

Geologie und Geomorphologie Ostfrieslands im Überblick¹

Dietrich Hagen

1. Das Quartär

Das Quartär ist das jüngste chronostratigraphische System in der historischen Geologie. Es begann 2,588 Millionen Jahre vor heute und umfasst das jüngste Eiszeitalter sowie die geologische Gegenwart, das Holozän. In den Beginn des Jungpleistozäns fällt auch die Eem-Warmzeit ca. 126.000 – 115.000 J.v.h. (Tab. 1).

~ Alter (Mio. J.)	System	Serie	Stufe
0 – 0,0117	Quartär	Holozän	Holozän
0,0117 – 0,126		Pleistozän	Jungpleistozän (Tarantium)
0,126 – 0,781			Mittelpleistozän (Ionium)
0,781 – 1,806			Altpleistozän (Calabrium)
1,806 – 2,588			Gelasium
> 2,588	Neogen	Pliozän	Piacenzium

Tabelle 1: Die Stellung des Quartärs in der historischen Geologie

Nachdem die Antarktis seit ca. 38 Mio. Jahren vergletschert war, begann mit dem Gelasium auch ein Teil der Nordhalbkugel zu vereisen (schließlich 32 % des festen Landes, gegenüber heute 10 %). Das damit einsetzende Pleistozän ist durch einen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten gekennzeichnet. Mit dem Ende der Dryaszeit hielt die Erwärmung schließlich an, wenngleich es auch in der Nacheiszeit sowohl kühlere und trockenere (Präboreal, Boreal, Subboreal) als auch feuchtere und wärmere Phasen (Atlantikum = nacheiszeitliches Klimaoptimum und Subatlantikum) gegeben hat. Einen verlässlichen Klimazeiger bilden verschiedene aneinander anschließbare Pollenspektren, die deshalb auch die genaueste Gliederung der Nacheiszeit erlauben (Tab. 2).

Zeitraum	Serie	Klimastufe	Pollenzone
450 v. Chr. bis heute	Holozän	Subatlantikum	X
3.710 – 450 v. Chr.			Subboreal
		7.270 – 3.710 v. Chr.	
8.690 – 7.270 v. Chr.			Boreal
		9.610 – 8.690 v. Chr.	
10.730 – 9.700 ±99 v. Chr.	Pleistozän	Jüngere Dryaszeit	III

Tabelle 2: Die Entwicklung des Klimas in der Nacheiszeit

¹ Kurzfassung eines Vortrags zur Fachtagung Erdkunde im RPZ Aurich am 18.11.2010: „Erdkundeunterricht vor der Tür – Die Weichselkaltzeit in Ostfriesland“.

2. Die Weichsel-Kaltzeit

Die Weichsel-Kaltzeit (Weichsel-Glazial, Weichselzeit) ist die jüngste unter den hier zu nennenden nordmitteleuropäischen Vereisungen Elster, Saale und Weichsel. Sie begann vor ca. 115.000 Jahren und endete vor 11.700 Jahren. Ihr ging die Eem-Warmzeit (das Eem-Interglazial) voraus (s.o.). Der Name ist forschungsgeschichtlich zu erklären. Er wird ab 1909 in der Preußischen Geologischen Landesanstalt verwendet. Eine Typuslokalität gibt es nicht, Typusregion ist das untere Weichseltal. Ihr entspricht im Alpenraum die Würm-Kaltzeit, wie sie in anderen Regionen mit eigenen Forschungstraditionen auch unter anderen Namen auftritt (Waldai-Eiszeit, Wisconsin-Eiszeit usw.). Absolut wird das Eiszeitalter nach Sauerstoff-Isotopenstufen gegliedert, d.h. nach dem $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis bei der Einlagerung von Kalzit in die Schalen von Foraminiferen, die temperaturbeeinflusst abläuft.

Die Weichsel-Kaltzeit ist nach ihrem Temperaturgang in ein Frühglazial, Hochglazial (Pleniglazial) und Spätglazial sowie diese wieder in kältere Stadiale und wärmere Interstadiale zu unterscheiden. Phänotypisch wechseln bei Eisfreiheit boreale Wälder unterschiedlicher Zusammensetzung mit Gras- und Strauchtundren sowie mit völlig vegetationslosen Gebieten ab. Der ehemalige Eisrand erstreckte sich entlang einer Linie von Flensburg über Hamburg, südlich an Schwerin vorbei, dann Brandenburg, Luckenwalde und weiter nach Osten. Auf eine eingehende Charakterisierung des Jungmoränengebiets wird hier verzichtet, da der im vorgetragenen Zusammenhang betrachtete Raum eisfrei war und somit in der Weichselzeit zum Periglazial gehörte.

