die vorliegenden Luftdruckwerte bereits auf das NN-Niveau reduziert worden sind.

Die Verfahren Kriging, Inverse Distance Weighting werden über den „Geostatistical Analyst“ (Abb. 25) aufgerufen, während Natural Neighbour und Spline in der ArcToolbox unter „Spatial Analyst Tool“-> „Interpolation“ aufgerufen werden (Abb. 26).

Aufruf der Verfahren Kriging, Inverse Distance Weighting und Radial Basis Functions:

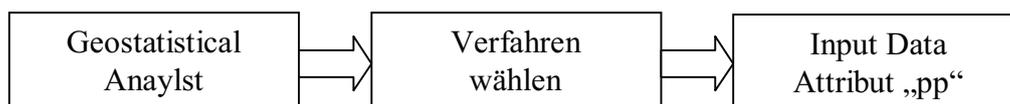


Abb. 25 Verlauf Interpolation über den „Geostatistical Analyst“

Für das Natural Neighbour -und Spline-Verfahren gelten:

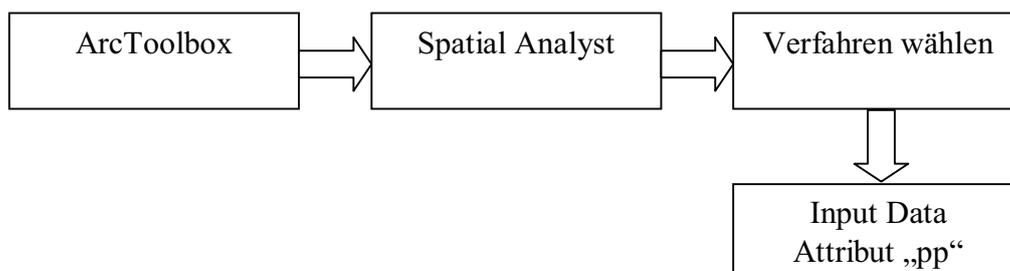


Abb. 26 Verlauf Interpolation über die ArcToolbox

Als Input-Data muss der erstellte Layer „187821113_12_neu“ ausgewählt werden, da in diesem die Daten sind, welche interpoliert werden sollen. Da der Luftdruck dargestellt werden soll, ist als Attribut „pp“ zu wählen. In den nächsten beiden Fenstern können die Einstellung beibehalten werden. Es entsteht nach jeder Interpolation ein neuer Layer mit dem Namen:

“Interpolationsverfahren“ [18721113_12_neu].[pp]”

4.6 Visualisierung und Klassifizierung

Nach jeder Interpolation wird eine Klassifizierung vorgenommen. Die daraus entstehende Darstellung ist für eine optische Analyse allerdings unzureichend, da die Klassifizierung zu grob ist (Abb. 27).

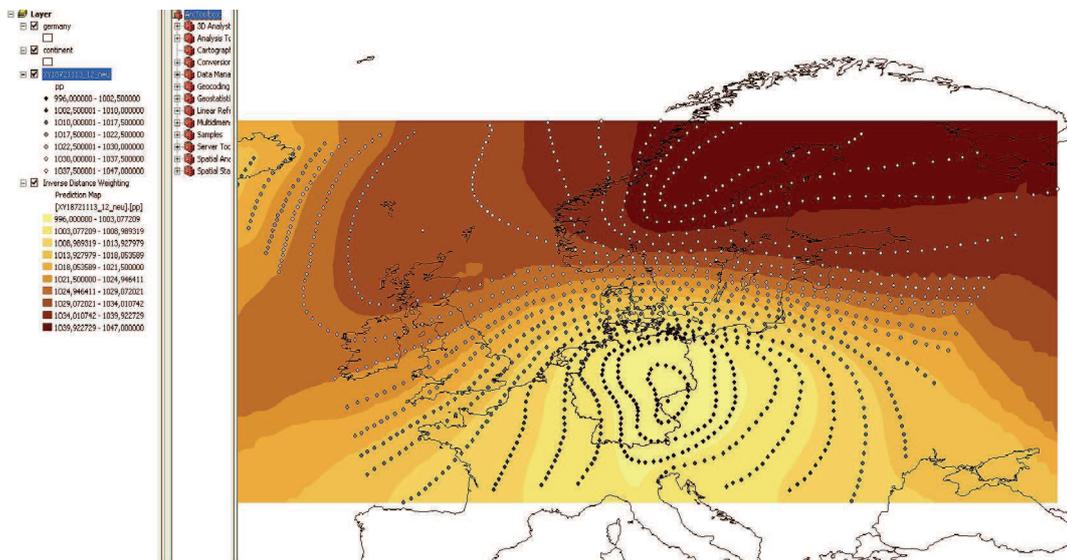


Abb. 27 erste Klassifizierung nach Interpolation des Luftdrucks vom 13.11.1872 12 Uhr

Für eine Verfeinerung ist es nötig, die interpolierten Felder als Raster zu exportieren. Dazu Rechtsklick auf den neuen Layer „Data“ → „export to Raster“ wählen und das nächste Fenster mit OK bestätigen. Es entsteht wieder ein neuer Layer („ga_grid1“), dessen interpolierte Daten jetzt eine andere, höher auflösende Klassifizierung aufweisen. Der Layer „Inverse Distance Weight“ kann gelöscht werden. In den Layereigenschaften unter „Symbologie -> Anzahl -> abgestufte Farben“ kann die Klassifizierung individuell angepasst werden. Zudem ist es von Vorteil Isolinien zu erstellen. ArcGIS bezeichnet diese Isolinien als Konturen. In der ArcToolbox findet sich unter „Spatial Analyst Tools -> Surface“ die Funktion „Contour“.

Mit ihr lassen sich diese Konturen darstellen. Sie erleichtern die Interpretation von geophysikalischen, meteorologischen oder hydrologischen Daten in Karten, da benachbarte Isolinien bestimmte Wertebereiche umschließen. Konturen verdeutlichen den Verlauf des Drucks und weisen auf eventuelle unrealistische Strukturen hin, welche auf den ersten Blick nicht erkennbar sind. Wenn die Funktion geöffnet wird, muss als Eingaberaster „ga_grid1“ ausgewählt und ein Konturlinienintervall eingegeben werden.

4.7 Automatisierung der Prozesse

ArcMap ermöglicht es, einige Vorgänge zu automatisieren, was besonders bei einer großen Menge von Datensätzen von Vorteil sein kann. In ArcMap wird dieses mit Hilfe einer Batch-Funktion erreicht. Genutzt werden kann diese Funktion bei der Zuweisung des Koordinatensystems, bei bestimmten Interpolationsverfahren und beim Auflegen der interpolierten Luftdruckwerte auf ein Raster. Diese Funktion wird mit Rechtsklick auf das jeweilige Werkzeug, „-> Batch“ gestartet. Dieser Automatisierungsprozess ist nur bei den Interpolationsverfahren möglich, die über die ArcToolbox aufgerufen werden (Natural Neighbour und Spline-Verfahren). Bei den restlichen Verfahren, die per „Geostatistical Analyst“ aufgerufen werden, wird eine solche Funktion nicht angeboten. Bezüglich der Koordinatenzuweisung verfügt die ArcToolbox über die Funktion „Data Management Tools -> Layer und Tabellenschichten -> XY Ereignis erstellen“. So kann jeder Tabelle ein Koordinatensystem zugewiesen werden. Die Rastererzeugung wird durch Rechtsklick „Spatial Analyst Tools -> Extraction -> Extract values to points“ aufgerufen (siehe Abschnitt 5.5).

5. Auswertung

5.1 Auswahl der Szenarien

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Interpolationsverfahren, die ArcGIS zur Verfügung stellt, am Beispiel 13.11.1872 12 Uhr angewendet.

Inverse Distance Weighting

Grüne Fläche in den Abb. 28-33 kennzeichnen hohen Luftdruck, die blauen Flächen niedrigen. Zwar ist eine grobe Aussage der Luftdruckverteilung möglich, jedoch sind die Ergebnisse nicht zufrieden stellend, da einige untypische Strukturen, besonders in der Nähe des Sturmfeldes, existieren (Abb. 28). Diese Artefakte ähneln dem Bulls-Eye-Effekt.

Hierbei handelt es sich um kreisförmige Bereiche gleicher Werte um die bekannten Datenpunkte. Dieser Bull-Augeneffekt resultiert aus der Tatsache, dass die bekannten Werte nicht in die Interpolation einbezogen werden, sondern als solche erhalten bleiben.

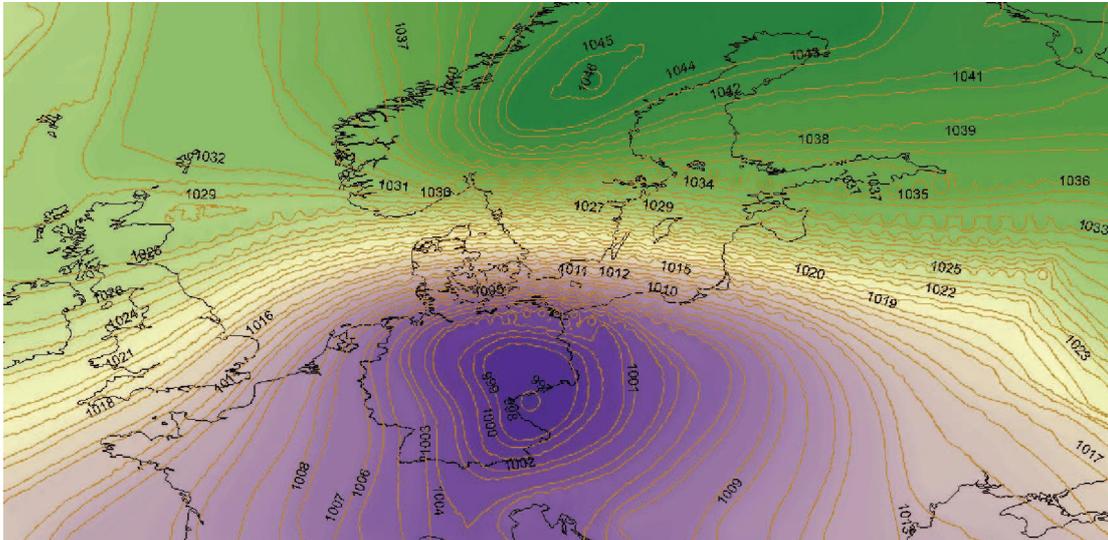


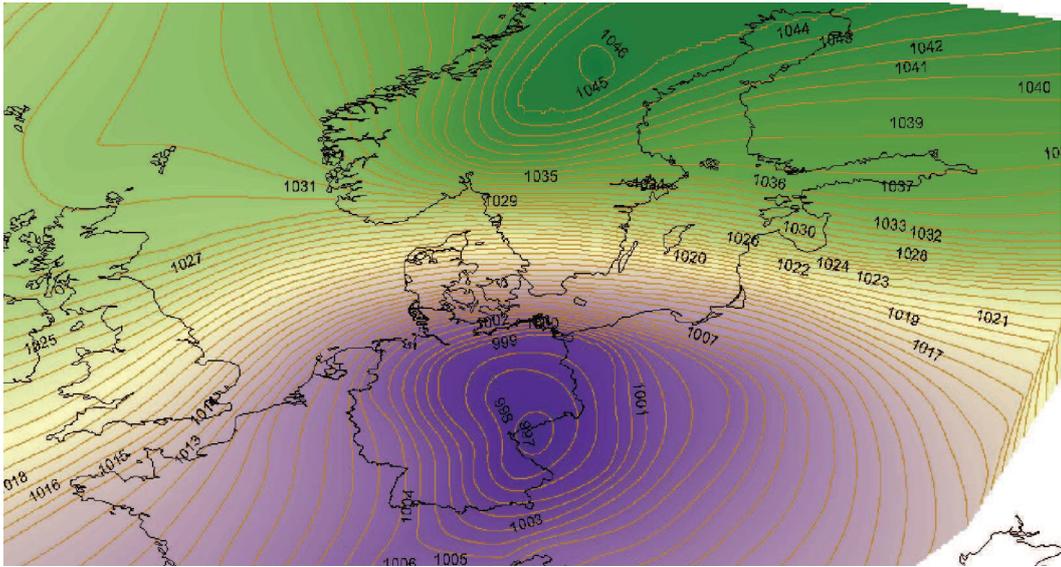
Abb. 28 Interpolation Luftdruckdaten, 13.12.1872 12 Uhr mit Inverse Distance Weighting

Bei einem Konturlinienintervall von 1 hPa sieht man, dass die Isolinien besonders im Sturmfeld eine gewellte, kreisförmige und sogar gezackte Struktur aufweisen.

