

Offshore Terminal

Bremerhaven

- Studie zur Stabilität der Kolke

im Blexer Bogen -

1998 bis 2010

Prof. Dr.-Ing. H. Nasner
Haselbusch 4
D-28757 Bremen

Im Auftrag von **bremenports** GmbH & Co. KG
Bremen, November 2011

Inhalt

1.	Veranlassung und Aufgabe	1
2.	Planunterlagen.....	1
3.	Hydrologische Randbedingungen, Peilungen und Baggerungen	4
4.	Peilplananalysen	6
4.1	Vorbemerkungen	6
4.2	Tiefenpläne.....	6
4.2.1	1998 bis 2000 (Abb. 3 bis 6)	6
4.2.2	2001 bis 2004 (Abb. 7 bis 10)	12
4.2.3	2005 bis 2007 (Abb. 11 bis 15)	17
4.2.4	2008 bis 2010 (Abb. 16 bis 21)	23
4.2.5	Zusammenfassende Betrachtungen (Abb. 22 und 23).....	32
4.3	Profile	33
4.3.1	Fahrrinnenachse.....	33
4.3.2	Querprofil Strom-km 64	39
4.3.3	Längsprofil 1 (Nordsüdrinne)	43
4.3.4	Längsprofil 2	45
5.	Zusammenfassung	47
6.	Schrifttum	49
	Abbildungsverzeichnis.....	51

1. Veranlassung und Aufgabe

Für die Planung des Offshore-Terminals Bremerhaven (OTB) wird von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Hamburg eine wasserbauliche Systemanalyse durchgeführt. Dazu sind auch belastbare Aussagen über mögliche Auswirkungen durch den geplanten OTB auf die morphodynamischen Vorgänge im Blexer Bogen erforderlich. Mit der Analyse von Peilplänen sollten die Stabilität und mögliche Veränderungen von Kolken, auch in Abhängigkeit wechselnder hydrologischer Randbedingungen, festgestellt werden.

In einem ersten Schritt wurden Peilungen für den fünfjährigen Zeitraum von 2006 bis 2010 für den Weserabschnitt von Strom-km 62 bis 68 betrachtet (Abb. 1).

Die Diskussion der Peilplananalysen anlässlich einer Besprechung bei der BAW in Hamburg führte zu dem Ergebnis, dass zusätzlich ältere Daten analysiert und bewertet werden sollten, um die festgestellten tiefen Sohllagen bei geringem Oberwasser über einen längeren Zeitraum (seit dem Ausbau der Aussenweser auf -14 m SKN) nachweisen zu können.

Nach Auskunft des WSA Bremerhaven wurden die Baggerungen zum Aussenweserausbau auf -14m SKN vom Juli bis zum Dezember 1998 durchgeführt. Wegen Sandeintrieb war im Januar 1999 eine Nachbaggerung erforderlich.

Für diesen Bericht wurden vom WSA Bremerhaven weitere Peilungen für den Zeitraum von Mai 1998 bis September 2005 zur Verfügung gestellt. Damit ist es möglich, die morphologischen Verhältnisse für einen längerfristigen Zeitraum von 1998 bis 2010 zu bewerten.

2. Planunterlagen

Für diese Ausarbeitung standen folgende Unterlagen zur Verfügung.

- Peildaten vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Bremerhaven.

[1] Peilung vom 28.05. – 03.07.1998, Weser-km 62,4 bis km 65, Fahrrinne und Blexen Reede.

Peilung vom 28.05. – 06.08.1998, Weser-km 59,2 bis 62,4, Fahrrinne und Randbereiche.

Peilung vom 02.07. – 29.07.1998, Weser-km 65,0 bis 67,0, Fahrrinne und Randbereiche.

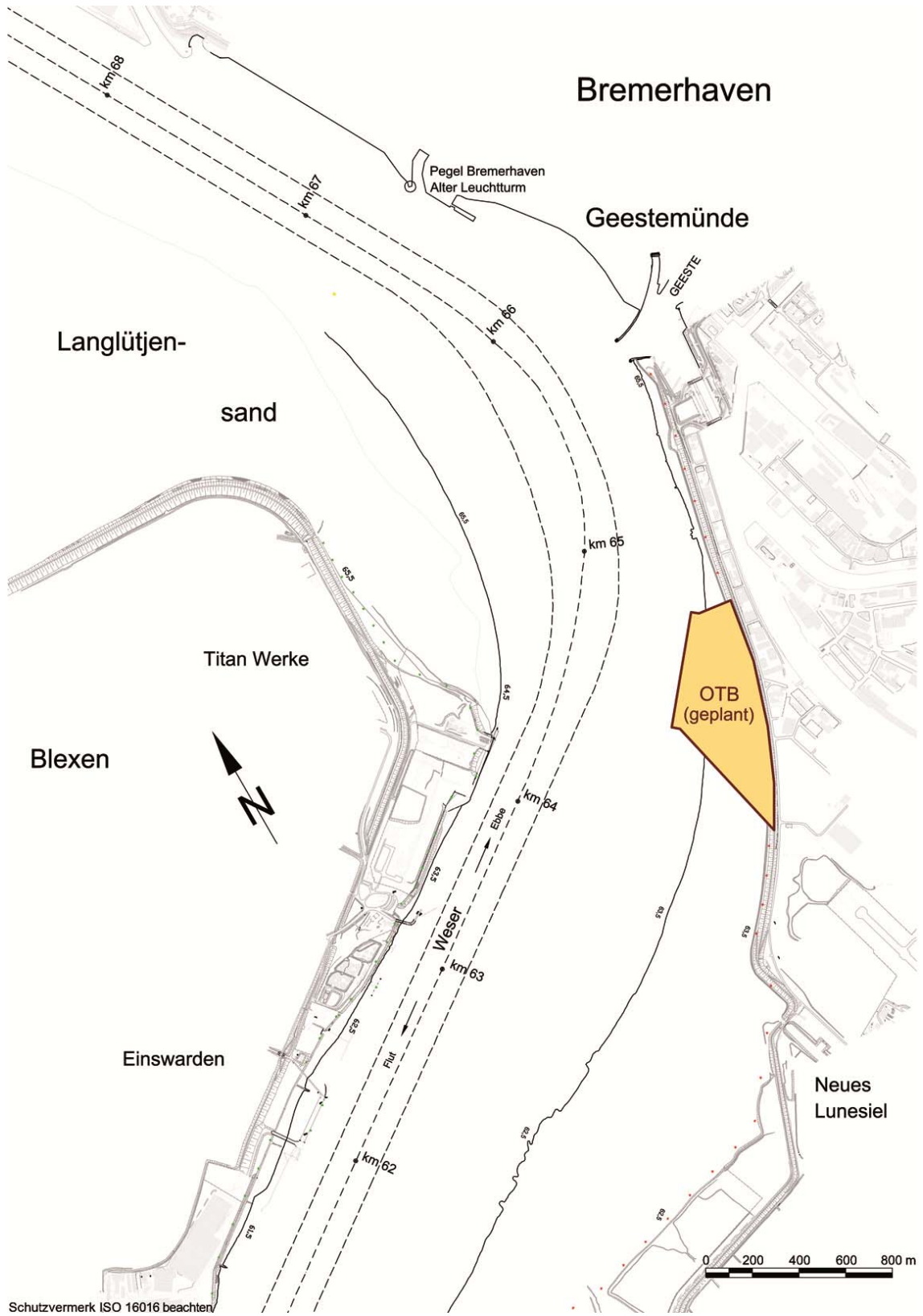


Abb. 1 Lageplan

- [2] Peilung vom 11.04.2000, Weser-km 65,0 bis km 68,0, Fahrrinne und Randbereiche.
Peilung vom 07.06.2000, Weser-km 62,0 bis 65,0, Fahrrinne und Blexen Reede.
- [3] Peilung vom 21.07.2000, Weser-km 62,0 bis km 65,0, Fahrrinne und Blexen Reede.
- [4] Peilung vom 10.10.2000, Weser-km 62,0 bis km 65,0, Fahrrinne.
- [5] Peilung vom 30.03.2001, Weser-km 62,0 bis 65,0, Fahrrinne.
- [6] Peilung vom 27.09.2001, Weser-km 62,0 bis 65,0, Fahrrinne und Blexen Reede.
- [7] Peilung vom 15.08.2002, Weser-km 62,0 bis 65,0, Fahrrinne und Blexen Reede.
- [8] Peilung vom 02.2004, Weser-km 62,0 bis 66,0, Fahrrinne, Blexen Reede und Randbereiche.
- [9] Peilung vom 02.08.2005, Weser-km 65,0 bis 68,0, Fahrrinne und Randbereiche.
Peilung vom 12.09.2005, Weser-km 62,0 bis 65,0, Fahrrinne, Blexen Reede.
- [10] Peilung vom 20.04.2006, Weser-km 62 bis km 65, Fahrrinne und Blexen Reede.
Peilung vom 05.04.2006, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.
- [11] Peilung vom 25.07.2006, Weser-km 62 bis km 65, Fahrrinne.
Peilung vom 06.07. - 02.11.2006, Weser-km 62 bis 65, Randbereiche bis SKN.
Peilung vom 08.08.2006, Weser-km 65 bis km 68, bis Tonnenstrich.
- [12] Peilung vom 06.03.2007, Weser-km 62 bis km 65, Fahrrinne.
Peilung vom 28.02.2007, Weser-km 62 bis 65, Blexen Reede.
Peilung vom 05.03.2007, Weser-km 65 bis km 68, bis Tonnenstrich.
- [13] Peilung vom 23.08.2007, Weser-km 62 bis km 65, Fahrrinne.
Peilung vom 28.08.2007, Weser-km 62 bis 65, Blexen Reede.
Peilung vom 20./22.08.2007, Weser-km 65 bis km 68, Fahrrinne.
- [14] Peilung vom 17./18.03.2008, Weser-km 62 bis 65, bis Tonnenstrich.
Peilung vom 05./06.03.2008, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.
- [15] Peilung vom 13.-28.10.2008, Weser-km 62 bis 65, bis SKN.
Peilung vom 01.10.2008, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.

- [16] Peilung vom 17.-23.02.2009, Weser-km 62 bis 65, bis Tonnenstrich.
Peilung vom 23.02.2008, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.
- [17] Peilung vom 31.08.-01.09.2009, Weser-km 62 bis 65, bis Tonnenstrich.
Peilung vom 02.09.2009, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.
- [18] Peilung vom 24./25.03.2010, Weser-km 62 bis 65, bis Tonnenstrich.
Peilung vom 23.03.2010, Weser-km 65 bis 68, bis Tonnenstrich.
- [19] Peilung vom 01.09.2010, Weser-km 62 bis 65, Fahrrinne.
Peilung vom 07.09.2010, Weser-km 62 bis 65, Randbereiche bis SKN.
Peilung vom 07.09.2010, Weser-km 65 bis 68, Fahrrinne.
Peilung vom 19.10.2010, Weser-km 65 bis 68, Randbereiche bis SKN.
- Oberwasser
- [20] Abflusswerte am Pegel Intschede von 1998 bis 2010, Onlinedatenbank der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Weser, www.fgg-weser.de
- Baggermengen
- [21] Unterhaltungsbaggermengen von 1999 bis 2010 in der Unterweser zwischen km 62 und 68, Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Bremerhaven.
- Pläne
- [22] Lageplan des geplanten Offshore-Terminals, bremenports GmbH & Co. KG.

3. Hydrologische Randbedingungen, Peilungen und Baggermengen

Die Oberwasserganglinien am Pegel Intschede sind in Abb. 2 von 1998 bis 2010 eingetragen. Die in den Planunterlagen angegebenen Zeiträume der Peilungen sind ebenfalls angegeben. Nach Planunterlage [22] wurden die Fahrwasserbaggerungen zwischen Strom-km 62 und 65 getätigt. Im unterhalb gelegenen Stromabschnitt wurden nach [22] lediglich 1999 zwischen Weser-km 67 und 68 in geringem Umfang Baggerungen im Rahmen des Aussenweserausbaus auf -14 m SKN ausgeführt.

Abb 2

Die Einträge der Baggermengen in Abb. 2 zeigen, dass in feuchten, von hohem Abfluss aus dem Binnenland geprägten Jahren, der erforderliche Unterhaltungsaufwand für das Fahrwasser besonders hoch ist (z.B. 2002 in Abb. 2 mit rd. 900 000 m³ und 2007 mit rd. 1,4 Mio. m³). Es wird noch näher darauf eingegangen, dass die bei höherem Oberwasser dominierenden Ebbeströmungen und veränderten Schwebstofffrachten im Untersuchungsgebiet stärkere Sedimentationen verursachen. Umgekehrt finden bei geringem Oberwasser und morphologisch prägenden Flutströmungen natürliche Abträge statt. Die Häufigkeit und Stärke der maximalen Oberwasserabflüsse erhöhen ebenfalls die Sedimentation im Untersuchungsgebiet.

4. Peilplananalysen

4.1 Vorbemerkungen

Für den siebenjährigen Beobachtungszeitraum von 1998 bis 2004 lagen überwiegend Peilungen aus dem oberen Bereich des Blexer Bogens bis Strom-km 65 vor (Planunterlagen [1] bis [8]). Es war damit möglich, das langfristige morphologische Verhalten im Blexer Bogen abhängig von den hydrologischen Randbedingungen zu ermitteln. Von 2005 bis 2010 lagen durchgehend Peilungen von Weser-km 62 bis 68 vor (Planunterlagen [9] bis [19]). Damit wurden mehr die im Regelfall hydrologisch feuchteren Winter- und trockneren Sommerhalbjahre erfasst.

4.2 Tiefenpläne

4.2.1 1998 bis 2000 (Abb. 3 bis 6)

Der erste Peilplan in Abb. 3 zeigt die morphologischen Bedingungen im Bereich des Blexer Bogens vor dem Außenweserausbau auf -14m SKN. Die Peilungen wurden im Juni und Juli bei geringem Oberwasser ausgeführt (vgl. Abb. 2).

Mit Abb. 3 können einige grundsätzliche Betrachtungen aufgestellt werden. Von See kommend bis zur Geestemündung prägen die flutstromorientierten hydro- und morphodynamischen Vorgänge die großen Sohliefen am steilen Prallhang des Blexer Bogens. Die beiden zwischen Weser-km 66 und 65 im östlichen Fahrwasser und außerhalb davon gelegenen Kolke mit Tiefen bis über -20m NN waren im gesamten Beobachtungszeitraum (1998 bis 2010) sehr stabil.

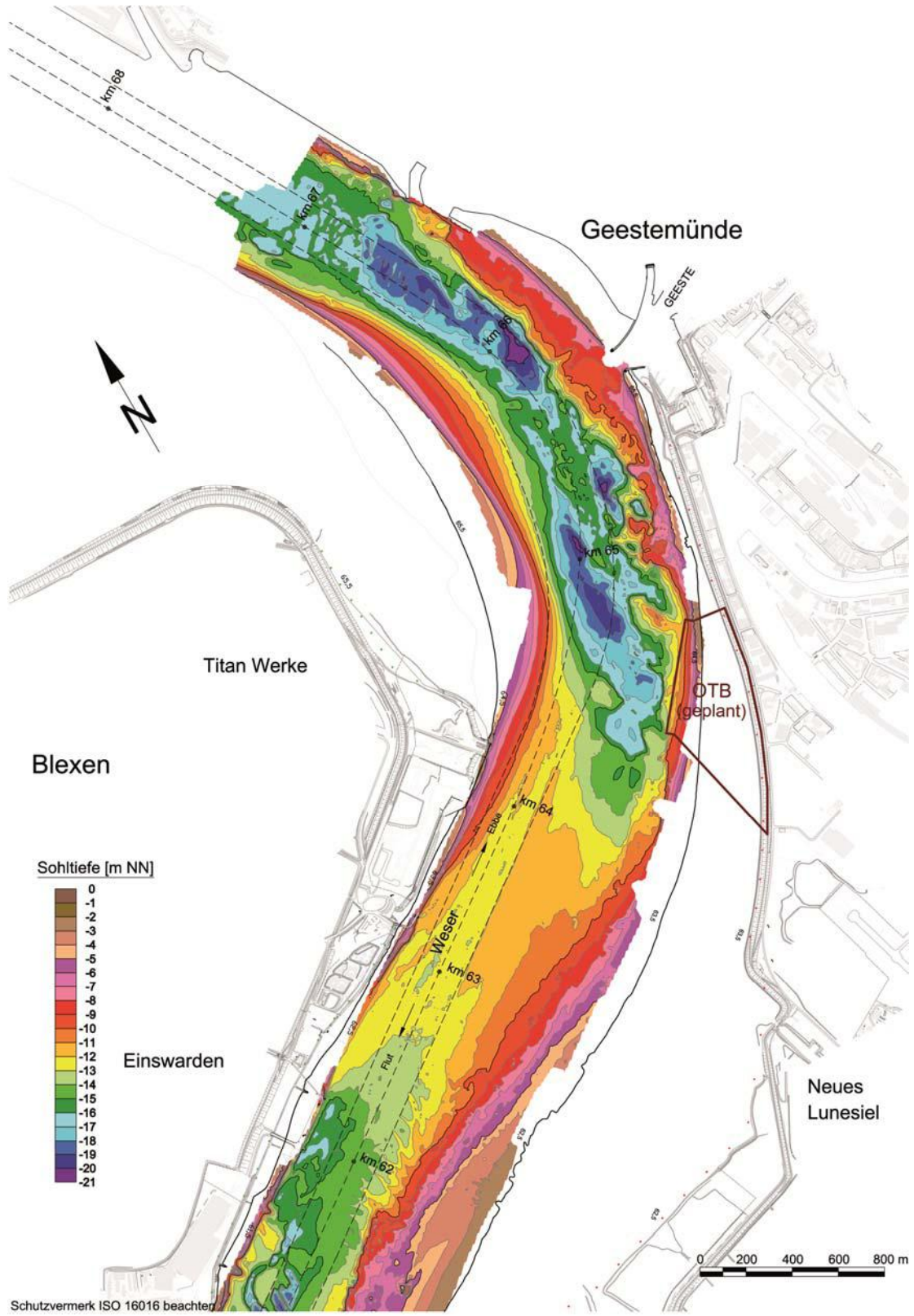


Abb. 3: Peilungen vom Juni/Juli 1998 [1]

