

ALLES IM FLUSS

DAS SYSTEM ELBE UND HAFEN

Einleitung und Historie

Die Elbe ist Lebensraum für zahlreiche Tiere und Pflanzen und zugleich ein vielfältig genutzter Kulturräum. Der von den Gezeiten beeinflusste Bereich der Elbe – die Tideelbe – ist zugleich die Lebensader der Metropolregion Hamburg und Bundeswasserstraße. Natürliche Randbedingungen und menschliches Handeln wirken auf den Fluss ein. Das vorliegende Leporello erläutert wesentliche Randbedingungen, Faktoren und Abhängigkeiten in diesem komplexen Gewässersystem. Die Tideelbe weist eine trichterförmig aufgeweitete Mündung auf, die durch einen dominierenden Gezeiteinfluss und

einen geringen Oberwasserzufluss gekennzeichnet ist. Solche Flussmündungen werden als Ästuar bezeichnet und verändern sich ständig. Das dynamische Geschehen im Mündungsgebiet beeinflusst dabei auch die sich räumlich und zeitlich verändernden Gewässerstrukturen in der gesamten Tideelbe. Im stark verzweigten Binnendelta des Elbeästuars zwischen Zollenspieker und Mühlenberger Loch wurde die Stadt Hamburg gegründet. Mit ihr entstand der Hafen. Im Laufe der Jahrhunderte wurde der Strom den vielfältigen menschlichen Nutzungen angepasst, die Dynamik des Ästuars durch Deichbaumaßnahmen

eingedämmt und das Fahrwasser vertieft. Das Wehr bei Geesthacht begrenzt heute den Tideinfluss. Die ausgebaute Fahrrinne ermöglicht großen Schiffen den nötigen Tiefgang, und Deiche schützen Siedlungsgebiete vor Hochwasser.

1. Tiefensprung

In der Tideelbe ist die Fahrrinne von der Mündung bis nach Hamburg für den Seeschiffsverkehr ausgebaut und in den letzten Jahrzehnten mehrfach vertieft und verbreitert worden. Der seeschiffstiefe Abschnitt der Tideelbe reicht bis zu den Elbbrücken von Norder- und Süderelbe. Stromauf der Elbbrücken ist die Tideelbe

nur noch so tief, wie die Binnenschiffahrt sie benötigt. Der Tiefenunterschied beträgt mehr als zehn Meter. Die Wassertiefe wird in den ausgebauten Bereichen über festgelegte Solltiefen definiert.

2. Laderaumsaugbagger

Gewässerbereiche, die Mindertiefen aufweisen, müssen mit Hilfe von Nassbaggergeräten unterhalten werden. Im Hamburger Hafen kommen hauptsächlich Laderaumsaugbagger, sogenannte Hopperbagger, zum Einsatz. Diese sind auf die Abschnitte der Tideelbe reichte bis zu den Elbbrücken von Norder- und Süderelbe. Stromauf der Elbbrücken ist die Tideelbe

3. Wind und Strömung

Meteorologische Einflüsse, wie starke und anhaltende Westwinde, können in der Elbe Sturmfluten zur Folge haben. Dies kommt vor allem im Winter vor. Anhaltende starke Ostwinde drücken hingegen

das Wasser aus der Elbe und begünstigen extreme Niedrigwasserstände. Die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse beeinflussen – neben dem Oberwasserzufluss – die Sedimentation und Erosion des Flussbetts und damit die Topographie der Elbe sowie deren Flora und Fauna. Die Veränderung der Topographie des Bodens wird in Bereichen von Gewässern auch Morphologie genannt. Durch veränderte hydrologische Randbedingungen besteht die Gefahr einer „Verstärkung des Flutstroms und einer Schwächung des Ebbestroms“ (Grafik A). Der Ebbestrom reicht heute im Verhältnis zum Flutstrom in bestimmten Bereichen nicht mehr aus, um die stromaufwärts Richtung Hamburg bewegten Sedimente zurück in die Mündung zur Nordsee zu transportieren. Der hieraus resultierende residuelle Stromauftransport von Sedimenten wird auch „tidal pumping“ genannt.

4. Riffelstrecken

Je nach Sohlsediment und hydrodynamischer Belastung herrschen unterschiedliche „morphodynamische Prozesse an der Gewässersohle“ (Grafik B). Diese können in Bereichen mit sandiger Sohle zur Bildung von Erhebungen und Tälern (Dünen und Riffeln) führen. In diesen hochdynamischen Bereichen, die häufig auch als Riffelstrecken bezeichnet werden, ist die Gewässersohle durch Tideströmung und Oberwasserabfluss kontinuierlichen Höhenveränderungen unterworfen.