3. Das Periglazial

„Periglazial“ ist ein Klima-, Zeit- und Formbegriff kaltklimatischer, aber eisfreier Gebiete, deren Unterboden ganzjährig gefroren ist (Permafrost). Seine Jahresmitteltemperatur liegt unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Er tritt während und nach länger anhaltenden Vereisungen auf und umfasst eine Gemeinschaft morphologischer Formen, die sehr vielgestaltig sein können. Gemeinsam ist ihnen das wiederholte tägliche, jahreszeitliche oder jährliche Auftreten von Frier-Tau-Prozessen (Frostwechseln). Periglazial kann auch einen Raum bezeichnen, in dem der Dauerfrost im Untergrund anhält und nur eine Schicht von wenigen Zentimetern bis zu wenigen Metern auftaut. Der so aufgeweichte, wassererfüllte Boden wird Mollisol genannt (Abb. 1). In Grönland reicht der Dauerfrost bis 1300 m tief, ähnlich weit auch in Sibirien.

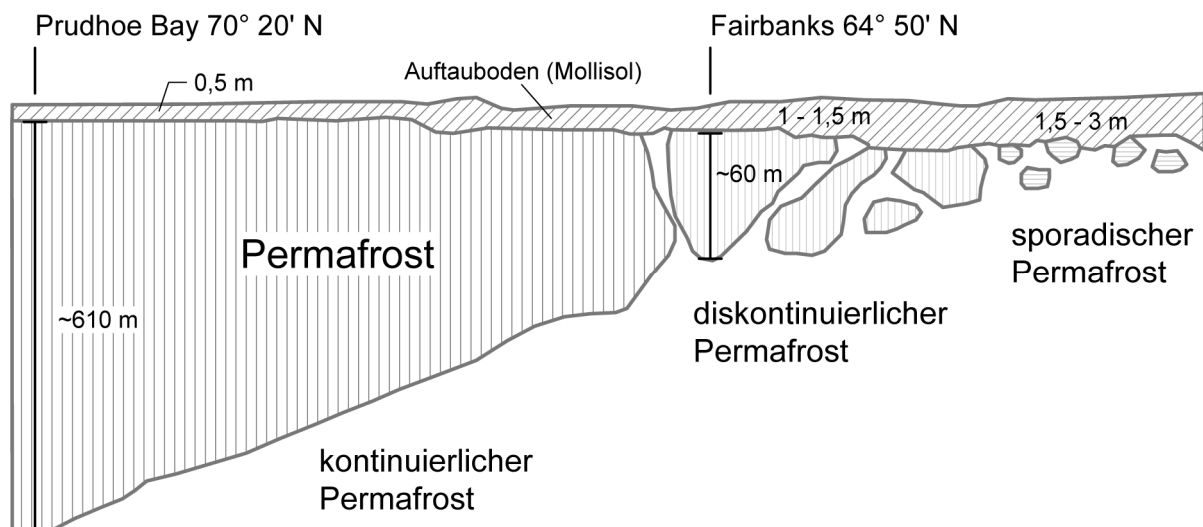


Abb. 1: Permafrost in Alaska (unmaßstäbliche Skizze, umgezeichnet nach: F.E. Nelson & L.W. Brigham, Climate Change, Permafrost, and Impacts on Civil Infrastructure, 2003).

Die unteren Eisschichten der Inlandsvereisung sind mit bis zu 10 % Geschieben befrachtet. Diese sind grundsätzlich unsortiert, aber über die Länge des Transportwegs verschieden verteilt (Tab. 3). Im eisfreien Gebiet liefern sie das Substrat der periglazialen Prozesse.

