



Landesamt
für Wasserhaushalt und Küsten
Schleswig-Holstein

LW 23 - 5.34.04-02/01

Abschlußbericht

NATÜRLICHE QUERSCHNITTE
VON AUSSENTIEFS

(A T - N)

B a n d I

10. Ausfertigung

Forschungsvorhaben des KFKI
(Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen)

gefördert vom Bundesminister f. Forschung u. Technologie
(Geschäftszeichen : MF 0293 0 - von 1982 bis 1986)

Band I : Bericht (mit einigen Abbildungen)
Band II: Abbildungen, Anlagen, Anhang(Teil D)

Kiel im Juli 1987

Dr.-Ing. E. Renger
Projektleiter

Dipl.-Ing. von See
Sachbearbeiter

LW 23 - 870729

LW 23 - 5.34.04-02/01

BMFT - Kennzeichen: MF 0293 0

NATÜRLICHE QUERSCHNITTE VON AUßENTIEFS (A T - N)

Abschlußbericht

I n h a l t s ü b e r s i c h t

Band I : Erläuterungsbericht für die drei
Teilvorhaben (mit einigen Abbildungen)

Seite:

/ Vorspann: Zusammenfassung b
28 329 Vorbemerkungen und Gliederung 1
Koordinationsübersicht 5
Gliederung des Inhalts der drei
Projektschwerpunkte 6

X Teil A: Ähnlichkeitsuntersuchungen von
25 882 Außentiefs 10

X Teil B: Verfahrensentwicklung für die
25 885 Schwebstoffmessungen mit dem
System SEDIWA (Sedimentwaage) 41

Teil C: Schifffahrtserzeugte Schwebstoff-
28 408 transporte im Neßmersieler Außen-
tief / Ostfriesland (Kopie der
Veröffentlichung in "Die Küste",
H.44, 1986 - mit dortiger
laufender Seitennummerierung) 72

Band II: Abbildungen, Anlagen, Anhang

zu Teil A: Abbildungen 1 bis 12 Abb. 1
Anlagen 1a bis 3k Anl. 1a

zu Teil B: Anlagen 4 bis 9 Anl. 4

zu Teil C: Anlage 10 (Anhang) Anl. 10

Zusammenfassung

Im Übergangsbereich des Binnenwasserabflusses zwischen (Binnen-)Einzugsgebiet und Watt (-Einzugsgebiet) entstehen charakteristische Gefälleverluste infolge relativ enger Durchflußquerschnitte in Außentief und Sielbereich. Außerdem verursachen die tidebedingten Richtungswechsel der Strömungen eine gewisse Abflußträgheit mit entsprechendem Verweilverhalten höherer Wasserstände.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Natürliche Querschnitte von Außentiefs" (AT-N) sollte untersucht werden, welche Bedeutung vorwiegend die Einflüsse aus der Größe des (Binnen-)Einzugsgebietes (entsprechend Gesamtabfluß), aus der Geometrie und dem Betrieb des Sieles, aus der Außentiefmorphologie und der Tide haben. Dazu mußten jeweils geeignete Parameter ausgewählt und räumlich/zeitlich charakteristische Größen hergeleitet werden. Grundlage waren die in den Küstenämtern verfügbaren Meßunterlagen für die Entwässerungssysteme an der Deutschen Bucht.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Teil A ("Ähnlichkeitsuntersuchungen von Außentiefs" (AT-N)) beschrieben. Die Einzeleinflüsse konnten wegen ihrer gegenseitigen Überlagerung nur bedingt systematisch nachgewiesen werden. Die entsprechenden (theoretischen) Arbeitshypothesen ließen sich ansatzweise bestätigen. Die Ergebnisse können trotz der komplizierten Materie als richtungsweisend angesehen werden. Am stärksten wirken sich die (künstliche) Größe des Sielquerschnitts und die (naturegegebene) mittlere Höhenlage des sielnahen Außentief-Watteinzugsgebietes aus. Die Abbildungen 11 und 12 veranschaulichen die Zusammenhänge zwischen den wesentlichsten kennzeichnenden Systemgrößen am deutlichsten (Ähnlichkeitsvergleich).

Die Störeinflüsse größerer Schiffsbewegungen auf die Querschnitte und auf den Schwebstofftransport im Außentief wurden erstmals exemplarisch untersucht. Dazu wurden mit dem Bauamt für Küstenschutz/Norden (BfK, Partnerprojekt(AT-S)) und der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau/Duisburg (VBD, FE-Vorhaben bei (AT-N)) gemeinsame Naturversuche im Neßmersieler Außentief/Ostfriesland durchgeführt (Teil C)-

Schiffahrtserzeugte Schwebstofftransporte im Neßmersieler Außentief). Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß infolge der schiffahrts-hydrodynamischen Störeinflüsse aus der Verdrängungsströmung im Unterwasser-Böschungsbereich und im Seitenbereich des Außentiefs relativ stärkere Schwebstoffbewegungen vorkommen als bei normalen tide- und spülungsbedingten Geschwindigkeitsverteilungen.

Die dort vorkommenden instationären Schwebstoffkonzentrationen wurden mit einem neu entwickelten Meßverfahren (SEDIWA = Sedimentwaage) ermittelt (vgl. Teil B). Dabei wird der Proben-teilstrom von rd. 0,2 l/s kontinuierlich aus dem Gewässer entnommen und durch eine Durchlaufzentrifuge (Hydrozyklon) geleitet. Die verhältnismäßig genaue Massenbestimmung (Schwebstoffkonzentration) erfolgt am Unterlauf für Partikelgrößen größer als 5 µm durch Wägung und am Oberlauf für die Feinststoffe (Resttrübe) durch Attenuationsmessung.

Das Gerät wurde von der beteiligten Entwicklungsfirma ME/ Meerestechnik + Elektronik/ Trappenkamp im Rahmen eines FE-Vorhabens zum Patent angemeldet. Das Verfahren wurde vom Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein in die DVWK-Richtlinien (1986) zur Schwebstoffmessung eingebracht.

0. Vorbemerkungen und Gliederung:

Ufernahe Gezeitenrinnen wie Außentiefs und Hafenzufahrten sollen für die Anforderungen von Binnenentwässerung und Schiffsverkehr möglichst "leistungsfähig" sein. In beiden Fällen werden genügend große Tiefen und Durchflußquerschnitte benötigt. Wenn diese nicht allein durch den Binnenwasserabfluß offen gehalten werden, so müssen zusätzlich künstliche Mittel zur ständigen Vertiefung eingesetzt werden. Durch gezielten Spülbetrieb, eventuell mit Unterstützung durch Räumbooteinsatz, sowie durch Baggerungen kann in vielen Fällen eine genügende Tiefe erhalten werden. Größere Schiffsbewegungen müssen ebenfalls als "Störeinfluß" auf die natürliche Querschnittsstabilität angesehen werden.

Zur Klärung grundsätzlicher Zusammenhänge beauftragte das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) die Projektgruppe "Außentief-Stabilität" (AT-N,S) im Jahre 1982 mit der Durchführung systematischer Untersuchungen auf der Grundlage von Naturmessungen. Diese sind auf der nachfolgenden Übersicht (Tafel 1) zusammengestellt. Die dort aufgeführten Teilvorhaben der beiden Projekte standen in einem engen thematischen und organisatorischen Bezug.

Mitglieder der Projektgruppe

Ausführende Stelle des Projektes "Natürliche Querschnitte von Außentiefs" (AT-N):

Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein, Saarbrückenstr. 38, 2300 Kiel,

Dr.-Ing. Eberhard Renger (Projektleitung und Geschäftsführung für das Gesamtprojekt)

Dipl.-Ing. Klaus Bednarczyk

Dipl.-Ing. Ulla von See

Verm.Techn. Uwe Gutsche

Untersuchung der Einflüsse durch Schiffsverkehr:

Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Klöcknerstr. 77, 4100 Duisburg 1,

Dr.-Ing. Ernst Müller

Ing. Helmut Binek

Ausführende Stelle des Projektes "Tiefenstabilisierung von Außentiefs" (AT-S):

Bauamt für Küstenschutz, Jahnstr. 1, 2980 Norden 1,

LBD Heie F. Erchinger (Projektleitung)

Dipl.-Ing. Hans-Gerd Coldewey

Dipl.-Ing. Klaus Probst

Bautechn. Johann Krey

Weitere Mitglieder der Projektgruppe:

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Stephan, Forschungs-
stelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes
für Wasserwirtschaft, Norderney

LBD Roelf Carsjens, Nds. Hafenamt Emden (bis
1984)

BD Gerd Frerichs, Nds. Hafenamt Norden (ab
1985)

Gliederung der Teiluntersuchungen:

Während der Konzipierung der im Thema genannten Aufgabe stellte sich heraus, daß die Wirkung des Schiffsverkehrs unbedingt mit berücksichtigt werden mußte. Übereinstimmend wurde von der Projektgruppe vorgeschlagen, dieses schwierige Thema auf der Grundlage von Naturversuchen im Neßmersieler Außentief zu bearbeiten. Um die Einzelwirkung von Schiffsdurchgängen durch den Außentiefquerschnitt qualitativ und quantitativ beurteilen zu können, mußten zuverlässige Meßwerte der Sedimentbewegung infolge der Verdrängungsströmung des Schiffes gewonnen werden.