Das ist eher untypisch, da Isobaren aufgrund der stetigen Eigenschaft des Luftdrucks einen glatten Verlauf haben. Durch den Wind bzw. sofortigen Luftdruckausgleich würde ein solcher Verlauf nicht zustande kommen.

Natural Neighbour

Dieses Verfahren wie bereits beschrieben über die ArcToolbox aufgerufen. Als „Eingabepunkt-Features“ wieder „187821113_12_neu“ und als Z-Wert-Feld „pp“ selektieren. Es entsteht ein neuer Layer. Dieser muss nicht extra als Raster exportiert werden, da er bereits als solcher vorliegt. Zur besseren Veranschaulichung muss dieses Raster noch klassifiziert werden. Via Rechtsklick auf dem Layer „Eigenschaften“ auswählen und „Symbologie“ aufrufen. Dort „gestreckt“ wählen und die bereits erstellte Klassifikation des „ga-Grid1“ importieren.



Radial Base Functions

Hier werden keine verwendbaren Ergebnisse erzielt. Zwar ist die grobe Struktur auch hier vorhanden (Abb. 31), allerdings sind sehr viele Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Daher sind der Ergebnisse für eine weitere Verwendung nicht zu empfehlen.

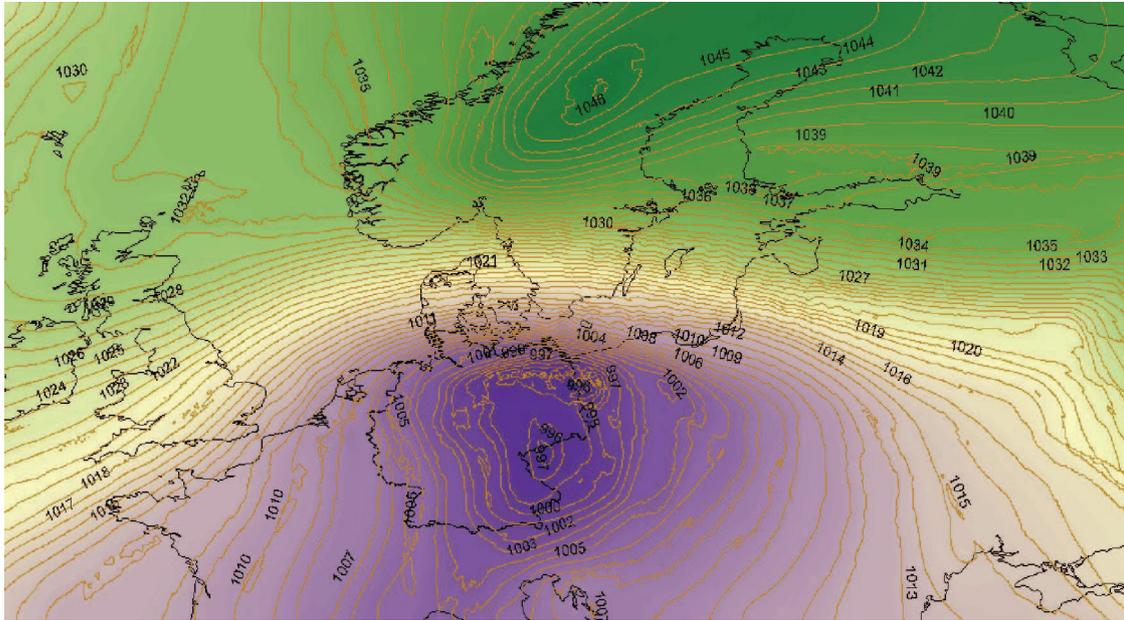


Abb. 31 wie Abb. 28 aber mit Radial Base Functions-Interpolation

Die beiden Kriging Methoden (Abb. 32 und 33) weisen einige Unterschiede besonders nördlich von Schottland auf. Zudem ist der Hochdruckkern über Skandinavien beim Simple-Kriging stärker ausgeprägt und die Isobaren des Tiefdruckkerns glatter. Beide Verfahren weisen bessere Ergebnisse auf als Inverse Distance Weighting und Radial Base Functions.

Ordinary Kriging

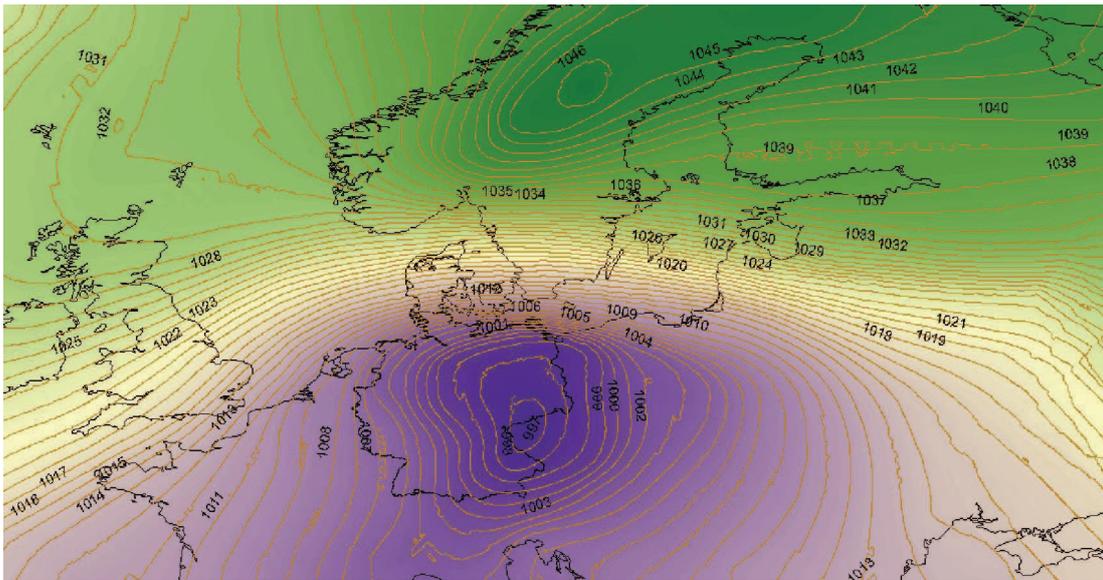
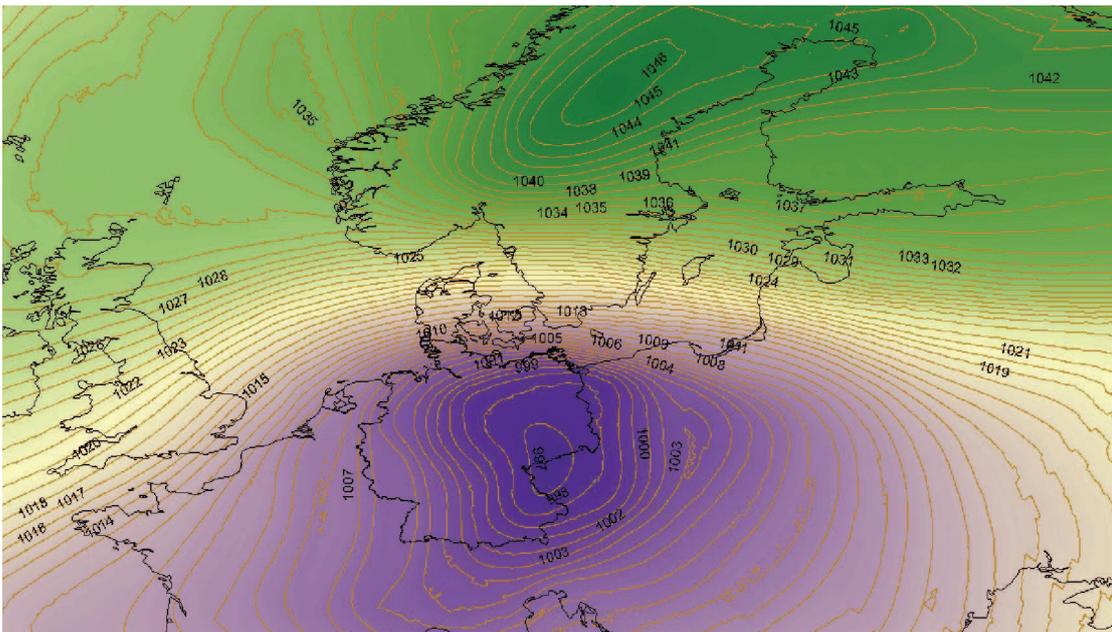


Abb. 32 wie Abb. 28 aber mit Ordinary-Kriging Interpolation

Simple Kriging



5.2 Fallstudie

Schaut man sich die Darstellungen in den Abb. 28 bis 33 an und betrachtet den Verlauf bzw. die Qualität der Isolinien, so kristallisieren sich mehrere Verfahren zur weiteren Verwendung heraus. Das Natural Neighbour-, das Spline- sowie die Kriging-Verfahren scheinen geeignet. Diese liefern am Beispiel 13.11.1872 12 Uhr bessere Konturen als die restlichen Verfahren (IDW und RBF). Auch die Untersuchung der restlichen Zeiträume zeigt ein ähnliches Bild. Dieser optische Eindruck kann hier als Maß der Interpolationsqualität interpretiert werden, denn es liegen keine Vergleichswerte vor. Gezackte Verläufe der Isolinien sind aufgrund der stetigen Größe Luftdruck unrealistisch. Eine daraus folgende Windberechnung wäre daher nicht sinnvoll. Da man aber hier noch nicht von einer Verifikation sprechen kann, gilt es zu prüfen, welches dieser Verfahren bessere Ergebnisse in Bezug auf gemessene Luftdruckdaten liefert. Dazu werden mehrere Datensätze verwendet, zwei von einer Sturmlage (starker Luftdruckgradient) am 18.01.2007 („Kyrill“) (Abb. 37 und 38) sowie am 27.02.2010 („Xynthia“, Karten nicht aufgeführt) und eine von einer ruhigen Wetterlage, also mit schwach ausgeprägtem Luftdruckgradienten. 11.05.2010 (Abb. 35) und 36). Insofern wird erprobt, wie sich die verschiedenen Verfahren bei kongruenten Wetterlagen und verhalten. Diese Datensätze enthalten Koordinaten und die dazugehörigen Druckwerte eines bestimmten Zeitraums. Für eine Prüfung der Verfahren ist es notwendig, Daten aus den Datensätzen zu löschen. Entfernt werden etwa 70 % der Daten. Die übrig bleibenden Daten werden interpoliert, mit Hilfe des Werkzeugs in der ArcToolbox „Spatial Analyst Tools -> Extraction -> Extract Values to Points“ auf das Ausgangsraster gelegt, in dem DBF-Format ausgegeben (vgl. Abschnitt 5.5) und mit den vorhandenen gemessenen Daten in einer Excel-Tabelle verglichen. Gebildet werden die Summen der Differenzen und der Standardfehler.

