

# **SEDIMENTATION IN TIDEHÄFEN**

**Phase 1**

**Schlußbericht  
MTK 0470**

**Ergebnisbericht**

# I n h a l t

	Seite
1. Vorbemerkungen	1
2. Untersuchungsergebnisse	1
2.1 Hafenanlagen in Bremen	2
2.2 Häfen im Brackwasser- und Küsten- gebiet	6
3. Zusammenfassung und Ausblick	8

## 1. Vorbemerkungen

Die vielfältigen Probleme des Sedimenttransportes können mit theoretischen Ansätzen und hydrodynamisch numerischen Modellen, mit hydraulischen Modellversuchen oder durch die Aufbereitung und Analyse von Daten aus der Natur selbst erforscht werden. Grundlage und Voraussetzung für das vom BMFT geförderte KFKI-Projekt "Sedimentation in Tidehäfen" waren die bei den für die Häfen zuständigen Ämtern langfristig vorliegenden Pläne der Kontrollpeilungen. Es sollte versucht werden, mit diesen Planunterlagen die Sedimentationen in Hafenbecken quantitativ zu erfassen. Ziel war es, einen Einblick über die Verteilungen der Verlandungen und ihrer Größenordnungen insgesamt für verschiedene Seehäfen im deutschen Tidegebiet zu gewinnen.

Die Untersuchungsergebnisse sind eingehend im Schlußbericht zur Phase 1 dieses Vorhabens erläutert und dargestellt worden. Im folgenden werden die Verlandungen der Tidehäfen im Brackwasserbereich der Tideflüsse und außerhalb davon kurz zusammengefaßt.

## 2. Untersuchungsergebnisse

In den Mündungsbereichen der Ems, Jade, Weser und Elbe wurden Hafenanlagen von Emden, Wilhelmshaven, Bremerhaven, Cuxhaven und Brunsbüttel untersucht (Abb. 1). Außerdem ist der an der schleswig-holsteinischen Küste gelegene Hafen Büsum mit einbezogen worden. Mit den Hafenanlagen von Bremen waren die Sedimentationen in einem oberhalb des Salzwassereinflusses der Nordsee gelegenen Seehafen zu ermitteln. In diesem Ergebnisvermerk werden zunächst die Verhältnisse in den stadtbremischen Hafengebieten und im Anschluß für die Standorte im Brackwasser- und Küstengebiet zusammengestellt.

## 2.1 Hafenanlagen in Bremen

Die Hafenanlagen von Bremen sind in Abb. 2 dargestellt. Die langjährig gemittelten Sedimentationsraten im oberen Hafengebiet Bremens zeigen sehr unterschiedliche Verlandungen (Abb. 3). Der Einfluß der Beckenlänge wird aus dem Vergleich zwischen dem Europa- und Hohentorshafen deutlich. Im Inneren der Häfen sind nur noch geringe Sedimentationen zu verzeichnen. Die mittlere Sedimentationsrate beträgt im Europahafen insgesamt nur  $q_s = 13 \text{ cm/a}$  und im Hohentorshafen  $q_s = 22 \text{ cm/a}$ . Auf der etwa fünffachen Fläche des Europahafens ist die sich absetzende jährliche Sedimentationsmenge nur rd. dreimal so hoch wie im Hohentorshafen. Sehr ungünstige Verhältnisse liegen im Wendebecken des Europahafens vor. Für das gesamte Wendebecken wurde die Sedimentationsrate zu  $q_s = 66 \text{ cm/a}$  berechnet. Die starken Verlandungen sind damit begründet, daß das Wendebecken im Strom liegt und dort vor allem die Randbereiche übermäßig versanden (Abb. 3).

Der am rechten Weserufer gelegene Handelshafen hat in den Becken des Übersee-, Holz- und Fabrikenhafens praktisch kaum noch Verlandungen (Abb. 4). Das außerhalb der Tideweser gelegene Wendebecken des Überseehafens verlandet mit  $q_s = 31 \text{ cm/a}$  nur etwa halb so stark wie das Wendebecken Europahafens.

Der Handelshafen sedimentiert auf rd. 54 ha Fläche mit  $14 \text{ cm/a}$ . Im wesentlichen findet der Feststoffeintrieb im vorderen Bereich des Wendebeckens und im Getreidehafen statt.

Der 11,5 ha große Werfthafen hat mit  $38 \text{ cm/a}$  eine sehr viel stärkere Sedimentationsrate, was durch

das ungünstige Verhältnis von Einfahrtsbreite zu Hafenzlänge erklärt ist (Abb. 4).

Die stärksten Sedimentationen fanden in dem am linken Weserufer gelegenen Neustädter Hafen mit insgesamt 42 cm/a auf einer Fläche von 63 ha statt. Aus der Verteilung ist zu erkennen, daß der Verlandungsschwerpunkt im Wendebecken liegt (Abb. 5). Mit  $q_s = 75$  cm/a setzen sich dort knapp 50 % der Feststoffe auf nur etwa 30 % der Gesamtfläche des Neustädter Hafens ab. Die starken Verlandungen waren dadurch bedingt, daß der Vorhafen und das Wendebecken in einem Stromspaltungsgebiet lag, durch das erhebliche Tidewassermengen strömten. Mit der Schließung des Hafenkanals Anfang 1992 haben sich die Verhältnisse grundlegend geändert. Durch diese Baumaßnahme ist der Neustädter Hafen ein nicht durchströmter Tidehafen geworden, in dem keine ausgeprägten Flut- und Ebbestromwalzen mehr im Wendebecken auftreten. Es wird davon ausgegangen, daß die Verlandungen im Wendebecken stark zurückgehen. In der Vorhafeneinfahrt muß allerdings mit etwas höheren Sedimentationen gerechnet werden.

Die Sedimentationsverhältnisse in den unteren Hafenanlagen von Bremen mit den Stromanlegern des Mittelsbürener Hafens sind sehr unterschiedlich (Abb. 6). Am stärksten verlandet die Liegewanne in Osterort IV und V, wo am ausbuchtenden Ufer die größten Wassertiefen für die Seeschiffe vorgehalten werden. In dem von der Schifffahrt nicht genutzten Bereich von Osterort VI und VII sind die Sedimentationen sehr viel geringer, weil sich dort eine strömungsgerechtere natürlichere Sohlage eingestellt hat. Der Vorhafen zur Schleuse Oslebshausen versandet kaum, weil sich die Sedimente im unterhalb gelegenen, ausgebauten Abschnitt Osterort I und II absetzen.

Im Sportboothafen Hasenbüren werden nur geringe Wassertiefen vorgehalten, womit die dort entsprechend geringen Sedimentationen erklärt sind. Am stärksten verlandet Osterort IV und V mit im Mittel  $q_s = 45 \text{ cm/a}$ , im Randbereich sind es sogar  $69 \text{ cm/a}$ .

Die Zusammenstellung in Tafel 1 ergibt für alle Hafengebiete in Bremen eine mittlere Sedimentationsmenge von rd.  $572.000 \text{ m}^3/\text{a}$ . Auf die Fläche von  $1,9 \text{ Mio. m}^2$  bezogen ergibt sich eine Sedimentationsrate von  $q_s \approx 30 \text{ cm/a}$ . Dieser Wert liegt in der gleichen Größenordnung wie im ebenfalls oberhalb des Brackwassergebietes gelegenen Hamburger Hafen an der Elbe.

In den stadtbremischen Häfen sedimentieren mit knapp  $262.000 \text{ m}^3/\text{a}$  allein im Neustädter Hafen rd.  $46 \%$  der Gesamtmenge von etwa  $572.000 \text{ m}^3/\text{a}$  auf nur  $33 \%$  aller untersuchten Hafengebiete (Abb. 7). Durch die Schließung des Hafenkanals sind künftig bessere Verhältnisse zu erwarten, so daß sich die mittlere Sedimentationsrate von  $q_s \approx 30 \text{ cm/a}$  noch verringern wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Sedimentationsraten in den oberhalb des Brackwassereinflusses gelegenen Seehäfen von Hamburg und Bremen in der Größenordnung von einigen Dezimetern liegen.

Hafenbereich	Fläche $A$ $m^2$	Sedimentationsrate $q_s$ $cm/a$	Sedimentationsmenge $Q_s$ $m^3/a$
Hohentorshafen	27.902	22	6.046
Europahafen	143.949	13	19.242
Wendebecken Europahafen	95.230	66	62.607
<b>Handelshafen insgesamt</b>	<b>538.562</b>	<b>14</b>	<b>77.846</b>
Wendebecken Überseehafen	107.275	31	32.752
Getreidehafen	150.399	21	32.126
Überseehafen	190.409	4	8.405
Holz- und Fabrikenhafen	90.479	5	4.563
Werfthafen (Neubauhafen)	115.131	38	44.362
<b>Neustädter Hafen insgesamt</b>	<b>629.023</b>	<b>42</b>	<b>261.639</b>
Vorhafen	117.896	30	35.532
Wendebecken	168.100	75	126.679
Hafenkanal	31.983	43	13.752
Becken II	273.764	23	62.935
Vorhafen Schl. Oslebshausen	19.697	8	1.621
<b>Mittelsbürener Hafen</b>			
Osterort I und II	92.000	30	27.560
Osterort III	31.900	17	5.578
Osterort IV und V	101.550	45	46.210
Osterort VI und VII	67.500	15	9.981
Sportboothafen Hasenbüren	55.480	16	9.685
<b>Summe (Mittelwert)</b>	<b>1.917.924</b>	<b>30</b>	<b>572.377</b>

Tafel 1: Sedimentationsraten und -mengen in den Hafenanlagen von Bremen

## 2.2 Häfen im Brackwasser- und Küstengebiet

In den Brackwasserbereichen der Tideästuarien und außerhalb davon lagert sich in den Hafenbecken aufgrund der anderen natürlichen Voraussetzungen bedeutend mehr Material ab.

Der Vor- und Außenhafen von Emden liegt bei mittleren Oberwasser- und Tideverhältnissen im oberen Brackwasserbereich der Ems (Abb. 8). Die durchschnittliche Sedimentationsrate beträgt dort 233 cm/a. Die in 0,5 m Intervallen farbig dargestellte Verteilung der Auflandung weist im Außenhafen Beträge bis über 4 m/a auf (Abb. 9).