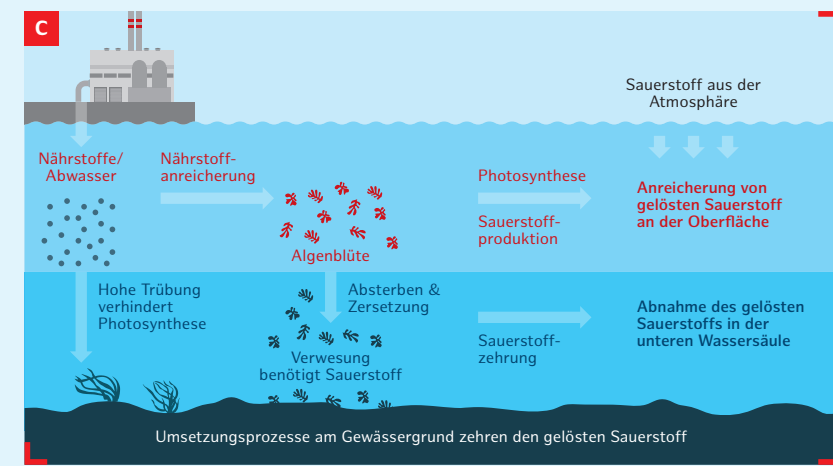
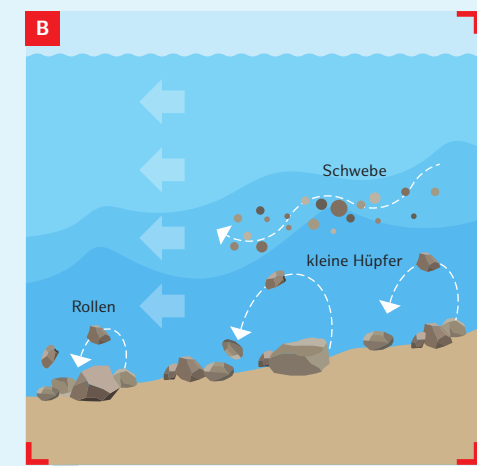
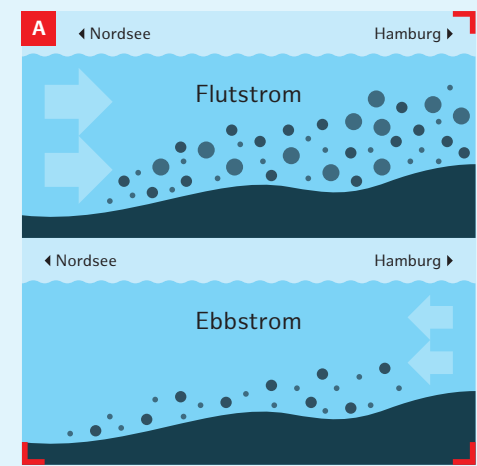
5. Landwirtschaft, Nähr- und Schadstoffe