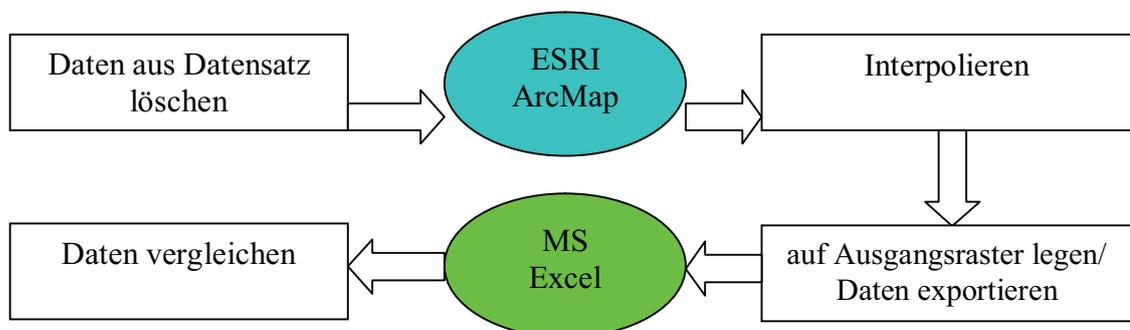


Abb. 34 Prozess der Fallstudie

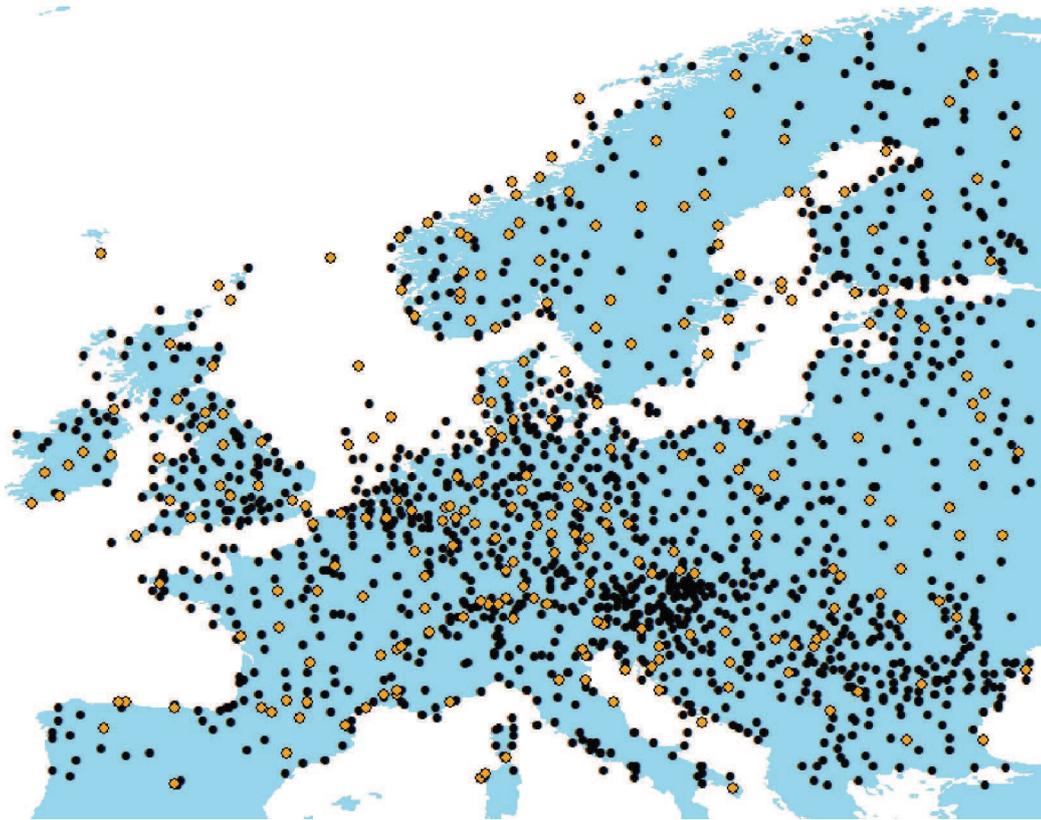


Abb. 35 240 (orange) übrig bleibende Messwerte 11.05.2010

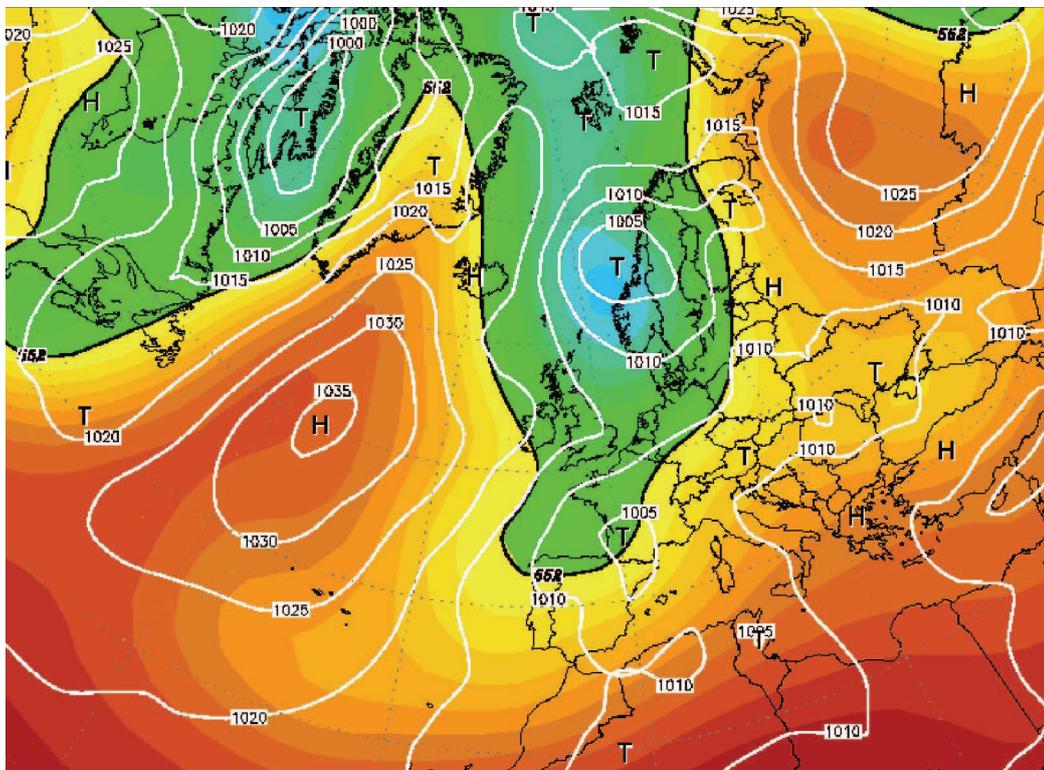


Abb.36 Bodendruck in hPa (weiße Linien = Isobaren) und 500 hPa Geopotential (farbige Flächen) vom 11.05.2010 Europa aus [www.wetterzentrale.de]



Abb. 37 240 (orange) übrig bleibende Messwerte 18.01.2007

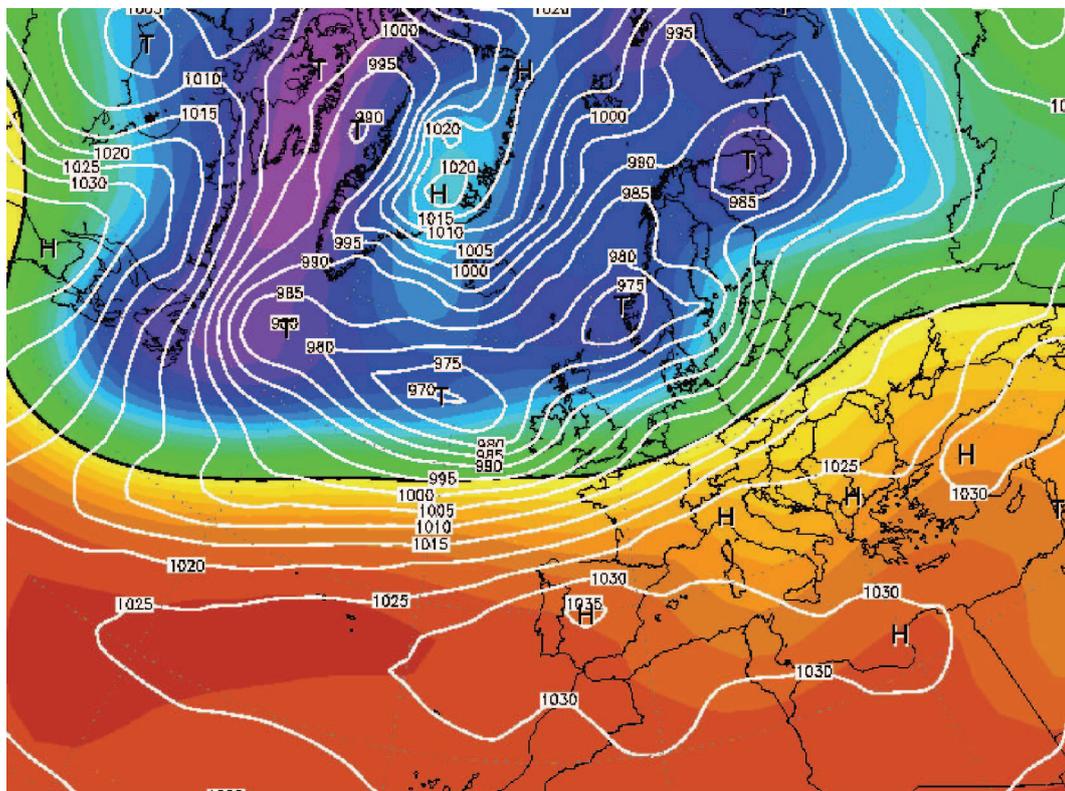


Abb. 38 Bodendruck in hPa (weiße Linien = Isobaren) und 500 hPa Geopotential (farbige Flächen) vom 18.01.2007 Europa aus [www.wetterzentrale.de]

Vergleicht man nun die Werte der Interpolation mit den tatsächlichen Werten, so erhält man folgende Ergebnisse: (NN= Natural Neighbour, OK = Ordinary Kriging, SK = Simple Kriging, IDW = Inverse Distance Weighting, RBF = Radial Base Functions)

Interpolationsergebnisse Orkantief „Kyrill“, 240 Werte

	Ist	NN	OK
Mittelwert:	1000,13	1000,17	1000,04
Summe Diff		1064,38	1103,04
Standardfehler:	0	1,28	1,35

	SK	IDW	Spline	RBF
Mittelwert:	1000,09	999,92	1000,08	1000,00
Summe Diff	1120,65	1999,43	1397,55	1257,83
Standardfehler:	1,33	2,16	1,64	1,47

Interpolationsergebnisse Sturmtief „Xynthia“, 230 Werte

	Ist	NN	OK
Mittelwert:	1003,16	1013,11	1013,17
Summe Diff		651,90	634,40
Standardfehler:	0	0,79	0,80

	SK	IDW	Spline	RBF
Mittelwert:	1009,21	1003,23	1013,23	1009,21
Summe Diff	697,35	994	634,40	669,18
Standardfehler:	1,17	1,14	1,44	1,24

Interpolationsergebnisse schwacher Gradient 11.05.2010, 240 Werte

	Ist	NN	OK
Mittelwert:	1009,82	1009,75	1009,77
Summe Diff		902,33	913,83
Standardfehler:	0	1,02	1,02

	SK	IDW	Spline	RBF
Mittelwert:	1009,76	1009,70	1009,76	1009,77
Summe Diff	1215,77	1133,66	1215,77	939,76
Standardfehler:	1,34	1,17	1,39	1,24

Der Standardfehler ist die durchschnittliche Abweichung des geschätzten Luftdruckwertes durch die Interpolation vom wahren Luftdruck. Je kleiner dieser Fehler ist, desto genauer ist die Schätzung dieses Wertes. Zusätzlich wurde die Summe der Luftdruckdifferenzen berechnet. Auch hier gilt, je kleiner der Wert, desto besser die Schätzung.