Äquivalent- durchmesser	Mittel-/S.- schweden	Dänemark	Nord- deutschland
Geschiebe und Kies (>2 mm)	38 - 30 %	8 - 4 %	4,3 - 3,9 %
Sand, Schluff, Ton (<2 mm)	62 - 70 %	92 - 96 %	95,7 - 96,1 %

Tabelle 3: Zunahme des Feinmaterials im Substrat von Norden nach Süden.

Häufiger Frostwechsel ist die wichtigste Ursache der Denudation (Abtragung). Im Boden vorhandenes Wasser friert senkrecht zur Bodenoberfläche als Nadel- oder Kammeis auf und hebt dabei gegebenenfalls vorhandene Bodenteilchen an. Beim Tauen sinken diese der Schwerkraft folgend zurück und verlagern sich damit hangabwärts. Das Ausmaß der Bewegung kann bis zu 10 cm/Jahr betragen. Dieser Prozess setzt schon bei 2° Hangneigung ein. Man schätzt, dass dadurch die Reliefspannung z.B. der Dammer Berge, eines Stauchmoränenzugs der Saalevereisung, um bis zu 50 m verringert wurde, errechnet aus einer Erniedrigung des Geländes um 25 m und der Auffüllung der Täler um das gleiche Maß.

Ein oberflächlich aufgetauter Permafrost gefriert spätestens am Ende des Sommers von oben her neu, so dass zwischen ihm und dem Dauerfrostuntergrund ein nicht gefrorener Bereich bestehen bleibt. Aufgrund des Dichteunterschieds können sich dann sogenannte Würge-, Taschen- oder Brodelböden bilden.

Frostspalten sind Kontraktionsrisse, die entstehen, wenn sich gefrorenes Bodenwasser bei weiterer Abkühlung zusammenzieht. Beim Auftauen füllen sich diese Spalten mit Schmelzwasser und Bodenteilchen, die alsbald wieder gefrieren und dadurch die Spalte verbreitern, so dass ein Eiskeil entsteht. Eiskeile können sich miteinander verbinden und an der Oberfläche als polygonale Netze sichtbar werden.

Pingos (Inuktitut für Hügel, schwangere Frau) entstehen durch Volumenzunahme des Wassers bei festem Aggregatzustand mit einem vertikalen Wachstum von annähernd 20 cm im Jahr. Sie können je nach Typ 5-20 m Höhe und 40-100 m Durchmesser bei geschlossenen Systemen oder 40-50 m Höhe und 100-1000 m Durchmesser bei offenen Systemen erreichen. Ein geschlossenes System liegt vor, wenn die Bodenporen über Permafrost mit Wasser gefüllt sind und der benachbarte Boden gefroren ist. Im Winter gefriert der Boden über dem Bodenwasser, dadurch wird ein kryostatischer Druck auf das Wasser ausgeübt. Da Wasser aber nicht komprimiert werden kann, gefriert es zu einer Eislinse und drückt die überlagernden Bodenschichten in die Höhe. Wird hingegen das Wasser in die oberen bereits gefrorenen Bodenschichten von unten her nachgeführt und friert an den bestehenden Eiskernen an, entsteht Injektionseis (offenes System). Sind solche Eiskerne von Torf

umschlossen, spricht man von Palsas oder Thufuren. Sie sind hauptsächlich in periglazialen Randgebieten und diskontinuierlichem Permafrost vertreten.

Fluviatil transportierter Sand wird auf Ufersäumen und Terrassen aufgeweht und bildet Dünen, die heute i.d.R. durch Pflanzenwuchs festliegen (fossilisiert sind). Im norddeutschen Tiefland liegen die Dünengebiete häufig auf den Ostseiten der Flüsse. Ursache sind im Spät- und Postglazial häufig wehende Westwinde. In Ostfriesland gibt es Dünen z.B. östlich Sandhorst und Flugsandflächen östlich von Aurich. Im NSG Holle Sand in der Gemeinde Uplengen liegt ihr größtes zusammenhängendes Gebiet und zugleich der höchste Punkt Ostfrieslands (NN +18,5 m).

Aus den Talauen und Moränengebieten wird während der Eiszeit schluffiger Staub vom Wind aufgenommen und flächenhaft abgelagert. Dieser Löss überdeckt das Relief und nivelliert Geländeformen. Löss finden sich häufig im Lee von Gebirgen, jedoch keineswegs ausschließlich dort.

