

# PlaNet SimTech Wettbewerb

Team-ID: 1895

In der Nordsee soll in Zukunft vermehrt CO<sub>2</sub> im Untergrund verpresst werden. Obwohl diese Verfahren gut untersucht sind, besteht trotzdem das Risiko, dass es zu spontanen Erdsenkungen kommt, die damit einen Tsunami auslösen würden.

**FRAGE: Wie und wie schnell kann man in der touristischen Hochsaison von Sylt alle Menschen, Haus- und Nutztiere komplett evakuieren, wenn „von jetzt auf gleich“ evakuiert werden müsste?**

# Inhaltsverzeichnis

## **1. Zusammenfassung**

## **2. Einführung in die Thematik**

## **3. Hauptteil**

3.1 Berechnung der Menschen- und Tieranzahl

3.2 Berechnung der Eckdaten des Tsunami

3.4 Mögliche Lösungsansätze

3.4.1 Evakuierung auf die Uwe-Düne

3.4.2 Evakuierung mit Schiffen

3.4.3 Evakuierung mit Zügen

3.4.4 Verworfenen Ideen

3.5 Dauer bis zur vollständigen Evakuierung

## **4. Schlussfolgerungen**

## **5. Literaturverzeichnis**

## 1. Zusammenfassung

Wir haben einen Plan entwickelt, welcher es den Menschen und Tieren auf Sylt erlaubt, sich innerhalb von höchstens 360 Minuten im Falle eines Tsunamis in Sicherheit zu bringen. Dies erfordert allerdings sehr ausgereifte Frühwarnsysteme, da sonst nicht alle rechtzeitig evakuiert werden können. Dafür nutzen wir eine Kombination aus drei Evakuierungsarten: Die Evakuierung auf eine Düne, mit Schiffen und mit dem Zug.

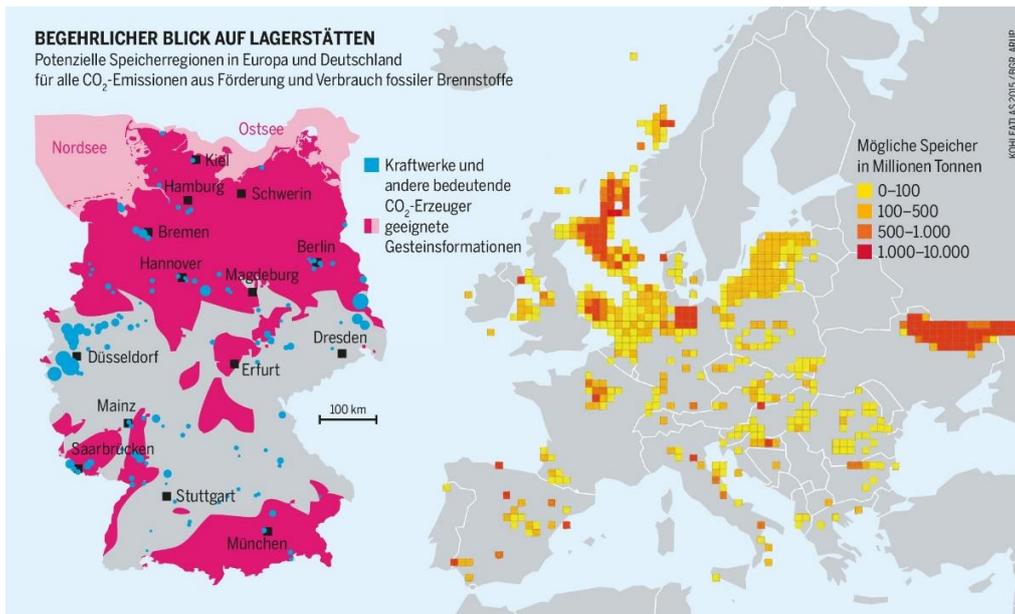
## 2. Einführung in die Thematik

Die Ferieninsel Sylt, welches die viertgrößte Insel Deutschlands und die größte deutsche Nordseeinsel ist, liegt zwischen 9 und 16 Kilometer vom Festland entfernt. Vor allem in den Sommermonaten Juni bis August zieht sie viele Touristen mit ihren wunderschönen Stränden, ihrer beeindruckenden Natur und der exklusiven Atmosphäre an.

Aufgrund der drohenden Klimakrise, plant die Industrie CO<sub>2</sub>-Emissionen unterirdisch zu lagern und im Boden zu verpressen, um vor allem Kohlekraftwerke klimafreundlicher zu machen. Dieses System heißt auch "Carbon Capture and Storage" (CCS). Es bedeutet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Carbon) aus Kraftwerken oder Industrieprozessen aufzufangen (Capture) und in geologischen Formationen tief unter der Erde zu speichern (Storage). Viele Wissenschaftler hoffen durch CCS die Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre zu bremsen oder sogar die Kohlendioxidkonzentration zu reduzieren.

Vor allem in der Nordsee bietet sich dieses Verfahren an. Obwohl es gut untersucht ist, besteht trotzdem das Risiko, dass es zu spontanen Erdsenkungen kommt, die damit einen Tsunami auslösen würden. Drohende Tsunamis haben einen großen Einfluss auf das Sicherheitsgefühl der Bewohner und Touristen von Sylt. Dadurch entstehen auch finanzielle Einbußen in der Hochsaison.

So ist es unsere Intention einen möglichst schnellen, sicheren und kosteneffizienten Plan zu entwerfen, um in einer Krisensituation alle Menschen, Haus- und Nutztiere komplett zu evakuieren.