5.3 Interpretation

Betrachtet man die Interpolationsergebnisse der Fallstudie aus Abschnitt 5.2, so kann festgestellt werden, dass die Erstellung eine flächenhafte Aussage mit Natural Neighbour die besten Ergebnisse liefert und somit das Resultat der optischen Analyse der Konturen (Abschnitt 5.1, ab Abb. 28) unterstützt. In der Fallstudie zeigt das Verfahren die geringsten Abweichungen zum tatsächlichen Luftdruck. Die Kriging-Verfahren näherten sich der Natural Neighbour-Interpolation sowohl in der Rekonstruktion November 1872 (ab Abb. 32) als auch in der Fallstudie am dichtesten an, das Spline nur in der Rekonstruktion (Abb. 30). Ferner geben die restlichen Methoden (IDW und RBF) in beiden Situationen keine zufriedenstellenden Ergebnisse ab. Auf Grund dessen erfolgt Rekonstruktion der Pegelstände anhand der Interpolation des Luftdrucks vom 01.11.1872 – 13.11.1872 in ArcMap mit Hilfe des Natural Neighbour-Verfahrens, welches in gradientenstarken sowie in gradientenschwachen Situationen die besten Resultate erzielt.

5.4 Vergleich Natural Neighbour Interpolation u. „Raster“-Interpolation

Ein Vergleich der Gitterpunktwerte als Ergebnis der Natural Neighbour-Interpolation mit der bereits vorgenommenen Interpolation in „Raster“ zum Zeitpunkt 13.11.1872 12 Uhr (Abb. 39) offenbart, dass einige Abweichungen vorhanden sind (Abb. 39). Diese treten besonders über der nördlichen Nordsee und im Bereich des Finnischen Meeres auf. Hier handelt es sich um Gebiete, in denen die Isobaren und somit die Punkte der Eingangsdaten relativ weit voneinander entfernt sind. Auch die „Krakenarme“ sind wie in Abb. 4 und 5 zu erkennen. Eine Gegenüberstellung der Abb. 4, 5 und Abb. 44, 45 zeigt, dass diese Strukturen, die in der Nähe des Tiefdruckkerns auftreten, mit wesentlich schwächer gerechnet werden. Die Abweichung in dem Randbereich ist eine Eigenschaft der Interpolation (mehr dazu siehe Abschnitt 5.5). Im Gegensatz dazu befinden sich die geringsten Abweichungen an den Orten, an denen relativ viele Eingangsdaten vorhanden sind bzw. die Isobaren räumlich dicht beieinander liegen.

Anzumerken ist, dass es sich bei dem Zeitpunkt 13.11.1872 12 Uhr um einen Ausreißer handelt, was die Abweichungen betrifft. Analysiert man die anderen Zeitpunkte, so kann festgehalten werden, dass die Differenzen der beiden Rekonstruktionen dort wesentlich geringer sind. Die sogenannten Krakenarme treten ausschließlich in dem gezeigten Beispiel (13.11.1872 12 Uhr) auf.

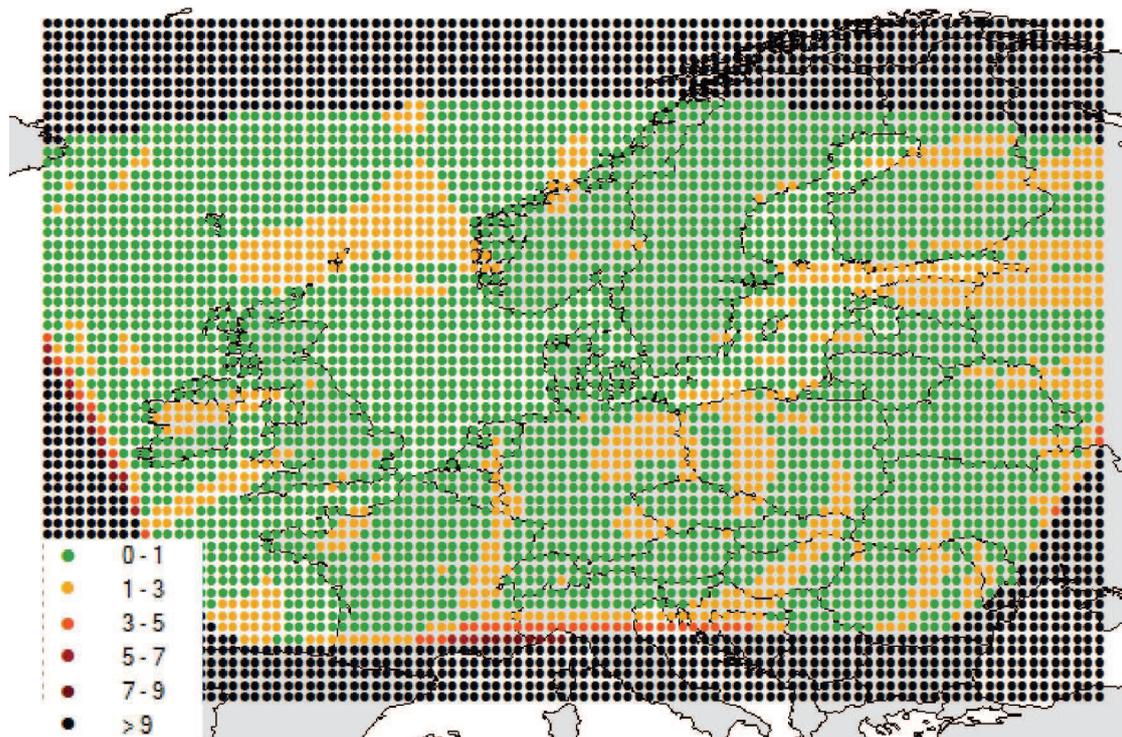


Abb. 39 Vergleich der Interpolationen, Abweichungen des Luftdrucks „Raster“-Interpolation u. Natural Neighbour-Interpolation 13.11.1872 um 12 Uhr in hPa

5.5 Datenausgabe

Für die weitere Verwendung ist es notwendig, die interpolierten Gitterpunktwerte mit einer Maschenweite von $0,5^\circ$ Länge und $0,5^\circ$ Breite auszugeben. Der Grund: Das Fortran-Programm „gostsee“ setzt später zur Berechnung des Windes ein gleichmäßiges Raster voraus. Zur Erzeugung eines Rasters kann wieder Excel verwendet werden. Die erstellte Datei wird als Referenzraster verwendet. Dabei ist auf die Sortierung und auf den Spaltennamen zu achten. Weist man anschließend über „Eigenschaften -> XY-Daten anzeigen“ das Koordinatensystem zu, erhält man eine Darstellung des gleichmäßigen Rasters (Abb. 40).

ArcMap bietet eine Funktion an, mit der die Interpolationswerte auf dieses Raster gelegt an den Gitterpunkten ausgegeben werden können. In der Toolbox kann unter dem „Spatial Analyst“ -> „Extraction“ das Tool „Extract Value by Points“ dafür verwendet werden (siehe Abschnitt 5.2). Als „Eingabe Punkt Features“ muss das Referenzraster „Raster.xls“ angegeben werden. Als Eingaberaster wird der Layer mit den interpolierten Werten angegeben. Diesen Arbeitsschritt kann man durch eine Batch-Funktion beschleunigen (siehe Abschnitt 4.7). Nach der Durchführung entsteht ein neuer Layer mit dem Namen „Extract_Tabelle1“. In diesem befinden sich nun die interpolierten Luftdruckwerte der Gitterpunkte in der jeweiligen Maschenweite. Für den Zugriff und den Export der Werte kann per Rechtsklick auf den Layer die Attributtabelle geöffnet werden. Beim Erscheinen des folgenden Fensters sieht man die Gitterpunktswerte und den Shapetyp (Punkt). Es fällt auf, dass beim Attribut „RasterValues“, der den Luftdruck darstellt, sehr oft der Wert „-9999“ vorkommt (Abb. 40).

FID	Shape *	Y	X	RASTERVALU
23	Punkt	41,5	-3	-9999
24	Punkt	41,5	-2,5	-9999
25	Punkt	41,5	-2	-9999
26	Punkt	41,5	-1,5	-9999
27	Punkt	41,5	-1	-9999
28	Punkt	41,5	-0,5	-9999
29	Punkt	41,5	0	-9999
30	Punkt	41,5	0,5	-9999
31	Punkt	41,5	1	-9999
32	Punkt	41,5	1,5	-9999
33	Punkt	41,5	2	-9999
34	Punkt	41,5	2,5	-9999
35	Punkt	41,5	3	-9999

Abb. 40 Koordinaten und Attribut „pp“ vom erstellten Layer

Das liegt daran, dass das vorgegebene Raster ein größeres Gebiet umfasst als das durch die Natural Neighbour-Interpolation entstandene Gebiet, da ab und an den Rändern keine Neupunkte zur Gewichtung für die Interpolation mehr vorhanden sind. Dieses Verfahren ist eine lokale Interpolationsmethode und findet die dem Neupunkt am nächsten gelegenen Punkte der Input-Daten. Diese fehlenden Daten werden als „Nodata“ deklariert und bekommen automatisch den Wert „-9999“ zugewiesen. Aufgrund dieser Tatsache sind auch jene Daten, die sich im Randbereich befinden, nicht brauchbar. Demgemäß kommt es dort zu einer Abweichung von max. +/- 10 hPa.

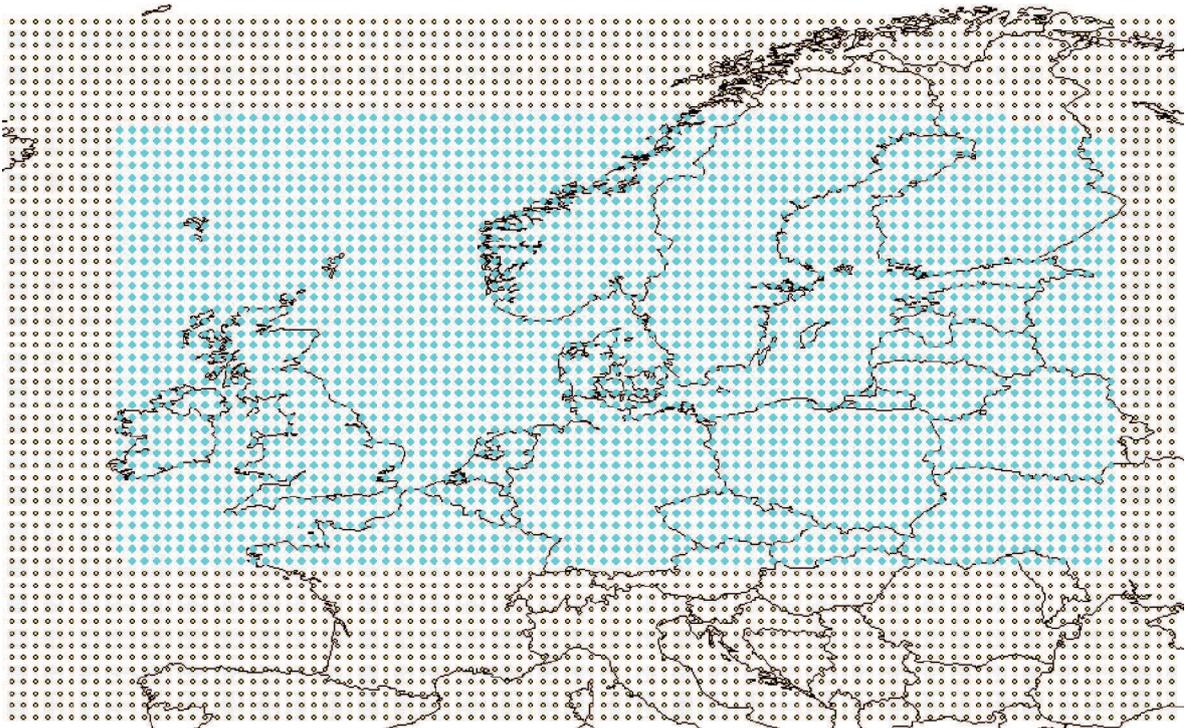


Abb. 41 Druckwerte mit > „-9999“ und verkleinertes Gebiet (blau)

Da diese eine Folge der Interpolationseigenschaft des Natural Neighbour-Verfahren ist und nur nicht relevante Gebiete betrifft, sollten diese Daten entfernt werden. ArcMap bietet die Möglichkeit an, mit Hilfe der Option „Nach Attributen auswählen“ Bedingungen per SQL zu erstellen. Ferner wird das Gebiet auf die Bereiche Nordsee, Deutschland, Ostsee sowie das östliche Europa weiter verkleinert, da Werte aus den anderen Gebieten in Hinsicht auf die Sturmflut von 1872 nicht von Bedeutung sind (Abb. 41, graue Punkte).

```
"RASTERVALUE" > -9999 AND "Y" >= 48 AND "Y" <= 66.5 AND "X" >= -10 and "X" <= 31
```

Die Anweisung besagt, dass alle Druckwerte die größer als „-9999“ sind, sich innerhalb von 48° und 66,5° N und den 10° W und 31° O befinden, selektiert werden (Abb. 41). Sie kann als „Expression.exp“ gespeichert und später wieder verwendet werden. Somit sind die Werte „-9999“ und Fehler bzw. größere Abweichungen an den Grenzbereichen eliminiert. Um nur die relevanten Werte auszugeben, ist im Fenster Attribute „Ausgewählte“ anzuklicken. Mit anschließendem Rechtsklick und Klick auf Exportieren können die Daten als DBF-Datei abgespeichert werden. Öffnet man anschließend eine DBF-Datei in Excel, sieht man die interpolierten Druckwerte in der jeweiligen Maschenweite.