Daraus ergab sich zwangsläufig ein Arbeitsplan, der auf die Untersuchungsprogramme des Partnerprojektes (AT-S) abzustimmen war. Weitere Informationen sind den Veröffentlichungen in "Die Küste", H. 44, 1986 zu entnehmen.

Wegen der zeitlich begrenzten Beteiligung der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. (VBD) in den Jahren 1983/84 mußten die beiden Projektschwerpunkte

"Schwebstoffmeßverfahren SEDIWA" (Teil B) und Schiffs-fahrtsuntersuchungen" (Teil C) vorrangig bearbeitet werden. Konzipierung und Organisation erforderten beträchtlichen Aufwand sowie eine straffe Terminplanung mit Dritten.

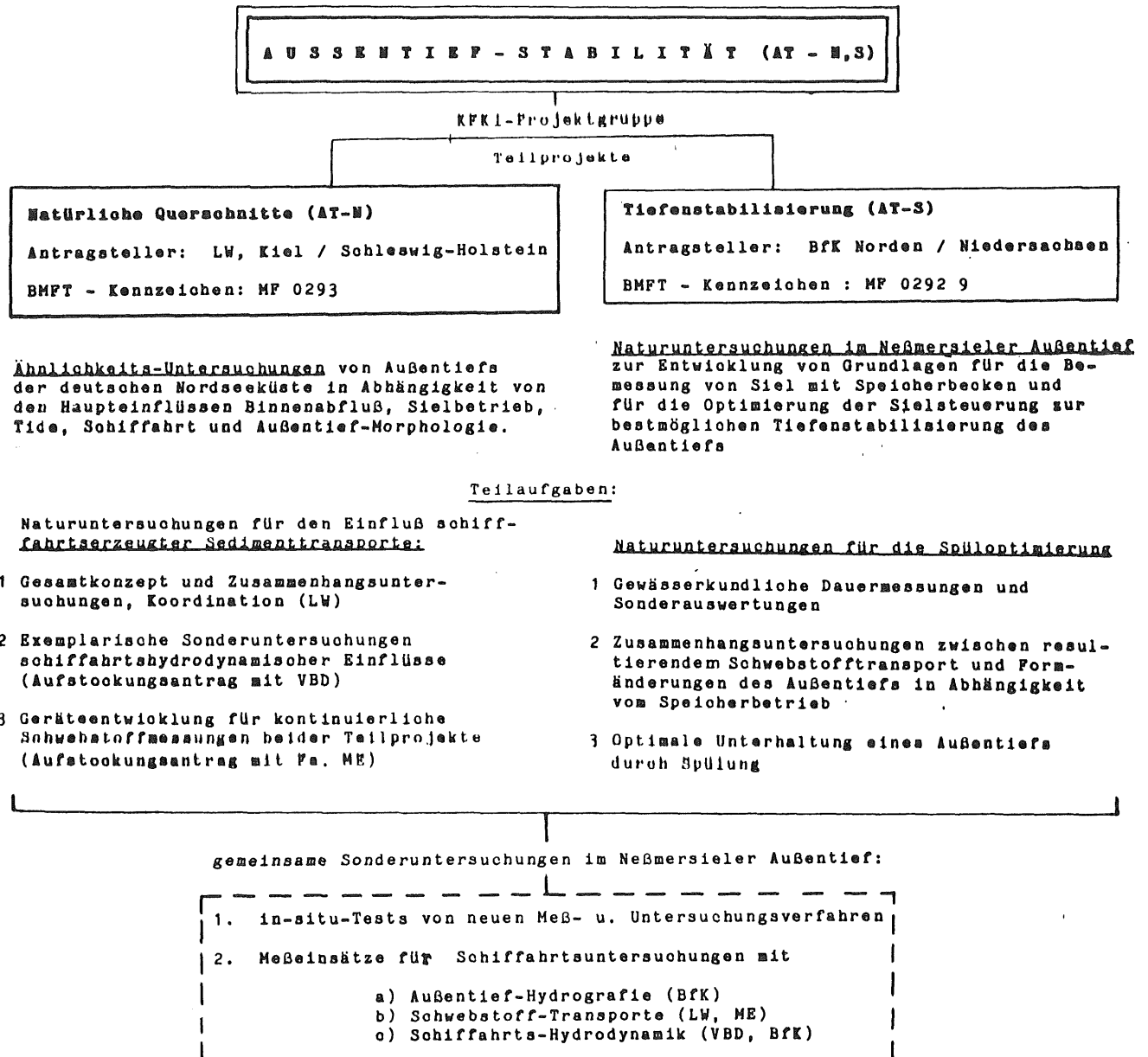
In Anlehnung an die thematische Untergliederung des gesamten Vorhabens sind nachfolgend die drei Berichtsteile aufgeführt.

Der betreffende Bericht der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. (VBD) wird wegen des engen Bezugs zu den Ausführungen der Teile C und B und wegen der formalen Abwicklung im Rahmen dieses Teilprojektes mit als Anhang beigelegt.

Besondere Hinweise

- a) Es sei an dieser Stelle betont, daß mit den SEDIWA-Meßverfahren bereits seit 1982 Konzentrationen ermittelt werden konnten. Mit der Weiterentwicklung wurden vor allem die Handhabung (Endziel Vollautomat) verbessert und die Meßgenauigkeit nachgewiesen.
- b) Die Begriffe Schwebstoff und Sediment wurden wahlweise verwendet, da keine völlig umfassenden Definitionen vorliegen. Auf jeden Fall ist immer die Feststoffkonzentration am Meßpunkt im Gewässer gemeint.
- c) Bei den Symbolen für die kennzeichnenden Binnenwasserstände wurde zur einfacheren Unterscheidung auf den Zusatz "T" (Tide) verzichtet (z.B. MHW statt MThw). Für die Außenwasserstände wurden die heute üblichen Symbole verwendet.

Koordinations - Übersicht

Beteiligte Institutionen:

LW = Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten
Schleswig-Holstein, Kiel

BfK = Bauamt für Küstenschutz, Norden

VBD = Versuchsanstalt f. Binnenschiffbau, Duisburg

ME = ME Meerestechnik + Elektronik GmbH, Trappenkamp

Gliederung des Inhalts der drei Projektschwerpunkte

Teil A: Ähnlichkeitsuntersuchungen von Außentiefs

1. Einleitung und Veranlassung
2. Problemstellung und Zielsetzung
3. Grundlagen und Voraussetzungen
 - 3.1 Bisheriger Kenntnisstand und theoretische Vorarbeiten
 - 3.1.1 Stabilitätsuntersuchungen von Wateinzugsgebieten
 - 3.1.2 Untersuchungen über Wattwasserläufe von RODLOFF
 - 3.2 Konzipierung der Vorgehensweise
 - 3.3 Ansatz, Methode
 - 3.3.1 Gedankenmodell zum Einfluß des mittleren Binnenwasserabflusses auf das Wateinzugsgebiet
 - 3.3.2 Arbeitshypothesen
 - 3.4 Verwendete Unterlagen
4. Durchführung und Ergebnisse
 - 4.1 Vorbemerkungen und Untersuchungskonzept
 - 4.2 Herleitung kennzeichnender Binnenwasserstände
 - 4.3 Einflüsse von Niederschlag u. Tide auf die kennzeichnenden Binnenwasserstände
 - 4.4 Einfluß der Größe des Binneneinzugsgebietes (Abfluß)
 - 4.5 Einflüsse infolge Außentieflänge, Grundriß und mittl. Höhenlage des Wateinzugsgebietes
 - 4.6 Einflüsse infolge des Durchflußquerschnittes am Siel
5. Literaturverzeichnis

Teil B: Verfahrensentwicklung für die Schwebstoff-
messungen mit dem System SEDIWA (Sediment-
waage)

- 0. Allgemeines
- 1. Zielsetzung für das Schwebstoffmeßverfahren
- 2. Technische Ausgangsvoraussetzungen
 - 2.1 Entstehung des Meßprinzips
 - 2.2 Systembeschreibung der Halbautomaten bei Antragstellung
 - 2.3 Vorzüge und Nachteile dieses Systems
 - 2.3.1 Vorzüge
 - 2.3.2 Nachteile
- 3. Schwebstoffmeßverfahren SEDIWA
 - 3.1 Entwicklungsstand
 - 3.2 Systembeschreibung SEDIWA
 - 3.2.1 Datenerfassungssystem Moby
 - 3.2.2 Sedimentsonde SEDIWA
 - 3.2.3 Multisonde für Attenuation, Salzgehalt und Temperatur
 - 3.2.4 Strömungssonde
 - 3.2.5 Datenauswertung
- 4. Wichtigste Entwicklungsschritte des SEDIWA-Systems
 - 4.1 Entwicklung der Unterwasser-Wägezelle
 - 4.2 Automatische Spüleinrichtung
 - 4.3 Automatische Durchflußmessung
 - 4.4 Förderpumpe
 - 4.5 Weiterentwicklung des Moby
 - 4.6 Strömungsmessung
 - 4.7 Attenuationsmessung
 - 4.8 Software
- 5. Beurteilung des SEDIWA-Systems
- 6. Literaturverzeichnis