Die Dauergefrorenis verhindert ein tieferes Eindringen des Wassers in den Boden, so dass der Niederschlag und anderes obertägiges Wasser ungehindert abläuft und ein Tal ausformen kann. Nach dem Ende des Periglazials taut der Permafrost auf und die Gerinne fallen unter die Oberfläche ab bzw. versiegen. Zurück bleiben sogen. Trockentäler.

Auf die Erwähnung weiterer Periglazialerscheinungen wird hier verzichtet, da sie kaum oder nicht in Ostfriesland vorkommen oder nur schwach ausgebildet sind.

4. Das Relief Ostfrieslands

Die klassische Modellvorstellung der glazialen Serie (Albrecht Penck) taugt wegen der langen Periglazialzeit (~103.000 J.) wenig für Ostfriesland: Endmoränen und Sander treten nicht auf, ein Urstromtal bzw. eine Schmelzwasserabflusssenke ist nur wenig ausgeprägt und liegt überwiegend nicht in Ostfriesland.

Wesentliches Merkmal des Reliefs ist ein von Norden bis Oldenburg (NW-SO) streichender saalezeitlicher Grundmoränenrücken mit flachem Scheitel, der durch mehr oder weniger senkrecht dazu verlaufende Parallelrücken gegliedert ist. Die dazwischen liegenden Tälchen sind häufig vermoort, wobei diese Moore auf den Geestscheitel übergreifen und zusammenwachsen können (ostfriesische Zentralmoore). Die ältesten Gesteine sind elsterzeitliche Schmelzwassersande sowie endelsterzeitliche Staubeckensedimente, die Lauenburger Schichten. Diese werden bis heute für die Herstellung von Grobkeramik genutzt. Weithin verbreitet ist die saalezeitliche Grundmoräne sowie darüber gelagerter Flugsand aus der End-Weichselzeit und dem beginnenden Holozän. Dazwischen finden sich in geringem Umfang weichselzeitliche Niederterrassensande und -kiese (s. Quartärgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1:500.000, Hannover 1993). Die Marschen und übrigen Landschaftsteile bleiben hier außer Betracht.

Das Gewässernetz lässt das Relief der ostfriesischen Halbinsel deutlich hervortreten, denn die Wasserscheiden zwischen Ems und Nordsee einerseits und Nordsee und Weser andererseits verlaufen ziemlich gestreckt. Sie werden allerdings durch die künstlichen Gewässer des Ems-Jade-Kanals und des Nordgeorgsfehnkanals durchbrochen (Abb. 2). Die höchsten Höhen liegen im NSG Holle Sand (NN +18,5 m) und im Heseler Wald (NN +17 m), der tiefste Punkt im ehemaligen, 1774 trocken gelegten Freepsumer Meer in der Krummhörn bei NN -2,5 m. Die Fläche der morphologi-

schen Einheit Ostfriesland zwischen Ems und Weser beträgt ohne Inseln rd. 5000 qkm.