	A	B	C
1	Y	X	RASTERVALU
2	48,000000	-10,000000	1009,71038818
3	48,000000	-9,500000	1010,98522949
4	48,000000	-9,000000	1011,13720703
5	48,000000	-8,500000	1011,29107666
6	48,000000	-8,000000	1011,42004395
7	48,000000	-7,500000	1011,57446289
8	48,000000	-7,000000	1011,70349121
9	48,000000	-6,500000	1011,86132813
10	48,000000	-6,000000	1011,99761963
11	48,000000	-5,500000	1012,13348389
12	48,000000	-5,000000	1012,29077148
13	48,000000	-4,500000	1012,42687988

Abb. 42 Inhalt einer erstellten DBF-Datei

Anschließend werden die Daten noch formatiert. Es ist für die weitere Verwendung auf der UNIX-Ebene darauf zu achten, Tabulatoren und Sonderzeichen zu entfernen und Dateien im ASCII-Zeichensatz zu erzeugen. Dazu kann die Datei als „formatierter Text“ (PRN-Datei) in Excel gespeichert werden.

Wie schon zu Beginn bei der Koordinatenformatierung zu Beginn, können diese Prozesse ebenfalls automatisiert werden (siehe Abschnitt 4.1), so dass alle Dateien die gleiche Formatierung aufweisen. Für die Formatierung wird die Datei „konvertieren.xls“ (Abb. 43) um die Funktion DBF 2 PRN erweitert. Mit ihr ist es möglich, DBF in PRN umzuwandeln. Diese können später bei Bedarf wieder in eine Datenbank importiert werden. Alternativ lassen sich die Daten auch in XLS- und TXT-Dateien exportieren. Die TXT-Ausgabe enthält den Punkt als Dezimaltrennzeichen.



Abb. 43 Makros zur Konvertierung

Die Formatierung im Makro DBF 2 PRN beinhaltet folgende Schritte:

Rechtsbündig

Zahlenwerte auf 2 Nachkommastellen setzen

Aus „Rastervalue“ -> pp

Spaltenbreite auf 12

Bei Bedarf kann nach dieser Prozedur der VBA-Quellcode eingesehen werden. Mit der Tastenkombination ALT + F11 erscheint das Fenster der Entwicklungsumgebung für VBA.

5.6 Windkarten

Mit den gewonnenen Luftdruckdaten, die jetzt in PRN-Dateien vorliegen, kann, wie in Abschnitt 2.4 erläutert, der geostrophische Wind berechnet, daraus der Bodenwind in 10 m Höhe abgeleitet und anschließend in Karten durch „isoplot“ (Abb. 44 und 45) dargestellt werden.

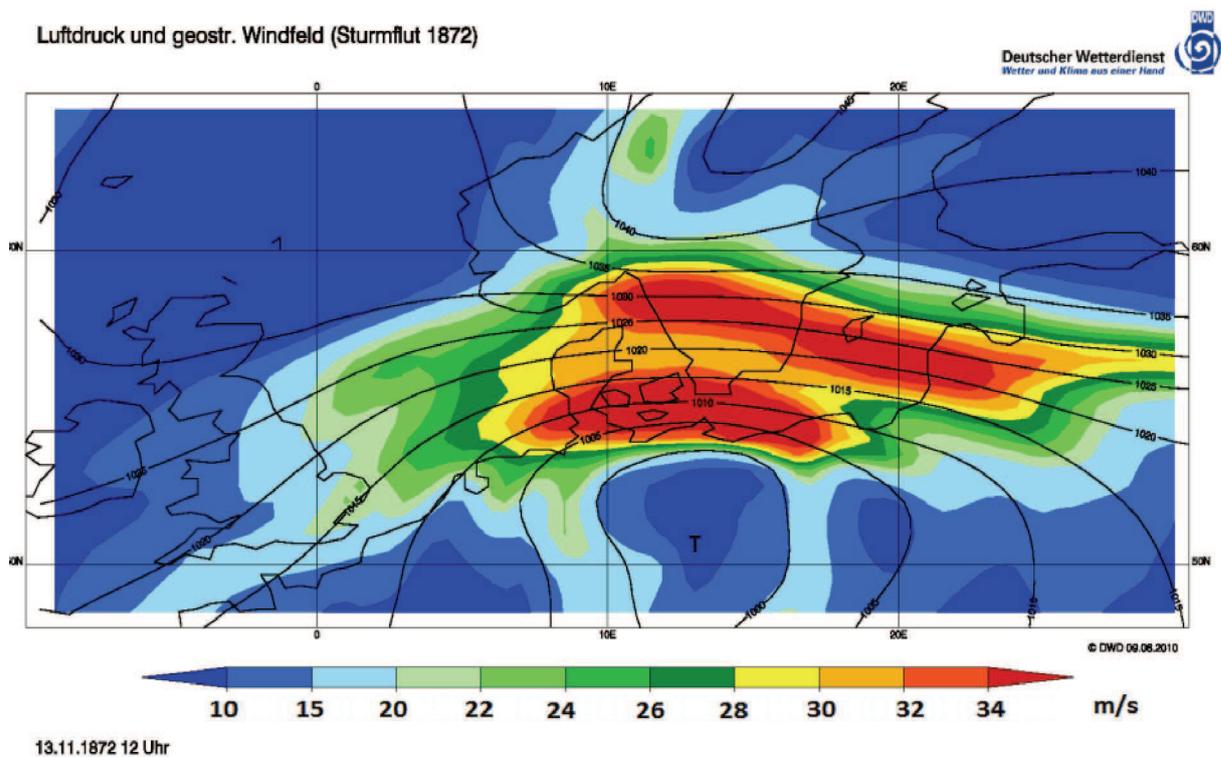


Abb. 44 geostrophischer Wind am 13.11.1872 um 12 Uhr in m/s (Daten DWD)

Die Abb. 44 und 45 zeigen eindrucksvoll das Starkwindfeld über der Südlichen Ostsee. Hier traten laut Analyse Geschwindigkeiten des Bodenwindes in 10 m Höhe im Mittel von mehr als 26 m/s (ca. 97 km/h) auf. In Böen auch weit darüber. Ferner kann man erkennen, dass die Isobaren wesentlich realistischer als Abb. 4 und 5 sind.

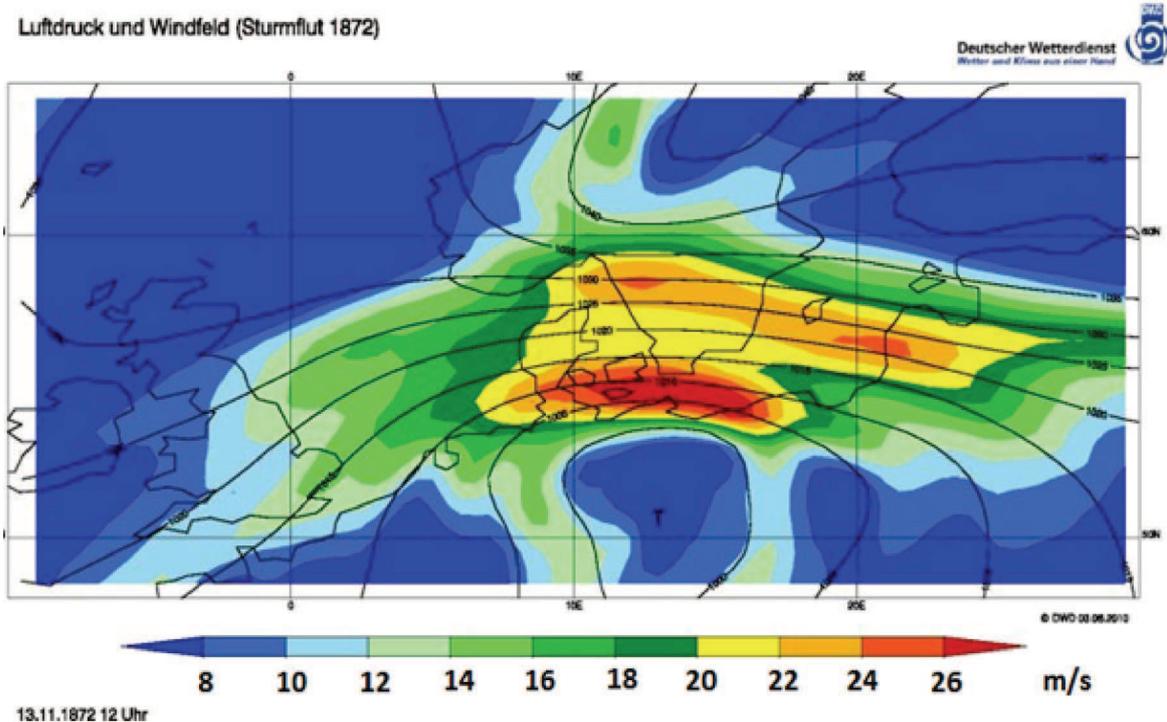


Abb. 45 Bodenwindfeld in 10 m Höhe am 13.11.1872 um 12 Uhr in m/s (Daten DWD)

Ein Vergleich anhand Lübeck und Putbus (Abb. 46) zeigt, dass sich der rekonstruierte Wind, dessen Datengrundlage die Interpolation des Luftdrucks ist, gut an die durch Messungen von BAENSCH 1875 angleicht. Die Windpfeile der oberen Reihen stellen rekonstruierte Daten dar, die unteren stammen aus den überlieferten Messungen.

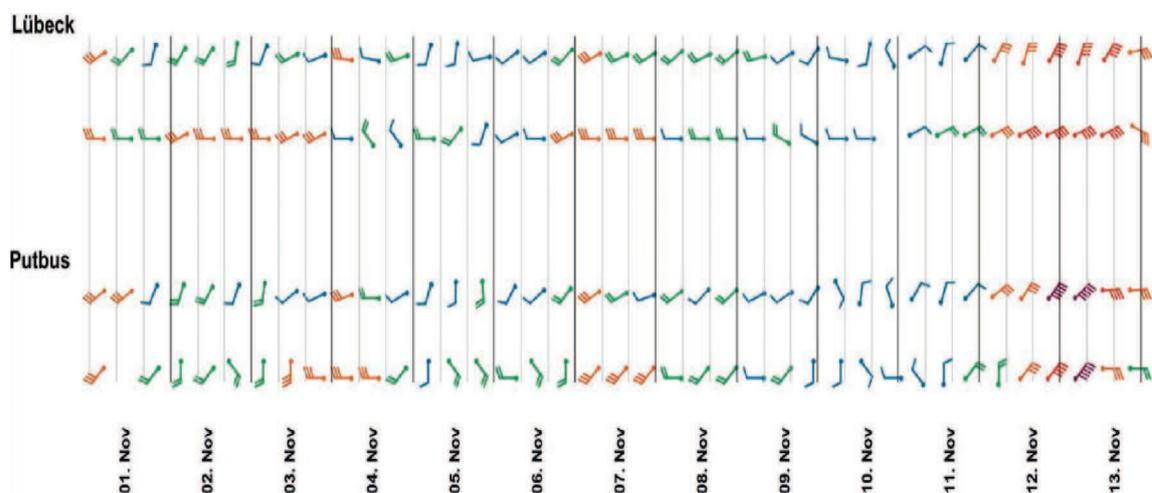


Abb. 46 Wind-Vergleich, rekonstruierter Wind und Messung BAENSCH 1875, 01. November bis 13. November 1872 (Daten DWD)

Auch eine Gegenüberstellung der rekonstruierten Datensätze des geostrophischen Windes vom 13.11.1872 zeigt, dass über der Ostsee relativ geringe Abweichungen vorhanden sind. Besonders gut sind hier wieder die Krakenarme zu erkennen (Abb. 47). Dort betragen die Abweichungen bis über 10 m/s. Es wird die Schlussfolgerung aus Abschnitt 5.4 bestätigt.

