

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Erchinger, Heie F.; Coldewey, Hans-Gerd
Deichvorland: Seine Entwicklung zwischen Ems und Jade
und die Untersuchungen im Forschungsvorhaben -
Erosionsfestigkeit von Hellern -

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101352>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Erchinger, Heie F.; Coldewey, Hans-Gerd (1992): Deichvorland: Seine Entwicklung zwischen Ems und Jade und die Untersuchungen im Forschungsvorhaben - Erosionsfestigkeit von Hellern -. In: Die Küste 54. Heide, Holstein: Boyens. S. 169-187.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Deichvorland: Seine Entwicklung zwischen Ems und Jade und die Untersuchungen im Forschungsvorhaben „Erosionsfestigkeit von Hellern“

VON HANS-GERD COLDEWEY UND HEIE F. ERCHINGER

Zusammenfassung

Als Heller werden in Ostfriesland die zwischen MThw und dem Deich- bzw. Dünenfuß gelegenen Salzwiesen bezeichnet. Sie sind durch Ablagerung von schlickig-schluffigen Sedimenten in beruhigten Randzonen des Watts, vielfach in Lahnungsfeldern, entstanden. Ihre Flächengröße hat sich seit 1950 um etwa 30 % vermehrt. Nicht künstlich gesicherte Heller liegen heute infolge größer werdender hydrodynamischer Belastung fast ausschließlich im Abbruch.

Höhenvermessungen der ostfriesischen Hellerflächen in den 60er Jahren und regelmäßige Profilaufnahmen seit Anfang der 80er Jahre haben die Ermittlung der jährlichen Sedimentationsraten für unterschiedliche Hellerbereiche ermöglicht. Sie betragen unter günstigen Bedingungen 2 bis 4 cm/a.

Die große Bedeutung der Heller für den Küstenschutz und die vom Naturschutz angestrebte Wende der Bewirtschaftung im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer waren die Auslöser für ein interdisziplinäres KFKI-Forschungsvorhaben mit 5 Teilprojekten. Umfangreiche Untersuchungen werden von Küsteningenieuren, Botanikern, Bodenkundlern und Geologen durchgeführt. Erste Ergebnisse dieses bis 1994 laufenden Projektes über vergleichende Überflutungsdauer auf begrüpten und unbegrüpten Hellern, Hellerkantenabbruch in Abhängigkeit von der Seegangenergie und der Sedimentation auf Hellerflächen werden vorgestellt.

Summary

In East Friesland, the salt marshes between MHT and the dikes or dunes are termed Hellers. They are formed through the deposition of mud and clays in stagnant inter-stitial zones of the tidal flats often located in land reclamation areas. Their surface area has increased approximately 30 % since 1950. Not artificially protected Hellers are generally eroding due to increasing hydrodynamical forces.

The yearly deposition rates for different Heller reaches could be determined based on piling data from 1960 and repetitive piling since the beginning of the 1980's. It was found to be between 2 to 4 cm/year under good conditions.

An interdisciplinary KfKI program involving 5 research projects is being conducted until 1994 due to the importance of the Hellers for coastal protection and desired changes in the context of environmental protection of the Lower Saxony Tidal Flats National Park. Extensive investigations were conducted by coastal engineers, botanists, soil experts and geologists.

In this paper, first results are presented for the relative times of submergence of drained and undrained Hellers, for the relationship of Heller recession to wave energy and the sedimentation of Heller areas.

Inhalt

1. Einführung und Begriffsbestimmung	170
2. Die Entstehung und weitere Entwicklung von Hellerflächen	171
3. Die Heller am Festland und auf den Inseln	172

3.1	Der Flächenbestand und seine Entwicklung	172
3.2	Höhenwachstum der Heller	174
3.3	Jährliche Sedimentationsraten in Abhängigkeit von der Geländehöhe	175
3.4	Die künftige Entwicklung des Deichvorlandes	177
4.	Die Bedeutung des Deichvorlandes für den Küstenschutz	177
5.	Das Forschungsvorhaben mit 5 Teilprojekten	177
5.1	Die Projektgruppe und die Teilprojektgruppen	177
5.2	Forschungsinhalt der Teilprojekte	178
5.2.1	Koordination und Logistik, Naturmessungen, hydrologische und morphologische Untersuchungen	178
5.2.2	Botanische Untersuchungen	178
5.2.3	Bodenkundliche Untersuchungen	179
5.2.4	Modellversuche im Seewasserversuchskanal	179
6.	Untersuchungsgebiete	179
6.1	Lage der Untersuchungsgebiete	179
6.2	Versuchsflächen Leybucht	181
6.3	Buscherheller	181
6.4	Neßmerheller	181
7.	Erste Ergebnisse zum Teilprojekt „Logistik, hydrologische und morphologische Untersuchungen“	183
7.1	Ziel der Untersuchungen	183
7.2	Wasserstände auf begrüpten und unbegrüpten Hellern	184
7.3	Hellerkantenabbruch in Abhängigkeit von der Seegangsenergie	184
7.4	Sedimentation auf Hellerflächen	185
8.	Schriftenverzeichnis	186

1. Einführung und Begriffsbestimmung

Die zwischen der MThw-Linie und dem Deichfuß bzw. dem Dünenfuß auf Teilen der Inselrückseiten gelegenen Salzwiesen werden in Ostfriesland als „Heller“ bezeichnet. Als Deichvorland sind die Heller wichtiger Bestandteil des aktiven Küstenschutzes. Gleichzeitig sind sie als Salzwiesen ein einzigartiger und besonders schützenswerter Biotop. Obwohl die erhebliche Bedeutung der Heller für den Küstenschutz seit langem geschätzt wird, fehlen bisher detaillierte Untersuchungen über Wechselwirkungen zwischen den hydrodynamischen Beanspruchungen und den widerstehenden Kräften, die von Lage, Höhe, Bodenaufbau, Bodeneigenschaften, Bewuchs und Nutzung abhängig sind.

Seit Menschengedenken sind die fruchtbaren Marschflächen von den Küstenbewohnern gern genutzt worden, zwischen Ems und Jade fast ausschließlich als Weideland. Die Nutzung ist im letzten Jahrzehnt im Interesse des Naturschutzes sowohl hinsichtlich des Flächenanspruchs als auch der Intensität beträchtlich reduziert worden. Aber im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer wird vom Naturschutz die völlig natürliche Entwicklung dieser Flächen mit Aufgabe jeglicher Beweidung und Begrüpfung angestrebt. Die über ein Jahrhundert alten Erfahrungen mit Hellerbewirtschaftung und -sicherung sind plötzlich in Frage gestellt. Einseitige, z. T. als übertrieben bezeichnete Forderungen haben die Sorge aufkommen lassen, ob diese Wendung in der Bewirtschaftung für den Bestand und die Weiterentwicklung der Heller vertretbar ist. Das vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) finanzierte KFKI-Forschungsvorhaben soll dazu beitragen, die bestehenden Kenntnisse zu erweitern, die natürlichen Vorgänge zu analysieren und zu registrieren und die Einflüsse verschiedener natürlicher und anthropogener Faktoren auf die Erosionsfestigkeit der Heller zu ergünden. Ziel ist es, eine möglichst weitgehende Entwicklung im Sinne des Naturschutzes zu ermöglichen, aber den Bestand und die Funktion für den Küstenschutz zu

erhalten. Daher sollen Grundlagen für einen Ausgleich divergierender Interessen zwischen Natur- und Küstenschutz geschaffen und als Ergebnis des Forschungsvorhabens „Empfehlungen für das Management des Hellers“ erarbeitet werden.

2. Die Entstehung und weitere Entwicklung von Hellerflächen

In beruhigten Randzonen und Buchten des Watts können die feinen Schwebstoffe im Wasser bei geringer Wasserbewegung während der Hochwasserzeit zu Boden sinken und sich ablagern. Wenn die frischen Sedimentschichten beim Trockenfallen von Kieselalgen besiedelt werden, bewirken diese Diatomäen-Häute gleichzeitig eine gewisse Sicherung gegen erneute Aufwirbelung. Allmählich erhöhen sich die Wattflächen im Verlandungsgebiet auf diese Weise. Das vegetationsarme Watt geht dabei mit der Zeit in eine von salzverträglichen Pflanzen wie Queller (*Salicornia europaea*) und Schlickgras (*Spartina anglica*) zunächst in schütterem, später in geschlossenem Bestand bedeckte Fläche über (Abb. 1). Durch weitere Sedimentation entwickeln sich diese Anwachsflächen zu Salzwiesen mit vielfältigem Bewuchs salzverträglicher Pflanzen. Die Pflanzengesellschaften der Salzwiese ordnen sich nach ihrer unterschiedlichen Salztoleranz und somit nach Überflutungshäufigkeit und -dauer in die untere Andelzone und die obere Schwingelzone (Abb. 1, ERCHINGER 1985, 1993).