Teil C: Schifffahrtserzeugte Schwebstofftransporte
im Neßmersieler Außentief/Ostfriesland

- 0. Zusammenfassung

- 1. Einführung
 - 1.1 Anlaß und Zielsetzung
 - 1.2 Stellung im Rahmen des Gesamtprojektes

- 2. Konzipierung und Planung
 - 2.1 Vorbemerkungen
 - 2.2 Konzipierung der Untersuchungen im Neßmersieler Außentief
 - 2.2.1 Untersuchungsziele
 - 2.2.2 Auswahl der Meßstelle
 - 2.2.3 Untersuchungsverfahren und Meßsystem
 - 2.2.4 Auswahl der Versuchsschiffe
 - 2.2.5 Planung und Ablauforganisation

- 3. Durchführung der Naturversuche
 - 3.1 Meßreihen
 - 3.1.1 Wasserstände
 - 3.1.2 Strömungsgeschwindigkeiten
 - 3.1.3 Schiffsgeschwindigkeiten
 - 3.1.4 Schwebstoffkonzentrationen
 - 3.1.5 Oberflächen-Bodenproben
 - 3.1.6 Vermessung der Durchflußquerschnitte

 - 3.2 Versuchsreihen
 - 3.2.1 Vorversuche August 1982
 - 3.2.2 Zwischenversuche Juni 1983
 - 3.2.3 Hauptversuche August/September 1983
 - 3.2.4 Hauptversuche September 1984

- 4. Bewertung der Versuchsergebnisse
 - 4.1 Vorbemerkungen
 - 4.2 Vergleichende Analyse
 - 4.2.1 Tide- und spülungsbedingte Schwebstoffverteilung
 - 4.2.2 Schwebstoffanreicherungen nach Schiffspassagen
 - 4.2.2.1 Vorbemerkungen
 - 4.2.2.2 Schiffahrts-hydrodynamische Parameter
 - 4.2.2.3 Das Untersuchungsereignis als Stöorzustand
 - 4.2.2.4 Wasserstandsbezogene Schwebstoffbewegung
 - 4.2.2.5 Querschnittsinterne Schwebstoffverteilung
 - 4.2.3 Sedimente im Bereich der Meßstelle
- 5. Schlußfolgerungen und Ausblick
- 6. Schriftenverzeichnis

Teil D: Strömungsänderungen durch fahrende Schiffe
im Neßmersieler Außentief

Der betreffende Bericht der Versuchsanstalt für
Binnenschiffbau e.V. (VBD) wird wegen des engen Bezugs
zu den Ausführungen der Teil C und B und wegen der
formalen Abwicklung im Rahmen dieses Teilprojektes mit
als Anhang beigelegt.

Teil A: Ähnlichkeitsuntersuchungen von Außentiefs
1. Einleitung und Veranlassung

Zwischen dem sielnahen Binnentiefbereich eines Entwässerungsgebietes (Einzugsgebiet) und dem Großprielbereich des vorgelagerten Wateinzugsgebietes bilden sich während der Sielzugphase gebietsweise unterschiedlich große Wasserspiegelgefälle aus. Infolge der stärker sinkenden Außenwasserstände werden die Strömungswiderstände bei stetig abnehmenden Durchflußquerschnitten im Außentief und im Sielbereich verhältnismäßig groß. Daher liegen insbesondere die charakteristischen Tideniedrigwasserstände binnenseitig des Sieles im Mittel um etliche Dezimeter über denjenigen des Wateinzugsgebietes. Diese mittlere Wasserstandsanhebung wird teilweise noch über mehrere Tiden erhöht, wenn bei ungünstigem Zusammentreffen von stärkeren Niederschlägen und windstaubeinflußten Außenwasserständen der Zufluß zum Siel größer als der Abfluß ist.

Am unmittelbarsten davon betroffen ist die natürliche Binnenentwässerung (Vorflut), da sie auf optimale Sielzugverhältnisse angewiesen ist. Sind diese jedoch unzureichend, so müssen unterstützende Maßnahmen wie Schöpfwerksbetrieb oder Sohlvertiefung (Querschnittsvergrößerung im Außentief durch Spülbetrieb oder mechanische Räumverfahren wie Baggerungen/Räumbooteinsatz) durchgeführt werden. Gelegentlich werden auch Kutter, Sportboote und Inselfähren in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt; wenn nämlich zu geringe Wassertiefen vorhanden sind, dann ist nur noch tideabhängiger Fahrbetrieb mit täglich wechselnden Zeitanpassungen möglich.

Da es an der (deutschen) Nordseeküste rd. 170 Entwässerungssysteme mit einer Gesamtgröße der Einzugsgebiete von rd. 10.700 km² gibt, läßt sich der praktische Bedarf an zuverlässigeren Kenntnissen erahnen. Insbesondere in Anbetracht der immer knapper werdenden Energieressourcen und des stärker ansteigenden mittlerem Meereswasserspiegels werden aus der Sicht der Wirtschaftlichkeit diejenigen Betriebsverhältnisse an Bedeutung gewinnen, bei denen die oben angeführten stützenden Maßnahmen und Einschränkungen minimal bleiben.

Vor allem aus diesen Gründen beauftragte das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) die Projektgruppe "Natürliche Querschnitte von Außentiefs" (AT-N) sich mit der Frage zu befassen, wie sich die "entsprechenden Verhältnisse" an einem Siel-system mit weitgehend sich selbst überlassener Außentiefmorphologie einstellen. Ist dieser "Grenzfall" hinreichend bekannt, so lassen sich ihm gegenüber die aufwendigeren künstlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Tiefenverhältnisse zuverlässiger kalkulieren (Wirtschaftlichkeit). Außerdem können Auswirkungen von Eingriffen in das natürliche System – wie z.B. eine Veränderung der (Binnen-)Einzugsgebietsgröße – besser abgeschätzt werden.

Die nachfolgend vorgestellten Untersuchungsergebnisse sollen dazu einen weiteren Beitrag liefern.

2. Problemstellung und Zielsetzung

Es ist bekannt, daß der Wasserstandsverlauf in einem küstennahen Entwässerungssystem hauptsächlich von den Tidewasserständen (außen) und vom Binnenwasserabfluß beeinflußt wird. Zwischen diesen beiden variablen natürlichen Randbedingungen wird er nur noch von den festen Randbedingungen Sielgeometrie und Topographie (Binnen- und Außentief) beeinflußt (vgl. Abb. 1). Darüber hinaus werden die Entwässerungsvorgänge meistens noch durch spezielle Drosselungs- und Stau-betriebe überlagert (Einlaß, Auslaß).

Da Theorien und Modelle zur Zeit nicht zur Verfügung stehen, wurde eine Bestandsanalyse auf der Grundlage von vorhandenen Naturmessungen, Berichten (Archiv-recherchen) und Veröffentlichungen vorgeschlagen. Da die Problematik wegen der Wechselwirkungen zwischen Hydrologie und Morphologie/Geometrie verhältnismäßig kompliziert ist, sollte vorrangig herausgefunden werden, welche Einflüsse unabhängig bzw. abhängig von anderen sind. Diese Kenntnisse sind für die Praxis von Bedeutung, weil bei Umgestaltung oder Neuanlage von Entwässerungseinrichtungen ggf. optimal Einfluß genommen werden kann.

Die an der deutschen Nordseeküste vorhandenen Entwässerungssysteme bilden die Untersuchungseinheiten. Ihre räumliche und zeitlich variable Beschaffenheit ist durch einen geeigneten Parametersatz zu kennzeichnen. Anhand dieser sind dann die unterschiedlichen Gebiete miteinander zu "vergleichen". Die ermittelten Unterschiede bzw. Identitäten sind in eine geeignete Systematik zu bringen. Diese soll aber so ausgerichtet sein, daß die wesentlichsten Einflußgrößen erkennbar sind.

Diese geplante Vorgehensweise wurde als "Ähnlichkeitsuntersuchung" bezeichnet. Es war von vornherein erkennbar, daß dafür keine geeignete Lehrmeinungen vorlagen. Daher mußte der Methodenentwicklung selbst genügend Forschungsaufwand gewidmet werden.

Es sei jedoch angemerkt, daß bei Konzipierung und Bewertung der hier durchzuführenden Untersuchungen auf Erkenntnisse aus anderen KFKI-Projekten und Sonderforschungsprojekten (SFB 79/205, Hannover) zurückgegriffen werden konnte. Darauf wird aber an entsprechender Stelle näher eingegangen.