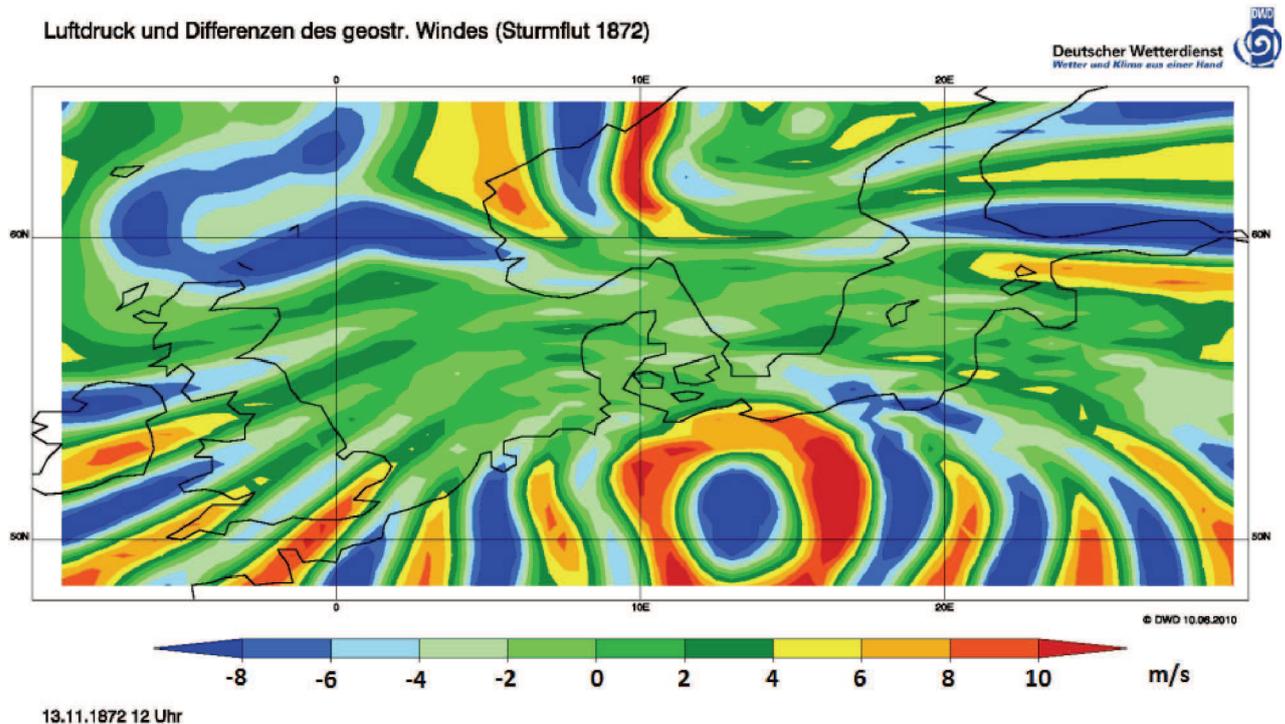


Abb. 47 Differenzen des geostr. Windes zwischen alter und neuer Rekonstruktion am 13.11. 1872 12 Uhr, Krakenarme sind wieder zu erkennen (Daten DWD)

5.7 Pegelstände

Da nun eine flächenhafte Aussage über die Windgeschwindigkeiten vorhanden ist, ist es nun möglich daraus die Pegelstände an der deutschen Ostseeküste zu simulieren. Dazu werden die Winddaten an das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie übergeben und in ein operationelles Modell eingegeben. Mit diesem Modell können aus Windgeschwindigkeiten und -richtung sowie weiteren Einflüssen Wasserstände an den Küsten ermittelt werden. Dabei sind unter anderem auch die Einflüsse des Nordostatlantiks und der Nordsee auf den Wasserstand berücksichtigt.

Die simulierten Pegelstände als Ergebnis der Luftdruckinterpolation mit Natural Neighbour (blauer Linienverlauf) passen sich, wie auch der Wind, gut an die überlieferten Messwerte an. Die Darstellung der zeitlichen Verläufe der Pegelstände im Zeitraum vom 01. November bis zum 14. November 1872 zeigt dies am Beispiel der Pegelstände Kiel und Husum (Abb. 48).

Auch die Pegelstände von Travemünde und Flensburg passen sich der Messung an. Der rote Linienverlauf stellt die Messergebnisse aus der Veröffentlichung von BAENSCH (1875) dar, der Blaue der neuen Rekonstruktion.

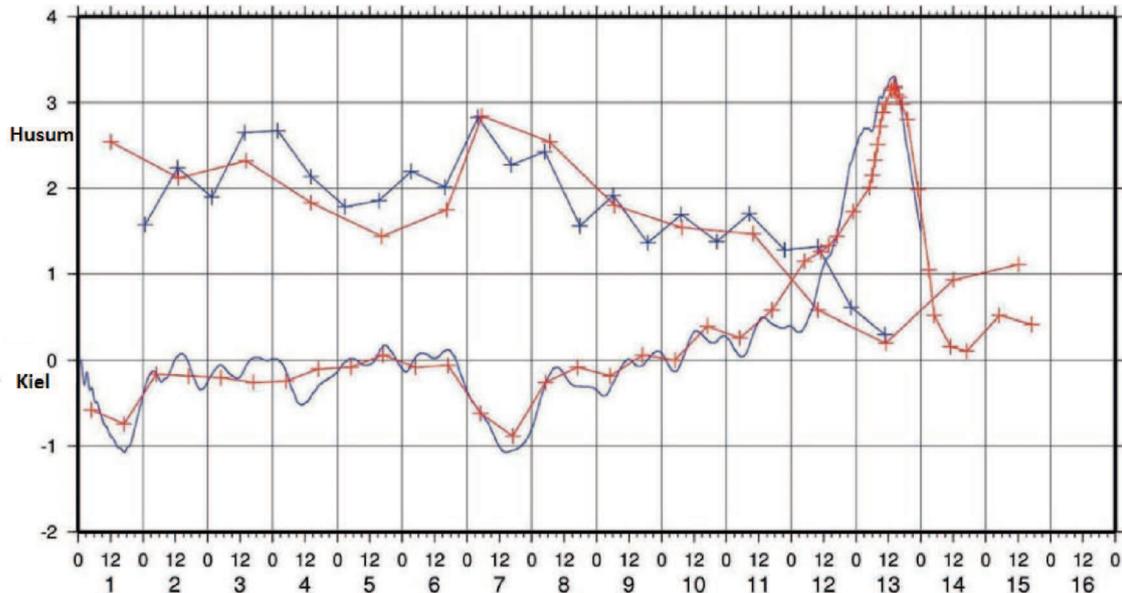


Abb. 48 Pegelverlauf Kiel und Husum

Abb. 49 zeigt die im Abschnitt 2.6 erläuterte Situation. Man sieht wie sich das Wasser von den Küsten der Östlichen Ostsee zurückzog und sich aufgrund des Sturmes vom 13. November 1872 in Südlichen Ostsee staute und dadurch gegen die dortigen Küsten drückte.

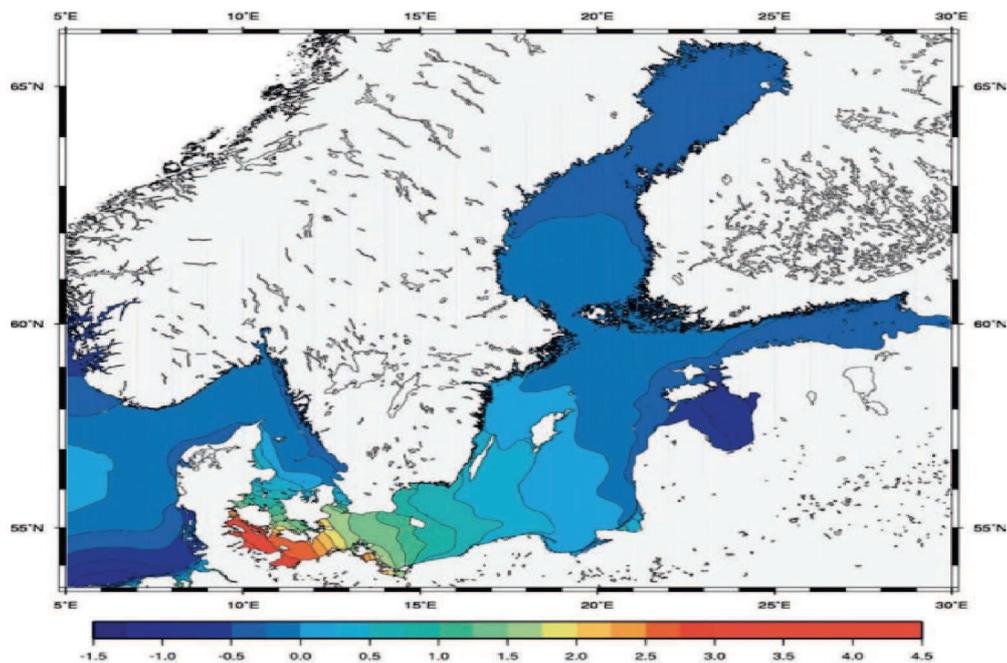


Abb. 49 Wasserstand Ostsee 13.11.1872 um 12 Uhr

Travemuende

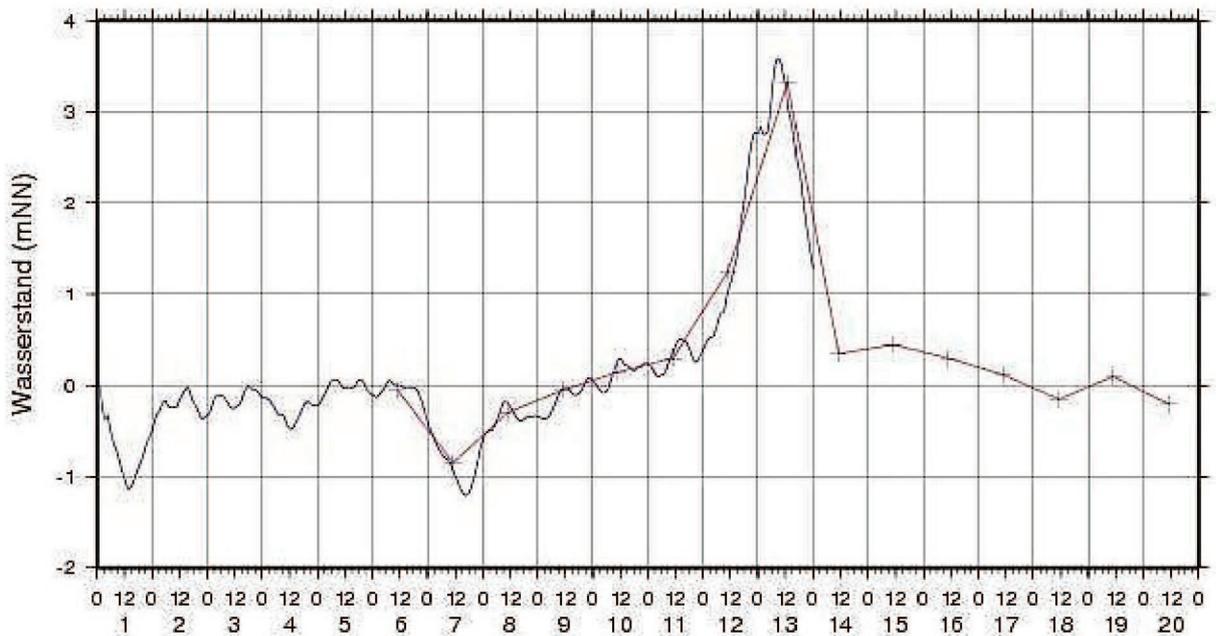


Abb. 50 neuer rekonstruierter Pegelstand aus dem operationellen Modell des BSH und den Messungen von BAENSCH 1875 im November 1872 in Travemuende (Daten BSH)