Bei den derzeitigen hydrologischen und meteorologischen Verhältnissen herrscht an der ostfriesischen Küste mit Ausnahme je einer kurzen Küstenstrecke in der südlichen Leybucht und westlich der Jade im Wellenschatten von Minsener Oog ausschließlich Abbruchtendenz und keine natürliche Auflandung. Mit dem Bau von Lahnungsfeldern wird versucht, die

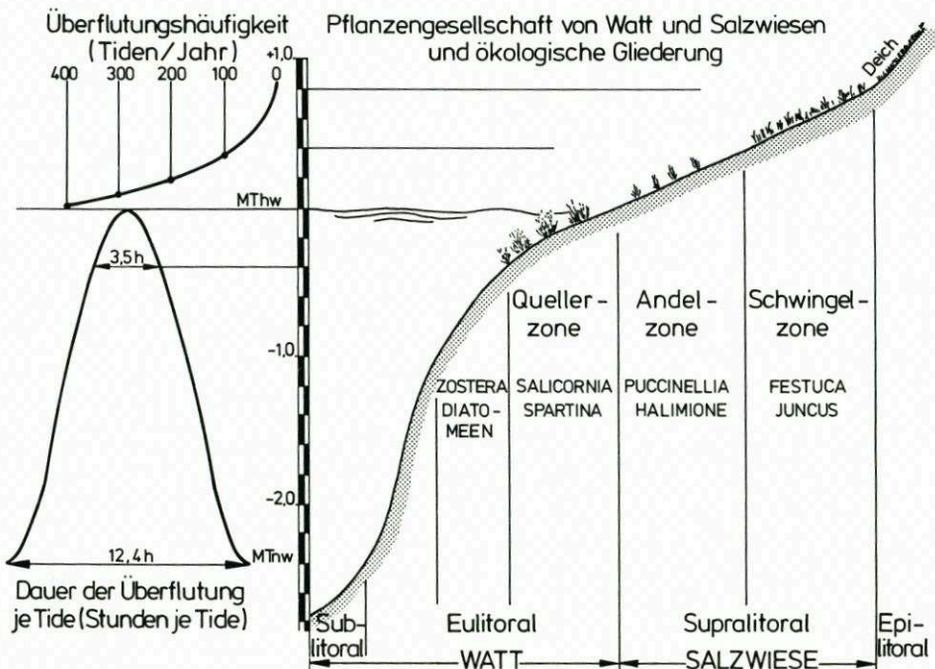


Abb. 1: Watt und Salzwiesen mit ihren Pflanzengesellschaften in Abhängigkeit von Überflutungsdauer und Überflutungshäufigkeit sowie ihrer ökologischen Gliederung (ERCHINGER, 1985, 1993)

Sedimentation in diesen zu fördern und dem Abbruch der Heller entgegenzuwirken. Auf hochliegendem Watt werden seit Jahrhunderten Buschlahnungen für die Schaffung der Sedimentationsfelder gebaut. Auf niedrig gelegenen Wattflächen sind häufig schwerere Bauweisen erforderlich, damit die Lahnungen den Wasserkräften standhalten können. Lahnungen aus Natursteinen oder Betonformteilen werden hierfür eingesetzt.

Die Inselheller unterscheiden sich deutlich von den Hellern an der Festlandsküste:

- Sie haben sich im allgemeinen im Wind- und Wellenschatten der Dünen gebildet und werden daher auch weniger von Wellen beansprucht,
- sie weisen aufgrund des geringen Schlickfalls nur eine dünne Kleiauflage auf,
- aufgrund teilweiser Sandaufwehungen variieren Höhenlage und Bodenzusammensetzung,
- in den an die Dünen angrenzenden Hellerbereichen führt der Austritt des Grundwassers der Süßwasserlinse zu einer unterschiedlich starken Verbrackung des Wassers und entsprechend zu einem breiten Artenspektrum von Pflanzen- und Tierwelt,
- ihr Bewuchs ist aufgrund der wechselhaften Höhen- und Wasserverhältnisse und des insgesamt nährstoffärmeren sandigen Bodens im allgemeinen artenreicher, aber in seinen Ausprägungen vielfach schwächer und weniger dicht,
- der sandige Untergrund weist eine größere Wasserdurchlässigkeit auf und verhindert in abflußlosen, flachen Geländemulden langfristige Wasserbedeckungen und ein völliges Absterben der Vegetation.

3. Die Heller am Festland und auf den Inseln

3.1 Der Flächenbestand und seine Entwicklung

An der Küste Ostfrieslands und des nördlichen Jeverlandes finden sich insgesamt rd. 4400 ha Hellerflächen, davon 1960 ha auf den Inseln und 2440 ha an der Festlandsküste.

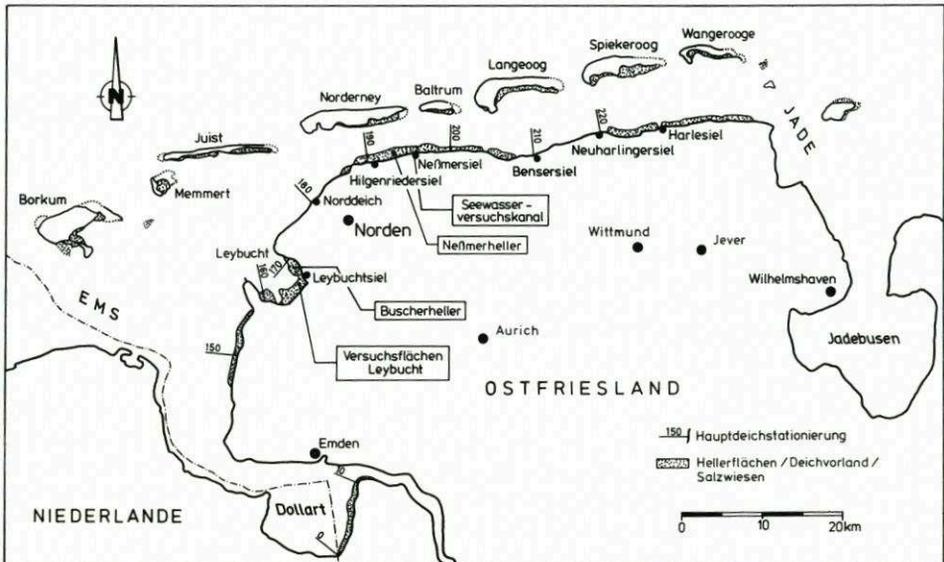


Abb. 2: Insel- und Festlandsheller zwischen Ems und Jade sowie Untersuchungsgebiete des Forschungsvorhabens (Übersichtskarte)

Darüber hinaus gibt es 860 ha Sommerpolderflächen, die dem täglichen Tideeinfluß zwar entzogen sind, die aber im Winterhalbjahr von Zeit zu Zeit auch von Salzwasser überflutet werden. Diese Heller- und Sommerpolderflächen machen rd. 11 % der Wattfläche zwischen Inseln und Festland aus (Abb. 2).

Seit 1950 ist die Salzwiesenfläche an der Festlandsküste Ostfrieslands um etwa 30 % gestiegen. Der Zuwachs konnte durch Maßnahmen des aktiven Küstenschutzes gefördert und durch Sedimentation in Lahnungsfeldern erzielt werden. Ein weiterer Zuwachs ist kaum zu erwarten, da der aktive Küstenschutz auf eine Bestandserhaltung zurückgeführt wurde und eine natürliche Verlandung auf zwei Küstenstrecken von geringer Ausdehnung beschränkt ist.

Statt dessen herrscht auf nahezu der gesamten Küstenstrecke Vorlandabbruch. Dort hat sich ein mehrere Dezimeter bis über ein Meter hohes Kliff gebildet. Der stärkste Abbruch wird seit 1985 auf ungeschützten Strecken des Neßmerhellers mit 3 m/a registriert (s. Abschn. 7.3). An seinem Westende sind von 1960 bis 1985 150 m abgebrochen (ERCHINGER, 1987).

Auf mehr als 20 km ostfriesischer Küste liegt der Deich völlig schar und weist kein Deichvorland auf. Die exponierte Lage und das niedrige vorgelagerte Watt haben ständig eine starke Seegangsbelastung des Vorlandes ermöglicht, so daß dieses immer weiter abbrach. Bei Norddeich ist das noch 1650 vorhandene Vorland in der Folgezeit auf gesamter Länge verloren gegangen. Nach der Orkanflut 1717 konnte die 7 km lange Deichlinie westlich von Norddeich nicht mehr gehalten werden und mußte nach sechs schweren Deichbrüchen zurückverlegt werden. Der ausgedeichte, bis zu 450 m breite Streifen aber wurde in wenigen Jahrzehnten wieder völlig abgebrochen.

Die Salzwiesenflächen auf den ostfriesischen Inseln sind das Ergebnis ehemals umfangreicher Auflandung (EHLERS, 1988). In den letzten Jahrzehnten hat sie sich vor allem auf den Ostplaten von Spiekeroog und Norderney ausgedehnt. Im übrigen überwiegt heute an den südlichen Vorlandkanten der Inseln der Abbruch. Seit 20 Jahren ist dieser besonders stark auf den Inseln Juist, Langeoog und Wangerooge. Auf Langeoog ist der Heller am Ostende z. B. seit 1969 um insgesamt 50 m abgebrochen. Die Abbruchrate hat von 2 m/a um 1970 auf 4,3 m/a um 1990 zugenommen.