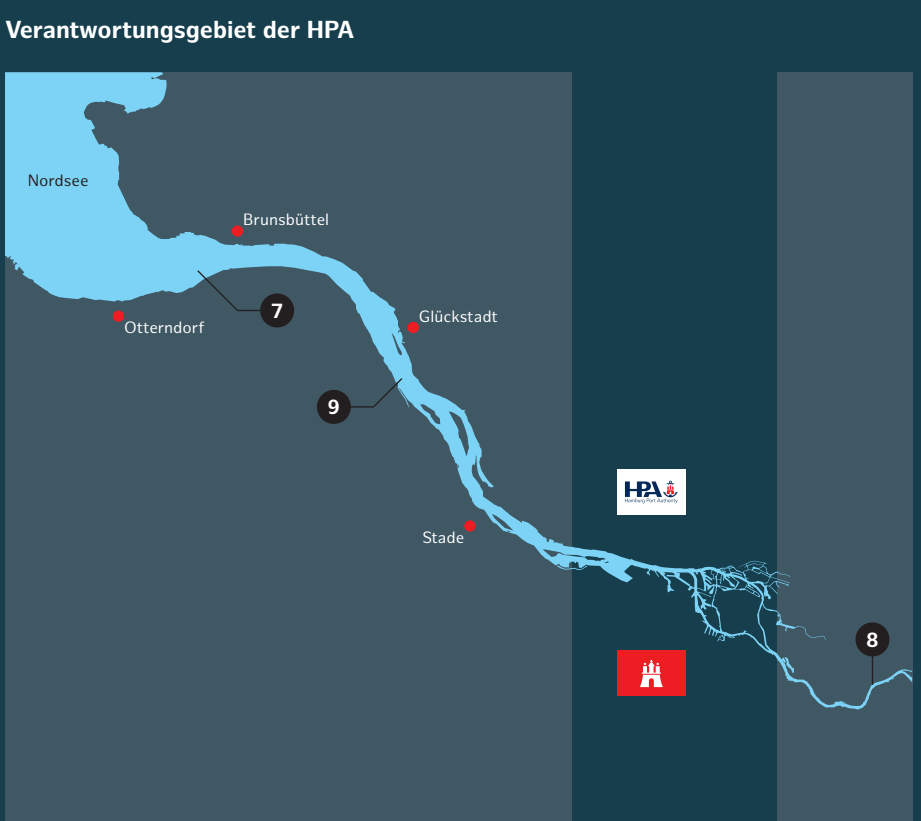
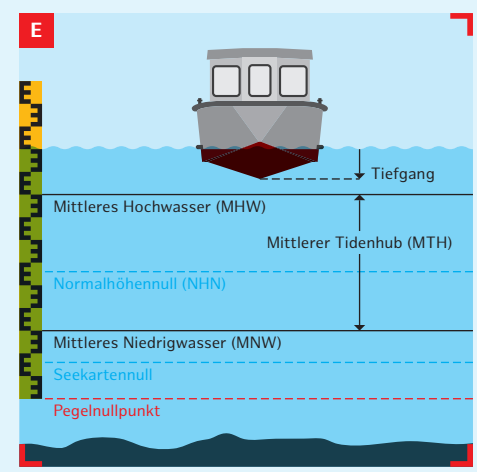
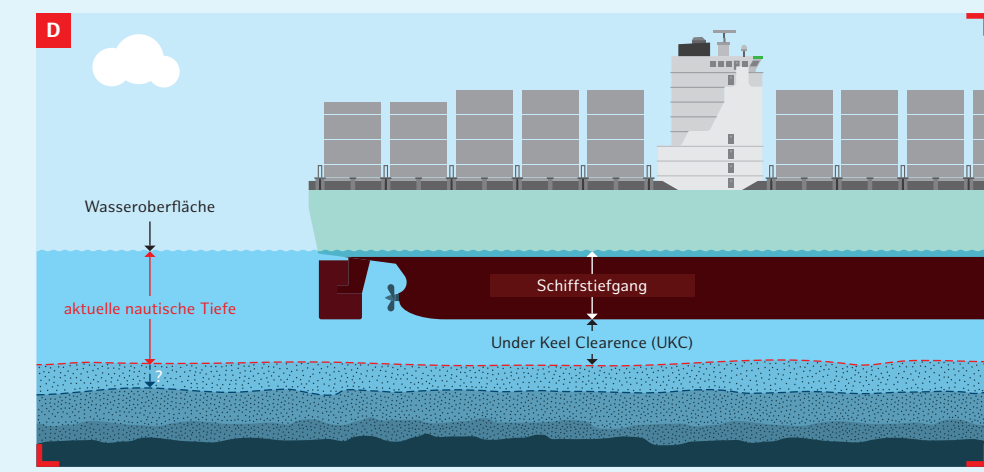
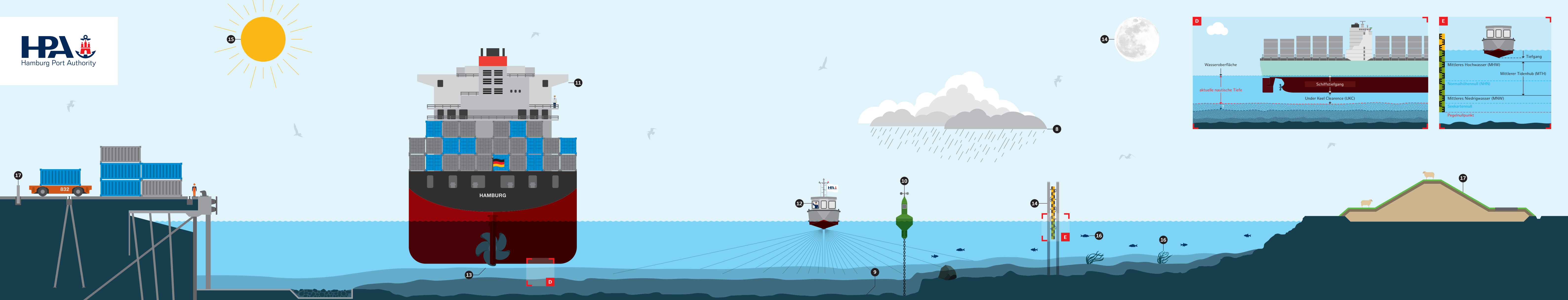
Aus der Landwirtschaft, aber auch aus einer Vielzahl von Kläranlagen des gesamten Elbeinzugsgebietes, gelangen Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor in die Elbe. Nährstoffe und Abwässer begünstigen das Wachstum von Algen und