3. Grundlagen und Voraussetzungen

3.1 Bisheriger Kenntnisstand und theoretische Vorarbeiten

3.1.1 Stabilitätsuntersuchungen von Wateinzugsgebieten

Seit der Abtrennung der Marschengebiete durch See-
deiche erfolgte eine feste räumliche Zuordnung für die
Einflüsse aus Niederschlag und Tide. Der Bereich des
Binnentiefs ist heute frei von jeglichen direkten
Tidewassereinwirkungen und daher konstant bezüglich
seiner natürlichen morphologischen Verhältnisse, und
zwar in dem Zustand, der sich bis zum Zeitpunkt der
Vordeichung entwickelt hatte.

Demgegenüber mußten sich die außerhalb der Deichlinie
verbliebenen Wattenbereiche auf die neuen ortsfesten
Flutraumgrenzen einstellen. Insbesondere bildeten sich
infolge des hohen Energieniveaus (Tide, Seegang) Vor-
land und höher gelegene Wattbereiche seeseitig der

neuen Grenzen aus. Das Zusammenwirken von Binnenwasserabfluß und Gezeitenströmung fand nur noch im Bereich außerhalb des Sieles, im heutigen Außentief, statt.

Für Wateinzugsgebiete und Tidebecken ab etwa zehn Quadratkilometer Größe wurden in den letzten 15 Jahren systematische Stabilitätsuntersuchungen durchgeführt (z.B. RINGER (1976), PARTENSKY (1982), DIECKMANN (1986). Es konnte nachgewiesen werden, daß verhältnismäßig straffe Beziehungen zwischen Tidevolumen/Tidewassermenge und einigen kennzeichnenden Formgrößen wie Prielvolumen, Prieloberfläche und Größe des Tideeinzugsgebietes bestehen.

Mit zunehmender Annäherung an die Tidegrenze bei Vorland, Seedeichen und Dämmen ließ die morphologische Formenanalyse jedoch Unregelmäßigkeiten und größere Streuungen erkennen. Es wird vermutet, daß dort die Einflüsse aus Bodenbeschaffenheit, Biologie, erhöhten Tiden mit Seegang und Triftströmungen sowie Binnenwasserabfluß gegenüber der "mittleren" Gezeitenbewegung dominieren. Auch RODLOFF (1970) schließt aus ähnlichen Beobachtungen, daß hier noch unbekannte Einflüsse eine zusätzliche Rolle spielen müssen. Diese auch bei anderen Autoren aufgeführten Einzelhinweise wurde jedoch bislang nirgends in einer Systematik zusammengestellt. (Es wird daher empfohlen, den küstennahen Wattenbereich (Vorland und oberer Bereich des Tidehubes) in einem neuen KFKI-Forschungsprojekt zu untersuchen.)

Für das hier zur Diskussion stehende Außentiefproblem muß aufgrund der bisherigen Kenntnisse gefolgert werden, daß die "mittlere Höhe" des dem Deich vorge-lagerten Watts trotz vorhandener Stabilität durchaus um einige Dezimeter unterschiedlich sein kann. Dement-

sprechend wird die Tidewassermenge und deren Wirkung auf den Außentiefquerschnitt beeinflusst. Eine systematische Übersicht über die räumlichen Verteilungsmerkmale wurde bislang nicht veröffentlicht.

Abschließend sei angemerkt, daß hydrodynamische Abschätzungen unter Berücksichtigung von physikalischen Ansätzen für den Schwebstofftransport m.E. nicht tauglich sind. Dies liegt vor allem an den Einflüssen aus Beschleunigungen/Verzögerungen während der Halbtide, an den unterschiedlichen Bodeneigenschaften, an den Seegangseinflüssen und an den sehr unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen (einschließlich Temperatur und Salzgehalt). Daher ist der Weg über Ähnlichkeitsuntersuchungen unbedingt geboten.

3.1.2 Die Untersuchungen über Wattwasserläufe von RODLOFF (1970):

Am eingehendsten hat sich RODLOFF (1970) zum Problem der Außentiefs geäußert. Er vergleicht u.a. kleine Wateinzugsgebiete mit und ohne Sielaußentiefs an der schleswig-holsteinischen Westküste anhand morphologischer Kenngrößen mit folgenden Ergebnissen:
(S. 73 - 75):

- a) Der Durchflußquerschnitt nimmt zu mit der Größe des angeschlossenen Wateinzugsgebietes.
- b) Vorlandbildung, Lahnungen und seitliche Führungen (Leitdämme usw.) führen zur Verkleinerung der Querschnitte. Die Grundrißform des Wateinzugsgebietes hat auch einen Einfluß.

- c) Barren im ufernahen Bereich können einen erheblichen Gefälleverlust verursachen (z.B. Tetenbüllspieker : 0,4 m). Zitat (S. 38): "Bei Barren des ufernahen Bereiches (Priele und Sielaußentiefe) bedarf es nur einer verhältnismäßig geringen Änderung der Größe des Watteinzugsgebietes, um die kennzeichnenden Werte der Barren, z.B. die mittlere Wassertiefe über einer Barre, zu vergrößern."

(Zitat S. 32: Nach dem Bericht des Vorstehers des Sielverbandes Tetenbüllspieker (jetzt Everschopsiel) z.B. ist die Entwässerungsleistung des Sielaußentiefs nach Ablauf der Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 besonders gut gewesen.)

- d) (Zitat S. 76) "Zur Eliminierung des Süßwassereinflusses" sind die Leitlinien (Talweg) der Außentiefs und die Ausgleichslinie der Wattrinnen und Priele aus möglichst unbeeinflussten natürlichen Wattrinnen entwickelt und eingeführt worden (Abb. 2a u. 2b)."

Die Höhenlage des Talweges ist in erster aber sehr grober Näherung abhängig von der Größe des Einzugsgebietes (binnen). Es leuchtet ein, daß der Außentiefquerschnitt (und damit auch seine Tiefe) dem Binnenwasserabfluß direkt proportional ist. Der Vergleich mit der "Ausgleichslinie" (sofern er zulässig ist!) weist demzufolge größere Querschnitte im sielnahen Bereich auf.

RODLOFF weist aber auch auf den Einfluß baulicher Maßnahmen am Siel und im Binnentief auf die Sohlhöhe und die Querschnittsgröße des Außentiefs hin.

Anhand eines exemplarischen Nachweises gelangt er zu der Auffassung (Zitat S. 55 oben), daß "beide Einflüsse, der zu kleine Querschnitt der Siele und der unwirksame Abfluß des Hochwassers die sehr mangelhafte Leistung des Sielaußentiefs Bongsiel bewirken."

e) Empfehlung (Zitat, RODLOFF S. 77):

"Der Einfluß der Größe des "Niederschlagsgebietes" auf das Bett eines Sielaußentiefs konnte wegen fehlender Meßunterlagen quantitativ nicht ermittelt werden. Wegen der Bedeutung dieser Abhängigkeit sollten diese Untersuchungen so bald wie möglich fortgesetzt werden. Hierzu müssen jedoch genauere Kenntnisse über die Tidewasserstände an den Sielen außen (MTnw) und innen (MTnw, MThw und HThw) sowie über ihre Entwicklung in Abhängigkeit von der Veränderung des zugehörigen Sielaußentiefs vorliegen. Voraussetzung ist jedoch die Ausrüstung der Siele mit geeigneten Schreibpegeln."

3.2 Konzipierung der Vorgehensweise

Auf der Grundlage der bisher aufgeführten Kenntnisse und Überlegungen wurde folgendes Konzept über die beabsichtigte Vorgehensweise entwickelt:

- a) Da man davon ausgehen mußte, daß die Außentiefmorphologie (Sohle, Barren), der Niederschlag und die Außenwasserstände einer gewissen Schwankungsbreite unterliegen, war Vorsicht bei der Verwendung von zeitlich und räumlich enger begrenzten Meßwerten geboten. Daher mußten im Sinne der hier angestrebten Stabilitätsuntersuchungen entsprechend

lange Zeitreihenanalysen vorangestellt werden. Wegen der hydrologisch-morphologischen Wechselbeziehungen war daraus zweifelsfrei zu folgern, daß bedeutendere Fortschritte bei diesem Problemkreis nur auf der Grundlage detaillierter Wasserstandsanalysen zu erzielen sind (vgl. RODLOFF u. Abs. 4).

