



Anhang 2 zur Anlage 22.5

Stand: 03.06.2016

**Feste Fehmarnbeltquerung  
Planfeststellung**

**Anhang 2 zum  
Schallschutzkonzept  
zum Unterwasserlärm**

**Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage der  
Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016**

S. 1-67

**Grundlage der Entscheidung**

vom 31.01.2019

Az.: APV-622.228-16.1-1

Dieser Plan ist Bestandteil der vorbezeichneten Entscheidung. Für die Angabe der Rechtsgrundlage und deren Fundstelle wird auf die Entscheidung **verwiesen**.

Kiel, den 31.01.2019

Amt für Planfeststellung Verkehr  
-Planfeststellungsbehörde-

gez. Dörte Hansen

# Feste Fehmarnbeltquerung Planfeststellung

## Anhang 2 zum Schallschutzkonzept zum Unterwasserlärm

Diese Unterlage ist eine vollständig neue Anlage  
der Planfeststellungsunterlagen, 03.06.2016

Aufgestellt:

**Femern**  
*Sund ≅ Bælt*

Landesbetrieb  
Straßenbau und Verkehr  
Schleswig-Holstein  
Niederlassung Lübeck



Kopenhagen, 03.06.2016  
Femern A/S

Lübeck, 03.06.2016  
LBV-SH Niederlassung Lübeck

gez. Claus Dynesen

gez. Torsten Conradt

Die alleinige Verantwortung für diese Veröffentlichung liegt beim Autor.  
Die Europäische Union haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



**Von der Europäischen Union kofinanziert**  
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Seite 2/67

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. MODELLIERUNG DER UNTERWASSERSCHALLIMMISSIONEN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. Pegelgrößen</b> .....	<b>6</b>
1.1.1. Hintergrund.....	6
1.1.2. (Energie-) Äquivalenter Dauerschallpegel Leq bzw. Schalldruckpegel SPL .....	6
1.1.3. Einzelereignispegel LE bzw. SEL .....	7
1.1.4. Spitzenpegel LPeak .....	8
<b>1.2. Durchführung der Modellierung der Unterwasserschallimmissionen</b> .....	<b>9</b>
1.2.1. Konkretisierung der Bauleistungen.....	10
1.2.2. Allgemeine Vorgehensweise bei der Schallmodellierung in der UVS.....	11
1.2.3. Eingangsparameter der Modellierung des Baggerschalls in der UVS.....	12
1.2.4. Konkretisierende Modellierung des Bauschalls unter Einbeziehung anderer Baggertypen und der Transportschiffe beim Aushub des Tunnelgrabens .....	13
1.2.5. Berechnung der Anzahl betroffener Schweinswale und Ermittlung des beeinträchtigten Anteils des Fehmarnbelts .....	15
1.2.6. Modellierung des Bauschalls bei Absenkung der Tunnelelemente und Wiederverfüllung des Tunnelgrabens .....	19
1.2.7. Betrachtung der Barrierewirkung durch die Baubereiche .....	20
1.2.8. Betrachtung einer möglichen Barrierewirkung durch Transportverkehr .....	21
1.2.9. Schallimmissionen durch Rammarbeiten an den Bauhäfen .....	23
<b>2. SCHALLMODELLIERUNG AUSGEWÄHLTER SZENARIEN BEIM BAU DES ABSENKTUNNELS</b> .....	<b>25</b>
<b>3. SCHWEINSWAL-DICHTEVERTEILUNGEN</b> .....	<b>50</b>
<b>4. LITERATUR</b> .....	<b>67</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Typisches gemessenes Zeitsignal des Unterwasserschalls (physikalische Messgröße Schalldruck) bei einem Rammschlag in einigen 100 Metern Entfernung. ....	9
Abbildung 1-2	Schallpegel von Laderaumsaugbaggern (Robinson et al. 2011). Die linke Grafik zeigt Schallpegel mehrere Aushubgeräte, die rechte Grafik die Schallpegel unterschiedlicher Betriebszustände. ....	13
Abbildung 1-3	Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen mit einem Schallexpositionspegel > 144 dB (Monat 15). (TSHD = Laderaumsaugbagger) ....	17
Abbildung 1-4	Maßstäbliche Darstellung des Beeinträchtigungsbereichs von zwei Transportbargen mit Schleppern (rote Punkte) im Vergleich zum Beeinträchtigungsbereich zweier Arbeitsbereiche ....	23
Abbildung 3-1	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 2. Monats. ....	50
Abbildung 3-2	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 3. und 4. Monats. ....	51
Abbildung 3-3	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 5. und 6. Monats. ....	52
Abbildung 3-4	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 9. Monats. ....	53
Abbildung 3-5	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 10. Monats. ....	54
Abbildung 3-6	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 11. Monats. ....	55
Abbildung 3-7	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 12. und 13. Monats. ....	56
Abbildung 3-8	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 15. Monats. ....	57
Abbildung 3-9	Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 16. und 17. Monats. ....	58
Abbildung 3-10	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 16. und 19. Monats. ....	59
Abbildung 3-11	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 24. und 25. Monats. ....	60
Abbildung 3-12	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 34. Monats. ....	61

Abbildung 3-13	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 38. Monats. ....	62
Abbildung 3-14	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 42. Monats. ....	63
Abbildung 3-15	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 46. Monats. ....	64
Abbildung 3-16	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 51. Monats. ....	65
Abbildung 3-17	Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 54. Monats. ....	66

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Übersicht der drei verschiedenen Schiffstypen, deren Quellpegel und die sich daraus ergebenden Schallradien (Küste, Ausbreitungskonstante 17,5). ....	15
Tabelle 1-2	Übersicht der Aktivitäten, Größe des Arbeitsbereiches, die Anzahl der Schiff und die damit verbundenen Schallradien. ....	16
Tabelle 1-3	Anzahl beeinträchtigter Schweinswale pro Wirkzone durch Bauarbeiten für den Tunnel. Die Angaben sind kumulativ, d.h. die Werte enthalten jeweils den kompletten Bereich innerhalb einer Isophone. ....	18
Tabelle 1-4	Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen unterschiedlicher Schallexpositionspegel (Monat 42). ....	20
Tabelle 1-5	Länge und Anteil des durch Schallimmissionen der Bauarbeiten beeinträchtigten Abschnitts des Fehmarnbelts (Linie Lolland-Fehmarn).....	21

## 1. Modellierung der Unterwasserschallimmissionen

Im vorliegenden Anhang 2 wird eine ausführlichere Erläuterung der Schallmodellierung sowie eine Einbeziehung bzw. gesonderte Darstellung des Transportverkehrs zwischen den Aushubarbeiten und den Landgewinnungsflächen dargelegt. Weiterhin werden alle Phasen beim Bau des Absenktunnels dazu betrachtet.

### 1.1. Pegelgrößen

#### 1.1.1. Hintergrund

In der Akustik wird die Intensität von Geräuschen in der Regel nicht direkt durch die Messgröße Schalldruck (oder Schallschnelle) beschrieben, sondern durch den aus der Nachrichtentechnik bekannten Pegel in dB (Dezibel). Allerdings gibt es verschiedene Schallpegelgrößen. Für die vorliegende Untersuchung sind folgende Pegelgrößen von Bedeutung:

- (Energie-) äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  (Mittelungspegel)
- Einzelereignispegel  $L_E$  (identisch mit dem engl. Sound Exposure Level –SEL)
- Spitzenpegel  $L_{Peak}$  bzw.  $L_{zero-to-Peak}$

Der  $L_{eq}$  und der  $L_E$  bzw. SEL können sowohl frequenzunabhängig angegeben werden, d. h. als breitbandige Einzahlwerte, als auch frequenz aufgelöst, z. B. in 1/3-Oktav-Bändern (Terzspektrum).

In der ISO TC 43/SC WG 3 wird derzeit für die Messung von Rammschall ein ISO-Standard entwickelt (DIS/ISO18406, 2015). In diesem Standard werden für die Beschreibung eines Rammschalls die o. g. akustischen Kenngrößen ebenfalls gelistet, zudem werden weitere Kenngrößen derzeit als mögliche weitere Parameter diskutiert. Die Definition von hydroakustischen Kenngrößen wird derzeit ebenfalls in einem ISO-Standard entwickelt (WD/ISO18405, 2014).

Im Folgenden werden die o. g. Pegelgrößen kurz beschrieben.

#### 1.1.2. (Energie-) Äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq}$ bzw. Schalldruckpegel SPL

Der  $L_{eq}$  ist die gebräuchlichste Messgröße in der Akustik und ist definiert als

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \text{ [dB re. } 1 \mu\text{Pa]}$$

mit

$p(t)$  - zeitlich varianter Schalldruck

$p_0$  - der Bezugsschalldruck (bei Unterwasserschall 1  $\mu\text{Pa}$ )  
 $T$  - die Mittelungszeit.

Im Zuge der internationalen Standardisierung (WD/ISO18405, 2015 und DIS/ISO18405, 2015) wird der  $L_{eq}$  durch den Schalldruckpegel SPL ersetzt.

### 1.1.3. Einzelereignispegel LE bzw. SEL

Zur Charakterisierung von Rammgeräuschen ist der  $L_{eq}$  allein kein ausreichendes Maß, da er nicht nur von der Stärke der Rammschläge abhängt, sondern auch von der Mittelungszeit und von den Pausen zwischen den Rammschlägen. Besser geeignet ist der Einzelereignispegel, der folgendermaßen definiert ist:

$$L_E = SEL = 10 \log \left( \frac{1}{T_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \text{ [dB re } 1\mu\text{Pa}^2\text{s]}$$

mit

$T_1$  und  $T_2$  - Anfangs- bzw. Endzeit der Mittelungen (sind so zu wählen, dass das Schallereignis zwischen  $T_1$  und  $T_2$  liegt,)

$T_0$  - Bezugswert 1 Sekunde

Der Einzelereignispegel eines Schallimpulses (Rammschlag) ist damit der Pegel ( $L_{eq}$ ) eines kontinuierlichen Schalls von 1 s Dauer und der gleichen Schallenergie wie der Impuls.

Der SEL bzw.  $L_E$  und der  $L_{eq}$  können ineinander umgerechnet werden:

$$SEL = 10 \log \left( 10^{L_{eq}/10} - 10^{L_{hg}/10} \right) - 10 \log \frac{nT_0}{T} \text{ [dB re } 1\mu\text{Pa}^2\text{s]}$$

mit

$n$  - Anzahl der Schallereignisse, also der Rammschläge, innerhalb der Zeit  $T$

$T_0$  - 1 s

$L_{hg}$  - Stör- bzw. Hintergrundpegel zwischen den einzelnen Rammschlägen

Die Gleichung liefert somit aus einer  $L_{eq}$ -Messung den mittleren Einzelereignispegel SEL bzw.  $L_E$  von  $n$  Schallereignissen (Rammschlägen). Im Falle, dass der Hintergrundpegel zwischen den Rammschlägen deutlich geringer als der Rammschall ist (z. B.  $> 10$  dB), kann mit hinreichender Genauigkeit mit einer Vereinfachung der Gleichung folgendermaßen gerechnet werden:

$$SEL \approx L_{eq} - 10 \log \frac{nT_0}{T} \text{ [dB re } 1\mu\text{Pa}^2\text{s]}$$

Im Entwurf des ISO-Standards (DIS/ISO18406) wird die Einheit des Einzelereignispegels mit dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$  definiert.

In der Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen (BSH, 2011) wird zur Evaluation eines kompletten Rammvorgangs bestehend aus mehreren tausend Rammschlägen die Angabe von Perzentilpegel gefordert.

#### 1.1.4. Spitzenpegel $L_{\text{Peak}}$

Diese Größe ist ein Maß für Schalldruckspitzen. Im Gegensatz zu  $L_{\text{eq}}$  und  $L_E$  bzw. SEL gibt es keine Mittelwertbildung:

$$L_{\text{Peak}} = 20 \log \left( \frac{|p_{\text{Peak}}|}{p_0} \right) \text{ [dB re 1 } \mu\text{Pa]}$$

mit  $p_{\text{Peak}}$  - maximal festgestellter positiver oder negativer Schalldruck

Ein Beispiel ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Der Spitzenpegel  $L_{\text{Peak}}$  bzw.  $L_{\text{zero-to-Peak}}$  ist stets höher als der Einzelereignispegel. In der Regel beträgt der Unterschied zwischen dem  $L_{\text{Peak}}$  und dem SEL bei Rammarbeiten 20 dB bis 25 dB. Oftmals wird auch der Peak-to-Peak Spitzenpegel  $L_{\text{Peak-to-Peak}}$  als Maß angegeben. Diese akustische Kenngröße bezeichnet den Druckunterschied zwischen dem „größten“ Unterdruck und dem „größten“ Überdruck (Abbildung 1-1). Allerdings hängt diese akustische Kenngröße stark von dem gewählten Zeitintervall zwischen Über- und Unterdruck ab. Derzeit gibt es keine standardisierte Zeitkonstante für die Berechnung des  $L_{\text{Peak-to-Peak}}$ . Bei einem kurzzeitigen Impuls kann der  $L_{\text{Peak-to-Peak}}$  maximal 6 dB höher als der Spitzenpegel  $L_{\text{zero-Peak}}$  ausfallen. In dem neuen Standard (DIS/ISO18406) wird der Parameter  $L_{\text{Peak-to-Peak}}$  nicht als mögliche akustische Beschreibungsgröße gelistet. Jedoch wird auf die Möglichkeit der Berechnung eines Spitzenpegel für den Über- und Unterdruck separat verwiesen.

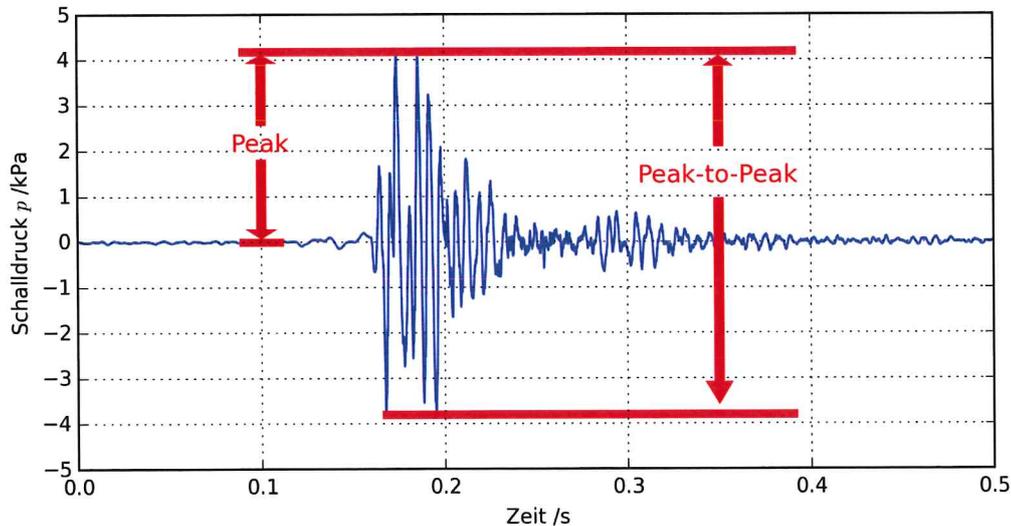


Abbildung 1-1 Typisches gemessenes Zeitsignal des Unterwasserschalls (physikalische Messgröße Schalldruck) bei einem Rammschlag in einigen 100 Metern Entfernung.

## 1.2. Durchführung der Modellierung der Unterwasserschallimmissionen

In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise bei der Schallmodellierung in der UVS noch einmal erläutert und es wird nachfolgend eine neue Modellierung vorgenommen, in der zum einen Schallpegel von Greif- und Schaufelbaggern und zum anderen die bei diesen Aushubgeräten benötigten Transportbargen und weitere Hilfsschiffe berücksichtigt werden. Weiterhin werden die Schallimmissionen der Arbeiten beim Absenken der Tunnelelemente und den weiteren Arbeiten modelliert. Mit den Daten der prognostizierten Schallpegel wird eine Neuberechnung der Anzahl Schweinswale vorgenommen, die den der UVS zugrundeliegenden Störradien ausgesetzt sind. In dem vorliegenden Bericht werden dabei die Schallimmissionen und die Anzahl betroffener Schweinswale dargestellt. Die Daten werden bei der anstehenden Überarbeitung des Artenschutzrechtlichen Fachbeitrags und der FFH-Verträglichkeitsprüfung für das Vorhaben Feste Fehmarnbeltquerung berücksichtigt.

Die Modellierung verdeutlicht, dass in der UVS für die Feste Fehmarnbeltquerung ein sehr vorsorglicher Ansatz zur Anwendung kam, da die Schallpegel der Greif- und Schaufelbagger auch bei Einbeziehung der Transportbargen noch deutlich unter denen der Laderaumsaugbagger liegen. Die Schallmodellierung in der UVS beschreibt dagegen ein Worst-Case-Szenario, da hier nur der Einsatz von Laderaumsaugbaggern angenommen wurde.

Die folgende Modellierung basiert auf einer gegenüber der UVS konkretisierten Bauleistik für die Tunnelherstellung.

Bei den dB-Angaben zu den Schallpegeln handelt es sich generell um RMS (root mean square), also energetisch gemittelte Schalldruckpegel. Bezugsgröße ist hierbei der RMS-Referenzschalldruck von 1  $\mu\text{Pa}$ . Bei Impulsschall durch z.B. Rammtätigkeiten wird der Schallereignispegel (SEL) bezogen auf 1  $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$  angegeben. Die Stärke der Unterwasserschallquellen SL (source level) gibt den in einer Entfernung von 1 m entstehenden Schalldruck in dB an. Dabei wird die abgestrahlte Schalleistung fiktiv im Mittelpunkt der Quelle angenommen.

### 1.2.1. Konkretisierung der Bauleistik

Gegenüber den Angaben in Anlage 27 und der Bauleistik gemäß UVS ergeben sich folgende Konkretisierungen:

- Die Herstellung des Tunnelgrabens und die folgenden Bauabläufe überlappen sich um 2 Monate.
- Die zeitliche Abfolge der einzelnen Bauabläufe wird in Halbmonatsschritten feiner aufgelöst.
- Die Anzahl der gleichzeitig eingesetzten Arbeitsgeräte wird reduziert.
- Die Arbeitsbereiche des Laderaumsaugbaggers werden von denen anderer Baggertypen getrennt.
- Die Arbeitsbereiche für die Baggerarbeiten in der T-Route erhalten eine Länge von 648 m, außerhalb der T-Route eine Länge von 2.315 m.
- Die Arbeitsbereiche für den Absenkvorgang sowie vor- und nachbereitende Arbeiten in der T-Route erhalten eine Länge von 648 m, außerhalb der T-Route eine Länge von 1.100 m.

Die Arbeiten für die Errichtung des Tunnels werden wie folgt spezifiziert:

#### 1. Aushub des Tunnelgrabens

Die Baggerarbeiten folgen weiterhin der Beschreibung der Planfeststellungsunterlagen:

- Im Küstenbereich erfolgt der Aushub mit zwei Schaufelbaggern. Die Entfernung zwischen den beiden Baggern wird 100 – 1000 m betragen. Das Baggergut wird auf Schuten verladen und mithilfe von Schleppern abtransportiert.
- In tieferem Wasser erfolgt der Aushub mit 5 Greifbaggern, die bei der Arbeit verankert werden. Die Greifbagger verteilen sich über die Arbeitsbereiche. Das Baggergut wird auf Schuten verladen und mithilfe von Schleppern abtransportiert.
- Der harte Oberboden des Meeresbodens wird von einem Laderaumsaugbagger aufgebrochen, bevor er von den 5 Greifbaggern wie beschrieben aufgenommen wird. Der Laderaumsaugbagger wird außerhalb der markierten Arbeitsbereiche tätig sein.

Für die Schallmodellierung wird angenommen, dass der Laderaumsaugbagger in den Bereichen aktiv ist, in denen im folgenden Zeitschritt die 5 Greifbagger tätig werden.

## 2. Absenkvorgang

Die Absenkung der Tunnelelemente sowie die vor- und nachbereitenden Arbeiten erfolgen in zwei Arbeitsbereichen, jedoch immer nur in einem Bereich zeitgleich. Begonnen wird auf der dänischen Seite des Fehmarnbelts und nach 7 Monaten wird auch auf der deutschen Seite gearbeitet. Die Absenkvorgänge beinhalten folgende Aktivitäten:

- Reinigung des Tunnelgrabens durch einen Laderaumsaugbagger. Die Aktivität dauert etwa zwei Tage je Tunnelelement (zwei Tage pro Woche).
- Erstellung eines Kiesbetts mit einem großen Multifunktionsponton. Der Ponton wird von zwei Schleppern zum Tunnelgraben gezogen und mit Ankern positioniert. Der Ponton erhält ausreichend Kies für ein Tunnelelement. Der Kies wird auf dem Ponton mechanisch in ein Fallrohr gefüllt und in dem Tunnelgraben verbracht. Die Dauer der Aktivität beträgt 5 Tage je Tunnelelement (5 Tage pro Woche).
- Absenkvorgang: Jedes Tunnelelement wird mit 4 Schleppern zum Arbeitsbereich geschleppt. Der Absenkvorgang erfolgt dort mit dem Absenkponton. In dieser Zeit sind die Schlepper auf Standby. Die Dauer des Vorgangs beträgt zwei Tage (zwei Tage pro Woche).
- Die Verfüllung des Tunnelgrabens erfolgt mit einem Laderaumsaugbagger und einem Ponton. Die Dauer der Aktivität beträgt 5 Tage je Tunnelelement. Es wird derselbe Laderaumsaugbagger wie bei der Reinigung des Tunnelgrabens eingesetzt, so dass diese Aktivitäten nicht zeitgleich erfolgen können.
- Steinschüttung: Steine werden von einem Ponton gekippt oder mit einem Greifbagger verbracht. Die dafür notwendige Schute oder der Bagger werden mit zwei Schleppern zum Standort gebracht und dort verankert. Die Dauer der Aktivität ist 7 Tage je Tunnelelement.

Es wird davon ausgegangen, dass die Arbeiten zur Herstellung des Absenktunnels in 300 m breiten Arbeitsbereichen durchgeführt werden. Die nachfolgende Berechnung der Ausdehnung der Schallkonturen geht davon aus, dass sich alle Arbeitsschiffe in diesem Bereich aufhalten. Diese Annahme wird nicht in allen Phasen der Errichtung des Tunnels zutreffen, da sich Schiffe zwischen Arbeitsbereichen bzw. zwischen den Arbeitsbereichen und den Bauhäfen oder den Landgewinnungsflächen bewegen. Da hierdurch jedoch keine zusätzlichen Lärmquellen im Fehmarnbelt auftreten, die Schiffe außerhalb der Arbeitsbereiche teilweise in Warteposition, also inaktiv sein werden, ist es die Betrachtung der Schiffe im Bereich des Tunnels die vorsorglichere Annahme.

### 1.2.2. Allgemeine Vorgehensweise bei der Schallmodellierung in der UVS

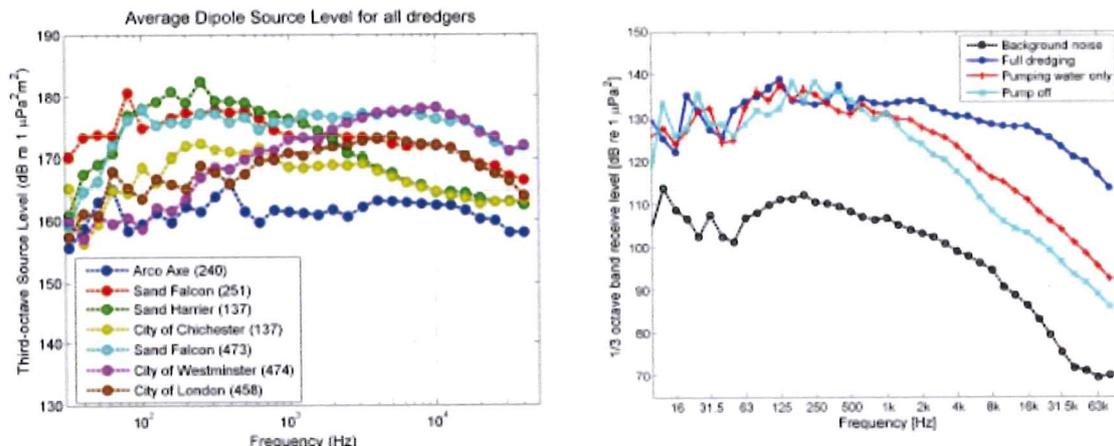
Bei der Bewertung der Schallimmissionen in der UVS wurde die normale Hintergrundbelastung berücksichtigt, die vor allem durch Schiffslärm geprägt wird und im

Fehmarnbelt in vielen Bereichen 130 dB übersteigt (Anlage 15, Bd. II B, S. 628 ff.). Die Modellierung der Schallausbreitung basiert wesentlich auf eigenen Messungen der Ausbreitung von Schiffslärm im Fehmarnbelt, für die Schallmessungen mit AIS-Daten unterschiedlicher Schiffe im Fehmarnbelt abgeglichen wurden (Anhang 15, Bd. II B, S. 631). Die Modellierung basiert auf der im Fehmarnbelt gemessenen Ausbreitungsdämpfung und berücksichtigt die relevanten Einflussfaktoren wie Wassertiefe und Sedimenttyp. Eine Beschreibung der Schallmodellierung enthält Anlage 15, Anhang B, Methodik, S. 930 ff.

### **1.2.3. Eingangsparemeter der Modellierung des Baggerschalls in der UVS**

Der in den Planfeststellungsunterlagen dargestellte Bauablaufplan „Grabenherstellung“ (Anlage 27.2, Blatt 3) für den Aushub des Tunnelgrabens sieht den Einsatz drei verschiedener Baggerschiffe vor: Greifbagger, Schaufelbagger und Laderaumsaugbagger sowie Schlepper und Pontons. Laderaumsaugbagger sind die lautesten der drei genannten Aushubgeräte. Die Schallimmissionen von Laderaumsaugbaggern weisen hohe Unterschiede hinsichtlich des Typs des Aushubgerätes und dessen Leistung sowie des Betriebszustands auf (Robinson et al. 2011, Reine et al. 2014a).

Der Quellpegel (Source Level, SL) für einen Laderaumsaugbagger wurde in der UVS mit 184 dB re 1µPa modelliert (Evans 1996). Der Vergleich mit weiteren Messungen (s. Thomsen et al. 2009, Robinson et al. 2011, Reine et al. 2014) zeigt, dass ein Quellpegel von 184 dB ein relativ hoher Wert ist, der dem lautesten Betriebszustand eines Baggers mit hohen Schallimmissionen entspricht. Die folgende Abbildung aus Robinson et al. (2011) verdeutlicht, dass zwischen einzelnen Laderaumsaugbaggern ein Unterschied der Schallimmissionen von über 20 dB bestehen kann. Weiterhin werden Unterschiede in den Schallimmissionen bei unterschiedlichen Betriebszuständen (Ausheben, Pumpen) deutlich.