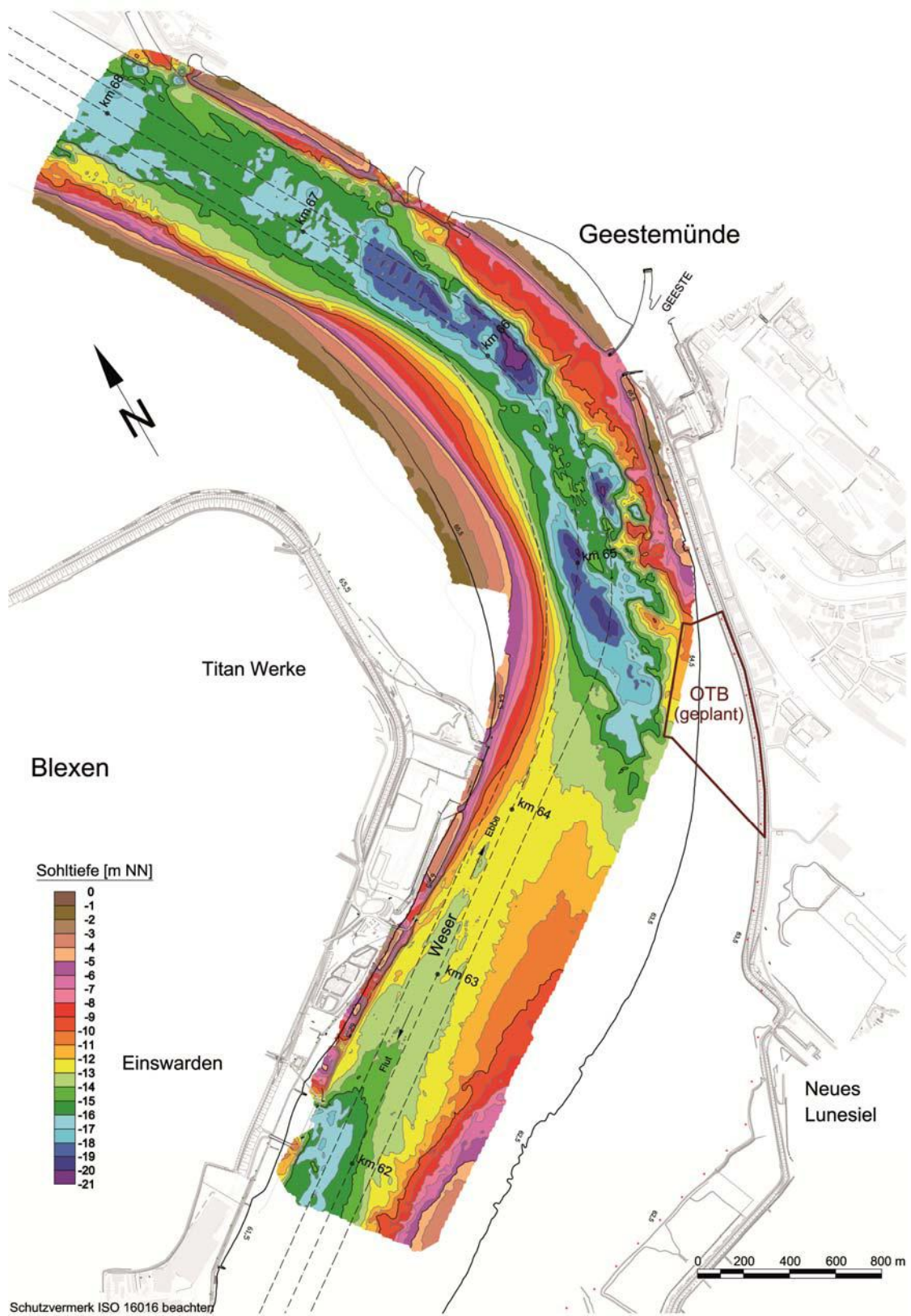


Abb. 4: Peilungen vom April (km 65,0 bis 68,0) und Juni 2000 (km 62,0 bis 65,0) [2]

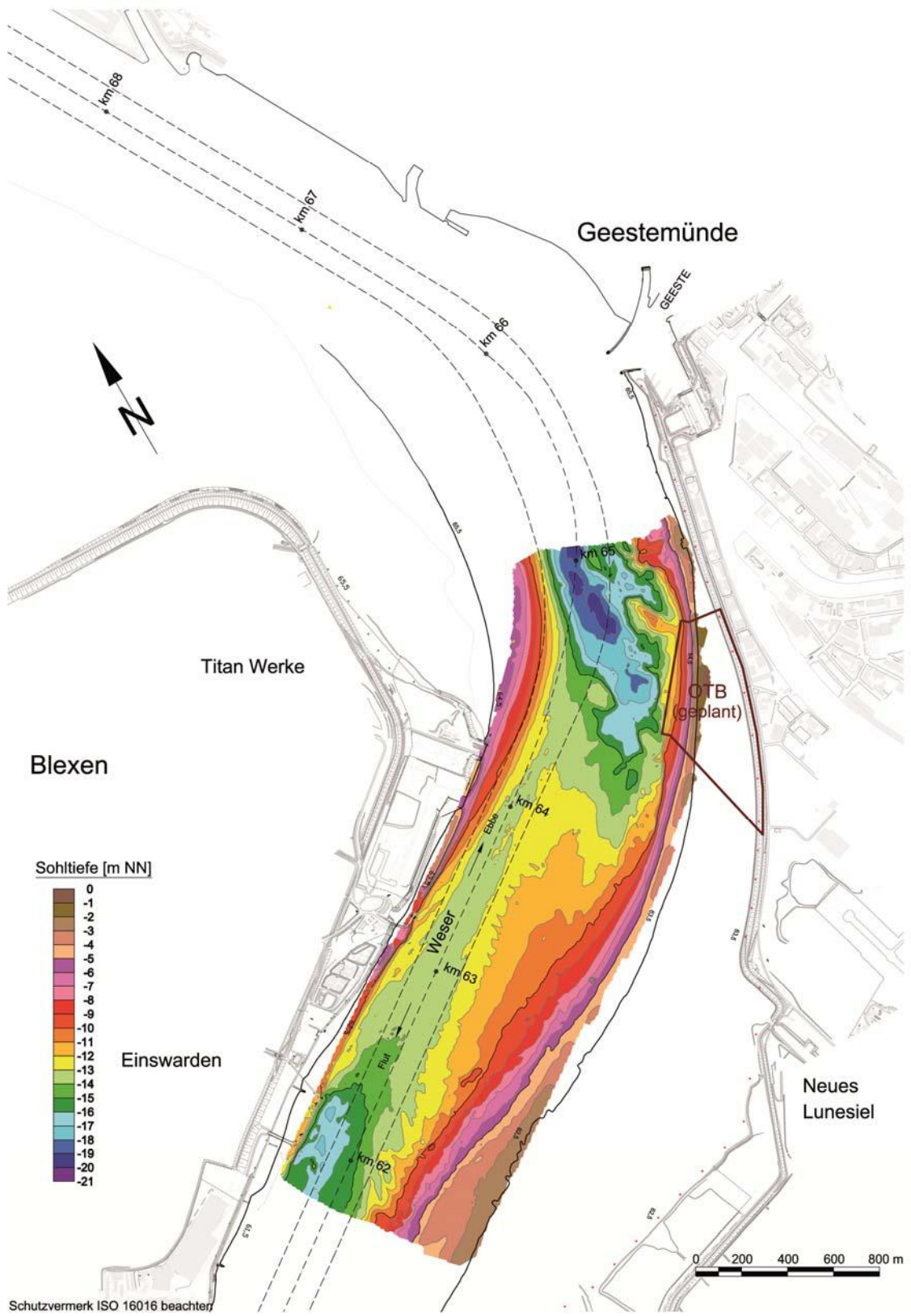


Abb. 5: Peilung vom Juli 2000 [3]

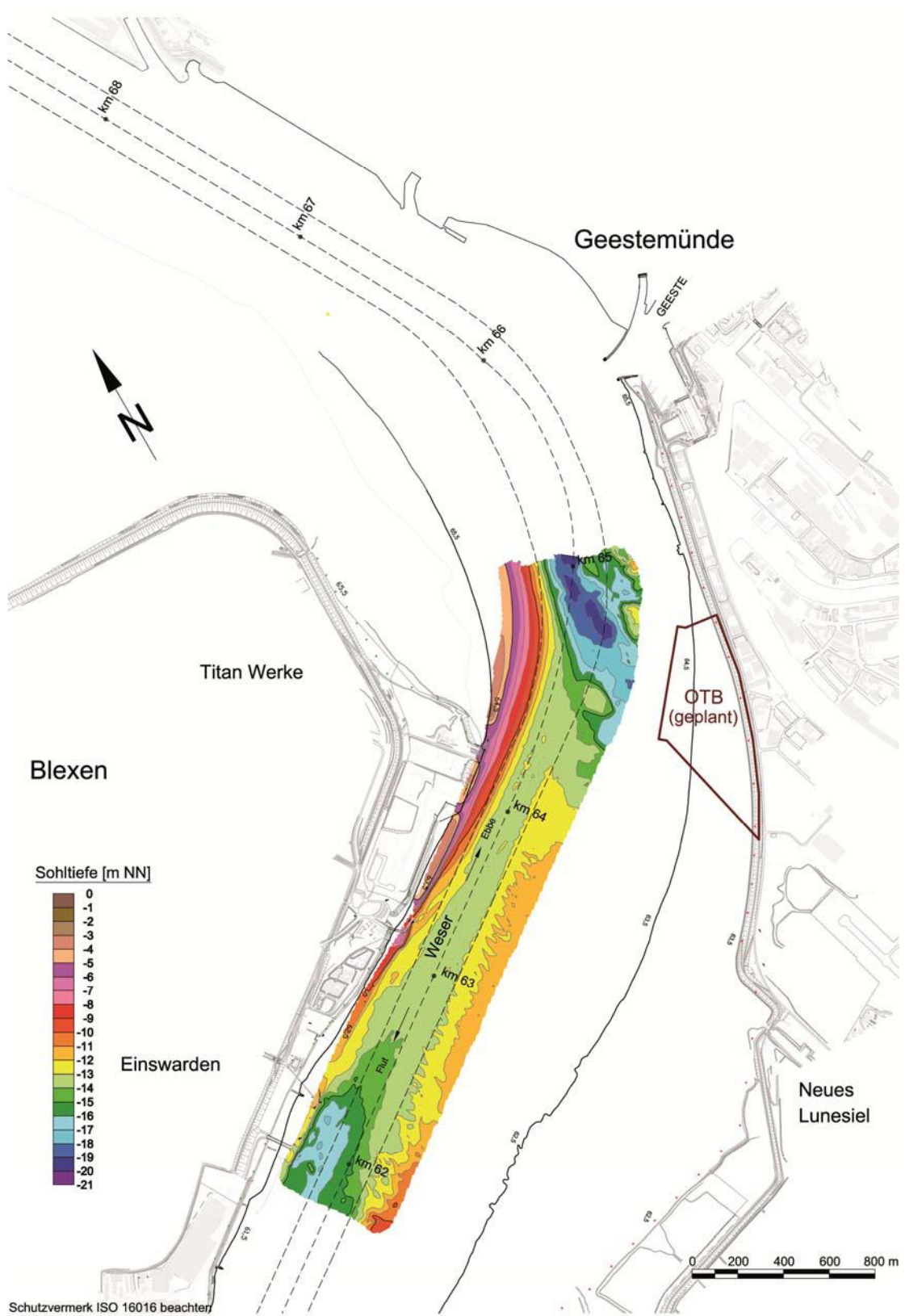


Abb. 6: Peilung vom Oktober 2000 [4]

Vor der Geestemündung rückt der Prallhang nach Westen bis zum rechten Fahrwasser vor (Abb. 3). Offenbar besteht der anstehende Boden im Prallhangbereich aus erosionsfestem Material. Damit wird ein stärkeres Ausflanken des Stromes und die Weiterführung der Flutwassermengen in einer tiefen Rinne am ausbuchtenden Prallhang unterbunden.

Die Flutströmungen werden zwischen Strom-km 66 und 65 zum Blexer Ufer abgelenkt und queren in nordsüdlicher Richtung das Fahrwasser der Weser (Abb. 3). Bei niedrigen Abflüssen aus dem Binnenland vertieft sich die Rinne aufgrund der dominierenden Flutströmungen. Sie verödet erst oberhalb des geplanten OTB auf der rechten Seite des Durchflussquerschnitts (vgl. Abb. 4). Bei Strom-km 65 erzeugten die erosionswirksamen Flutströmungen Sohliefen von mehr als -20m NN.

Stromauf zwischen Nordenham und Einswarden (Weser-km 58 bis 62) sind die Tidedrömungen mehr am linken (westlichen) Prallhang gebündelt und sorgen dort für die größeren Wassertiefen. Diese Verhältnisse sind übrigens aus anderen Studien bekannt (IWA, 2006; MÜLLER, 2003).

Zwischen den beiden tiefen Rinnen im Nordenhamer und Blexer Bogen gibt es von Strom-km 62 bis 64 keinen Übergang des Talwegs. Die Schifffahrtsrinne verläuft bis etwa Strom-km 64 geradlinig und auch unterhalb davon sehr weit westlich im Bereich des linken Gleitufers (Abb. 3). Da der Fahrinnenverlauf nicht den natürlichen Gegebenheiten des Tidedstroms angepasst ist, kommt es zwangsläufig zu besonders starken Sedimentationen mit entsprechendem Unterhaltungsaufwand. Nach Planunterlage [21] betragen die Unterhaltungsbaggerungen zwischen Strom-km 62,5 und 64,5 in dem zwölfjährigen Zeitraum 1999/2010 im Mittel $Q_B \approx 767\,000\text{ m}^3/\text{a}$. Die Abb. 2 verdeutlicht die vom Oberwasser der Weser abhängigen Schwankungen. Bemerkenswert ist es, dass unterhalb km 64,5 im Blexer Bogen nach [21] keine Unterhaltungsbaggerungen seit 1999 durchgeführt wurden. Für das Jahr 1998 lagen für diese Ausarbeitung keine Daten vor.

Die Peilung in Abb. 4 zeigt für den im April 2000 vermessenen unteren Abschnitt (km 65 bis 67) nach dem Außenweserausbau ein nahezu unveränderliches Bild (vgl. Abb. 3). Im Fahrinnenbereich oberhalb Strom-km 64,5 sind vorausgegangene Baggeraktivitäten in Abb. 4 auszumachen.

Die Peilungen vom Juli und Oktober 2000 (Abb. 5 und 6) dokumentieren, dass die Fahrrinnenbaggerungen in den Sommermonaten fortgesetzt wurden (vgl. Abb. 4). Deutlich zu erkennen sind die besonderen Probleme im linken Fahrwasser am Gleithang.

Im Bereich des Terminals wurden bei allen Peilungen im Jahr 2000 gleichbleibend stabile Verhältnisse in der nordsüdlich verlaufenden Flutrinne verzeichnet (Abb. 4 bis 6). Auch die bei vergleichbaren Oberwasserverhältnissen vor dem Außenweserausbau festgestellten morphologischen Randbedingungen hatten das gleiche Muster (vgl. Abb. 3).

4.2.2 2001 bis 2004 (Abb. 7 bis 10)

Obwohl im Winter besonders hohe Binnenabflüsse ausblieben, hatten im Fahrwasser vom Oktober 2000 bis zum März 2001 erhebliche Sedimentationen stattgefunden (Abb. 6 und 7). Bei genauerer Betrachtung ist erkennbar, dass auch in der oberhalb km 65 nordsüdlich verlaufenden Rinne leichte Auflandungen stattgefunden hatten.

Bei dem geringen Oberwasser im Sommer 2001 sorgte das Tidegeschehen mit den bettbildenden Flutströmungen für die natürliche Vertiefung der Nordsüdrinne bis zu über -20m NN (Abb. 7 und 8). Im oberhalb gelegenen Fahrwasser wurden 2001 durch Baggerungen rd. $Q_B \approx 710\,000\text{ m}^3$ ausgeräumt.

Ein besonders feuchtes Jahr war 2002 von $MQ_{0202} \approx 500\text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Intschede zu verzeichnen (Abb. 2). Auffällig sind auch die häufigen Hochwasserabflüsse aus dem Binnenland bis zum Winter 2002/2003. Im Januar 2003 wurde ein $Q_{\max} = 2190\text{ m}^3/\text{s}$ erreicht (Abb. 2).

In feuchten Jahren werden bei dann dominierenden Ebbeströmungen erhebliche Sedimentmengen abgelagert, die für 2002 eine Jahresbaggermenge von $Q_B \approx 0,907\text{ Mio. m}^3$ erforderte [21]. Ein Vergleich der Abb. 8 und 9 verdeutlicht die daraus entstehende Situation im Weserfahrwasser (Abb. 9). Die Sedimentationen hatten bis zum August 2002 dazu geführt, dass die -16m NN Tiefenlinie bis zum oberen Ende des OTB vorgerückt war. In der Flutrinne hatten erhebliche Sedimentationen stattgefunden.

