

# Klimawandel

# Nachgerechnet 3

Prof. Dr.-Ing. G. Schuller  
Technische Universität Ilmenau  
Institut für Medientechnologie

# Einführung

- In Teil 1 sahen wir dass die CO<sub>2</sub> Konzentration der Atmosphäre durch Nutzung fossiler Energie vom ohnehin schon hohen Niveau von **280 ppm** auf aktuell **410 ppm** angestiegen ist
- In Teil 2 sahen wir dass die aktuelle CO<sub>2</sub> Konzentration dazu führt dass die globale Temperatur in **40 Jahren um 1 Grad Celsius** ansteigt.
- Im Folgenden berechne ich dass durch die aktuelle CO<sub>2</sub> Konzentration den Meeresspiegel um **ca. 8 mm pro Jahr** ansteigen lässt,
- zeige die Empfindlichkeit der globalen Lieferketten,
- und ich berechne dass durch Abschmelzen des Südpols der Meeresspiegel um **ca. 67 m ansteigt**.
- Wenn euch dies interessiert, bleibt dran :-)

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Der Meeresspiegelanstieg wird von der Wärme-Ausdehnung des Meereswassers und dem Schmelzwasser der Erde verursacht.
- Für unsere Berechnung konzentrieren wir uns der Einfachheit halber auf das **Schmelzwasser von Grönland und der Antarktis**
- Wir müssen daher im Kopf behalten dass der tatsächliche Anstieg höher ist

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Wir können für das Schmelzwasser wieder den Strahlungsantrieb von  $2\text{W/m}^2$  nehmen.
- Die **Schmelzwärme** von Eis:
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften\\_des\\_Wassers](https://de.wikipedia.org/wiki/Eigenschaften_des_Wassers)
- Für das Schmelzen pro kg Eis braucht man die Energie  $c_s = 333,5 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ . Die Energie Joule (J) ist identisch zu Wattsekunden (Ws)
- Durch Umformen der Einheiten erhalten wir die Masse des geschmolzenen Wassers in kg pro Energie in Joule oder Wattsekunde (Ws)
- **$c_s = \text{Ws/kg} \Rightarrow \text{kg} = \text{Ws}/c_s$**

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Diese Formel berechnet das **Schmelzwasser in kg, was in 1 Sekunde bei Einfall der Energie in Ws fließt**, mit der Annahme dass das Oberflächeneis ca. 0 Grad C hat
- Da wir die Energie pro Flächeneinheit haben, brauchen wir die **Fläche** des betrachteten Eises:
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Eisschild>
- Die grössten Flächen sind:
- Antarktis: 14 Millionen km<sup>2</sup>
- Grönland: 1,7 Millionen km<sup>2</sup>
- Zusammen  **$15.7 * 10^6 \text{ km}^2 = 15.7 * 10^6 * 10^6 = 15.7 * 10^{12} \text{ m}^2$**

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Damit erhalten wir die Leistung die durch den Strahlungsantrieb auf die Eisflächen einfällt als: Fläche mal Leistung pro Flächeneinheit (mit Python Notation):
- $15.7 * 10^{12} \text{ m}^2 * 2 \text{ W/m}^2 = 15.7\text{e}12 * 2 \text{ W} = 31.4\text{e}12 \text{ W}$
- Diese Leistung setzen wir nun in unsere Formel ein (und bringen "s" auf die andere Seite):
- $\text{kg/s} = \text{W}/c\_s = 31.4 * 10^{12} \text{ W} / (333,5 * 10^3 \text{ Ws/kg}) = 31.4\text{e}12 / 333.5\text{e}3 \text{ kg/s}$
- **=94.1529e6 kg/s**
- Dies ist das resultierende **Schmelzwasser** in Masse **kg** oder **Liter pro Sekunde**.

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Für das Schmelzwasser pro Jahr müssen wir es mit der Anzahl der Sekunden pro Jahr multiplizieren:
- $94.1529e6 \text{ kg/s} * 60*60*24*365 \text{ s/Jahr} = 94.1529e6 * 60*60*24*365 \text{ kg/Jahr}$
- $= 2.969e15 \text{ kg/Jahr} = \mathbf{2.969 * 10^{15} \text{ kg/Jahr}}$
- Dies können wir in ein Volumen umrechnen, mit der Dichte von Wasser: 1 kg entspricht 1 Kubikdezimeter,  $1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ , also **1kg entspricht  $10^{-3} \text{ m}^3$**
- Multiplikation mit  $10^{-3}$  ergibt das Volumen pro Jahr:
- **$2.969 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{Jahr}$**

