

# Leseprobe

## Treibhauseffekt – Welche Chancen hat die Menschheit noch?

Die im Inhaltsverzeichnis **rot gedruckten Kapitel** sind in der Leseprobe ganz oder teilweise enthalten. Ausgelassene Abschnitte in diesen rot gedruckten Kapiteln sind durch zwei untereinanderliegende Doppelpunkte gekennzeichnet.

### Inhaltsverzeichnis

**Vorwort: Warum ich dieses Buch geschrieben habe**

- 1 Einleitung/Zusammenfassung**
- 2 Die Folgen der unterschiedlichen Erwärmung zwischen Land und Meer - Warum wir bisher nur einen Teil des Treibhauseffekts spüren**
- 3 Eine dringend erforderliche Gegenmaßnahme zu der durch Treibhausgase und weiteren Ursachen bedingten Erwärmung der Erde**
  - 3.1 Zusammenfassung**
  - 3.2 Einleitung**
  - 3.3 Vorschlag**
  - 3.4 Entwurf**
  - 3.5 Vorläufige Planung**
  - 3.6 Ergänzende Bemerkungen**
    - 3.6.1 Allgemeines
    - 3.6.2 Ausbaustufe und deren Vorteile
    - 3.6.3 Sonstiges (Kosten usw.)
  - 3.7 Einige vorläufige Ideen zur Realisierung**
  - 3.8 Einige erhaltene Kritiken zu diesem Vorschlag und deren Beantwortung**
- 4 Das Rätsel der Oberflächentemperatur des Planeten Mars**
  - 4.1 Beschreibung des Rätsels**
  - 4.2 Mögliche Lösung des Rätsels: Druckverbreiterung der Absorptionslinien von CO<sub>2</sub>**
  - 4.3. Welche Konsequenzen hätte dies auf die Wirkung von CO<sub>2</sub> auf der Erde?**
- 5 Wirkung von Wasser infolge verstärkter Dunst- oder Wolkenbildung durch Flugverkehr oberhalb der Tropopause**
  - 5.1 Vorbemerkungen**
  - 5.2 Beschreibung und Abschätzung des Effekts**
  - 5.3 Abschätzung der Ausbreitung von Wassermolekülen in ca. 11 km Höhe durch Diffusion**
- 6 Ausblick und Folgerungen aus dem ganzen Schlamassel**
- 7 Danksagungen**
- 8 Anhang**

## 2 Die Folgen der unterschiedlichen Erwärmung zwischen Land und Meer - Warum wir bisher nur einen Teil des Treibhauseffekts spüren

Ein großes Rätsel hat mich jahrzehntelang immer wieder beschäftigt. Es ist die unbestreitbare Tatsache, dass die tiefen Schichten der Meere sehr kalt sind. Sowohl die meisten Teile der Meeresoberfläche als auch das unter dem Meeresboden liegende Erdreich sind dagegen deutlich wärmer. Dies müsste 10 000 Jahre nach der letzten Eiszeit doch längst dazu geführt haben, dass diese tiefen Meeresschichten durch Wärmeleitung von den darunter und darüber liegenden wärmeren Schichten langsam aber sicher auch wärmer geworden sind. Auch das Oberflächenwasser, das an bestimmten Stellen in die Tiefe taucht, müsste doch dieses Tiefenwasser noch zusätzlich erwärmen. Warum hat diese Situation immer noch Bestand?

Die gängige Erklärung, die man gewöhnlich bekommt, wenn man diese Frage stellt, ist ungefähr folgende: Es liegt daran, dass das Wasser seine größte Dichte bei etwa 4° C hat und Wasser dieser Temperatur sich daher in der Tiefe ansammelt. Diese Antwort hat mich nie zufrieden gestellt, sie beantwortet eigentlich gar nichts. Wenn die Erwärmung fortgeschritten ist, kann die niedrigste Wassertemperatur des Meeres auch bei beispielsweise 10 °C liegen, und Wasser dieser Temperatur sammelt sich dann in der Tiefe an. Warum sollte das nicht auch bei höheren Temperaturen funktionieren?

Die Antwort, die mir nach vielem Nachdenken schließlich eingefallen ist, ist das Gegenteil von dem, was ich zuerst naiv erwartet hatte: Die ständige Meeresumwälzung erwärmte die Tiefsee nicht, sie kühlte sie stattdessen, zumindest vor Beginn der Klimakrise! Das absinkende Oberflächenwasser muss vor der Klimakrise ganz leicht kühler gewesen sein als das dafür aufsteigende Tiefenwasser. Inzwischen hat sich dies allerdings massiv ins Gegenteil verkehrt, und die Tiefsee erwärmt sich dadurch zusehends.