beeinflussen somit den „Sauerstoffhaushalt von Gewässern“ (Grafik C). Sterben diese und andere Organismen und setzen sich ab, zehrt der folgende Zersetzungsprozess den Sauerstoff in tieferen Wasserschichten auf. Neben Nährstoffen transportiert die Elbe auch Schadstoffe aus dem gesamten Einzugsgebiet in Richtung Nordsee. Diese Belastungen haften überwiegend an sehr feinen Schwebstoffpartikeln. In strömungsberuhigten Bereichen, wie Bühnenfeldern oder Hafenbecken, setzen sich die Partikel ab und führen zu einer Belastung der Sedimente. Viele Belastungen stammen aus Bergbau, Industrie und Abwasserleitungen früherer Jahrzehnte. Starke Niederschlags- und Hochwasserereignisse im Oberlauf führen zu einem erhöhten Eintrag und stromabwärts gerichteten Weitertransport von Nähr- und Schadstoffen in der Elbe.

6. Deponie

Die Elbe bringt ständig Sedimente nach Hamburg. Damit die für den Schiffsverkehr erforderliche Wassertiefe eingehalten werden kann, müssen diese Sedimente laufend baggert werden. Der größte Teil des Baggerguts wird im Gewässer umgelagert. Ein deutlich kleinerer Teil – zumeist ältere Sedimente – weist Belastungswerte durch Schadstoffe auf, die eine Umlagerung im Gewässer nicht zulassen. Diese Sedimente werden an Land sicher auf Deponien entsorgt. Nur wenn jederzeit genügend Deponiekapazität für das belastete Baggertgut aus der Elbe zur Verfügung steht, sind der reibungslose Schiffsverkehr und der Betrieb des Hafens gesichert.





7. Salzverteilung und Trübungszone
Im Bereich der Tideelbe vermischt sich das flussbürtige Süßwasser mit dem salzigen Meerwasser der Nordsee. Dieser Bereich wird als Brackwasserzone bezeichnet. Die infolge des Dichteunterschiedes initiierte sogenannte barokline Zirkulation bewirkt die Bildung einer Trübungszone, in der sich Schwebstoffe (bestehend aus kleinen mineralischen Partikeln sowie lebendem und totem organischen Material) stark anreichern. Die örtliche Lage des Trübungsmaximums variiert ebenso wie die der Brackwassergrenze mit den Gezeiten und dem Oberwasserabfluss. In der Elbe befindet sich der Kern der Trübungszone bei mittleren Abflussverhältnissen etwa auf Höhe Glückstadt. Da die Trübungszone ein quasi unerschöpfliches Depot für den Nachschub an Schwebstoffen und Sedimenten darstellt, ist die Nähe der Trübungszone ein wesentlicher Faktor für die im Hamburger Hafen anfallenden Unterhaltungsabgammern. Dieser Zu-

sammenhang lässt sich während längerer Phasen geringen Oberwasserzuflusses beobachten.

8. Niederschlag und Oberwasser
Wie viel Oberwasser die Elbe herab fließt, hängt von der Niederschlagsmenge im gesamten 148.268 km² großen Einzugsgebiet der Elbe ab. Bei viel Niederschlag und damit hohem Oberwasserabfluss spült der Strom Schwebstoffe und Sedimente bis in die Nordsee. Ist der Oberwasserabfluss und damit die Spülkraft gering, verlagert sich die Trübungszone stromauf in Richtung Hamburg. Die Schwebstoffgehalte steigen im Hamburger Bereich an und es setzen sich in strömungsberuhigten Bereichen – wie den Hafenzufahrten und -becken – mehr Schwebstoffe ab.