Verursacht werden die Hellerabbrüche durch größere hydrodynamische Belastungen. Häufigere Starkwind- und Sturmweatherlagen aus Südwest führen im ostfriesischen Wattenmeer vielfach zu Kantenfluten mit nur wenige dm höheren Wasserständen, aber zu stärkerer Seegangsbelastung auf dem Watt und an den Hellerkanten. Der Anstieg des Tidehochwassers bei gleichbleibender Watthöhe ermöglicht eine stärkere Seegangsentwicklung. Von 1960 bis 1990 ist beispielsweise das MThw für Norderney um 6 cm von NN+1,12 auf 1,18 m gestiegen. Bei hohen Wattlagen von etwa NN+0,9 m vor der Hellerkante ist dadurch die Wassertiefe bei MThw um 6 cm bzw. 27 % gestiegen. Wenn die durch diese beiden Faktoren bedingte höhere hydrodynamische Belastung ferner zu einer Erosion des Wattbodens geführt hat, so bewirkt diese morphologische Veränderung eine weitere Verstärkung des Seegangs und eine stärkere Belastung der Hellerkante. Ein Watthöhenabtrag ist zwar nicht durchgängig festzustellen, aber vor dem Heller in Hilgenriedersiel betrug der Abtrag seit 1930 rd. 50 cm und seit 1960 30 cm (ERCHINGER, 1992). Am Ostende Langeoogs hingegen hat sich die Watthöhe von 1960 bis 1990 nicht verändert.

3.2 Höhenwachstum der Heller

Starkwind- und Sturmweatherlagen mit erhöhten Tidewasserständen wirken jedoch nicht nur zerstörend auf die Hellerkante, sondern sie tragen bei Hellerüberflutung auch zur Erhöhung der Hellerflächen bei. Durch den stärkeren Seegang und die Tideströmung werden die schlickig-schluffigen Sedimente des Wattbodens in stärkerem Maße aufgewirbelt und weitertransportiert. Mit der Windgeschwindigkeit nehmen auch die Seegangsenergie und damit die Turbulenzintensität zu, die zu einem erhöhten Schwebstoffgehalt führen. Bei Windstärke 6 bis 7 wurde am Neßmersieler Außentief ein Schwebstoffgehalt von 640 mg/l gemessen (ERCHINGER, COLDEWEY, PROBST, 1986).

Über dem Deichvorland gibt der Seegang bei geringerer Wassertiefe einen Großteil seiner Energie ab und läßt auch einen Teil der mitgeführten Schwebstoffe zur Absetzung kommen. Dabei kommt hinter der Hellerkante zunächst das gröbere Material aus Feinsand, Grobschluff und Muschelschalen zur Ablagerung, während das feinschluffige, tonige Material im deichnahen Bereich sedimentiert.

Sedimentation [cm/Jahr]

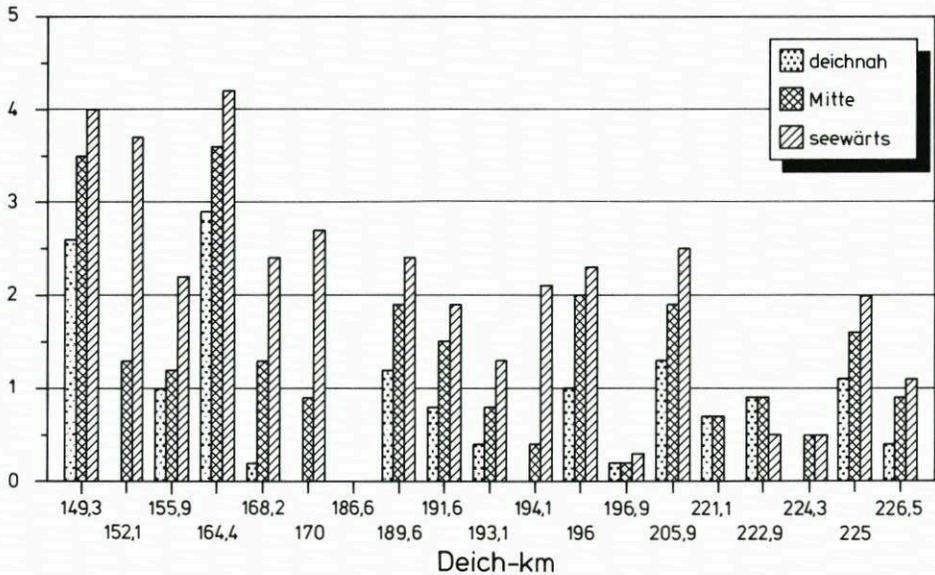


Abb. 3: Mittlere jährliche Sedimentation zwischen 1960 und 1985 auf den Hellern an der Festlandsküste zwischen Deich-km 149,3 in Krummhörn-Upleward und 226,5 in Wittmund-Harlesiel

Das Höhenwachstum der Deichvorländer an der ostfriesischen Küste wurde durch einen Vergleich von 20 regelmäßig vermessenen Vorlandprofilen mit den 1:5000er Wattkarten der Forschungsstelle Küste, Norderney, aus den 60er Jahren ermittelt. Für den Raum Hilgenriedersiel konnten sogar Vermessungen von 1930 verwertet werden. Die untersuchten Hellerflächen sind vornehmlich in schützenden Lahnungsfeldern aufgewachsen. Die Sedimentation auf den Hellern zwischen Deich-Km 149,3 (Krummhörn-Upleward) und 226,5 (Wittmund-Harlesiel) wird getrennt nach Werten für den deichnahen, den mittleren und den deichfernen oder seawärtigen Hellerbereich wiedergegeben (Abb. 3).

Der Heller in der Leybucht vor dem Störtebekerdeich ist von 1960 bis 1984 relativ gleichmäßig von i. M. NN +0,9 um etwa 90 cm aufgewachsen (Abb. 4a). Für den Heller bei

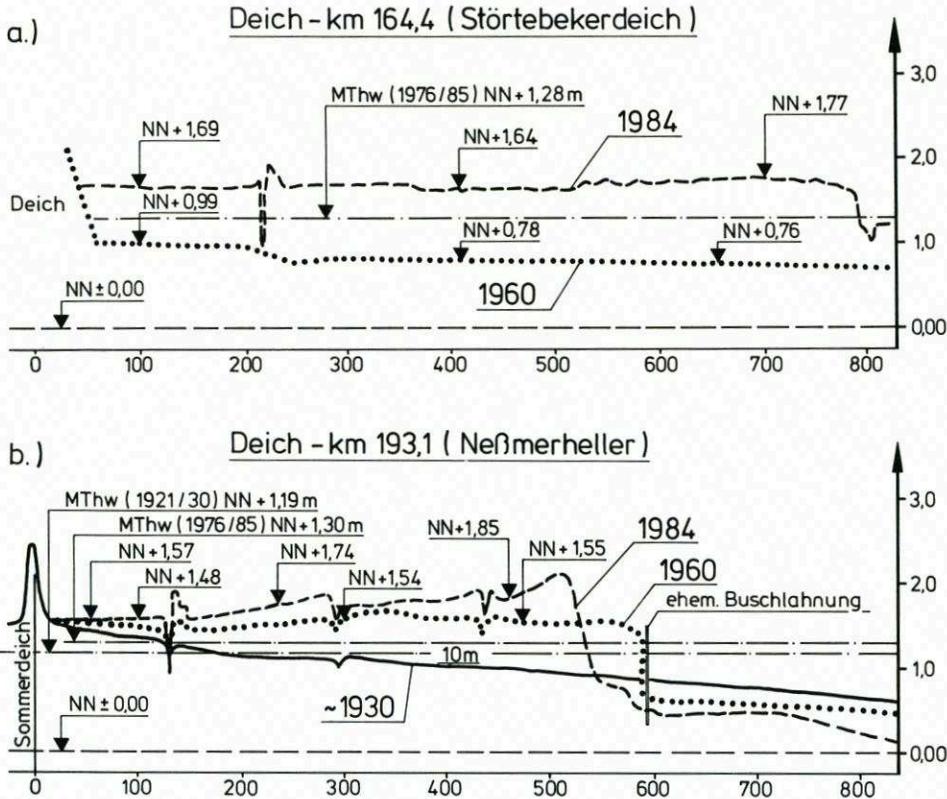


Abb. 4: Deichvorlandprofile: a) von 1960 und 1984 vor dem Störtebekerdeich im Bereich der Versuchsflächen Leybucht, b) von 1930, 1960 und 1984 auf dem Neßmerheller (ERCHINGER, 1987)

Hilgenriedersiel kann die Entwicklung anhand der Zustände von 1930, 1960 und 1984 nachgezeichnet werden. 1930 war der Heller noch relativ schmal, danach konnte das Vorland auf etwa 600 m Breite in Lahnungsfeldern aufwachsen. 1960 hatte das etwa 600 m breite Vorland eine mittlere Höhe von NN+1,5 m und war in gesamter Breite der Andelzone zuzuordnen. Bis 1984 wurde der Heller im äußeren Bereich bis über NN+2 m erhöht, während er im deichnahen Bereich noch auf NN+1,57 m liegt und somit ein mittleres Gegengefälle zum Deich von etwa 1:1000 aufweist (Abb. 4b). Während der deichnahe Bereich noch zur Andelzone zu rechnen ist, ist der Heller im mittleren und seewärtigen Bereich der Schwingelzone zuzuordnen.