In der Jade bei Wilhelmshaven herrschen mehr die Salzwasserbedingungen der Nordsee. Brackwassererscheinungen spielen dort, wenn überhaupt, nur eine sehr untergeordnete Rolle (Abb. 10). Insgesamt wurde für den Neuen Vorhafen in Wilhelmshaven eine Sedimentationsrate von durchschnittlich 152 cm/a für den Auswertungszeitraum 1974/90 berechnet. Die Verteilungen lassen erkennen, wie der Feststoffeintrag von außen nach innen deutlich abnimmt (Abb. 11). Für Wilhelmshaven konnte gezeigt werden, wie die gewählte Baggermethode den Unterhaltungsaufwand beeinflusst. Bis einschließlich 1980 wurden im Vorhafen wiederholt Übertiefen von bis zu mehreren Metern geschaffen bei einem Baggereinsatz von im Mittel 2,5 Monaten im Jahr. Bei dem Bestreben, nach 1980 die Solltiefen zu erhalten, als also keine Reservetiefen gebaggert wurden, verlängerten sich sowohl die Baggereinsatzzeiten als auch die Baggermengen erheblich. Vorratsbaggerungen mit Übertiefen sind offenbar die wirtschaftlichere Unterhaltungsmethode. Ähnliche

Ergebnisse wie für Wilhelmshaven wurden auch für Emden und Bremerhaven gefunden.

In den für Bremerhaven untersuchten Vorhäfen bewirken die Brackwasserbedingungen heftige Verlandungen (Abb. 12 und 13). Betriebsbedingt durch Schleusungen und Sielungen von Weserwasser durch die Nordschleuse wurden im dahinterliegenden Wendebecken noch sehr hohe Sedimentationsraten berechnet. Mit  $q_s = 157$  cm/a verlandet das Wendebecken etwa so wie der offene Vorhafen zur Seeschleuse in Wilhelmshaven ( $q_s = 152$  cm/a).

Vergleichbare Verhältnisse herrschen auch im Binnenhafen von Brunsbüttel (Abb. 14 und 15). Durch den regen Schiffsverkehr im Nordostseekanal werden die Sedimente von der Elbe bis hinter die Seeschleusen transportiert, um sich dort abzusetzen. In den Vorhäfen von Brunsbüttel betragen die jährlichen Sedimentationsraten örtlich bis zu knapp 4 m. Für die Brackwasserhäfen in Brunsbüttel, Bremerhaven und Emden wurde nachgewiesen, daß im Sommerhalbjahr mehr Feststoffe sedimentieren als in der kälteren Jahreszeit. Dabei spielen sicher die veränderten biologischen Randbedingungen und ihr Einfluß auf die Mikroorganismen eine besondere Rolle.

Cuxhaven liegt im unteren Brackwasserbereich des Elbe-Ästuars (Abb. 16). Die für den Fährhafen sowie im Vor- und Alten Hafen berechneten Sedimentationsraten betragen etwas mehr als einen Meter jährlich. Sie liegen deutlich unter den Verlandungen bei Brunsbüttel. Das ist damit erklärt, daß Cuxhaven mehr dem marinen Gebiet der Nordsee zugeordnet werden kann, und dort günstigere Lebensbedingungen herrschen als im oberhalb gelegenen Elbebereich. Die Sedimentationsverteilungen für die untersuchten Hafenbecken von Cuxhaven zeigt Abb. 17.

Die für die Auswertungen verfügbaren Peilungen des Vorhafens von Büsum ließen die Analyse einzelner Teilbereiche nicht zu. Die gesamte Vorhafenfläche sedimentiert durchschnittlich mit  $q_s = 132 \text{ cm/a}$  (Abb.18).

Die berechneten Sedimentationsraten und -mengen für die Häfen im Brackwasser- und Küstengebiet sind in Tafel 2 zusammengestellt worden. Die Verlandungen sind merklich höher als bei den im oberen Tidegebiet gelegenen Häfen von Hamburg und Bremen. Es zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. In Emden, Bremerhaven und Brunsbüttel liegen die Sedimentationen mit zwei bis drei Metern im Jahr um eine Zehnerpotenz höher als in Hamburg oder Bremen. Dort, wo der Süßwassereinfluß nicht mehr so maßgeblich die Vorgänge steuert - in Wilhelmshaven, Cuxhaven und Büsum - betragen die Verlandungsraten nur ein bis eineinhalb Meter jährlich.

Der Schlickfall in den Häfen im Mündungsbereich der Tideflüsse wird damit weniger von der Form und Lage des Hafens als von den Salzwasserbedingungen bestimmt.

### 3. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Grundlagenstudie war es, Erkenntnisse über die Sedimentationen in Tidehäfen zu erhalten. Grundlage und Voraussetzung für die Untersuchungen waren die bei den zuständigen Verwaltungen vorliegenden Kontrollpeilungen der Hafenbecken. Als Ergänzung zu theoretischen Ansätzen und hydraulischen Modellversuchen sollten hier die Daten aus der Natur selbst in Verbindung mit den hydrologischen Randbedingungen aufbereitet und analysiert werden.

Hafenbereich	Fläche $\frac{A}{m^2}$	Sedimentationsrate $\frac{q_s}{cm/a}$	Sedimentationsmenge $\frac{Q_s}{m^3/a}$
<b>EMDEN</b>			
Vor- und Außenhafen	242.024	233	562.442
<b>WILHELMSHAVEN</b>			
Neuer Vorhafen	729.692	152	1.113.819
<b>BREMERHAVEN</b>			
Vorhafen Nordschleuse	29.125	211	61.375
Vorhafen Kaiserschleuse	10.449	294	30.712
Wendebecken Überseehafen	144.575	157	227.350
Wendeplatz Überseehafen	63.786	33	21.100
<b>BRUNSBÜTTEL</b>			
Neuer Vorhafen	229.272	268	615.537
Alter Vorhafen	68.640	274	187.790
Binnenhafen (N-O-K)	494.402	157	776.262
<b>CUXHAVEN</b>			
Fährhafen	69.090	109	75.348
Vor- und Alter Hafen	115.580	107	124.227
<b>BÜSUM</b>			
Vorhafen	25.500	132	33.660

Tafel 2: Sedimentationsraten und -mengen in den Hafenanlagen an der deutschen Nordseeküste

Mit diesen Auswertungen liegen quantitative Ergebnisse für verschiedene Tidehäfen oberhalb, in und außerhalb der Brackwasserregionen der deutschen Tide-ästuarien vor, die im Schlußbericht ausführlich erläutert worden sind. Die stadtbremischen Häfen verlanden wie die von anderer Stelle untersuchten Hamburger Hafenbecken in der Größenordnung von Dezimetern. Der Salzwassereinfluß bewirkt Sedimentationen im Meterbereich. In Wilhelmshaven, Büsum und den im Elbmündungsbereich gelegenen Hafenanlagen von Cuxhaven betragen die jährlichen Auflandungen etwa einen bis eineinhalb Meter. In den Brackwasserzonen der Ems, Weser und Elbe bei Emden, Bremerhaven und Brunsbüttel liegen die Sedimentationen bei zwei bis drei Metern im Jahr.

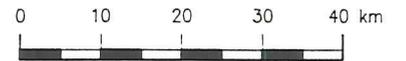
Nach dieser Bestandsaufnahme soll in einer zweiten Phase versucht werden, mit gezielten Untersuchungen der Verlandungsschwerpunkte mit Strömungsmessungen und Bodenanalysen vertiefte Kenntnisse der Transport- und Sedimentationsprozesse zu erlangen. Vor allem in den Brackwasserhäfen kommt der Zusammensetzung des Hafenschlickes eine ganz besondere Bedeutung zu, weil es häufig keinen festen Übergang zur Sohle gibt. Im Grenzbereich steht fluid- mud (verflüssigter Schlick) mit sehr weicher Konsistenz und geringer Dichte an, durch den die nutzbare (nautische) Wassertiefe bestimmt wird. Grundlagenforschungen der physikalischen und biologischen Vorgänge bei kohäsiven und nichtkohäsiven Sedimenten sind erforderlich, damit der Sedimenttransport in hydraulischen oder hydrodynamisch-numerischen Modellen künftig realistischer simuliert werden kann. Es ist das Ziel, in der zweiten Phase dieses Vorhabens dazu einen Beitrag zu leisten.

(Prof. Dr.-Ing. H. Nasner)