- b) Die Bedeutung der morphologischen Meßergebnisse wurde auf der Grundlage der Erkenntnisse des KFKI-Projektes MORAN (Morphologische Analyse der Nordseeküste) abgeschätzt. Demzufolge sind die höheren und deichnahen Watten nahezu völlig stabil. Die der gesamten Tidedauer ausgesetzten tiefer gelegenen Durchflußquerschnitte weisen demgegenüber größeren "Umsatz" auf. Barrenbereiche, Talsohle und tiefer liegende Querschnittsbereiche mußten daher als "weniger stabil" eingestuft werden. Die morphologischen Daten wurden folglich zunächst nachrangig behandelt, weil zuverlässige Mittelwerte nicht zur Verfügung standen.
- c) Für die hier anstehende Problematik mußte weiter gefolgert und vorausgesetzt werden, daß sich bei unveränderten Systemen im längerfristigen Mittel (d.h. mehrere Jahre) keine resultierenden Änderungen der Durchflußquerschnitte ausbilden. Dies gilt für die Sedimentbewegungen mit entsprechender stabilisierender Wirkung auf die Außentiefquerschnitte ebenso wie für die Wasserstände. Dieser "mittlere Zustand" wird üblicherweise als Gleichgewicht bezeichnet. Ihm werden die "gemittelten" Zustandsgrößen zur Kennzeichnung der wesentlichsten Systemeigenschaften zugeordnet.

d) Am schwierigsten schien die Abhängigkeit von maßgebenden Einflüssen untereinander zu sein. TILLESSEN (1951) und RODLOFF (1970) weisen an mehreren Stellen darauf hin, daß die "Leistungsfähigkeit" des Sieles (Drempelhöhe, Breite) die Sielzugdauer, die Spülwirkung und damit auch die Querschnitte des Außentiefs beeinflussen könnten (Vermutung). Methodisch abgesicherte Nachweise wurden noch nicht erbracht.

An dieser Stelle muß auch unbedingt die Wirkung eines sielnahen Speichers überdacht werden. In Verbindung mit seiner landeinwärts gerichteten Fortsetzung im Binnentief beeinflusst er in starkem Maße das Retentionsverhalten des gesamten Systems. Entsprechende ausgleichende Auswirkungen auf die Wasserstände und den "mittleren" (= kennzeichnenden) Abfluß müssen unterstellt werden (vgl. auch Abs. 3.3.2 und 4.4).

3.3 Ansatz, Methode

In der Vorphase der Projektbearbeitung wurden die bisher vorliegenden Messungen, Berichte (Archivrecherchen) und Veröffentlichungen überprüft und daraus Schlußfolgerungen für die Prioritäten und Arbeitsschwerpunkte gezogen. Am bedeutensten war die Abschätzung der unabhängigen Einflußgrößen, d.h. der Einflüsse und deren zweckmäßige Parameterisierung.

3.3.1 Gedankenmodell zum Einfluß des mittleren Binnen- wasserabflusses auf das Wateinzugsgebiet -----

Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse des Sonderforschungsbereiches 79/205 (Hannover: RENGGER, DIECKMANN, PARTENSCKY) schien eine Abschätzung der Außentiefeinflüsse zunächst angebracht zu sein.

Die deichnahen Wattengebiete vor einem "unbedeutend kleinen" Einzugsgebiet mit Siel seien denjenigen ohne jeglichen Binnenwasserabfluß ähnlich. Sie werden demzufolge nur von den Außeneinflüssen geprägt. Die Binnenwasserstände (Siel-BP) stellen sich ausschließlich in Abhängigkeit von der davorgelegenen Wathöhe ein. Es bildet sich praktisch kein Außentiefl.

Mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes gewinnt jedoch die Spülkraft des Sielzuges an Bedeutung. Entsprechend muß auch die Leistungsfähigkeit des Außentiefs zunehmen. Es wird gefolgert, daß der Binnenwasserabfluß ab einer bestimmten Mindestgröße die Wattenmorphologie nennenswert beeinflusst. Es kommt zur Außentiefbildung mit Niveauflächen im Bereich des Tidehubes (= "angeschlossene Wasserflächen des Wateinzugsgebietes"), die größer sind als in einem Vergleichsgebiet ohne Binnenwasserabfluß. Dementsprechend vergrößern sich auch die Tidewassermenge und die dazugehörigen Durchflußquerschnitte.

Mit diesen Vorüberlegungen wurde eine systematische Vorgehensweise konzipiert. Der mittlere Binnenwasserabfluß am Siel sei zunächst die überragende Einflußgröße, näherungsweise ersetzt durch die Größe des Einzugsgebietes (früher "Niederschlagsgebiet"). Sie muß allerdings modifiziert werden, da auf Grund der praktischen Erfahrungen (vgl. RODLOFF) der zeitliche Ver-

lauf des Sielzuges eine noch näher zu bestimmende Rolle spielt. Dieser dürfte wiederum vorgeprägt sein durch die fest vorgegebenen Sieldimensionen, die nach Festlegung durch den Entwurf der Anlage die Bedeutung einer unabhängigen Veränderlichen (besser: Randbedingung) annehmen.

Da keine Systeme mit auch nur annähernd gleichen Kenngrößen vorhanden waren, wurden zunächst Arbeitshypothesen (vgl. Abs. 3.3.2) aufgestellt, um sie später anhand der Auswertungsergebnisse zu überprüfen. Sie gelten jeweils der Abschätzung eines Einflusses, wobei für die übrigen Eigenschaften "vergleichbare Systemverhältnisse" als wichtige Grundvoraussetzung angenommen werden. Diese Arbeitshypothesen werden nachfolgend aufgeführt.

3.3.2 Arbeitshypothesen

Für die als "wesentlich" angenommenen Einflußgrößen wurden folgende Arbeitshypothesen zur Abschätzung ihrer Bedeutung für ein beliebiges Entwässerungssystem auf der Grundlage aller bisher aufgeführten Überlegungen aufgestellt:

- a) Die Größe des (Binnen-) Einzugsgebietes (bzw. des mittleren Binnenabflusses) wirkt sich nicht primär auf die Gefälleausbildung im Außentief aus (und damit auch nicht auf die mittleren kennzeichnenden Binnenwasserstände). Dieses würde den bekannten Gleichgewichtstheorien für Gebiete mit veränderlichen Bodenoberflächen widersprechen. Für kleine Einzugsgebiete nehmen die Einflüsse aus dem ufernahen hohen Watt zu.

- b) Die Größe des (Binnen-) Einzugsgebietes (mittlerer Binnenwasserabfluß) ist direkt proportional zur Größe der Durchflußquerschnitte des Außentiefs.

- c) Das Verhältnis zwischen mittlerem Sieldurchflußquerschnitt und Größe des Einzugsgebietes (F_m/A_e) ist umgekehrt proportional zum Unterschied der mittleren Wasserstände zwischen Siel-Binnenpegel und "Wattpegel" im abflußunbeeinflussten Bereich des Wateinzugsgebietes. (Je kleiner das Verhältnis, desto größer die Anhebung des Binnenwasserstandes. Der Außenwasserstand am Sielaußenpegel wird i.a. wegen des gleichförmigen Sielquerschnitts entsprechend angehoben. Er wird weniger von den Gefälleverhältnissen im Außentief beeinflusst).

- d) Die Länge des Außentiefs (eine nur ungefähr anzugebende Formgröße!) ist direkt proportional zur Anhebung der sielnahen Wasserstände. Denn die Reibungsverluste nehmen mit der Länge zu.

- e) Je größer die "angeschlossenen Wasserflächen" flutseitig eines Durchflußquerschnittes im Wateinzugsgebiet (WEG) sind (Gleichgewichtszustand vorausgesetzt!), desto günstiger bildet sich die Leistungsfähigkeit aus. Die Grundrißform des WEG sollte möglichst birnenförmig sein (Schmalseite in Richtung See).

- f) Die "mittlere Höhenlage" des ufernahen Wateinzugsgebietes ist in erster Näherung direkt proportional zur mittleren Höhenlage des Außentiefs und damit auch zu den Binnenwasserständen.
- g) Regional größerer/kleinerer mittlerer "kennzeichnender" Niederschlag muß für die Vergleiche in erster Näherung als direkt proportional zu einer ideellen Vergrößerung/Verkleinerung des Einzugsgebietes angesehen werden.
- h) Der Einfluß des mittleren Tidehubes ist z.Zt. nicht abschätzbar. (Dazu sind vor allem entsprechende wattmorphologische Voruntersuchungen erforderlich.)
- i) Der Einfluß aus der Existenz eines verhältnismäßig großen Speicherbeckens unmittelbar binnenseitig eines Sieles wird als "günstig" eingeschätzt (Nachweise nicht in allgemeingültiger Form erbracht; Kommentare dazu unter Abschnitt 4.4).

3.4 Verwendete Bezugsunterlagen

Da die Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen, Konstanten und Vergleichsgebiete einen beträchtlichen Datenumfang erwarten ließ, sollte vornehmlich mit vorhandenem Datenmaterial gearbeitet werden. Dieses wurde vereinbarungsgemäß auf Anfrage von den entsprechenden Küstenämtern und Entwässerungsverbänden zur Verfügung gestellt (Archivrecherchen). Alle erfaßten Entwässerungssysteme sind auf den Anlagen 1a und 1b, der Größe nach geordnet, zusammengestellt.