Der Grund für die Kühlung des Tiefenwassers vor der Klimakrise ist folgender: Damit das Oberflächenwasser überhaupt in die Tiefe abtauchen kann, muss es schwerer sein als das Tiefenwasser, also leicht kühler oder/und salzhaltiger als dieses. Sonst fehlt einfach die Kraft, die es in die Tiefe treibt. Ausreichend kaltes und daher dichtes Oberflächenwasser existiert ausschließlich in Polnähe. Nur dort ist es so kalt und daher dicht und schwer genug, dass es in die Tiefe sinken kann. Offenbar kühlte dieser Prozess vor der Klimakrise die Tiefsee so effektiv, dass sie sich seit der letzten Eiszeit noch nicht wesentlich erwärmt hatte. Ich wüsste jedenfalls keine andere Erklärung. Natürlich muss zwangsläufig dafür auch irgendwo kühles Tiefenwasser an die Oberfläche aufsteigen. Dies geschieht sogar gegen die bestehende Kraft durch die Dichteunterschiede, weil die Kraft, die den absinkenden Teil bewirkt, dies ausgleicht. Beim aufsteigenden Tiefenwasser entstehen dadurch zwangsläufig größere Wirbel, die die Meeresoberfläche sehr unregelmäßig beeinflussen und zu Phänomenen wie beispielsweise El Nino und La Nina führen können. Ich sage hier bewusst beeinflussen und nicht erwärmen oder kühlen, weil zwar vor der Klimakrise die Meeresumwälzung zu einer leichten Erwärmung der Meeresoberfläche geführt haben muss (sehr kaltes absinkendes Oberflächenwasser wurde durch nur geringfügig wärmeres aufsteigendes Tiefenwasser ersetzt). Durch die fortschreitende Erderwärmung ist jedoch das in die Tiefe absinkende Oberflächenwasser schließlich wärmer als das Tiefenwasser geworden. Dadurch hat sich dieser Austausch langsam zu einer inzwischen sogar massiven Kühlung der Meeresoberfläche gewandelt.

Eine enorm wichtige Tatsache, die in der derzeitigen Berichterstattung über das Klimaproblem so gut wie nie erwähnt wird: Die Erderwärmung ist nicht gleichmäßig über Land und Meer verteilt. Sie betrug im Jahr 2018 oder etwas davor im Schnitt etwa 1,4 °C über Land und etwa 0,7 °C über den

Oberflächen der Meere <sup>1</sup>, im Vergleich zu den 50er-Jahren des vorigen Jahrhunderts. Wie kommt das zustande? (Inzwischen gibt es sicher aktuellere Daten, die mir jedoch noch nicht bekannt sind, folglich gehe ich hier von der Situation 2018 aus).

Gehen wir des Weiteren zunächst mal davon aus, dass Mitte des vorigen Jahrhunderts noch keine nennenswerte Differenz in den Durchschnittstemperaturen von Land- und Meeresoberflächen herrschte. Der inzwischen entstandene Unterschied ist einfach eine zwangsläufige, vollkommen logische Folge der enormen thermischen Trägheit der Meere, in Verbindung mit der Meeresumwälzung. Diese liefert anstelle des absinkenden Oberflächenwasser ständig Tiefenwasser an die Oberfläche nach, welches infolge der Klimaerwärmung inzwischen deutlich kühler ist als das dafür absinkende Oberflächenwasser. Dadurch wird die Erwärmung des Oberflächenwassers immer mehr verzögert. Die durchschnittliche Temperatur der Meeresoberfläche ist dadurch, wenn sich die Erde durch den Klimateffekt aufheizt, viel niedriger, als sie in einem thermischen Gleichgewicht zwischen Land und Meer sein müsste. Sie läuft einem wirklichen Gleichgewichtszustand eine sehr lange Zeit hinterher. Dadurch wird derzeit das Land von den Meeren noch massiv gekühlt, sonst wären auch dessen Temperaturen schon deutlich höher.

Stellen wir uns dazu nun zwei **enorm wichtige Fragen**: Erstens, wie groß ist diese Kühlwirkung des Meeres, beziehungsweise wie hoch ist die wirkliche Gleichgewichtstemperatur oder Endtemperatur, auf die sowohl das Meer, als auch das Land derzeit zustreben? Zweitens, sobald wirkliche Klimaneutralität erreicht wäre, wie lange dauert es dann noch, bis diese Endtemperatur erreicht sein wird?

Machen wir zunächst zur ersten Frage, der Gleichgewichts- oder Endtemperatur einfach ein Gedankenexperiment: Nehmen wir an, durch erreichte Klimaneutralität wären wenigstens wieder die Voraussetzungen für stabile Verhältnisse geschaffen worden. Wie hoch wäre dann die letztendliche, wieder gemeinsame Temperaturerhöhung von Land und Meer, wenn sich diese Temperaturen ganz allmählich auf deutlich höherem Niveau wieder angeglichen hätten?

Die Berechnung dieser finalen Endtemperaturerhöhung ist im Prinzip erstaunlich einfach. Man kann zumindest diejenige Endtemperaturerhöhung einigermaßen genau ableiten, die für das Jahr 2018 gegolten hätte. Für dieses ungefähre Datum existieren zwei wichtige Anhaltspunkte: Erstens, die damalige durchschnittliche Temperaturerhöhung der Meeresoberflächen (0,7 °). Zweitens, die damalige durchschnittliche Temperaturerhöhung der Landflächen (1,4 °), die sich bei einem Landanteil von 30 % plus einer Meereseisfläche von schätzungsweise 5% eingestellt hat (die Eisflächen über dem Meer müssen in diesem Zusammenhang wie Land gezählt werden).

Nun überlegen wir uns: Wie anders wäre die Landtemperatur, wenn der Landanteil verschwindend gering wäre, praktisch nur aus wenigen winzigen Inseln bestehen würde? Man kann sich dazu einen anderen Planeten vorstellen, der dieselben Klimaprobleme hätte, aber nur aus wenigen kleinen Inseln in einem unendlichen Meer besteht. Die klare Antwort: die Oberflächentemperatur dieser Inseln könnte nicht nennenswert höher sein als die Meerestemperatur. Die ständig wehenden Winde würden dafür sorgen. Und die Meerestemperatur kann sich nur um ein vielfaches langsamer an Änderungen anpassen als das Land, deswegen wäre die Meerestemperatur immer noch bei nahezu 0,7 °C. Man kann sagen, dass sie eher sogar etwas kühler wäre, weil die zusätzliche Erwärmung des Meeres durch das wärmere Land wegfällt. Man mag einwenden, dass auch bei kleinen Inseln tagsüber bei Sonnenschein die Oberflächentemperatur des Landes höher sein wird als

---

<sup>1</sup> siehe beispielsweise im Internet: José L. Lozán: Ozeane - Schlüsselsystem im Klimageschehen, Gastvortrag 2018

die Meerestemperatur, aber das war sicher auch vor der Klimakrise schon der Fall, deswegen zählt dies nicht.