Bremen, den 24.04.1992

# LAGEPLAN

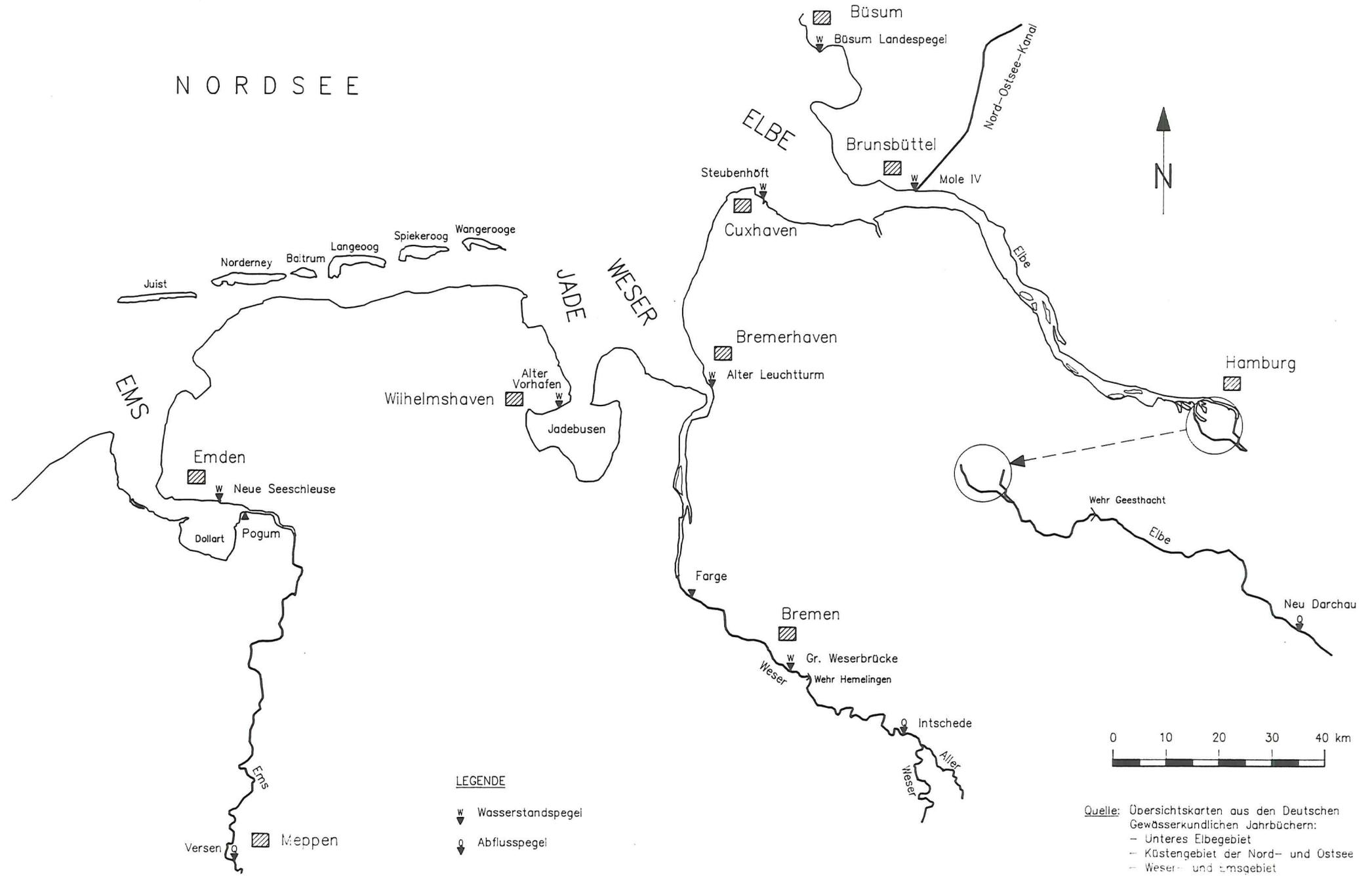
NORDSEE

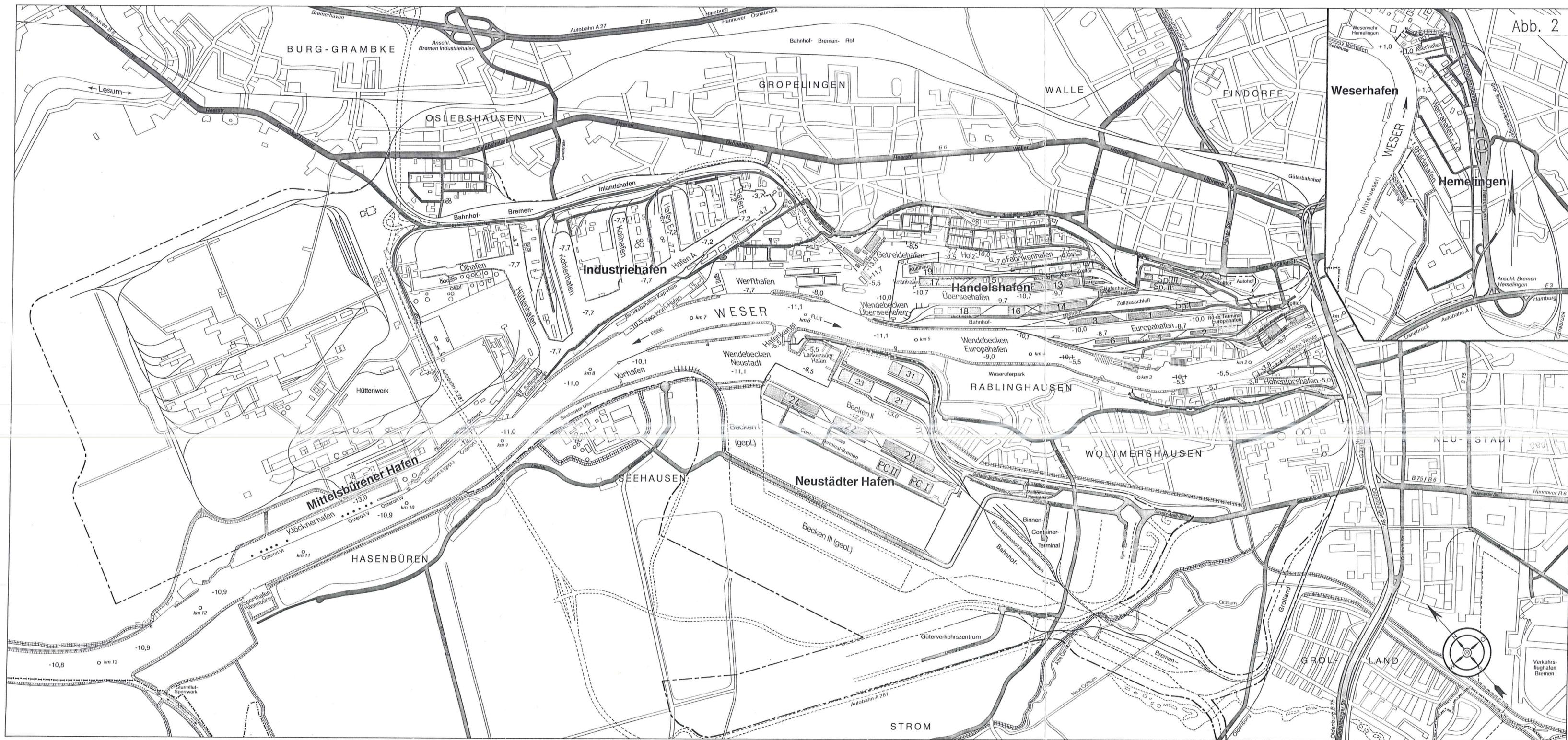


### LEGENDE

- W Wasserstandspegel
- Q Abflusspegel

Quelle: Übersichtskarten aus den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern:  
 - Unteres Elbegebiet  
 - Küstengebiet der Nord- und Ostsee  
 - Weser- und Emsgebiet





Alle Höhenangaben beziehen sich auf Normal Null (NN). Seekarten Null (SKN) liegt 1,50 m unter NN  
 Mittleres Tidehochwasser (MThw) der Weser in Bremen-Oslebshausen +2,40 m NN = +3,90 m SKN  
 Mittleres Tidenniedrigwasser (MTnw) der Weser in Bremen-Oslebshausen -1,68 m NN = -0,18 m SKN  
 Normaler Hafenwasserstand im Industriehafen +2,10 m NN = +3,60 m SKN · Normalstau am Weserwehr Hemelingen (Oberwasser) +4,50 m NN

0 1000 2000 3000  
 Maßstab 1 : 25.000

- Landesgrenze Bremen-Niedersachsen
- Freihafengrenze
- geplante Anlagen

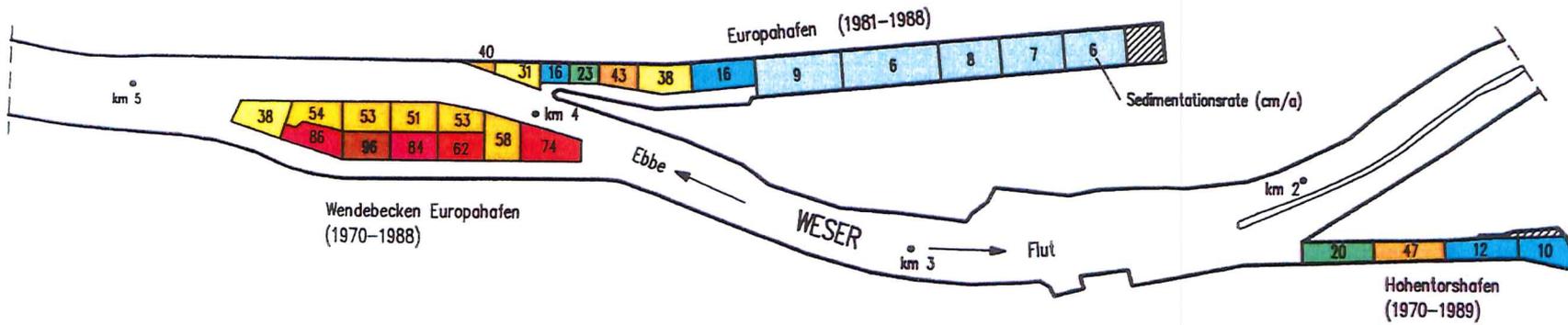
- Hafengewässer
- Sonstige Gewässer
- Hafen-, Gewerbeflächen

- Hauptzufahrtsstraßen
- Eisenbahnanlagen
- Gebäude für Hafenbetrieb

STROM

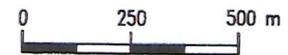
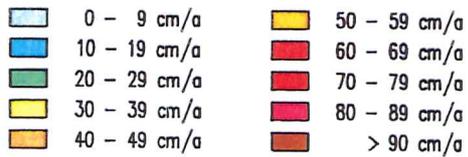
# BEREICH EUROPAHAFEN UND HOHENTORSHAFEN IN BREMEN

mittlere Sedimentation [cm/a]