**Abbildung 1-2 Schallpegel von Laderaumsaugbaggern (Robinson et al. 2011). Die linke Grafik zeigt Schallpegel mehrerer Aushubgeräte, die rechte Grafik die Schallpegel unterschiedlicher Betriebszustände.**

Bei der Schallmodellierung, die der UVS zugrunde liegt, wurde der Quellpegel von 184 dB auf alle Aushubgeräte angewendet. Dabei ist zu beachten, dass für die Aushubarbeiten gemäß Bauzeitenplan nur ein Laderaumsaugbagger eingesetzt werden soll. Bei den anderen Aushubgeräten handelt es sich um 5 Schaufelbagger sowie um 2 Greifbagger. Die Quellpegel dieser Baggertypen liegen nach neueren Messungen deutlich niedriger als die der Laderaumsaugbagger (Reine et al. 2012, Reine et al. 2014b) und werden jetzt in der hier vorgelegten Modellierung berücksichtigt. Durch Verwendung des lautesten Baggertyps für alle an den Arbeiten beteiligten Bagger und durch Zugrundelegung des lautesten Betriebszustands wurde in den Planfeststellungsunterlagen eine insgesamt sehr vorsorgliche Schallmodellierung mit dem lautestmöglichen Szenario erstellt.

Bauschiffe mit einem Quellpegel von 175 dB wurden in der UVS nicht modelliert, da der Beitrag dieser zusätzlichen Schallquellen von anderen Schallquellen wie dem Laderaumsaugbagger überdeckt wird und daher unbedeutend ist. In den folgenden Abschnitten wird verdeutlicht, dass dies eine realistische Vorgehensweise ist.

#### 1.2.4. Konkretisierende Modellierung des Bauschalls unter Einbeziehung anderer Baggertypen und der Transportschiffe beim Aushub des Tunnelgrabens

In den folgenden Seiten wird eine Reihe von Schallmodellierungen für einzelne Abschnitte beim Aushub des Tunnelgrabens gezeigt. Diese Modellierung beruht auf dem Bauzeitenplan gemäß Anlage 27. Die Arbeitsabschnitte wurden darin gegenüber der in der bisherigen Schallmodellierung verwendeten Version vom 31.3.2010 geringfügig verändert, insbesondere wurden die Arbeitsabschnitte in der Mitte des Fehmarnbelts verkleinert.

Diese Modellierung differenziert anhand neuerer Veröffentlichungen die Schallpegel zwischen den verschiedenen Baggertypen.

Für die im Bauzeitenplan nicht im Detail aufgeführten Fahrten der Transportschuten wird eine gesonderte Betrachtung vorgenommen und die Frage geprüft, ob durch den Transportverkehr eine Barriere für Schweinswale entstehen kann.

Die Modellierung folgt der Beschreibung der Schallmodellierung, wie sie in der UVS angewendet wurde (s. Anlage 15, Anhang B, Methodik, S. 930 ff.).

Bei der Modellierung wird davon ausgegangen, dass die Bagger 24/7 arbeiten und es wird der lauteste Betriebszustand zugrunde gelegt, wobei etwa 100 Std. pro Woche als eigentliche Arbeitszeit anzusetzen sind, der Rest wird für die Wartung der Schiffe und des Arbeitsgeräts sowie für Wartezeiten verwendet. Die Beladung eines Transportschiffs dauert etwa eine Stunde, so dass für jeden Bagger etwa 100 Transportfahrten pro Woche veranschlagt werden. Alle Transportfahrten werden in einem festgelegten Korridor östlich des Tunnelgrabens erfolgen. Querungen der Fährroute nach Westen erfolgen kurz vor Rødby.

Als Quellpegel für den Laderaumsaugbagger wird wie in der bisherigen Modellierung ein Pegel von 184 dB angesetzt. Für den Laderaumsaugbagger werden keine Transportbargen benötigt, da der Transport des Aushubs durch den Laderaumsaugbagger selbst erfolgt.

Für die Bemessung eines mittleren Quellpegels für Greif- und Schaufelbagger werden die Einzelpegel der jeweiligen Betriebszustände (Reine et al. 2014b) zeitlich gemäß ihrer Dauer gewichtet. Weiterhin werden die Immissionen der zu beladenen Transportbargen einbezogen.

Beurteilungszeitraum: 1 Stunde. Maschine/Generator permanent an: 167 dB  
60 Schaufeln (grabs) / Stunde entspricht bei  $10 \text{ m}^3$  Schaufelvolumen auch der Beladung einer Barge mit  $600 \text{ m}^3$  pro Stunde.

Dauer des Geräusches beim Bodenkontakt der Schaufel (bottom grab) wie auch das Entleeren der Schaufel in die Barge (barge loading): ca. 4 s, also 4 Minuten / Stunde.

Quellpegel bottom grab: 179,4 dB, barge loading 166,2 dB.

Pegel für den Schlepper, der die Barge zieht, 174 dB (Richardson et al. 1995, Ward 2012).

Dauer: 10 Minuten pro Stunde in der Zelle mit dem Bagger.

Daraus ergibt sich nach DIN 45645-1, Formel 4, ein Beurteilungspegel von 172 dB pro Bagger einschließlich Transportbarge.

Die insgesamt von den 8 Aushubgeräten abgestrahlte Schalleistung reduziert sich somit von ursprünglich für die Schallmodellierung angenommenen 193 dB (8 Saugbagger) auf 186,3 dB (1 Saugbagger, 2 Schaufelbagger, 5 Greifbagger) um mehr als 6 dB.

Durch die Reduktion der insgesamt abgestrahlten Schalleistung ergeben sich kleinere Radien für die Wirkzonen mit Schalldruckpegeln über 144 dB bzw. 150 dB. Aus den Messungen vor Ort wurde eine maximale Ausbreitungsdämpfung von  $22 \cdot \log_{10}$  (Abstand von der Quelle / 1 m) ermittelt. Diese verringert sich, abhängig von der Wassertiefe und dem Sediment auf bis zu  $17,5 \cdot \log_{10}$  (Abstand/m). Damit ergeben sich – im Mittel - folgende Schallradien (ohne Hintergrundlärm) für die drei verschiedenen Schiffstypen (Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1 Übersicht der drei verschiedenen Schiffstypen, deren Quellpegel und die sich daraus ergebenden Schallradien.

Quelle	Quellpegel/dB	Küste (Ausbreitungskonstante 17,5)		T-Route (Ausbreitungskonstante 22)
		L < 150 dB	L < 144 dB	L < 144 dB
Laderaumsaugbagger	184	90 m	193 m	300 m
Transportbarge mit Schlepper	174	25 m	52 m	72 m
Greifbagger/Schaufelbagger einschließlich Transportbarge	172	18 m	40 m	54 m

Der Störradius eines Greifbaggers oder Schaufelbaggers einschließlich der Transportbarge beträgt weniger als ein Drittel als der eines Laderaumsaugbaggers, die betroffene Fläche weniger als 10 %. Bedenkt man, dass in den einzelnen Arbeitsbereichen vorsorglich von acht Laderaumsaugbaggern ausgegangen wurde, wogegen gemäß der schließlich zur Genehmigung eingereichten Planung nur ein Laderaumsaugbagger, dafür aber sieben sehr viel leisere Greif- bzw. Schaufelbagger eingesetzt werden, so ist festzustellen, dass die von den einzelnen Arbeitsbereichen ausgehenden Schallimmissionen auch unter Einbeziehung der Transportbargen sehr viel niedrigere Störradien ergeben, als sie in der UVS zugrunde gelegt wurden.

### 1.2.5. Berechnung der Anzahl betroffener Schweinswale und Ermittlung des beeinträchtigten Anteils des Fehmarnbelts

Für die Berechnung der Anzahl Schweinswale, die bestimmten Schallpegeln ausgesetzt sein können, wurde die Schallmodellierung mit der Dichtemodellierung der Schweinswale verschnitten, d.h. die Schallradien wurden auf die Dichtemodellierung übertragen und die Anzahl Schweinswale innerhalb einer Isophone berechnet. Berechnet werden die Anzahl Schweinswale innerhalb der 144 dB Isophone, die in der Umweltverträglichkeitsstudie als Störungskriterien definiert worden sind. Dabei gilt es zu beachten, dass die Schallmodellierung in einem Raster mit 750 m Seitenlänge erfolgte, für den auch die benötigten Angaben zu Wassertiefe und Sedimentbeschaffenheit vorhanden sind. Zur Übertragung der Werte auf die genauen Arbeitsbereiche beim Bau des Absenktunnels wurde berechnet, in welcher Distanz zu einer Zelle des Modells ein bestimmter Schallpegel erreicht wird. Dies wurde dann auf die einzelnen Arbeitsbereiche übertragen. In Vereinfachung der Schallmodellierung wurden für diese Berechnung zwei Tiefenbereiche unterschieden: Zum einen die küstennahen Bereiche, für die eine Ausbreitungskonstante von 17,5 angesetzt



**Tabelle 1-1 Übersicht der drei verschiedenen Schiffstypen, deren Quellpegel und die sich daraus ergebenden Schallradien (Küste, Ausbreitungskonstante 17,5).**

Quelle	Quellpegel/dB	L < 150 dB	L < 144 dB
Laderaumsaugbagger	184	90 m	193 m
Transportbarge mit Schlepper	174	25 m	50 m
Greifbagger/Schaufelbagger einschließlich Transportbarge	172	18 m	40 m

Der Störradius eines Greifbaggers oder Schaufelbaggers einschließlich der Transportbarge beträgt weniger als ein Drittel als der eines Laderaumsaugbaggers, die betroffene Fläche weniger als 10 %. Bedenkt man, dass in den einzelnen Arbeitsbereichen vorsorglich von acht Laderaumsaugbaggern ausgegangen wurde, wogegen gemäß der schließlich zur Genehmigung eingereichten Planung nur ein Laderaumsaugbagger, dafür aber sieben sehr viel leisere Greif- bzw. Schaufelbagger eingesetzt werden, so ist festzustellen, dass die von den einzelnen Arbeitsbereichen ausgehenden Schallimmissionen auch unter Einbeziehung der Transportbargen sehr viel niedrigere Störradien ergeben, als sie in der UVS zugrunde gelegt wurden.

#### **1.2.5. Berechnung der Anzahl betroffener Schweinswale und Ermittlung des beeinträchtigten Anteils des Fehmarnbelts**

Für die Berechnung der Anzahl Schweinswale, die bestimmten Schallpegeln ausgesetzt sein können, wurde die Schallmodellierung mit der Dichtemodellierung der Schweinswale verschnitten, d.h. die Schallradien wurden auf die Dichtemodellierung übertragen und die Anzahl Schweinswale innerhalb einer Isophone berechnet. Berechnet werden die Anzahl Schweinswale innerhalb der 144 dB Isophone, die in der Umweltverträglichkeitsstudie als Störungskriterien definiert worden sind. Dabei gilt es zu beachten, dass die Schallmodellierung in einem Raster mit 750 m Seitenlänge erfolgte, für den auch die benötigten Angaben zu Wassertiefe und Sedimentbeschaffenheit vorhanden sind. Zur Übertragung der Werte auf die genauen Arbeitsbereiche beim Bau des Absenktunnels wurde berechnet, in welcher Distanz zu einer Zelle des Modells ein bestimmter Schallpegel erreicht wird. Dies wurde dann auf die einzelnen Arbeitsbereiche übertragen. In Vereinfachung der Schallmodellierung wurden für diese Berechnung zwei Tiefenbereiche unterschieden: Zum einen die küstennahen Bereiche, für die eine Ausbreitungskonstante von 17,5 angesetzt wurde, und den tieferen Bereich der T-Route, für den eine Ausbreitungskonstante von 16,14 angesetzt wurde. Bei der Berechnung der Ausdehnung der 144 dB Isophone um die einzelnen Arbeitsbereiche wurde angenommen, dass sich die Bauschiffe mittig in den großen Arbeitsbereichen von 1100 m und 2315 m verteilen, wogegen bei den kleinen Arbeitsbereichen in der T-Route die Bauschiffe auf den Rand der Arbeitsbereiche gesetzt

wurden. Für den Laderaumsaugbagger, der außerhalb der festgesetzten Arbeitsbereiche operiert, wurde für die Berechnung ein fiktiver Arbeitsbereich von 250 x 250 m angesetzt, der mit der entsprechenden 144 dB-Isophone gepuffert wurde.

**Tabelle 1-2 Übersicht der Aktivitäten, Größe des Arbeitsbereiches, die Anzahl der Schiffe und die damit verbundenen Schallradien.**

Aktivität	Arbeitsbereich	Anzahl Schiffe	L < 144 dB Küste	L < 144 dB T-Route
Aushub des Tunnelgrabens	1100 m	2 Schaufelbagger	40 m	
Aushub des Tunnelgrabens	2315 m	5 Greifbagger	40 m	
Aushub des Tunnelgrabens	648 m	5 Greifbagger		148 m
Aushub des Tunnelgrabens	250 m	1 Laderaumsaugbagger (TSHD)	193 m	300 m
Absenkung und Wiederverfüllung	1100 m	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper, Pontons	185 m	
Absenkung und Wiederverfüllung	648 m	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper, Pontons		400 m

Die Isophonen wurden nachfolgend auf die jeweiligen Arbeitsbereiche übertragen.

Die folgende Abbildung 1-3, verdeutlicht die Vorgehensweise bei der Berechnung der betroffenen Schweinswale. Die Berechnungen wurden mit der Modellierung der Schweinswaldichte aus 2010 vorgenommen, da in diesem Jahr die höhere Dichte in der zweijährigen Basisaufnahme ermittelt wurde. Die Karten der weiteren Arbeitsabschnitte befinden sich im Abschnitt 3 dieses Anhangs.

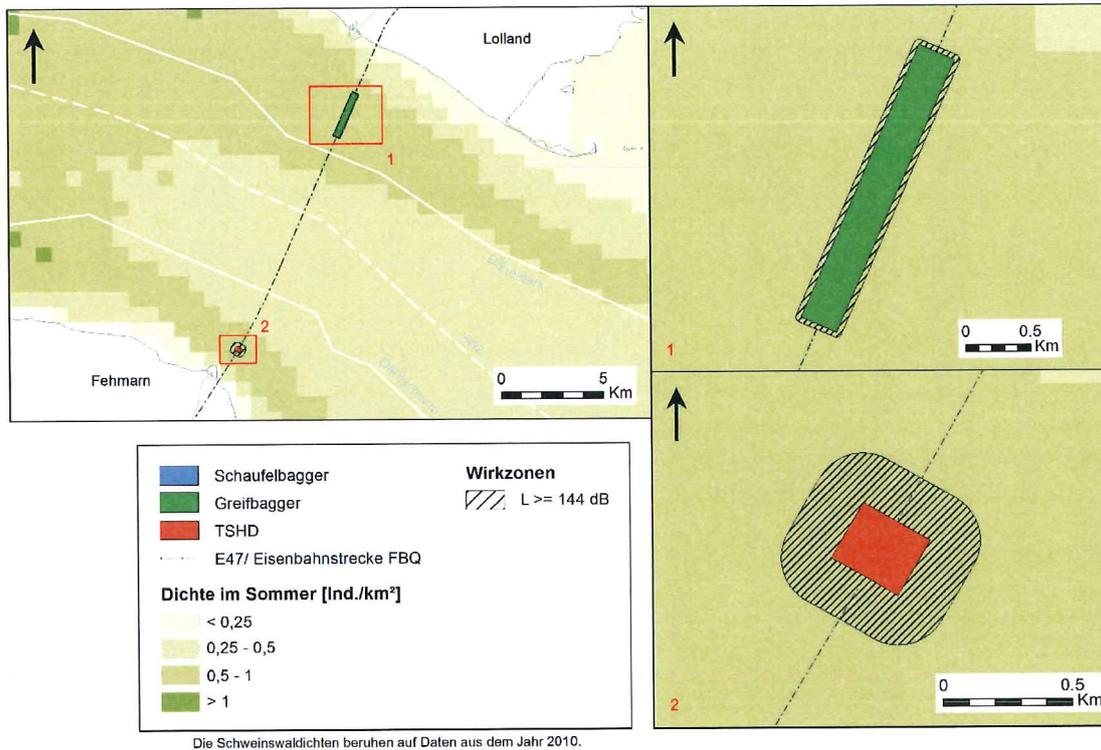
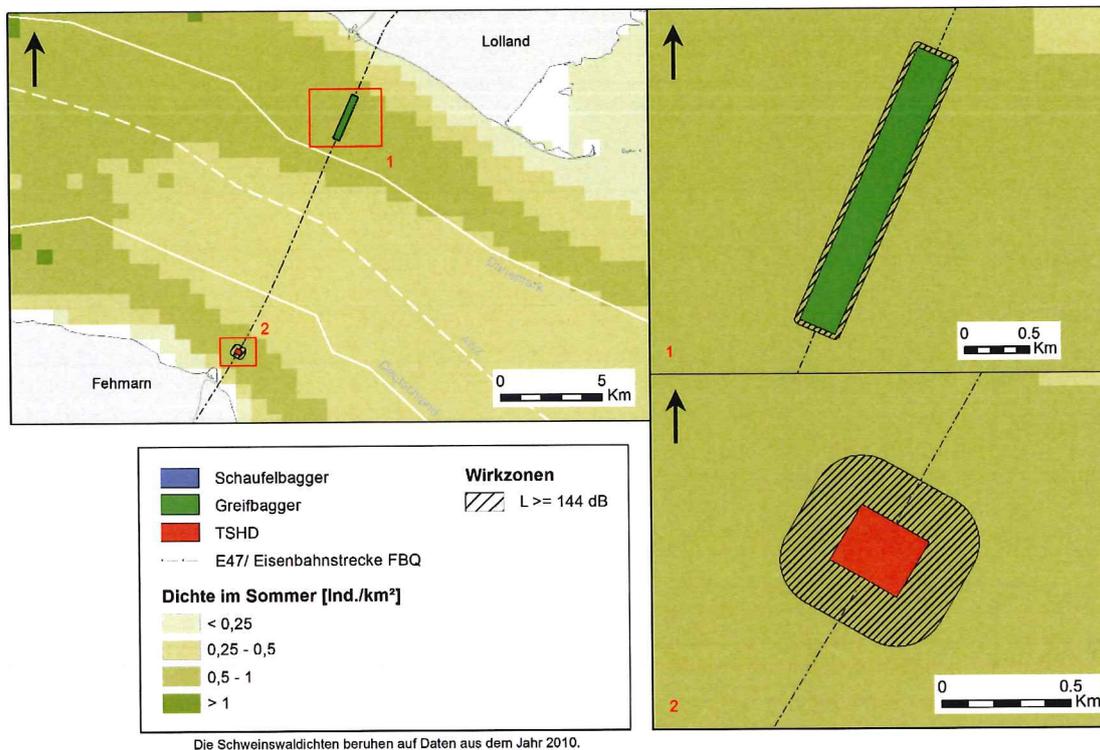


Abbildung 1-3 Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen mit einem Schallleistungspegel > 144 dB (Monat 15). (TSHD = Laderaumsaugbagger)

Mit den Angaben zu den Isophonen ergeben sich je nach Arbeitsabschnitt und Saison rechnerische Anzahlen beeinträchtigter Schweinswale zwischen 0,1 und 1 Individuen (Tabelle 1-3). Die Zahlen variieren in Bezug zu den jeweiligen Bauabschnitten und saisonal, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bestandshöhe. Die höchste Anzahl betroffener Schweinswale entspricht einer Beeinträchtigung von bis zu 0,05 % der Sommer-Population im Fehmarnbelt-Gebiet. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass innerhalb der durch Schallimmissionen > 144 dB beeinträchtigten Bereiche keine Totalvertreibung erfolgt. Die 144 dB Isophone beschreibt den Bereich der schwächsten, aber noch nachweisbaren Reaktion, in dem sich Schweinswale weiterhin aufhalten, wenn auch in reduzierten Anzahlen. Die nach der konkretisierenden Modellierung ermittelte Anzahl beeinträchtigter Schweinswale ist niedriger, als in der UVS zugrunde gelegt wurde. Dies ergibt sich dadurch, dass in der hier durchgeführten Berechnung der Arbeitsbereich mit 300 m Breite zugrunde gelegt wurde.





**Abbildung 1-3 Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen mit einem Schallexpositionspiegel > 144 dB (Monat 15). (TSHD = Laderaumsaugbagger)**

Mit den Angaben zu den Isophonen ergeben sich je nach Arbeitsabschnitt und Saison rechnerische Anzahlen beeinträchtigter Schweinswale zwischen 0,1 und 1 Individuen (Tabelle 1-1). Die Zahlen variieren in Bezug zu den jeweiligen Bauabschnitten und saisonal, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bestandshöhe. Die höchste Anzahl betroffener Schweinswale entspricht einer Beeinträchtigung von bis zu 0,05 % der Sommer-Population im Fehmarnbelt-Gebiet. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass innerhalb der durch Schallimmissionen > 144 dB beeinträchtigten Bereiche keine Totalvertreibung erfolgt. Die 144 dB Isophone beschreibt den Bereich der schwächsten, aber noch nachweisbaren Reaktion, in dem sich Schweinswale weiterhin aufhalten, wenn auch in reduzierten Anzahlen. Die nach der konkretisierenden Modellierung ermittelte Anzahl beeinträchtigter Schweinswale ist niedriger, als in der UVS zugrunde gelegt wurde. Dies ergibt sich dadurch, dass in der hier durchgeführten Berechnung der Arbeitsbereich mit 300 m Breite zugrunde gelegt wurde.

**Tabelle 1-3 Anzahl beeinträchtigter Schweinswale pro Wirkzone durch Bauarbeiten für den Tunnel. Die Angaben sind kumulativ, d.h. die Werte enthalten jeweils den kompletten Bereich innerhalb einer Isophone.**

<b>Aushub</b>	<b>Summe Sommer [n]</b>	<b>Summe Winter [n]</b>
MONAT 01	0,7	0,3
MONAT 03-2 + 4-1	0,6	0,2
MONAT 05-2 + 6-1	0,5	0,2
MONAT 09-2	0,2	0,1
MONAT 10-2	0,4	0,2
MONAT 11-2	0,5	0,2
MONAT 12+13	0,7	0,3
MONAT 15-2	1,0	0,4
MONAT 16-2 + 17-1	0,6	0,2
<b>Absenkvorgänge</b>		
MONAT 16-2 bis 19	0,4	0,2
MONAT 24 und 25	1,3	0,6
MONAT 34	1,2	0,5
MONAT 38	1,0	0,4
MONAT 42	1,1	0,4
MONAT 46	1,1	0,4
MONAT 51	1,0	0,4
MONAT 54	0,6	0,2

### **1.2.6. Modellierung des Bauschalls bei Absenkung der Tunnelelemente und Wiederverfüllung des Tunnelgrabens**

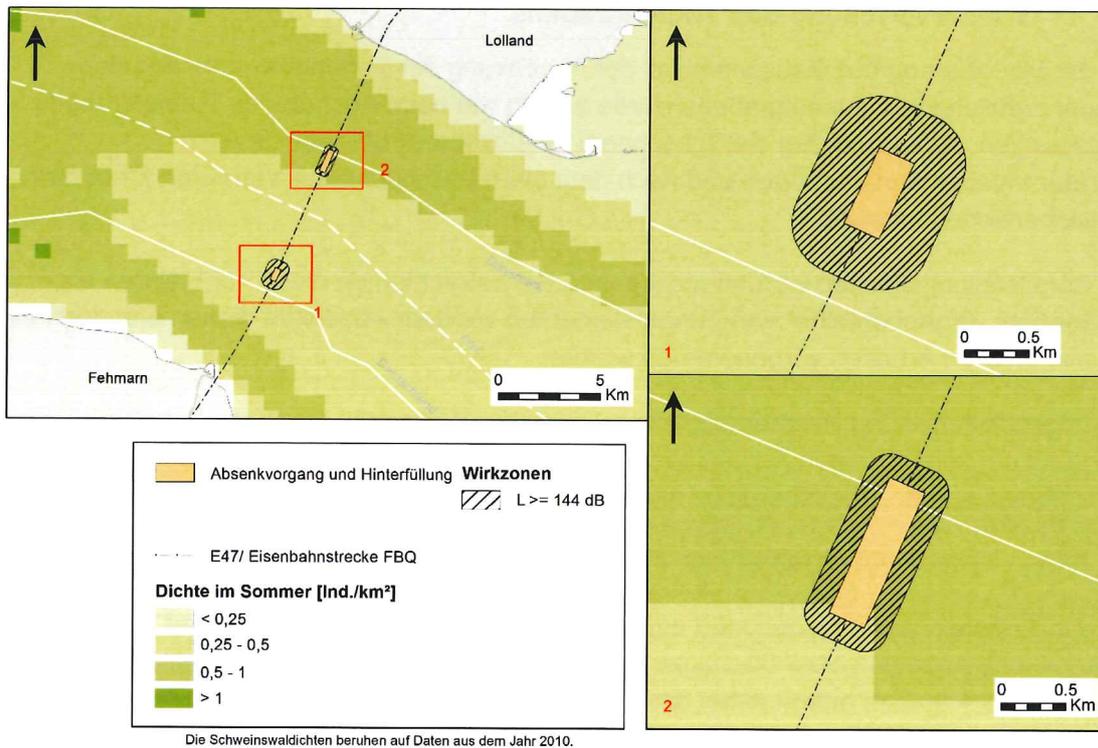
Für die Modellierung des Bauschalls bei der Absenkung der Tunnelelemente und der Wiederverfüllung des Tunnelgrabens wurde analog wie beim Aushub des Tunnelgrabens vorgegangen, d.h. es wurden die Schallpegel für einzelne Arbeitsschiffe nach Literaturangaben herangezogen und nach dem oben beschriebenen Verfahren für einzelne Arbeitsbereiche modelliert.

Die Bereitstellungsflächen wurden nicht gesondert betrachtet, da diese nur Flächen als sogenannte „Wartebereiche“ von Tunnelelementen vor dem Absenken dienen und dort keine schallintensiven Arbeiten vorgenommen werden.

Die folgende Abbildung illustriert die Ausdehnung der Wirkzonen durch die Schallimmissionen. Aufgrund der sehr geringen Anzahl beeinträchtigter Schweinswale ist eine nähere Betrachtung mit Unterteilung der Arbeitsbereiche nicht notwendig.