Die nächste Überlegung: Wie anders wäre die Landtemperatur, wenn andererseits die Meere nur einen winzigen Anteil an der gesamten Erdoberfläche hätten? Die klare Antwort auch hier: Eine sehr kleine Gesamtfläche der Meere wäre nicht in der Lage, das Land nennenswert zu kühlen. Auf dem Land würde sich praktisch sofort die finale Endtemperatur einstellen. Ich nenne diese Situation nachfolgend das „Sofortmodell“.

Wie hoch ist diese Endtemperaturerhöhung, beziehungsweise die letztendliche Gleichgewichtstemperatur?

Extrapolieren wir dazu einfach linear mit Hilfe der beiden obigen Überlegungen, gültig für das Jahr 2018: Bei einem Landanteil von nahezu 0 ist die Landtemperatur gleich der Meerestemperatur, also gleichfalls um  $0,7^{\circ}\text{C}$  erhöht. Bei einem Landanteil von 35 % ist die Landtemperatur  $0,7^{\circ}\text{C}$  höher als die Meerestemperatur. Bei einem Landanteil von nahezu 100 % ergibt die lineare Extrapolation dann Landtemperatur gleich Endtemperatur um  $2^{\circ}\text{C}$  höher als die Meerestemperatur. Also insgesamt  $2,7^{\circ}\text{C}$  Erhöhung der Gleichgewichtstemperatur.

Hierbei wird allerdings vorausgesetzt, dass 1950 noch einigermaßen ein Temperaturgleichgewicht zwischen Land und Meer herrschte, was angesichts einer extrem langen Zeitdauer für die restliche Erwärmung (siehe weiter unten) doch nicht ganz klar ist. Auch kann ich die lineare Fortsetzung auf die Endtemperatur nicht streng beweisen, sie ist allerdings naheliegend. Ich wüsste keinen Grund, warum dies anders sein könnte.

Die folgende Skizze soll das noch etwas anschaulicher und deutlicher machen. Sie verdeutlicht die in den obigen Überlegungen getroffenen Schlussfolgerungen. **Ich empfehle, falls diese Skizze zunächst nicht ganz einleuchtet, ruhig mal ein oder zwei Nächte darüber zu schlafen** und sich das nochmals gründlich durch den Kopf gehen zu lassen. Es ist enorm wichtig zum Verständnis dessen was noch folgt. Wer dies nicht versteht oder nicht verstehen will, braucht gar nicht weiterzulesen.