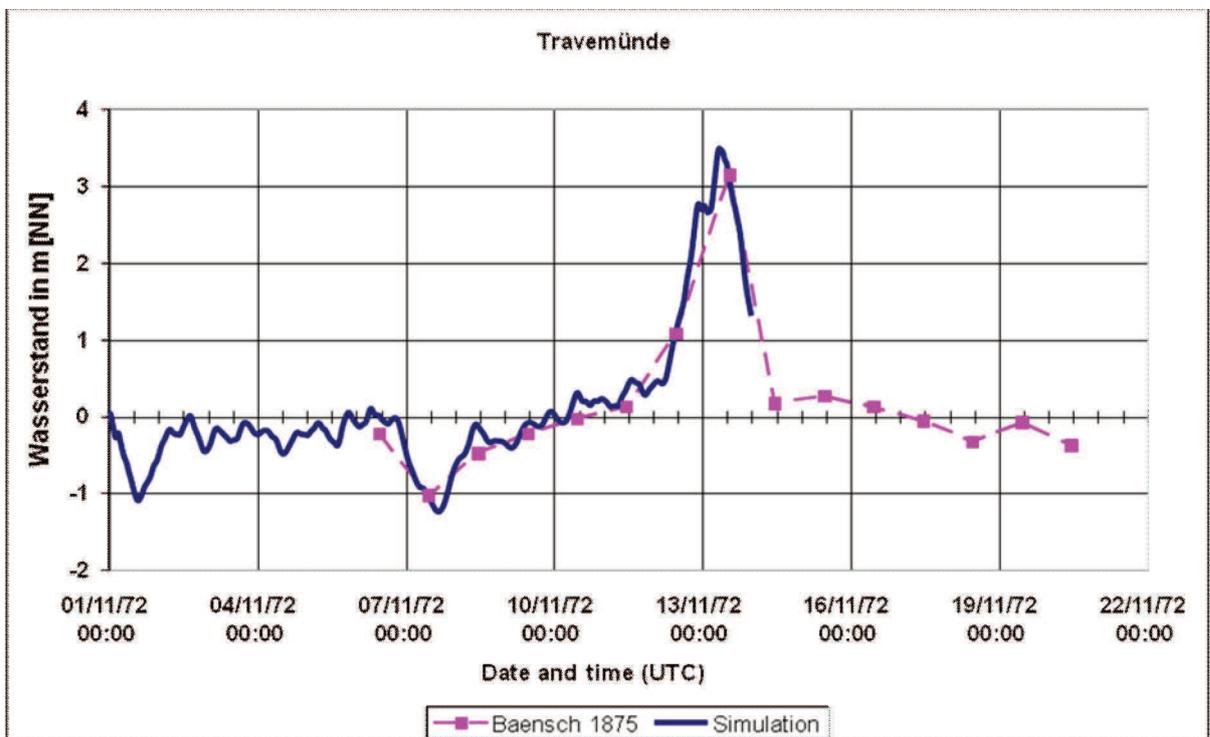


Abb. 6 alter rekonstruierter Pegelstand aus dem operationellen Modell des BSH und den Messungen von BAENSCH 1875 im November 1872 in Travemuende aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 12]

Der rote Linienverlauf stellt die Messergebnisse von BAENSCH (1875) dar, der Blaue die der neuen Rekonstruktion. Vergleicht man nun die beiden simulierten Pegelverläufe (Abb. 6 und 50) von Travemünde, fällt auf, dass es minimale Abweichungen gibt. Gleiches gilt für die Pegel vom Stralsunder Hafen und Flensburg. Daraus kann man schlussfolgern, dass sich die abgeleiteten Gitterpunktwerte des Luftdrucks aus den Luftdruckinterpolationen mit Spheremap und ArcGIS (Natural Neighbour) ähneln. Die Abweichungen zwischen alter und neuer Rekonstruktion des geostrophischen und des Bodenwindes sind folglich im Großteil der Zeiträume gering. Wie schon erwähnt stellt der hier verwendete Zeitpunkt (13.12.1872 12 Uhr) eine Ausnahme dar. Aber selbst zu diesem Zeitpunkt treten die größten Abweichungen abseits der Ostsee auf, d.h. in Gebieten, die für die Pegelstandserhebung nicht relevant sind. Zudem besitzen die Eingangswerte aufgrund des starken Luftdruckgradienten eine geringe räumliche Korrelation. In den Regionen außerhalb der Ostsee ist im Gegensatz zum Gebiet direkt über der Ostsee lediglich eine geringe Anzahl von Eingangsdaten vorhanden. Diese liegen außerdem räumlich weit voneinander entfernt. Aus diesem Grund kommen als Ergebnisse der Spheremap-Interpolation diese zackigen Konturen und „krakenarmigen“ Strukturen zustande. Die Eigenschaft des Natural Neighbour, welches eine lokale Interpolationsmethode ist, scheint gerade bei weit auseinanderliegenden Eingangsdaten von Vorteil zu sein. Die gesuchten Werte werden nur durch Einbeziehung benachbarter Punkt geschätzt. Das hat zur Folge, dass sich Veränderungen nur auf Punkte in näherer Umgebung auswirken und weiter entfernte Punkte unverändert bleiben.

5.8 Prozesskette

In diesem Abschnitt wird das Gesamtsystem in einem grafischen Schema dargestellt. Es beinhaltet folgende Komponenten und Schritte.

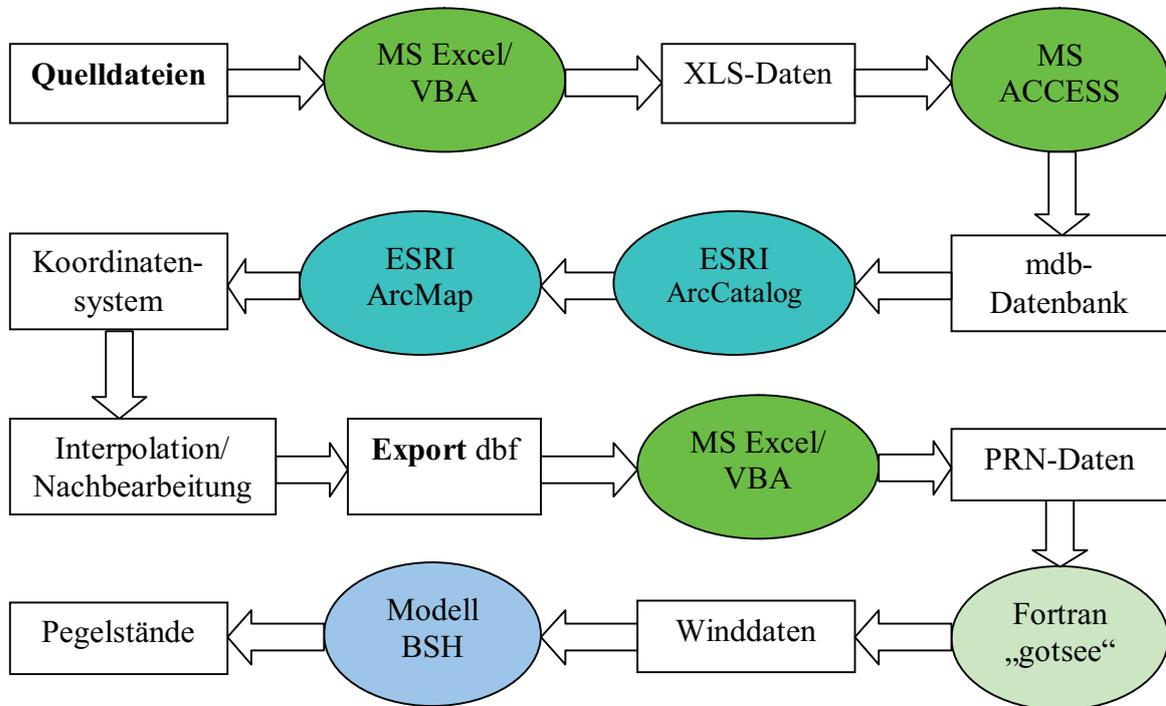


Abb. 51 Ablauf des Gesamtsystems

5.9 Softwaresystem

Wie die Prozesskette (Abb. 51) zeigt, besteht das Softwaresystem aus mehreren Komponenten und Schritten. Der erste Schritt besteht darin, die Quelldateien, die jeweils einen Zeitpunkt mit Luftdruckdaten und Koordinaten, mit Hilfe eines entwickelten VBA-Programms so zu konvertieren, dass sie kompatibel mit ArcGIS oder auch Access werden. Dazu wurde die VBA-Entwicklungsumgebung in Microsoft Excel verwendet. Anhand der Makroaufzeichnung wurde diese Formatierung und Speicherung im XLS-Format automatisiert.

Die gewonnenen Dateien lassen sich erst so in eine Datenbank einfügen oder können auch direkt in ArcGIS-Produkte importiert werden, was erst seit Version 9.2. möglich ist. Auch der Schritt des Importierens der XLS-Dateien in die Datenbank mit Hilfe eines VBA-Makros automatisiert. Zunächst muss zu der Datenbank eine Verbindung hergestellt werden. Dies ist in ArcCatalog über eine ODBC-Verbindung möglich.

Erst wenn diese Verbindung zur Datenbank hergestellt ist, kann sie in ArcMap verwendet werden. Alternative kann man jede XLS-Datei einzeln in ArcMap einfügen.

In ArcMap importiert, muss jetzt jedem Datensatz das Koordinatensystem (WGS84) zugewiesen werden.

Haben die Datensätze ihre räumliche Zuweisung erhalten, so können sie interpoliert werden. Die dank der Interpolation gewonnen Daten sollten für den anschließenden Export auf fehlerhafte Einträge überprüft (siehe Abschnitt 5.4) und entsprechend bearbeitet werden. Die exportierten Daten werden jetzt wieder anhand eines VBA-Programms für die weitere Verwendung formatiert und konvertiert. Das Resultat sind PRN-Dateien, welche die Grundlage für das Fortran-Programm „gotsee“ zur Bestimmung des Windes sind. Sie enthalten die zuvor interpolierten Luftdruckdaten an den Gitterpunkten des Rasters mit einer Maschenweite $0,5^\circ$ in Nord-Süd- Richtung und $0,5^\circ$ in Ost-West-Richtung. Nach der Bestimmung des Windes werden mit den operationellen Modellen des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrografie Schlüsse über die Pegelstände gezogen.

6. Fazit und Ausblick

6.1 Analyseergebnisse

Ziel war es zu untersuchen, ob es ein besseres Interpolationsverfahren zur Bestimmung des Luftdrucks gibt. Die hier vorgenommene Untersuchung hat gezeigt, dass sich das Interpolationsverfahren Natural Neighbour zur Rekonstruktion dieses meteorologischen Elements sehr gut verwenden lässt, da die daraus errechneten Ergebnisse des Windes und die daraus modellierten Pegelstände sich gut an die Messung von BAENSCH von 1875 angleichen. Des Weiteren ist als Resultat der optischen Analyse des Luftdrucks festgestellt worden, dass die Natural Neighbour-Interpolation besonders in Situationen bessere Ergebnisse liefert, in denen die Eingangsdaten weit voneinander entfernt sind. Der Verlauf der Isobaren ist hier glatter und somit realistischer. Untypische Strukturen (wie. z.B. die „Krakenarme“) sind bei weitem nicht mehr so stark gerechnet worden.