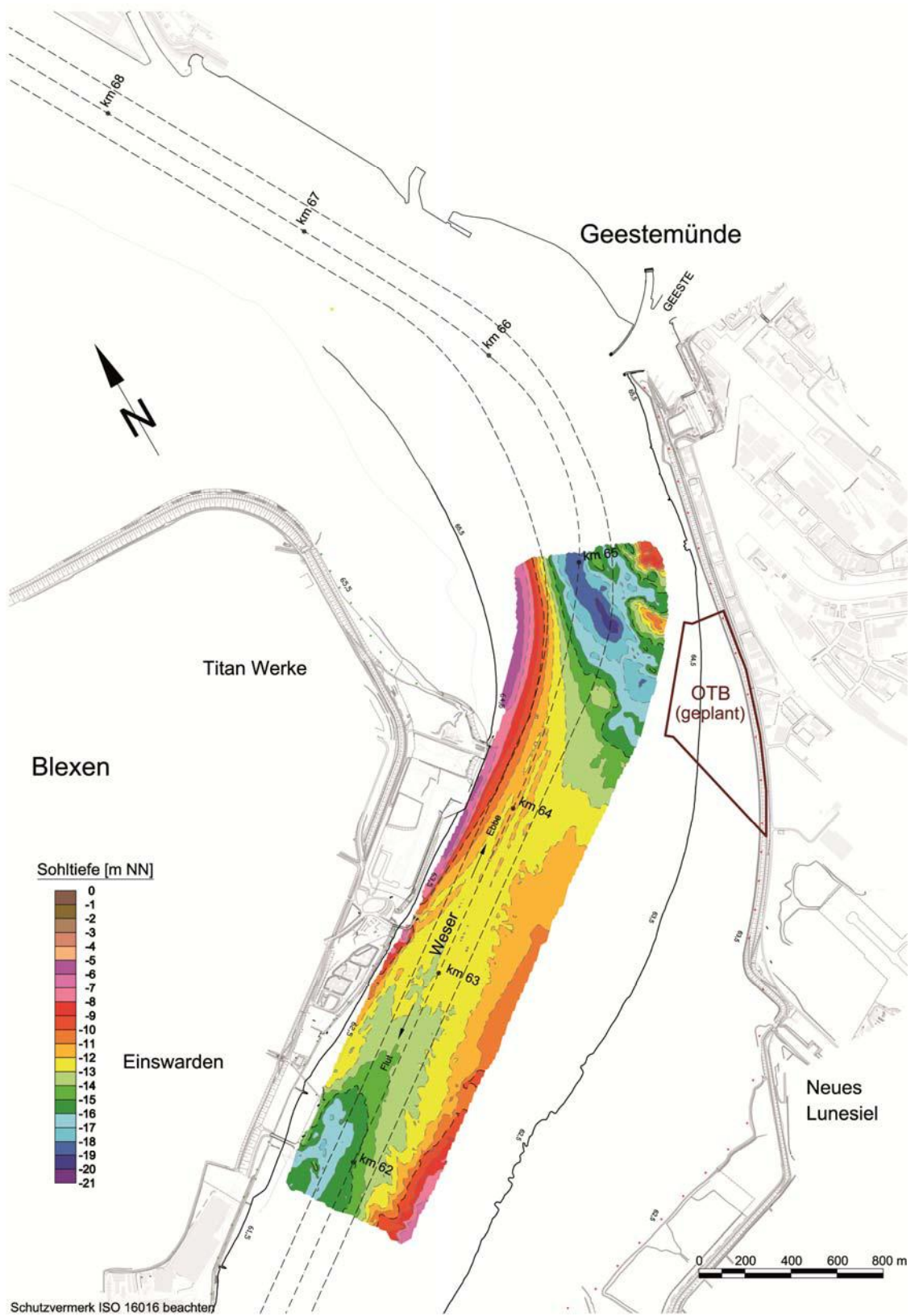


Abb. 7: Peilung vom März 2001 [5]

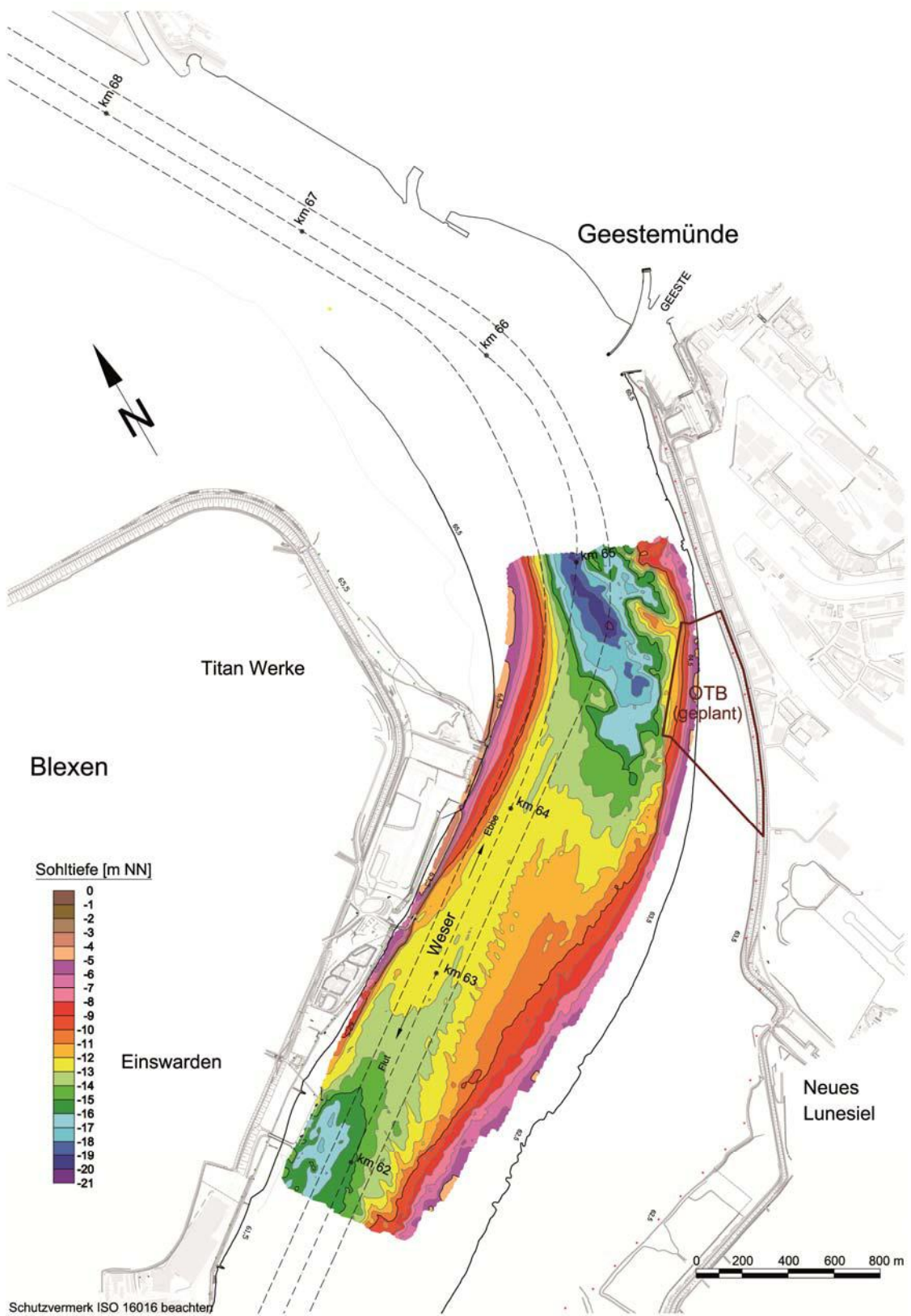


Abb. 8: Peilung vom September 2001 [6]

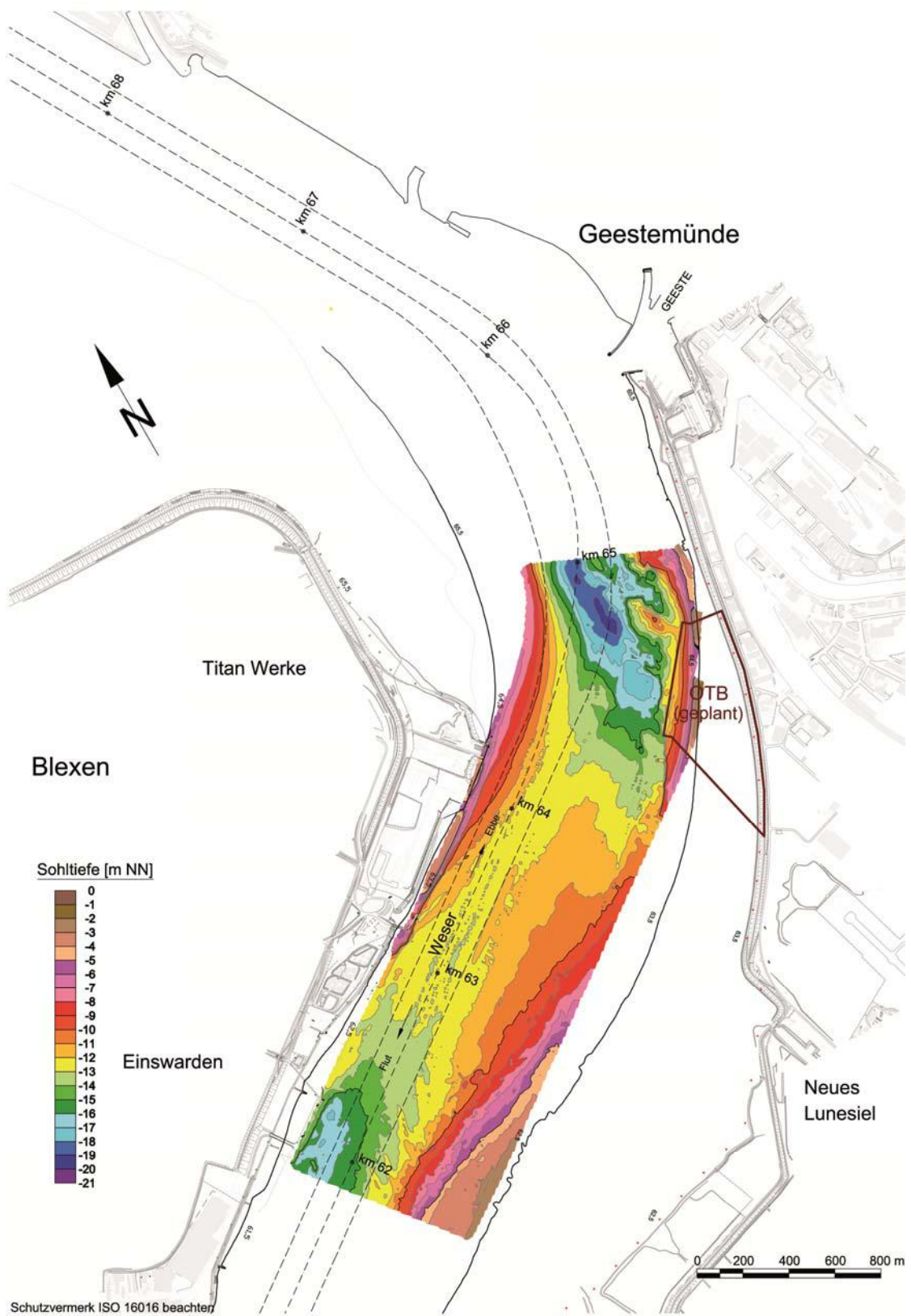


Abb. 9: Peilung vom August 2002 [7]

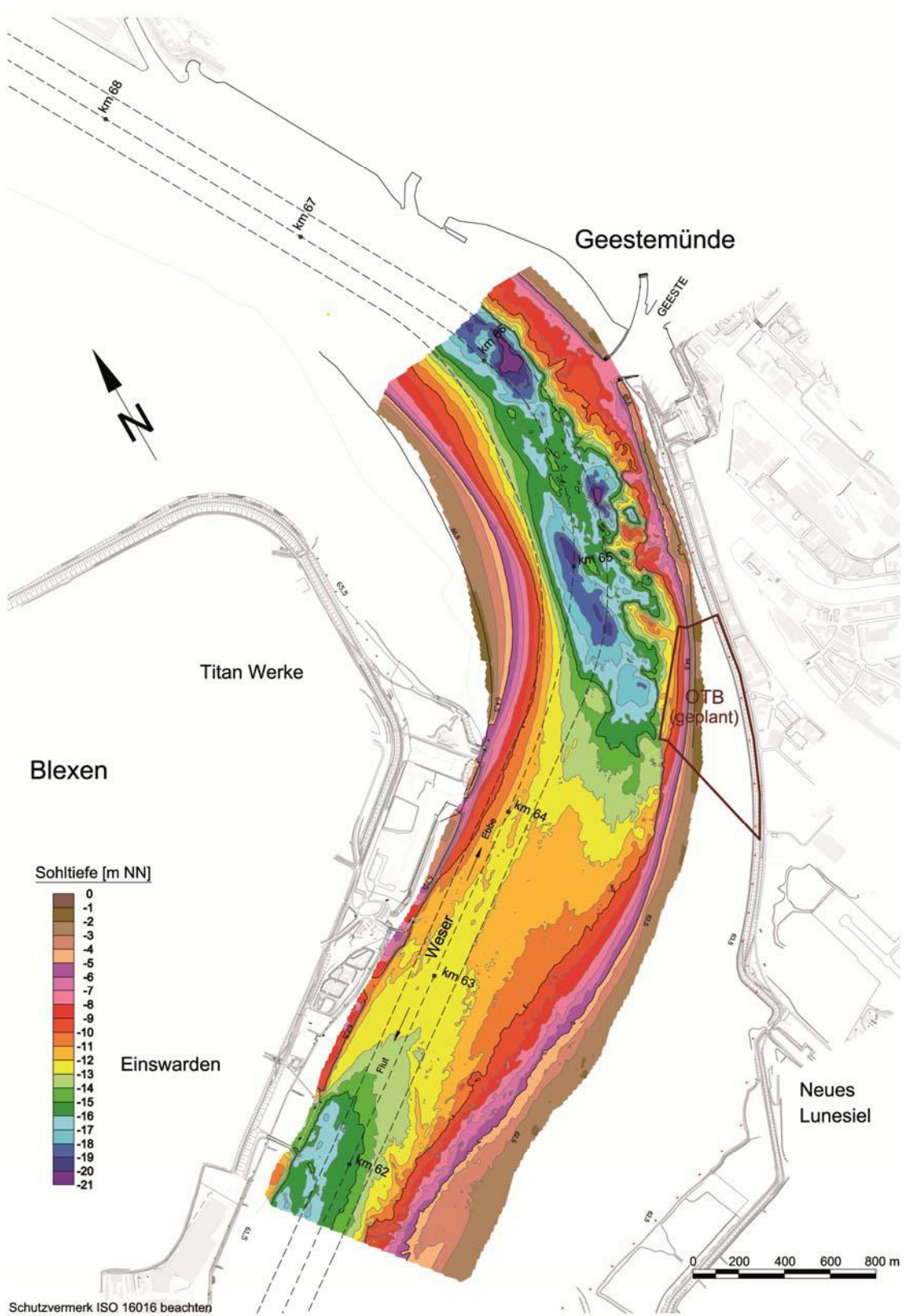


Abb. 10: Peilung vom Februar 2004 [8]

Aus dem Jahr 2003 lagen für diese Ausarbeitung keine Peilungen vor. Nach Planunterlage [21] wurden in dem Jahr vergleichsweise wenig Baggerungen getätigt (Abb. 2). Die bis Strom-km 66 reichende Peilung vom Februar 2004 (Abb. 10) weist in der Nordsüdrinne vor dem geplanten OTB ähnliche Tiefenverhältnisse auf wie im August 2002 (vgl. Abb. 9). Östlich der Fahrwasserachse stimmen die morphologischen Verhältnisse vom geplanten OTB bis Strom-km 66 etwa gut mit der ersten Peilung von 1998 überein (vgl. Abb. 3, Seite 7). Die Nordsüdrinne war 1998 bei Trockenwetterabfluss im Binnenland etwas tiefer und reichte weiter stromauf als im Februar 2004.

4.2.3 2005 bis 2007 (Abb. 11 bis 15)

Ab 2005 ist bei allen Peilungen der Weserabschnitt von Strom-km 62 bis 68 betrachtet worden.

Zwischen Strom-km 66 und dem geplanten OTB sind die morphologischen Verhältnisse in den Abb. 10 und 11 annähernd gleich. Das gilt besonders für den Bereich östlich der Fahrwasserachse.

Die Peilung vom Aug./Sept. 2005 weist im oberen Abschnitt günstigere Fahrwasserverhältnisse aus. Offenbar sind vor der Peilung Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt worden. Nach dem Durchgang des höheren Oberwassers vom März 2006 waren wieder erhebliche Sedimentationen im Meterbereich eingetreten (Peilung vom April 2000 in Abb. 12). Das hohe Oberwasser hatte auch zu einer Verflachung der Tiefen Rinne vor dem geplanten OTB und unterhalb von Strom-km 66 geführt (Abb. 11 und 12).

Bis zur folgenden Peilung waren im Fahrwasser bis km 64,5 Baggerungen durchgeführt worden (Abb. 13). Bei den geringen Binnenabflüssen im Sommer 2006, hatten die transportwirksamen Flutströmungen wieder bis oberhalb des OTB für größere Sohliefen gesorgt.

Ein relativ feuchtes Jahr war 2007 zu verzeichnen (vgl. Abb. 2). Dementsprechend war auch mit $Q_B \approx 1,4 \text{ Mio. m}^3$ ein relativ hoher Baggeraufwand erforderlich. Der ebbestromorientierte Sedimenttransport hatte bis zum März 2007 erhebliche Sedimentationen im Fahrwasser zwischen km 63 und 64,5 verursacht. (Abb. 13 und 14). Auch vor dem geplanten OTB lagen die Auflandungen im Meterbereich. Durch das geringe Oberwasser in den Sommermonaten 2007 wurden die Flutströmungen

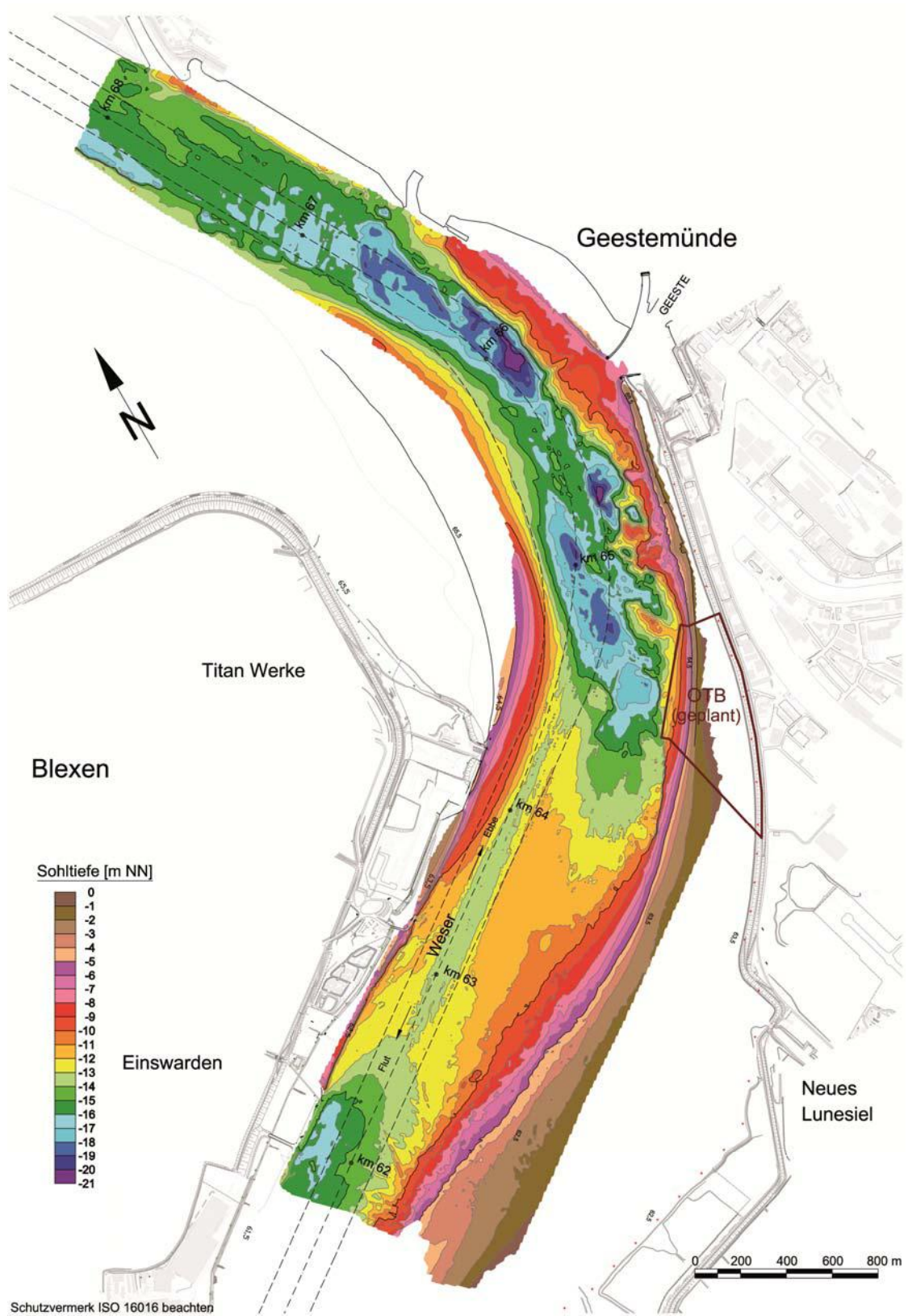


Abb. 11: Peilungen vom August (km 65,0 bis km 68,0) und September 2005 (km 62,0 bis 65,0) [9]