Die komprimierteste Datensammlung lag aus Niedersachsen in Form der sogenannten "Sielkennblätter" vor (s. Schrifttum). Für die insgesamt rd. 110 dort aufgeführten Entwässerungssysteme sind ausgewählte wesentliche Systemgrößen in Form von übersichtlichen Listen zusammengestellt. (Anl. 2a - c) Die Genauigkeit und (zeitliche) Repräsentanz des Datenmaterials ist erwartungsgemäß für die Binnenwasserstände und die (ungefähre) Länge des Außentiefs verhältnismäßig gering und vor allem gebietsweise unterschiedlich. Teilweise wurden sogar nur Bemessungs- oder Sollwasserstände aufgeführt (mündliche Auskunft). Auch die (mittleren) Tideniedrigwasserstände sind nicht immer aus Meßwerten am Sielaußenpegel, sondern über Korrelationen mit benachbarten Pegeln ermittelt worden. Das Datenmaterial muß demzufolge als inhomogen angesehen werden. Eine Nachprüfung oder gar "Bereinigung" der Werte schied wegen des beträchtlichen Aufwandes von vornherein aus. (z.B. eine Binnenpegel-Jahresreihe mit allen Bearbeitungsstufen rd. 1 Mann-Woche.)

Für die schleswig-holsteinischen Entwässerungssysteme wurde eine eigene Datensammlung angelegt. Die erfaßten Gebiete sind ebenfalls mit in der Gebietsübersicht auf Anlage 1a/1b aufgeführt. Aus dieser Gruppe wurden einige Gebiete für Sonderuntersuchungen über die Ermittlung von kennzeichnenden Wasserständen ausgewählt (vgl. Abs. 4.6). Außerdem konzentrieren sich um einige von ihnen die morphologischen Untersuchungen über die Außentieftiefquerschnitte. Dafür wurden eigens einige Vermessungen im Rahmen des Vorhabens durchgeführt.

4. Durchführung und Ergebnisse

4.1 Vorbemerkungen und Untersuchungskonzept

Bei einer Vorauswertung der verfügbaren Unterlagen wurde bald deutlich, daß die hydrologischen Kenngrößen methodisch nicht abgesichert waren. Es mußte davon ausgegangen werden, daß die dadurch entstehenden Fehler sogar im Dezimeterbereich und damit in der Größenordnung der durch die Einflußgrößen bewirkten Wasserstandsanhebungen liegen. Daher wurde der Frage der Kenngrößenermittlung in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Betriebsbedingungen und Jahreseinflüssen zunächst vertieft nachgegangen (vgl. Abs. 4.2 u. 4.3).

Mit diesen Erkenntnissen wurden für das Vergleichsjahr 1977 zehn Gebiete untersucht. Die definierten Kenngrößen wurden zur Abschätzung der Einflußgrößen weiterverwendet (vgl. Abs. 4.6 und Anl. 3a - k).

Die morphologischen Untersuchungen über die Außentiefquerschnitte sollten zunächst grob quantitativ erfolgen, um den zu erwartenden beträchtlichen Auswertungsaufwand (Rechner und erheblicher Software-Aufwand erforderlich) in Grenzen zu halten. Die nachfolgende Feinauswertung für ausgewählte Bereiche wurde eingeschränkt, weil

- a) die zeitliche Repräsentanz der Einzelvermessungen (i.a. wenige Tage) zweifelhaft schien und

- b) die räumliche Repräsentanz des Einzelprofils (und diese lagen i.a. nur zur Auswertung vor!) wegen der teilweise beträchtlichen Variabilität in Längsrichtung des Außentiefs nicht ohne größeren Be-
gleitaufwand gesichert schien.

Um trotz der methodischen Einschränkungen und der fehlenden Vergleichskonzepte dem Hauptziel bald näher zu kommen, wurde eine umfassende Vorstudie anhand von drei "Repräsentativgebieten" durchgeführt. Am geeignesten erschienen dazu die drei unmittelbar nebeneinander gelegenen Sielentwässerungssysteme im westlichen Bereich der Halbinsel Eiderstedt. (vgl. Abb. 7 und 9a)

Größe des Einzugsgebietes:

Nr. 1	-	Deichsiel Tümlau	($A_E = 29,9 \text{ km}^2$)
Nr. 3	-	Ehstensiel	($A_E = 32,4 \text{ km}^2$)
Nr. 4	-	Everschopsiel	($A_E = 68,3 \text{ km}^2$)

Dadurch wird erreicht, daß die hydrologischen Randbedingungen (vgl. Abs. 2) binnen (Niederschlag) und außen (Tide) "recht ähnlich" sind. Für einen Gebietsvergleich dürften letztere daher in erster Näherung als "gemeinsame Konstante" (bzw. "gleichartige Verhältnisse") unberücksichtigt bleiben.

Nachfolgend werden die soeben skizzierten Teilkonzepte und die erzielten Erkenntnisse während der Untersuchungen näher erläutert.

Infolge der unnatürlichen Betriebsformen "Einlaß", "Stau" und "teilweise gedrosselter Durchfluß" weichen die Tidebinnenwasserstände gegenüber denjenigen bei

reinem Sielbetrieb deutlich nach oben ab. Sie können von Siel zu Siel und von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein (vgl. u.a. Abb. 3f). Es muß hervorgehoben werden, daß entsprechend differenziertere Ganglinien-Untersuchungen für steuerungsbeeinflusste Sielbinnenpegel hier erstmals durchgeführt wurden. Der Aufwand für diese eigenständigen methodischen Schwerpunktarbeiten war beträchtlich. Die erzielten Ergebnisse sind jedoch richtungsweisend für aufschlußreichere Kennzeichnungen von Tidewasserständen (z.B. im Gewässerkundlichen Jahrbuch).

Wegen des einzugrenzenden Aufwandes wurden zunächst nur die Tidescheitelwasserstände am Sielbinnenpegel für ganze Jahresreihen ausgewertet. Denn für die Außenwasserstände im nächstgelegenen Großpriel am Ende des Außentiefs konnten die entsprechenden analogen Mitteltideniedrigwasserstände (MTnw 1977) für den Untersuchungszeitraum (1975 - 1979) von einem bereits abgeschlossenen KFKI-Forschungsvorhaben ohne zusätzlichen Aufwand übernommen werden (SIEFERT, 1985). Für die Auswertungen wurden umfangreiche PC-Rechnerprogramme entwickelt, ohne die die detaillierte und aufwendige Analyse nicht denkbar gewesen wäre (s. Abb. 4b).

4.2 Herleitung kennzeichnender Binnenwasserstände

Für die systematische Ermittlung von kennzeichnenden Binnenwasserständen wurde ausschließlich von Dauerpegelaufzeichnungen ausgegangen. Da für die entsprechenden Außenwasserstände im Rahmen dieses

Vorhabens die mittleren Tideniedrigwasserstände (MTnw) eines abgeschlossenen KFKI-Forschungsprojektes (SIEFERT, 1985) verwendet wurden, mußten für die Sielpegel die entsprechenden Kennwerte ermittelt werden. Zusätzlich wurden Binnenhochwasserscheitelwerte ausgewertet, um den Binnenhub und die mittleren Binnenwasserstände bestimmen zu können.

Alle erfaßten Scheitelwerte wurde routinemäßig nach folgenden Methoden ausgewertet (Beispiel TUEMLAU (1977) auf den Abbildungen 3a - f und Abb. 4a - dort noch als NN/HW-Werte bezeichnet):

- a) Tideniedrigwasser-Tidehochwasser-Ganglinie, eine zeitlich stark gestraffte Auftragung (s. Abb. 3a)
- b) Tideniedrigwasser nach Sielzug (s. Abb. 3b)
- c) Tideniedrigwasser-Unterschreitungsdauerlinien (und teilweise bezogenes HW), sortiert (s. Abb. 3c)
- d) Unterschreitungsdauerlinien für Tnw und Thw für die Betriebsfälle "Sielzug" und "Sielzug + Stau" (s. Abb. 3d)
- e) Häufigkeitsverteilungen der Tnw/Thw (5 cm-Klassen) für die Betriebsfälle gem. d)

Diese graphischen Darstellungen standen zunächst im Mittelpunkt weiterer Überlegungen. Sie gaben weitere wertvolle Aufschlüsse über die Einflüsse infolge von

- 1) Sohlvertiefungen im Außentief,
- 2) Niederschlagsverteilungen von Jahr zu Jahr und innerhalb eines Jahres (vgl. Abb. 3f),
- 3) systematische Änderungen der Betriebsweisen (vgl. Abb. 3f).

Die Erkenntnisse konnten jedoch nicht ohne größeren Aufwand verallgemeinert werden. Sie wurden daher nicht zum Systemvergleich herangezogen. Daher sind weitere Erläuterungen z.Zt. entbehrlich.

Anhand dieses Datenmaterials wurden jedoch die "kennzeichnenden" Wasserstände erarbeitet (vgl. Abb. 4a, für Tnw-Werte).