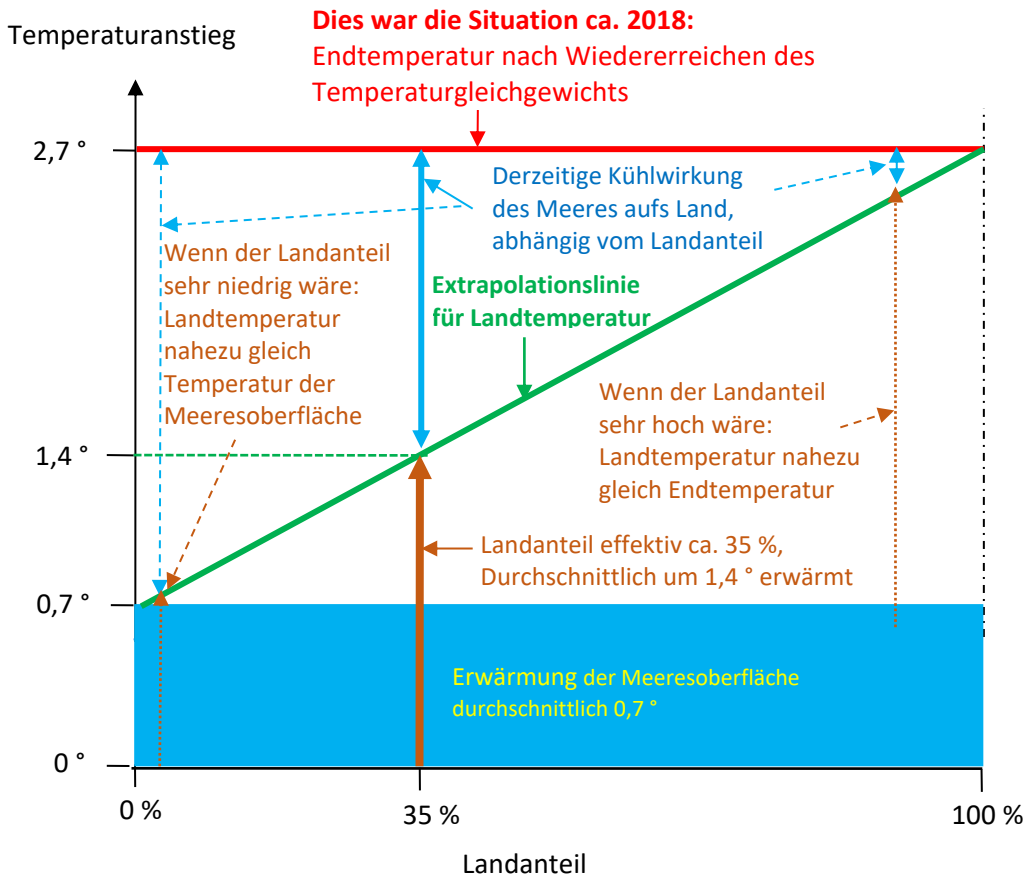


Abb. 2-1: Skizze zur Bestimmung der tatsächlichen Endtemperaturerhöhung

Wie bereits erwähnt, die in Abbildung 2-1 dargestellte Situation galt für das Jahr 2018 (Erscheinungsjahr des genannten Artikels) oder sogar etwas davor. Alles, was in der Zwischenzeit hinzukam und künftig hinzukommt, wird diese Gleichgewichtstemperatur weiter in die Höhe treiben. Nimmt man beispielsweise an, dass sämtliche Klimatreiber bis zum Jahr 2050 in derzeitigem Tempo weiterwachsen würden, und anschließend abrupt weltweit die sogenannte Klimaneutralität erreicht werden würde, wäre die Erhöhung der Endtemperatur dadurch schon von 2,7 auf schätzungsweise etwa 4,5 °C angestiegen.

In diesem Zusammenhang noch eine naheliegende Vermutung: Sowohl die Südpolregion als auch die ständig mit Eis bedeckte Nordpolregion sind thermisch als Landfläche zu zählen, die dem höheren Temperaturanstieg des Landes unterliegen. Bei beiden Polen überwiegen infolge der Erdrotation zirkumpolare Luftströmungen, die einen thermischen Austausch mit den übrigen Erdregionen erschweren. Selbst wenn genau über einem Pol eine Windgeschwindigkeit von 100 km/h herrschen sollte: Infolge der Erdrotation bewegt sich ein Ort nur beispielsweise 400 km vom Pol entfernt schon etwas mehr als diese 100 km/h im Kreis, und der Wind wird entsprechend abgelenkt. Durch die zwangsläufige Ablenkung dieser Winde erschwert sich der Luftaustausch mit weiter von den Polen entfernten Regionen massiv. Die Pole sind daher von den übrigen Erdregionen thermisch etwas abgekoppelt. Beide Pole weisen gegenüber den übrigen Landregionen eine massiv stärkere Erwärmung auf. Es könnte sich daher sogar um ein näherungsweise Beispiel für das oben erklärte „Sofortmodell“ handeln. Am Nordpol ist zwar Wasser unter dem Eis, aber die Eisdicke reicht wahrscheinlich (noch) aus, um die Eisoberfläche thermisch weitgehend vom Wasser abzuschirmen.

Allerdings gehört dazu auch, dass die Isolation von den übrigen Erdregionen nicht so weit geht, dass keine Treibhausgase in diese Regionen eindringen können, die diese Erwärmung ja erst verursachen.

Eine weitere Möglichkeit für die stärkere Erwärmung der Polregionen, insbesondere des Nordpols, der meines Wissens eine nochmal deutlich stärkere Erwärmung zeigt als die Südpolregion, wird in Kapitel 5 beschrieben.

**Nun zur zweiten Frage:** Wie schnell wird die Endtemperatur erreicht? Ich habe dazu ein ganz einfaches Rechenmodell erstellt, um dies besser beurteilen zu können. Dabei kam für mich die ganz große Überraschung. Ich hatte eigentlich erwartet, dass die Temperaturen von Land und Meer nach Erreichen von wirklicher Klimaneutralität aufgrund der erheblich nachhinkenden Oberflächentemperatur der Meere noch etliche Jahrzehnte lang deutlich ansteigen. So lange, bis letztendlich die gemeinsame Endtemperatur erreicht ist. Die Temperaturen steigen wirklich weiter bis zur Endtemperatur an. Jedoch – sofern die Umwälzung der Meere von der Oberfläche in die Tiefsee stabil auf unverändertem Niveau bleiben würde (genauer gesagt auf dem Niveau von 2018) – extrem langsam. Gemäß meinem nur sehr groben Modell mit einer Halbwertszeit von etwa 2000 Jahren, sofern die mittlere Umwälzdauer der Meere zu 1000 Jahren angenommen wird (die Halbwertszeit ist hierbei der Zeitraum, nach der jeweils die Hälfte der restlichen Differenz zwischen aktueller Temperatur und Endtemperatur erreicht wird). Es bräuchte uns daher eigentlich derzeit gar nicht weiter zu interessieren. Land und Meer würden sich in absehbarer Zeit nur noch unwesentlich weiter erwärmen, sobald wirkliche Klimaneutralität erreicht wäre, die auch andere Beiträge wie beispielsweise Rückgang der Eisbedeckung kompensiert. Wir könnten uns also bequem zurücklehnen, wenn wir dies noch rechtzeitig erreichen würden. Allerdings gilt dies nur für den Fall, dass die Meeresumwälzung sich nicht groß ändert.