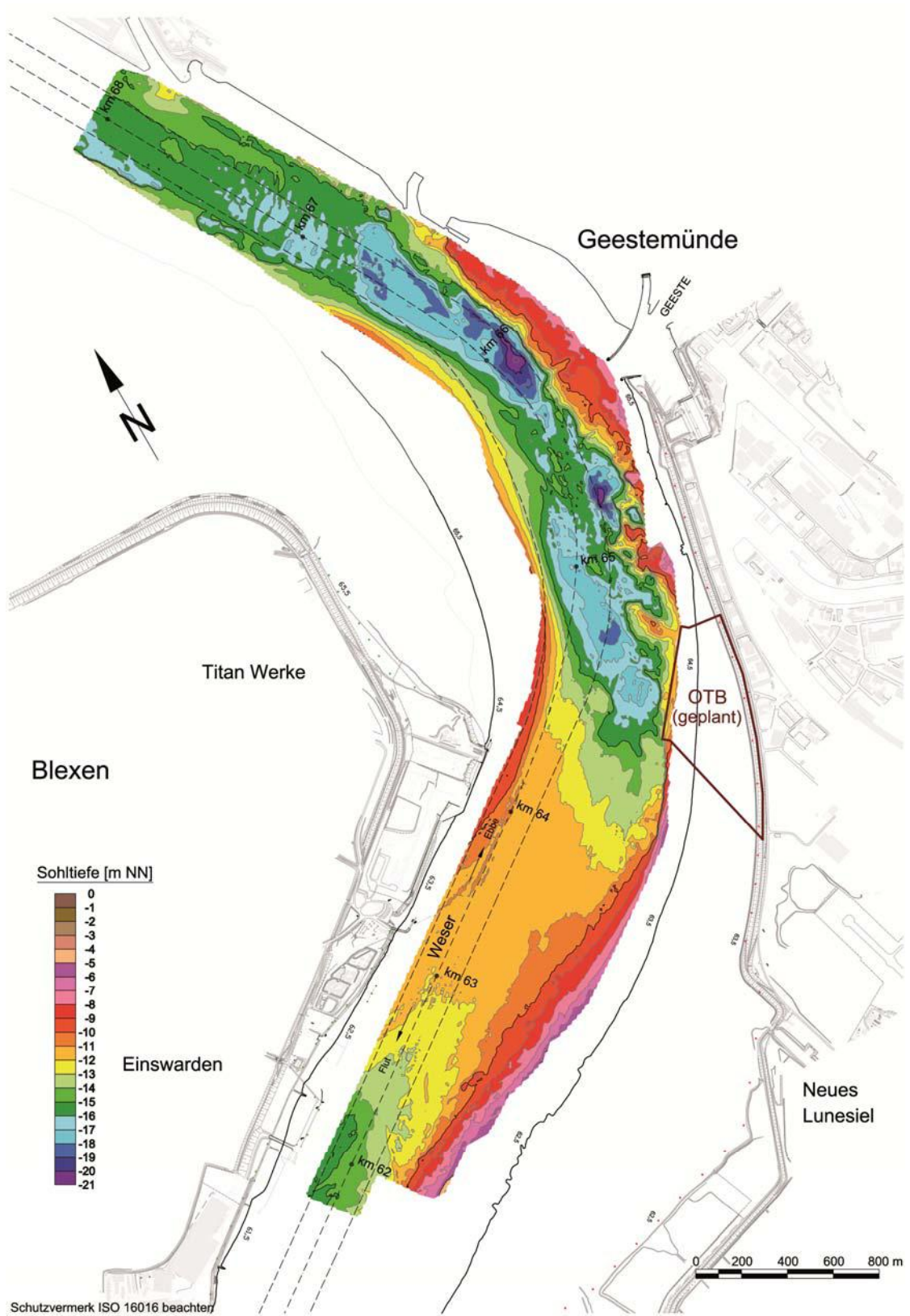


Abb. 12: Peilung vom April 2006 [10]

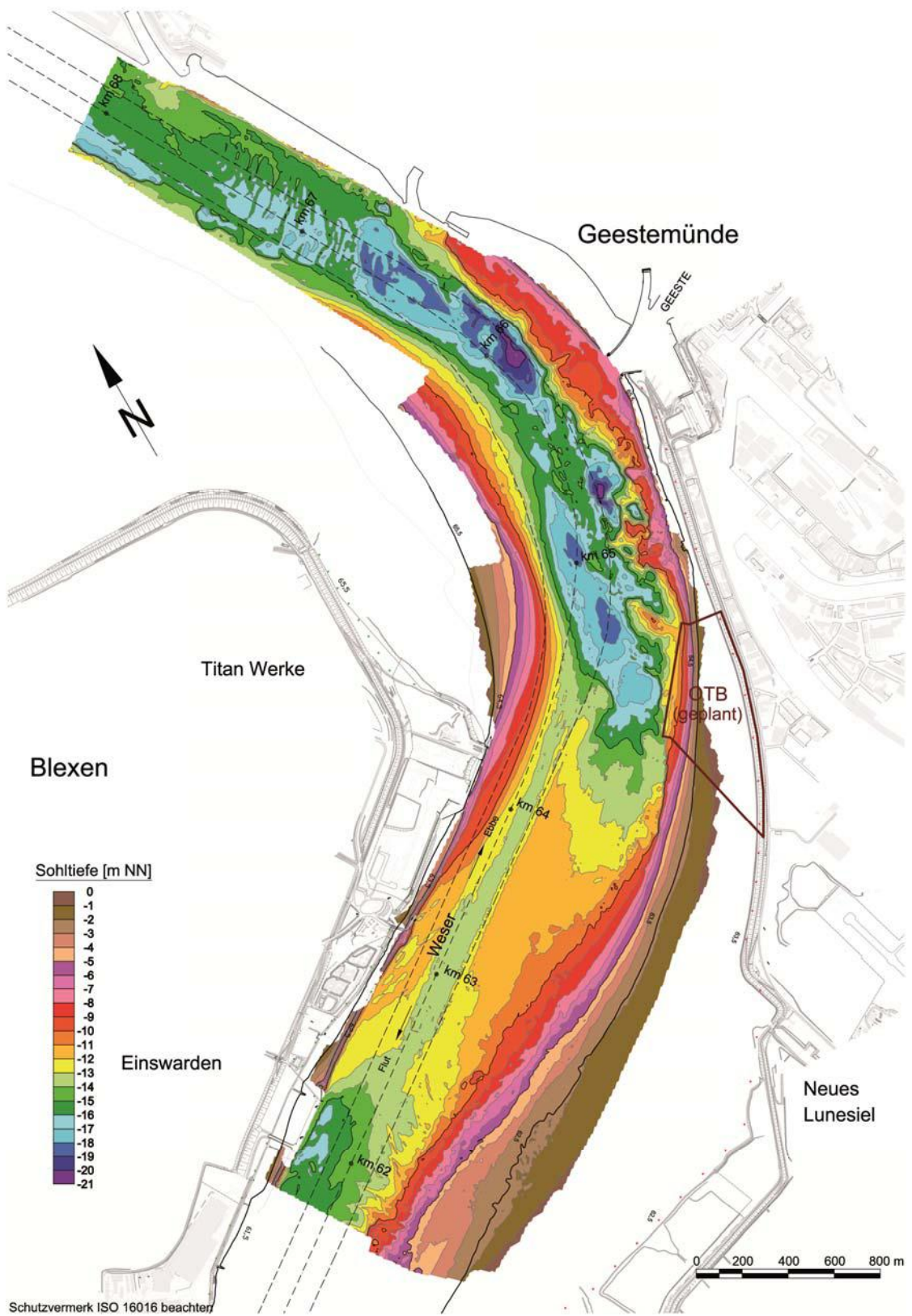


Abb. 13: Peilungen vom Juli/August (km 62,0 bis 68,0) und Juli/November 2006 (km 62,0 bis 65,0 Randbereiche) [11]

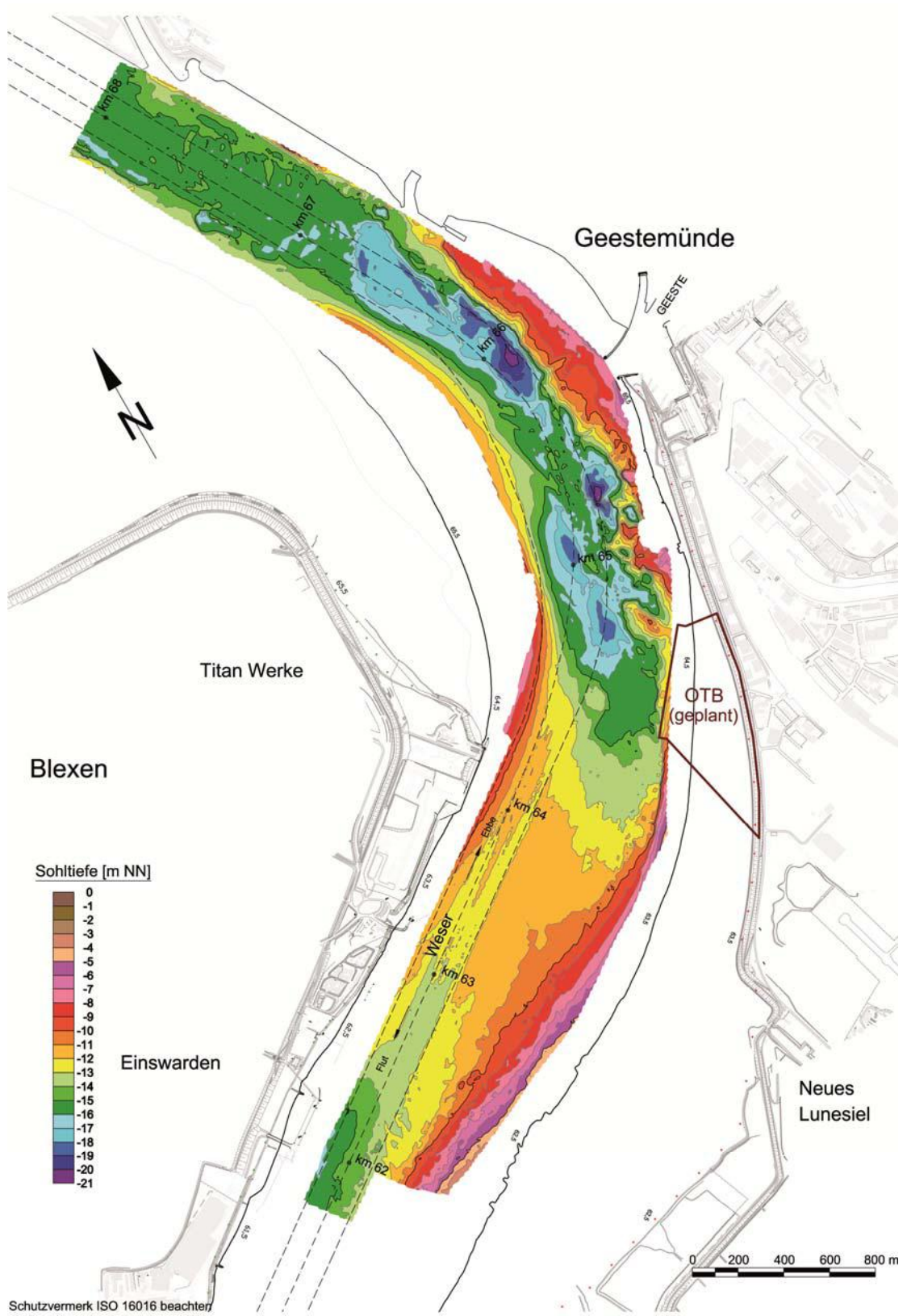


Abb. 14: Peilungen vom Februar (km 62,0 bis 65,0 Blexen Reede) und März 2007 (Fahrrinne) [12]

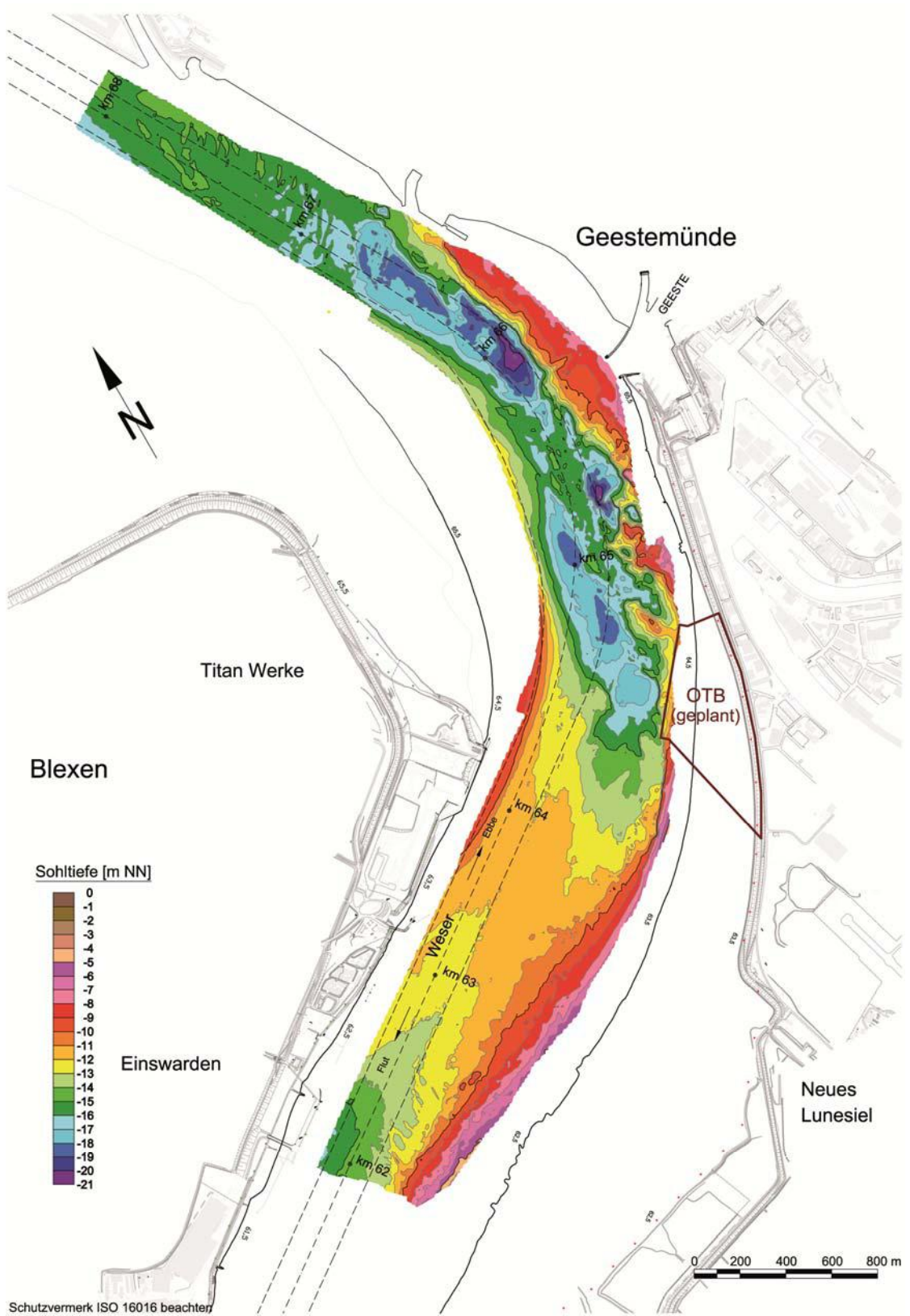


Abb. 15: Peilung vom August 2007 [13]

intensiviert. Die Sedimentationen zwischen km 63 und 64,5 hatten sich abgeschwächt. Starke Erosionen im Meterbereich waren in der Nordsüdrinne zu verzeichnen. Der Stromabschnitt oberhalb km 66 hatte sich ebenfalls deutlich vertieft.

Die Peilungen von 2007 zeigen beispielhaft, wie sich der resultierende Sedimenttransport oberwasserabhängig verändert. Bei geringem Oberwasser werden die Sedimente stromauf und bei stärkeren Binnenabflüssen stromab transportiert.

4.2.4 2008 bis 2010 (Abb. 16 bis 21)

Vom August 2007 (Abb. 15) bis zum März 2008 (Abb. 16) sind verhältnismäßig häufig Hochwasserereignisse mit Abflüssen in Intschede bis $Q_0 = 1300 \text{ m}^3/\text{s}$ am 24. Januar aufgetreten (Abb. 2). Die höhere Transportkapazität der Ebbeströmungen hat bei derartigen hydrologischen Randbedingungen entsprechend starke Sedimentationen zur Folge. Die Bedingungen im Fahrwasserbereich hatten sich zum März 2008 besonders im oberen Stromabschnitt verschlechtert. Auffällig sind auch die Sedimentationen in der schräg zum Fahrwasser verlaufenden Nordsüdrinne bei Strom-km 65 und oberhalb. Im östlichen Fahrwasser und außerhalb davon blieben die morphologischen Gegebenheiten auch im Winter 2007/2008 zwischen km 65 und 67 stabil.