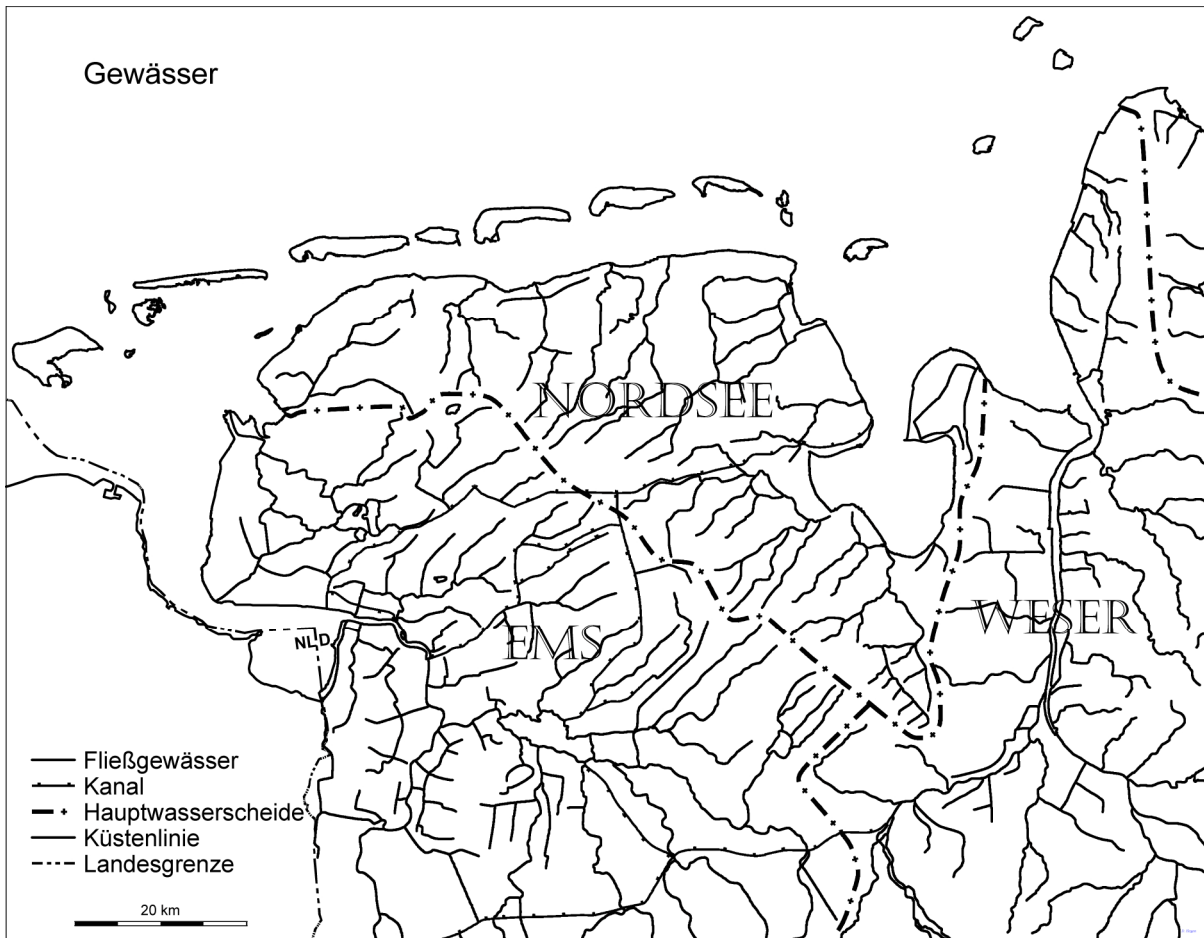


Abb. 2: Gewässer und Wasserscheiden in Ostfriesland

Das oben benannte Parallelrinnensystem hat bereits die Saale-Kaltzeit hinterlassen. Es zeichnet die Richtung des vorrückenden sowie des rückschmelzenden Eises nach. Man muss sich dabei vom Bild des starren Eiskörpers lösen. Dieser ist beweglich, und jeder morphologisch sichtbare Moränenwall bezeugt nur ein relatives Gleichgewicht zwischen Eisanlieferung und frontalem, besser: flächenhaftem Abschmelzen der Eisrandzone. Tatsächlich zerfällt das Eis in mehr oder weniger große Blöcke, bis es schließlich ausgetaut ist.

Weitere geomorphologische Merkmale Ostfrieslands, auf die hier nicht eingegangen werden kann, sind Moorrandsenken, Marschen, die Küste einschließlich anthropogener Landgewinnung, das Watt, die Barriere-Inseln sowie die durch menschliche Einwirkung entstandenen Formen des Torfabbaus und die Bodenentnahmen sowie z.T. erheblichen Eingriffe in das Abflussregime von Flüssen.

5. Zu den Pingos in Ostfriesland

Eine Arbeitsgruppe des NIGE (Niedersächsisches Internatsgymnasium Esens) hat unter der Leitung von StR A. Heinze eine große Zahl von ehemaligen Pingos im Raum Esens identifiziert und auf einer Karte im Maßstab 1:50.000 im Esenser Museum „Leben am Meer“ sowie im Internet veröffentlicht. Darin wird zwischen gesicherten und vermuteten Formen unterschieden. Die Suche nach weiteren Formen ähnlicher Genese kann unterstützt werden, wenn ein hochauflösendes digitales

Geländemodell zur Verfügung steht, wie es die LGN² vorhält. Das DGM5 mit einer Gitterweite von 10 m und einem maximalen Abstand zur Geländeoberfläche von $\pm 0,5$ m erscheint dafür geeignet. Zusätzlich können die Höhenlinien, abgeleitet aus dem DGM50, die Reliefinformation präzisieren. Im Beispiel entsprechen: rot = NN $\pm 0,0$ m, weiß = 1-m-Äquidistanz, schwarz = NN +5,0 m. Die Testfläche ist 9 x 5 km groß, die Karte genordet (Abb. 3). Auch bei sehr zurückhaltender Suche erscheinen wenigstens 31 weitere Hohlformen Pingo-verdächtig und können auf ihre tatsächlichen Eigenschaften untersucht werden.