Dass diese 2000 Jahre Halbwertszeit für den Fall stabiler Meeresumwälzung einigermaßen richtig sein müssen, zeigen folgende Überlegungen: Die Meeresumwälzung schafft laufend Oberflächenwasser in die Tiefe und dafür Tiefenwasser an die Oberfläche. Dieses in die Tiefe absinkende Oberflächenwasser ist infolge der Erderwärmung inzwischen etwas wärmer als das Tiefenwasser, deshalb wird letzteres jetzt auch sehr langsam erwärmt. Gemäß der (bisherigen) Umwälzrate der Meere dauert es jedoch mindestens 1000 Jahre, bis der gesamte Meeresinhalt im Mittel einmal vollständig umgewälzt ist. Nur dementsprechend kann sich die Tiefsee der jeweiligen Temperatur des absinkenden Oberflächenwassers halbwegs anpassen, wenn man davon ausgeht, dass die zusätzlichen Wärmeleitungen durch die wärmeren Schichten des Oberflächenwassers und durch das wärmere Erdinnere diesbezüglich vernachlässigbar sind. Wenn Klimaneutralität endlich erreicht ist, und sofern die Meeresumwälzung sich nicht ändert, richtet sich die weitere Erwärmung des Oberflächenwassers nur noch nach der Temperatur des aufsteigenden Tiefenwassers. Das heißt, sie kann nur im Laufe von 1000 Jahren um die jeweilige Temperaturdifferenz zwischen absinkendem Oberflächenwasser und aufsteigendem Tiefenwasser weiter ansteigen, weil erst dann das Tiefenwasser durch das absinkende Oberflächenwasser wieder etwas wärmer geworden ist. Allerdings gilt all dies nur unter der Voraussetzung, dass die Umwälzrate der Meere unverändert Bestand hat. Wenn beispielsweise die Meeresumwälzung komplett zusammenbricht, verkürzt sich gemäß meinen Modellrechnungen die Halbwertszeit für die restliche Erwärmung hin zur Gleichgewichtstemperatur sehr drastisch von etwa 2000 auf nur noch etwa 20 Jahre! Der Grund dafür ist der, dass die Erwärmung des gesamten Meeresinhalts dann wegfällt. Stattdessen wird nur noch das Oberflächenwasser bis zu einer gewissen Tiefe erwärmt, und das geht um etwa zwei Größenordnungen schneller. **Und leider ist die Voraussetzung einer stabilen Umwälzrate inzwischen komplett hinfällig, wie die weiter unten aufgeführten Fakten nahelegen!**

Zugegeben: Dieses Modell, das ich zur Abschätzung erstellt habe, ist sehr einfach und in gewisser Weise primitiv. Ich habe hierbei einfach stark vereinfachte Szenarien durchgerechnet. Es berücksichtigt in keiner Weise die sehr unterschiedlichen Meerestiefen. Stattdessen wird eine einheitliche Meerestiefe von 3500 m für 35% der Gesamtfläche der Erde angenommen (die Meeresflächen die von Eis bedeckt sind, werden als Land gezählt, wie bereits erwähnt). Es berücksichtigt nicht die sehr unterschiedlichen Meeresströmungen in den verschiedenen Meeren, und so weiter. Kritiker werden mir wahrscheinlich vorwerfen, ich hätte „das Pferd von hinten aufgezäumt“, dadurch dass ich einfach die bisherige unterschiedliche durchschnittliche Erwärmung von Land und Meer als Grundlage genommen und alles andere dabei zunächst ignoriert habe. Aber gerade dies ist das Wesentliche, und durch diese Einfachheit des Modells treten meines Erachtens die wirklichen Einflüsse sehr deutlich hervor, die in einem sehr viel komplexeren Modell mit einer Vielzahl zusätzlicher Einflussfaktoren vielleicht einfach untergehen würden. In Abbildung 2-2 ist eine schematische Skizze dieses Modells gezeigt.

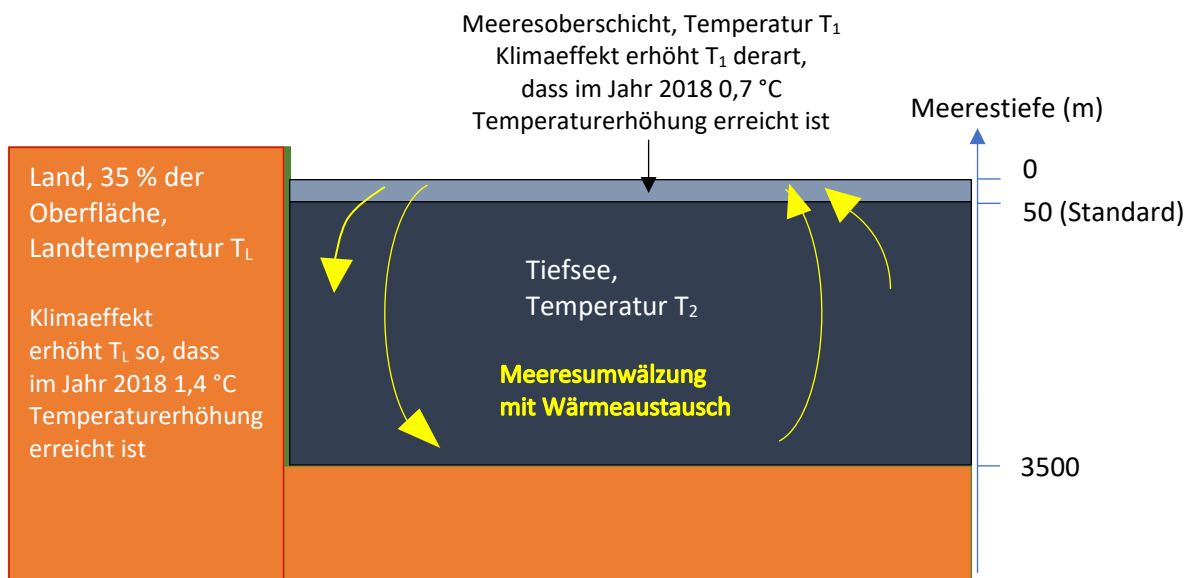


Abb. 2-2: Schematische Darstellung der Berechnungen zur Land- und Meereserwärmung