### 3. Hauptteil

#### 3.1 Berechnung der Menschen- und Tieranzahl

Nach verschiedenen Statistiken befinden in der Hochsaison täglich etwa 100.000 Menschen auf Sylt. Davon sind 21.500 Menschen amtlich gemeldete Sylter und die restlichen 78.500 Menschen Übernachtungsgäste und Tagesbesucher.

Als Nutztiere werden auf Sylt vor allem Schafe gehalten. Im gesamten Kreis Nordfriesland gibt es rund 150.000 Schafe auf 165.000 Einwohner. Das bedeutet, dass es in etwa genauso viele Schafe wie Einwohner gibt. Übertragen auf die Insel Sylt bedeutet das, dass es dort rund 20.000 Schafe gibt.

Zu den Haustieren lässt sich sagen, dass 46% der Haushalte in Deutschland mindestens 1 Haustier besitzen. Da die Haushalte auf Sylt im Schnitt aus 2,01 Personen bestehen, es damit 10.697 Haushalte gibt und wir davon ausgehen, dass ein Haushalt mit Haustier im Schnitt 1,5 Haustiere hat, rechnen wir mit rund 7381 Haustieren der Bewohner. Dazu kommen noch die Haustiere der 78.500 Besucher. Das einzige Haustier, was von Besuchern mit in den Urlaub und zu Ausflügen genommen wird, ist der Hund. 21% der deutschen Haushalte haben einen Hund und der durchschnittliche deutsche Haushalt besteht aus 2 Personen, weswegen wir mit 8243 Hunden von Gästen rechnen. Insgesamt gibt es damit 15624 Haustiere auf Sylt, wobei wir diese jedoch in unseren Rechnungen vernachlässigen, weil wir davon ausgehen, dass sich jeder Besitzer um sein Haustier kümmert und dessen Evakuierung ermöglicht (auf dem Schoß/Arm, Tasche,...).

### 3.2 Berechnung der Eckdaten des Tsunami

Für Wellenausbreitung wird eine Auslenkung aus der Gleichgewichtslage benötigt, die eine Rückstellkraft zur Folge hat. Eine Rückstellkraft ist hierbei eine Kraft, die entsteht, wenn eine Masse aus ihrer Ruhelage bewegt wird; diese wirkt in Richtung der Ruhelage der Masse. In diesem Fall einer Meereswelle wirkt die Gravitationskraft  $g$  als Rückstellkraft. Deshalb werden Tsunamis auch als Schwerewellen bezeichnet. Da die Wellenlänge eines Tsunamis viel größer ist als die Meerestiefe, handelt es sich bei Tsunamis um Flachwasserwellen, bei denen die ganze Wassersäule bewegt wird. Der Quotient aus der Wassertiefe  $h$  und der Wellenlänge  $\lambda$  ist stets kleiner als 0.05 und deshalb verhält sich der Tsunami auch in tieferen Meeresstellen als Flachwasserwelle. Im Folgenden wird mit Hilfe der Phasengeschwindigkeit die Dauer berechnet bis der Tsunami von dessen erst Erkennungspunkt die Küste erreicht hat:

Für die Phasengeschwindigkeit (Wellenschw.) gilt:

$$c_T = \sqrt{g \cdot h}$$

mit der Gravitationskraft  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  und der Wassertiefe  $h$ . Aus einer Atlaskarte ergibt sich für die Meerestiefe ~~an~~ westlich von Sylt:

Abstand von der Küste	Meerestiefe
0 - 2,5 km	0 - 10 m
2,5 - 30 km	10 - 20 m
30 - 70 km	20 - 40 m
> 70 km	über 40 m

Für die Zeit bis der Tsunami die Küste erreicht hat, erhält man mit  $c_T = v = \frac{s}{t}$  bzw.  $t = \frac{s}{c_T}$  bei einem Erkennungspunkt des Tsunamis, der sich rund 2,5 km vor der Küste befindet,  $t_0 = \frac{2500m}{\sqrt{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 10m}} \approx 252s$ .

Dieser Wert  $t_0$  entspricht 4min und 12s die Menschen und Tiere zu evakuieren. Für einen Abstand von 30km oder 70km ergibt sich dementsprechend mit

$$t_1 = \frac{30000m}{\sqrt{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 20m}} \approx 2141s \quad (\text{auf eine Phase vereinfacht})$$