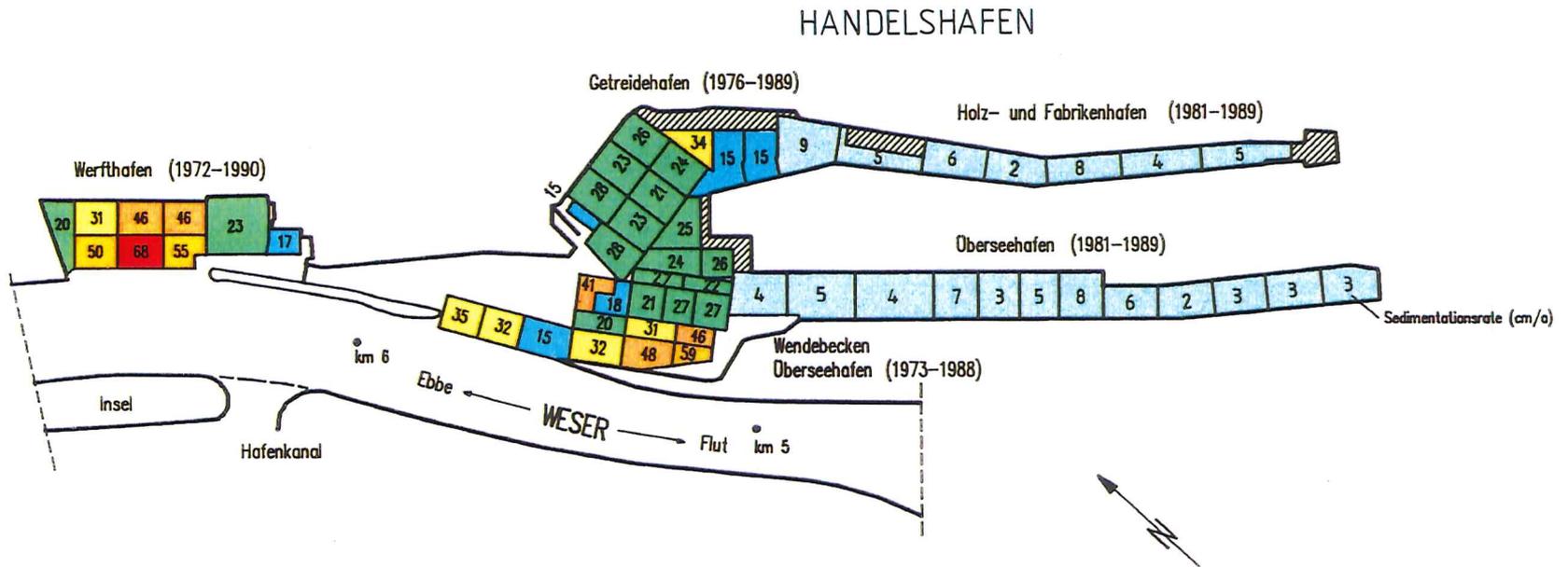
Rablinghausen

Woltmershausen

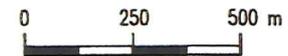


# HANDELS- UND WERFTHAFEN IN BREMEN

mittlere Sedimentation [cm/a]

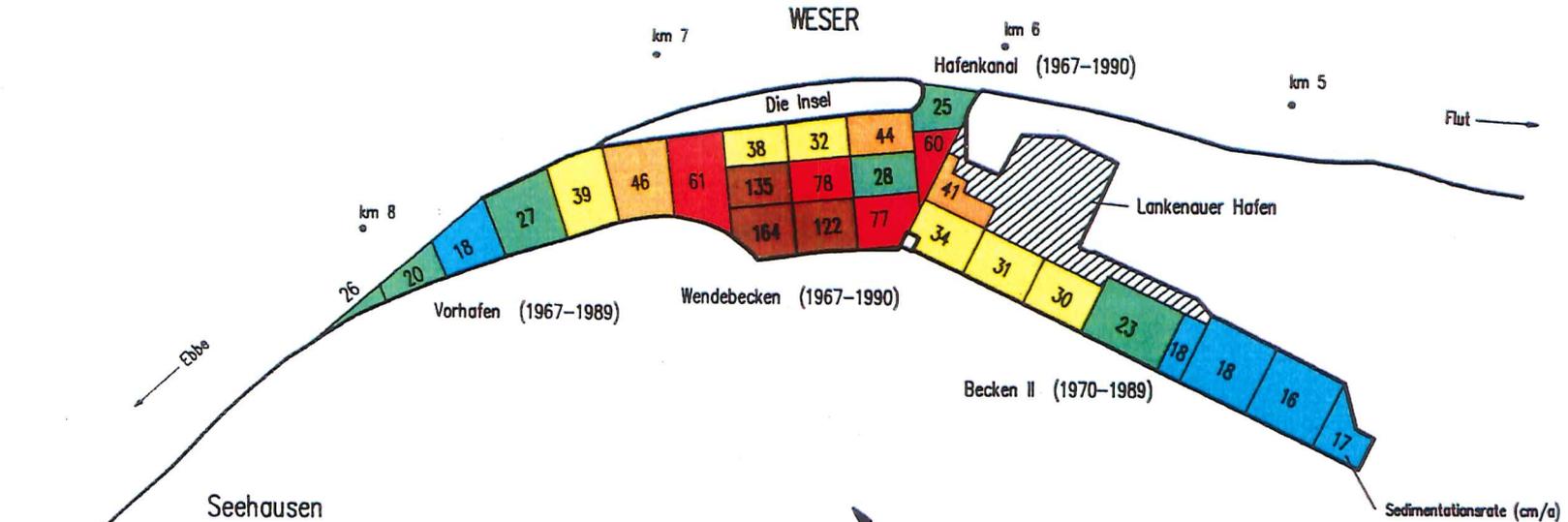


0 - 9 cm/a	50 - 59 cm/a
10 - 19 cm/a	60 - 69 cm/a
20 - 29 cm/a	70 - 79 cm/a
30 - 39 cm/a	80 - 89 cm/a
40 - 49 cm/a	> 90 cm/a



# NEUSTÄDTER HAFEN IN BREMEN

mittlere Sedimentation [cm/a]

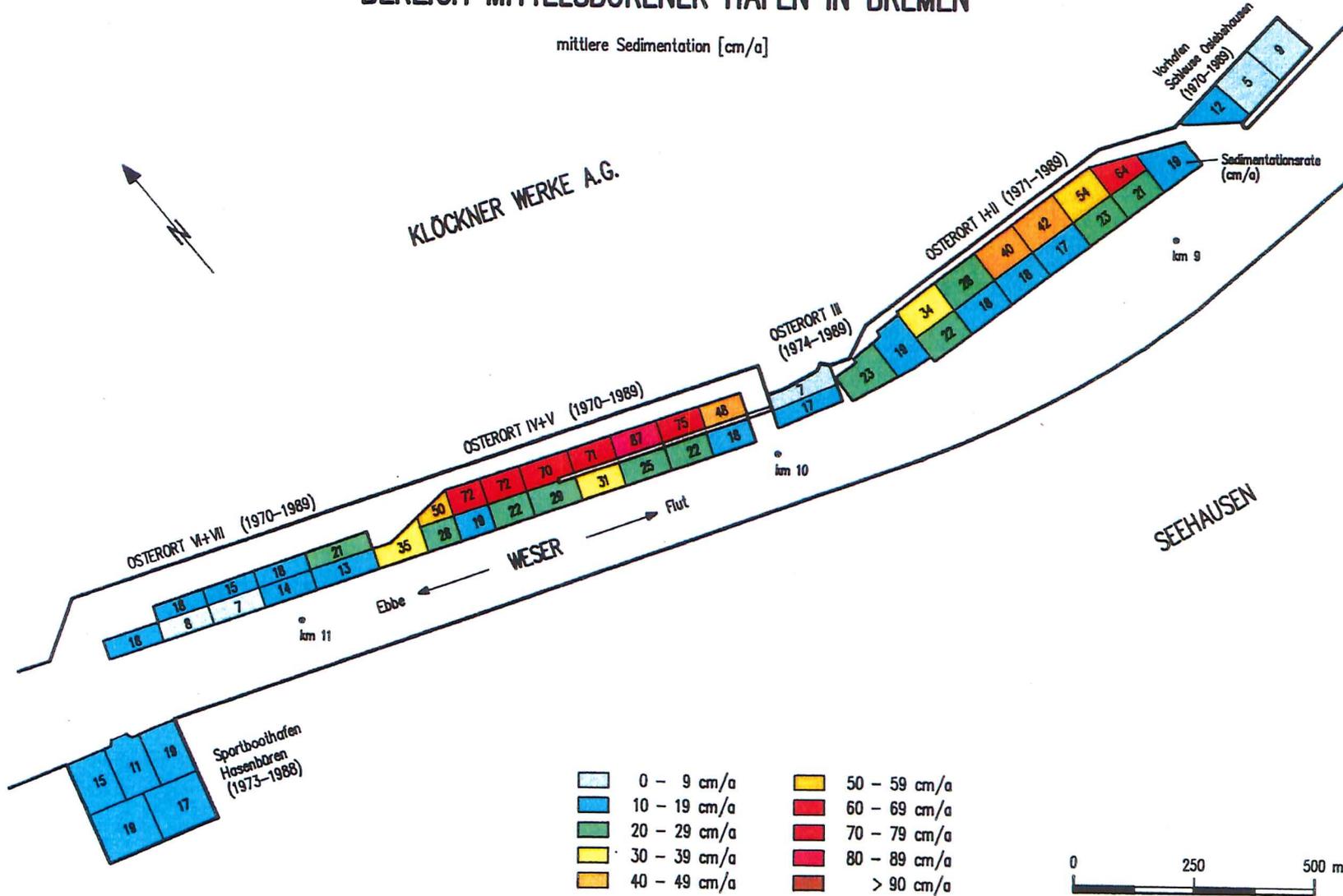


0 - 9 cm/a	50 - 59 cm/a
10 - 19 cm/a	60 - 69 cm/a
20 - 29 cm/a	70 - 79 cm/a
30 - 39 cm/a	80 - 89 cm/a
40 - 49 cm/a	> 90 cm/a