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Für die Höhe des Meeresspiegelanstiegs müssen wir nun dieses Volumen durch die Fläche der Meere teilen. Die Fläche der Meere:
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdoberfl%C3%A4che>:
- "Oberfläche von 510 Millionen km<sup>2</sup>, wovon rund 71 % von Meeren bedeckt sind". Die Fläche der Meere ist also:
- $510 * 0.71 * 10^6 \text{ km}^2 = 362.1 * 10^6 \text{ km}^2 = 362.1 \text{e}6 * 1 \text{e}6 \text{ m}^2 = \mathbf{362.1 \text{e}12 \text{m}^2}$
- Den Anstieg berechnen wir also mit
- $2.969 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{Jahr} / (362.1 \text{e}12 \text{ m}^2) = 2.969 \text{e}12 / 362.1 \text{e}12 \text{ m}/\text{Jahr}$
- $= 0.0082 \text{ m}/\text{Jahr} = \mathbf{8.2 \text{ mm}/\text{Jahr}}$

# Frage: Welchen Meeresspiegelanstieg können wir erwarten?

- Wir bekommen also einen Anstieg von ca. **8 mm pro Jahr**.
- Vergleich mit: [https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresspiegelanstieg\\_seit\\_1850](https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresspiegelanstieg_seit_1850)
- Und: <https://datahub.io/core/sea-level-rise>
- “Zwischen 1901 und 2010 stieg der Meeresspiegel um 1,7 Millimeter pro Jahr, im Zeitraum 1993 bis 2010 waren es durchschnittlich 3,2 mm pro Jahr. Für das Jahr 2018 wurde der Rekordwert von **3,7 Millimeter** gemessen.” Die Geschwindigkeit des Meeresspiegel Anstiegs hat sich also in den **letzten ca. 25 Jahren verdoppelt**.
- Unsere grobe Abschätzung kommt also wieder ganz gut hin.

# Fazit

- Es ist plausibel dass der Anstieg des Meeresspiegels durch die erhöhte CO<sub>2</sub> Konzentration verursacht wird.

# Risikoanalyse: Globale Lieferketten

- Bei steigendem Meeresspiegel werden **Überschwemmungen häufiger und stärker.**
- Beispiel sind die Überschwemmungen in **Thailand in 2011:**  
  
[https://en.wikipedia.org/wiki/2011\\_Thailand\\_floods](https://en.wikipedia.org/wiki/2011_Thailand_floods)
- Dort werden z.B. **Computer Festplatten** in großem Maßstab hergestellt
- Folge: “As a result, most hard disk drive prices almost doubled globally, which took approximately two years to recover.”
- D.h. die **Preise** für Festplatten haben sich dadurch **weltweit fast verdoppelt** und brauchten ca. **2 Jahre um sich zu erholen!**

# Risikoanalyse: Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Südpols

- **Frage:** Wie stark wird der Meeresspiegel alleine durch das Abschmelzen des Südpols, des “größten Brockens” ansteigen?
- Dafür benötigen wir das Volumen des Eises des Südpols, rechnen es in das Volumen von Wasser um, und teilen es durch die Fläche der Meere um den resultierenden Meeresspiegel-Anstieg zu bekommen.
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Antarktischer\\_Eisschild](https://de.wikipedia.org/wiki/Antarktischer_Eisschild)
- Das "Eisvolumen auf 26,37 Millionen Kubikkilometer geschätzt"

# Risikoanalyse: Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Südpols

- Umrechnung von Eisvolumen zu Wasservolumen:
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Eis>:
- "Seine Dichte von  $0,918 \text{ g/cm}^3$  (reines, luftfreies Eis bei  $0 \text{ °C}$ )[3] ist geringer als die von Wasser ( $1 \text{ g/cm}^3$ )",
- Also: Eis der Antarktis als Wasservolumen:  $26.37 * 0.918 = \mathbf{24.2 \text{ Millionen Kubikkilometer}}$
- Fläche der Meere wieder:  $510 * 0.71 = 362.1 \text{ Millionen km}^2$
- Der resultierende Meeresspiegel-Anstieg ist also Volumen / Fläche:
- $24.2 \text{ Millionen km}^3 / 362.1 \text{ Millionen km}^2 = 0.0668 \text{ km} = \mathbf{66.8m}$