und

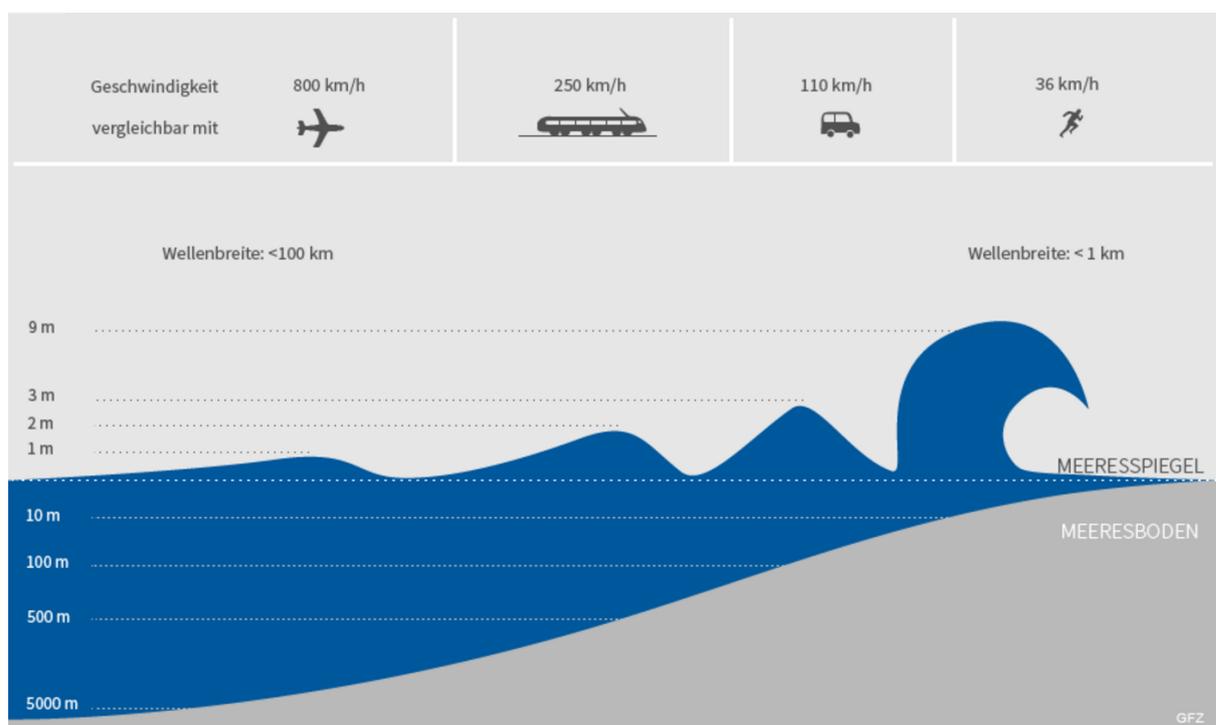
$$t_2 = \frac{70000m}{\sqrt{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 40m}} \approx 3534s \quad (\text{auf eine Phase vereinfacht})$$

eine Gesamtzeit für den Abstand des Erkennungspunkt von 30km  $t_{ges} = t_0 + t_1 = 252s + 1963s = 2215s$ , also 36min und 55min, für einen Abstand von 70km

$$t_{ges} = t_0 + t_1 + t_2 = 2215s + 2019s = 4234s, \text{entsprechend } 70\text{min und } 34s.$$

Diese Berechnungen sind eher konservativer Natur, da wir in jedem dieser drei Fälle stets von der tiefsten Stelle ausgegangen sind, was eine erhöhte Geschwindigkeit und damit eine verringerte Zeit zur Evakuierung zur Folge hat. Allgemein lässt sich jedoch sagen, dass je früher der Tsunami erkannt wird, desto höher ist auch die Zeit, die zur Evakuierung zur Verfügung steht.

Die Amplitude beziehungsweise die Höhe des Tsunamis direkt an der Küste lässt sich nur schwer vorhersagen. Durch die kleiner werdende Wassertiefe sinkt die Geschwindigkeit der Welle und gleichzeitig auch die Wellenlänge nach dem Energieerhaltungssatz wandelt sich diese „verlorene“ Energie in potentielle Energie um, deshalb kann der Tsunami Höhen über 40m erreichen. Laut unseren Recherchen ergibt sich näherungsweise bei einer Meerestiefe von 500m eine Wellenhöhe von 2m, bei einer Tiefe von 100m eine Höhe von 3m und bei einer Tiefe von 10m eine Höhe von 9m.



### 3.4 Mögliche Lösungsansätze

#### 3.4.1 Evakuierung auf die Uwe-Düne

Obwohl die genaue Berechnung der Höhe des Tsunamis schwierig waren, kamen wir zu dem Ergebnis, dass Tsunamis über 20 Metern theoretisch zwar möglich sind, aber aufgrund der Größe der Nordsee sehr unwahrscheinlich. Daher sind wir davon ausgegangen, dass man ab einer Höhe von 20 m sicher ist.

Im Westen der Insel liegt eine Düne Namens „Uwe-Düne“. Ihr höchster Punkt sind 53m. Dies ist auch der höchste Punkt der Insel. Wir haben uns eine Karte mit dem Höhenprofil dieser Düne herausgearbeitet und die Fläche die über 20m liegt mit einem Dreieck angenähert.

Dadurch konnten wir die Fläche näherungsweise berechnen, auf der Tier und Mensch sicher sind:

$$A = (1/2) * 2375m * 800m = 950000m^2$$

So kamen wir darauf, dass alle Nutztiere, die auf Sylt vor allem Schafe sind, sicher auf dieser Düne untergebracht werden können. Es wäre auch noch Platz für viele Menschen, allerdings sind wir uns nicht sicher, wie robust diese Düne ist, da sie größtenteils aus Sand besteht. Teilweise hat sie auch steile Abhänge, an denen nur wenige Menschen stehen können.



### 3.4.2 Evakuierung mit Schiffen

Eine weitere Option ist es mit Schiffen auf das Meer rauszufahren, da sich dort Wellen noch nicht so stark aufbauen und man den Tsunami bei genügend Abstand zur Küste kaum merken würde. Das Problem dieser Lösung ist, dass die Nordsee relativ flach ist, weshalb man extrem weit aufs Meer hinaus fahren müsste, um den Tsunami nicht mehr zu merken. Denn selbst bei einer Wassertiefe von 100m wäre die Wellenhöhe noch 3m. Es wäre dennoch sinnvoll auf das Meer hinaus zu fahren, da der Tsunami trotzdem abgeschwächt ist und man mit Booten teilweise darüber hinweg fahren kann. Eine andere Option wäre es, mit den Schiffen an nicht betroffene Gebiete am Festland zu fahren. Dies hängt allerdings von der Vorlaufzeit ab. Da wir eine Vorlaufzeit von mindestens 40 Minuten berechnet haben, halten wir dass aber für realistisch.