3.3 Jährliche Sedimentationsraten in Abhängigkeit von der Geländehöhe

Unter äußerst günstigen Bedingungen mit hohem Sedimentangebot beträgt die maximale Sedimentationsrate auf niedrigen Flächen nach Abb. 3 etwa 4 cm/a. An der Nordküste erreicht die Sedimentation unter günstigen Bedingungen auf dem äußeren Hellerstreifen etwa 2 cm/a, im deichnahen Bereich jeweils um 1 cm/a. Bei ungünstigen Sedimentationsbedingungen fallen die Werte auch auf den äußeren Hellern z. T. erheblich unter 1 cm/a. Auch mit

zunehmender Hellerhöhe gehen die Sedimentationsraten deutlich zurück, und zwar auf älteren Hellern, die mehr als 90 cm über MThw liegen, gegen Null. Flächen dieser Höhenlage werden jährlich i. M. 10mal überflutet, während die Höhenlage MThw + 60 cm i. M. etwa 30mal und die Höhenlage MThw + 35 cm mehr als 100mal mit Wasser bedeckt wird.

Auf den Hellern der ostfriesischen Inseln liegt die Sedimentationsrate infolge des geringen Schwebstoffgehalts im Überflutungswasser wesentlich niedriger.

Das Höhenwachstum eines Hellers entwickelt sich nach einem negativen Regelkreislauf (PETHICK, 1981, in DIECKMANN, 1988). Durch die Ablagerung von Sediment und in geringem Umfang auch durch Humusbildung nimmt die Geländeöhe auf dem Heller im Laufe der Zeit zu, während die Höhe und Verweildauer der Überflutungen immer mehr abnehmen. Als oberer theoretischer Grenzwert für das Höhenwachstum von Hellern kann nach DIECKMANN (1988) das MHThw als Mittelwert der jährlich höchsten Sturmflutwasserstände angesehen werden. Die Profilauswertungen zeigen jedoch, daß in den vorliegenden Fällen ein derartig hohes Niveau von etwa 1,8 m über MThw für den Untersuchungsbereich bei weitem nicht erreicht wird. Bereits bei Höhen von 1 m über MThw ist die weitere Auflandung verschwindend gering (Abb. 5).

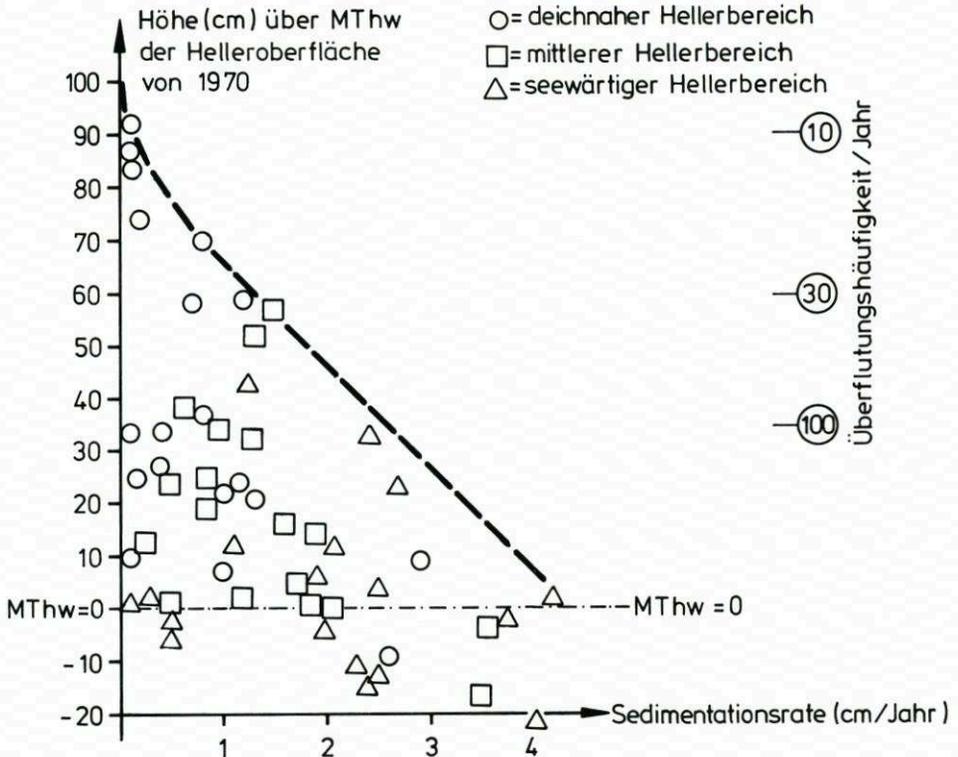


Abb. 5: Mittlere jährliche Sedimentationsraten in Abhängigkeit von Geländeöhe und Überflutungshäufigkeit zwischen 1960 und 1985 (COLDEWEY, 1989)

3.4 Die künftige Entwicklung des Deichvorlandes

Wegen der großen Bedeutung des Deichvorlandes für den Küstenschutz stellt sich die Frage nach der künftigen Entwicklung. Diese hängt entscheidend von den Änderungen der hydrologischen und meteorologischen Bedingungen ab. Die als Folge der Klimaveränderungen zu befürchtende weitere Zunahme von Sturmhäufigkeiten (ERCHINGER, 1992) und der ebenfalls nicht auszuschließende schnellere Anstieg des Mitteldeichhochwassers haben auf die Entwicklung der Deichvorländer einen ganz erheblichen Einfluß. Soweit durch diese veränderten Bedingungen auch das Watt erodiert wird, erhöht sich dadurch die Seegangsbelastung für den angrenzenden Heller zusätzlich. Sollte sich der Tidehochwasseranstieg auf etwa 0,5 cm/a verdoppeln, so dürfte die Sedimentationsrate auf den Hellern im allgemeinen deren Bestand vor etwaigem „Untergang“ noch sichern. Der stärkere Seegangsangriff wird allerdings zu vermehrtem Hellerabbruch führen, soweit er nicht durch ein vorgelagertes Lahnungssystem verhindert wird.

Die Erhaltung des Deichvorlandes ist bei den z. Z. zu befürchtenden Klimaentwicklungen besonders wichtig, weil durch das Deichvorland und noch mehr durch Sommerdeiche die wachsenden Seegangsbelastungen der Deiche gedämpft werden können.

4. Die Bedeutung des Deichvorlandes für den Küstenschutz

Das Deichvorland hat als aktiver Küstenschutz eine große Bedeutung für die Sicherheit des Landes. Es mindert die hydrodynamische Beanspruchung der Deiche, verringert den Wellenauflauf und schließt den besonders kritischen Fall eines Strombruches beim Deich aus. Darüber hinaus ermöglicht es, in dringenden Fällen schwerer Sturmflutschäden schnell geeigneten Klei und salzverträgliche Soden nahe am Deich zu gewinnen. Treibseleinmessungen haben nach der sehr schweren Sturmflut am 19. 11. 1973 am scharliegenden Deich östlich von Norddeich einen Wellenauflauf von 3 m ergeben, während er hinter dem Deichvorland in Neßmergrode nur 1 m betrug (ERCHINGER, 1974).

5. Das Forschungsvorhaben mit 5 Teilprojekten

5.1 Die Projektgruppe und die Teilprojektgruppen

Für das vom BMFT geförderte KFKI-Forschungsvorhaben „Erosionsfestigkeit von Hellern“ hat das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) eine interdisziplinäre Projektgruppe berufen, die sich zusammensetzt aus:

LBD Dipl.-Ing. H. F. Erchinger, Norden (Obmann);
 Prof. Dr. D. J. von Willert, Münster;
 Prof. Dr. H. Gebhardt, Oldenburg;
 Prof. Dr.-Ing. A. Führböter, Braunschweig;
 Dipl.-Ing. G. Ragutzki, Norderney;
 RBR Dipl.-Ing. V. Petersen, Husum.