Die Karten weiterer Arbeitsabschnitte sind im Abschnitt 3 aufgeführt.

Mit den Angaben zu den Isophonen ergeben sich je nach Arbeitsabschnitt und Saison rechnerische Anzahlen beeinträchtigter Schweinswale zwischen 0,1 und 1,3 Individuen (Tab. 2). Die Angaben gehen dabei davon aus, dass Absenkarbeiten in zwei Arbeitsbereichen durchgeführt werden. Tatsächlich ist aber vorgesehen, nur in einem Bereich zeitgleich zu arbeiten. Die Zahlen variieren in Bezug zu den jeweiligen Bauabschnitten und saisonal, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bestandshöhe. Die höchste Anzahl betroffener Schweinswale entspricht einer Beeinträchtigung von bis zu 0,07 % der Sommer-Population im Fehmarnbelt-Gebiet. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass innerhalb der durch Schallimmissionen > 144 dB beeinträchtigten Bereiche keine Totalvertreibung erfolgt. Die 144 dB Isophone beschreibt den Bereich der schwächsten, aber noch nachweisbaren Reaktion, in dem sich Schweinswale weiterhin aufhalten bzw. den Bereich durchqueren, wenn auch in reduzierten Anzahlen.



**Tabelle 1-4** Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen unterschiedlicher Schallexpositionspiegel (Monat 42).

### 1.2.7. Betrachtung der Barrierewirkung durch die Baubereiche

Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Naturschutz (MELUR) des Landes Schleswig-Holstein hat in seiner Stellungnahme vom 4.7.2014 als Maßgabe festgesetzt, dass nur 20 % bzw. maximal 30 % des Fehmarnbelts während der Bauphase durch Baulärm gestört werden darf. Die Maßgabe bezweckt, dass die Funktion des Fehmarnbelts als Migrationskorridor beim Bau des Absenktunnels aufrecht erhalten bleibt.

Zur Prüfung der obigen Maßgabe wurde so vorgegangen, dass die Länge der aktiven Arbeitsbereiche entlang des Tunnelgrabens mit den 144 dB-Isophonen der jeweiligen Aktivitäten gepuffert wurde und der Anteil der Strecke des Tunnels bestimmt wurde, in denen die Schallimmissionen 144 dB übersteigen. Abweichend von der oben beschriebenen Vorgehensweise wurde dabei so vorgegangen, dass die Schaufelbagger und die Greifbagger jeweils in eigenen Zellen von 250 x 250 m betrachtet wurden, die mit der 144 dB-Isophone gepuffert wurden. Die Zellen wurden dann gleichmäßig in den Arbeitsbereichen verteilt. Dies gibt ein realistischeres Bild im Hinblick, da mit 5 Greifbaggern keine gleichmäßige Beschallung eines 2.315 m langen Arbeitsbereichs möglich ist. Die Berechnung der mit > 144 dB beschallten Bereiche ergab folgende Ergebnisse:

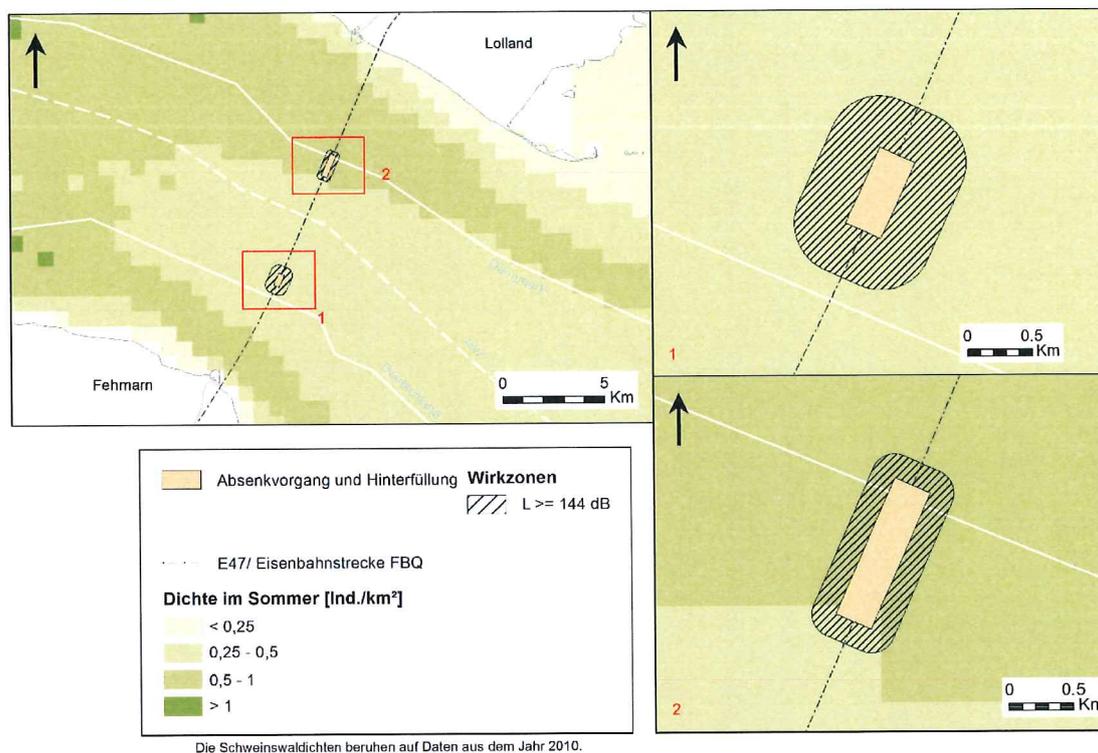


Tabelle 1-4 Schweinswal-Dichteverteilung (Sommer 2010) überlagert mit den Bereichen unterschiedlicher Schall exposurespegel (Monat 42).

### 1.2.7. Betrachtung der Barrierewirkung durch die Baubereiche

Während der Bauphase dürfen maximal 20% des Fehmarnbelts durch zusätzliche vorhabenbedingte Schallimmissionen von > 144 dB ausgehend von den zeitweiligen Arbeitsbereichen beschallt werden, um eine Barrierewirkung für Schweinswale zu vermeiden. Die Maßgabe bezweckt, dass die Funktion des Fehmarnbelts als Migrationskorridor beim Bau des Absenktunnels aufrecht erhalten bleibt.

Zur Prüfung der obigen Maßgabe wurde so vorgegangen, dass die Länge der aktiven Arbeitsbereiche entlang des Tunnelgrabens mit den 144 dB-Isophonen der jeweiligen Aktivitäten gepuffert wurde und der Anteil der Strecke des Tunnels bestimmt wurde, in denen die Schallimmissionen 144 dB übersteigen. Abweichend von der oben beschriebenen Vorgehensweise wurde dabei so vorgegangen, dass die Schaufelbagger und die Greifbagger jeweils in eigenen Zellen von 250 x 250 m betrachtet wurden, die mit der 144 dB-Isophone gepuffert wurden. Die Zellen wurden dann gleichmäßig in den Arbeitsbereichen verteilt. Dies gibt ein realistischeres Bild im Hinblick, da mit 5 Greifbaggern keine gleichmäßige Beschallung eines 2.315 m langen Arbeitsbereichs möglich ist. Die Berechnung der mit > 144 dB beschallten Bereiche ergab folgende Ergebnisse:



**Tabelle 1-5 Länge und Anteil des durch Schallimmissionen der Bauarbeiten beeinträchtigten Abschnitts des Fehmarnbelts (Linie Lolland-Fehmarn).**

Aktivität	Zeit	Anzahl Schiffe	L > 144 dB (%)	L > 144 dB (m)
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 1-3	2 Schaufelbagger, 5 Greifbagger, küstennah	12,8 %	2.310 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 4 - 9	5 Greifbagger T-Route, 2 Schaufelbagger küstennah	8,9 %	1.604 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monat 10	5 Greifbagger, 1 Laderaumsaugbagger T-Route	max. 14,2 %	2.556 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 11-16	1 Laderaumsaugbagger T-Route / küstennah, 5 Greifbagger T-Route/ küstennah	9,2 % - 13,2 %	1650 m – 2286 m
Aushub des Tunnelgrabens, Absenkung und Wiederverfüllung	Monat 17	1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger küstennah, 1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	max. 16,3 %	2.936 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 18 - 40	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	8,2 %	1.470 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 41 - 54	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper T-Route	8,0 %	1.448 m

Die geplanten Baumaßnahmen führen dabei in allen Phasen zu einer Beschallung von deutlich weniger als 20 % mit Schallpegeln > 144 dB, die zu einer Störung von Schweinswalen führen könnten. Im Mittel treten baubedingt in 9 % des Fehmarnbelts Schallpegel > 144 dB auf. Der höchste Wert beträgt 16 %. Auch für den Fall, dass die mit der Absenkung der Tunnelelemente verbundenen Aktivitäten zeitgleich in zwei Arbeitsbereichen stattfinden sollten, werden stets weniger als 20 % des Fehmarnbelts durch zusätzlichen Lärm beeinträchtigt werden.

### 1.2.8. Betrachtung einer möglichen Barrierewirkung durch Transportverkehr

Außerhalb der abgegrenzten Arbeitsbereiche wird zusätzlicher Schiffsverkehr zwischen den Arbeitshäfen und den Landgewinnungsflächen erfolgen. Des Weiteren werden Schiffe zur Verkehrssicherung neben den Arbeitsbereichen positioniert werden. Der größte Teil des Schiffsverkehrs außerhalb der Arbeitsbereiche entfällt dabei auf Transportbargen, welche das Aushubmaterial von der Grabenherstellung zu den Landgewinnungsflächen auf Lolland oder – in geringerem Umfang – auf Fehmarn transportieren.

Zur Berechnung der Unterwasserschallimmissionen der Transportschiffe und weiterer Hilfsschiffe wurden verschiedene Szenarien betrachtet. Die Anzahl der pro Bagger



**Tabelle 1-5 Länge und Anteil des durch Schallimmissionen der Bauarbeiten beeinträchtigten Abschnitts des Fehmarnbelts (Linie Lolland-Fehmarn).**

Aktivität	Zeit	Anzahl Schiffe	L > 144 dB (%)	L > 144 dB (m)
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 1-3	2 Schaufelbagger, 5 Greifbagger, küstennah	12,8 %	2.310 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 3 - 9	5 Greifbagger T-Route, 2 Schaufelbagger küstennah	8,9 %	1.604 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monat 10	5 Greifbagger, 1 Laderaumsaugbagger T-Route	max. 14,2 %	2.556 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 11-16	1 Laderaumsaugbagger T-Route / küstennah, 5 Greifbagger T-Route/ küstennah	9,2 % - 13,2 %	1650 m – 2286 m
Aushub des Tunnelgrabens, Absenkung und Wiederverfüllung	Monat 17	1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger küstennah, 1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	max. 16,3 %	2.936 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 18 - 52	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	8,2 %	1.470 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 53 - 64	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper T-Route	8,0 %	1.448 m

Die geplanten Baumaßnahmen führen dabei in allen Phasen zu einer Beschallung von deutlich weniger als 20 % mit Schallpegeln > 144 dB, die zu einer Störung von Schweinswalen führen könnten. Im Mittel treten baubedingt in 9 % des Fehmarnbelts Schallpegel > 144 dB auf. Der höchste Wert beträgt 16 %. Auch für den Fall, dass die mit der Absenkung der Tunnelelemente verbundenen Aktivitäten zeitgleich in zwei Arbeitsbereichen stattfinden sollten, werden stets weniger als 20 % des Fehmarnbelts durch zusätzlichen Lärm beeinträchtigt werden.

### 1.2.8. Betrachtung einer möglichen Barrierewirkung durch Transportverkehr

Außerhalb der abgegrenzten Arbeitsbereiche wird zusätzlicher Schiffsverkehr zwischen den Arbeitshäfen und den Landgewinnungsflächen erfolgen. Des Weiteren werden Schiffe zur Verkehrssicherung neben den Arbeitsbereichen positioniert werden. Der größte Teil des Schiffsverkehrs außerhalb der Arbeitsbereiche entfällt dabei auf Transportbargen, welche das



**Tabelle 1-5 Länge und Anteil des durch Schallimmissionen der Bauarbeiten beeinträchtigten Abschnitts des Fehmarnbelts (Linie Lolland-Fehmarn).**

Aktivität	Zeit	Anzahl Schiffe	L < 144 dB (%)	L < 144 dB (m)
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 1-3	2 Schaufelbagger, 5 Greifbagger, küstennah	12,8 %	2.310 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monate 3 - 9	5 Greifbagger T-Route, 2 Schaufelbagger küstennah	8,9 %	1.604 m
Aushub des Tunnelgrabens	Monat 10	5 Greifbagger, 1 Laderaumsaugbagger T-Route	14,2 %	2.556 m
Aushub des Tunnelgrabens, Absenkung und Wiederverfüllung	Monat 17	1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger küstennah, 1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	16,3 %	2.936 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 18 - 52	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper küstennah	8,2 %	1.470 m
Absenkung und Wiederverfüllung	Monate 53 - 64	1 Laderaumsaugbagger, 6 Schlepper T-Route	8,0 %	1.448 m

Die geplanten Baumaßnahmen führen dabei in allen Phasen zu einer Beschallung von deutlich weniger als 20 % mit Schallpegeln > 144 dB, die zu einer Störung von Schweinswalen führen könnten. Im Mittel treten baubedingt in 9 % des Fehmarnbelts Schallpegel > 144 dB auf. Der höchste Wert beträgt 16 %. Auch für den Fall, dass die mit der Absenkung der Tunnelelemente verbundenen Aktivitäten zeitgleich in zwei Arbeitsbereichen stattfinden sollten, werden stets weniger als 20 % des Fehmarnbelts durch zusätzlichen Lärm beeinträchtigt werden.

### 1.2.8. Betrachtung einer möglichen Barrierewirkung durch Transportverkehr

Außerhalb der abgegrenzten Arbeitsbereiche wird zusätzlicher Schiffsverkehr zwischen den Arbeitshäfen und den Landgewinnungsflächen erfolgen. Des Weiteren werden Schiffe zur Verkehrssicherung neben den Arbeitsbereichen positioniert werden. Der größte Teil des Schiffsverkehrs außerhalb der Arbeitsbereiche entfällt dabei auf Transportbargen, welche das Aushubmaterial von der Grabenherstellung zu den Landgewinnungsflächen auf Lolland oder – in geringerem Umfang – auf Fehmarn transportieren.

Zur Berechnung der Unterwasserschallimmissionen der Transportschiffe und weiterer Hilfsschiffe wurden verschiedene Szenarien betrachtet. Die Anzahl der pro Bagger

erforderlichen Barge, die auf dem Weg von bzw. zum Baugebiet fahren, hängt ab von der Bargekapazität, der Beladedauer und der Entfernung zur Landgewinnungsstelle vor Lolland. Die meisten Schlepper-Barge-Bewegungen sind bei den Baggerarbeiten vor Fehmarn in den Bereichen G1 und G2 (Woche 0-10) zu erwarten, da von diesen Bereichen die längsten Wege zur Entladestelle auf Lolland zurückgelegt werden müssen. Bei einer durchschnittlichen Beladezeit von 1-2 Stunden und einer maximalen Fahrdauer von 2 Stunden bei 10 Seemeilen Abstand und 5 Knoten Fahrtgeschwindigkeit ist davon auszugehen, dass 1-2 leere Barge auf dem Weg zum Bagger und eine volle auf dem Weg nach Lolland sein werden. Für Bagger, die weiter nördlich, also näher an Lolland operieren, verringert sich diese Zahl zunehmend, da die Wege zur Entladestelle auf Lolland kürzer werden. Zu berücksichtigen ist weiter, dass die Bagger mit ca. 100 Stunden Einsatzzeit pro Woche veranschlagt werden, also 40 % der Zeit für Wartung etc. geplant sind. Die Berechnungen wurden daher mit 1,5 Schlepper-Barge-Gespannen pro Bagger durchgeführt. Für Woche 0-10 in Phase 1 ergibt dies bis zu 8 gleichzeitig eingesetzte Schlepper. Es wird weiter angenommen, dass zwei Verkehrssicherungsschiffe und drei weitere Hilfsschiffe für Transport, Vermessung usw. außerhalb der eigentlichen Baubereiche unterwegs sein werden.

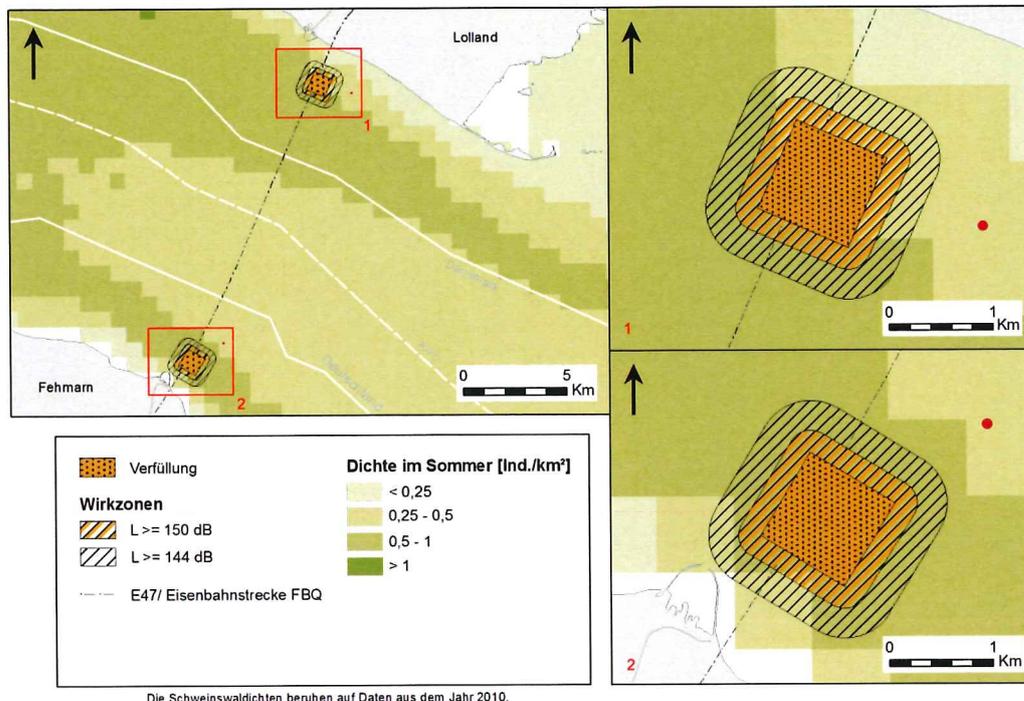
Bezüglich der Schallimmissionen der Transportschiffe und der Frage, ob daraus eine Barriere entstehen kann, sind zwei Dinge darzustellen:

1. Ist der Störbereich um die einzelnen Transportschiffe so groß, dass in der Summe der Schiffe mit den Arbeitsbereichen eine Barriere entsteht, durch welche die Durchwanderung des Fehmarnbelts durch Schweinswale unterbunden oder erheblich behindert werden kann?
2. Führen die Schallimmissionen der Transportschiffe in Summation mit den Arbeitsbereichen und dem vorhandenen Hintergrundlärm durch anderen Schiffsverkehr zu einer derartigen Barriere?

Zu 1: Der Störbereich (Schallpegel >144 dB) um die einzelnen Transportschiffe ist mit 50 m sehr gering und kann durch kleinräumige Ausweichbewegungen umschwommen werden, bzw. der gestörte Bereich kann nach einer kurzen Ausweichbewegung durchschwommen werden.

Zu 2: Aufgrund der geringen Schallpegel der Transportbarge ist ihr Beitrag zum Gesamtschalleintrag in Bezug zu den anderen Arbeitsschiffen und in Bezug zum mittleren Hintergrundschall im Fehmarnbelt gering, auch wenn der Anteil der Transportschiffe und weiterer Begleitschiffe wie zur Verkehrssicherung an der Gesamtzahl der Arbeitsschiffe hoch ist (Zweidrittel in Phase 1). Der Vergleich der 130 dB-Isophone des mittleren Hintergrundschalls (Vorbelastung) mit den Berechnungen unterschiedlicher Bauszenarien (s. Abschnitt 2) weist auf nur geringe Veränderungen durch die Einbeziehung des Transportverkehrs hin. Außerhalb der Baubereiche wird der Umgebungslärm im Fehmarnbelt wesentlich durch die vorherrschende Hintergrundbelastung geprägt, die durch deutlich lautere Schallquellen entsteht.

Eine Bewertung der Schallimmissionen der Transportschiffe hinsichtlich der Auswirkungen auf Schweinswale erfolgt im Artenschutzrechtlichen Fachbeitrag (Anlage 21).



**Abbildung 1-4 Maßstäbliche Darstellung des Beeinträchtigungsbereichs von zwei Transportbargen mit Schleppern (rote Punkte) im Vergleich zum Beeinträchtigungsbereich zweier Arbeitsbereiche**

### 1.2.9. Schallimmissionen durch Rammarbeiten an den Bauhäfen

Die Modellierung der Schallimmissionen bei den Rammarbeiten für die Errichtung des Arbeitshafens in Rödbby ist in der UVS dargestellt (Anlage 15 der Planfeststellungsunterlagen, Band IV B, S. 3051 und S. 3053). Für den Arbeitshafen Puttgarden ist von entsprechenden Schallimmissionen und Wirkradien auszugehen. Die dargestellte Modellierung hat unverändert Gültigkeit. Die Rammarbeiten in beiden Arbeitshäfen werden mit den Aushubarbeiten für den Tunnelgraben auf Grundlage der tatsächlich zum Einsatz kommenden Geräte und Abläufe im Rahmen der Ausführungsplanung abgestimmt, damit vermieden wird, dass kumulative Effekte zwischen beiden Aktivitäten auftreten.

Der Abstand zur Rammstelle, in dem eine Störung von Schweinswalen erfolgen kann, beträgt etwa 1,9 km für einen Schallpegel von 144 dB<sub>SEL</sub>, bzw. bei Anwendung des Störungswerts des Schallschutzkonzepts des BMU (2013) für Rammschall von 140 dB<sub>SEL</sub> etwa 3200 m. Die Schallimmissionen der Rammarbeiten werden demnach 11 % bzw. 18 % des Fehmarnbelts betreffen. Die Rammarbeiten werden etwa in einem Monat abgeschlossen werden, so dass

diese Arbeit nur einen sehr kleinen Teil der Bauzeit betreffen wird. In den beeinträchtigten Bereichen werden sich im Sommer rechnerisch 4,2 Schweinswale aufhalten, im Winter rechnerisch 2,0 wenn man einen Wert von  $>144 \text{ dB}_{\text{SEL}}$  zugrunde legt. In dem gemäß Schallschutzkonzept des BMU (2013) anzuwendenden Bereich von  $> 140 \text{ dB}_{\text{SEL}}$  halten sich dagegen im Sommer rechnerisch 10,9 Schweinswale und im Winter 5,0 Schweinswale in dem beeinträchtigten Bereich auf.

Der Abstand zur Rammstelle, in dem eine Störung von Schweinswalen erfolgen kann, beträgt bis zu 1,1 km (Arbeitshafen Puttgarden) und bis zu 1,9 km (Arbeitshafen Lolland) für einen Schallpegel von 144 dB<sub>SEL</sub>, bzw. bei Anwendung des Störungswerts des Schallschutzkonzepts des BMU (2013) für Rammschall von 140 dB<sub>SEL</sub> 1,8 km (Arbeitshafen Puttgarden) und etwa 3,2 km (Arbeitshafen Lolland). Die Schallimmissionen der Rammarbeiten werden demnach 11 % bzw. 18 % (Arbeitshafen Lolland) und 6% bzw. 10% (Arbeitshafen Puttgarden) des Fehmarnbelts betreffen. Die Rammarbeiten werden etwa in einem Monat abgeschlossen werden, so dass diese Arbeit nur einen sehr kleinen Teil der Bauzeit betreffen wird. In den beeinträchtigten Bereichen werden sich im Sommer rechnerisch 3,46 Schweinswale (Arbeitshafen Lolland) und 1,21 Schweinswale (Arbeitshafen Puttgarden) aufhalten, im Winter rechnerisch 1,49 Schweinswale (Arbeitshafen Lolland) und 0,6 Schweinswale (Arbeitshafen Puttgarden) wenn man einen Wert von >144 dB<sub>SEL</sub> zugrunde legt. In dem gemäß Schallschutzkonzept des BMU (2013) anzuwendenden Bereich von > 140 dB<sub>SEL</sub> halten sich dagegen im Sommer rechnerisch 10,9 Schweinswale (Arbeitshafen Lolland) und 3,6 Schweinswale (Arbeitshafen Puttgarden) und im Winter 5,0 Schweinswale (Arbeitshafen Lolland) und 1,7 Schweinswale (Arbeitshafen Puttgarden) in dem beeinträchtigten Bereich auf.



## 2. Schallmodellierung ausgewählter Szenarien beim Bau des Absenktunnels

### Erläuterungen zu den Karten

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Schallmodellierung für die ausgewählten Szenarien dargestellt. Je Arbeitsbereich werden drei Modellierungen präsentiert:

1. In der UVS verwendete Modellierung auf der Basis, dass nur Laderaumsaugbagger eingesetzt werden.
2. Modellierung mit Differenzierung der Baggertypen einschließlich der Transportbargen.  
In
3. wie 2., aber mit 130 dB-Kontur mit mittlerem Hintergrundschallpegel.

Nachfolgend werden verschiedene Modellierungen unterschiedlicher Szenarien unter Berücksichtigung des Transportverkehrs von und zu den Baubereichen gezeigt (Karten 14-24).

Alle Karten zeigen die 130 dB-Kontur als den Bereich, in dem der Bauschall hinter den Hintergrundschall verschwindet.

Es handelt sich hierbei um Beispielkarten, die auf der Grundlage der Anlage 27.2, Blatt 3 (Aushub) und Blatt 4 (Verfüllung) des Tunnelgrabens der ursprünglichen Planfeststellungsunterlagen (2013) berechnet wurden. Zu dieser Zeit waren die Aushubarbeiten des Tunnelgrabens in 8 gleiche Flächen eingeteilt, die jeweils ab der Landesgrenzlinie in jeweils in 4 gleich große Abschnitte unterteilt waren: Deutsche AWZ: G1, G2, G3, G4 und die dänische AWZ D1, D2, D3, D4, wobei die 1 jeweils an der Küste und die 4 an der Landesgrenze in der Mitte des Fehmarnbelts war.