Die nachfolgende Abbildung 2-3 zeigt ein typisches Ergebnis dazu. Dieses ist für den Fall berechnet, dass die Erhöhung der Gleichgewichtstemperatur von ursprünglich 0 ab dem Jahr 1970 linear ansteigt, wobei dann im Jahr 2018 genau 2,7 °C erreicht werden, und ab dem Jahr 2050 abrupt Klimaneutralität eintritt, die dann die Gleichgewichtstemperatur nicht weiter erhöht. Der Grund für den Beginn erst im Jahr 1970 ist die Tatsache, dass der Beitrag zur Klimaerwärmung immer stärker ansteigt, im Modell jedoch linear gerechnet wird. Durch die Verlegung des Beginns in das Jahr 1970 und dafür stärkerem Anstieg soll dem einigermaßen Rechnung getragen werden.

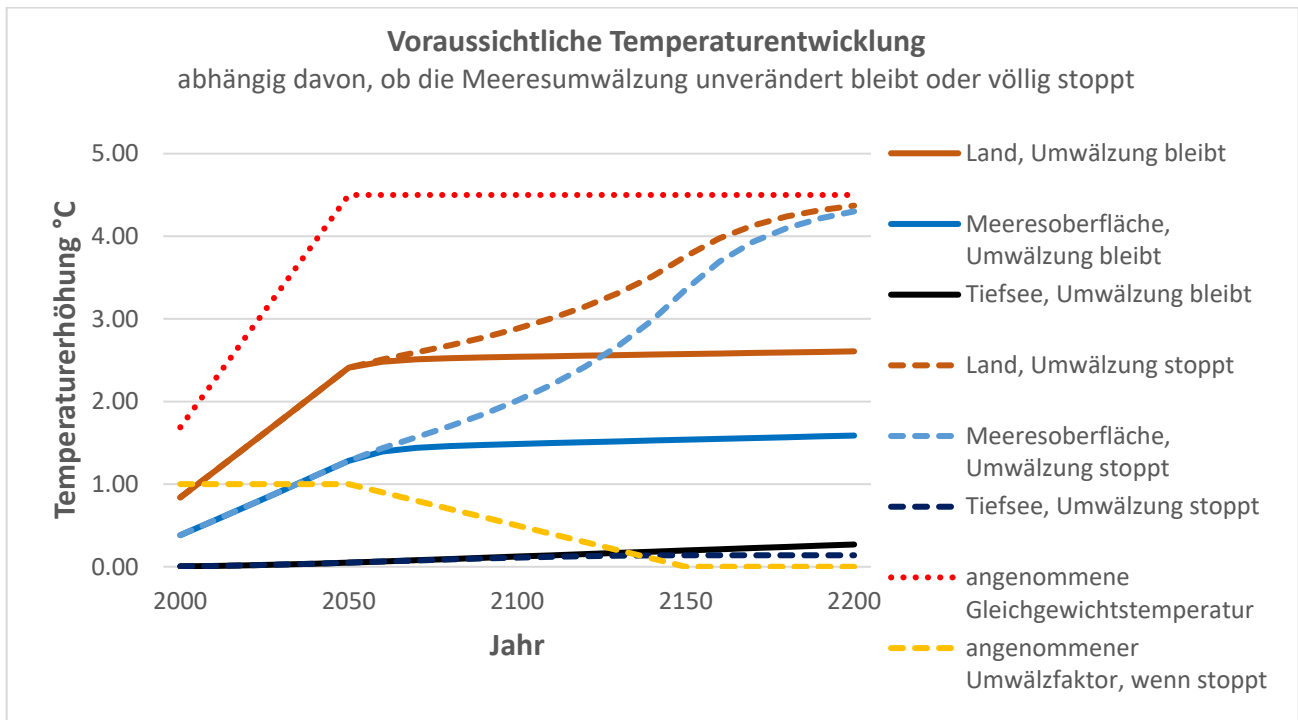


Abb. 2-3 Beispiel (Standardmodell) für berechneten Temperaturanstieg, wenn die Emissionen beginnend im Jahr 1970 bis zum Jahr 2050 linear zunehmen und dann abrupt Klimaneutralität erreicht wird. Bei den gestrichelten Kurven ist angenommen, dass zusätzlich die Meeresumwälzung in die Tiefe ab dem Jahr 2050 jährlich um 1% des Anfangswertes abnimmt (durch die gelb gestrichelte Linie angedeutet). Das heißt, im Jahr 2150 wäre diese Umwälzung dann komplett zusammengebrochen. Rot gepunktet ist die angenommene Gleichgewichts- oder Endtemperaturerhöhung eingezeichnet, für die der Verlauf der Temperaturkurven von Land und Meer berechnet wurde.

Man sollte sich klarmachen: Klimaneutralität bedeutet nicht, dass die Heizung abgestellt wird. Sie wird lediglich auf das inzwischen erreichte Maß begrenzt, heizt aber in vollem Umfang weiter und sorgt deshalb dafür, dass die hauptsächlich aufgrund der bisherigen Meeresumwälzung deutlich nachhinkenden Temperaturen langsam weiter aufholen.