Für die Berechnung der Menschen, die mit dem Boot und dem Schiff evakuiert werden können, haben wir die zwei Fähren und sechs Ausflugsboote des Anbieters ADLER betrachtet. Hinzu kommen Private Schiffe, Yachten und Fischerboote. Um zu berechnen wie viele es davon gibt, haben wir auf

GoogleMaps die Satellitenbilder der vier größten Häfen auf Sylt betrachtet. Dabei haben wir abgeschätzt, wie viele Liegeplätze es gibt und wie groß die Häfen jeweils sind. Dabei haben wir die Anzahl der Menschen eher knapp berechnet, wodurch gegebenenfalls sogar mehr Menschen evakuiert werden könnten.

Bei den ADLER- Schiffen sind wir davon ausgegangen, dass jeweils doppelt so viele Menschen evakuiert werden können, wie es Sitzplätze gibt. Dadurch kamen wir alleine bei diesen Ausflugsschiffen auf 2378 Menschen, die evakuiert werden können. Dabei fassen die Schiffe „MS Adler Express“ und „MS Adler IV“ die meisten, während die Schiffe „Gret Palucca“ und „Rosa Paluka“ die wenigsten Menschen fassen. Diese sind auch die langsamsten mit 7,5 bzw. 8,5 Knoten (13,5 bzw. 15.3 km/h) Durchschnittsgeschwindigkeit, während „MS Adler Cat“ bis zu 30 Knoten (54 km/h) fährt. Dadurch wäre auch eine schnelle Evakuierung in eine relativ weite Distanz möglich.

Die zwei großen Fähren auf Sylt könnte man mit stehenden Menschen beladen. Die Fähre „SyltExpress“, welche eine Höchstgeschwindigkeit von 16 Knoten (28.8 km/h) und eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 12 Knoten (21,6 km/h) hat, fährt regelmäßig von Rømø nach Sylt und zurück. Sie fasst normalerweise bis zu 80 PKWs und hat eine Länge von 88m und eine Breite von 16 m. Daraus lässt sich mit eventuellen Abzügen eine Fläche von 1408m<sup>2</sup> errechnen. Angenommen eine stehende Person braucht 1/3 m<sup>2</sup>, dann könnten bis zu 4224 Menschen stehend auf der Fähre untergebracht werden. Außerdem gibt es 599 Sitzplätze auf dem oberen Deck und im Salon. Aufgrund von Fotos der Fähre, gehen wir davon aus, dass wir die Doppelte Menge an Menschen im Sitzbereich unterbringen könnten. Das wären damit 1198 Menschen im Sitzbereich und 4224 Menschen im Bereich, der normalerweise Autos transportiert. Damit fasst alleine diese Fähre 5422 Menschen.

Bei der Fähre „RømøExpress“ verhält es sich ähnlich. Sie fasst 127 PKWs, hat aber nur 399 Sitzplätze. Ihr Länge ist 96,95m und die Breite beträgt 15m. Wendet man dieselben Maßstäbe wie bei der ersten Fähre anwendet, dann ergeben sich 4363 Menschen im Bereich der für Autos vorgesehen ist und 798 im Bereich mit den Sitzplätzen. Diese Fähre könnte also insgesamt bis zu 5161 Menschen evakuieren.

Dazu kommen noch die Menschen die mit Privatbooten evakuiert werden können. Der Hafen von List hat 30 Liegeplätze, wovon in der Hochsaison ca. 26 mit Sportbooten oder Yachten belegt sind. Wir gehen davon aus, dass pro Boot durchschnittlich 8 Menschen evakuiert werden können. Daraus ergeben sich 208 Menschen, die mit den dort vorhandenen Booten evakuiert werden können. Außerdem liegt an dem Hafen der Seenotrettungskreuzer „Pidder Cüng“, dieser fährt bis zu 22 Knoten (39,6 km/h), hat eine Länge von 19,9m und eine Breite von 5,05 m. Wir gehen davon aus, dass mit diesem Schiff im Notfall nochmals bis zu 150 Menschen evakuiert werden können. Daher können von diesem Hafen aus

insgesamt bis zu 358 Menschen evakuiert werden. An den weiteren drei Häfen liegen meist etwas größere Boote, weshalb wir davon ausgehen, dass durchschnittlich mindestens 10 Menschen pro Boot evakuiert werden können. Der Hafen von Hörnum hat 80 Liegeplätze, wodurch bis zu 800 Menschen Schutz finden können. Der Monkmarsch Hafen hat nur 70 Liegeplätze, allerdings könnten trotzdem bis zu 700 Menschen die vor Ort liegenden Boote benutzen. Der größte der vier Häfen ist der Jachthafen Rantum mit 100 Liegeplätzen. Dadurch könnte bis zu 1000 weiteren Menschen Schutz geboten werden. Alles in allem bieten diese vier Häfen also bis zu 2858 Menschen die Möglichkeit sich zu evakuieren.

Nimmt man die ADLER-Schiffe, die Fähren und die an den Häfen liegenden Schiffe zusammen, können bis zu 16274 Menschen in Sicherheit gelangen.