Die Vielfalt der Untersuchungen in den unterschiedlichen Disziplinen erforderte die Bildung folgender fünf Teilprojekte:

– Koordination des Projektes sowie Logistik, hydrologische und morphologische Untersuchungen durch das Staatliche Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden, mit LBD Dipl.-

- Ing. H. F. Erchinger (Obmann), Dipl.-Ing. H.-G. Coldewey, Dipl.-Ing. F. Schmidt (bis Dez. 1991) und Dipl.-Geol. C. Meyer (ab 1992);
- Institut für Angewandte Botanik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster mit Prof. Dr. D. J. von Willert (Obmann), Dr. Austenfeldt, Dipl.-Biol. W. Steincke;
 - Bodenkundliche Untersuchungen des Fachbereichs Biologie der Universität Oldenburg mit Prof. Dr. H. Gebhardt (Obmann), Dipl.-Biol. U. Frank;
 - Modelluntersuchungen im Seewasserversuchskanal durch das Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig mit Prof. Dr.-Ing. A. Führböter (Obmann), Dr.-Ing. H. H. Witte/Dr.-Ing. M. Schulze, Dr.-Ing. H. Manzenrieder, Dipl.-Ing. U. Kotzbauer;
 - Bodenphysikalische Untersuchungen: Forschungsstelle Küste, Norderney, mit Dipl.-Ing. G. Ragutzki, Diplomand O. Otten (ztw.)

Die ersten Untersuchungen wurden 1985 eingeleitet. Eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Botanik, Münster und dem Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig begann 1986. Zusammen mit diesen Instituten wurde das Forschungsvorhaben 1987 formuliert und zunächst für 1989 bis 1991 genehmigt, später bis 1994 verlängert. Während der Endphase wird der interdisziplinäre Gesamtbericht erstellt werden.

5.2 Forschungsinhalt der Teilprojekte

5.2.1 Koordination und Logistik, Naturmessungen, hydrologische und morphologische Untersuchungen

Neben der Koordination der Teilprojekte und der Bereitstellung der Infrastruktur und Logistik werden morphologische Untersuchungen durchgeführt und hydrologische Daten erfaßt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Erfassung der Wasserstände, der Strömungsgeschwindigkeiten an der Hellerkante und in Gruppenquerschnitten und des Seegangs. Hierfür wurden zwei Meßstationen für Wasserstand, Seegang und Strömung jeweils vor den Hellerkanten der Untersuchungsgebiete Buscher- und Neßmerheller erstellt sowie zwei weitere Pegelmeßstellen auf den Versuchsflächen Leybucht zur Erfassung der unterschiedlichen Überflutungszeiten von begrüpten und unbegrüpten Hellerflächen sowie eine Klimastation eingerichtet.

Veränderungen der Hellerkanten und -oberflächen werden durch Feinnivellements und Profilvermessungen sowie Luftbilddauswertungen erfaßt. Die Messungen ermöglichen einen Aufschluß über die Zusammenhänge zwischen Abbruchrate, Seegangbelastung und Schutzwirkung von Lahnungen verschiedener Höhen im Untersuchungsgebiet Neßmerheller.

Ferner wird die Sedimentation der Hellerflächen bei unterschiedlicher Höhe, Nutzung und Grüppensituation erfaßt und sowohl hinsichtlich der Ablagerungsschichtdicke und der Kornverteilung (durch das Teilprojekt Bodenkunde) untersucht. Die Querschnittsentwicklung von Gruppen wird bei unterschiedlichen Höhenlagen und Einzugsgebieten erfaßt.

5.2.2 Botanische Untersuchungen

Die Vegetation des Hellers leistet einen nicht unerheblichen Beitrag zu seiner Erosionsfestigkeit. Sie schirmt den Boden gegen die Belastungen aus Seegang und Strömung ab. Das Wurzelwerk stabilisiert den Boden.

Ein Schwerpunkt dieses Teilprojekts ist daher die Erfassung der Pflanzenarten, ihres

Pflanzenwurzelwachstums und der Biomasseverteilung im Boden. Hierfür sind neue Untersuchungstechniken, wie beispielsweise die Rizothrontechnik, weiterentwickelt worden. Dabei sollen kausale Zusammenhänge zwischen Wurzelaktivität und Nährstoffkreislauf, insbesondere Stickstoffkreislauf, in den Hellerpflanzen und -böden in Abhängigkeit von den vielfältigen Einflußfaktoren und der jahreszeitlichen Entwicklung erforscht werden. Die ausgeprägt starke Wurzelaktivität der Hellerpflanzen – insbesondere im Winterquartal – hat alle Beteiligten überrascht.

Im Rahmen der umfangreichen botanischen Feld- und Kartierungsarbeiten wird auch die Herkunft des Treibsels untersucht, der nach Sturmfluten auf dem Heller oder an der Deichaußenböschung abgelagert wird.

5.2.3 Bodenkundliche Untersuchungen

Ziel dieser Untersuchungen ist es, Entwicklungsstand und Erodierbarkeit der im Deichvorland vorkommenden Böden zu erfassen. Das erfordert eine Vielzahl von bodenmorphologischen Untersuchungen und bodenchemischen und -physikalischen Bestimmungen bei unterschiedlichen Bodentypen. Dabei werden auch die Auswirkungen der Hellerbewirtschaftung durch Beweidung und Begrüppung auf die Prozesse der Bodenentwicklung erfaßt.

5.2.4 Modellversuche im Seewasserversuchskanal

Aufgabe dieses Teilprojektes ist es, die Belastung des Hellers möglichst naturnah im Modellversuch nachzubilden und seine Erosionsfestigkeit in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung und Bodenzusammensetzung im Großmodell zu untersuchen. Im Sommerpolder bei Neßmersiel konnte ein 50 m langer Versuchskanal mit einem Querschnitt von $0,7 \times 1,4$ m so errichtet werden, daß über eine ausgediente Schöpfwerkspumpe bis zu $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ schwebstoffarmes Seewasser aus dem dortigen Spülbecken durch die Rinne strömen konnte. Auch bei längeren Versuchseinstellungen an einzelnen großvolumigen Proben konnte auf diese Weise das salzige Milieu für Pflanzen und Boden erhalten bleiben. Die großvolumigen Hellerbodenmonolithe (l : b : d = 100 : 70 : 40 cm) wurden als ungestörte Proben mit einer speziell dafür gefertigten Form im Heller gewonnen und in einer Reihe von drei Proben auf 3 m Länge in den Kanal eingebaut. Sie können mit Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 4,5 m/s belastet werden. Darüber hinaus wurden vorgefertigte Hellerkantenproben durch Seegang bei verschiedenen Wasserständen beaufschlagt.

Alle in den Kanal eingebauten Bodenmonolithe werden zuvor von den Botanikern und Bodenkundlern analysiert. Alle wichtigen fachspezifischen Daten werden dabei erfaßt.

6. Untersuchungsgebiete

6.1 Lage der Untersuchungsgebiete

Als Untersuchungsgebiete boten sich drei Hellerbereiche im Nordwesten Ostfrieslands an. Sie unterscheiden sich im Bodenaufbau und in der hydrodynamischen Beanspruchung. Darüber hinaus war auf einer Teilfläche seit 1980 eine gestaffelte Beweidungsdichte einschl. Null-Beweidung eingehalten worden. Die Versuchsgebiete gliedern sich in