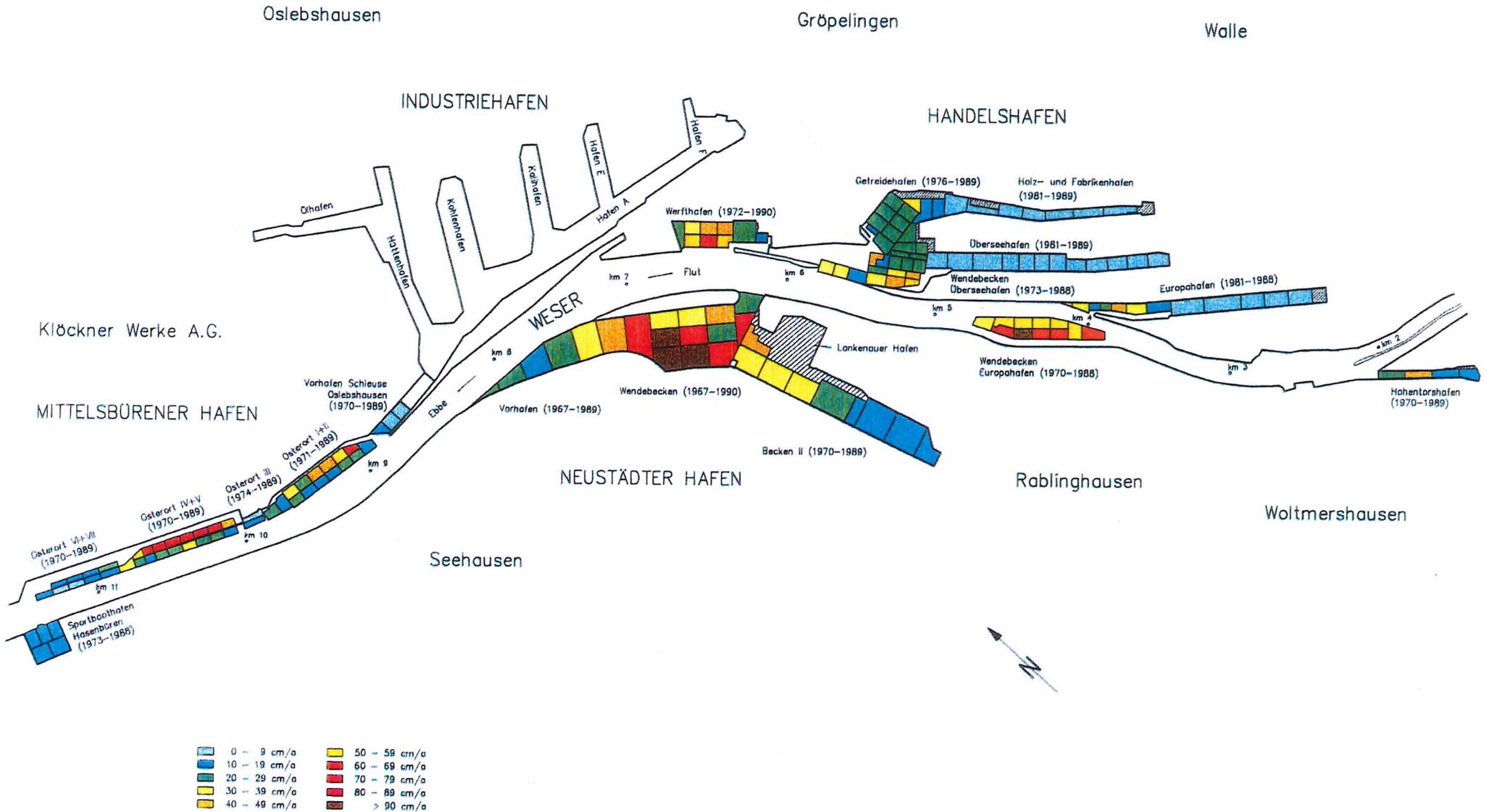
# BEREICH MITTELSBÜRENER HAFEN IN BREMEN

mittlere Sedimentation [cm/a]