Nach Abstimmung mit dem LBV, MELUR und BfN wurden die Arbeitsschritte der Bauphasen auf zwei Wochen Perioden verkleinert und detaillierter dargestellt. Diese neue Darstellung findet sich in Anlage 27.2 der Planänderungsunterlagen, Blatt 3 und 4 sowie in diesem Dokument in **Tabelle 1-5**, S. 21 und den Darstellungen zur Schweinswal-Dichteverteilung für ausgewählte Bauszenarien in Kap. 3 wieder.



## 2. Schallmodellierung ausgewählter Szenarien beim Bau des Absenktunnels

### Erläuterungen zu den Karten

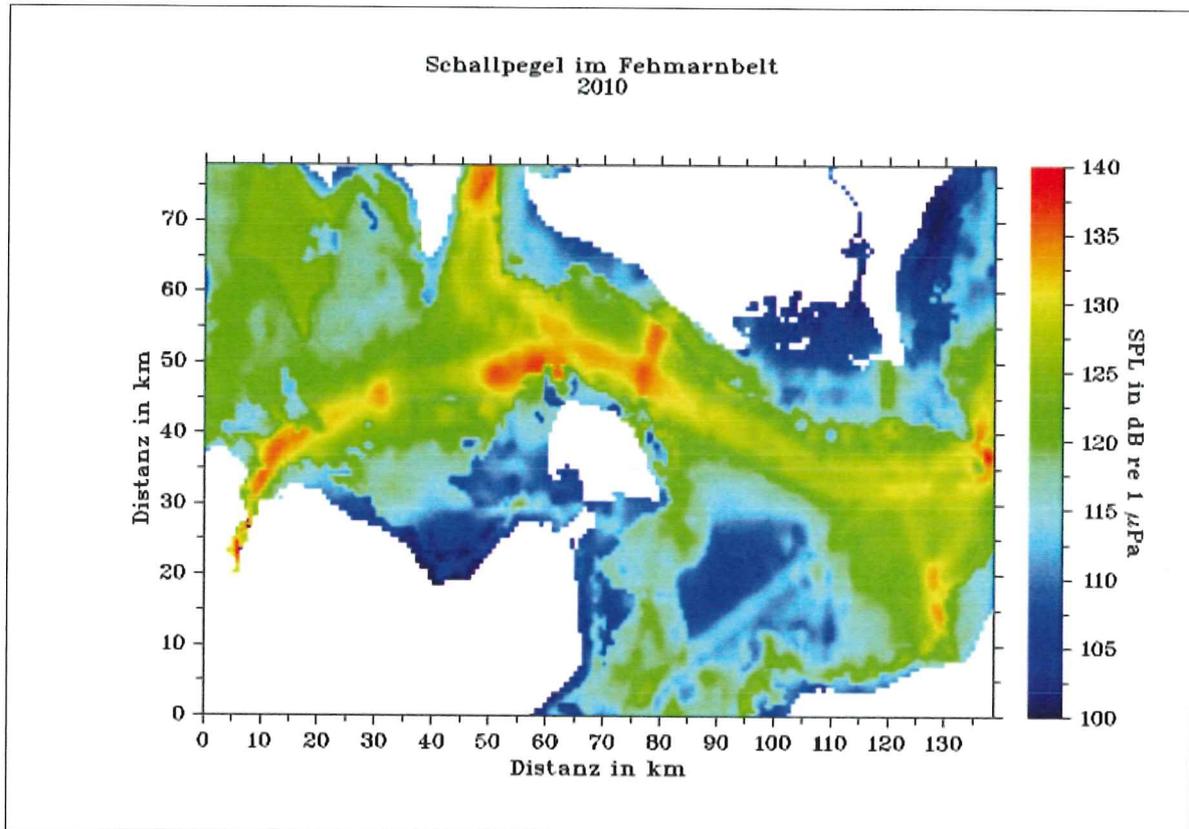
Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Schallmodellierung für die ausgewählten Szenarien dargestellt. Je Arbeitsbereich werden drei Modellierungen präsentiert:

1. In der UVS verwendete Modellierung auf der Basis, dass nur Laderaumsaugbagger eingesetzt werden.
2. Modellierung mit Differenzierung der Baggertypen einschließlich der Transportbargen.  
In
3. wie 2., aber mit 130 dB-Kontur mit mittlerem Hintergrundschallpegel.

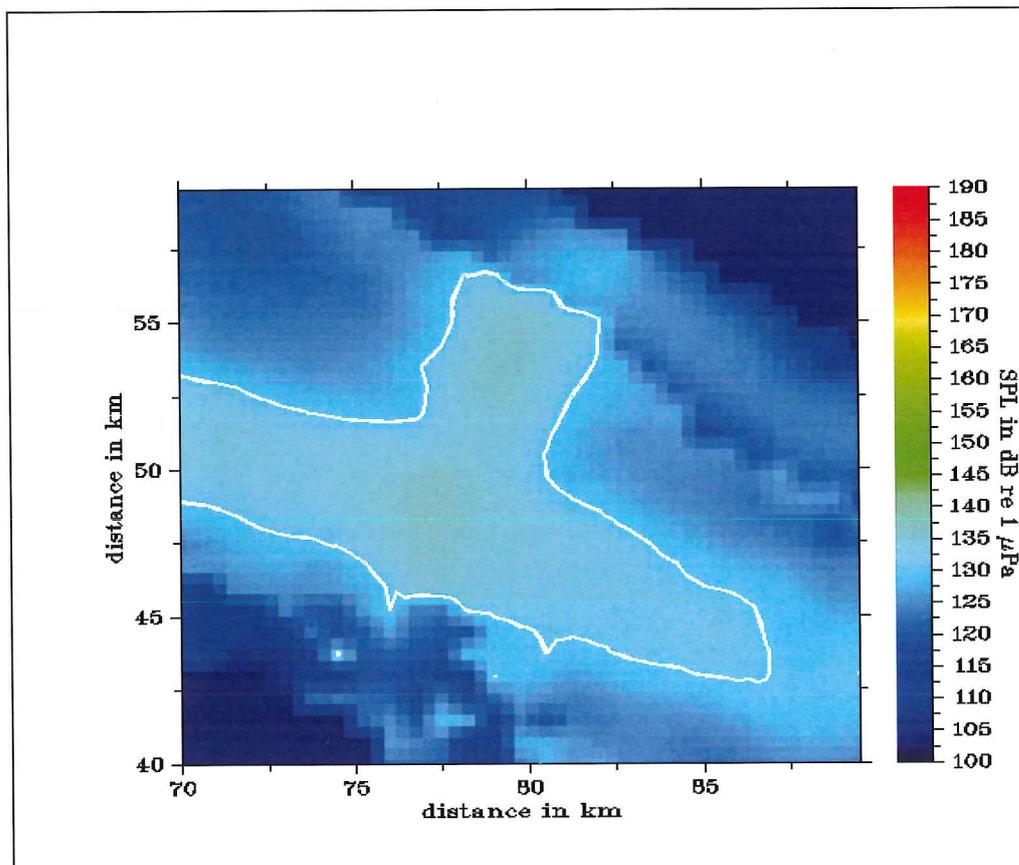
Nachfolgend werden verschiedene Modellierungen unterschiedlicher Szenarien unter Berücksichtigung des Transportverkehrs von und zu den Baubereichen gezeigt (Karten 14-24).

Alle Karten zeigen die 130 dB-Kontur als den Bereich, in dem der Bauschall hinter den Hintergrundschall verschwindet.

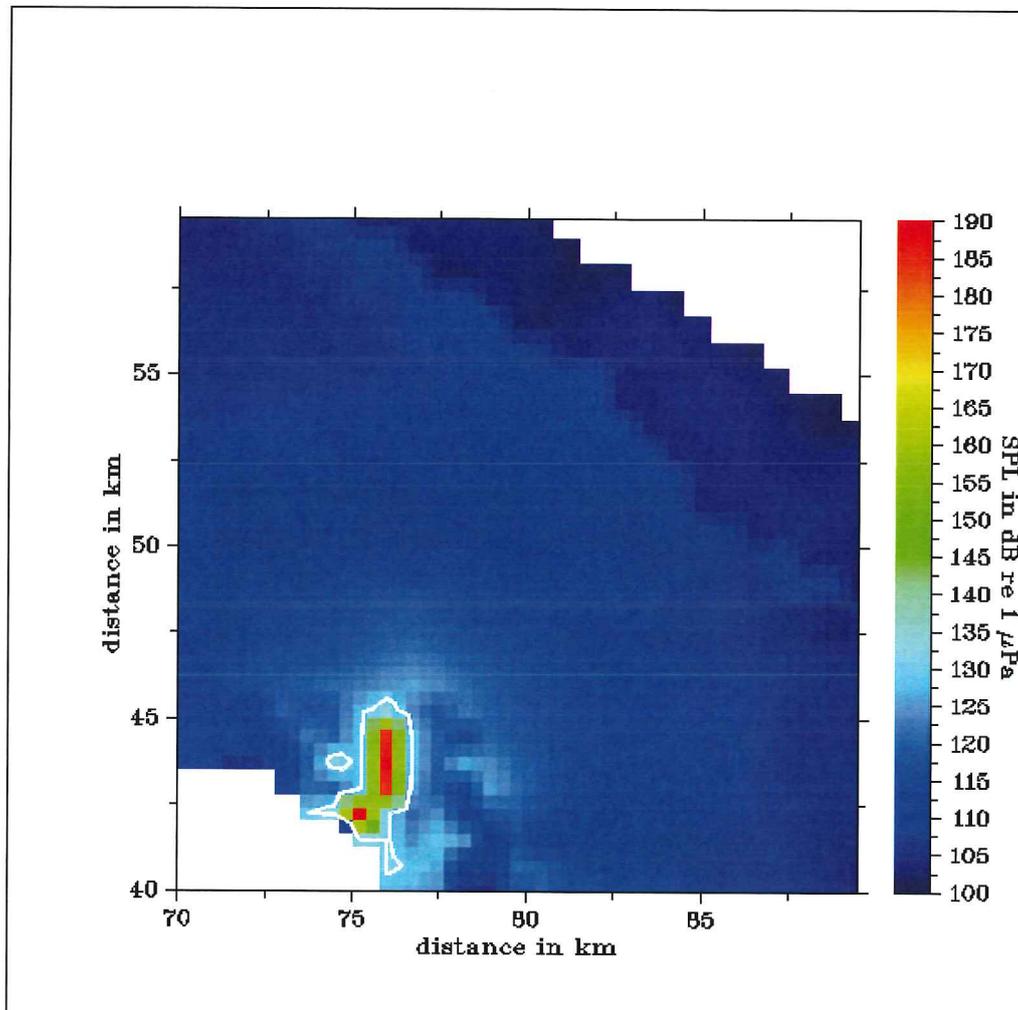
**Karte 1:** Jahresmittel der Schallpegel im Fehmarnbelt nach Messungen im Jahr 2010. Die Karte ist Grundlage für die Abgrenzung der 130 dB Isophone in den folgenden Karten. Die Karte verdeutlicht die Vorbelastung des Fehmarnbelts durch Unterwasserschall, wobei sich die wesentlichen Schifffahrtslinien, T-Route und Fährverbindung Rødby-Puttgarden, deutlich abzeichnen. Die unterschiedliche Ausprägung der Schallimmissionen entlang der Schifffahrtsrouten entspricht den nach Wassertiefen und Sedimentbeschaffenheit unterschiedlichen Ausbreitungsdämpfungen.



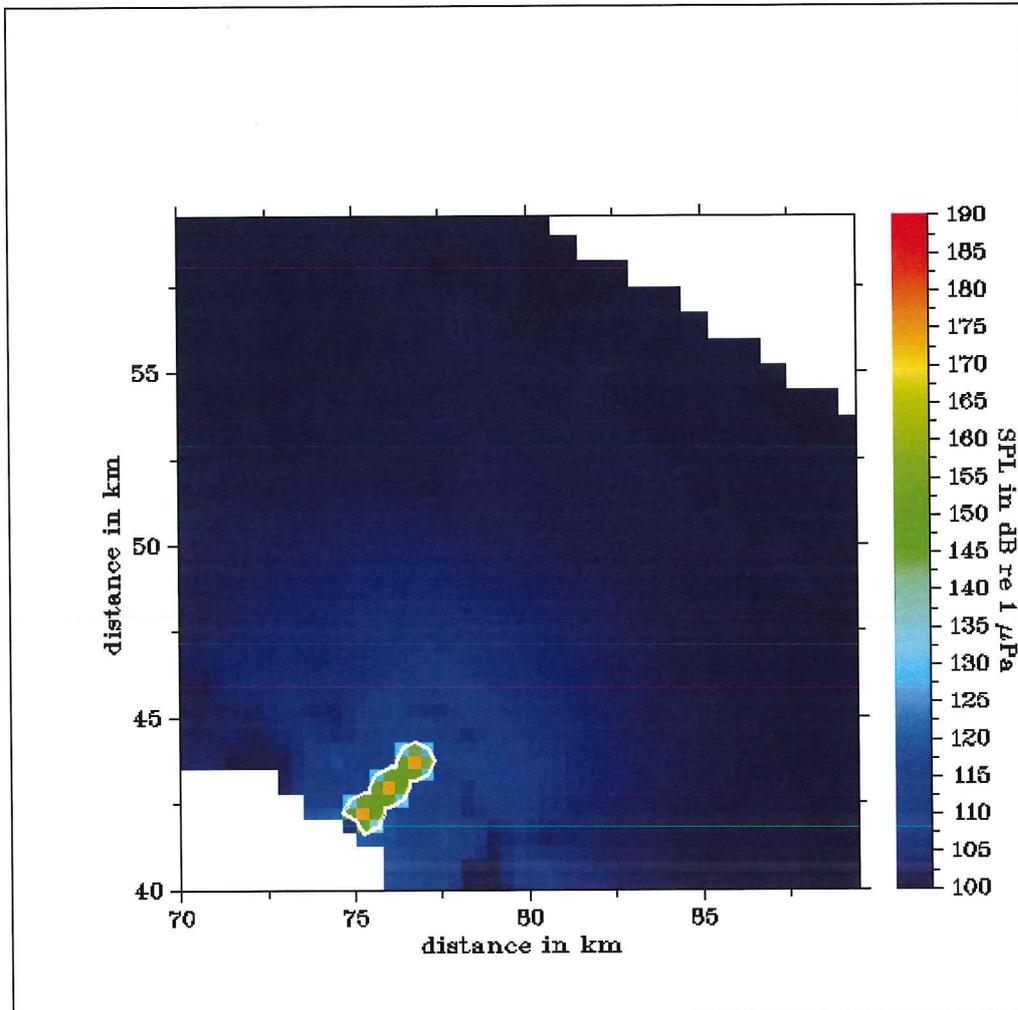
**Karte 2:** Umriss der 130 dB Isophone mittleren Hintergrundschalls (Vorbelastung) im Fehmarnbelt. Die 130 dB Isophone gibt die mittlere Ausdehnung des Hintergrundschalls >130 dB wieder und wird in ihrem Umriss durch die Schifffahrtslinien T-Route und die Fährverbindung Rødby-Puttgarden geprägt. Im flachen Wasser der Küsten von Fehmarn und Lolland unterschreiten die mittleren Schallpegel den Wert von 130 dB, obwohl der Schalleintrag durch die Fähren bis an die Häfen heranreicht. Dies ergibt sich daraus, dass die Schallausbreitung in flachem Wasser stärker gedämpft wird. Schallimmissionen über 130 dB kommen hier kurzzeitig und kleinräumig ja nach aktuellen Schiffsbewegungen vor, im Mittel liegen sie aber niedriger.



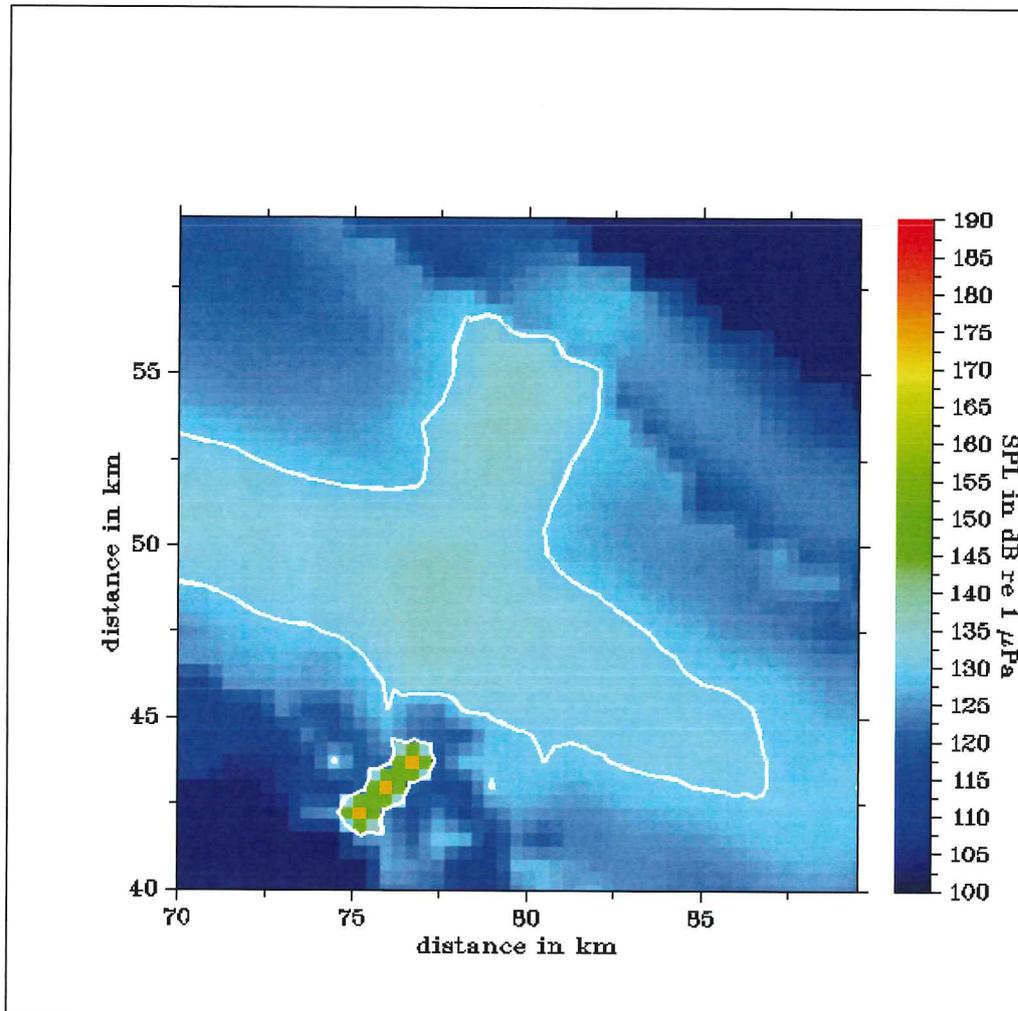
**Karte 3:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 1 (G1, G2) unter der Annahme, alle Bagger sind Laderaumsaugbagger (UVS-Fassung)



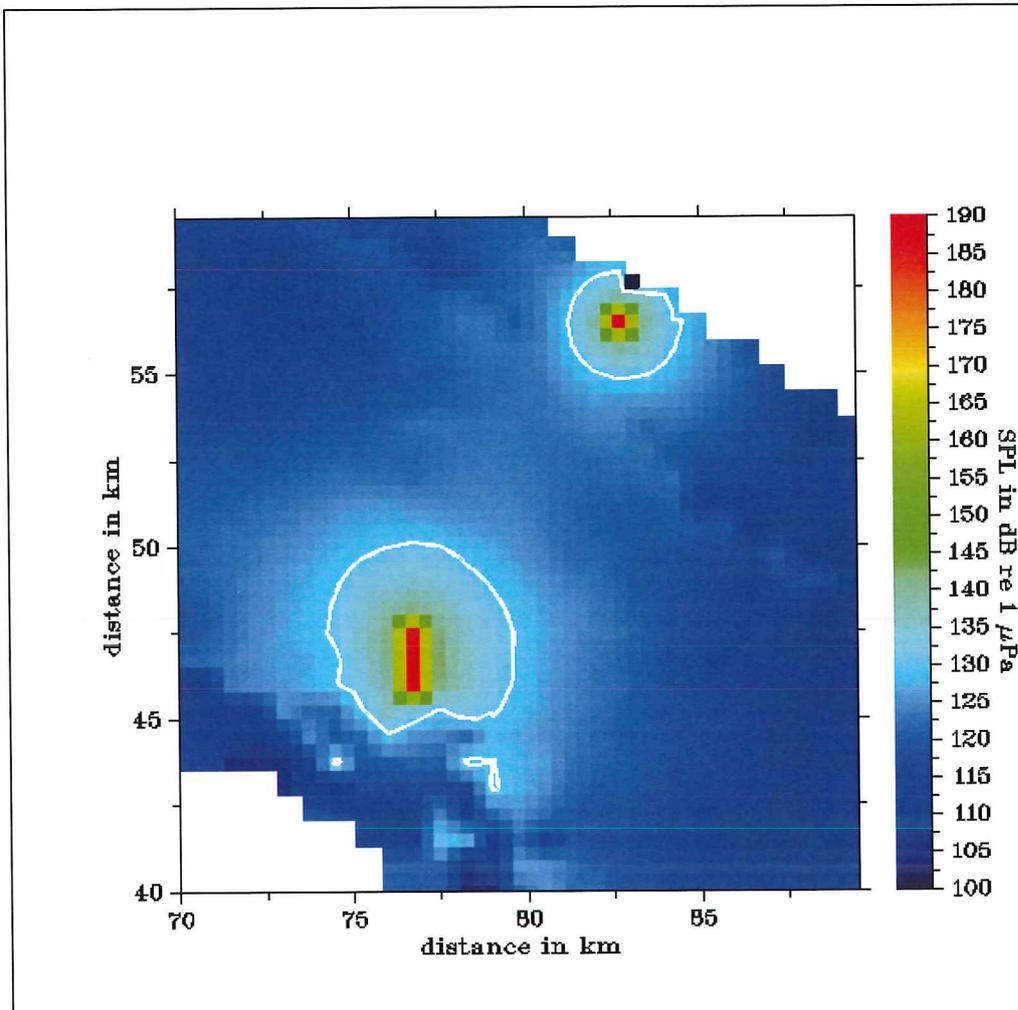
**Karte 4:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 1 (G1, G2), modelliert für 5 Greifbagger und 2 Schaufelbagger.



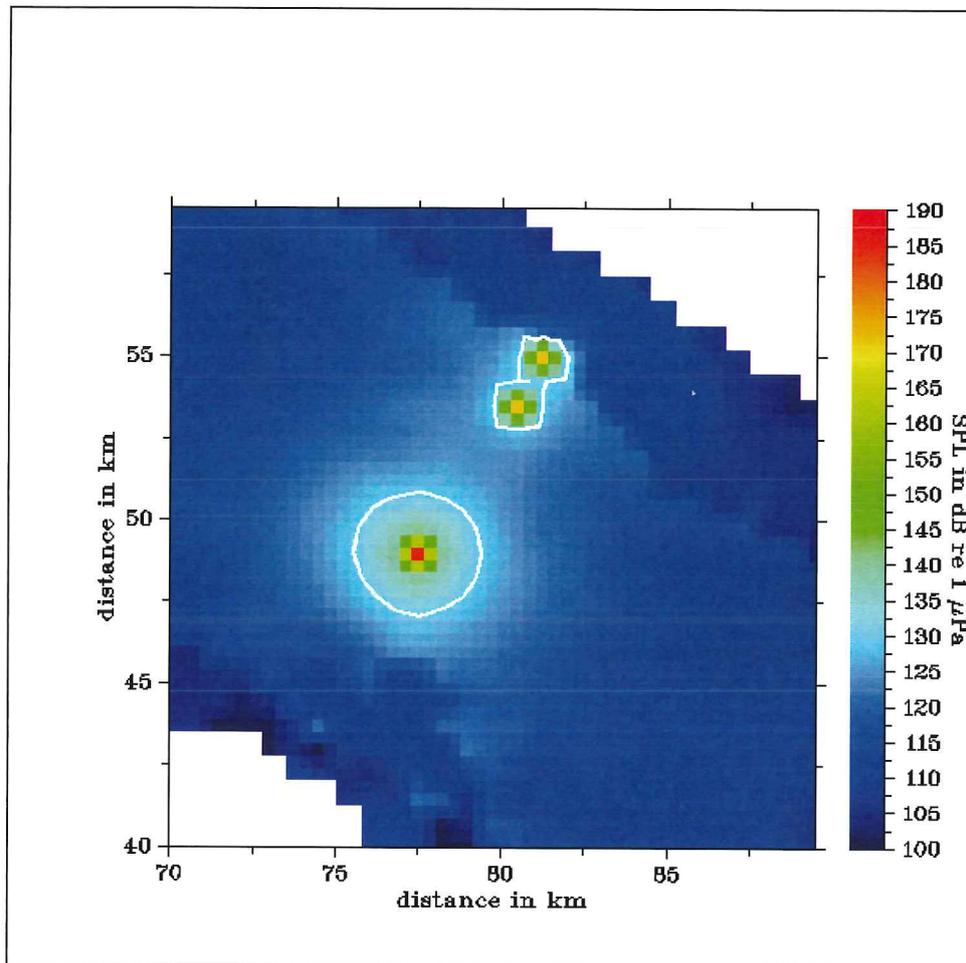
**Karte 5:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 1 (G1, G2), modelliert für 5 Greifbagger und 2 Schaufelbagger mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