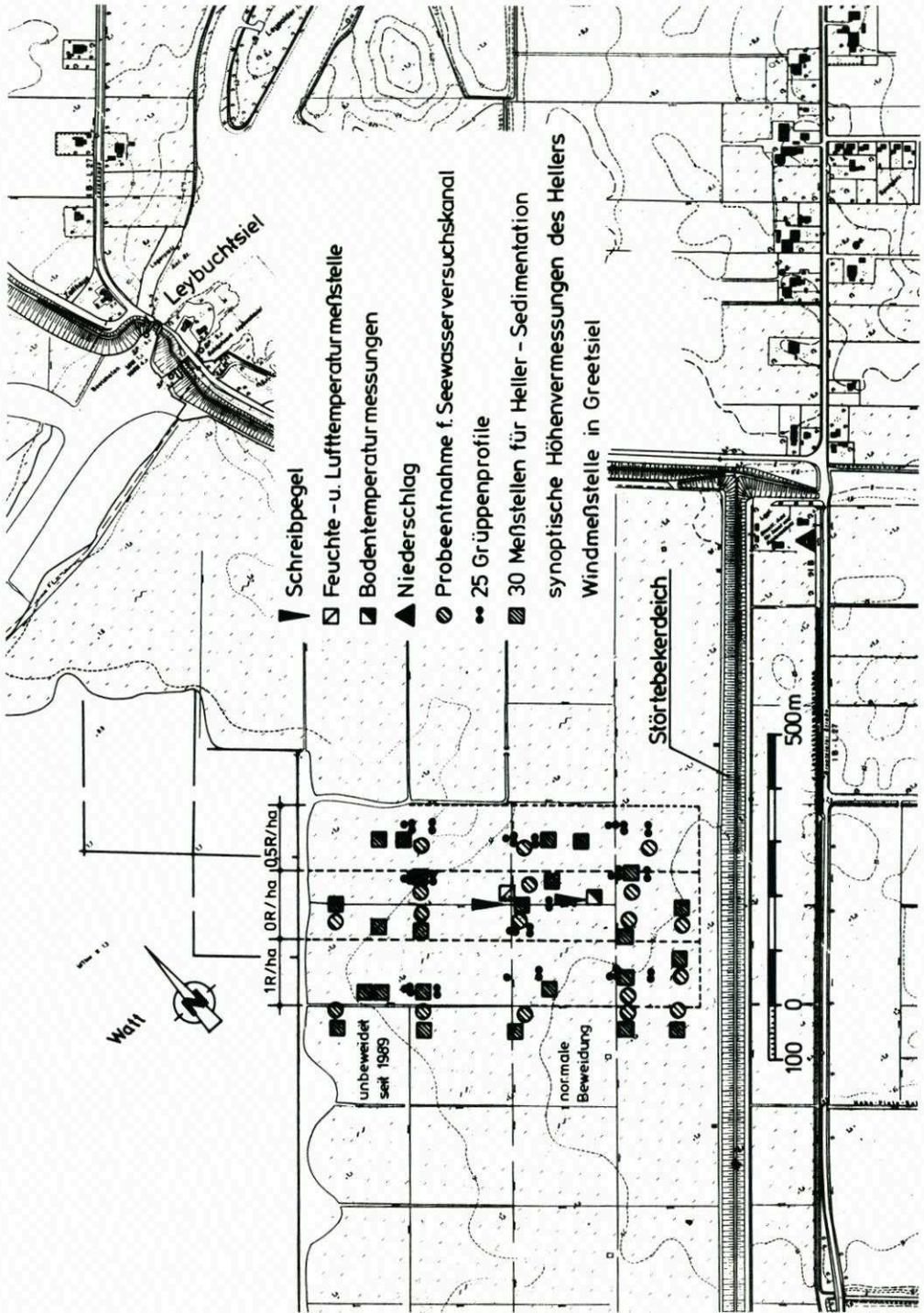


Abb. 6: Lageplan der Versuchsflächen Leybucht mit Messstellen

- die Versuchsflächen Leybucht,
- den Buscherheller, beide in der Leybucht, und
- den Neßmerheller vor Hilgenriedersiel, 12 km östlich von Norddeich am Rückseitenwatt der Insel Norderney (Abb. 2).

In Abstimmung aller Teilprojekte wurden innerhalb dieser Gebiete die einzelnen Versuchsflächen und Standorte nach botanischen, bodenkundlichen, topographischen und hydrologischen Gesichtspunkten festgelegt.

6.2 Versuchsflächen Leybucht

Vor dem im Jahre 1950 fertiggestellten Störtebekerdeich ist – infolge starker natürlicher Verlandung und unterstützt durch Lahnungsbau – ein 800 m breiter Heller entstanden. Bereits im Jahr 1980 sind hier drei nebeneinanderliegende, jeweils 10 ha große Versuchsflächen mit unterschiedlicher Beweidungsdichte von 1 Rind/ha, 0,5 Rind/ha und unbeweidet angelegt worden (Abb. 6). Auch sind die Flächen seit 1977 nicht mehr begrünpt worden, so daß neben der Auswirkung der Beweidung auf Vegetations- und Bodenentwicklung auch der Einfluß der Begrünung untersucht werden kann. Die beweideten Flächen mußten allerdings 1989 wieder begrünpt werden, da sonst eine Beweidung wegen langandauernder Nässeperioden nicht mehr möglich gewesen wäre.

Die Sedimente dieses Hellers weisen einen Tonanteil ($< 0,002$ mm) von rund 30 % und einen Schluffanteil ($0,063$ mm $> d > 0,002$ mm) von rd. 60 % auf. Dieser hohe Anteil an tonig-schluffigem Material verleiht dem Hellerboden stark bindige Eigenschaften.

6.3 Buscherheller

Der im Nordwesten der Leybucht liegende Buscherheller wird stärker durch Seegang beaufschlagt als die o.g. Versuchsflächen vor dem Störtebekerdeich. Infolgedessen sind größere Sedimente anzutreffen. Der Tonanteil liegt bei 15 % und der Schluffanteil bei rund 40 %.

Der insgesamt 180 ha große Heller, für den ein allmählicher Übergang zum Watt als charakteristisch gilt, ist bis zu 1100 m breit. In den 80er Jahren wurden allerdings auf Teilstrecken Hellerabbrüche beobachtet. Zusätzlich hatten sich im Nahbereich der Hellerkante mehrere ausgeprägte vegetationslose Flächen, sog. Salzpflanzen, gebildet. Die Untersuchung dieser Initialflächen für Erosionen ist ein Teilaspekt des Verbundprojektes.

6.4 Neßmerheller

In früheren Jahrzehnten, besonders seit den 20er Jahren, war der im Seegangsschatten der Insel Norderney liegende Neßmerheller durch einen starken Anwachs gekennzeichnet (Abb. 7). Der Anwachs wurde durch Lahnungsbau und Vorlandarbeiten gefördert. In den 70er Jahren kehrte sich der Trend um, und das Vorland begann, im Westen vor Hilgenriedersiel abzubrechen. Seitdem hat sich eine Steilkante am Übergang zum Watt gebildet. Da das alte Buschlahnungssystem abgängig war, konnte es keinen Schutz mehr bieten.

Die Ursachen des Abbruchs sind vermutlich in morphologischen Veränderungen des Vorfeldes und daraus folgenden anhaltenden Erosionen des vorgelagerten Watts und stärkerer

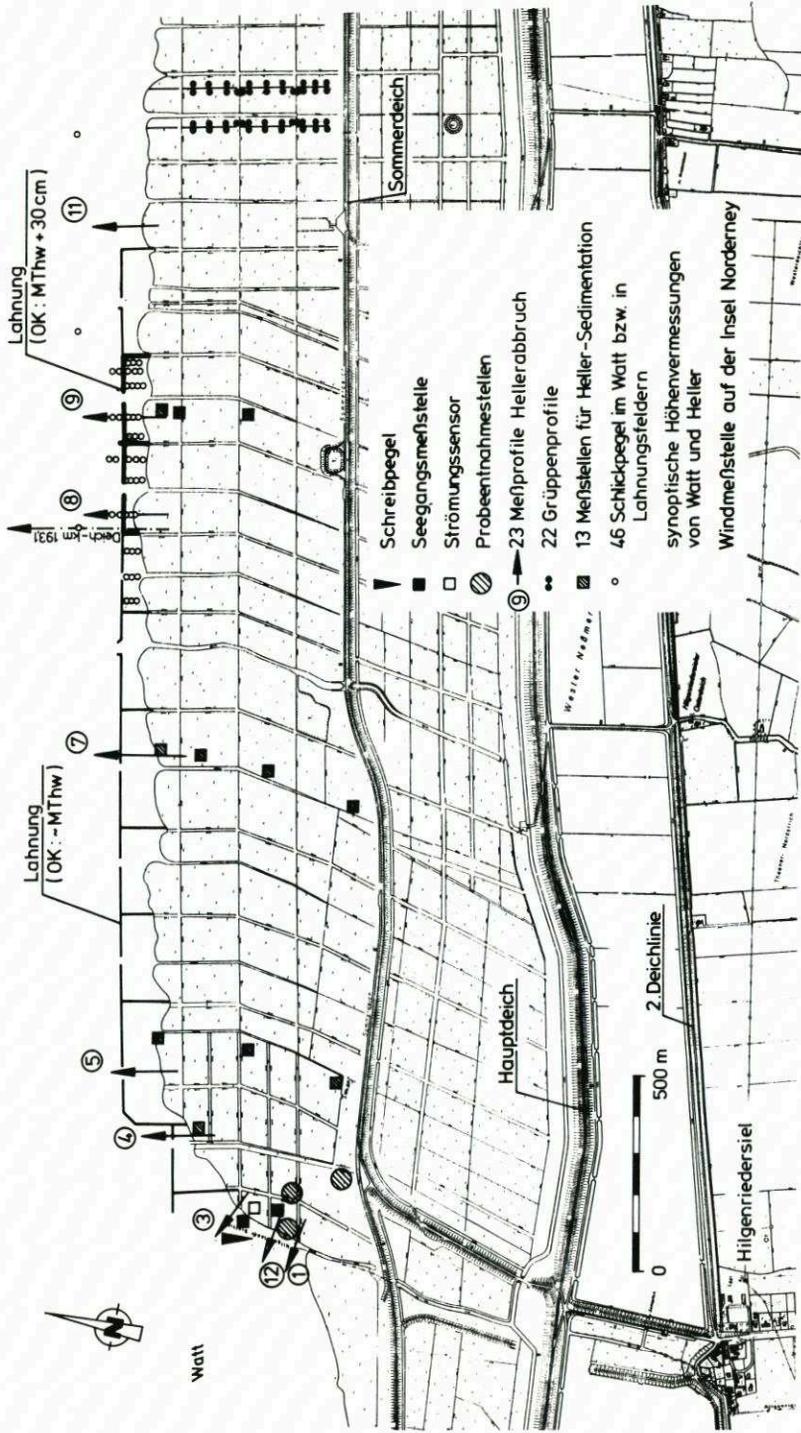


Abb. 7: Lageplan des Neßmerhellers – Westteil – mit Meßstellen

hydrodynamischer Beanspruchung zu suchen. Zum Schutz des Vorlandes wurde ab 1984 im Westabschnitt die Grundinstandsetzung des Lahnungssystems begonnen.