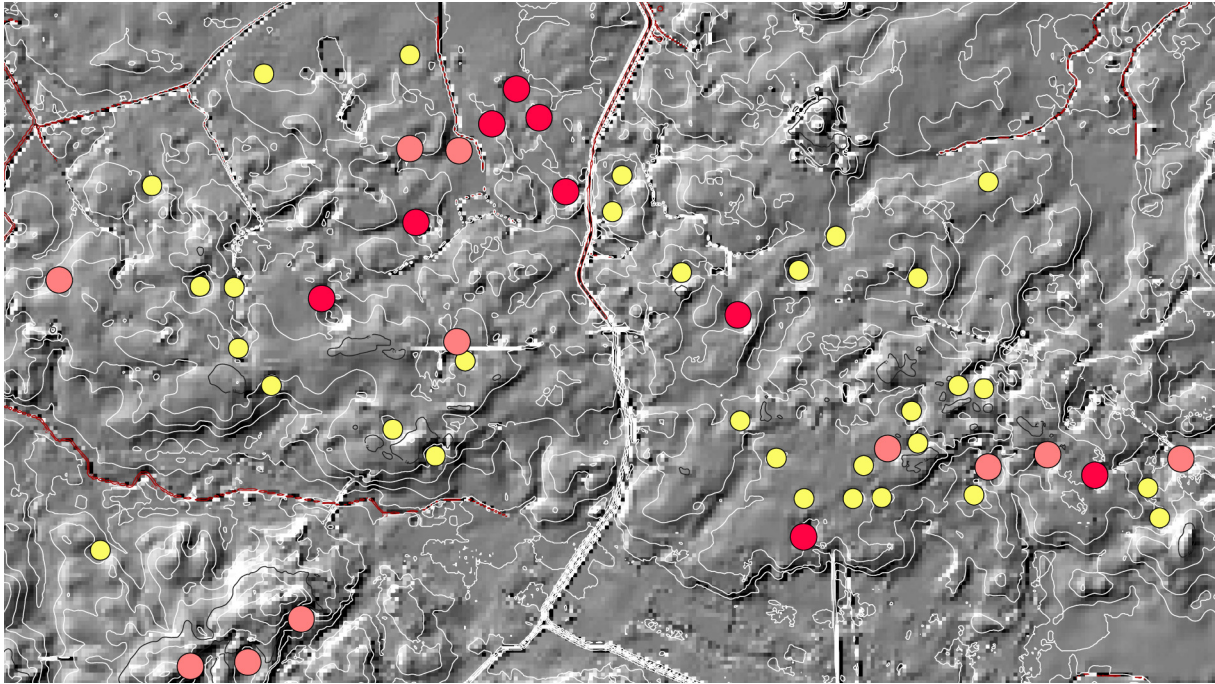


Abb. 3: Gesicherte und vermutete Pingoreste im Raum Esens, Ostfriesland.

rot: gesicherter Pingo, nach NIGE-AG	9
hellrot: vermuteter Pingo, nach NIGE-AG	11
gelb: neuer Pingo-Verdacht	31
zusammen:	51

Der Versuch wird durch das Beispiel der niederländischen Pingo-Forschung bestätigt. Dort wurden auf einer gleich großen und morphologisch wie bodenkundlich ähnlich ausgestatteten Fläche in der Gemeinde Zwaagwesteinde, Provinz Friesland, mindestens 72 Pingos (Pingoüberbleibsel) identifiziert. Es sei betont, dass damit kein Beweis einer wie auch immer formulierten Hypothese angestrebt, sondern ein heuristisches Verfahren vorgestellt wird, das eine größere Zahl von Neufunden erwarten lässt.

² Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, Hannover.