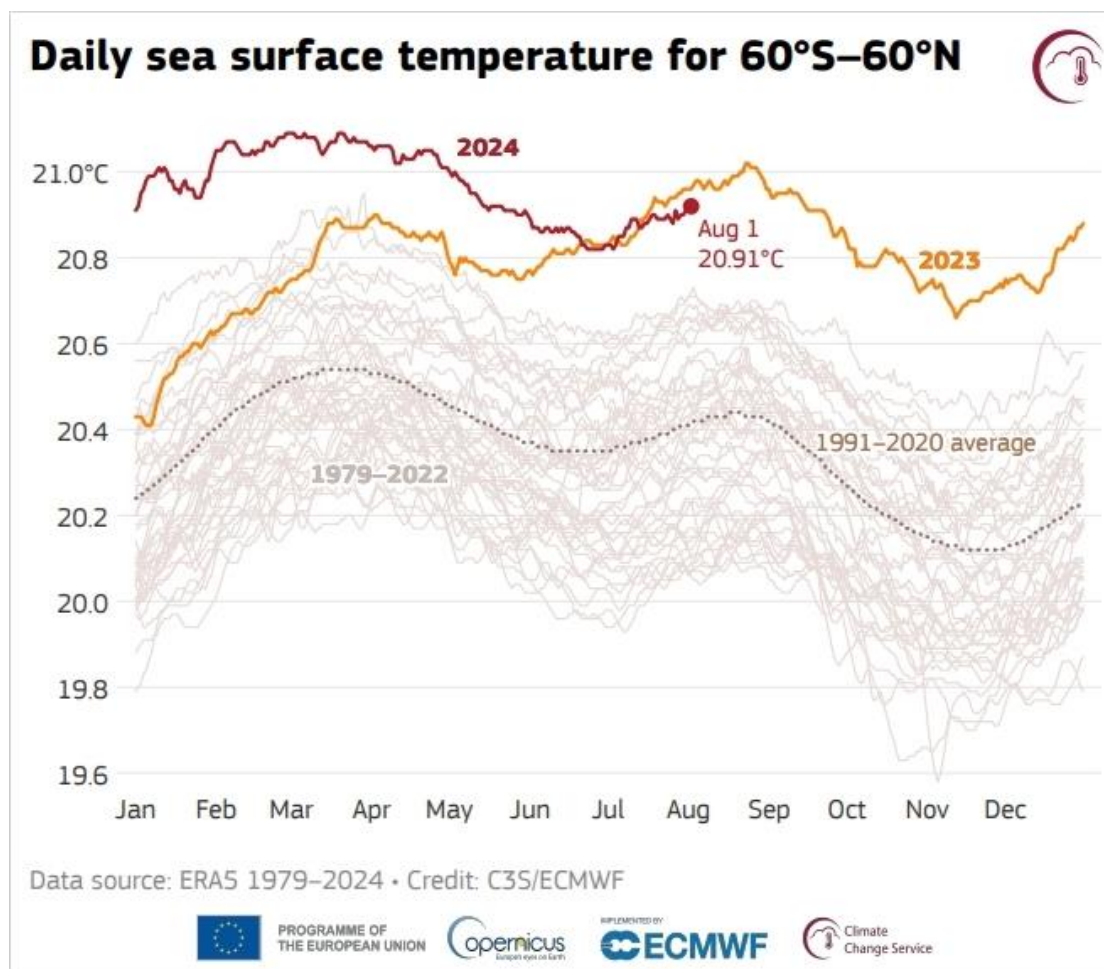
Das sogenannte 2°-Ziel ist also keinesfalls mehr zu halten. Sollte die Meeresumwälzung auch nur etwas nachlassen, steigen die Temperaturen weiter. Vor allem: Diese sogenannte Klimaneutralität berücksichtigt bisher lediglich die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wichtige zusätzliche Einflüsse sind noch nicht enthalten. Diese werden auch nach formalem Erreichen der Klimaneutralität die Erde zusätzlich weiter aufheizen. Im Klartext, die Endtemperatur weiter hochtreiben. Ein Beispiel ist der weltweite Rückgang von Eis- und Gletscherregionen. Dieser führt dazu, dass die Solarstrahlung auf den entsprechenden vom Eis befreiten Flächen viel stärker absorbiert und in Wärme umgewandelt wird und dadurch die Erde zusätzlich aufheizt. Ferner alles was außer Treibhausgasen die Abstrahlung der Wärme sonst noch behindert (ein Beispiel siehe Kapitel 5). Besonders gefährlich ist das Überschreiten sogenannter Klimakippunkte.

:  
:

Ich hatte dieses Buch schon nahezu fertig, da kam in der Wochenzeitschrift DER SPIEGEL (2. März 2024, ab Seite 94) ein wirklich bestürzender Artikel über die Meereserwärmung im vergangenen Jahr



2023. Noch aktuellere Daten dazu findet man unter <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-july-2024>. Ich habe das aktuellere Diagramm aus dieser Quelle nachfolgend einfach kopiert, um möglichst jedem den Ernst der Lage zu verdeutlichen. Gemäß diesen etwas aktuellere Daten ist die Situation zwar nicht mehr ganz so dramatisch wie der Spiegel-Artikel zuerst nahegelegt hat, aber dennoch höchst besorgniserregend.