Ab dem Frühjahr 2008 herrschten morphodynamisch günstigere, unterdurchschnittliche Abflussbedingungen am Pegel Intschede (vgl. Abb. 2). Der Unterhaltungsaufwand reduzierte sich dementsprechend für das Jahr 2008 nach Planunterlage [21] zwischen Strom-km 62,0 und 64,5 auf $Q_B \approx 0,8 \text{ Mio. m}^3$.

Der Vergleich von Abb.16 und 17 zeigt, dass Unterhaltungsbaggerungen durchgeführt wurden. Im Oktober 2008 wurden im rechten Fahrrinnenbereich überwiegend Wassertiefen von rd. $d \geq -13\text{m NN}$ gepeilt (Abb. 17). Auf der linken Seite im Bereich des Gleitufers wurden ungünstigere Verhältnisse angetroffen mit Sohl-tiefen von bis zu $d \leq -10\text{m NN}$.

Im äußeren Bogen der Flutrinne sind in beiden Abbildungen (16 und 17) die stabilen Kolke ober- und unterhalb der Geestemündung auszumachen. Außerhalb (östlich) des Fahrwassers waren die morphologischen Verhältnisse unterhalb des geplanten OTB bis etwa Strom-km 67 nahezu unverändert (Abb. 16 und 17). Das gilt übrigens auch für den 10-jährigen Zeitraum 1998/2008 (Abb. 3 und 17).

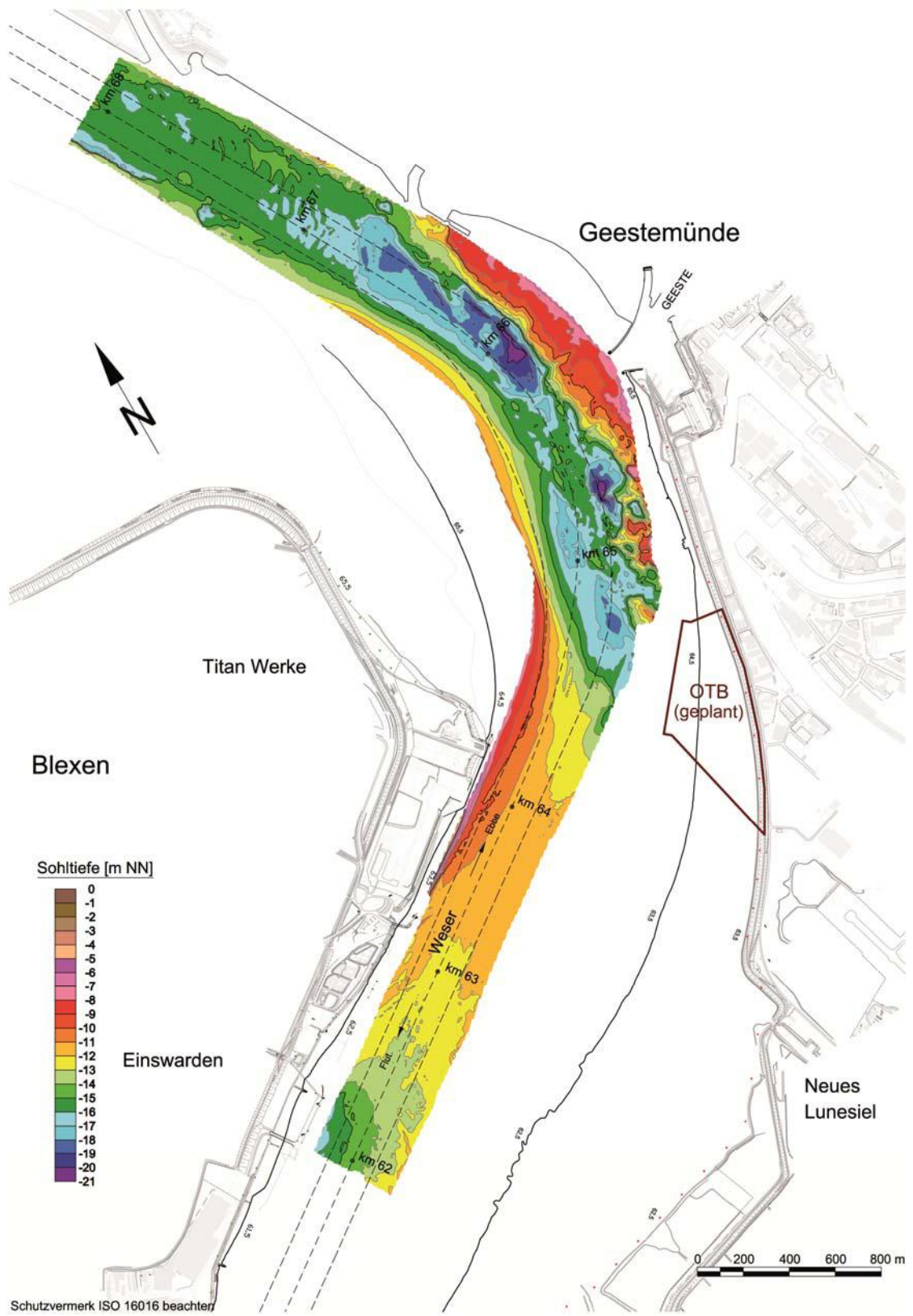


Abb. 16: Peilung vom März 2008 [14]

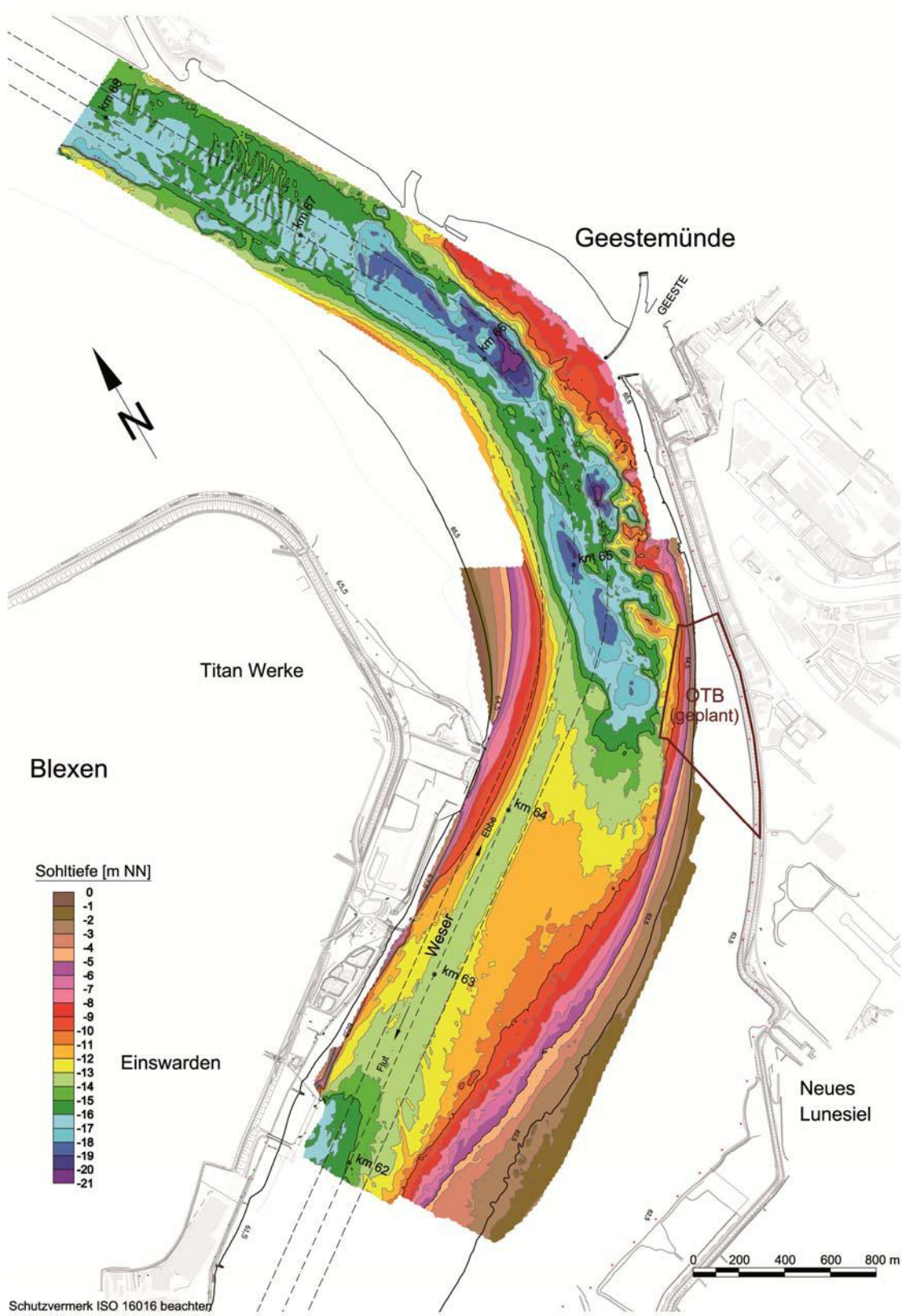


Abb. 17: Peilung vom Oktober 2008 [15]

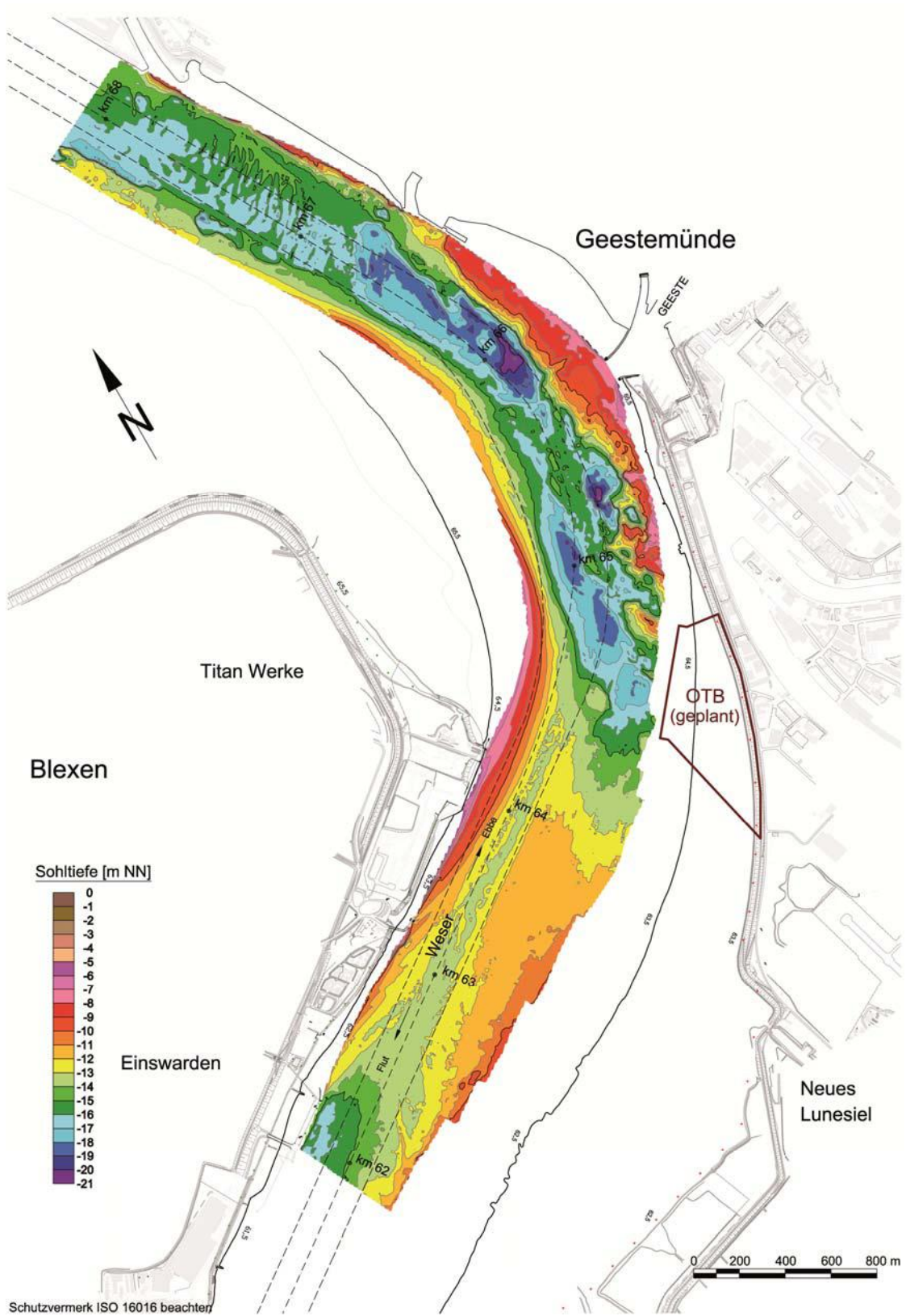


Abb. 18: Peilung vom Februar 2009 [16]

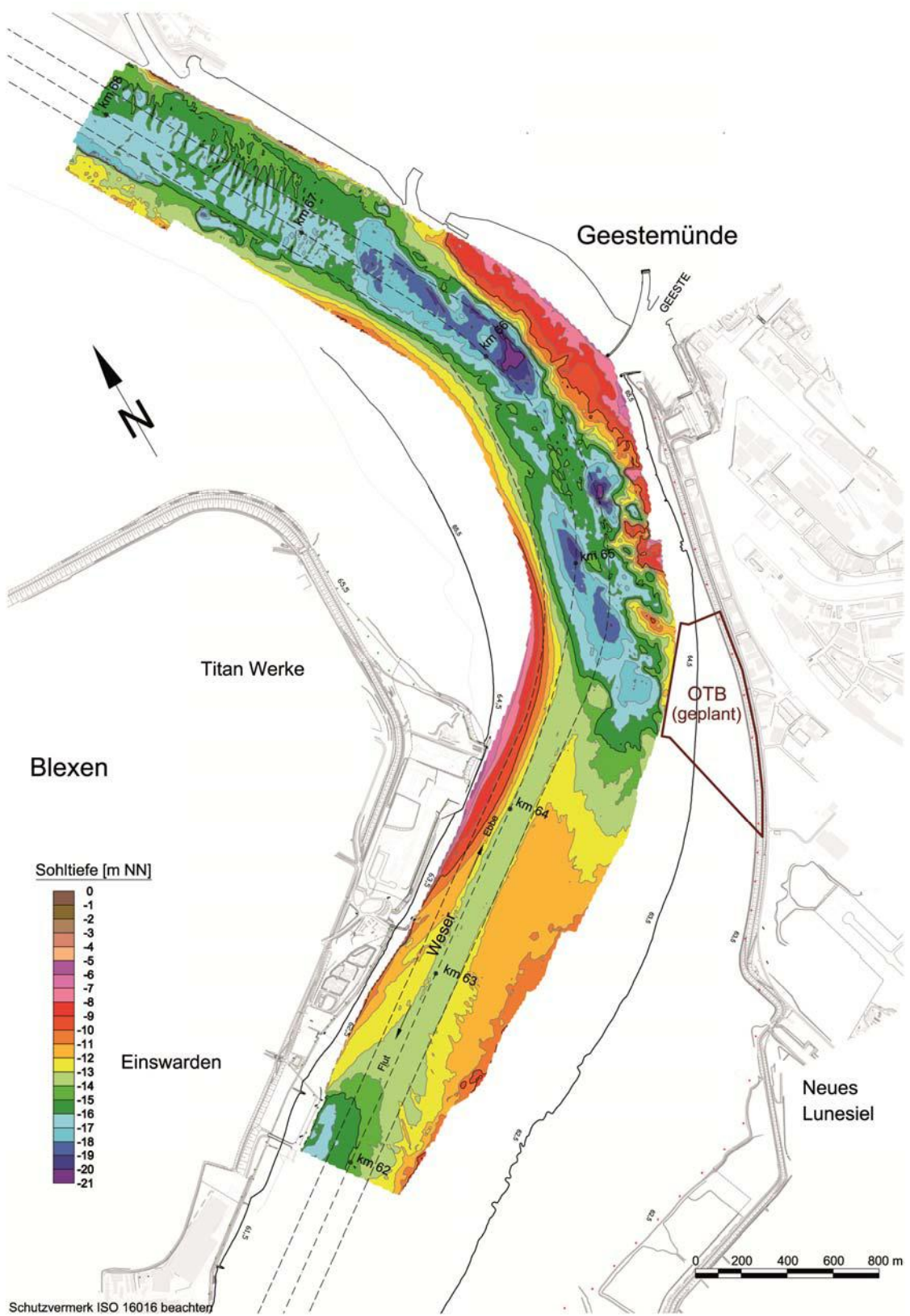


Abb. 19: Peilungen vom August/September 2009 [17]