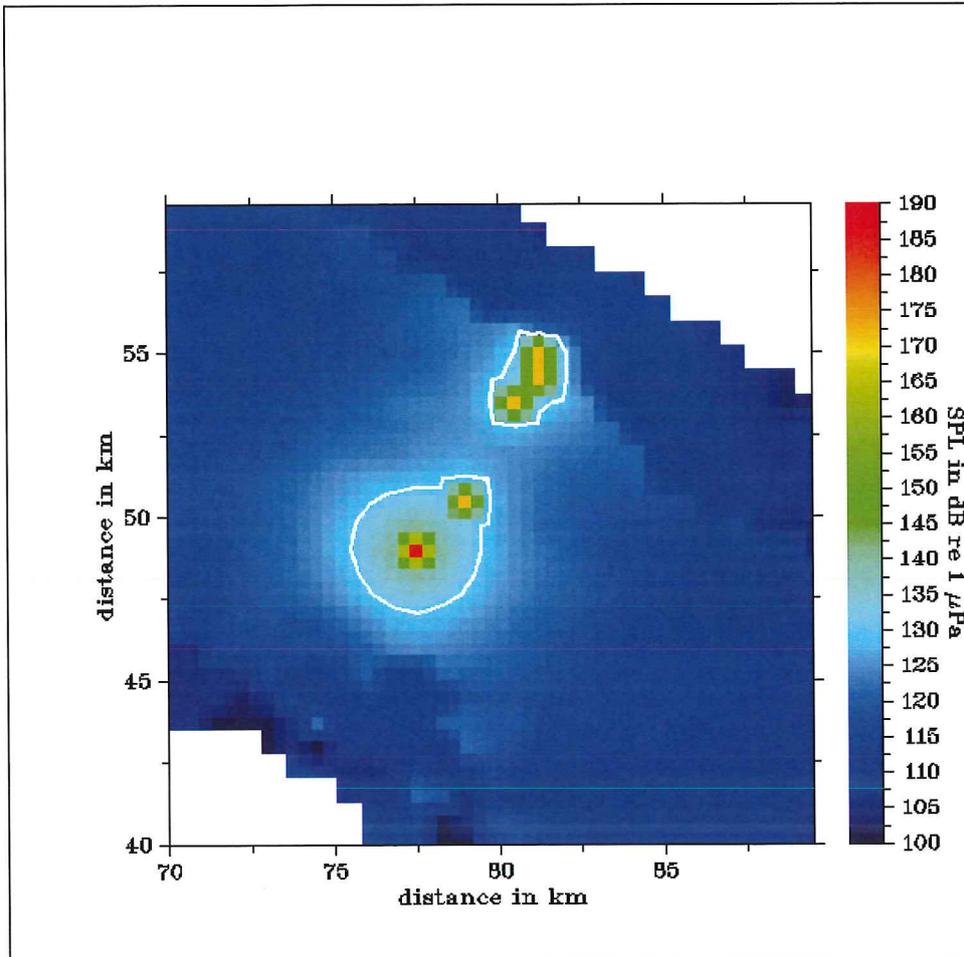
**Karte 6:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 2 (G3, D1) unter der Annahme, alle Bagger sind Laderaumsaugbagger (UVS-Fassung)



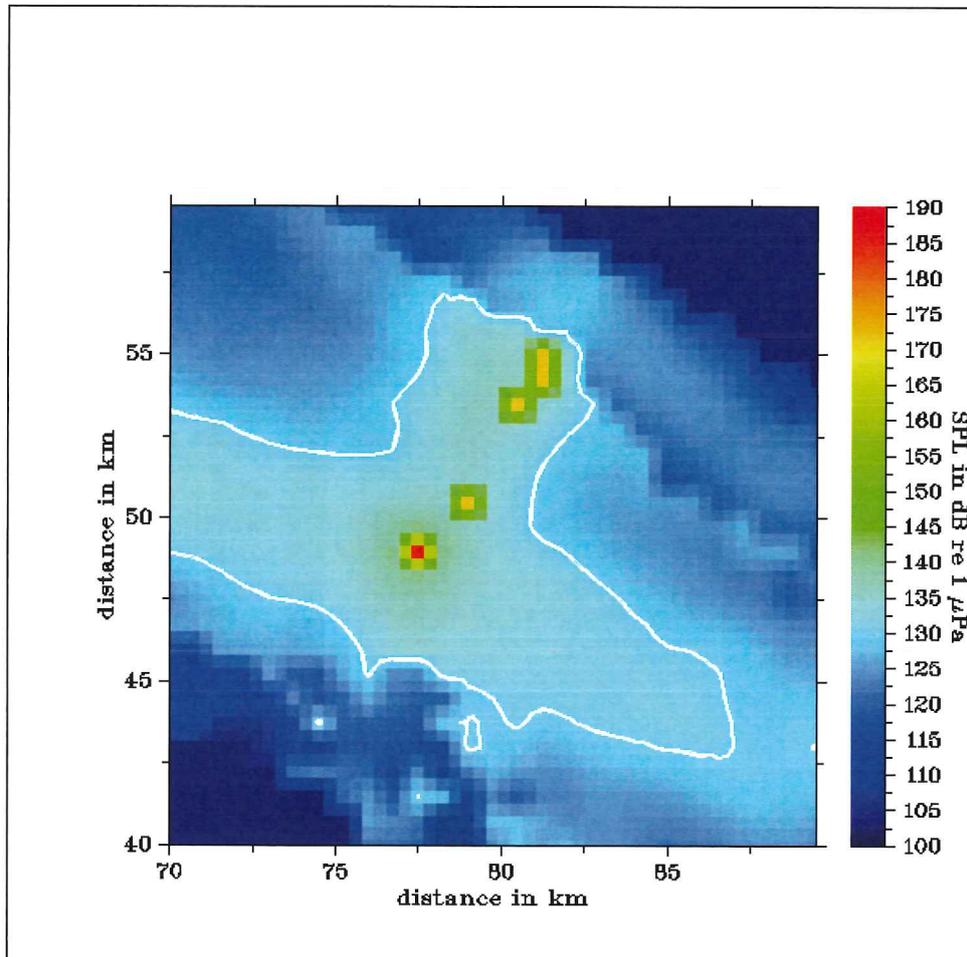
**Karte 7:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 2 (G3, D1), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger, 2 Schaufelbagger.



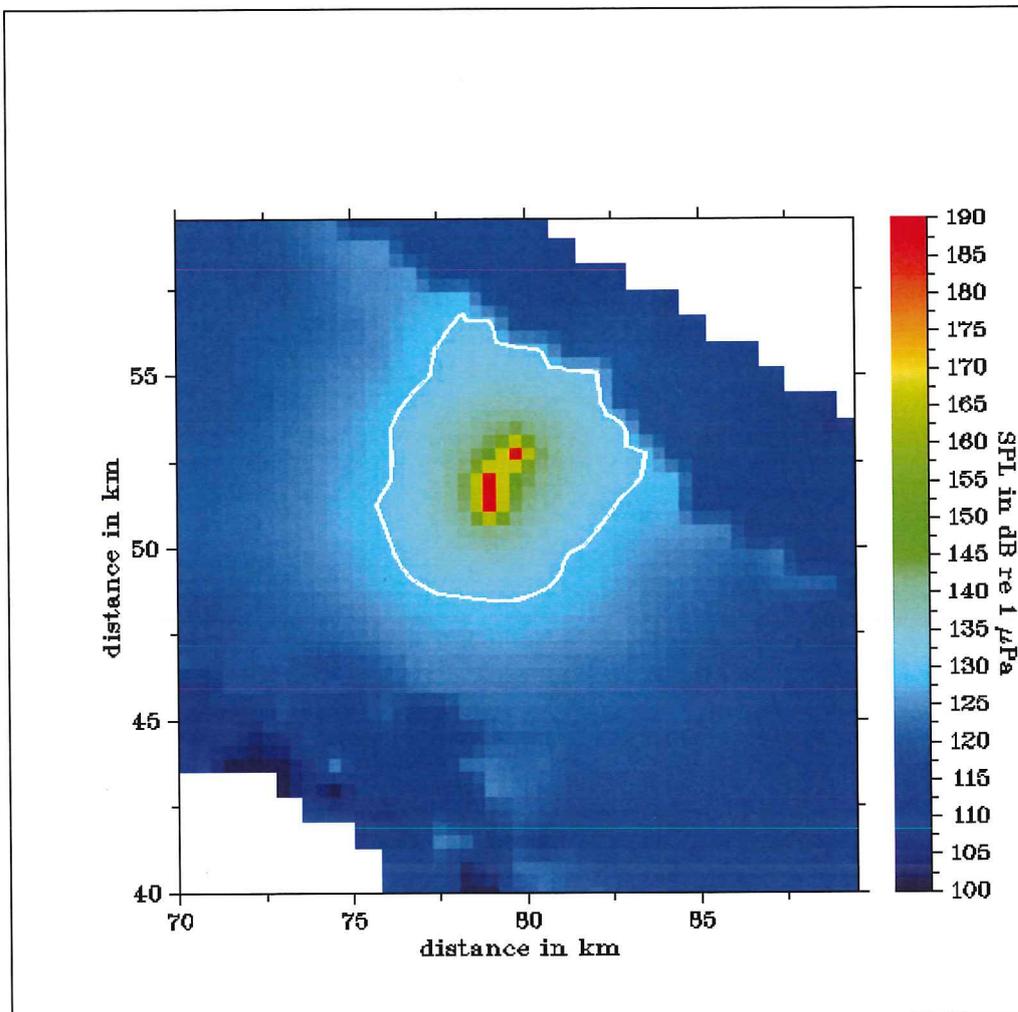
**Karte 8:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 2 (G3, D1), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger, 2 Schaufelbagger und zusätzlich 2 fahrende Transportbargen.



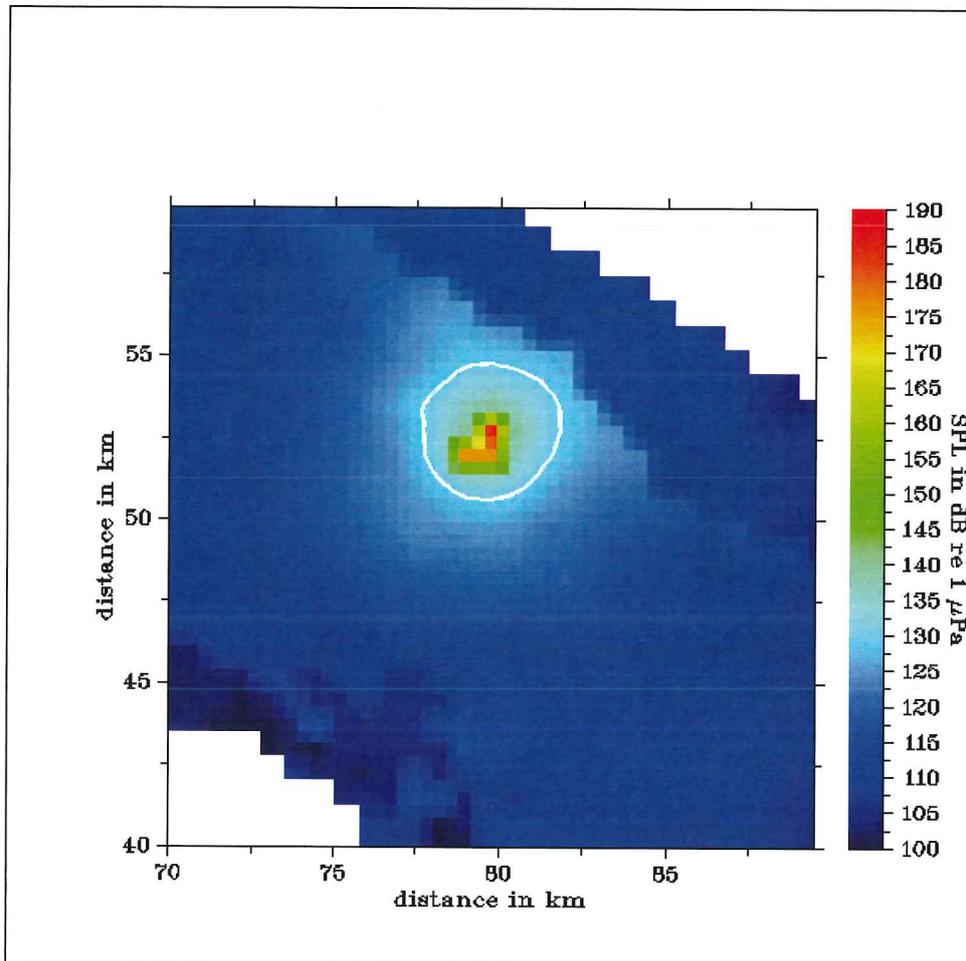
**Karte 9:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 2 (G3, D1), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger, 5 Greifbagger, 2 Schaufelbagger und 2 fahrende Transportbargen mit 130-dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



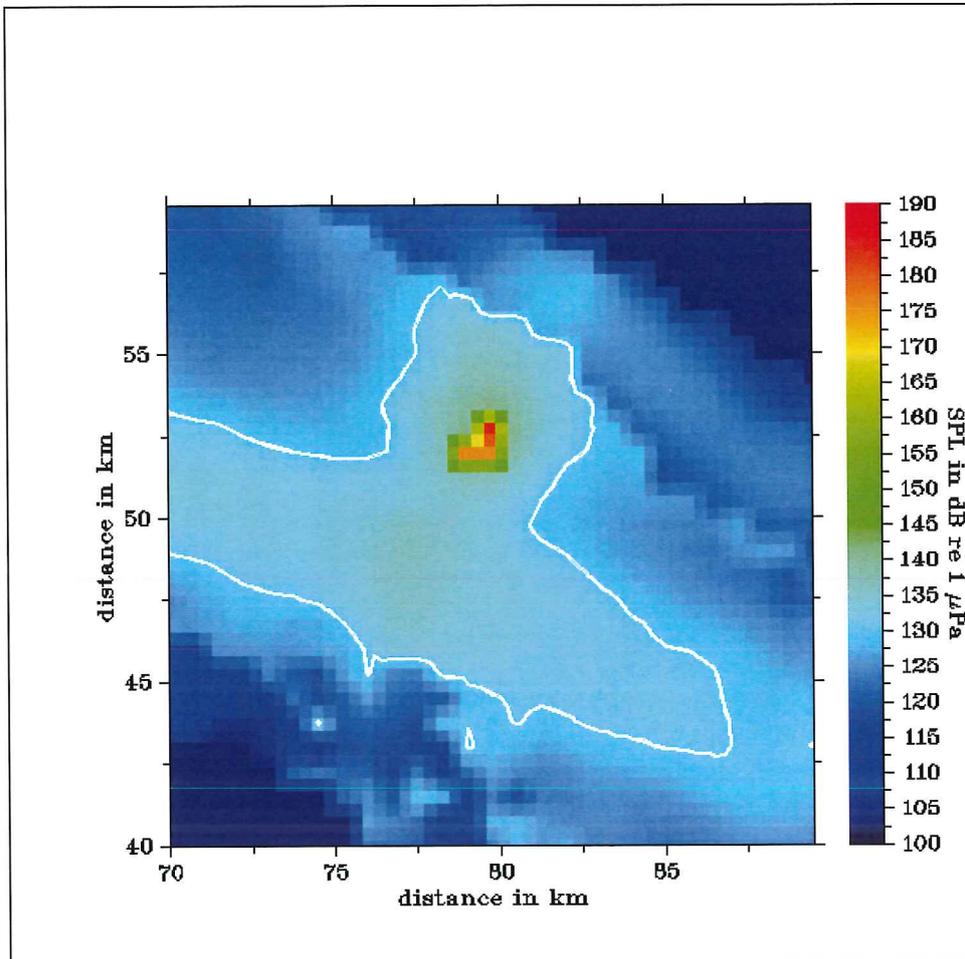
**Karte 10:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 6 (D2, D3) unter der Annahme, alle Bagger sind Laderaumsaugbagger (UVS-Fassung).



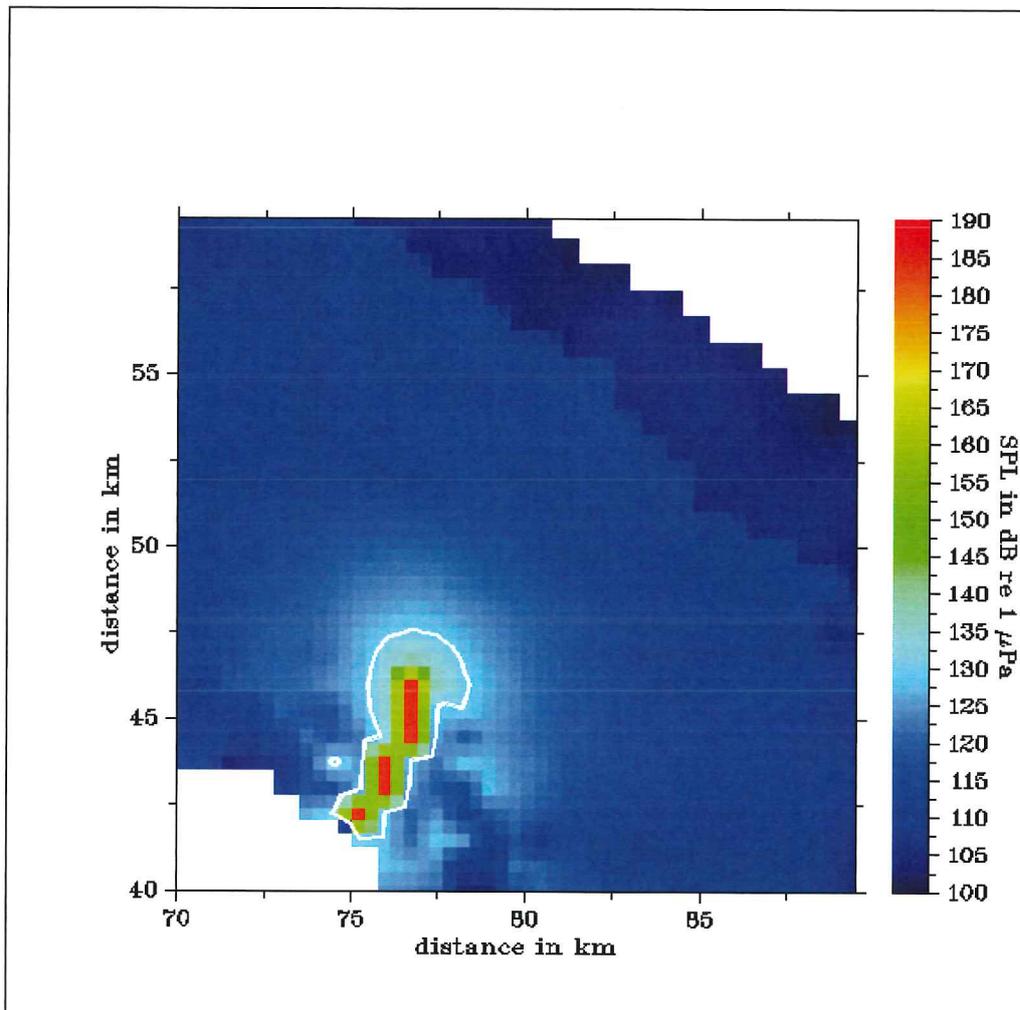
**Karte 11:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 6 (D2, D3), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger.



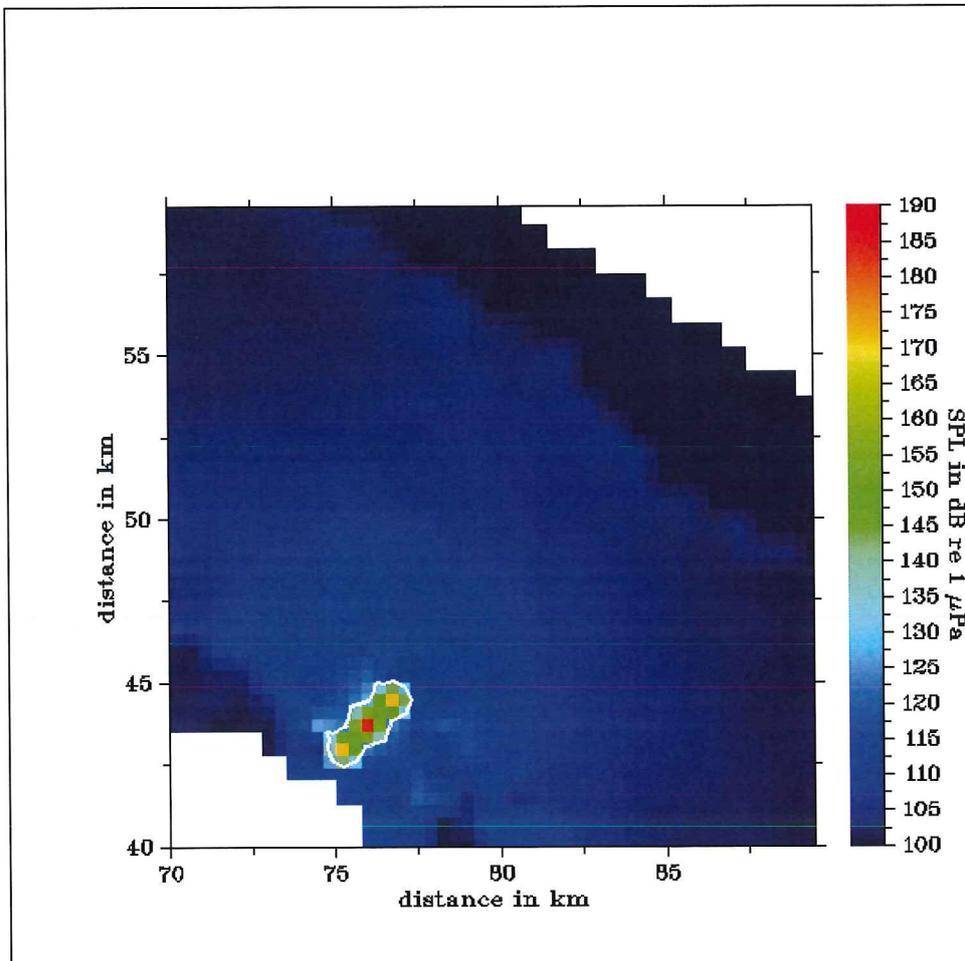
**Karte 12:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 6 (D2, D3), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



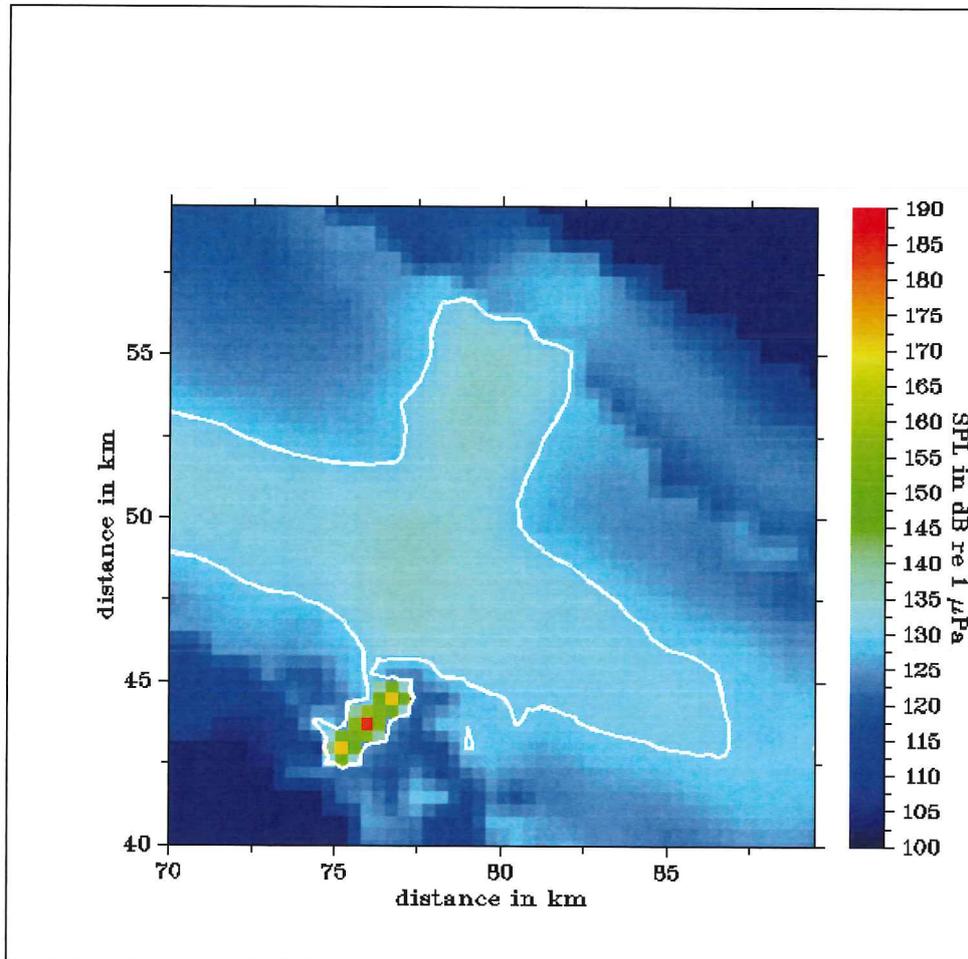
**Karte 13:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 7 (G1, G2, G3) unter der Annahme, alle Bagger sind Laderaumsaugbagger (UVS-Fassung).



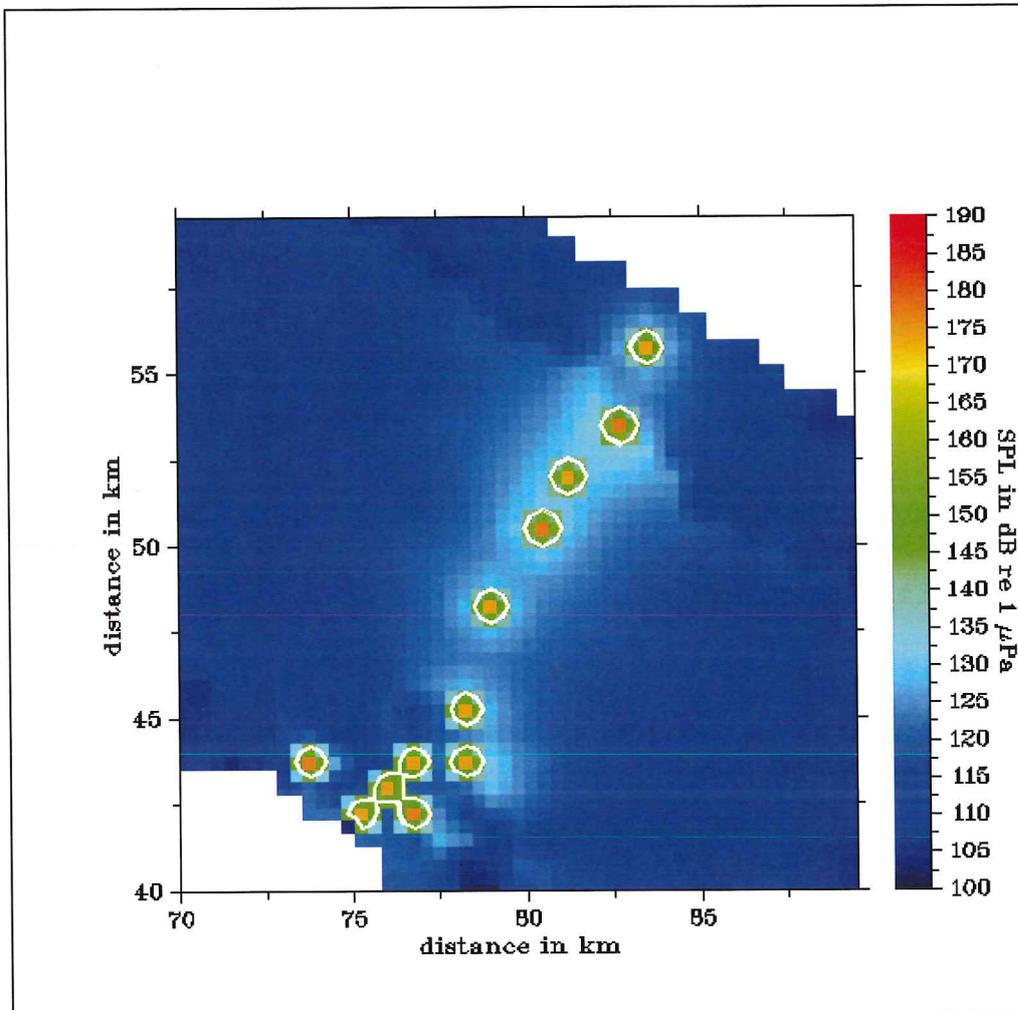
**Karte 14:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 7 (G1, G2, G3), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger.