9. Morphologie und Fahrrinne
Die Gewässersohle der Elbe zwischen Hamburg und Cuxhaven lässt sich in drei morphologisch unterschiedliche Bereiche einteilen: Einen rinnenförmigen Abschnitt zwischen Hamburg und der Störmündung, einen Übergangsbereich zwischen Stör- und Ostemündung und schließlich das trichterförmige Mündungsgebiet zwischen Oste und Cuxhaven. Die Fahrrinne ist derzeit zwischen Otterndorf und Lühe als „Sockel“ ausgebildet. Bei mittleren Tideverhältnissen können zur Zeit Schiffe mit einem Salzwassertiefgang bis 12,5 m das Fahrwasser tideunabhängig zu sehen sind. Weitere stationäre Leuchttfeuer und Seezeichen in Ufernähe werden zur optischen Kenntlichmachung von Hafenecken, Höftspitzen und Pfählen verwendet. Die Fahrwasserentwicklung wird im tideunabhängigen Verkehr ein Salzwassertiefgang von 13,5 m möglich sein. Tideabhängig ausgehend werden es 14,5 m sein.

10. Tonnen, Richtfeuer und Seezeichen
Tonnenförmige Schwimmkörper. Diese dienen als Seezeichen zur Orientierung für die Schifffahrt, als Markierung der seitlichen Fahrwassergeraden (Lateraltonnen) und zur Kenntlichmachung von Gefahrenstellen (Kardinaltonnen, Sperrtonnen). Stationäre Richtfeueranlagen in Ufernähe dienen zur optischen Kenntlichmachung des mittleren Fahrweges im Fluss: Hierzu sind sowohl ein Unter-, als auch ein Oberfeuer notwendig, die schiffsseitig in einer Linie hintereinander zu sehen sind. Weitere stationäre Leuchttfeuer und Seezeichen in Ufernähe werden zur optischen Kenntlichmachung von Hafenecken, Höftspitzen und Pfählen verwendet. Die Fahrwasserentwicklung wird im tideunabhängigen Verkehr ein Salzwassertiefgang von 13,5 m möglich sein. Tideabhängig ausgehend werden es 14,5 m sein.

11. Containerschiff
Den Hamburger Hafen laufen rund 8.000 Seeschiffe pro Jahr an (Stand 2017). Rund 45 % dieser Schiffe sind Containerschiffe. Einen weiteren großen Anteil haben Tank-

und Massengutschiffe (rund 33 %). Rund 1.000 Schiffe zählen zu den sogenannten außergewöhnlich großen Fahrzeugen (AGF) mit einer Länge von mehr als 330 m und/oder einer Breite über 45 m. Deren Anzahl nahm in den letzten Jahren kontinuierlich zu, während die Gesamtzahl der Schiffsanläufe rückläufig ist. Auch die Schiffstiefgänge haben mit den größeren verändernden Fahrzeugen zugenommen.

12. Peilschiff
Zur Freigabe von Wassertiefen für die Schifffahrt bedarf es einer kontinuierlichen hydrographischen Gewässervermessung. Diese Messung, die umgangssprachlich als Peilung bezeichnet wird, liefert dabei Daten zur Detektion von Minder- und Übertiefen, die durch Sedimentation und Erosion hervorgerufen werden. Ebenso können natürliche und künstliche Grundhindernisse geortet und visualisiert werden. Die Messdaten werden digital an Bord von Peilschiffen erhoben und umge-

hend zu digitalen Produkten weiterverarbeitet. Zur Gewässertiefenvermessung werden auf dem Peilschiff Hochleistungsecholotsysteme verwendet, die ein oder mehrere Schallsignale in das Gewässer aussenden, die an der Sohle reflektiert und vom Echolot wieder empfangen werden. Aus der Laufzeit zwischen Sendung und Empfang sowie dem Abstrahlwinkel des Schallsignals wird die Wassertiefe und die Position dieser Messung berechnet. Die Ergebnisse der Peilungen werden in Form von nautischen Karten und Diensten dargestellt.