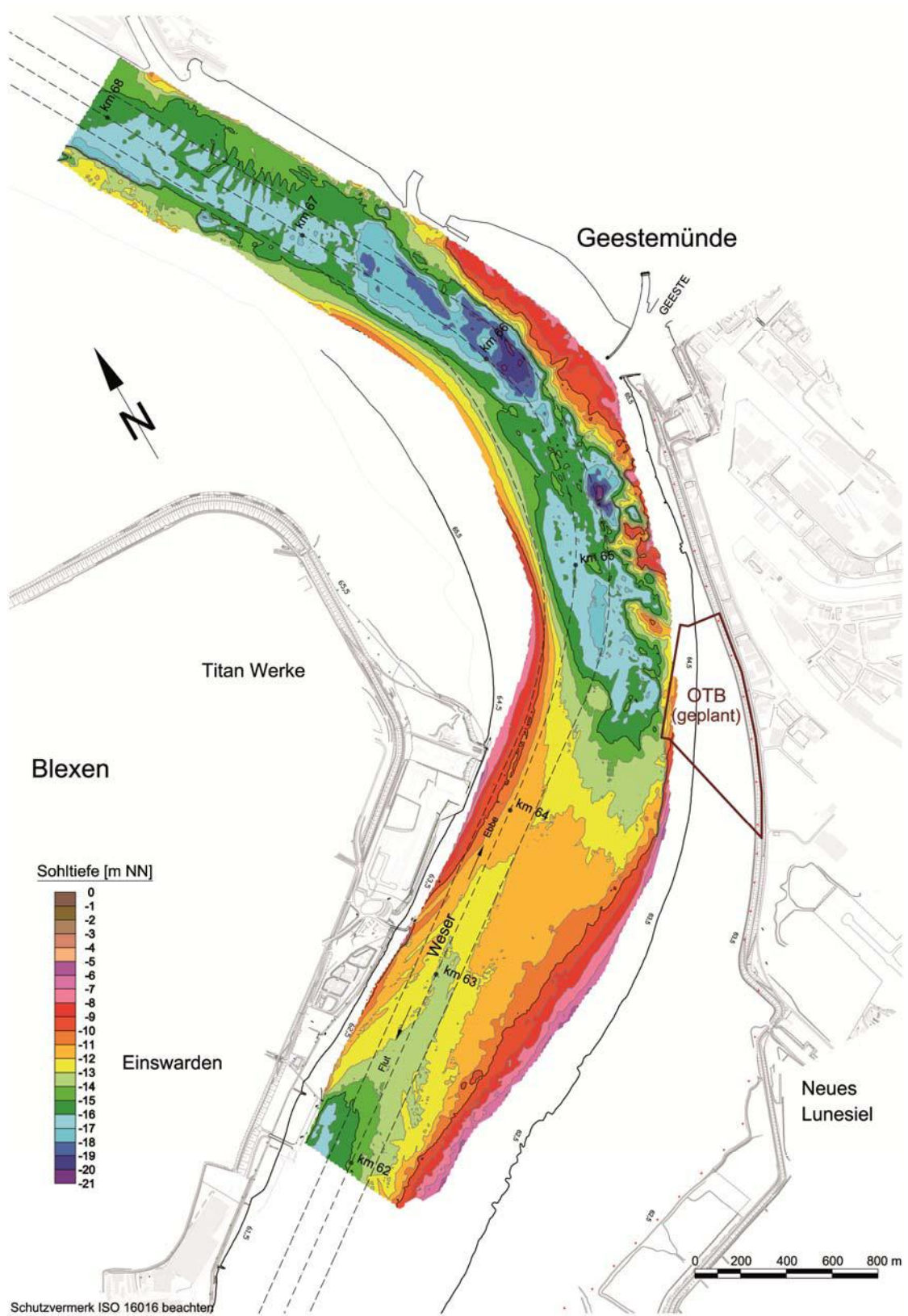


Abb. 20: Peilung vom März 2010 [18]

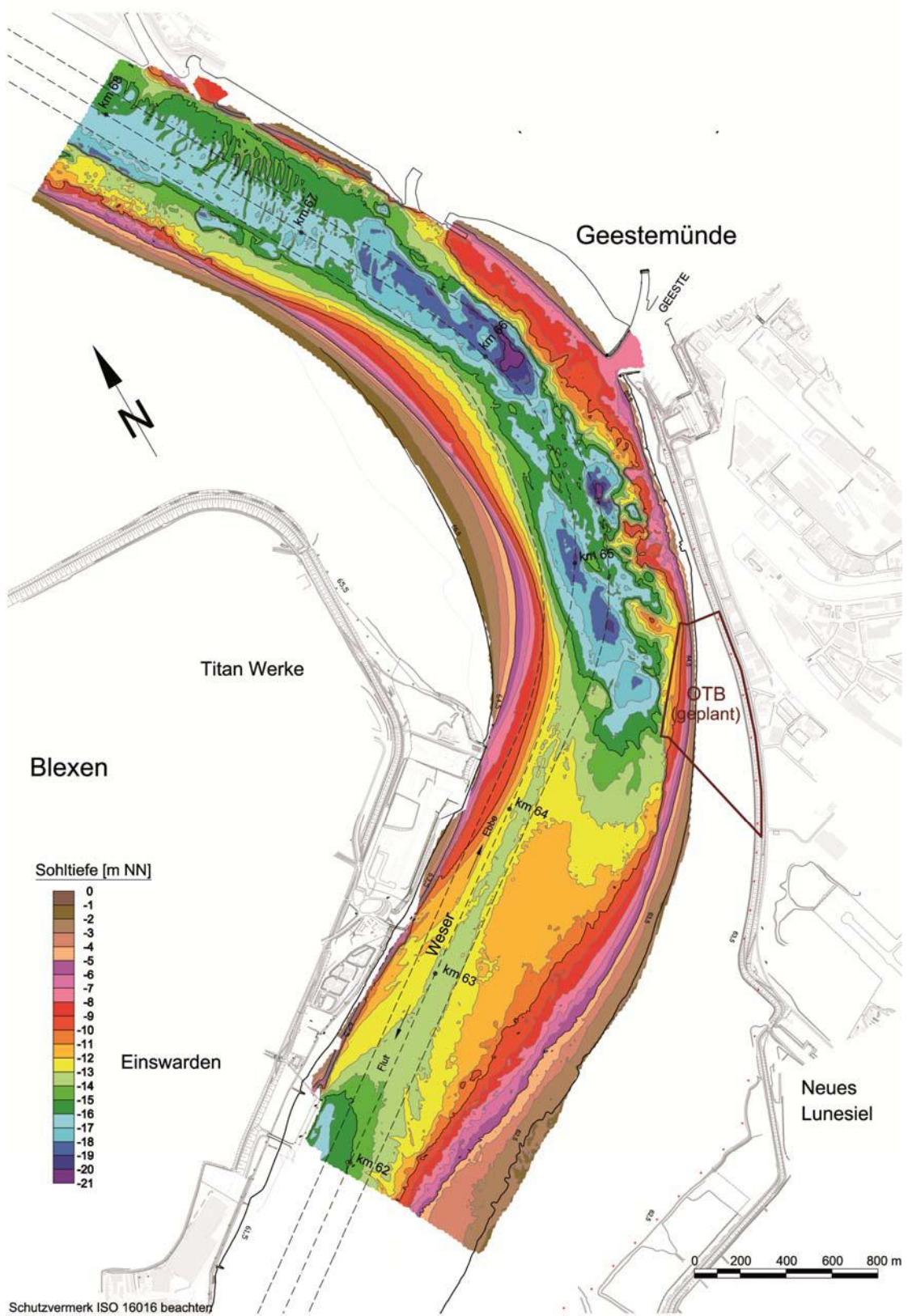


Abb. 21: Peilungen vom September (Fahrrinne km 62,0 bis 68,0 und 62,0 bis 65,0 Randbereiche) und Oktober 2010 (km 65,0 bis 68,0 Randbereiche) [19]

Kennzeichnend ist wieder die sich bei geringen Binnenabflüssen ausprägende von Nord nach Süd das Fahrwasser kreuzende tiefe Rinne bei km 65, die am südlichen Ende flacher wird und oberhalb verödet (Abb.17).

Beachtenswert sind auch die Sohlvertiefungen am unteren Ende des Untersuchungsbereichs ab km 67 im Sommer 2008 (Abb. 16 und 17).

Die Zeit vom Oktober 2008 bis zum Februar 2009 war nicht von hohen Binnenabflüssen geprägt (vgl. Abb. 2). Deshalb waren stärkere Sedimentationen ausgeblieben (Abb. 17 und 18). In der Baggerstrecke der Fahrrinne zwischen km 62,5 und 64,5 waren relativ geringe Sedimentationen eingetreten.

Abb. 17 und 18 zeigen, wie bei anhaltend niedrigen Oberwasser die brackwasserbedingten, an der Sohle verstärkten Flutströmungen im tiefen Wasser bei Strom-km 66 zur Nordsüdrinne umgelenkt werden. Oberhalb des Kolks am Prallhang anstehende, nicht erodierbare Böden bewirken offenbar die Strömungsumlenkung. Da die eingeschlagene Nordsüdrichtung nicht der Flussgeometrie entspricht, vermindert sich die Transportkapazität der Wassermassen, was zu den abnehmenden Sohl-tiefen führt. Ein Übergang zum bei km 62 beginnenden Gegenbogen wäre sicher eher zu erreichen, wenn die Tidewassermengen bei Flut etwa ab Strom-km 66 weiter östlich zum oberhalb gelegenen stabilen Kolk und weiter näher am Prallufer entlang geführt werden würden.

Im Übrigen bleibt noch festzustellen, dass in den von Baggerungen unberührten Bereichen bei anhaltend niedrigen Binnenabflüssen unterhalb der Nordsüdrinne relativ geringe morphologische Veränderungen stattgefunden hatten (Abb. 17 und 18).

Nach der Februarpeilung von 2009 trat am Pegel Intschede eine Oberwasserwelle mit $Q_{0\max} = 784 \text{ m}^3/\text{s}$ am 15. März 2009 ein (Abb. 2). Bis zum Jahresende wurden in Intschede keine ungewöhnlichen Hochwasserereignisse registriert. Die günstigen hydrologischen Randbedingungen hatten entsprechend geringe Unterhaltungsbaggerungen zur Folge. Nach [21] wurden zwischen Weser-km 62,5 und 64,5 lediglich $Q_B \approx 0,51 \text{ Mio. m}^3$ gebaggert.

Die in Abb. 18 und 19 aufgetragenen Tiefenverhältnisse sind ein Spiegelbild der günstigen Randbedingungen bei niedrigen Abflüssen aus dem Binnenland. Wie bei den Peilungen von 2009 sind auch in der Oktoberpeilung von 2008 im oberen

Abschnitt des Fahrwassers bis km 64,5 durchgehend Sohliefen von bis zu $d \geq -13\text{m NN}$ zu verzeichnen (Abb. 17 bis 19).

Die Flutrinnen ober- und unterhalb der Geestemündung und die zum Oktober 2008 eingetretenen Vertiefungen im unteren Stromabschnitt bis km 68 (Abb. 16 und 17) sind auch bei den Peilungen von 2009 (Abb. 18 und 19) nahezu übereinstimmend. Das gleiche gilt auch für die flacheren Bereiche des Prallhangs vom geplanten OTB bis Strom-km 66,5 (Abb. 17 bis 19).

Vor der Märzpeilung 2010 waren wieder erhebliche Sedimentationen im Untersuchungsgebiet eingetreten (Abb. 19 und 20) Ursächlich waren die veränderten Oberwasserverhältnisse ab Dezember 2009 (Abb. 2). Sicher hat das Oberwasserereignis vor der Peilung mit einem Höchstwert von $Q_{0\text{max}} = 1140 \text{ m}^3/\text{s}$ am 3. März 2010 in Intschede sich nachhaltig auf die morphologischen Verhältnisse im Blexer Bogen ausgewirkt.

Die stärksten Mindertiefen waren im Fahrwasser bei Strom-km 64 mit -11m bis -12m NN festgestellt worden (Abb.20). Heftige Sedimentationen waren auch in der Nordsüdrinne zu verzeichnen (Abb. 19 und 20). Der Stromabschnitt unterhalb von Strom-km 65 war nicht mehr so stark von Sedimentationen betroffen.

Nach dem Durchgang der Hochwasserwelle vom März 2010 wurden bis zum Herbst in Intschede unterdurchschnittliche Binnenabflüsse aufgezeichnet. Dementsprechend sind die morphodynamischen Vorgänge wieder von den dominierenden Flutströmungen geprägt worden (Abb. 20 und 21).

In Abb. 21 sind die Auswirkungen einer der Fahrwasserpeilung vom September 2010 vorangegangenen Baggerung auszumachen. Die Tiefen von $d < -13\text{m NN}$ waren durch Unterhaltungsbaggerungen im rechten Fahrinnenbereich ausgeräumt worden (Abb. 20 und 21). Die Wassertiefe betrug durchgehend wieder $d \geq -13\text{m NN}$.

Oberhalb der Baggerstrecke hat sich die vom OTB nach Norden gerichtete Rinne aufgrund der natürlichen Gegebenheiten, dem flutstromorientierten Sedimenttransport, wieder vertieft.

In abgeschwächter Form gilt das auch für den unteren Bereich ab Strom-km 66. Dabei sind die größten Sohliefen zwischen km 66 und 67 rechts der Feuerlinie östlich des Fahrwassers anzutreffen. Unterhalb von km 67 verlagert sich der Talweg nach

Westen. Ab Strom-km 68 und vor der sich anschließenden Columbuskaje sind die größten Wassertiefen westlich des Fahrwassers anzutreffen.

4.2.5 Zusammenfassende Betrachtungen (Abb. 22 und 23)

Vorstehend wurden die morphodynamischen Vorgänge zwischen Weser-km 62 und 68 für den 13-jährigen Zeitraum von 1998 und 2010 in Abhängigkeit der wechselnden hydrologischen Randbedingungen erläutert.

Oberhalb des Untersuchungsgebiets verläuft die Weser bis etwa Strom-km 62 in einer Rechtskrümmung. Die größten Wassertiefen sind mehr am linken (westlichen) Prallhang anzutreffen. Nach einem kurzen Übergang schließt sich mit einer Linkskrümmung der Blexer Bogen an (Abb. 1). Bei mittleren und niedrigen Binnenabflüssen bilden sich durch die dominierenden Flutströmungen unterhalb des geplanten OTB tiefe Rinnen aus. In feuchten Jahren und bei stärkeren Oberwasserspitzen kommt es zur Sedimentation der Flutrinnen. Das Fahrwasser im Stromabschnitt unterhalb von Fluss-km 64,5 erfordert nach Planunterlage [21] keine Unterhaltungsbaggerungen. Dagegen sind im Übergangsbereich (km 62,5 und 64,5) zum Nordenhamer Bogen erhebliche Baggertätigkeiten im Fahrwasser erforderlich.

Die sehr stabilen morphologischen Randbedingungen bis Strom-km 65 zeigt ein Vergleich der Peilung von 1998 mit der vom Herbst 2010 (Abb. 3, Seite 7 und Abb. 21, Seite 29). Die Tiefenverhältnisse sind praktisch gleich geblieben. Durch den Außenweserausbau auf -14m SKN (Juli bis Dezember 1998) sind keine Veränderungen der morphodynamischen Vorgänge verursacht worden. Der hohe Aufwand bei der Fahrwasserunterhaltung im Übergangsbereich steht ebenfalls in keinem Zusammenhang mit dem letzten Außenweserausbau.

Die oberwasserabhängigen morphodynamischen Vorgänge werden im Folgenden beispielhaft für 2009/2010 mit einem Differenzplan für die Peilungen vom Aug./Sept. 2009 (Abb. 19) und vom März 2010 (Abb. 20) erläutert. Die Peilung von 2009 wurde nach einer Trockenwetterperiode und Baggerung der Schifffahrtsrinne und die Märzpeilung von 2010 nach erhöhtem Oberwasser ausgeführt.

Der Differenzplan in Abb. 22 zeigt die natürlichen und anthropogen verursachten Auflandungen im Untersuchungsbereich bei höheren Binnenabflüssen. Die dominierenden Ebbeströmungen und höheren Sedimentfrachten führten in der Schifffahrtsrinne zu Sedimentationsraten bis $q_s > 1,1$ m bei Strom- 64 km. Interessant ist dort auch der vor der westlichen Böschung zu verzeichnende Quertransport.

Bemerkenswert ist die starke, natürliche Auffüllung der Nordsüdrinne mit bis zu $q_s > 1,1$ m. Auch oberhalb des geplanten Terminals sedimentieren die mit den transportwirksameren Flutströmungen im Sommer 2009 geschaffenen größeren Tiefen. Hinzuweisen ist noch auf die sehr stabilen Verhältnisse im rechten Fahrwasser und östlich davon zwischen km 65 und 67 in Abb. 22.

Die Verhältnisse nach dominierenden Flutströmungen bei geringem Oberwasser zeigt ein Differenzplan von den Peilungen im Jahr 2010 (Abb. 20 und 21) in Abb. 23.

Vor der Herbstpeilung wurde eine Baggerung im rechten Fahrwasserbereich durchgeführt. Die bei km 64 künstlich geschaffenen Tiefen von bis $\Delta d \geq -1,1$ m wurden in der Nordsüdrinne durch die Räumkraft der Flutwassermengen auf natürlichem Weg erreicht (Abb. 23).

Interessant ist die Tatsache, dass neben dem künstlich vertieften Fahrwasser und der natürlich ausgeräumten Nordsüdrinne Sedimentationen zu verzeichnen sind. Bei dem Differenzplan in Abb. 22 war es umgekehrt. Im Übrigen bleiben auch bei den Erosionsphasen (Abb. 23) und Baggerungen bei dominanten Flutströmungen die stabilen Verhältnisse im Scheitel des Blexer Bogens bestehen (km 65 bis 67).

4.3 Profile

4.3.1 Fahrrinnenachse

Aus Planunterlagen [1] bis [19] sind Längsprofile der Fahrrinnenachse ermittelt worden (Abb. 24). Bereits vor Beginn der letzten Außenweservertiefung im Jahre 1998 waren in dem 2 km Stromabschnitt von km 62,5 bis 64,5 Mindertiefen zu verzeichnen. Mit wenigen Ausnahmen gilt das für den gesamten Beobachtungszeitraum bis 2010. Die stärksten Sedimentationen traten bei Strom-km 64 auf.