Verglichen mit den Untersuchungsgebieten der Leybucht ist der Heller in seinem vor Hilgenriedersiel gelegenen Westabschnitt im Einflußbereich des Norderneyer Seegats stärkeren hydrodynamischen Belastungen ausgesetzt, die weiter nach Osten zur Wattwasserscheide etwas abnehmen. Auf ihm überwiegt deutlich feinsandiges Sediment. Der Tonanteil fällt auf unter 10 % und der Schluffanteil auf ca. 25 %.

7. Erste Ergebnisse zum Teilprojekt „Logistik, hydrologische und morphologische Untersuchungen“

7.1 Ziel der Untersuchungen

Im Rahmen dieses Teilprojektes werden die hydrologischen Gegebenheiten und die morphologischen Veränderungen der Versuchsflächen untersucht. Ziel ist es, Grundlagen über die Wechselwirkungen zwischen Wasserständen, deren Verweilzeiten und den hydrodynamischen Belastungen des Hellers aus Seegang und Strömung sowie den Veränderungen der Hellerflächen zu gewinnen. In Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten wird u. a. auch angestrebt, die hydrologischen Einflüsse auf Bewuchs und Boden darzustellen. In die Untersuchungen werden unterschiedliche Beweidungsintensitäten, begrüpte und nicht begrüpte Bereiche sowie die Wirkung von Lahnungen einbezogen. Als Beispiele der umfangreichen Auswertungen sollen hier die Ergebnisse von drei Teilbereichen mitgeteilt werden. Die Erörterung weiterer Untersuchungsgebiete bleibt dem späteren Gesamtbericht vorbehalten.

7.2 Wasserstände auf begrüpten und unbegrüpten Hellern

Die Wasserstandsdaten der Pegelstationen dienen vor allem der Charakterisierung der Untersuchungsstandorte in Abhängigkeit von der örtlichen Topographie. Durch Pegelmessungen auf der nicht beweideten Versuchsfläche in der Leybucht konnten z. B. deutlich unterschiedliche Überflutungszeiten auf begrüpten und seit 1977 unbegrüpten Teilflächen festgestellt werden. Die Gesamtdauer der Abflußverzögerungen eines Monats ist dabei hauptsächlich von der Häufigkeit von Tiden abhängig, die den Heller überfluten. In den

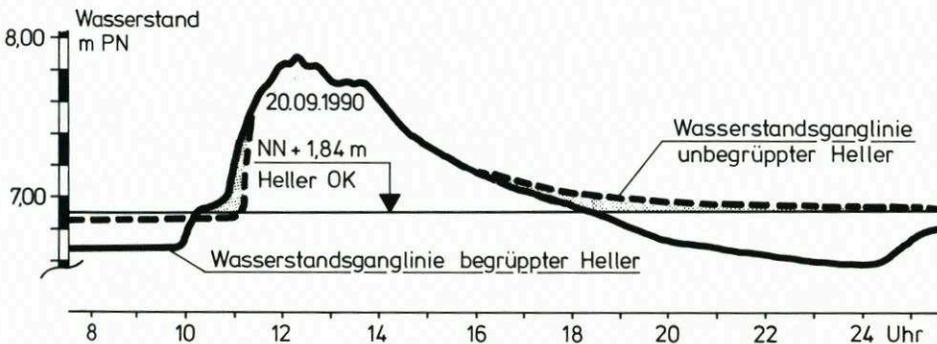


Abb. 8: Wasserstandsganglinien einer Hellerüberflutung auf begrüpten und unbegrüpten Versuchsflächen Leybucht

unbegrüpften Flächen verzögert sich der Salzwasserabfluß in den Sommermonaten um bis zu 18 und in den Wintermonaten um bis zu 30 Stunden. Der Einstau von Salzwasser erhöht sich dabei bis zum zweifachen der Salzwasserbedeckung in begrüpften Bereichen (Abb. 8).

Wie die Ergebnisse der botanischen und bodenkundlichen Untersuchungen gezeigt haben, wirkt sich die Begrüpfung durch einen positiven Einfluß auf die Bodenverhältnisse aus und fördert die Durchwurzelung der obersten Bodenschichten. Die Verminderung der Stauänsse bewirkt über eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im Boden offenbar eine Wachstumsförderung der Pflanzen.

7.3 Hellerkantenabbruch in Abhängigkeit von der Seegangsenergie

Seit 1985 wird der ständige Kantenabbruch des Neßmerhellers durch regelmäßige Vermessungen erfaßt. Es konnten örtlich unterschiedliche Abbruchraten ermittelt werden, die gemäß Abb. 9 in drei Gruppen eingeteilt werden können und als 6jähriges Mittel betragen:

Gruppe 1: ohne Buschlanung und mit niedrigem Watt von etwa NN+0,5 m: Abbruchrate bis 3 m/a

Gruppe 2: mit vorgelagerter Buschlanung mit Kronenhöhe auf MThw und mit niedrigem Watt: Abbruchrate 0,5 bis 1,5 m/a

Gruppe 3: ohne vorgelagerte Buschlanung und mit hohem Watt von i. M. NN+0,9 m: Abbruchrate ca. 0,5 m/a

Das Maß des Energieabbaus auf dem hohen Watt bzw. durch ein Lahnungsfeld ist aus diesen Werten ablesbar.

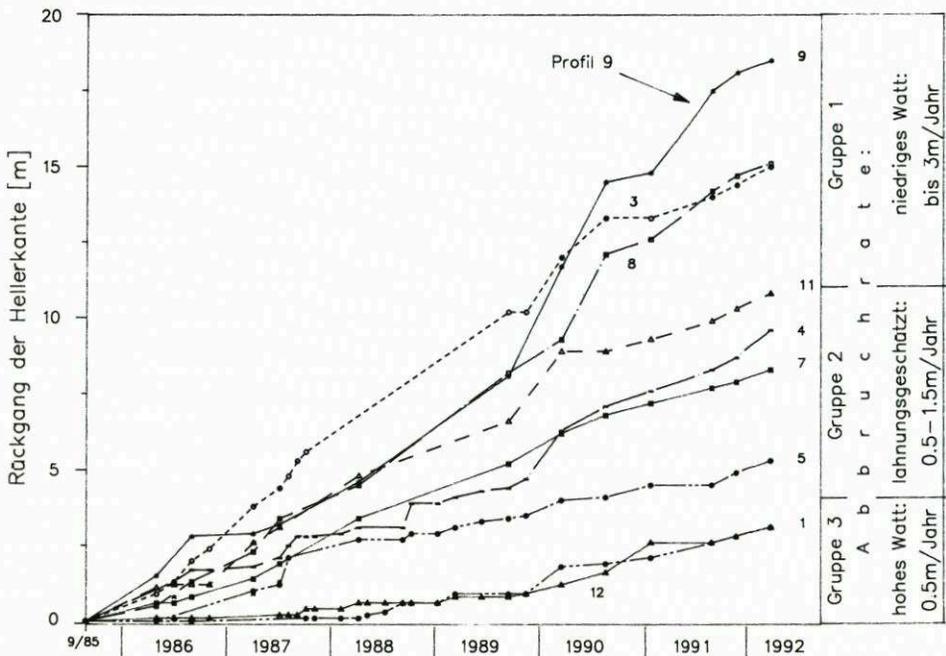


Abb. 9: Summenlinien der Kantenabbrüche an den Profilen des Neßmerhellers

Der ersten Gruppe kann die auf dem Watt ca. 30 m vor der Kante errichtete und über Solarzellen versorgte Pegel- und Seegangsmessstation als repräsentativ zugeordnet werden. Der Seegang wird mit Hilfe eines Meßdrahtes bei Wasserständen von 30 cm über MThw in Zeitabschnitten von 7 Minuten gemessen und mit einer Meß-Taktfrequenz von 18 Hz auf einem Laptop-PC gespeichert. Als maßgebend für die Abbruchgrößen ist die zwischen zwei Meßzeitpunkten eingetragene Seegangenergie ermittelt und den gemessenen Abbruchwerten gegenübergestellt worden. Dabei ergibt sich bereits aufgrund der bisherigen Messungen ein guter quantitativer Zusammenhang zwischen Seegangenergieeintrag und Kantenabbruch im Bereich des niedrigen Watts.

Die Gruppe 2 verdeutlicht, daß die Abbruchraten an einer lahnungsgeschützten Hellerkante geringer sind. Dabei ist auch die Höhe der Lahnung von Bedeutung. Seit 1991 ist daher eine Lahnungsstrecke mit „klassischer“ Lahnungs-OK von MThw + 0,3 m in die Untersuchungen einbezogen worden. Als qualitatives Ergebnis kann bereits nach einem Jahr festgestellt werden, daß diese Lahnung gegenüber einer OK auf MThw eine deutlich bessere Schutzwirkung hat.