Hinzu kommt, dass vor allem in der Hochsaison oft ein Kreuzfahrtschiff bei Sylt liegt, welches viele Menschen evakuieren könnte. Allerdings ist es nicht sicher, dass im Moment des Tsunamis gerade wirklich ein Kreuzfahrtschiff vor Ort ist. Aus diesem Grund haben wir diese Möglichkeit der Evakuierung vernachlässigt.

### 3.4.3 Evakuierung mit Zügen

Nach Sylt führt der 11,3km lange Hindenburgdamm. Auf diesem fahren regelmäßig auf der zweigleisigen Strecke drei verschiedene Zug Typen. Je nachdem welche Züge gerade in Sylt vor Ort sind, kann man unterschiedlich viele Menschen evakuieren.

Es gibt zwei Autozüge, die jeweils eine Fahrzeit von 35 Minuten aufweisen. Auf den „Autozug Sylt“ passen normalerweise 110 Fahrzeuge. Allerdings würde es in einer Krisensituation zu lange dauern Autos aufzuladen, weshalb wir uns überlegt haben, dass die Menschenleben in so einem Fall eine höhere Priorität als die strengen Sicherheitsvorschriften auf Autozügen haben.

Es ist unser Plan, die Menschen zu Fuß auf den Zug zu lassen, auf welchem sie sich dann hinkauern, damit sie während der Fahrt nicht herunterfallen. Die maximal erlaubte Fahrzeuggröße auf diesem Zug ist eine Länge von 6 Metern und eine Breite von 2,2 Metern. Da 110 Autos auf diesen Zug passen, konnten wir dadurch die vorhandene Fläche von 1452m<sup>2</sup> berechnen. Angenommen ein kauernder Mensch braucht eine Fläche von einem halben Quadratmeter, dann passen 2904 Menschen auf den Zug.

Der zweite Autozug ist der „SyltShuttle“ der deutschen Bahn. Dieser fährt 19 mal am Tag und transportiert dabei insgesamt 4000 Fahrzeuge, woraus sich 211 Fahrzeuge pro Fahrt ergeben. Wenn man mit den maximalen Automaßen des andern Zuges rechnet, ergibt sich eine vorhandene Zugfläche von 2785m<sup>2</sup>. Vorausgesetzt, dass sich die Menschen auch bei diesem Zug hinkauern, dann kann der Zug mit einer Fahrt 5570 Menschen evakuieren.

Der letzte Zug ist die „Marschbahn“, welche ein Personenzug mit 12 Wagen ist und 1000 Sitzplätze umfasst. Wir gehen davon aus, dass man mit Stehplätzen bis zu 2000 Menschen mit diesem Zug transportieren könnte. Je nachdem wie viel Vorlaufzeit man vor dem Tsunami hat, wäre es sogar möglich die Züge mehrfach hin- und herfahren zu lassen.

### **3.4.4 Verworfenne Ideen**

Wir hatten auch überlegt Menschen über die Luft zu evakuieren, allerdings wurde uns schnell klar, dass dies zu lange dauern würde. Daher haben wir diese Idee schnell wieder verworfen. Genauso hatten wir Anfangs die Idee Türme und Bunker zu bauen, allerdings wäre dies sehr platzaufwendig, nicht sonderlich schön und extrem teuer. Auch die Idee einer Brücke oder eines Tunnels haben wir aus ähnlichen Gründen verworfen. Hinzu kam, dass der Boden im Watt und auf der Insel oft sandig ist, was Baumaßnahmen erschwert. Auch der Bau von ausfahrbaren Schutzmauern, wirkte zu instabil und zu teuer. Das laufen bzw. fahren über das Watt Richtung Land konnten wir leider auch nicht berechnen, da dies von den Gezeiten abhängt und wir nicht sicher wussten wie die Insel die Welle bricht und auf welche Weise sich das Wasser im Vorhinein zurückzieht (aufgrund der speziellen Form der Insel). Wir könnten uns auch vorstellen, dass Mensch und Tier im Falle eine Tsunamis im Gebiet von Nösse sicher wären, da dort der Tsunami bereits abgeschwächt ist und nach Nord und Süd ins Watt laufen kann. Allerdings konnten wir dies nicht genau berechnen, da wir dafür Modelle und mehr Hintergrundwissen zu Strömungsmechaniken gebraucht hätten.

### **3.5 Dauer bis zur vollständigen Evakuierung**

Da es schwierig ist Nutztiere (Schafe) auf Fähren und Züge zu verladen und gleichzeitig Menschenleben priorisiert werden sollten, haben wir uns dazu entschieden, die Schafe auf der höchsten Erhebung (Uwe-Düne) zu evakuieren. Da wir keine Informationen zu den Aufenthaltsorten der Herden besitzen sind wir von den am weitesten entfernten Standorten ausgegangen. Herum ist 25km von der Uwe- Düne entfernt, Morsum 15km und List 11km. Die Schafe können zwar eine Höchstgeschwindigkeit 24km/h erreichen, jedoch nicht auf diese lange Strecken daher rechnen wir hier mit durchschnittlich 12km/h. Somit erreichen alle Schafe innerhalb von 125min die Düne (125 min von Hörnum, 75 min von Morsum und 55 min von List). Außerdem sind wir ausgegangen, dass die begleitenden Menschen mit dem Fahrrad oder Auto unterwegs sind. Diese 125 min können unterschritten werden, wenn sich die Herden näher an der Uwe-Düne befinden oder die Schafe anderweitig dorthin transportiert werden.