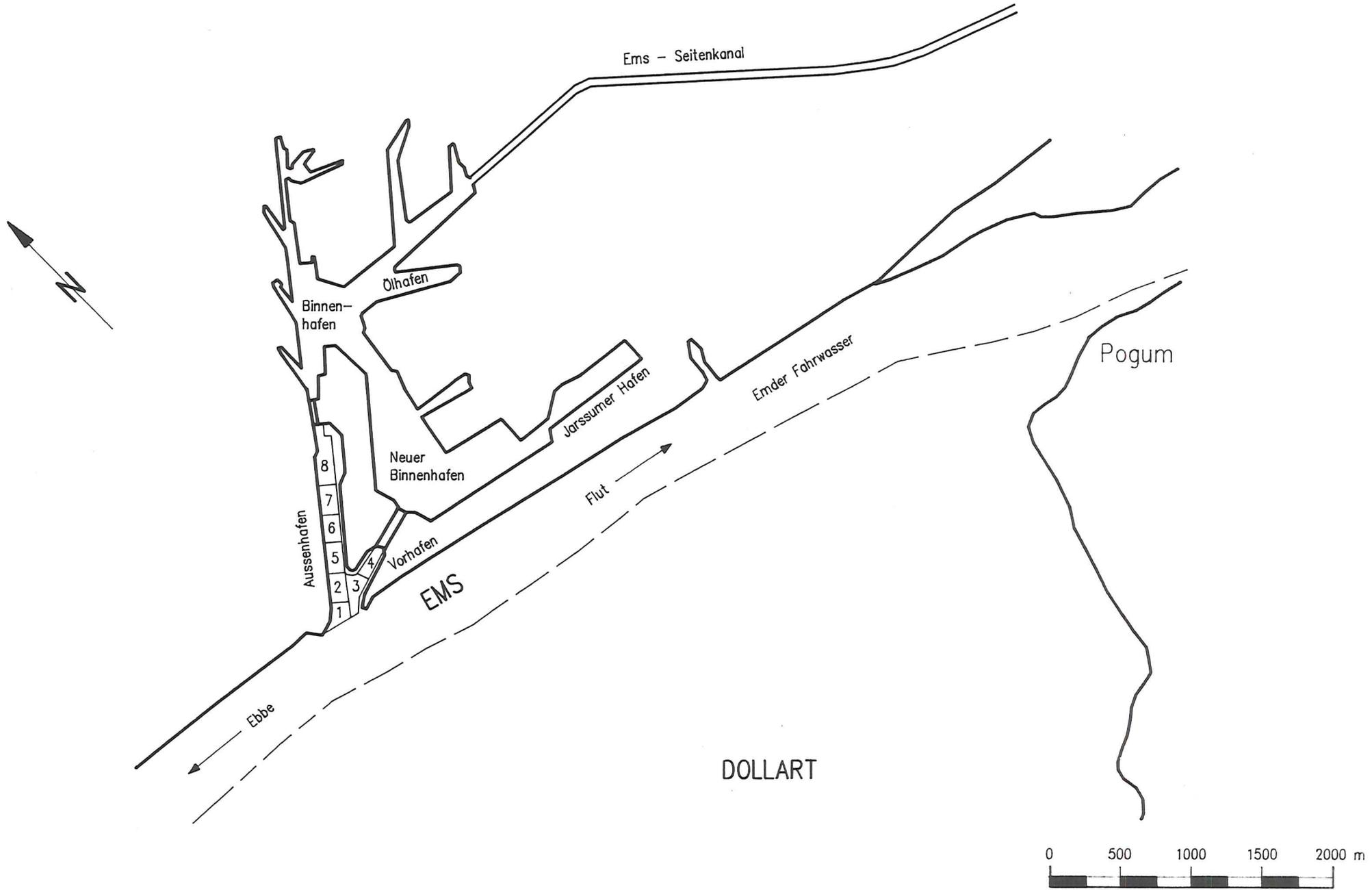


# HAFENANLAGEN IN BREMEN

Sedimentationsverhältnisse in den untersuchten Hafenbereichen

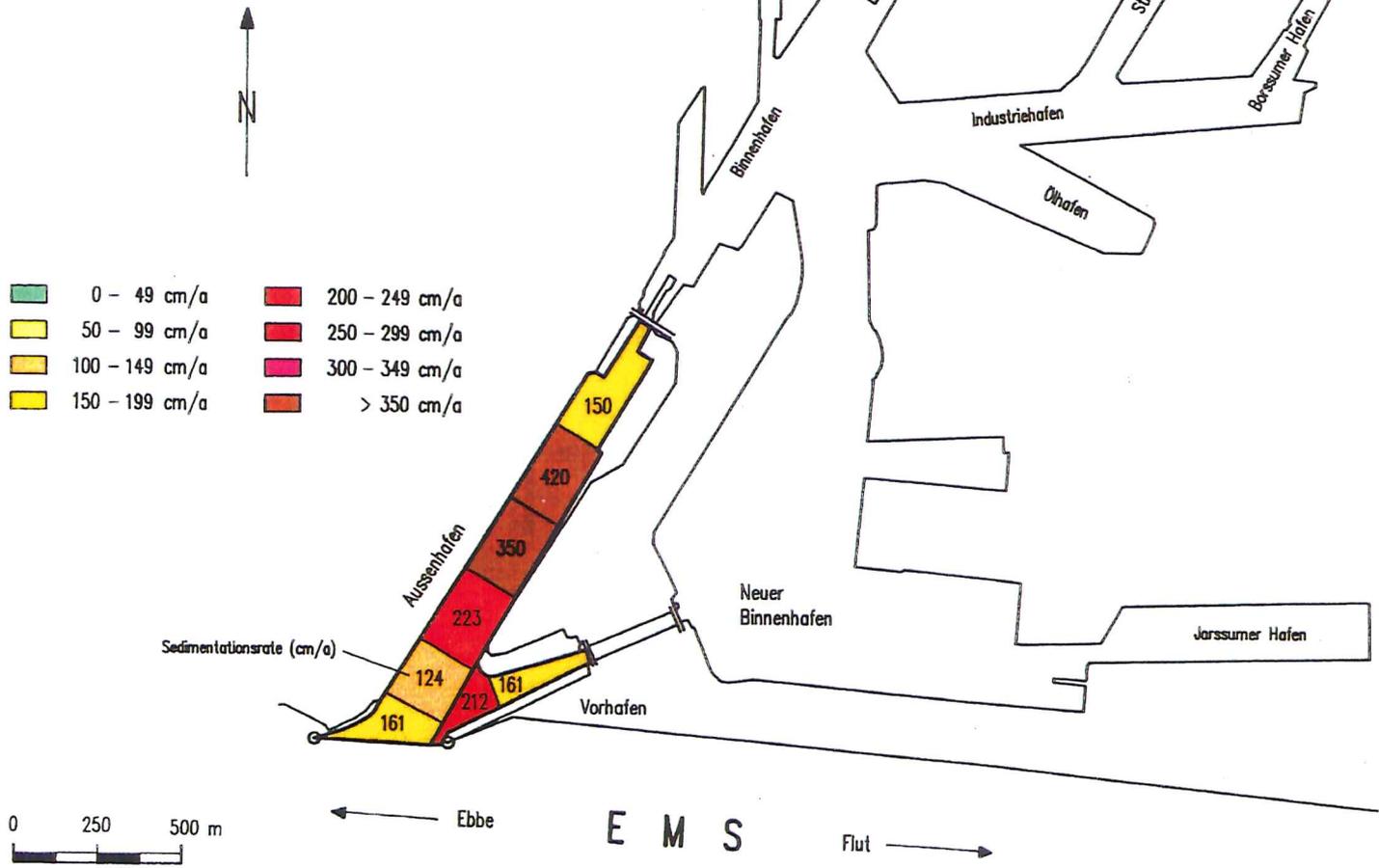


# HAFENANLAGEN IN EMDEN

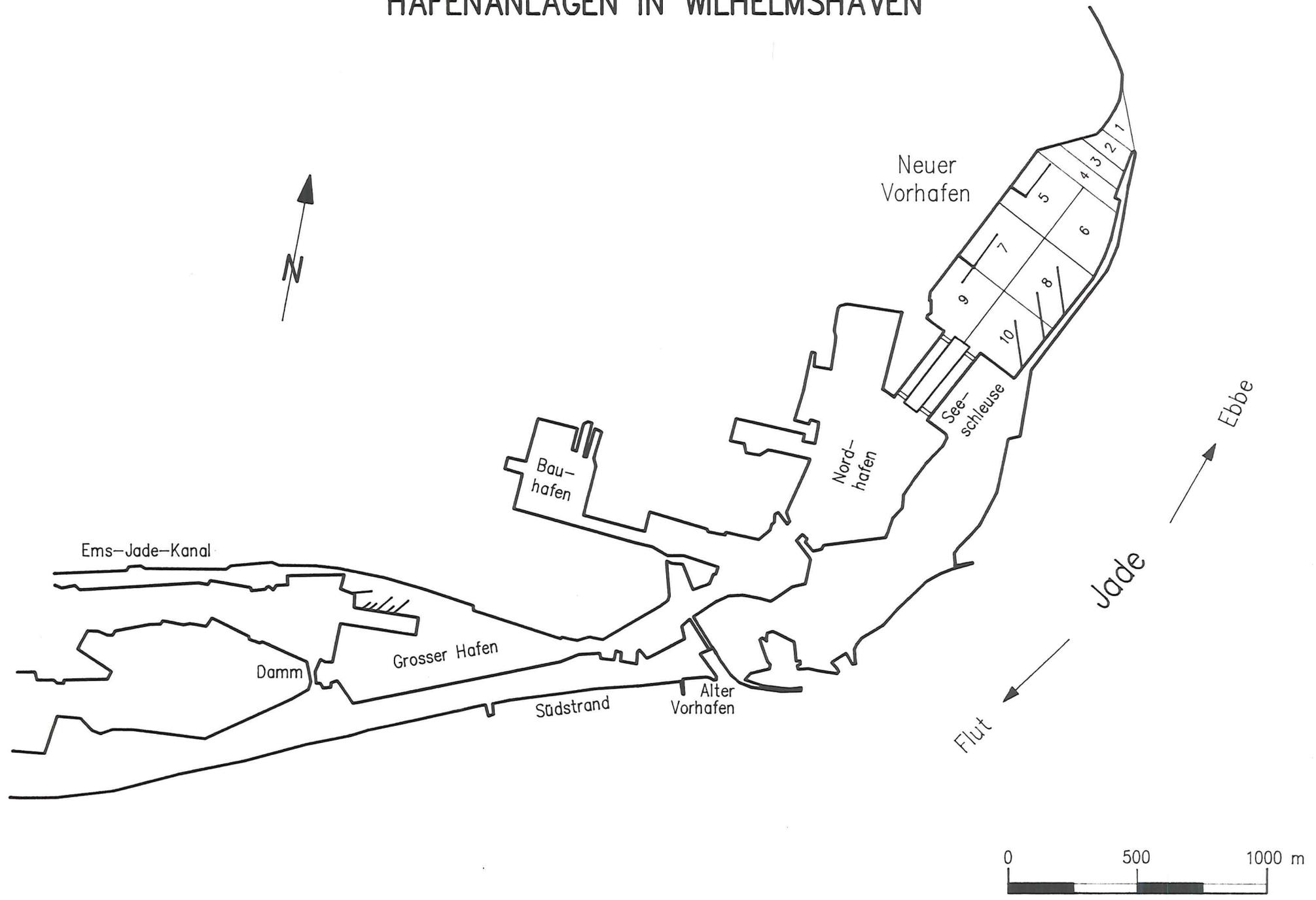


# HAFENANLAGEN IN EMDEN

mittlere Sedimentation [cm/a]  
(1981-1989)

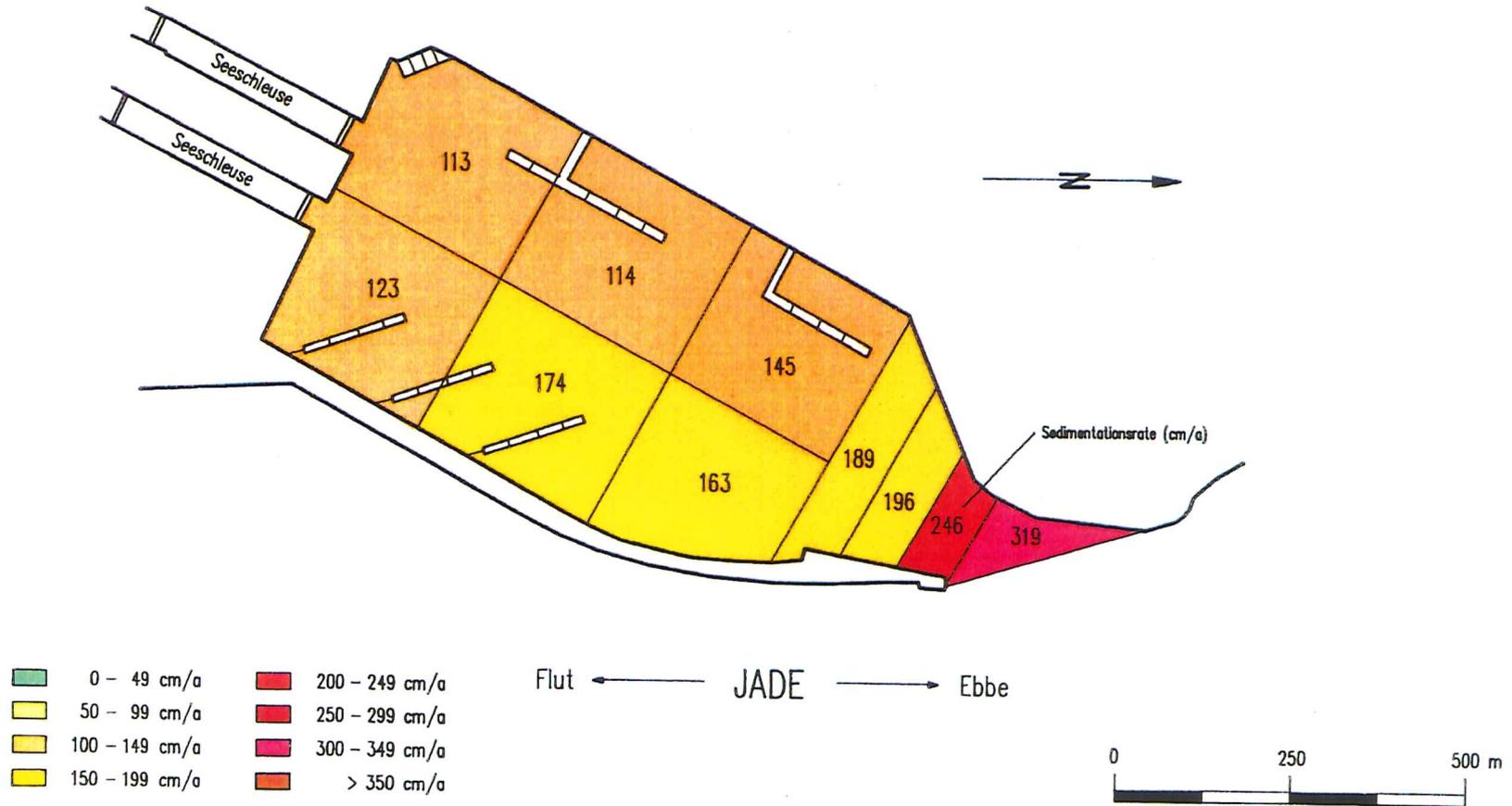


# HAFENANLAGEN IN WILHELMSHAVEN

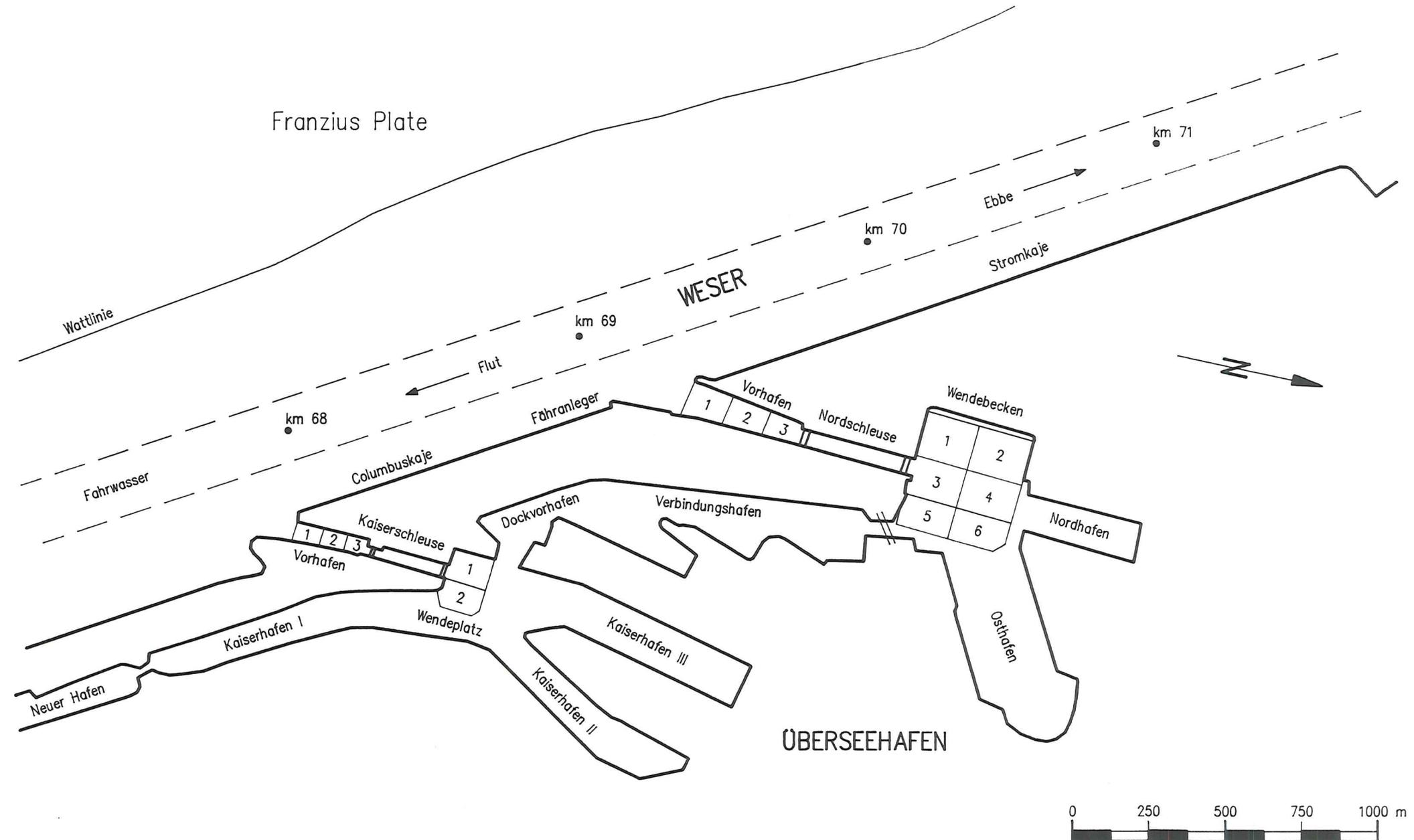


# NEUER VORHAVEN WILHELMSHAVEN

mittlere Sedimentation [cm/a]  
(1974-1990)