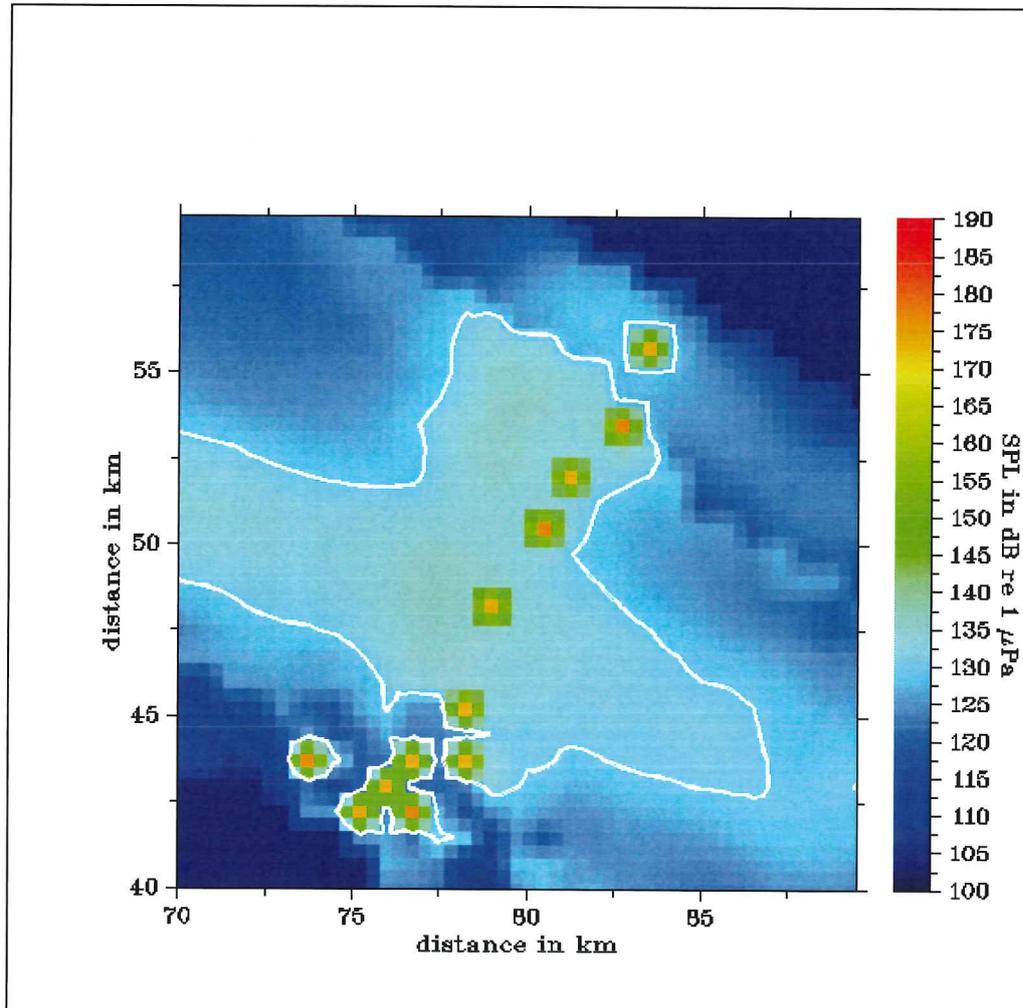
**Karte 15:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 7 (G1, G2, G3), modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



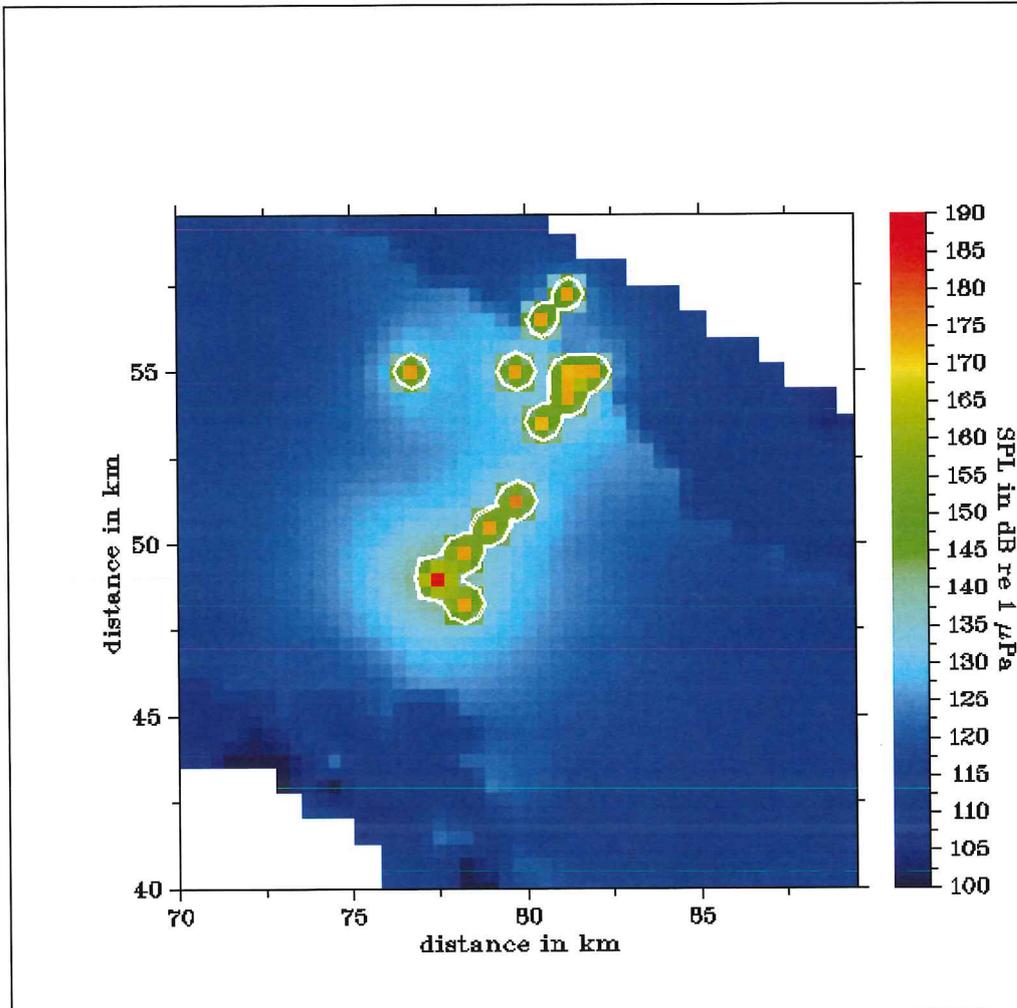
**Karte 16:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 1 (G1, G2), modelliert für 5 Greifbagger und 2 Schaufelbagger, sowie zusätzlich 11 Transportbargen/Hilfsschiffe und 2 Verkehrssicherungsschiffe. 9 Transportbargen/Hilfsschiffe befinden sich außerhalb der Arbeitsbereiche, 4 davon in Zellen mit 2 Bargen.



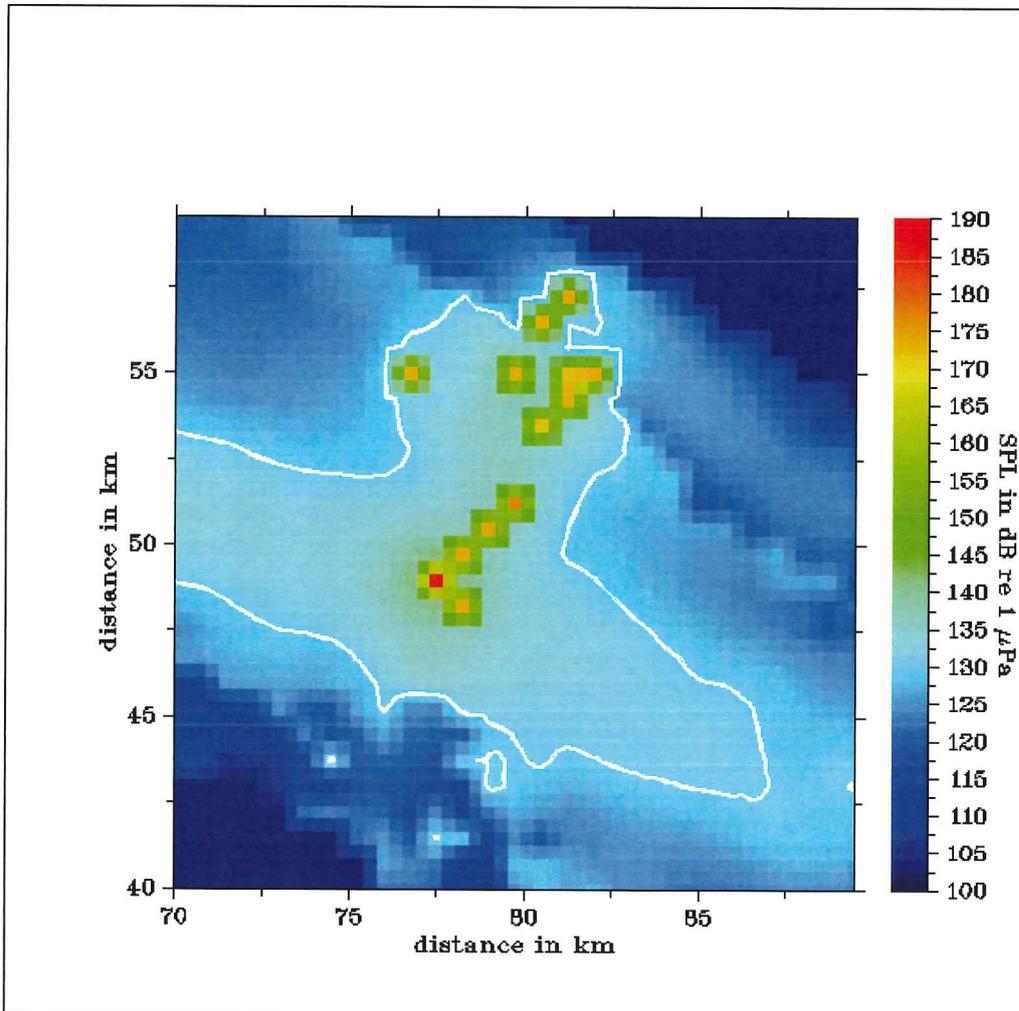
Karte 17: Wie Karte 14 mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



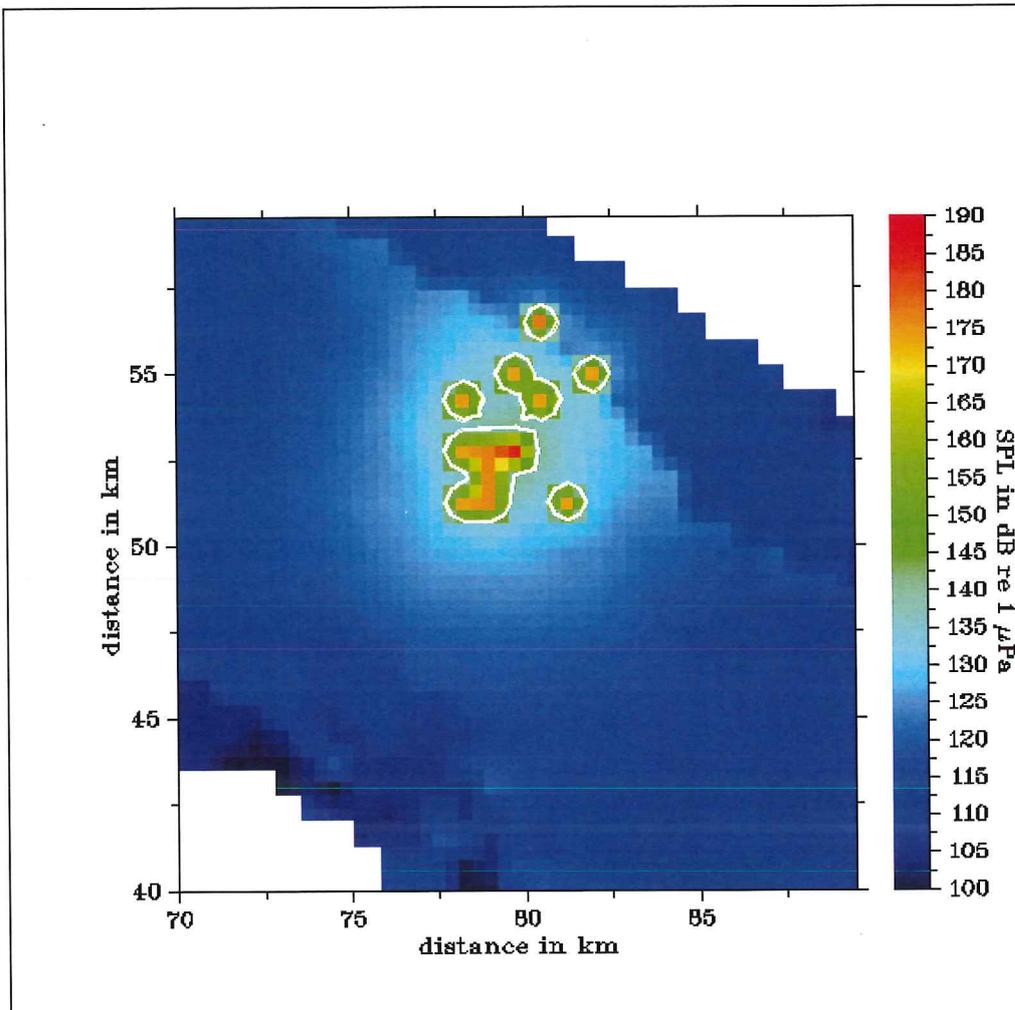
**Karte 18:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase 3, modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger sowie zusätzlich 9 Transportbargen/Hilfsschiffe und zwei Verkehrssicherungsschiffe.



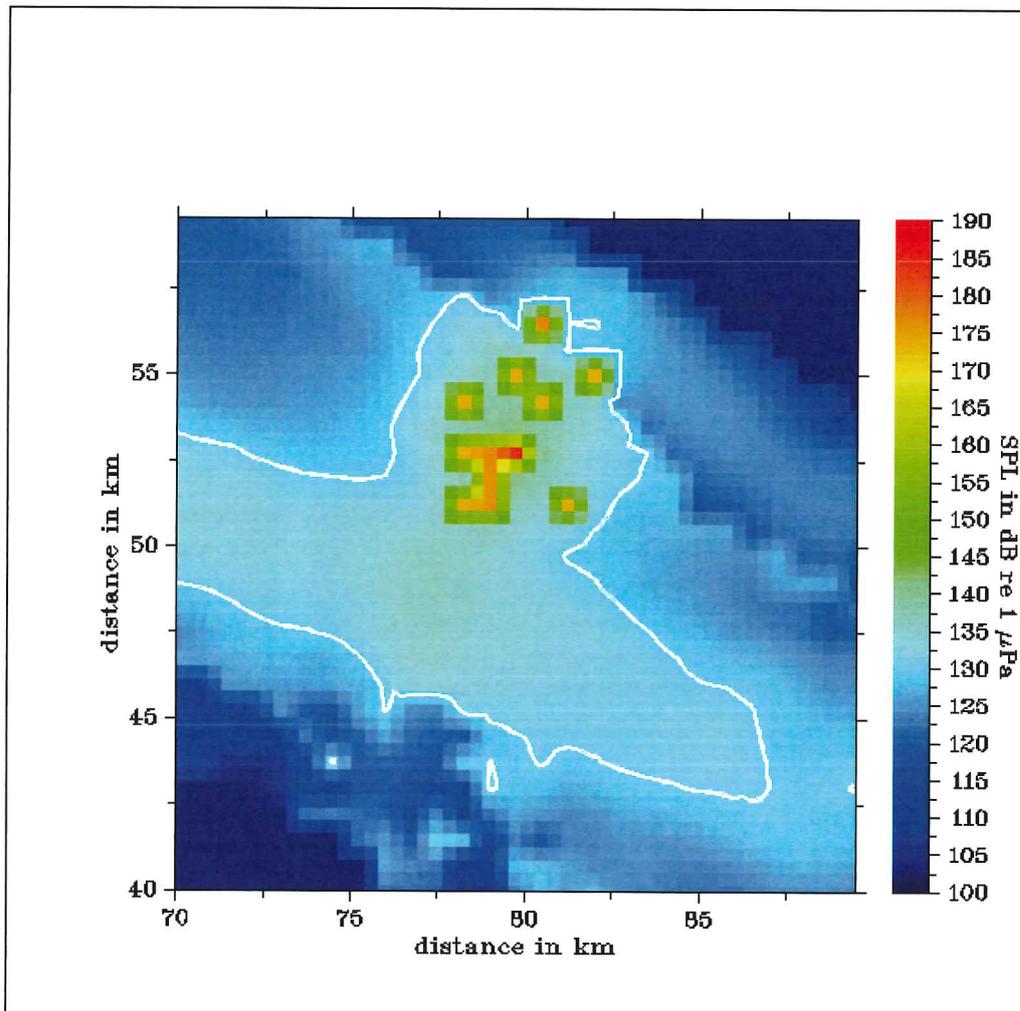
Karte 19: Wie Karte 16 mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



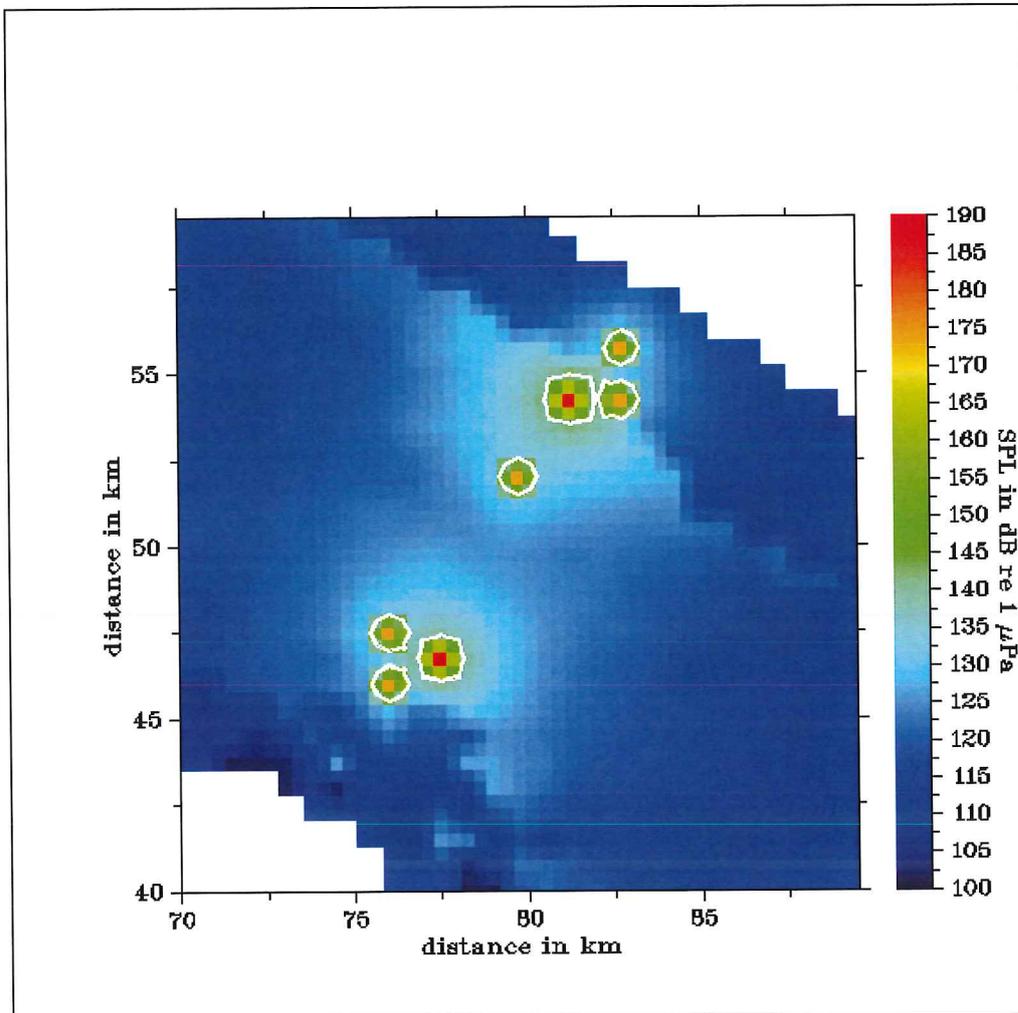
**Karte 20:** Schallimmissionen der Aushubarbeiten in Phase, 6 modelliert für 1 Laderaumsaugbagger und 5 Greifbagger, sowie zusätzlich 9 Transportbargen/Hilfsschiffe und zwei Verkehrssicherungsschiffe.



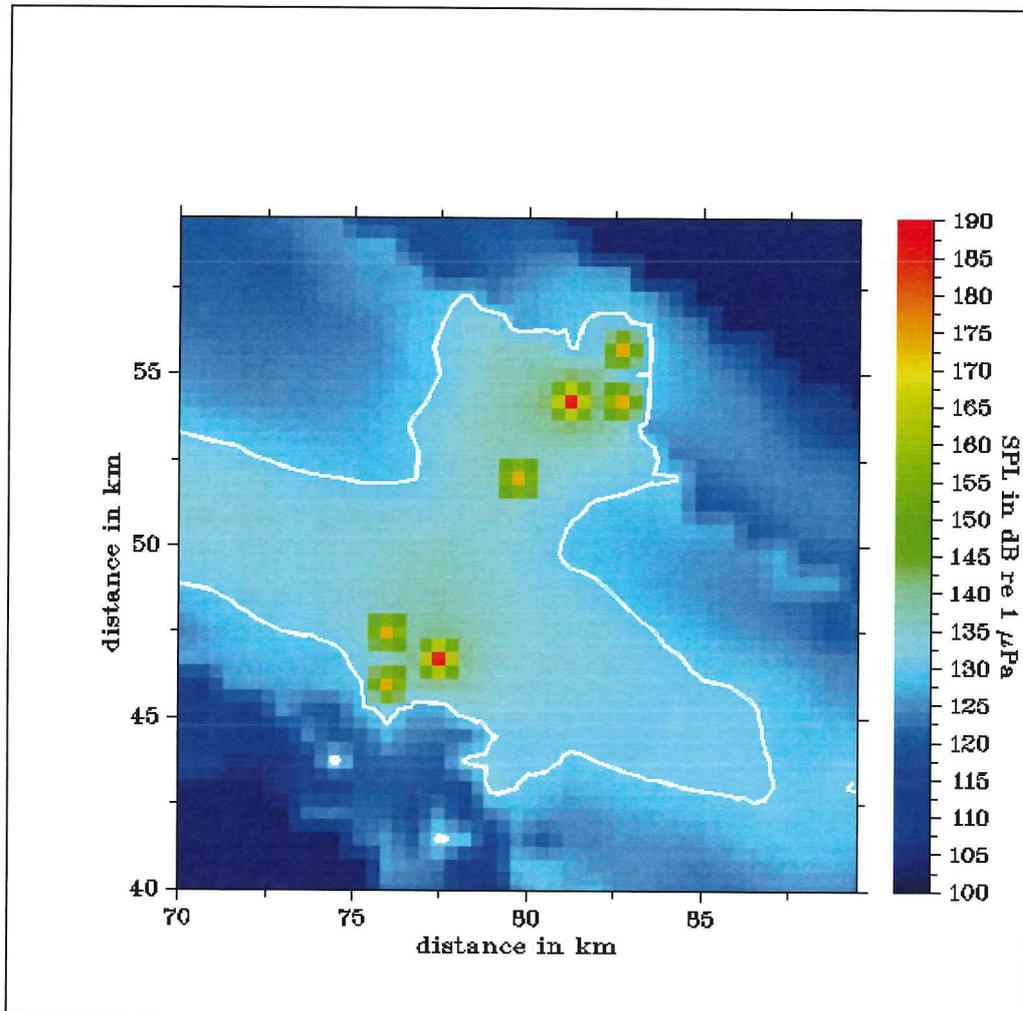
Karte 21: Wie Karte 18 mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



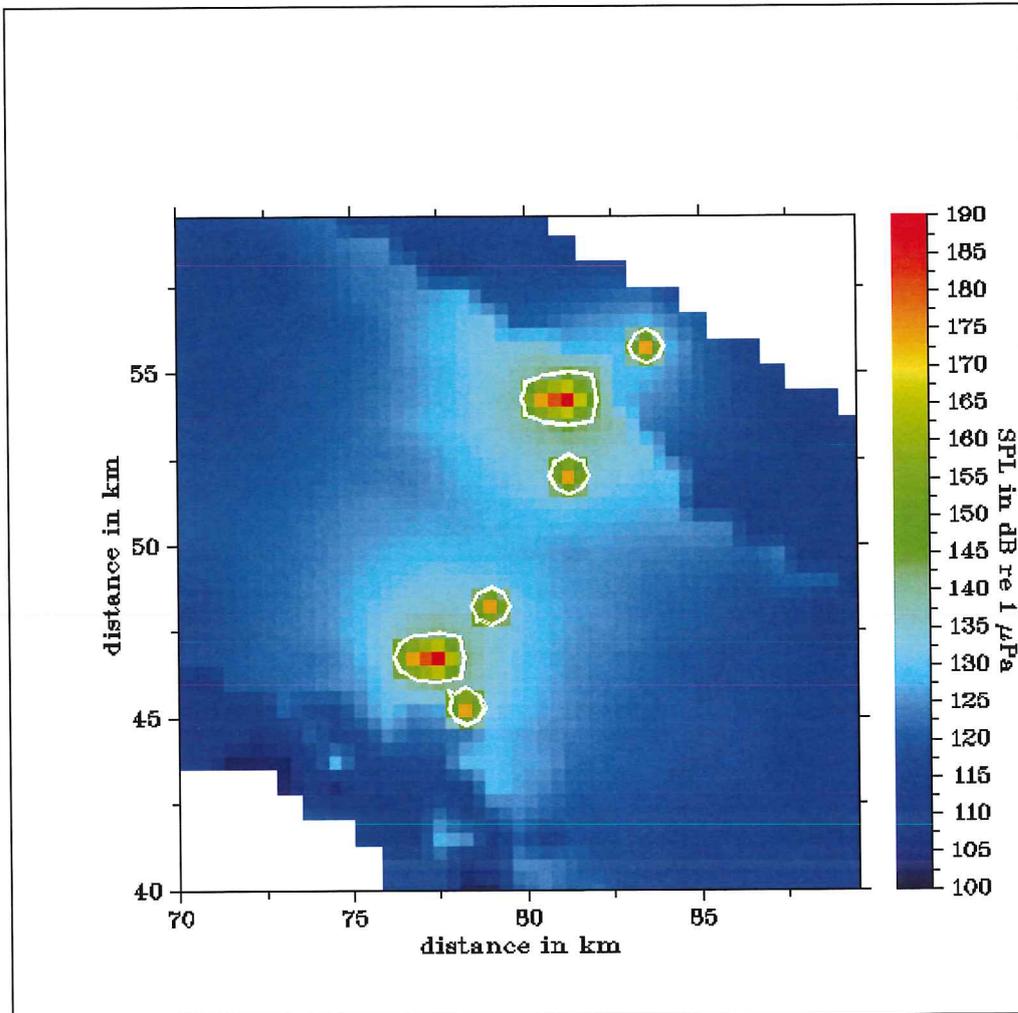
**Karte 22:** Herstellung Bettungsschicht mit 4 Schleppern an den beiden Steintransportern, 4 Verkehrssicherungsschiffen und einem Hilfsschiff.