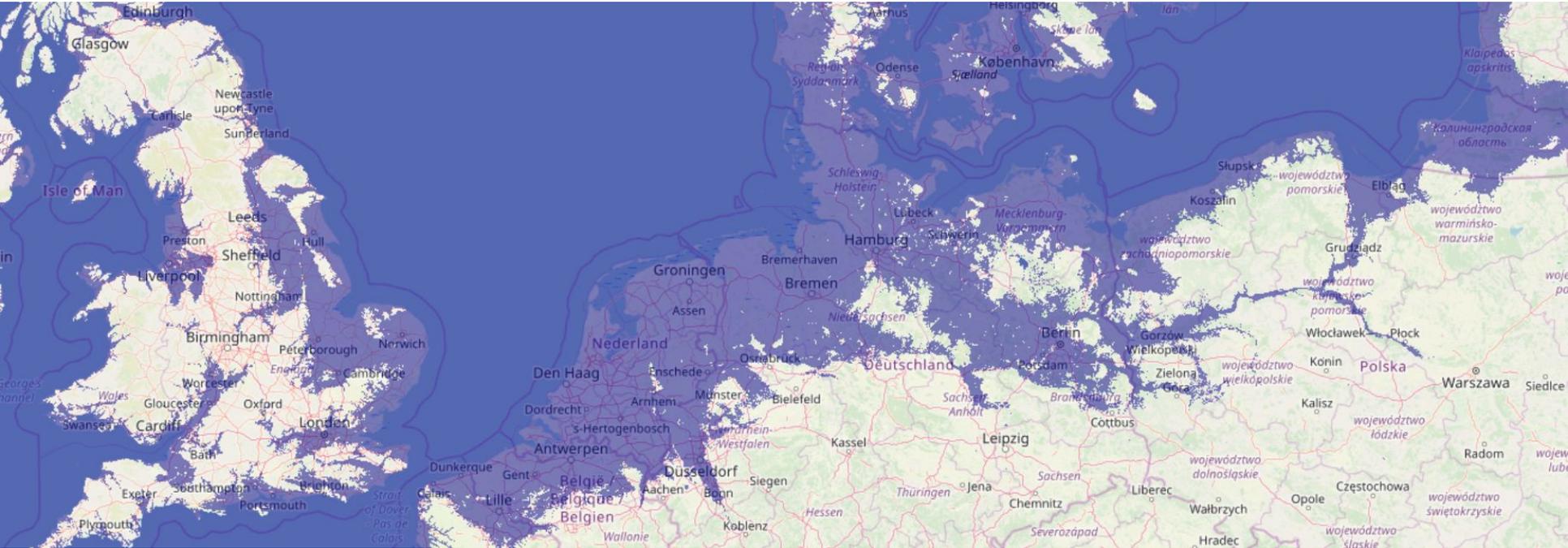
# Risikoanalyse: Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Südpols

- Bei Vollständigem Abschmelzen alleine der Antarktis bekommen wir am Ende also einen **Meeresspiegelanstieg von ca. 70m!**
- Wie lange es zum kompletten Abschmelzen dauert ist aber nicht klar, weil sich in letzter Zeit Schmelzwasser-Flüsse innerhalb der Eisflächen und darunter gebildet haben, wodurch sich die schmelzende Oberfläche erheblich vergrößert, was das Abschmelzen weiter beschleunigt. Dies ist Forschungsgegenstand.
- Aber das **Risiko wird deutlich.**

# Risikoanalyse: Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Südpols

- Das Risiko eines Meeresspiegelanstiegs von 60m wird deutlich bei Benutzung einer “Floodmap”, was die neuen Küstenlinien dafür anzeigt:
- <http://flood.firetree.net/>
- Man sieht z.B.: Nord-Deutschland versinkt komplett im Meer.

# Risikoanalyse: Meeresspiegelanstieg durch Abschmelzen des Südpols



# Fazit

- Das Risiko des Nichts-Tuns wird deutlich
- Bei Abschmelzen des Südpols steigt der Meeresspiegels um ca. 70m
- Damit werden alle tiefer liegenden Gegenden der Welt überschwemmt
- Darunter alle Küsten-Metropol-Gegenden
- Aus **Teil 1** wissen wir: um nur die **gegenwärtige CO2 Konzentration der Atmosphäre nicht weiter zu erhöhen**, müssten wir den **globalen CO2 Ausstoß um 80% verringern!**

# Was können wir tun?

- Fossiles CO<sub>2</sub> ist im Prinzip ein Problem der Luftverschmutzung
- Luftverschmutzungs-Probleme haben wir schon früher gelöst:
- In den **1980er** Jahren mit dem **Abgaskatalysator** und bleifreiem Benzin, was erfolgreich die Luft in den Städten verbesserte und das Waldsterben verringerte.
- In den **1990er** Jahren mit dem **weltweiten Verbot von FCKW** als Kühl- und Treibmittel, und deren Ersatz, was das Ozonloch wieder verkleinerte
- Wir müssen nun zum weltweiten **Verbot von fossiler Energie** kommen.
- Das lässt sich **nur politisch** erreichen.
- **Technische Ersatzmöglichkeiten** sind **ausreichend** da.
- Dazu mehr im nächsten Video.