Insgesamt befinden sich rund 100.000 Menschen. Einmalig können wir vom Hafen in Hörnum 3178 Menschen, vom Hafen in Rantum 1000 Menschen, vom Hafen in Munkmarsch 700 Menschen und vom Hafen in List 358 Menschen mit Booten evakuieren. Diese Boote können entweder soweit aufs Meer rausfahren, dass der Tsunami kaum spürbar ist, oder eine nicht betroffene Insel beziehungsweise das Festland ansteuern. Somit bleiben noch 94.764 Menschen. Mit der Annahme, dass sich beide vorher genannten Autozüge im Bahnhof von Westerland befinden und diese nur bis nach Klanxbüll statt nach Niebüll fahren (Einsparen von 15 min Fahrzeit pro Strecke), können alle 60 min 8472 Personen evakuiert werden. Mit der weiteren Annahme, dass sich die beiden vorher genannten Fähren im Hafen von List befinden, können damit alle 100 min 10.583 Personen evakuiert werden. Dadurch ergibt sich:

$$g: \frac{10583 \text{ Per}}{100 \text{ min}} = 105,83 \frac{\text{Per}}{\text{min}} \quad \text{Abtransport über Fährverkehr}$$

$$f: \frac{8472 \text{ Per}}{60 \text{ min}} = 141,23 \frac{\text{Per}}{\text{min}} \quad \text{Abtransport über Autozüge}$$

$$h: h(t) = g(t) + f(t)$$

$$= 105,83 \frac{\text{Per}}{\text{min}} \cdot (t + 40 \text{ min}) + 141,23 \frac{\text{Per}}{\text{min}} (t + 20 \text{ min})$$

$$= 247,06 \cdot (t + 60 \text{ min})$$

gleichzeitig gilt

$$h(t) = 247,06 \frac{\text{Personen}}{\text{min}} (t + 60 \text{ min})$$

$$\Leftrightarrow t = \frac{h(t)}{247,06 \frac{\text{Personen}}{\text{min}}} - 60 \text{ min}$$

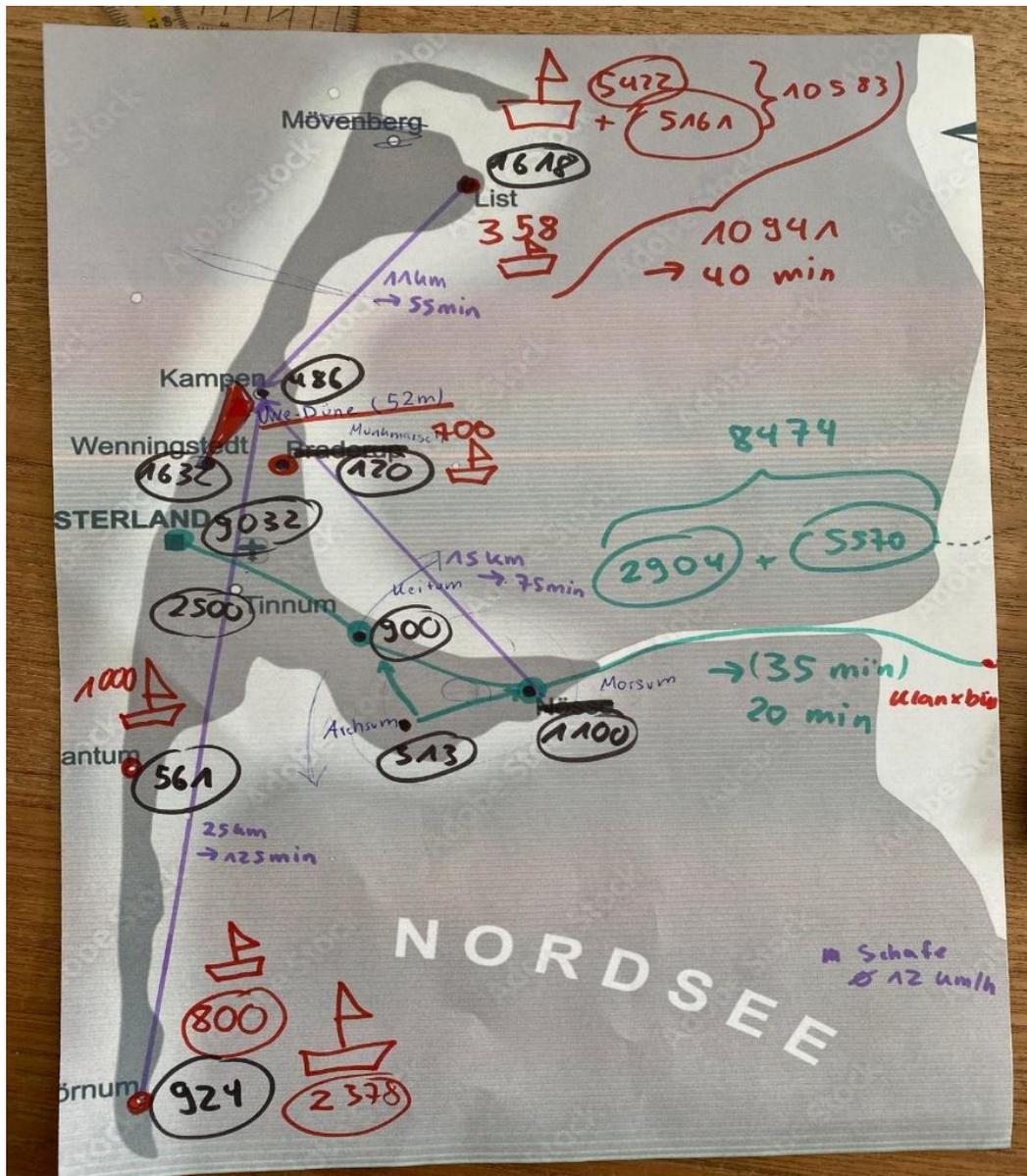
Mit einer über diese Verkehrswege zu evakuierende Bevölkerung von  $h(t) = 100\,000 - 5236 = 94764 \text{ P.}$  erhalten wir

$$t = \frac{94764 \text{ Personen}}{247,06 \frac{\text{Personen}}{\text{min}}} - 60 \text{ min} = 323,57 \text{ min}$$