Karte 23: Wie Karte 20 mit 130 dB-Kontur des mittleren Hintergrundschalls.



**Karte 24:** Verfüllung des Tunnelgrabens mit 4 Schleppern an den beiden Steintransportern, 2 Verkehrssicherungsschiffen und 4 Hilfsschiffen.



### 3. Schweinswal-Dichteverteilungen

Schweinswal-Dichteverteilungen (Sommer, Winter 2010) überlagert mit den Bereichen unterschiedlicher Schallexpositionspegel während der Arbeiten zur Errichtung des Absenktunnels. Für die Arbeiten zur Grabenherstellung werden alle Phasen, für die folgenden Arbeiten werden repräsentative Bauabschnitte dargestellt.

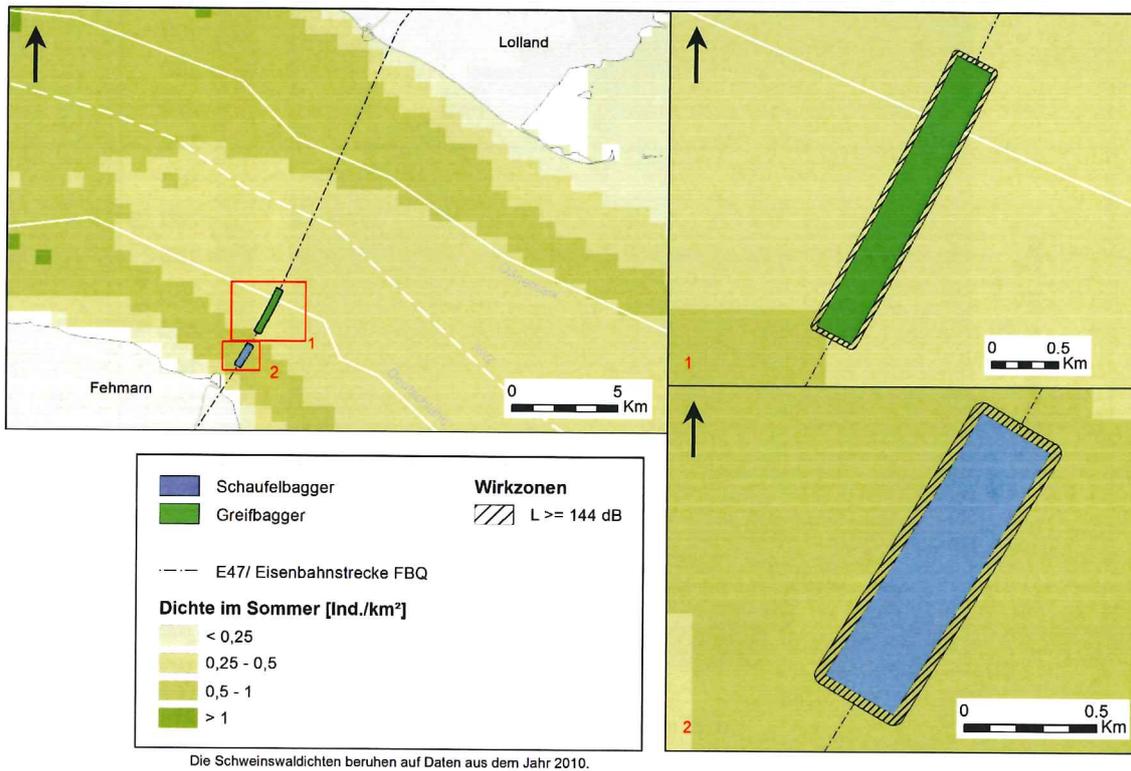


Abbildung 3-1 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 2. Monats.

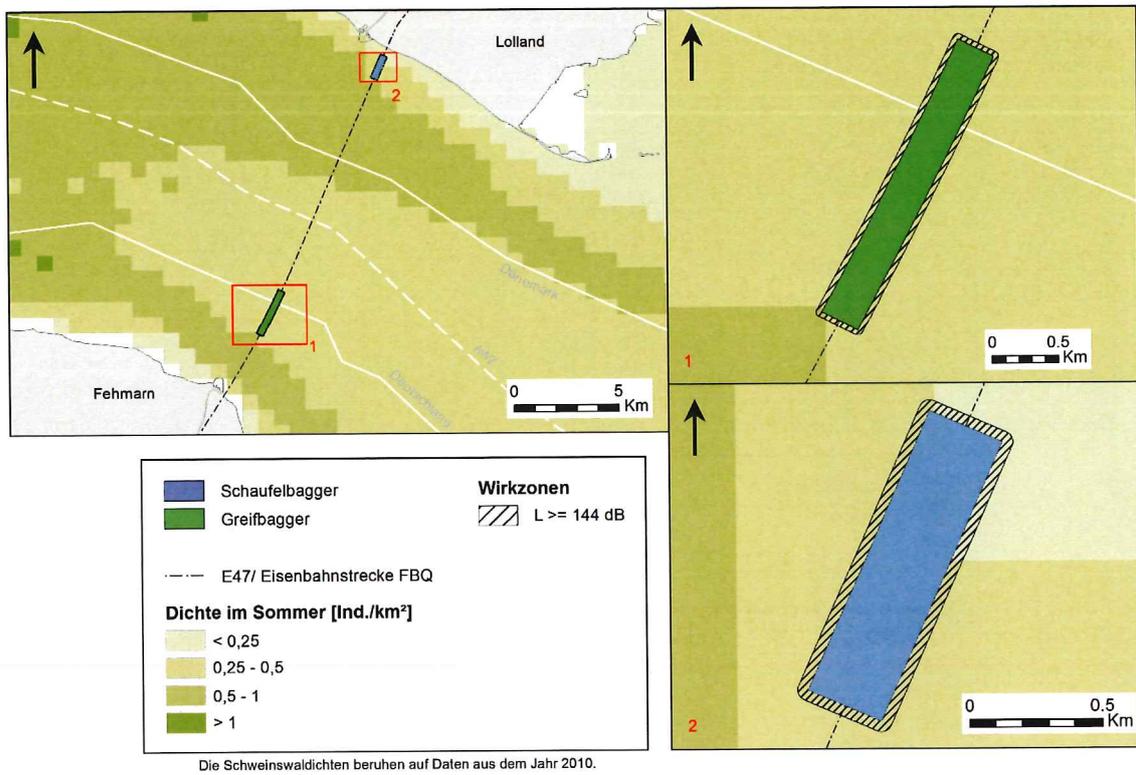


Abbildung 3-2 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 3. und 4. Monats.

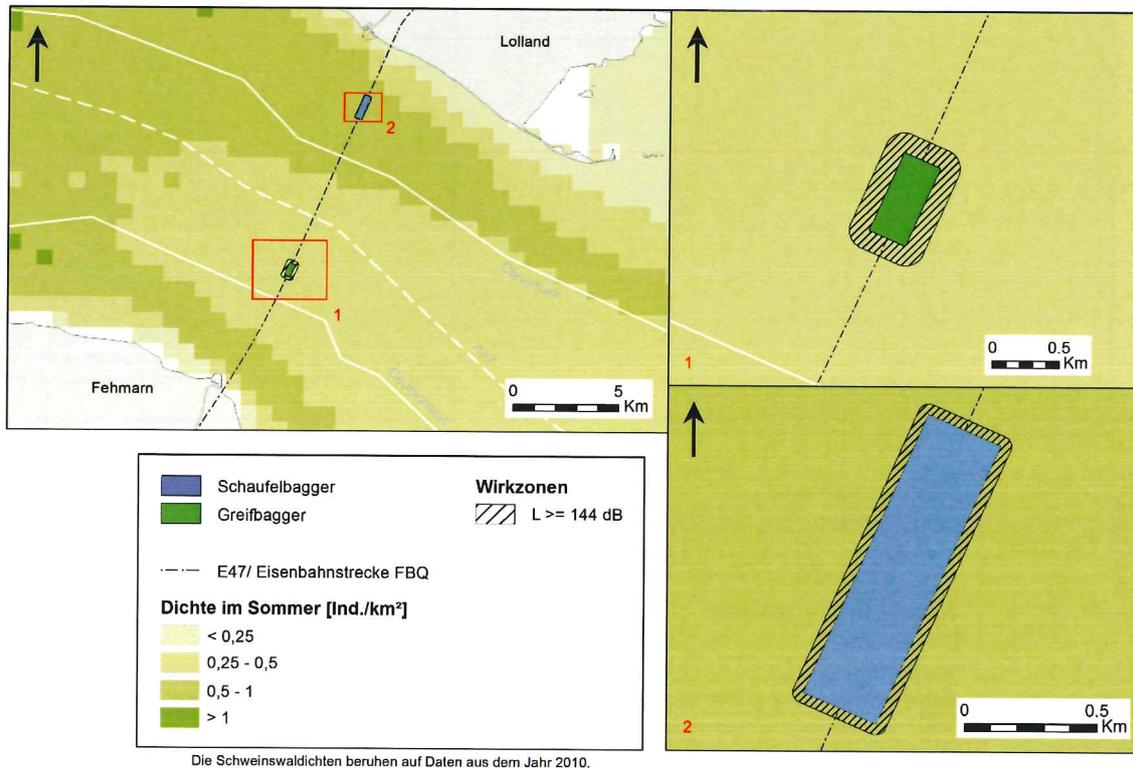


Abbildung 3-3 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 5. und 6. Monats.

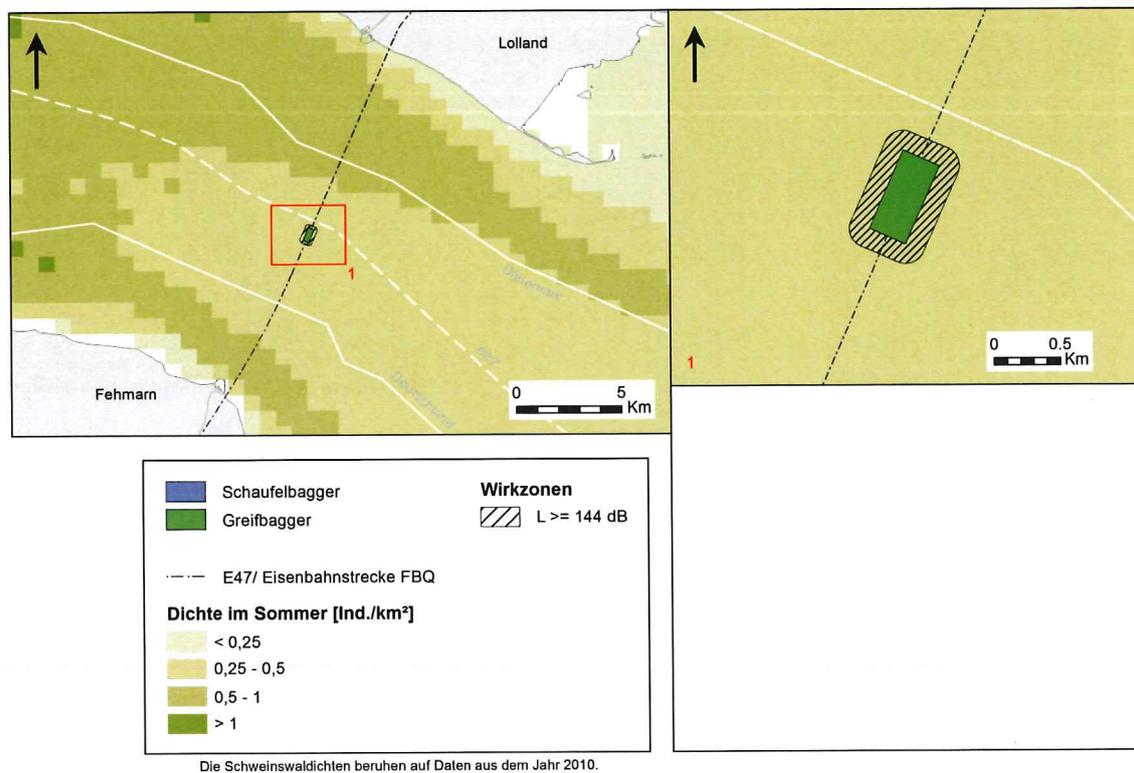


Abbildung 3-4 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 9. Monats.

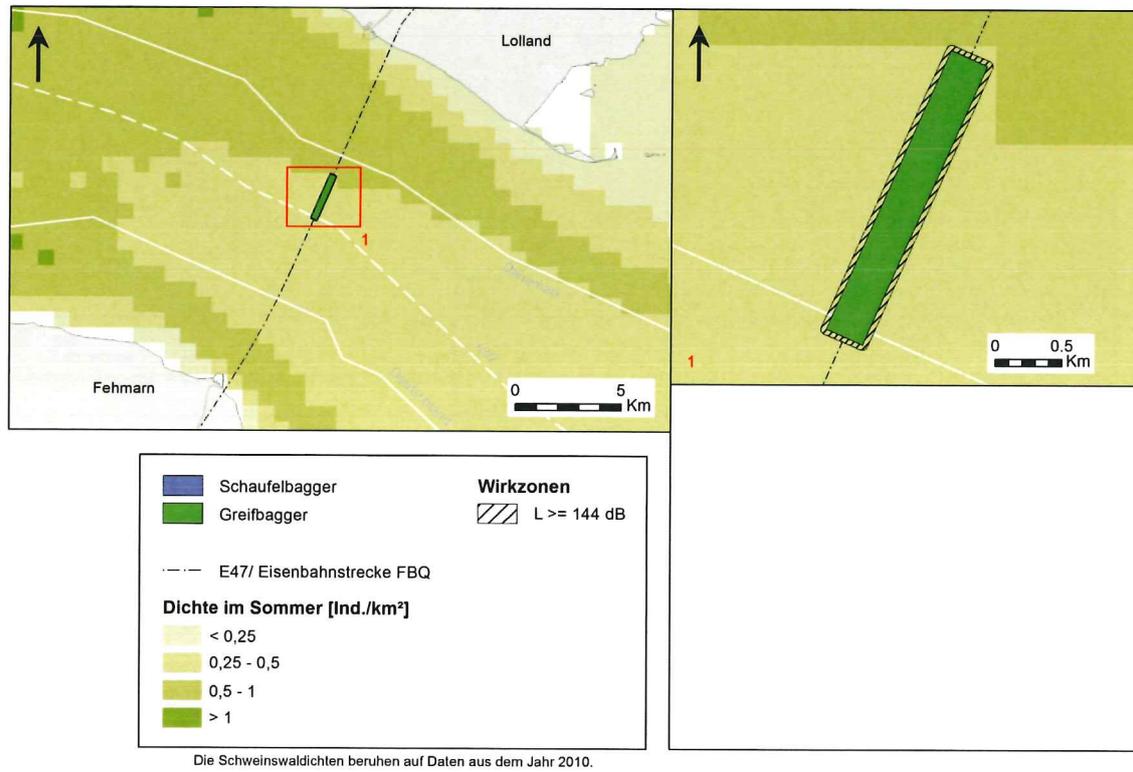
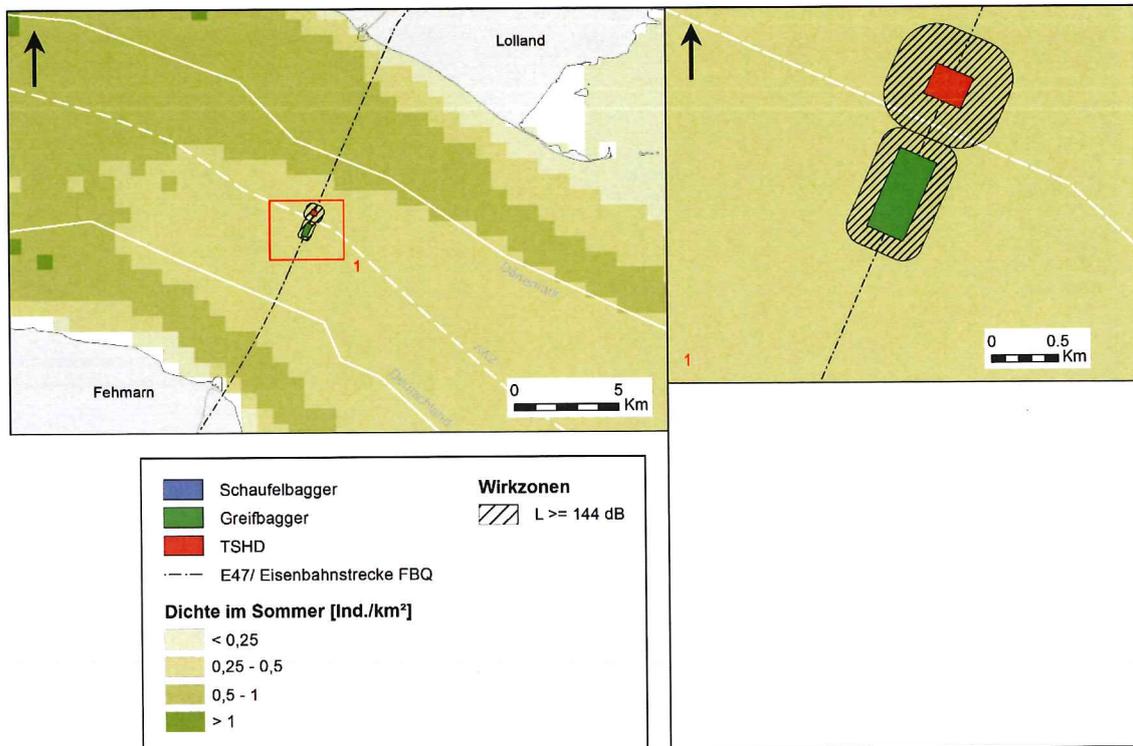


Abbildung 3-5 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 10. Monats.



Die Schweinswaldichten beruhen auf Daten aus dem Jahr 2010.

Abbildung 3-6 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 11. Monats.

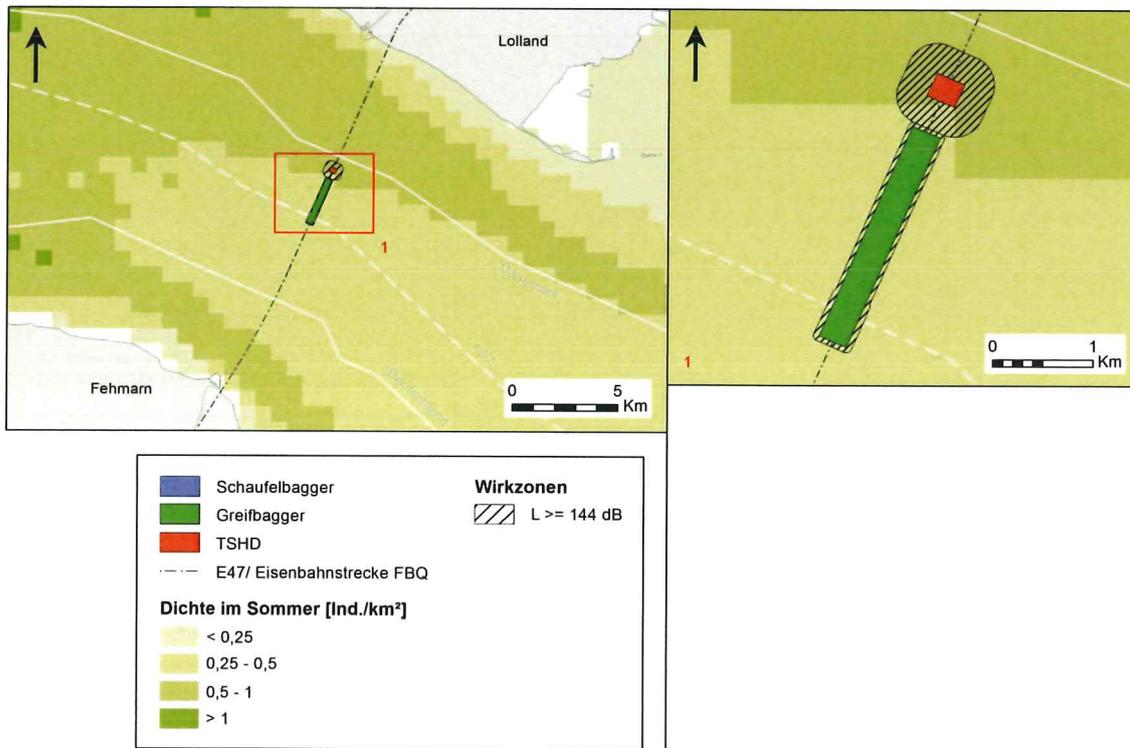


Abbildung 3-7 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 12. und 13. Monats.

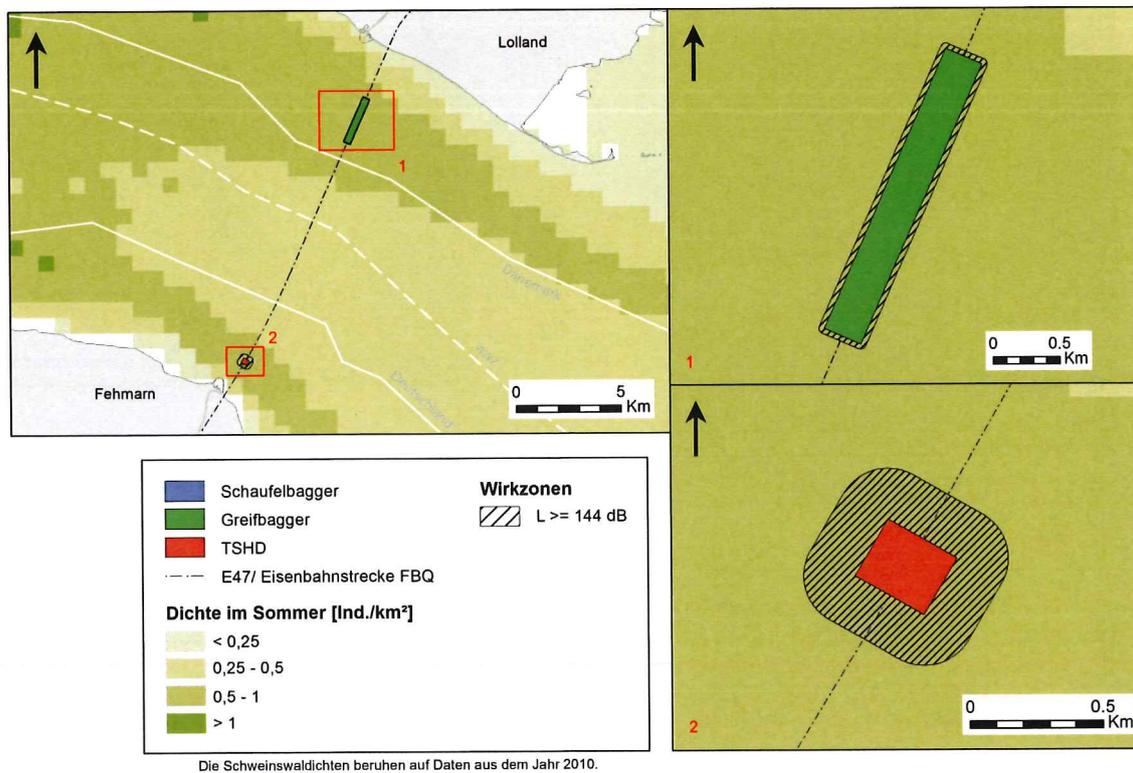


Abbildung 3-8 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 15. Monats.