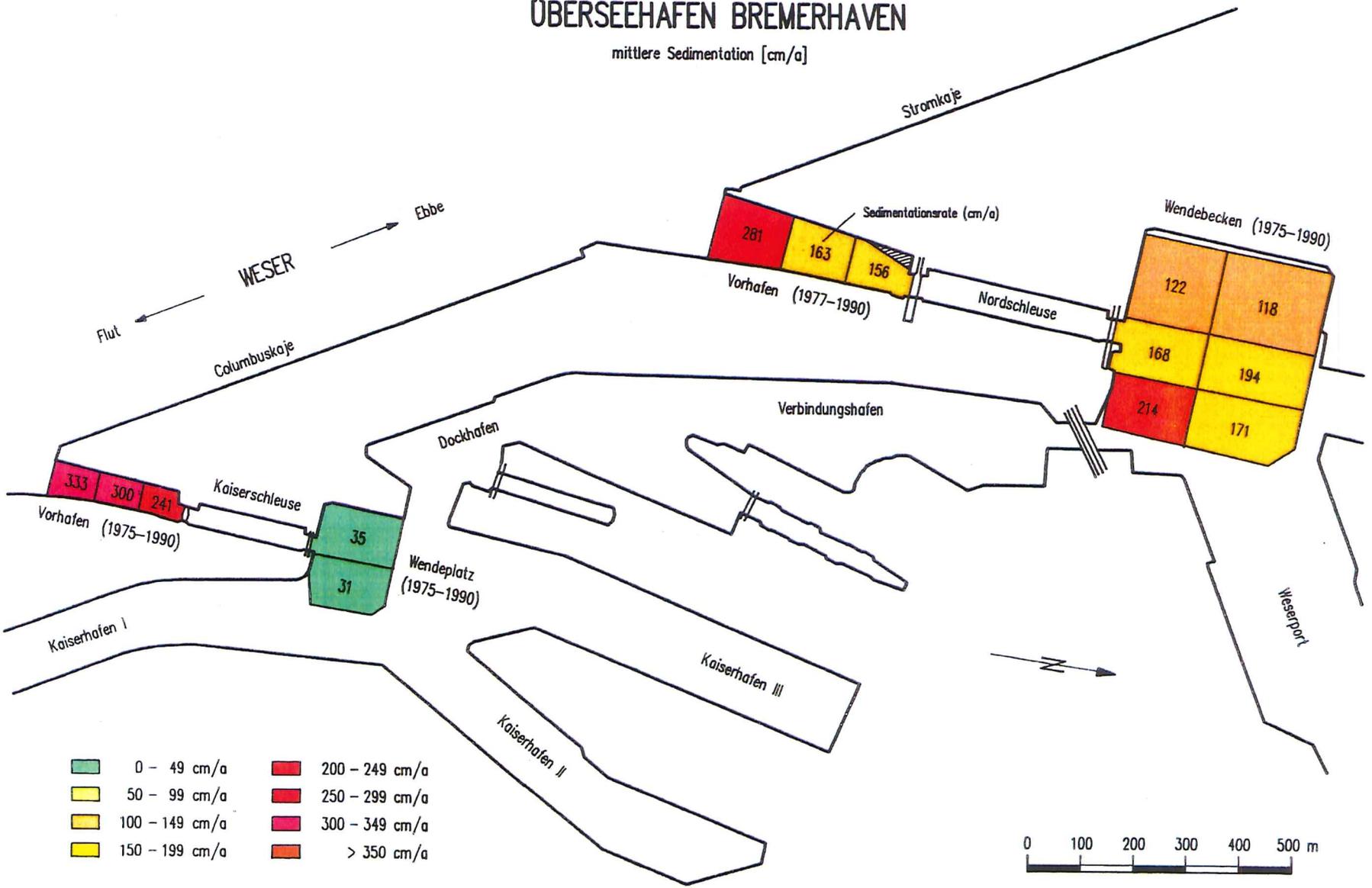


# HAFENANLAGEN IN BREMERHAVEN



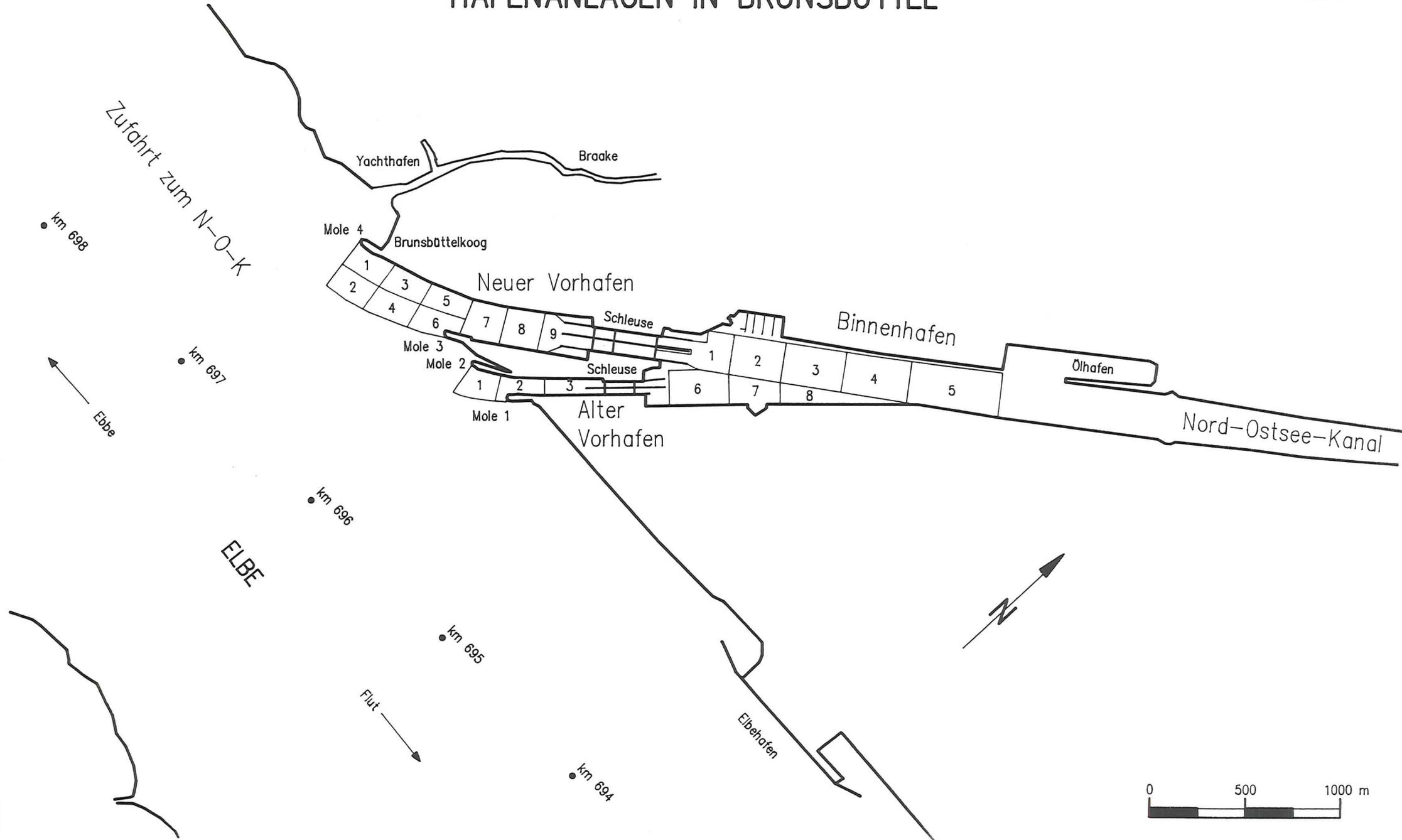
# ÜBERSEEHAFEN BREMERHAVEN

mittlere Sedimentation [cm/a]