13. Nautische Tiefe
Als „nautische Tiefe“ (Grafik D) wird derjenige Horizont definiert, von dem ab die physikalischen Eigenschaften des Bodens einen kritischen Grenzwert erreichen. jenseits dessen eine Grundberührung des Schiffskiels entweder Schäden am Schiff oder nicht tolerierbare Wirkungen auf die Steuerbarkeit und Manövrierfähigkeit eines Schiffes verursachen. Die nautische Tiefe, also die noch sicher für Schiffe maximal befahrbare Wassertiefe, wird mit Hilfe von Fächerecholoten festgestellt. Dabei bezieht sich die nautische Tiefe auf den obersten Reflexions-Horizont innerhalb der Wassersäule. Die maximal schiffbare Wassertiefe für ein Schiff setzt sich hierbei aus dem aktuellen Tiefgang des Schiffes sowie seiner Underkeel Clearance (UKC) zusammen. Diese ergibt sich aus dem dynamischen Verhalten eines Schiffes. So sinkt ein Schiff abhängig von seiner Geschwindigkeit unterschiedlich tief ins Wasser ein. Bei felsigen und sandigen Gewässersohlen ist die Bestimmung der nautischen Tiefe einfach und eindeutig. In Bereichen mit sehr weichen, schlackigen Bodensedimenten, wie im Hamburger Hafen, ist die Festlegung der nautischen Tiefe schwieriger. Sie muss hier nicht zwangsläufig durch den obersten Reflexions-Horizont definiert sein.

14. Gezeiten
Die Gezeiten – niederdeutsch Tiden – sind Wasserbewegungen der Ozeane und angrenzenden Meere, die im Wesentlichen durch die Gravitation des Mondes und der Sonne, sowie der Erdrotation verursacht werden. Durch die Bewegungen von Erde, Mond und Sonne entstehen unterschiedlich hohe Tidewellen, die sich über die Nordsee bis in die Elbe fortsetzen. So gibt es auch in der Tideelbe von der Mündung bis zum Wehr in Geesthacht Gezeiten, also ungefähr zweimal täglich Hoch- und Niedrigwasser. Die Veränderung der Wasserstände wird an Pegeln aufgezeichnet. Die aufgenommenen „Tidehoch- und Tideniedrigwasserstände beziehen sich auf unterschiedliche Höhensysteme“ (Grafik E) um z.B. einen schnellen Abgleich mit Seekarten und Peilplänen zu ermöglichen.

15. Sonne, Temperatur und Licht
Die Sonne ist nicht nur mitverantwortlich für die Gezeitenerzeugung, sondern sorgt auch für unterschiedliche Temperaturen und Lichteinfall. Im Sommer begünstigen höhere Temperaturen und Lichteinfall den Wuchs von Algen in der Elbe. Diese erzeu-

gen durch Photosynthese lebensnotwendigen Sauerstoff. Nach dem Absterben der Algen wird das organische Material durch Bakterien abgebaut. Dies führt zum Verbrauch von Sauerstoff. Übersteigt die Sauerstoffzehrung die Produktion, entsteht ein Sauerstoffloch. Höhere Wassertemperaturen verändern auch die Viskosität von Wasser. So ist das Wasser im Sommer „dünnflüssiger“ als im Winter. Schwebstoffteilchen können daher bei höheren Wassertemperaturen schneller absinken und die Sedimentationsraten sind im Sommer höher als im Winter.

16. Flora und Fauna
Flora und Fauna der Elbe sind vielfältigen natürlichen und nutzungsbedingten Einflüssen ausgesetzt. Nicht zuletzt bietet die Dynamik des Ästuars mit ihren wechselnden und z.T. extremen Bedingungen (z.B. alternierende Wasserstände, veränderlicher Salzgehalt, Erosion, Sedimentation) einer hoch spezialisierten Pflanzen- und Tierwelt Lebensraum. Einige sehr seltene Arten kommen nur hier vor. Das Ästuar mit seinen Wasser-, Watt- und Vordeichflächen, mit seinen Röhrichten und Auwäldern ist für viele Vögel, insbesondere Zugvögel, von internationaler Bedeutung.

17. Hochwasser- und Sturmflutschutz
Die natürliche Dynamik des Ästuars wurde seit der Besiedlung durch den Menschen mittels künstlicher Bauwerke wie Deiche und Sperrwerke mehr und mehr behindert. Natürlicherweise wäre beispielsweise die Marsch durch Sedimentation auf der gesamten Breite des Elbtals mit dem steigenden Meeresspiegel mitgewachsen. Durch den Bau von Deichen wurde jedoch das Hinterland von der Sedimentation abgekoppelt. Dieses liegt heute in weiten Teilen tiefer als das Tidehochwasser und muss aufwändig entwässert werden. Darüber hinaus steht zwischen den Deichen weniger Flutraum zur Verfügung, in dem sich bei Sturmfluten die Wassermengen ausbreiten und ihre Energie verlieren können. Sturmfluten laufen somit höher auf und natürlicher Sedimentationsraum ging verloren.