Zusätzlich lieferte es in der Fallstudie im Vergleich zu den restlich Verfahren die geringsten Abweichungen. Ein weiterer Vorteil ist ressourcenschonende und einfache Anwendung. Des Weiteren ist ein Softwaresystem entwickelt worden, mit welchem vorliegende historische Daten aufbereitet werden können.

Daher bietet sie für Untersuchungen historischer Extremwetterereignisse aus Zeiten, in denen die meteorologische Datenbasis in Form von Luftdruck noch nicht vorhanden war, eine gute Grundlage zur Erstellung einer flächenhaften Aussage. Es ist ein Interpolationsverfahren für den Luftdruck gefunden wurde, welches mit einem modernen und einem der meist genutzten Geoinformationssystem anwendbar ist.

6.2 Verbesserungen und Probleme

Eine Möglichkeit zur Optimierung des Systems bestünde darin, es so zu verändern, dass die notwendigen Schritte zum Import abgekürzt oder eventuell sogar weggelassen werden können. Dazu müsste bei der Anforderung der historischen Daten darauf geachtet werden, dass sie ohne weitere Verarbeitung kompatibel zu ArcGIS und direkt integrierbar sind. Im Abschnitt 4.1.3 Abb. 17. ist ein kompatibler Dateiaufbau beschrieben.

Verbesserungen sind bei der Automatisierung der Prozesse im verwendeten Geoinformationssystem möglich. Zwar bietet ArcGIS wie in Abschnitt 4.7 beschrieben für einige Schritte eine Batch-Funktion an, diese verkürzt die Schritte aber nur wenig, da dennoch viele Schritte manuell getätigt werden müssen. Der zeitliche Aufwand wird nicht erheblich geringer. Es könnte also eine Schnittstelle geschaffen werden, die eine optimierte Automatisierung vornimmt (evtl. ArcEditor).

Ein Problem besteht darin, dass das Makro nur die Dateien formatieren kann, welche die Struktur der hier verwendeten Eingangsdaten besitzen. Sollten sich Parameter ändern, so müssten Anpassungen am Quellcode durchgeführt werden (z.B. mehr oder weniger Nachkommastellen). Nachteile gibt es bei Benutzung der Excel-Makros in Microsoft Excel 2007. Dort nimmt die Konvertierung der Dateien durch die Makros mehr Zeit in Anspruch als in Excel 2003. Ein Test in Microsoft Word 2010 ist außerdem noch nicht erfolgt.

Glossar

ArcGIS	Produktfamilie aus sich ergänzenden Geoinformationssystem-Software der Firma ESRI
ArcMap	Teil von ArcGIS zur Erstellung, Bearbeitung und Speichern von digitalen Karten
ASCII	7-Bit-Zeichenkodierung
Bft	Beaufortskala, Skala zur Klassifikation von Winden
Bodenwind	durch Reibung beeinflusster Wind in Bodennähe
DWD	Deutscher Wetterdienst, nationaler meteorologischer Dienst der Bundesrepublik Deutschland
Fortran	objektorientierte Programmiersprache, die insbesondere für numerische Berechnungen eingesetzt wird
geostrophischer Wind	parallel zu den Isobaren strömender Wind, vereinfachtes physikalisches Wind-Modell
„geowind“	Fortran-Programm zur Errechnung des geostrophischen Windes und des Bodenwindes vom BSH
IDL	Abkürzung für Interactive Data Language, Programmiersprache zur Visualisierung und Analyse von Daten
Interpolation	mathematische Schätzung von unbekanntem Werten mit Hilfe von bekannten Werten
Isobaren	Linien gleichen Luftdrucks
Luftdruck	hydrostatischer Druck der Luft, der an diesem Ort herrscht
Luftdruckgradient	Gefälle des Luftdrucks auf einer bestimmten Strecke
Shape	Dateiformat mit dem geographischen Daten gespeichert werden beinhaltet SHP, DBF und SHX-Dateien

Schema.ini	Datei mit Information über den Inhalt und das Format von Textdateien
Spheremap	Programm zur räumlichen Interpolation von Punktdaten
VBA	Skriptsprache zur Erweiterung der Microsoft Office-Anwendungen
Makro	Programm, das eine fest vorgegebene Folge von Befehlen und Aktionen enthält
Raster	regelmäßige Zerlegung des Raumes
„Raster“	modifizierte „Spheremap“-Version
WGS 84	geodätisches Referenzsystem bestehend mindestens aus zwei Parametern (Längen -und Breitengrad)

Quellenverzeichnis

Deutscher Wetterdienst, Aufgaben und Tätigkeit des Seewetteramtes, Hamburg 1993

Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, Die Küste, Heft 75, Gudrun Rosenhagen u. Ingrid Bork, Rekonstruktion der Sturmflutwetterlage 13.November 1872, 2009

Peter Hupfer u. Wilhelm Kutter (Hrsg.), Witterung und Klima Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, B.G. Teubner Verlag /GWV Fachverlage, Wiesbaden 2006

Sönning, Walter u. Keidel, Claus G., Wolkenbilder Wettervorhersage, BLV Buchverlag München GmbH und Co. KG 2009

[www1] Sävert, Thomas, Ostsee-Sturmflut 1872, <http://www.naturgewalten.de>, 06.01.2011

[www2] Hans Lohninger, Grundlagen der Statistik http://www.statistics4u.com/fundstat_germ/ee_interpolation.html, 23.01.2010

[www3] Held, Jacob, Blotevogel, Zeisberger, Kämmerer, *Handbuch Altlasten* Band 3, Teil 6, 2008, *Ermittlung von Schadstofffrachten im Grund- und Sickerwasser, S12*, http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/fracht/Handbuch_Fracht_Grundwasser_Sickerwasser_nur_lesen.pdf

[www4] ESRI, ArcGIS Resource Center <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000076000000.htm>

[www5] F. Hebel, *räumliche Interpolation & hydrostatische Funktion in ArcGIS*, S.9, http://www.geo.unizh.ch/~fhebel/interpolation_gis2.pdf, 20.05.2010

[www6] Mareike Otte, Geostatistik, Interpolation und Kriging, 21.02.2002, http://www.ikg.uni-bonn.de/vorlesungsarchiv/Seminar_Geoinfo_2_3_Sem_ws_01_02/Folien/otte_02_01_21.ppt

[www7] ESRI, ArcGIS Resource Center <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/005v00000027000000.htm>, 17.01.2011

[www8] ESRI, ArcGIS Resource Center <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000078000000/>, 17.01.2011

[www9] Einführung in ArcGIS http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/uebungen/ArcGIS_Beispiele/Einfuehrung/Einfuehrung.html, 02.02.2011

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Höchstwasserstände des Pegels Travemünde aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 1]	9
Abbildung 2	Hochwassermarke in Schleswig 1836, 1694 und 1872 [Foto: R. Sedlatschek aus <i>Rosenhagen und Bork</i> , 2009, Abb. 3]	10
Abbildung 3	Messstationen des Luftdrucks im November 1872 aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 5]	11
Abbildung 4	Geostr. Wind nach alter Rekonstruktion mit „isoplot“ (Daten DWD)	12
Abbildung 5	Bodenwindfeld nach alter Rekonstruktion mit „isoplot“ (Daten DWD)	12
Abbildung 6	rekonstruierter Pegelstand aus den operationellen Modell des BSH und Messung von BAENSCH 1875 im November 1872 in Travemünde aus [Rosenhagen und Bork, 2009, Abb. 12]	13
Abbildung 7	Tiefdruckgebiet	14
Abbildung 8	Hochdruckgebiet	16
Abbildung 9	Bodendruckfeld (5 hPa Isobaren) am 13.11.1872 um 12 Uhr	17
Abbildung 10	Schema lokale und globale Interpolationsmethode aus [F. Hebler, räumliche Interpolation & hydrostatische Funktion in ArcGIS, www5]	20
Abbildung 11	Prozesskette Eingangsdaten	22
Abbildung 12	Aufbau Desktop-ArcGIS	23
Abbildung 13	Architektur des Systems	24
Abbildung 14	Programmablaufplan Aufbereitung der Quelldateien	27
Abbildung 15	Makro „ASCII 2 XLS“	28
Abbildung 16	erstellte XLS-Daten	29
Abbildung 17	Inhalt einer XLS-Datei	29
Abbildung 18	Datenbank mit den XLS-Dateien	30
Abbildung 19	Ablauf DB-Einbindung	31
Abbildung 20	Aufbau des Shape-Formats	32
Abbildung 21	Layer “germany” und “continent” in ArcMap	32
Abbildung 22	WGS Koordinatensystem	33
Abbildung 23	Datenrahmen festlegen	35
Abbildung 24	Import der Datei „18721113_12_neu.xls“	35
Abbildung 25	Verlauf Interpolation über den „Geostatistical Analyst	36
Abbildung 26	Verlauf Interpolation über die ArcToolbox	36
Abbildung 27	erste Klassifizierung nach Interpolation des Luftdrucks vom 13.11.1872 12 Uhr	37

Abbildung 28	Interpolation Luftdruckdaten, 13.12.1872 12 Uhr mit Inverse Distance Weighting	39
Abbildung 29	wie Abb. 28 aber mit Natural Neighbour- Interpolation	40
Abbildung 30	wie Abb. 28 aber mit Spline- Interpolation	40
Abbildung 31	wie Abb. 28 aber mit Radial Base Functions-Interpolation	41
Abbildung 32	wie Abb. 28 aber mit Ordinary-Kriging Interpolation	42
Abbildung 33	wie Abb. 28 aber mit Simple-Kriging-Interpolation	42
Abbildung 34	Prozess der Fallstudie	43
Abbildung 35	240 (orange) übrig bleibende Messwerte 11.05.2010	44
Abbildung 36	Bodendruck in hPa (weiße Linien = Isobaren) und 500 hPa Geopotential (farbige Flächen) vom 11.05.2010 Europa aus [www.wetterzentrale.de]	44
Abbildung 37	240 (orange) übrig bleibende Messwerte 18.01.2007	45
Abbildung 38	Bodendruck in hPa (weiße Linien = Isobaren) und 500 hPa Geopotential (farbige Flächen) vom 18.01.2007 Europa aus [www.wetterzentrale.de]	45
Abbildung 39	Vergleich der Interpolationen, Abweichungen des Luftdrucks „Raster“-Interpolation u. Natural Neighbour-Interpolation 13.11.1872 um 12 Uhr in hPa	48
Abbildung 40	Koordinaten und Attribut „pp“ vom erstellten Layer	49
Abbildung 41	Druckwerte mit > „-9999“ und verkleinertes Gebiet (blau	50
Abbildung 42	Inhalt einer erstellten DBF-Datei	51
Abbildung 43	Makros zur Konvertierung	51
Abbildung 44	geostrophischer Wind am 13.11.1872 um 12 Uhr in m/s (Daten DWD 50	52
Abbildung 45	Bodenwindfeld in 10 m Höhe am 13.11.1872 um 12 Uhr in m/s (Daten DWD)	53
Abbildung 46	Wind-Vergleich, rekonstruierter Wind und Messung BAENSCH 1875, 01. November bis 13. November 1872 (Daten DWD)	53
Abbildung 47	Differenzen des geostr. Windes zwischen alter und neuer Rekonstruktion am 13.11. 1872 12 Uhr, Krakenarme sind wieder zu erkennen (Daten DWD)	54
Abbildung 48	Pegelverlauf Kiel und Husum	55
Abbildung 49	Wasserstand Ostsee 13.11.1872 um 12 Uhr	55
Abbildung 50	neuer rekonstruierter Pegelstand aus dem operationellen Modell des BSH und den Messungen von BAENSCH 1875 im November 1872 in Travemünde	56
Abbildung 51	Ablauf des Gesamtsystems	58