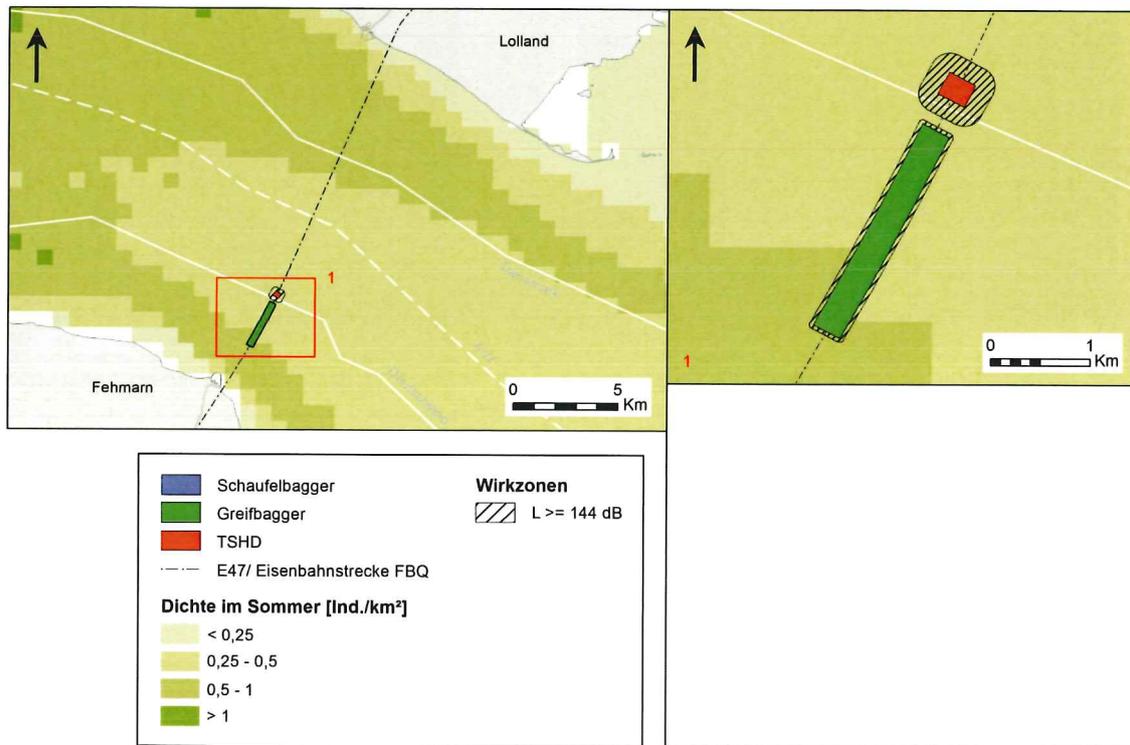


Abbildung 3-9 Arbeiten zur Grabenherstellung im Bauabschnitt des 16. und 17. Monats.

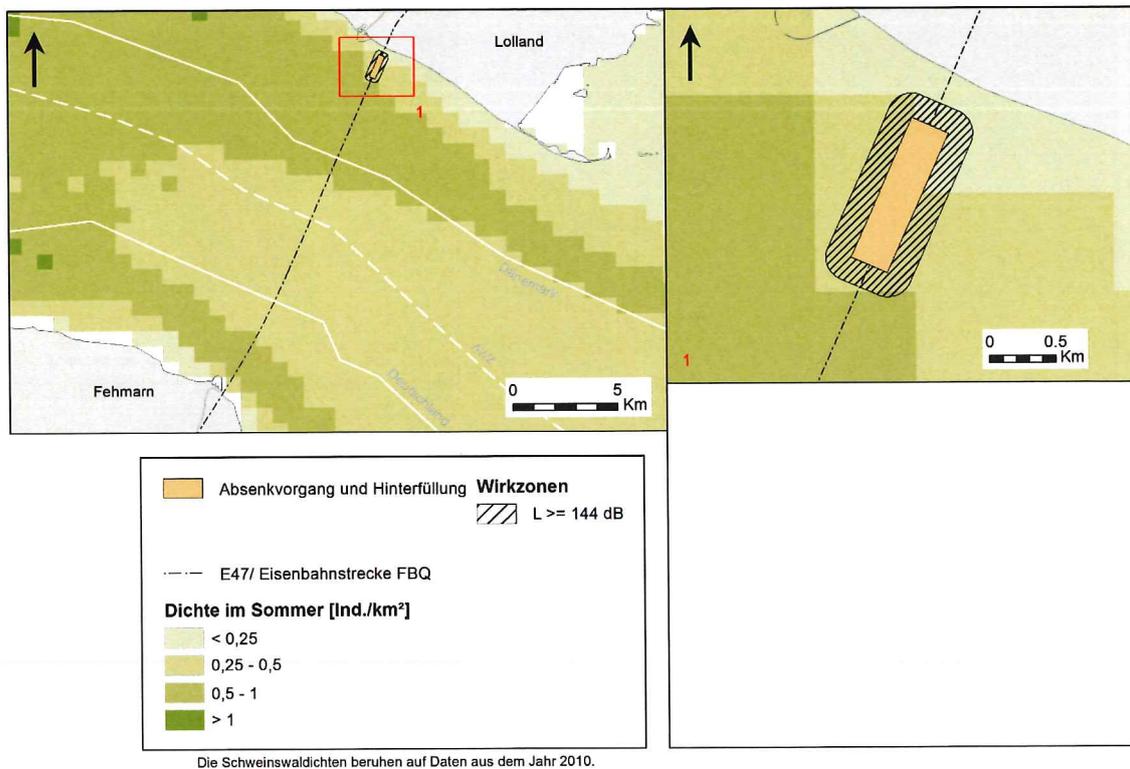


Abbildung 3-10 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 16. und 19. Monats.

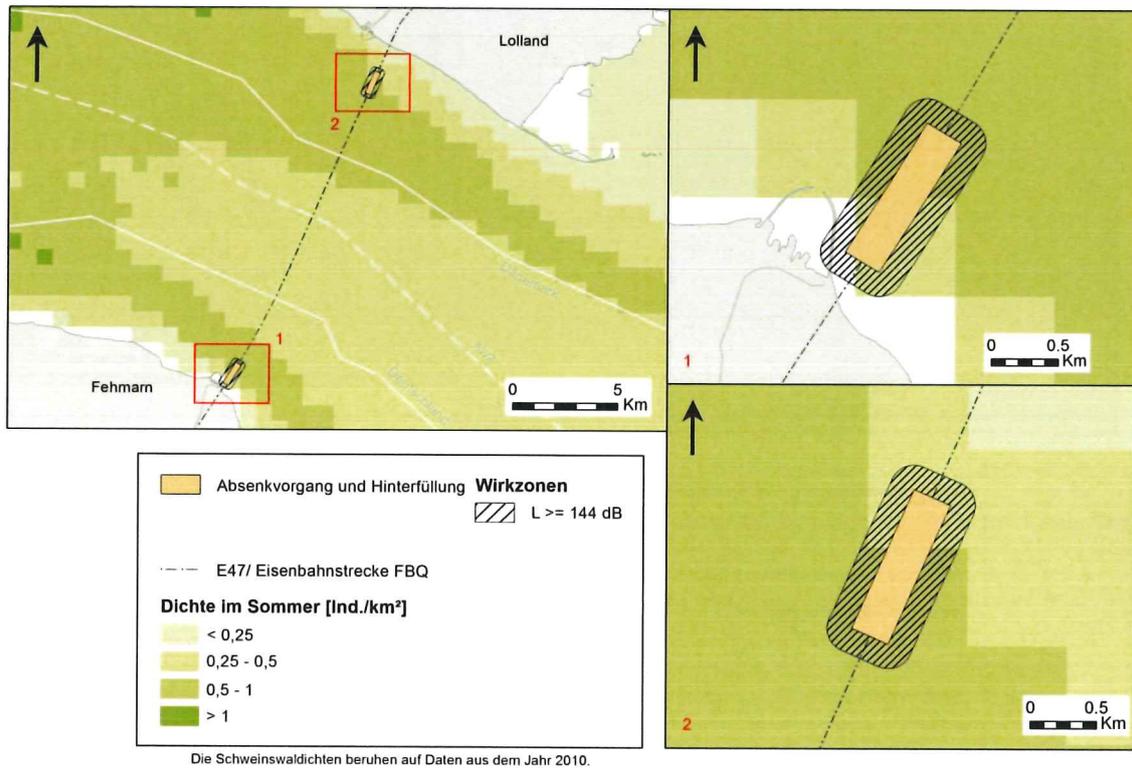


Abbildung 3-11 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 24. und 25. Monats.

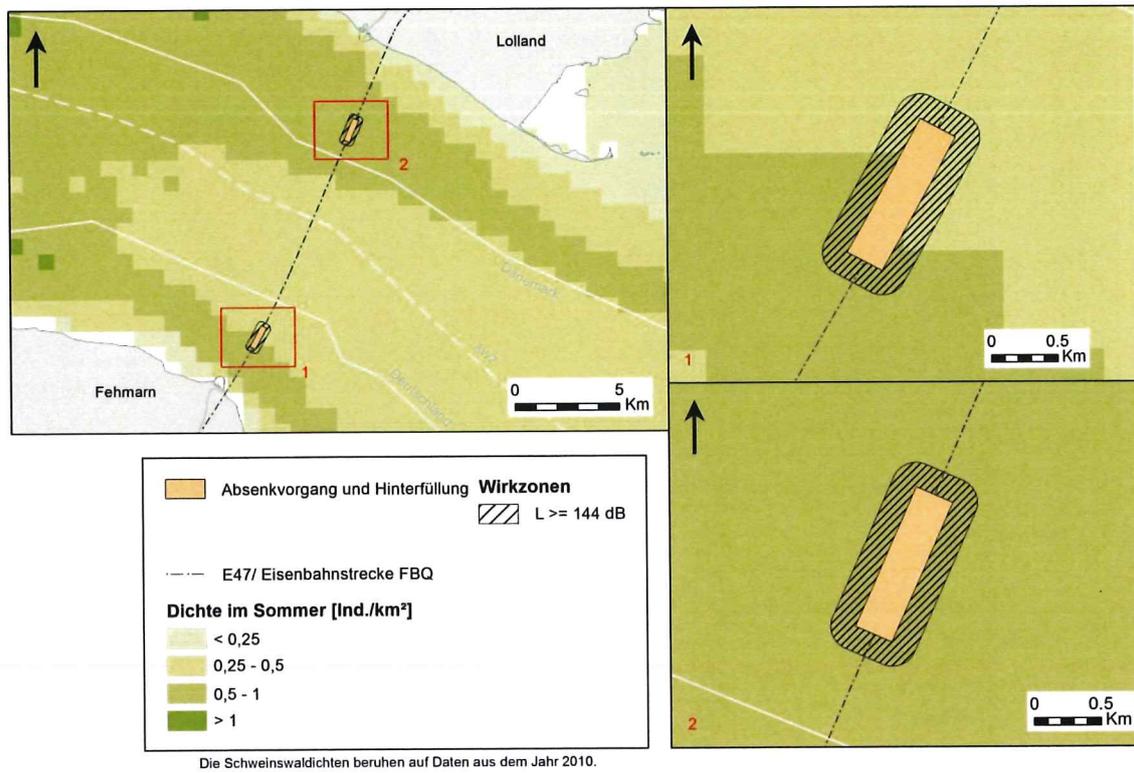


Abbildung 3-12 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 34. Monats.

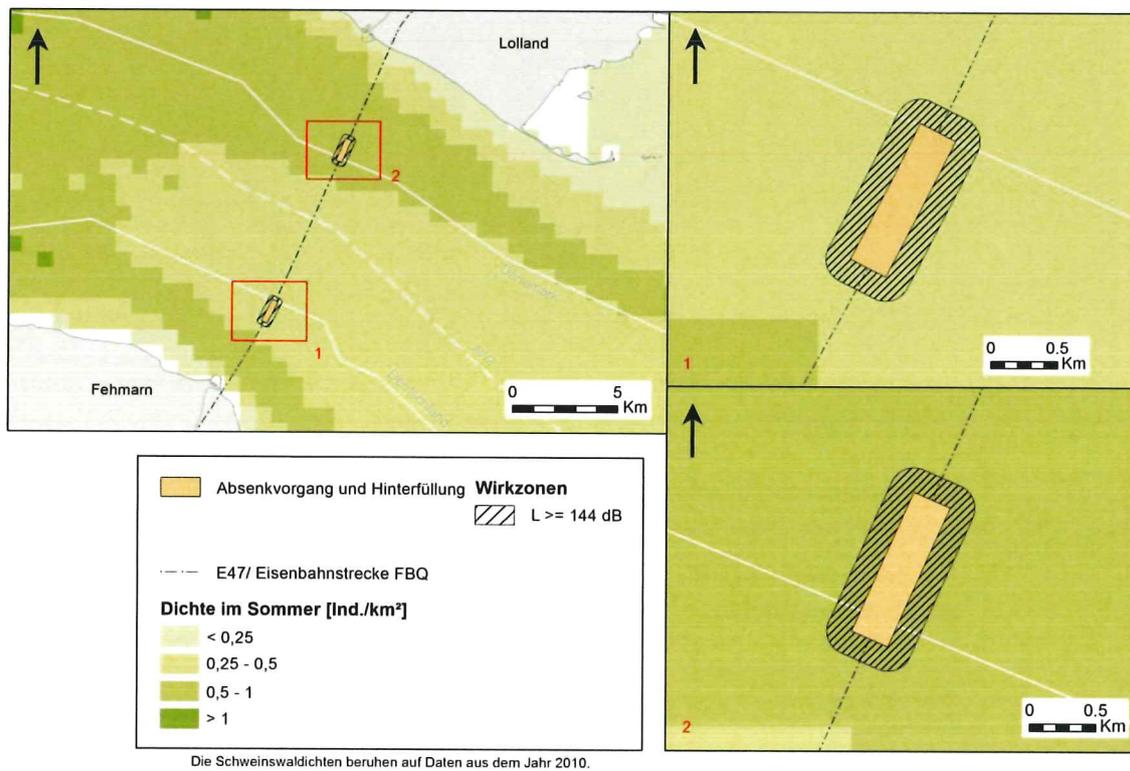


Abbildung 3-13 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 38. Monats.

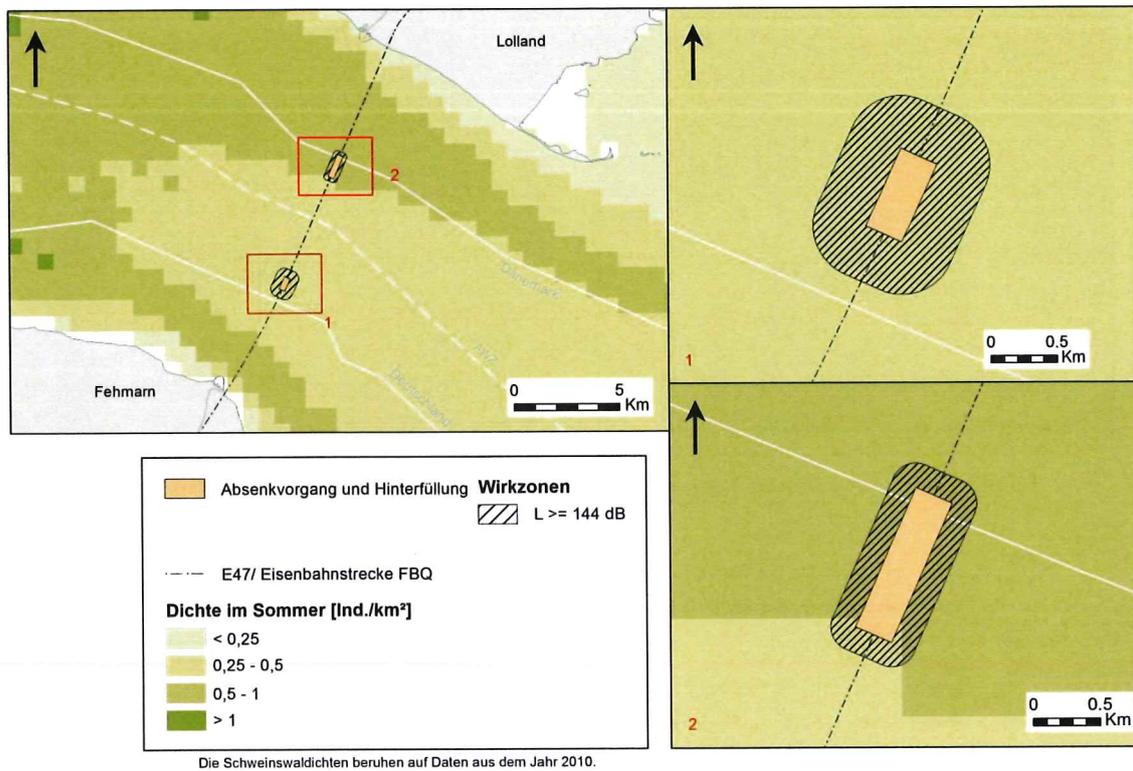


Abbildung 3-14 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 42. Monats.

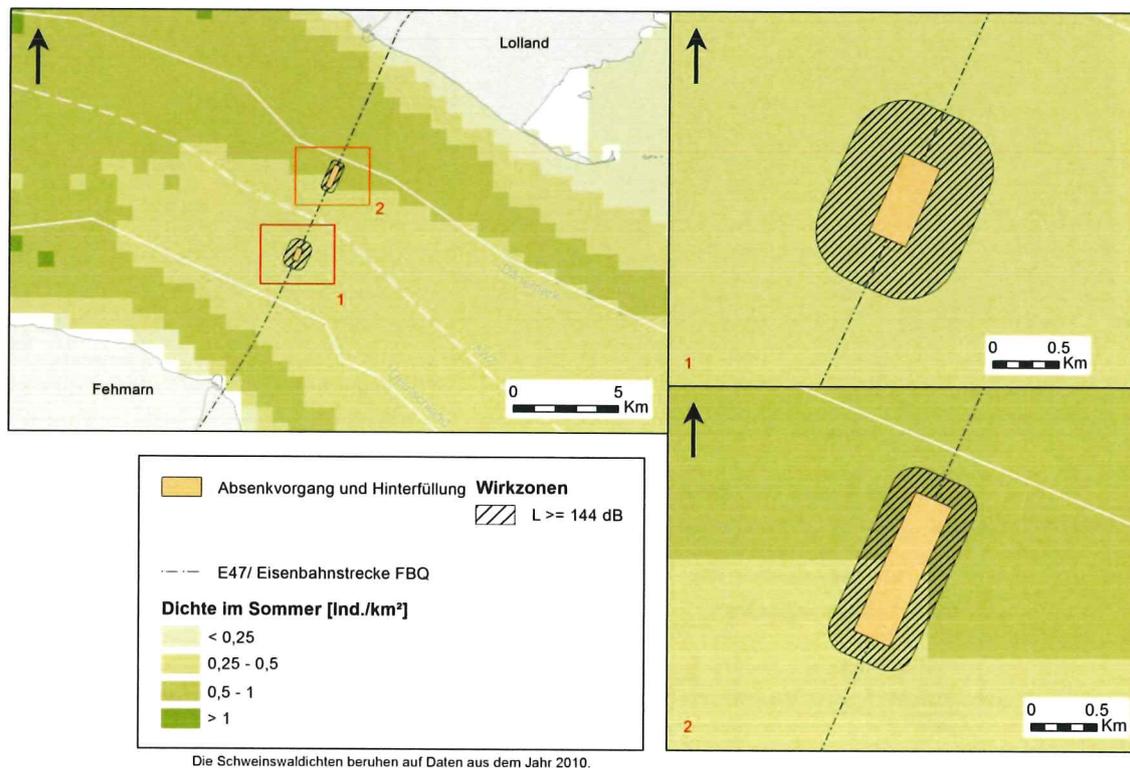


Abbildung 3-15 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 46. Monats.

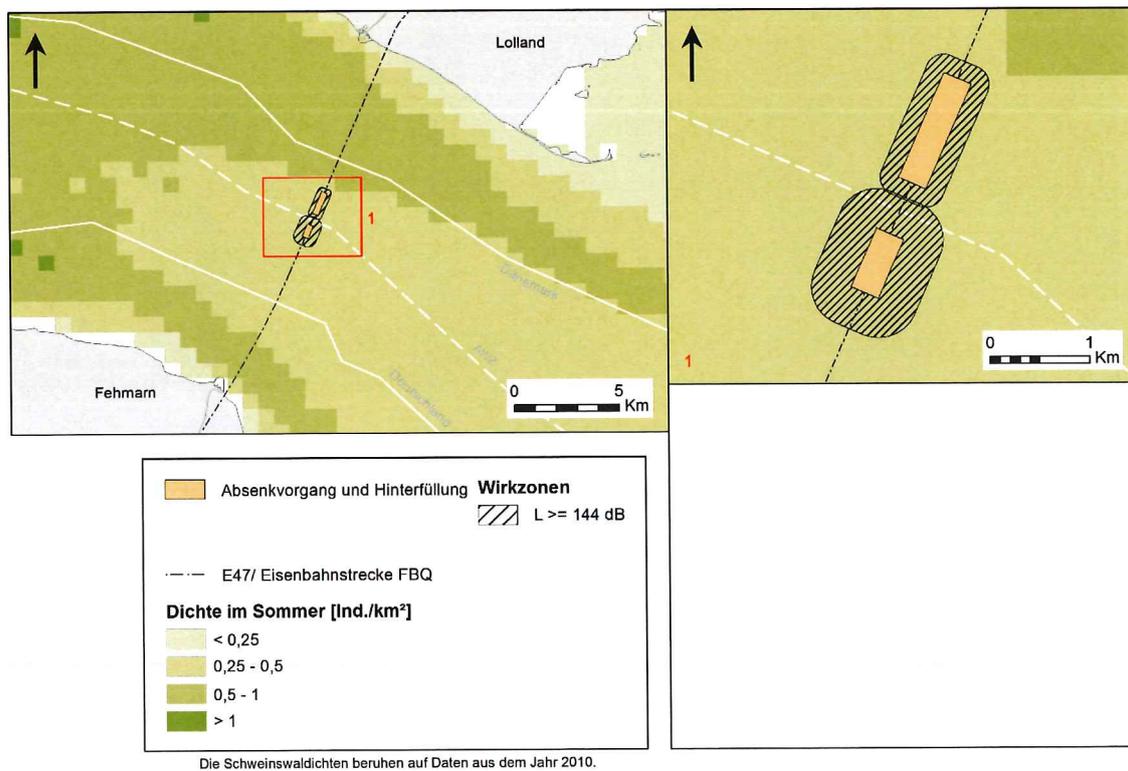


Abbildung 3-16 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 51. Monats.

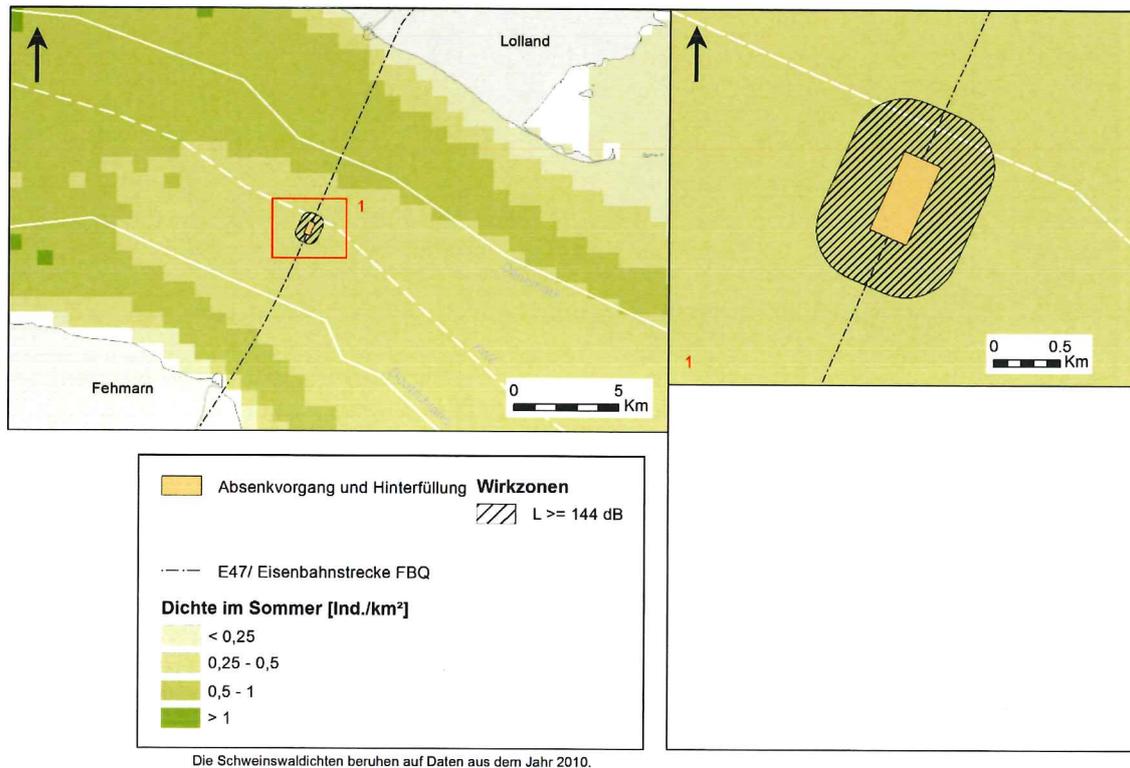


Abbildung 3-17 Absenkvorgänge und Hinterfüllung im Bauabschnitt des 54. Monats.

## 4. Literatur

- BMU (2013): Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept). [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/awz/Dokumente/schallschutzkonzept\\_BMU.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/awz/Dokumente/schallschutzkonzept_BMU.pdf)
- BSH (2011): Offshore-Windparks. Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen. Aktuelle Vorgehensweise mit Anmerkungen. Anwendungshinweise. <http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Standard/Messvorschrift.pdf>
- DIN 45645-1 (1996): Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Beuth Verlag, Berlin
- Evans PGH (1996): Human disturbance of cetaceans. In: N. Dunstone, V. Taylor (eds) The exploitation of mammals – principals and problems underlying their sustainable use. Cambridge: Cambridge University Press, p 374–394
- Reine, K. J., D. Clarke C. Dickerson (2012): Characterization of Underwater Sounds Produced by a Backhoe Dredge Excavating Rock and Gravel. DOER Technical Notes Collection. ERDC TN-DOER-E35. Vicksburg, MS: US Army Engineer Research and Development Center.
- Reine, K. J., D. Clarke, C. Dickerson & G. Wikel (2014a): Characterization of Underwater Sounds Produced by Trailing Suction Hopper Dredges During Sand Mining and Pump-out Operations. Environmental Laboratory, ERDC/EL TR-14-3.
- Reine, K. J., D. Clarke C. Dickerson (2014b): Characterization of underwater sounds produced by hydraulic and mechanical dredging operations. JASA 135: 3280-3294.
- Richardson WJ, Greene CR Jr., Malme CI, Thomson DH (1995): Marine Mammals and Noise, Academic Press
- Robinson SP, Theobald PD, Hayman G, Wang LS, Lepper PA, Humphrey V, Mumford S (2011): Measurement of noise arising from marine aggregate dredging operations - MALSF (MEPF Ref no. 09/P108)
- Thomsen F, McCully SR, Wood D, White P, Page F (2009): A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters: PHASE 1 Scoping and review of key issues, Aggregates Levy Sustainability Fund / Marine Environmental Protection Fund (ALSF/MEPF), Lowestoft, UK
- Ward P (2012): Underwater noise impact study in support of the Oyster Wave Energy project, Isle of Lewis, Kongsberg report, Doc ref. 250121-TR-0005-V1.