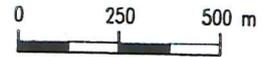
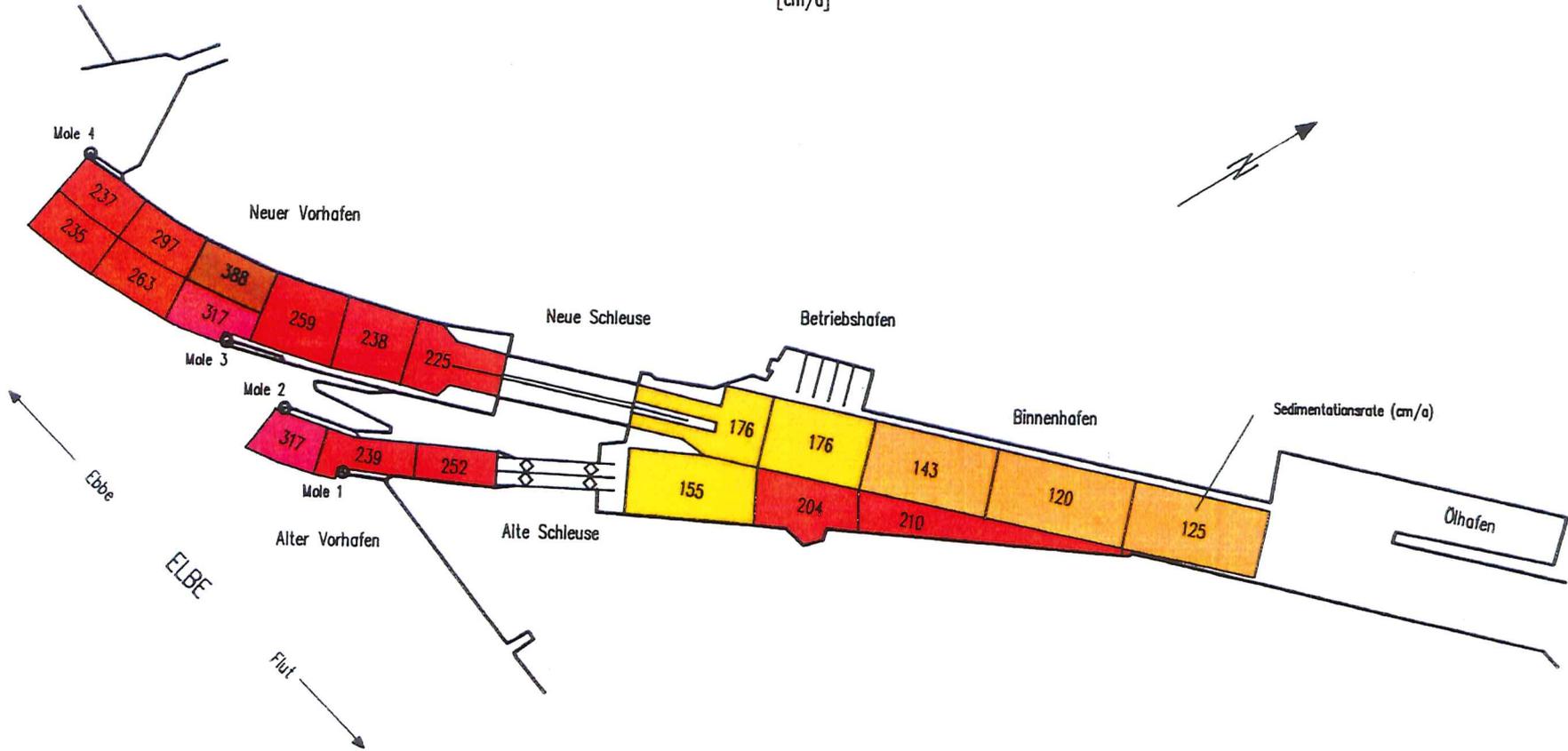
# HAFENANLAGEN IN BRUNSBÜTTEL

Abb. 14



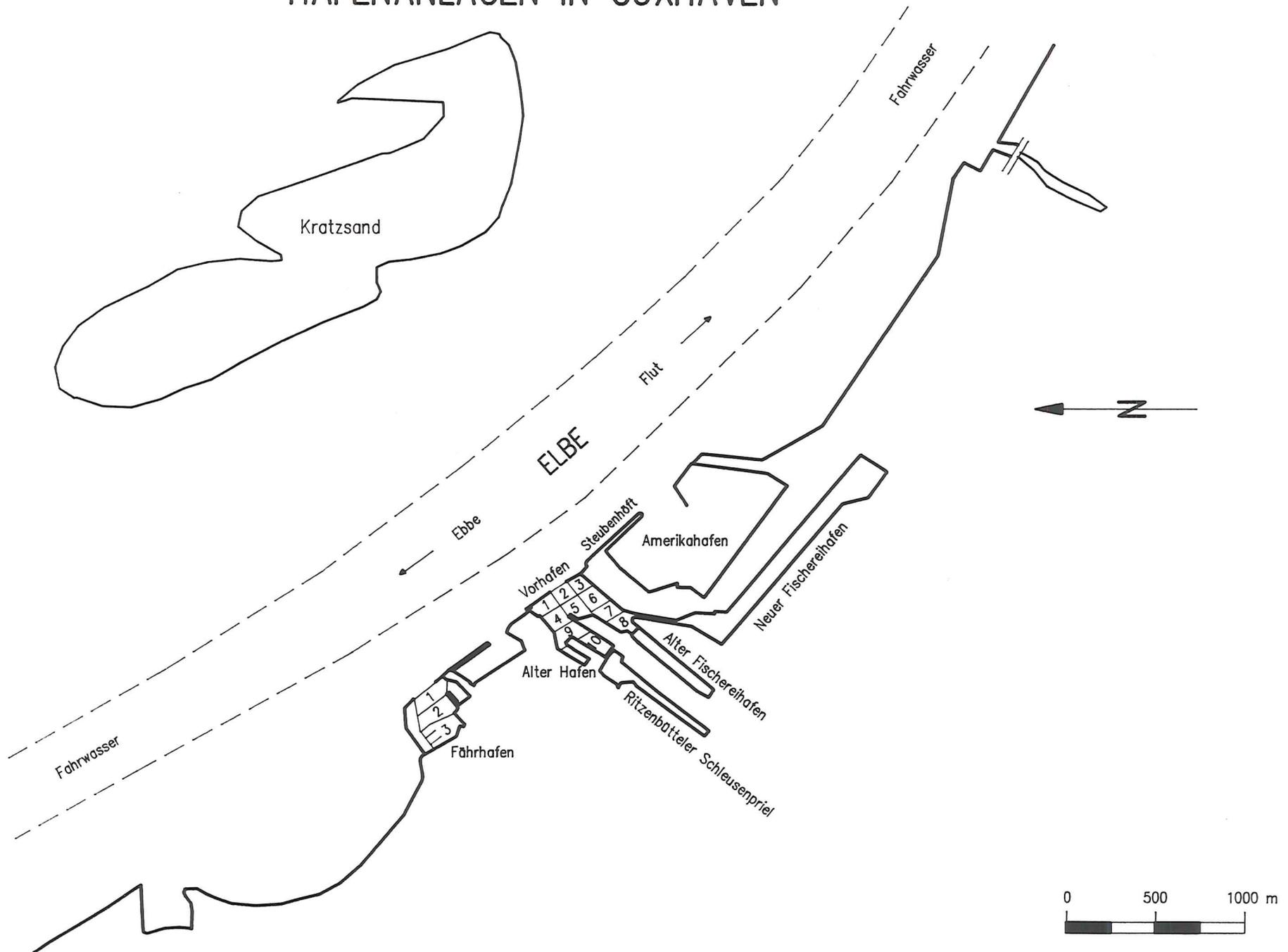
# HAFENANLAGEN IN BRUNSBÜTTEL

mittlere Sedimentation (1977-1989)  
[cm/a]



# HAFENANLAGEN IN CUXHAVEN

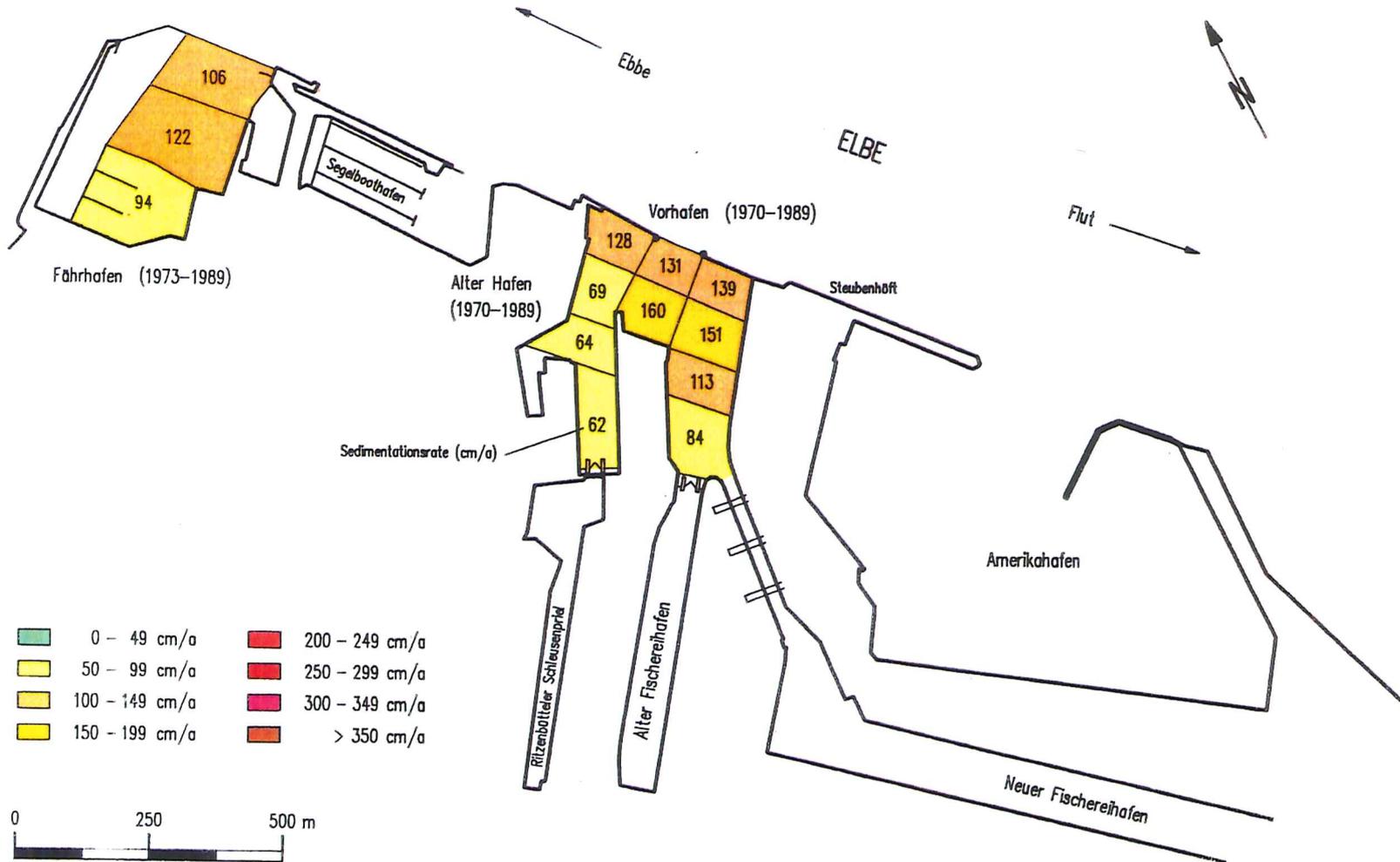
Abb. 16



# HAFENANLAGEN IN CUXHAVEN

mittlere Sedimentation [cm/a]

Abb.17



# HAFENANLAGEN IN BÜSUM