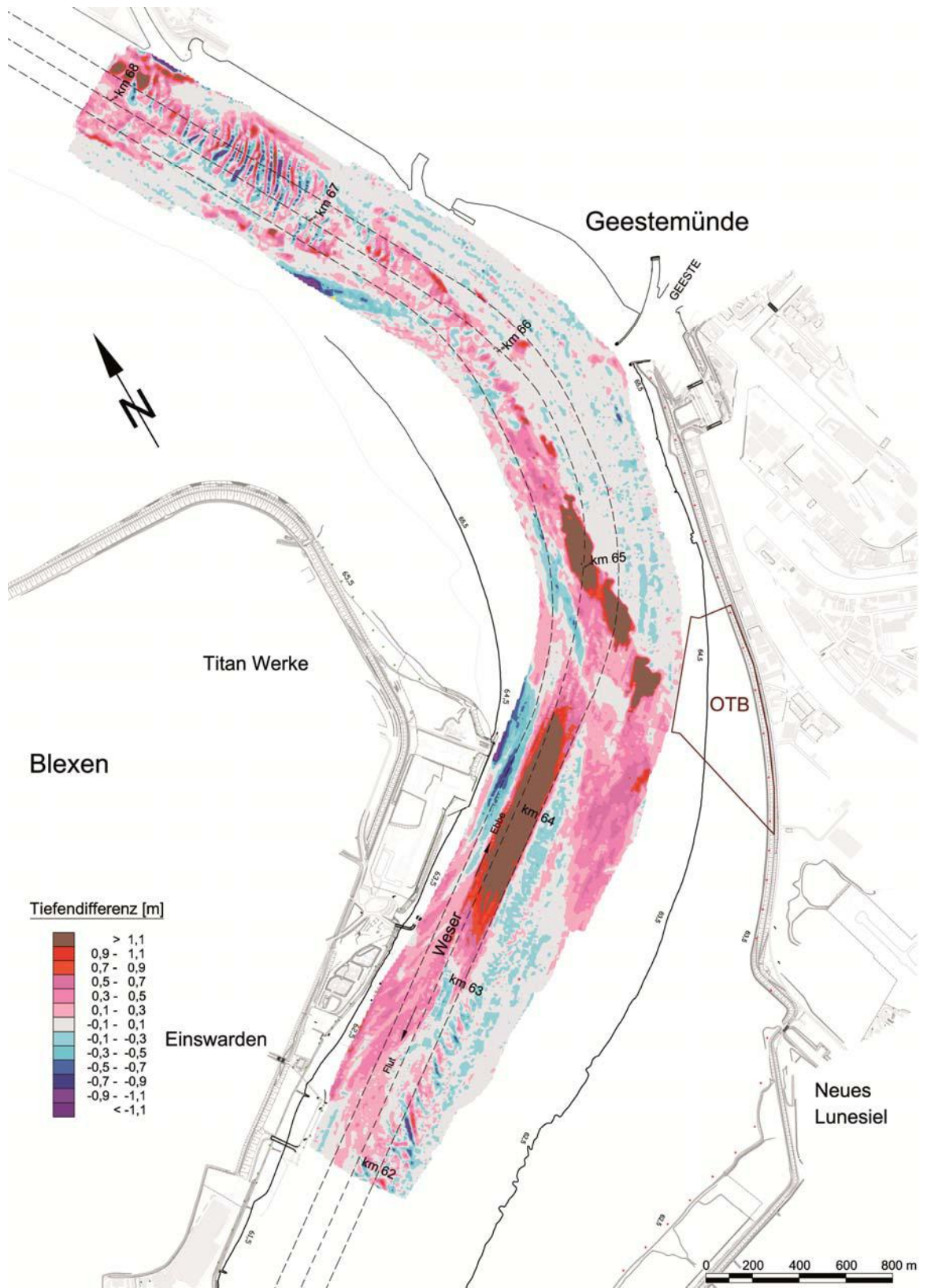


Abb. 22: Differenzplan August/September 2009 [17] und März 2010 [18]

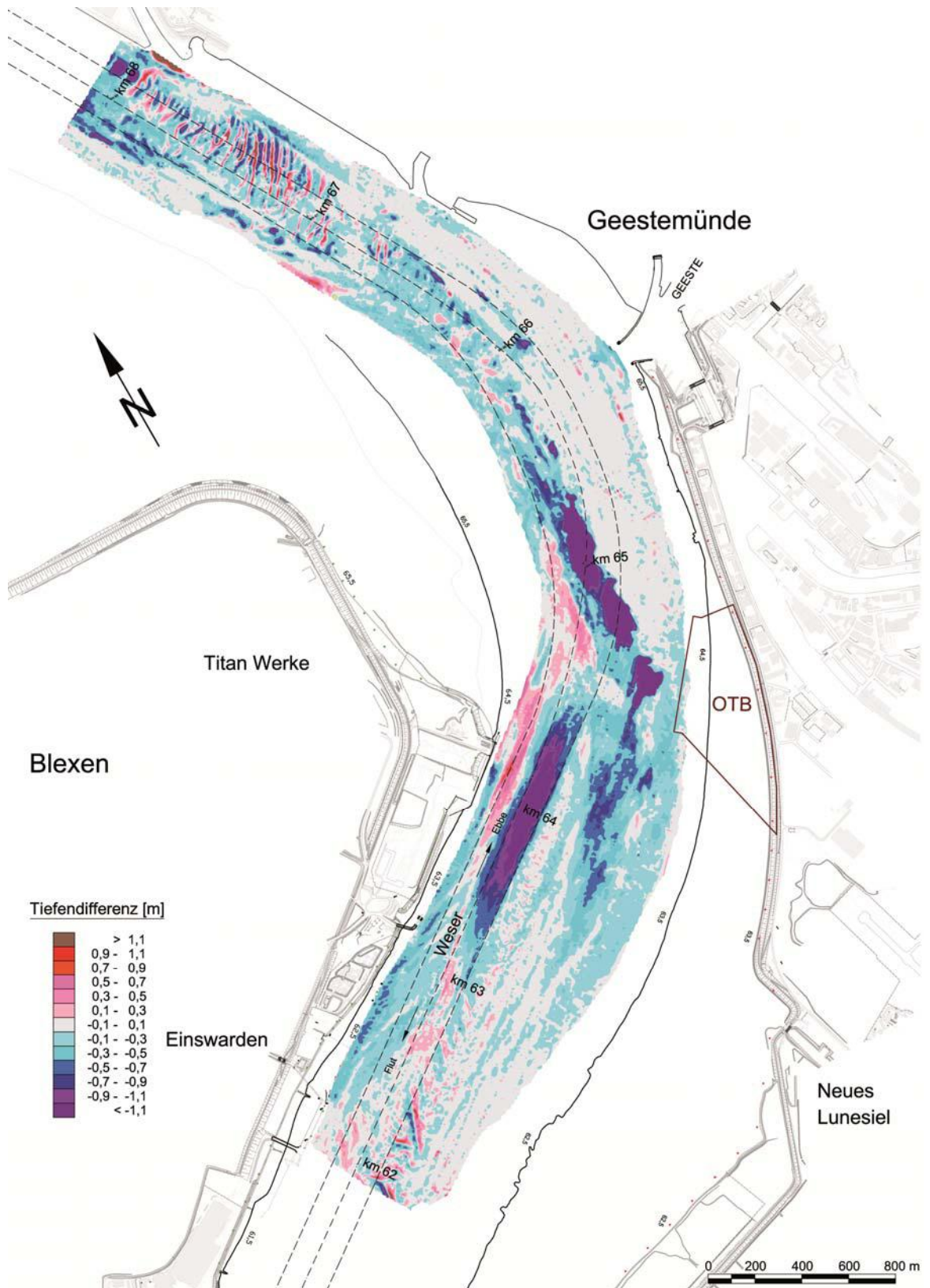


Abb. 23: Differenzplan März 2010 [18] und September/Oktober 2010 [19]

ABB 24 A3

Der fehlende Übergang vom Blexer Bogen zu Weser-km 62 führt zu den hohen Sedimentationen im Fahrwasser. Im Jahre 2000 waren bei der Juli- und Oktoberpeilung zwischen km 62 und 65 kaum Mindertiefen zu verzeichnen. Etwas erhöhte Binnenabflüsse (vgl. Abb.2) im Winterhalbjahr 2000/2001 hatten bis zum März 2001 wieder einen mit der ersten Peilung von 1998 vergleichbaren Zustand verursacht. Bei den folgenden Peilungen (September 2001 bis Februar 2004) wurden oberhalb Strom-km 65 wieder Mindertiefen festgestellt. Sie waren bis zum September 2005 weitgehend ausgeräumt worden.

In feuchten Jahren und hohen Oberwasserspitzen stellen sich höhere Sedimentationen ein. Im Allgemeinen sind im oberen Untersuchungsabschnitt die geringeren Sohlentiefen bei den Peilungen im Winterhalbjahr festzustellen. Das war z. B. im März 2001 der Fall. So sind die in Abb. 24 aufgetragenen Peilungen vom Februar 2004, April 2006, März 2008 und März 2010 jeweils bei höheren Binnenabflüssen in Intschede und dem Durchgang von Hochwasserwellen durchgeführt worden.

Die höchsten mittleren Jahresabflüsse wurden in Intschede in den Jahren 1998, 2002 und 2007 gemessen (Abb.2). Im Jahr 2007 und bis zum März 2008 waren trotz verstärkter Unterhaltungsmaßnahmen starke Sedimentationen im Fahrwasser oberhalb Strom-km 65 hinzunehmen. Erst mit Baggerungen vor dem Oktober 2008 wurden die Sollwassertiefen wieder annähernd erreicht (Abb. 24).

Relativ günstige morphologische Verhältnisse sind 2009 zu verzeichnen. Das dokumentieren die Längsschnitte in Abb. 24. Hydrologisch zeichnet sich das Jahr durch unterdurchschnittliche Abflüsse sowie wenig, schwach ausgeprägte Hochwasserereignisse am Pegel Intschede aus (Abb. 2). Die getätigten Unterhaltungsbaggerungen waren ebenfalls relativ gering.

Es ist bemerkenswert, dass bei den Peilungen in trockenen Zeitabschnitten die Kolktiefe bei km 65 seit Sommer 2005 gleichbleibend -19 m NN beträgt (Abb. 24). Deutliche Auffüllungen bis zu -16 m sind nach Oberwasserereignissen mit Spitzenwerten von $Q_0 = 1000$ bis $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ zu verzeichnen. Das war in den Jahren 2006, 2008 und 2010 der Fall (Abb. 24 und 2).

Im unteren Bereich (etwa ab km 65) des Blexer Bogens folgt die Fahrrinnenachse mehr der Wesergeometrie im natürlich tieferen Wasser am rechten Prallufer. Die in Abb. 24 dargestellten Längsschnitte weisen unterhalb des Kolks bei Strom-km 65 sehr

stabile Verhältnisse bei überwiegend deutlichen Übertiefen aus. Auch am unteren Ende wurden 1998 bis 2000 und ab Oktober 2008 keine Mindertiefen gepeilt.

Im unteren Abschnitt ist in Abb. 24 deutlich die Tendenz zur Riffelbildung zu erkennen. Bei den Tideriffeln handelt es sich um äußerst stabile Formen, die während einer Tide nur unbedeutenden Umformungen unterworfen sind.

Die Größe und Fortbewegung der Tideriffel wird allein von den langfristigen Oberwasser- und tidebedingten Strömungsverhältnissen bestimmt. Je nach der vorherrschenden Strömungsrichtung sind die Großformen flut- oder ebbeorientiert. Sie bewegen sich durch Erosion auf der flacheren Luv- und Alluvion auf der steileren Leeseite langsam in der resultierenden Strömungsrichtung fort und bewirken dadurch einen echten Massentransport.

Die morphologischen Großformen werden deshalb auch Transportkörper genannt (FÜHRBÖTER, 1967). In einer eingehenden theoretischen Betrachtung kommt FÜHRBÖTER zu dem Ergebnis, dass in einem Riffelfeld der Ferntransport (Verfrachtung des Sohlenmaterials aus dem System heraus) zugunsten des Nahtransportes (innere Umlagerung der Transportkörper) vermindert wird. Der Geschiebeanteil, der das System verlässt, ist um Zehnerpotenzen geringer als bei glatter Sohle. Die Sedimente verbleiben praktisch im Transportkörpersystem.

Untersuchungen mit Luminophoren in einer Riffelstrecke der Unterweser bei Farge haben in Übereinstimmung mit der Theorie gezeigt, dass sich der Sohlenlängstransport durch örtliche Umlagerung des Geschiebes vollzieht (NASNER, 1977).

In der Unterweser bestimmt das Verhältnis der Oberwassermenge (Q_0) zur Tidewassermenge (T) die Höhe (H) und Fortschrittsgeschwindigkeit (u) der Riffel. Mit zunehmendem Oberwasser und damit größer werdender Ebbestromgeschwindigkeit und -dauer werden die Riffel kleiner und ihre Fortschrittsgeschwindigkeit in Ebbestromrichtung größer. Bei geringem Oberwasser und geringer Verlagerung bilden sich höhere Riffel aus, wobei einzelne Kämmen zu Mindertiefen führen können. Das war z. B. auch bei der Sommerpeilung 2009 der Fall (Abb. 24).

Nach Baggerungen bleiben die Tallagen der Tideriffel relativ stabil, die Kämmen der morphologischen Großformen wachsen bei entsprechenden hydrologischen Bedingungen wieder über die Solltiefe hinaus (NASNER, 1974 und 1975).

Es macht deshalb Sinn, Unterhaltungsarbeiten auf die in den Kambereichen aufgetretenen Mindertiefen zu konzentrieren. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen wurde dazu im November 1990 ein Pilotversuch in der Weser mit einer Wasserinjektionsbaggerung erfolgreich durchgeführt (NASNER, 1992). Seit 2003 werden die Riffelstrecken der Weser nicht mehr mit konventionellen Baggermethoden gleichmäßig vertieft und Sohlenmaterial aus dem System entfernt. Ökonomisch und ökologisch Verträglicher wird die Unterhaltung mit Wasserinjektionen durch Verlagerung des Sandes von den Kämmen in die Talbereiche getätigt (STENGEL, 2006).

Im Mündungsgebiet des Weserästuars ist der Geschiebetransport brackwasserbedingt bei mittlerem und niedrigem Oberwasser stromauf gerichtet. Den Dichteströmungen entsprechend bilden sich bei mittlerem Oberwasser flutstromorientierte Sohlformen vor der Stromkaje in Bremerhaven bei Weser-km 70 aus (NASNER, 1991).

Bei extremen Zuflüssen in die Tideweser von $Q_0 > 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Intschede führen die stärkeren Ebbeströmungen zu veränderten, ebbestromorientierten Sohlformen. Der von HENSEN (1955) definierte Gleichgewichtspunkt im Ästuarbereich (kein resultierender Geschiebetransport) wird durch das veränderliche Oberwasser stromab (hohes Q_0) bzw. stromauf (geringes Q_0) verschoben und ist deshalb keine feste Größe.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass das Fahrwasser der Weser im oberen Ausgangs- und Übergangsbereich starken Sedimentationen unterworfen ist. Der untere Abschnitt ab etwa Strom-km 65 weist stabile Verhältnisse auf und war nach Planunterlage [21] in den Jahren 2000 bis 2010 frei von Unterhaltungsbaggerungen.

4.3.2 Querprofil Strom-km 64

Mit den vorstehenden Betrachtungen von Längsprofilen der Fahrrinnenachse wurden die starken Sedimentationen bei Strom-km 64,0 aufgezeigt (Abb. 25) Die Querschnittsentwicklung der Weser bei km 64,0 ist von 1998 bis 2010 in Abb. 26 dargestellt.

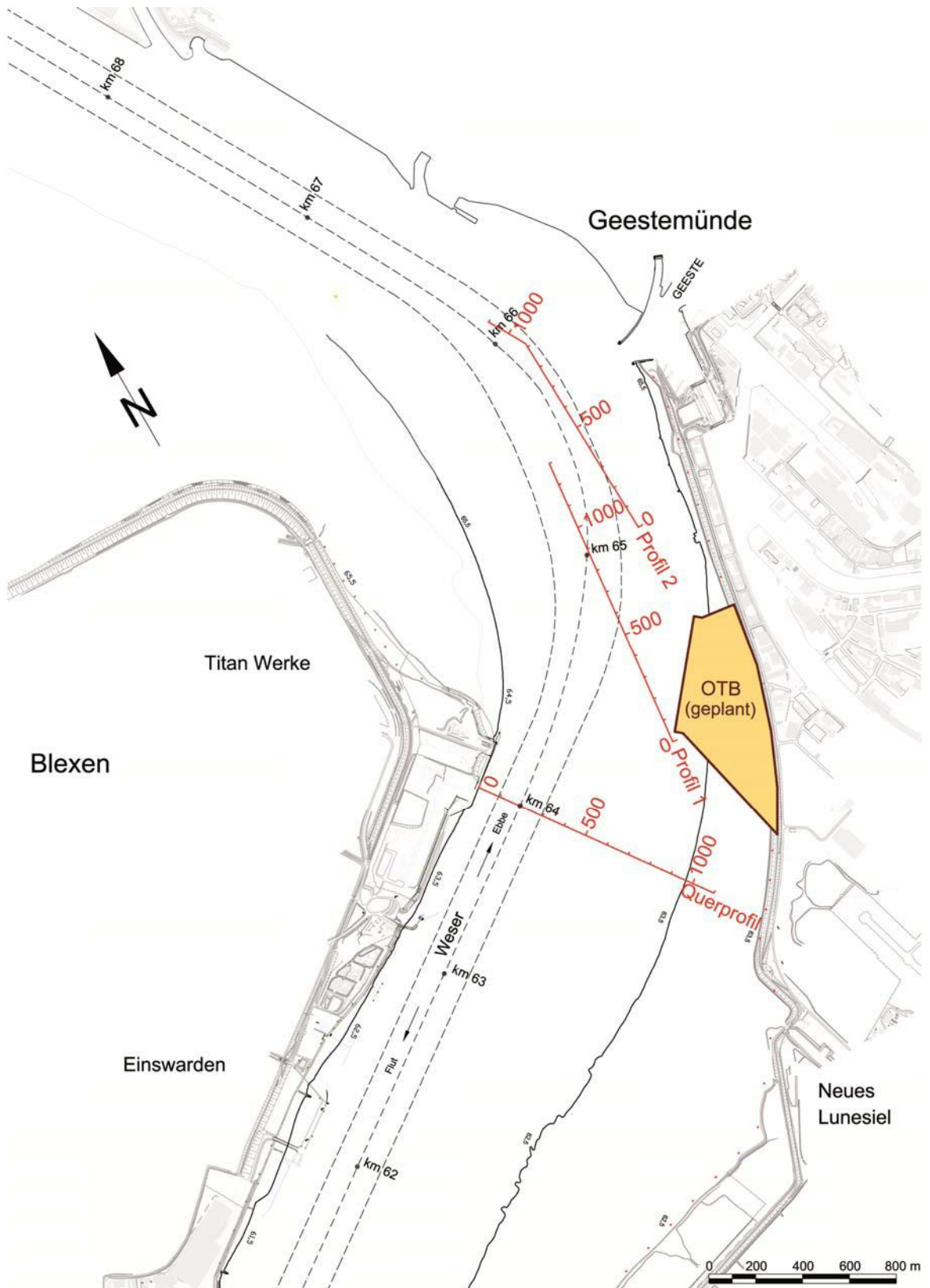


Abb. 25: Lageplan der Profile bei km 64,0, der Nordsüdrinne (Profil 1), sowie der Kolke im östlichen Fahrwasser (Profil 2)

ABB 26 (A3)

Vor den Peilungen im Juli und Oktober 2000 sind Baggerungen im Fahrwasser ausgeführt worden (Abb. 26). Die während der trockenen Jahreszeit geschaffenen Wassertiefen sedimentierten im Winter 2000/2001. Im März 2001 waren die Verhältnisse im Fahrwasserbereich wieder mit denen vom Juni 1998 vergleichbar (Abb. 26).

Vom März bis zum September 2001 wurden im rechten Fahrwasserbereich größere Tiefen erreicht. In dem feuchten, von mehreren Hochwasserspitzen geprägten Jahr 2002 (vgl. Abb. 2) war die Situation trotz erhöhtem Unterhaltungsaufwand nicht befriedigend (Abb. 26). Die höheren Binnenabflüsse und dadurch bedingten stärkeren Feststofffrachten bei dominierenden Ebbeströmungen haben im Blexer Bogen vor dem August 2002 die Sedimentationen von bis zu $q_s > 1$ m im rechten Querschnittsbereich verursacht (Station 450 bis 700, Abb 26).