Die zunächst definierten Größen

- 1) Modalwert (W_{mod} = häufigster)
- 2) Medianwert (W_{med} = je 50 % unter- und überschritten)
- 3) Mittelwert (MW = arithmetisches Mittel)

zeigten charakteristische Unterschiede (vgl. Abb. 5a u. 5b). Für die Vergleiche wurden der Einfachheit halber nur die Mittelwerte (MW) benutzt, weil sie sich nur verhältnismäßig systematisch von den anderen beiden unterscheiden. Außerdem wurden nur diese in den Sielkennblättern aufgeführt.

Einige Sonderuntersuchungen dienten dazu, den Auswertumfang für das einzelne Siel dadurch zu begrenzen, indem man sich auf rd. einen "mittleren Monat" beschränkt. Dadurch könnten wiederum erheblich mehr Gebiete (Faktor 10) in die Untersuchungen einbezogen werden. Die Ergebnisse ließen sich bislang nicht verallgemeinern, sodaß von diesem Teilziel Abstand genommen wurde.

4.3 Einflüsse von Niederschlag und Tide auf die kennzeichnenden Binnenwasserstände

Da besonders die überdurchschnittlichen Niederschläge (Abflüsse) und Außenwasserstände (Tide im Watt) wegen der Tiefdruckentwicklungen i.a. gleichsinnige Erhöhungen der Wasserstände verursachen, wurden beide Einflüsse zunächst gemeinsam untersucht. Um die Einzelwirkungen je für sich abschätzen zu können, wurden mehrere Teilnachweise durchgeführt.

Zunächst wurden Voruntersuchungen für den Binnenpegel EHSTENSIEL (1977) durchgeführt. Auf Abb. 6a sind die Jahresganglinien für

- a) die Tagesniederschläge bei Garding, (N)
- b) Hw/ Nw - Scheitelwasserstände (EHSTENSIEL-BP)
- c) die Tnw-Scheitelwasserstände (Eidersperrwerk-AP)

einander zeitlich gegenübergestellt. Besonders deutlich fallen die gleichzeitigen "Spitzen" beim Niederschlag und beim Tnw auf. Noch aufschlußreicher ist jedoch der Verlauf des Binnenhubes (Thw/Tnw-Ganglinien). Das entsprechende "Band" wechselt seine Höhenlage fast um einen Meter vorwiegend in Abhängigkeit von den Außenwasserständen. Demgegenüber ändert sich die Größe

des Binnenhubes nicht so stark in Abhängigkeit vom Niederschlag. Die Gründe wurden wegen des Aufwandes nicht näher untersucht. Im Sommerhalbjahr werden die BP-Verhältnisse durch den Staubetrieb stark überlagert.

Um Einzeleinflüsse auszugleichen und kennzeichnende Jahreswerte herzuleiten, wurden zunächst Monats- und Jahresmittel gebildet. Der Gang der Monatsmittel ist auf Abb. 6b dargestellt. Recht deutlich kommt der "gleichsinne" Verlauf (hier entgegengesetzt aufgetragen) von Niederschlag und Außenwasserständen zum Vorschein. Die Wasserstandsdifferenzen zum Binnenpegel verlaufen nicht - wie eigentlich zu erwarten gewesen wäre - gleichsinnige zum Niederschlag. Dies läßt den Schluß zu, daß die Außenwasserstände im Tide-niedrigwasserbereich des Wattstromes (also außerhalb des "Übergangsbereiches", vgl. Abs. 2) den wesentlichen Einfluß auf die Binnenwasserstände haben. Die Größenordnung dieser Anhebung der Binnenwasserstände dürfte jedoch von den Retentionsverhältnissen (im weitesten Sinne) des jeweiligen Gebietes abhängen. Nachweise dazu wurden nicht geführt.

Da jedoch bekanntermaßen die Jahresniederschläge um mehrere zehn Prozent variieren können, wurde auch dieser Einfluß anhand dreier Mehrjahresreihen untersucht. Dazu wurden die Repräsentativgebiete (vgl. Abs. 4.1 und Abb. 7) ausgewählt, um auf individuelle Einflüsse aus noch unbekannten Gebietseigenschaften schließen zu können.

Sowohl die Niederschläge als auch die Mitteltide-niedrig- und Mitteltidehochwasserwerte wurden zur Elimination eventueller örtlicher Eigenheiten durch jeweils drei Meßstationen gekennzeichnet (vgl. Abb. 8a - 8c). Die entsprechenden Werte verlaufen nahezu

gleichsinnig, teilweise sogar trendartig. Gerade deswegen müßten auch systematische Auswirkungen auf die Binnenwasserstände zu erwarten sein.

Bevorzugt sollte sich dies auf die reinen Sielzugwerte auswirken. Ein Vergleich mit den Werten aus "Sielzug + Stau" bestätigt diesen Sachverhalt, wenn auch nicht immer ganz eindeutig (vgl. TÜMLAU, ab 1981, Abb. 8a). Gleichzeitig wird anhand der Gebiete EHSTENSIEL (Abb. 8b) und EVERSCHOPSIEL (Abb. 8c) deutlich, wie stark sich betriebliche Manipulationen auf die kennzeichnenden Wasserstände auswirken können. Dieser Sachverhalt müßte bei verbindlichen Systemvergleichen differenzierter untersucht werden.

Als grundsätzliches Ergebnis wird festgehalten, daß die Außenwasserstände primär die Binnenwasserstände beeinflussen. Die Niederschläge unterliegen der Versickerung, Verdunstung und Retention und wirken sich in unsystematischer Weise auf die Zuflüsse bzw. Wasserstandsanhörungen aus. Keine der Arbeitshypothesen gem. Absatz 3.3.2 wird damit direkt bestätigt.

4.4 Einfluß der Größe des Binneneinzugsgebietes (Abfluß)

Da der Gesamtabfluß aus dem Einzugsgebiet die bedeutendste natürliche Einflußgröße ist, wurden vielfältige Ansätze zur Abschätzung und zum Nachweis der Auswirkungen auf die anderen Systemkenngrößen verfolgt. Die nachfolgend aufgeführten Erläuterungen geben Teilantworten zu den Arbeitshypothesen a), b) und i) des Abschnittes 3.3.2.

Wegen des in den allermeisten Fällen unbekannten Gesamtabflusses wurde in erster Näherung die Größe des

Einzugsgebietes (A_E) ersatzweise verwendet. Sie wurde den mittleren Anhebungen der Binnenwasserstände gegenüber dem Mitteltideniedrigwasser (ΔH_i) gegenübergestellt, und zwar sowohl für MTnw als auch für MThw (vgl. Abb. 9a). Verwendet wurden die für 1977 (Vergleichsjahr) in den Sondergebieten methodisch zuverlässig ermittelten Werte für Sielbetrieb. Es ist keine Abhängigkeit von der Gebietsgröße zu erkennen. Die Streuungen dürften auf die Kombination mit den anderen Einflußgrößen zurückzuführen sein.

Ergänzende Informationen sind der Abb. 9b zu entnehmen. Dort sind die kennzeichnenden Binnenwasserstände, das MTnw (1977) und die Sielsohle in ihrem absoluten Höhenbezug aufgetragen. Nur die Höhenlage der Sielsohle nimmt in etwa mit zunehmender Gebietsgröße ab.

Eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt auch die räumliche Verteilung des gesamten Grabennetzes und Binnentiefs. Davon hängt in entscheidendem Maße das Retentions- und Abflußverhalten ab. Das Verhältnis von Marsch- und Geestanteil beeinflusst wiederum den Zufluß zum Hauptvorfluter in Sielnähe. In Trockenzeiten ist der Abfluß aus der Geest höher als aus der Marsch. Bei reinen Marschgebieten kann daher die Räumwirkung des Oberwassers zeitweilig ganz entfallen.

Ein Speicherbecken vor dem Siel bewirkt eine geringere Schwankungsbreite der Binnenwasserstände mit der Tide. Hierdurch entsteht um Tideniedrigwasser (Tnw) eine höhere Wasserspiegeldifferenz. Es ist zu erwarten, daß in Sielnähe oder bei Außentiefs im Vorlandbereich - also ohne seitlichen Zufluß - hierdurch eine besondere Räumwirkung erzielt wird. Der nicht versiegende Binnenabfluß bewirkt auch, daß die Dauer geringer

Strömungsgeschwindigkeiten beim Kentern im Außentief verkürzt wird. Infolgedessen ist i.a. eine tiefere Sohllage im Außentief zu erwarten.

4.5 Einflüsse infolge Außentieflänge, Grundriß und mittlerer Höhenlage des Wateinzugsgebietes

Dieser Einflußbereich war am schwierigsten zu bearbeiten, weil die morphologischen Parameter mindestens vertikal (Höhe z) und longitudinal (Außentiefachse s) differenziert betrachtet werden müßten. Außerdem ist der Querschnittsverlauf wegen der i.a. vorhandenen seitlichen Zuflüsse recht unregelmäßig. Dadurch wird die Auswahl kennzeichnender Schnittführungen sehr erschwert (vgl. Abb. 10a - i).