7.4 Sedimentation auf Hellerflächen

Zur Erfassung der Sedimentation sind im Jahr 1989 u.a. auf den Versuchsfeldern Leybucht 24 Stationen mit jeweils vier Plexiglasplatten (15 × 15 cm) eingerichtet worden. Die Feldunterteilung ermöglicht eine getrennte Erfassung für die verschiedenen Beweidungsdichten.

Um keine Störstellen an der Oberfläche zu schaffen, wurden die Scheiben ca. 4 cm unter GOK eingebracht. Die Sedimentauflage wird mit einem Dorn von der GOK bis zur

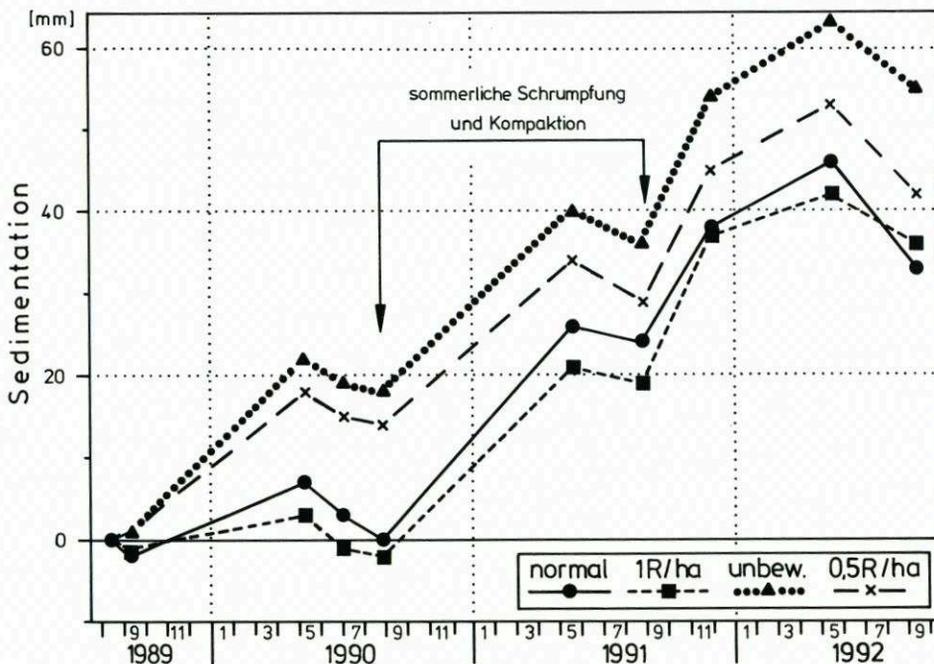


Abb. 10: Summenlinien der Sedimentation auf den Versuchsfeldern Leybucht mit unterschiedlicher Beweidungsdichte

Plexiglasplatte mehrmals im Jahr abgelesen. Zusätzlich wurden an den Meßstellen jeweils zwei Kunstrasenmatten auf der Geländeoberfläche ausgelegt, um das abgelagerte Material analysieren zu können.

Die Meßergebnisse auf den Versuchsflächen Leybucht dokumentieren eine deutlich positive Niveauentwicklung der Flächen, die in den drei Jahren von 1989 bis 1992 insgesamt 4 bis 5,5 cm beträgt (Abb. 10). Wie unter 3. beschrieben, nehmen die Sedimentationsraten mit der Entfernung vom Deich zu. Besonders deutlich wurde dies im ersten Beobachtungszeitraum September '89 bis Mai '90, in dem eine große Anzahl von Sturmfluten (39mal über NN + 2 m) einschließlich zwei Orkanfluten im Februar auftraten.

Die höchsten Sedimentationsbeträge von i. M. 2 cm wurden auf dem unbeweideten Feld gemessen. Es hatte den Anschein, als bewirke der hohe Bewuchs eine bessere Abschirmung gegen die starke Turbulenz während der Orkanfluten. In den beiden folgenden Winterhalbjahren mit geringeren Sturmfluthöhen und -häufigkeiten (23 bzw. 26mal über NN + 2 m) trat auch in Richtung Deich verstärkt Sedimentation auf. Durch die Bodenanalysen wurde festgestellt, daß sich feineres Material als in ersten Untersuchungen abgelagert hatte. Auf den beweideten Flächen wurden i. M. über 2 cm hohe Sedimentauflagen gemessen, die z. T. über den Werten des nichtbeweideten Feldes lagen. Trotz der geringen Anzahl von erhöhten Tiden sind über die gesamten Flächen gemittelt erheblich größere Mengen von Sedimentablagerungen festzustellen als im Winter 1989/90 mit der bisher größten Sturmfluthäufigkeit. Ob die Spülarbeiten an der Baumaßnahme „Leyhörn“ ein erhöhtes Sedimentangebot zur Folge gehabt haben, wird noch zu ergründen sein.

Die geringe Abnahme der Schichtdicke über den Plexiglasscheiben in den Sommermonaten ist infolge der seltenen Überflutungsereignisse und der besonders im Jahr 1992 geringen Niederschläge auf Schrumpfung und Kompaktion des tonigen Sediments zurückzuführen.

Vor Beginn der Messungen lagen die Meßpunkte der unbeweideten Parzelle gegenüber den beweideten Flächen um i. M. 8 cm höher, drei Jahre später hat sich die Höhendifferenz um 1 bis 2 cm vergrößert. Dies beruht hauptsächlich auf den großen Sedimentationsunterschieden im ersten Beobachtungsjahr.

Durch den Höhenunterschied von nur 10 cm verringert sich die Überflutungshäufigkeit in dem Höhenbereich um immerhin i. M. 8–11 Tiden, wenn die vergangenen drei Jahre zugrundegelegt werden. Aufgrund der Aufhöhung nach dem negativen Regelkreislauf wird sich der Höhenunterschied nicht wesentlich vergrößern. Wegen häufigerer Bedeckung mit sedimentbeladenem Seewasser und vermehrter Sedimentation wird der Höhenunterschied niedriger gelegener Flächen allmählich wieder ausgeglichen.

8. Schriftenverzeichnis

- COLDEWEY, H.-G.: Morphologische Entwicklung von Hellern/Deichvorländern zwischen Ems und Jade in den letzten 25 Jahren. Workshop Küstenmorphologie, Oldenburg, 1989.
- DIECKMANN, R.: Geomorphologie, Stabilitäts- und Langzeitverhalten von Wateinzugsgebieten in der Deutschen Bucht. Mitt. Franzius-Inst. der Uni Hannover, H. 60, 1985.
- DIJKEMA, K. S.: Saltmarshes in Europe; Council of Europe. Nature and Environment Series nr 30; Strasbourg, 1984.
- DIJKEMA, K. S., BOUWSEMA, P. and VAN DEN BERGS, J.: Possibilities for the Waddensea marshes to survive future sea-level rise. In: Saltmarsh Management in the Waddensea Region. Proceedings of the Working Conference. Rømø 1989. Published by the Ministry of the Environment, The National Forest and Nature Agency, 1990
- EHLERS, J.: The Morphodynamics of the Waddensea. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1988.

- ERCHINGER, H. F.: Landgewinnung und Lahnungsbau im Wattgebiet. Die Küste, H. 21, 1971.
- ERCHINGER, H. F.: Wellenaufbau an Seedeichen – Naturmessungen an der ostfriesischen Küste. Mitt. des Leichtweiß-Inst. der TU Braunschweig, H. 41, 1974.
- ERCHINGER, H. F.: Dünen, Watt und Salzwiesen. Verlag Soltau-Kurier, Norden, 1985.
- ERCHINGER, H. F.: Salzwiesenbildung und -erhaltung – Lahnungsbau und Begrüppung für den Küstenschutz. In: Kempf, N., Lamp, J. und Prokosch, P.: Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur? Tagungsbericht 1 der Umweltstiftung WWF – Deutschland, Husum, 1987.
- ERCHINGER, H. F., COLDEWEY, H.-G. u. PROBST, K.: Empfehlungen für eine wirksame Außentiefräumung als Ergebnis des Forschungsvorhabens „Tiefenstabilisierung von Außentiefs“. Die Küste, H. 47, 1988.
- ERCHINGER, H. F.: Saltmarsh Management in Respect of Coastal Protection Demands in Niedersachsen. In: Saltmarsh Management in the Waddensea Region. Proc. of the Working Conference, Rømø 1989. Published by the Ministry of the Environment, The National Forest and Nature Agency, 1990.
- ERCHINGER, H. F.: Sturmfluten, eine zunehmende Bedrohung der Küste als Folge von Klimaveränderungen. HANSA, Nr. 12, 1992.
- ERCHINGER, H. F.: „Küsteningenieurwesen“ im Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 7. Auflage. Hrsg. von Bretschneider, Lecher, Schmidt, Verl. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 1993.