Dabei ist bedacht, dass bei der letzten Fahrt die Rückfahrt erspart bleiben kann und bis zur nächsten Abfahrt der Fähre oder des Zuges selbst vom am weitesten entfernten Orten der Hafen oder der Bahnhof erreicht werden kann.

Da die Fähre nur alle 100 min beziehungsweise der Zug nur alle 60 min muss das Ergebnis durch mindestens eine von beiden Zahlen teilbar sein. Daher können in 360 min 93.176 Menschen über diese beiden Transportwege evakuiert werden. Die

restlichen 1588 können auf die Uwe-Düne gebracht werden. Die benötigte Zeit zur vollständigen Evakuierung kann verkürzt werden, in dem die einmal fahrenden Boote öfter fahren oder mehr Menschen auf die Uwe-Düne gebracht werden.



#### 4. Schlussfolgerungen

Abschließend lässt sich sagen, dass eine Evakuierung zwar möglich ist, aber man eine relativ lange Vorlaufzeit bräuchte. Mit mehr Zeit könnte man die Strömungsmechanik der Insel berechnen und Modell entwerfen. Dadurch lässt sich herausfinden, wie umliegende Inseln und das Festland vom Tsunami betroffen wären. Des Weiteren bräuchte genauere Daten zu den Booten und Zügen.

## 5. Literaturverzeichnis

- “▷ FAQ | Fragen? | Der Blaue AUTOZUG Sylt.” *Www.autozug-Sylt.de*, [www.autozug-sylt.de/de/faq/#:~:text=Wieviele%20Fahrzeuge%20transportiert%20der%20Autozug](http://www.autozug-sylt.de/de/faq/#:~:text=Wieviele%20Fahrzeuge%20transportiert%20der%20Autozug). Accessed 9 Mar. 2024.
- “▶ Mit Der Bahn Nach Sylt: Alle Infos & Fahrpläne | Sylt.de.” *Www.sylt.de*, [www.sylt.de/service/anreise/bahn-nach-sylt](http://www.sylt.de/service/anreise/bahn-nach-sylt). Accessed 9 Mar. 2024.
- “▶ Sylt-Shuttle: Alle Infos, Fahrpreise & Fahrpläne | Sylt.de.” *Www.sylt.de*, [www.sylt.de/service/anreise/db-sylt-shuttle](http://www.sylt.de/service/anreise/db-sylt-shuttle). Accessed 9 Mar. 2024.
- “▶ Anreise Nach Sylt Mit Der Fähre - Sylt.de.” *Www.sylt.de*, [www.sylt.de/service/anreise/syltfaehre](http://www.sylt.de/service/anreise/syltfaehre). Accessed 9 Mar. 2024.
- Aehnelt, Reinhard, et al. *Wohnungsmarktkonzept Für Die Insel Sylt*. [gemeinde-sylt.de/pdf/WMK\\_Kurzfassung.pdf](http://gemeinde-sylt.de/pdf/WMK_Kurzfassung.pdf). Accessed 9 Mar. 2024.
- “Anteil Der Deutschen Haushalte Mit Haustieren 2022.” *Statista*, [de.statista.com/statistik/daten/studie/859229/umfrage/anteil-der-haushalte-in-deutschland-mit-haustieren/](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/859229/umfrage/anteil-der-haushalte-in-deutschland-mit-haustieren/). Accessed 9 Mar. 2024.
- Dahlkamp, Jürgen. “Tourismus: Insel Ohne Insulaner.” *Der Spiegel*, 9 Aug. 2010, [www.spiegel.de/spiegel/a-710876.html](http://www.spiegel.de/spiegel/a-710876.html). Accessed 9 Mar. 2024.
- “Die Sylter Rasenmäher • Syltspot.de.” *Syltspot.de*, 7 Feb. 2020, [syltspot.de/die-sylter-rasenmaeher/#:~:text=Statistiken%20sprechen%20von%20etwa%20150.000](http://syltspot.de/die-sylter-rasenmaeher/#:~:text=Statistiken%20sprechen%20von%20etwa%20150.000). Accessed 9 Mar. 2024.
- “Dringende Arbeiten: Reederei Stellt Fahren Zwischen Sylt Und Rømø Ein – Bald Fallen Auch Züge Aus.” *Www.t-Online.de*, 8 Feb. 2024, [www.t-online.de/region/hamburg/id\\_100339786/sylt-frs-stellt-fahren-anfang-maerz-wegen-sanierung-ein.html](http://www.t-online.de/region/hamburg/id_100339786/sylt-frs-stellt-fahren-anfang-maerz-wegen-sanierung-ein.html). Accessed 9 Mar. 2024.
- “Dünen: Top 10 Der Schönsten Sanddünen Am Meer in Europa.” *Ab in Den Urlaub Magazin*, 2 Dec. 2022, [www.ab-in-den-urlaub.de/magazin/reisetipps/duenen/#deutschland](http://www.ab-in-den-urlaub.de/magazin/reisetipps/duenen/#deutschland). Accessed 9 Mar. 2024.
- Horst Kuchling. *Taschenbuch Der Physik*. 2004.
- “Infografiken Zum Thema Tsunami.” *Www.eskp.de*, [www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/infografiken-zum-thema-tsunami-935636/](http://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/infografiken-zum-thema-tsunami-935636/). Accessed 9 Mar. 2024.
- Jennebach, Frank. “Fine Resorts - Das Hotel & Lifestyle Magazin - Mit Der Autofähre von Rømø Nach Sylt in Den Urlaub.” *Fine-Resorts.de*, [fine-resorts.de/deutschland/faehrverbindung-rom-sylt-mit-dem-syltexpress](http://fine-resorts.de/deutschland/faehrverbindung-rom-sylt-mit-dem-syltexpress). Accessed 9 Mar. 2024.