Ohne die konzepthaften Untersuchungsbelege beizufügen, wird folgende Meinung vertreten (vgl. Abs. 3.3.2, d), e), f)):

- a) Die Außentiefs scheinen auf einer mittleren Länge von rd. 1.000 m (+ 500 m) einen fast konstanten Querschnitt zu besitzen. Außerhalb dieser gedachten Grenze scheint sich der Querschnitt systematisch infolge des wohl dominanten Tideeinflusses aufzuweiten (vgl. Abb. 10 ~~n~~).
- b) Außentieflänge und Grundriß des zugehörigen Wateinzugsgebietes sind wohl ein wenig voreinander abhängig. Bei einem länglichen Wateinzugsgebiet wird die Wirkung der Tidewassermenge weiter nach außerhalb verschoben. Dementsprechend dürfte der konstante Querschnittsbereich (vgl. a)) etwas länger ausfallen.

- c) Die mittlere Höhenlage des ufernahen Wassereinzugsgebietes (etwa im obersten Drittel des mittleren Tidehubes) wurde im Abschnitt 3.1 bereits erwähnt. Sie muß als unabhängige Einflußgröße gewertet werden, weil die Wirkung des Binnenwasserabflusses nur auf den verhältnismäßig schmalen Außentiefbereich konzentriert ist. Eine gewisse Breitenwirkung ist allenfalls durch die bodenabhängige Hangstabilität gegeben. Breitere Außentiefs (infolge größerer Binneneinzugsgebiete) würden demzufolge auch niedrigere Umgebungsbereiche verursachen. Generell dürfte aber dann trotzdem eine höhere Außentiefhöhe zu erwarten sein. (Nachteilig für die Praxis ist dabei, daß die dafür verantwortlichen Einflüsse aus dem vorgelagerten Wattensystem nach derzeitigem Kenntnisstand so gut wie gar nicht beherrschbar sind.)

4.6 Einflüsse infolge des Durchflußquerschnittes am Siel

Im Gegensatz zu den sich nach Gleichgewichtsgesichtspunkten von selbst einstellenden Außentiefquerschnitten (= Reaktionsgrößen) bleiben die künstlichen, befestigten Durchflußquerschnitte im Bereich des Deichdurchlasses (Sieles) starr. Demzufolge kann hier nur der Wasserstand (= Reaktionsgröße) ausweichen. Mit der Querschnittsdimensionierung des Sieles und seiner angrenzenden Bereiche (Leitwerke, Sohle, Drempeelhöhe, Kammerzähl usw.) wird für immer der Einfluß auf die Wasserstände festgelegt. Damit nimmt der Durchflußquerschnitt am Siel die Bedeutung einer unabhängigen Veränderlichen an.

Als wesentlichste Orientierungshilfe wurde bislang das Verhältnis von

$$\frac{\text{mittlerem Sielquerschnitt } F_m(m^2)}{\text{Größe des Einzugsgebietes } A_E (m^2)} = \varepsilon$$

verwendet. Über die jeweiligen Entscheidungskriterien (beim Entwurf des Sieles) sei hier nicht weiter diskutiert. Die gegebenen Situationen werden vielmehr hingenommen und systematisch miteinander verglichen. Dazu wurde das gesamte Datenmaterial der niedersächsischen Sielkennblätter herangezogen (vgl. Anl. 2a - 2c).

Da in erster Linie die mittlere Wasserstandsanhebung ($\Delta \bar{H}$) interessierte, wurde diese in Abhängigkeit vom ε -Wert aufgetragen (vgl. Abb. 11, Zeile B). Der Vergleich ist etwas mühsam, da nur die Ordinatenabschnitte unter mittlerem Binnenstau (MiBiSt) miteinander in Beziehung gebracht werden müssen. Für eventuelle weiterführende Überlegungen und Erklärungen wurden außerdem das MThw, OmNN, MTnw und die Drempelhöhe mit eingezeichnet.

Als Ergebnis ist festzustellen, daß hier keine eindeutige Abhängigkeit besteht. Die $\Delta \bar{H}$ -Werte streuen mit noch unbekannter Unregelmäßigkeit. Auf die denkbaren Einflüsse wurde weiter oben hingewiesen. Auch die mit eingezeichneten Parameter

- a) Größe des Einzugsgebietes (A_E)
- b) Gesamtöffnungsweite des Sieles (B)
- c) ungefähre Länge des Außentief (L)

lassen bei einem ersten visuellen Vergleich keine systematischen Zusammenhänge erkennen.

Um das eingangs bezüglich seiner Genauigkeit in Frage gestellte Datenmaterial ein wenig besser einschätzen zu können, wurden die 10 durch Sonderuntersuchungen methodisch zuverlässig ermittelten mittleren Binnenwasserstände als Korrekturen auf Abb. 11 eingefügt. Die vier als dicke rote Balken eingezeichneten Höhendifferenzen bei den Gebieten Nr. 5 bis 8 vermitteln einen Eindruck von der Größenordnung eventueller Fehler. Die Länge der "Balken" bzw. die dort angegebenen Zahlen sind die errechneten Differenzen der Rückstauwerte ($\Delta\bar{H}$) aus den Daten der Sielkennblätter und denjenigen der hier durchgeführten Sonderuntersuchungen (vgl. auch Abb. 12).

Die eingetragenen grünen Balken sind ebenfalls exakt ermittelte Wasserstandsanhebungen ($\Delta\bar{H}$) für sechs schleswig-holsteinische Gebiete. Sie nehmen für kleine Σ -Werte erwartungsgemäß verhältnismäßig große Werte an, ein tendenzmäßig einleuchtender Einfluß! Alle Kennwerte der Sonderuntersuchungen sind auf Abb. 12 zusammengestellt.

Abschließend wird festgestellt, daß bei Verwendung zuverlässiger Wasserstandsdaten auch bessere Erkenntnisse zu erwarten sind. Die "Ungenauigkeiten" der einzelnen Kennwerte (vgl. rote Balken für "Fehlergröße") liegen m.E. in derselben Größenordnung wie die Auswirkungen der Einflußgrößen. Aus diesem Grunde wurde auch von der Verwendung von statistischen Untersuchungsmethoden abgesehen.

Literaturverzeichnis

CHRISTIANSEN, H.

Über den Transport suspendierter Feststoffe in
Ästuarien am Beispiel der Elbmündung bei Neuwerk.
(2/1974) - Hamburger Küstenforschung, H. 28

COLDEWEY, H.-G.

Sielzugberechnung unter Berücksichtigung von Außen-
tiefverlusten. - Wasser und Boden, 10/1979 (S. 295/
296)

DIECKMANN, R.

Geomorphologie, Stabilitäts- u. Langzeitverhalten
von Wateinzugsgebieten der Deutschen Bucht.
Mitt. des Franzius-Inst. f. Wasserbau u. Küsten-
ingenieurwesen der Universität Hannover, H. 60,
1985

GÄRTNER, H.-J.

Untersuchung über die voraussichtliche Entwicklung
einer Wattrinne vor einem neuen Siel, 8/1971
(Referendarsarbeit, unveröffentlicht)

LIESE, R. u. LUCK, G.

Ermittlung von Abfluß-Spenden im Küstengebiet.
Mitt. der Forschungsstelle für Insel- u. Küsten-
schutz, Jahresber. 1972, Norderney 1973

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT,
FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE/NORDERNEY

Sielkennblätter (Unterteilung nach Regierungs- bzw.
Verwaltungsbezirken in Niedersachsen), Norderney,
im Januar 1969 (entspricht einer Zusammenstellung
der Auszüge aus den Jahresberichten zwischen 1962
und 1975 in Form eines Sammelwerkes)

PARTENSCKY, H.-W.

Gutachtliche Stellungnahme zur Bemessung von Sielbauwerken für Ausgleichsmaßnahmen mittels Salzwassereinstau in der Nordstrander Bucht
Hannover - Jan. 1980

RENGER, E.

Quantitative Analyse der Morphologie von Watteinzugsgebieten und Tidebecken,
Mitt. des Franzius-Inst. f. Wasserbau u. Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, H. 43,
1976

RENGER, E.

Zweidimensionale Stabilitätsanalyse von Tidebecken und Watteinzugsgebieten größerer Ausdehnung.
Die Küste, H. 34, 1980

RODLOFF, W.

Über Wattwasserläufe
Mitt. des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover,
H. 34, 1970

SIEFERT, W. u. LASSEN, H.

Gesamtdarstellung der Wasserstandsverhältnisse im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht nach neuen Pegelbewertungen. Die Küste, H. 42, 1985 (S. 1 - 77)

TILLESSEN, K.

Die Entwässerung des Einzugsgebietes der Wangerländischen Sielacht (Jeverland). Neues Archiv für Niedersachsen, H. 22 (1951), S. 91 - 110