Aufgrund der längeren Trockenperioden und schwächeren Oberwasserspitzen wurde im rechten Fahrinnenquerschnitt vor der Septemberpeilung 2005 die Solltiefe durch Baggerungen wieder hergestellt. Gleichzeitig hatten die Flutströmungen vor dem rechten Böschungsfuß bis Station 500 Vertiefungen bis zu $d \approx -13$ m NN geschaffen.

Im Winter 2005/2006 kam es aufgrund der veränderten hydrologischen Randbedingungen (vgl. Abb. 2) zur starken Sedimentation am Gleitufer (Abb. 26 links unten) von bis zu $q_s \approx 2,5$ m und im rechten Querschnittsbereich bei Station 500 erhöhte sich die Sohle auf -12 m NN mit $q_s \approx 1,0$ m (Abb. 26).

Im Sommer 2006 vor der Julipeilung wurden die morphologischen Verhältnisse im linken Querschnittsbereich anthropogen und rechts davon durch die erodierenden Strömungskräfte so gestaltet wie vor der Peilung vom September 2005.

Bei der Frühjahrspeilung 2007 waren im rechten Fahrinnenbereich wegen des erhöhten Oberwassers wieder erhebliche Sedimentationen bis zu mehreren Metern eingetreten. Interessant ist ein Vergleich mit der Flusssohle vor dem rechten Böschungsfuß. Auf etwa 200 m Breite betrug die Sohltiefe im März 2007 rd. -12 m NN. Sie hatte sich bis zur Augustpeilung noch etwas bis auf rd. $-12,5$ m NN vertieft, was auf das geringe Oberwasser zurückgeführt werden kann.

Trotz des hohen Unterhaltungsaufwands im Jahr 2007 war der Fahrwasserzustand im März 2007 und im März 2008 nahezu gleich. Die Situation ist auf die ungewöhnlich häufigen, hohen Zuflüsse aus dem Binnenland zurückzuführen (vgl. Abb. 2).

Erst nach dem März 2008 ließen es die veränderten hydraulischen Bedingungen zu, dass die Flussole im unteren Böschungsbereich des Gleithangs vor der Oktoberpeilung nachhaltiger vertieft werden konnte und mit verhältnismäßig geringem Unterhaltungsaufwand im rechten Fahrinnenbereich die Solltiefe auch bei den Peilungen von 2009 gehalten worden war. Gleichzeitig betrug die natürliche Sohltiefe vor dem rechten Böschungsfuß $d \approx -12,5$ m NN.

Das erhöhte Oberwasser in Intschede Anfang 2010 hat dann wieder rasch zu verstärkten Auflandungen geführt, wie es die Peilung vom März 2010 dokumentiert. Der Zustand vom Herbst 2010 nach einer Baggerung ist mit dem des Vorjahres vergleichbar (Abb. 26, unten). Es ist davon auszugehen, dass die günstigen Verhältnisse vom Oktober 2010 nach einem Hochwasser im Binnenland vom Januar 2011 bereits wieder der Vergangenheit angehörten.

Eine genauere Betrachtung der Querschnitte in Abb. 26 macht deutlich, dass die Lage des Fahrwassers im Weserquerschnitt bei Unterweser-km 64,0 nicht den natürlichen Vorgaben entspricht. Die größeren natürlichen Sohliefen sind demnach mehr im rechten Querschnittsbereich, dem auslaufenden Prallufer des Blexer Bogens, anzutreffen.

Trotz großer Anstrengungen ist es offenbar nicht möglich, in der bestehenden Fahrinne die gewünschte Solltiefe zu halten bzw. herzustellen. Mit einer Verlagerung des Fahrwassers im oberen Bereich des Blexer Bogens und dem anschließenden Übergang könnte die morphologische Situation oberhalb von Weser-km 65 sicher verbessert werden. Die ökonomischen und ökologischen Vorteile liegen auf der Hand. Weniger jährliche Unterhaltungsbaggerungen mit entsprechenden Kosteneinsparungen und geringere künstliche Eingriffe in den Sedimenthaushalt wären damit erreichbar.

4.3.3 Längsprofil 1 (Nordsüdrinne)

Bei der Diskussion der Peilpläne (Abb. 3 bis 21) war die oberhalb von Strom-km 66 ausflankende, in nordsüdlicher Richtung, bis zum südlichen Ende des geplanten OTB verlaufende Rinne, von Interesse. Die Entwicklung des in Abb. 25 dargestellten 1300 m langen Längsprofils wird im Folgenden mit Abb. 27 kurz erläutert.

Von 1998 bis 2001 waren die Längsschnitte annähernd gleich (Abb. 27, linke Seite). In dem feuchteren Jahr 2002 (vgl. Abb. 2) wurden im August geringere Sohliefen gepeilt.

ABB 27 (A3)

Ab September 2005 wurden in der späteren Jahreszeit bei geringem Oberwasser und dominierenden Flutströmungen die größeren Wassertiefen bei nahezu identischen Profilen ermittelt. Im ersten Teil (Station 0 bis 500 m) betrug die größte Tiefe $d \approx -18$ m NN und im folgenden Abschnitt (Station 500 bis 1000 m) wurden $d \approx -19$ m NN ermittelt.

Die beiden Profile von 2009 stimmen in Abb. 27 ebenfalls überein, weil im Winter 2008/2009 bis zur Februarpeilung ungewöhnlich niedrige Binnenabflüsse zu verzeichnen waren (vgl. Abb. 2).

Die Peilungen vom April 2006, März 2008 und März 2010 wurden zeitnah zu Hochwasserereignissen im Binnenland durchgeführt. Höhere Ebbwassermengen, stärkere Ebbeströmungen und größere Feststoffkonzentrationen in der Unterweser waren die Folge. Mit den Längsschnitten in Abb. 27 wird dokumentiert, wie das feine Material in der Nordsüdrinne sedimentiert. Die Unregelmäßigkeiten bei den Profilen vom April 2006 und den Peilungen von 2010 weisen darauf hin, dass es sich bei den Ablagerungen um sehr weiche Sedimente handelt.

4.3.4 Längsprofil 2

Die in Abb. 28 dargestellten Profile zwischen Weser-km 65 und 66 sind für den Zeitraum von 1998 bis 2010 sehr stabil. Seit 2005 liegen die größten Kolk-tiefen bei $d \approx -21$ m NN. Im unteren Kolk bei Station 900 (km 66) sind in den Wintermonaten 2007, 2008 und 2010 Ablagerungen bis zu einer Tiefe von $d \approx -20$ m NN in Abb. 28 auszumachen. Die höher gelegenen Bereiche bei den Stationen 350 und 500 von $d \approx -15$ m NN blieben von 1998 bis 2010 unverändert.

Grundsätzlich werden die vorstehenden Erläuterungen der Peilungen in Abschnitt 4.2 (Abb. 3 bis 23) bestätigt. Die vom Oberwasser der Weser veränderlichen Strömungs- und Sedimentationsbedingungen haben keinen Einfluss auf die natürlichen, großen Wassertiefen am Prallhang des Blexer Bogens zwischen Strom-km 65 und 67.

Die vorstehenden Ausführungen haben aufgezeigt, wie sich die Tiefenverhältnisse oberhalb von km 65,5 im auslaufenden Blexer Bogen und anschließenden Flussabschnitt verschlechtern.

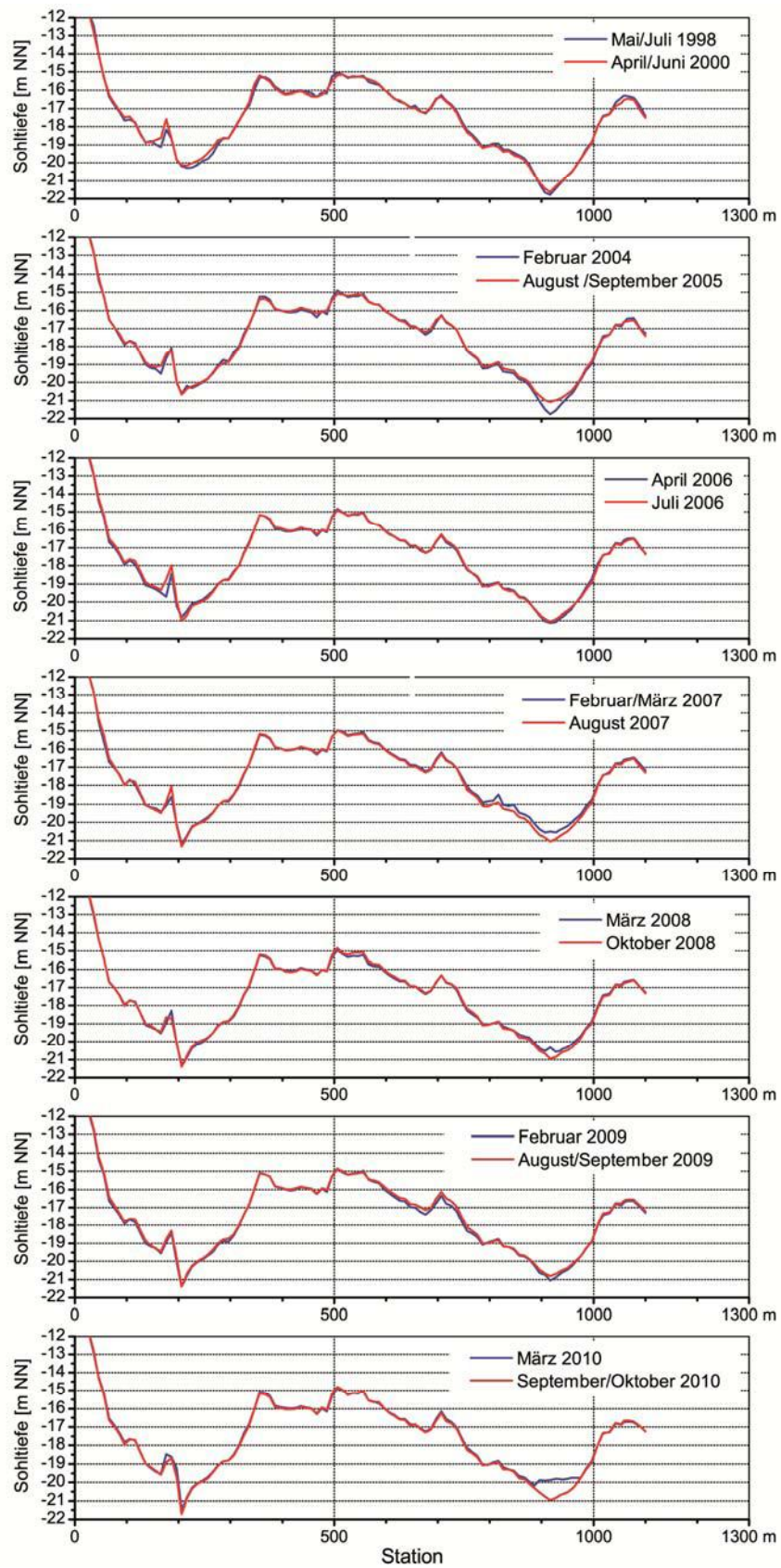


Abb. 28: Entwicklung im Längsprofil 2, vgl. Abb. 25

Mit der geplanten Baumaßnahme des OTB (vgl. Abb. 1) werden die bestehenden, von den hydrologischen Randbedingungen abhängigen, natürlichen morphologischen Vorgänge im Blexer Bogen nicht messbar beeinflusst werden.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde die morphologische Situation im Blexer Bogen untersucht. Mit der Analyse von Peilplänen war auch der Einfluss der im Jahresrhythmus wechselnden hydrologischen Randbedingungen auf das morphologische Geschehen zu ermitteln. Die Ergebnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst:

- Die Unterweser verläuft von der bei Strom-km 62 endenden Rechtskrümmung nach einem kurzen Übergang durch den entgegengesetzt verlaufenden Blexer Bogen (Abb. 1). Die morphologischen Verhältnisse sind für den Stromabschnitt von km 62 bis km 68 untersucht worden.
- Zwischen Nordenham und Einswarden (Strom-km 58 bis 62) sind die Tideströmungen mehr am linken (westlichen) Prallufer gebündelt und bewirken dort die größeren Wassertiefen. Von See kommend prägen die flutstromorientierten hydro- und morphodynamischen Vorgänge bis etwa Weser-km 65 die großen, sehr stabilen Sohliefen und Kolke am rechten (östlichen) Prallhang des Blexer Bogens. Das wird mit den Abbildungen in diesem Bericht für den gesamten Untersuchungszeitraum (Juni/Juli 1998 bis Oktober 2010) belegt. Auch in Planunterlage [21] sind für km 65 bis 68 für 1998 und von 2000 bis 2010 keine Unterhaltungsbaggerungen ausgewiesen.
- Starke morphologische Reaktionen auf die veränderlichen hydraulischen Randbedingungen sind oberhalb Weser-km 65,5 festzustellen.

Ausgehend von dem bei km 66 gelegenen Kolk bildet sich bei mittlerem und niedrigem Oberwasser durch die dominierenden Flutströmungen eine tiefere Rinne aus, die das Fahrwasser oberhalb Strom-km 65 quert und ab dem südlichen Ende des geplanten OTB zunehmend verflacht. Bei höheren und extremen Abflüssen aus dem Binnenland werden die Transportkapazitäten der Flutströmungen geschwächt. Die oberwasserbedingt verstärkten

Ebbeströmungen verursachen dann entsprechend starke Sedimentationen der Rinne.

- Im oberen Abschnitt des Blexer Bogens und dem Übergangsbereich zur Gegenkrümmung kommt es bei hohem Oberwasser zu besonders starken Sedimentationen des Fahrwassers. Zwischen den beiden tiefen Rinnen gibt es keinen Übergang. Die Fahrrinne verläuft von Oberstrom kommend bis in den Blexer Bogen geradlinig und ist dadurch nicht den natürlichen Gegebenheiten des Tidestroms angepasst. Trotz großer Anstrengungen ist es offenbar nicht möglich, in der Fahrrinne die gewünschte Solltiefe zu halten bzw. bei hohen Binnenabflüssen wieder herzustellen.
- Der geplante Bau des Offshore-Terminals Bremerhaven wird die morphodynamischen Gegebenheiten praktisch nicht beeinflussen.

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

Bremen, den 11.11.2011

6. Schrifttum

- FÜHRBÖTER, A.: Zur Mechanik der Strömungsriffel. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Technischen Hochschule Hannover, Heft 29, 1967.
- HENSEN, W.: Stromregelungen, Hafengebauten, Sturmfluten in der Elbe und ihr Einfluss auf den Tideablauf Festschrift zum XXX. Geographentag in Hamburg, 1955.
- HOCHSCHULE BREMEN
INSTITUT FÜR
WASSERBAU (IWA): Gutachten über die morphologischen Veränderungen in der Unterweser seit dem 9 m-Ausbau. Institut für Wasserbau der Hochschule Bremen, 2006. Im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.
- MÜLLER, H.: Anpassung der Unter- und Außenweser. Fakten zur "Rampe Blexer Bogen", 2003. Gewässerkundlicher Bericht 2003-3, Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven, unveröffentlicht.
- NASNER, H.: Über das Verhalten von Transportkörpern im Tidegebiet. Mitteilungen des Franzius-Instituts der Technischen Universität Hannover, Heft 40, 1974.
- NASNER, H.: Zur Frage der Baggerung von Riffeln in Tideflüssen. Naßbaggerberichte, Forschung und Technik. Vereinigung der Naßbaggerunternehmen (VDN) e.V. Hamburg, Heft 4, 1975.
- NASNER, H.: Transportmechanismus in Tideriffeln. Die Küste, Heft 31, 1977.

- NASNER, H.: Sedimentationsuntersuchungen vor der Stromkaje Bremerhaven Überseehafen. 1991. Unveröffentlicht.
- NASNER, H.: Injektionsbaggerung von Tideriffeln. Hansa, 129. Jahrgang, Nr. 2, 1992.
- STENGEL, T.: Water Injection Dredging in the Lower Weser. An ecological and economical Alternative to Hopper Dredging. Proceedings 31st PIANC Congress in Estoril, 14-18 May 2006, Portugal, 2006

Abbildungsverzeichnis

1.	Lageplan	2
2.	Oberwasser am Pegel Intschede [20], Baggerungen [21] und Fahrrinnenpeilungen [1] bis [19] 1998 bis 2010	5
3.	Peilungen vom Juni/Juli 1998 [1]	7
4.	Peilungen vom April (km 65,0 bis 68,0) und Juni 2000 (km 62,0 bis 65,0) [2]	8
5.	Peilung vom Juli 2000 [3]	9
6.	Peilung vom Oktober 2000 [4]	10
7.	Peilung vom März 2001 [5]	13
8.	Peilung vom September 2001 [6]	14
9.	Peilung vom August 2002 [7]	15
10.	Peilung vom Februar 2004 [8]	16
11.	Peilungen vom August (km 65,0 bis 68,0) und September 2005 (km 62,0 bis 65,0) [9]	18
12.	Peilung vom April 2006 [10]	19
13.	Peilungen vom Juli/August (km 65,0 bis 68,0) und Juli/November 2006 (km 62,0 bis 65,0 Randbereiche) [11]	20
14.	Peilungen vom Februar (km 62,0 bis 65,0 Blexen Reede) und März 2007 (Fahrrinne) [12]	21
15.	Peilung vom August 2007 [13]	22
16.	Peilung vom März 2008 [14]	24
17.	Peilung vom Oktober 2008 [15]	25
18.	Peilung vom Februar 2009 [16]	26
19.	Peilungen vom August/September 2009 [17]	27
20.	Peilung vom März 2010 [18]	28
21.	Peilungen vom September (Fahrrinne km 65,0 bis 68,0 und 62,0 bis 65,0 Randbereiche) und Oktober 2010 (km 65,0 bis 68,0 Randbereiche) [19]	29
22.	Differenzplan August/September 2009 [17] und März 2010 [18]	34
23.	Differenzplan März 2010 [18] und September/Oktober 2010 [19]	35
24.	Längsprofile der Fahrrinnenachse, vgl. Lageplan Abb. 1	36

25.	Lageplan der Profile bei km 64,0, der Nordsüdrinne (Profil 1), sowie der Kolke im östlichen Fahrwasser (Profil 2)	40
26.	Querschnittsentwicklung bei Strom-km 64,0 von 1998 bis 2010, vgl. Abb 25.....	41
27.	Entwicklung im Längsprofil 1 (Nordsüdrinne), vgl. Abb 25	44
28.	Entwicklung im Längsprofil 2, vgl. Abb 25	46