- "Kohlenstoffspeicherung Im Meeresboden - GEOMAR - Helmholtz-Zentrum Für Ozeanforschung Kiel." *Www.geomar.de*, [www.geomar.de/entdecken/kohlenstoffaufnahme-im-ozean/kohlenstoffspeicherung-im-meeresboden](http://www.geomar.de/entdecken/kohlenstoffaufnahme-im-ozean/kohlenstoffspeicherung-im-meeresboden). Accessed 9 Mar. 2024.
- "List - Hafen Bei List Auf Sylt | BoatView." *Www.boatview.io*, [www.boatview.io/de/poi/2130/list](http://www.boatview.io/de/poi/2130/list). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Maritime Erlebnisse an Nord- Und Ostseeküste • Adler-Schiffe." *Www.adler-Schiffe.de*, [www.adler-schiffe.de](http://www.adler-schiffe.de). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Motorschiff 'RömöExpress.'" *FRS Syltfähre*, [www.frs-syltfaehre.de/reederei/flotte](http://www.frs-syltfaehre.de/reederei/flotte). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Neue Seite 1." *Www.gymfi.de*, [www.gymfi.de/alt/gymfibk/physik/tsunami/seiten/physik/grundlagen.htm](http://www.gymfi.de/alt/gymfibk/physik/tsunami/seiten/physik/grundlagen.htm). Accessed 9 Mar. 2024.
- *Nordfriesland Sportboothäfen in Nordfriesland*. [www.sportboothaefen-nordfriesland.de/fileadmin/Sportboothaefen/PDF/Flyer\\_SportboothaefenNF.pdf](http://www.sportboothaefen-nordfriesland.de/fileadmin/Sportboothaefen/PDF/Flyer_SportboothaefenNF.pdf). Accessed 9 Mar. 2024.
- *PHYSIK Gymnasium (G8) 11/12*. DORN BADER.
- "Sylt.de - Die Offizielle Seite Der Insel Sylt Für Ihren Urlaub." *Www.sylt.de*, [www.sylt.de/](http://www.sylt.de/).
- SYLT1. *Mehr Kapazitäten Bei Der Marschbahn - Sylt1 - Das Sylter Fernsehen*. 14 June 2019, [www.sylt1.tv/mehr-kapazitaeten-bei-der-marschbahn/](http://www.sylt1.tv/mehr-kapazitaeten-bei-der-marschbahn/). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Sylter Yacht Club E. V." *Sylter Yacht Club E. V.*, [www.sylter-yachtclub.de](http://www.sylter-yachtclub.de). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Topografische Karte Sylt, Höhe, Relief." *Topografische Karten*, [de-de.topographic-map.com/map-gf6mt/Sylt/?center=54.95105%2C8.33184&zoom=14&popup=54.95806%2C8.33433](http://de-de.topographic-map.com/map-gf6mt/Sylt/?center=54.95105%2C8.33184&zoom=14&popup=54.95806%2C8.33433). Accessed 9 Mar. 2024.
- "Tsunami." *Wikipedia*, 23 Dec. 2023, [de.m.wikipedia.org/wiki/Tsunami](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Tsunami). Accessed 9 Mar. 2024.
- User, Super. "DB Sylt Shuttle Erhöht Kapazitäten Durch Geänderte Züge." *Www.sylt-Tv.com*, 17 Dec. 2017, [www.sylt-tv.com/db-sylt-shuttle-erhoeht-kapazitaeten-durch-geaenderte-zuege.html](http://www.sylt-tv.com/db-sylt-shuttle-erhoeht-kapazitaeten-durch-geaenderte-zuege.html). Accessed 9 Mar. 2024.
- Wilke, Sibylle. "Bevölkerungsentwicklung Und Struktur Privater Haushalte." *Umweltbundesamt*, 8 July 2013, [www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/strukturdaten-privater-haushalte/bevoelkerungsentwicklung-struktur-privater#immer-mehr-ein-personenhaushalte-in-deutschland](http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/strukturdaten-privater-haushalte/bevoelkerungsentwicklung-struktur-privater#immer-mehr-ein-personenhaushalte-in-deutschland).
- *Boell.de*, 2024, [www.boell.de/sites/default/files/uploads/2015/05/verpressung\\_speicherregionen.jpg](http://www.boell.de/sites/default/files/uploads/2015/05/verpressung_speicherregionen.jpg). Accessed 9 Mar. 2024
- [https://www.eskp.de/fileadmin/eskp/publikationen/naturgefahren/GFZ\\_Infoblatt\\_Tsunami\\_dt.pdf](https://www.eskp.de/fileadmin/eskp/publikationen/naturgefahren/GFZ_Infoblatt_Tsunami_dt.pdf)