*Daily sea surface temperature (°C) averaged over the extra-polar global ocean (60°S–60°N) for 2023 (orange) and 2024 (dark red). All other years between 1979 and 2022 are shown with grey lines. The daily average for the 1991–2020 reference period is shown with a dashed grey line. Data source: ERA5. Credit: Copernicus Climate Change Service/ECMWF.*

Abb. 2-4 Anstieg der Meerestemperaturen. Quelle ist Copernicus Climate Change Service/ECMWF

Auf den vorhergehenden Seiten wurde versucht, den Einfluss der Meeresumwälzung auf die Erdtemperaturen zu erklären. Lieber Leser: Wie würden Sie persönlich diese geradezu gewaltige Temperaturerhöhung der Meere im vergangenen Jahr interpretieren, nachdem Sie ja vorher hoffentlich verstanden haben, wie sehr die Kühlung der Meeresoberfläche von der Umwälzung in die Tiefe abhängt? Die Meere haben sich im Laufe von nahezu 70 Jahren von etwa 1950 bis 2018 um etwa 0,7 °C erwärmt, und nun plötzlich um weitere etwa 0,35 Grad in nur einem Jahr. Versuchen Sie doch, eine mögliche Ursache zu finden, bevor Sie weiterlesen! Denn irgendeine muss es dafür geben. Vergewöhnen Sie sich dazu ruhig nochmal weiter oben in Abbildung 2-3 den dort gestrichelt gezeichneten Kurvenverlauf und lesen Sie nochmal die Erklärung dazu, warum bei Zusammenbruch

der Meeresumwälzung die Halbwertszeit für die restliche Erwärmung bis zur Endtemperatur drastisch um etwa zwei Größenordnungen abnimmt, d.h. die Temperaturen dementsprechend viel schneller ansteigen!

Es kann eigentlich nur eines bedeuten, obwohl ich über die Ursache dieser plötzlichen Erwärmung noch nichts Näheres erfahren habe, und laut diesem Spiegel-Artikel die Wissenschaftler noch rätseln, woher das kommt: Meine Interpretation dieses Anstiegs: **Höchstwahrscheinlich ist die Meeresumwälzung komplett oder wenigstens nahezu komplett zusammengebrochen.** Nur dadurch lässt sich diese plötzliche massive Erwärmung der Meeresoberfläche schlüssig erklären. Denn dadurch, um das an dieser Stelle nochmal zu wiederholen, fällt die bisherige massive Kühlung der Meeresoberfläche durch die Meeresumwälzung flach. Dadurch wird nur noch das Oberflächenwasser bis zu einer bestimmten Schichtdicke erwärmt, statt dem gesamten Meeresinhalt, was dann um etwa einen Faktor 100 schneller geht. Wie Sie aus der Abbildung 23 weiter oben aus den dort gestrichelt gezeichneten Kurven erkennen können: Ich hatte so etwas sogar befürchtet und erwartet, nur nicht so früh und nicht so massiv. Für den Zusammenbruch dieser Meeresumwälzung hatte ich dort einen Zeitraum von 100 Jahren veranschlagt.

:  
:

In den in Abbildung 2-3 dargestellten Berechnungen bin ich noch davon ausgegangen, dass die Meeresumwälzung wenigstens bis zum Jahr 2050 weiter bestehen würde, und dann nicht plötzlich, sondern langsam im Verlaufe von 100 Jahren aufhören würde. Der gestrichelt gezeichnete Temperaturverlauf muss nun um mehr als 100 Jahre vorverlegt werden und auch zu Beginn deutlich stärker ansteigen. Dann ist er der ungefähr wahre Temperaturverlauf, den die Erde nun erfahren wird. Vielleicht komme ich irgendwann dazu, dies zu aktualisieren.

Natürlich hat ein so einfaches Modell seine Schwachstellen.

:  
:

Noch ein paar Worte zu den zu erwartenden Niederschlägen und zu dem zu erwartenden Meeresspiegelanstieg in einer heißen Welt:

:  
:

### **3 Eine dringend erforderliche Gegenmaßnahme zu der durch CO<sub>2</sub>-Ausstoß und weiteren Ursachen bedingten Erwärmung der Erde**

Es gibt eine Reihe von Vorschlägen, die Temperaturerhöhung durch aktive Maßnahmen zu begrenzen. Teilweise sind sie aber zumindest zweifelhaft. Vorschläge wie beispielsweise der neulich in einer Fernsehsendung erwähnte Plan, durch Flugzeuge ständig hochreflektierende Partikel in die oberen Luftschichten zu bringen, wären mit Sicherheit sogar kontraproduktiv (siehe Schluss von Abschnitt 5.2). Man sollte sich klarmachen: Um eine Temperaturerhöhung von wahrscheinlich mehr als 4,5 °C noch erfolgreich zu bekämpfen, müsste man mit erdgebundenen Maßnahmen wahrscheinlich die halbe Erdoberfläche irgendwie abschatten. Diese Abschattung würde zwar tagsüber die Sonneneinstrahlung je nach Sonnenstand und Bewölkung reduzieren, aber dafür volle 24 Stunden am Tag die Wärmeabstrahlung massiv unterbinden. Man bräuchte also schätzungsweise nochmal etwa einen Faktor 5 bis 10 mehr Fläche, um dieselbe Wirkung zu erzielen, was wiederum die globale Sonneneinstrahlung massiv reduzieren würde. Doch diese Sonnenstrahlung ist überlebenswichtig für die Menschheit, für das Wachstum der Pflanzen, usw. Deswegen kommt meines Erachtens nur noch eine Maßnahme in Betracht, die die Sonnenstrahlung zwar etwas reduziert, aber die Wärmeabstrahlung der Erde nicht behindert.

Nachfolgend wird ein Vorschlag gemacht, der meiner Ansicht nach durchführbar und effektiv wäre. Aufgrund des inzwischen erfolgten ungewöhnlich massiven Anstiegs der Meerestemperaturen ab Mitte 2023 ist er sogar äußerst dringend erforderlich, um die gesamte Menschheit von einer ungeheuren globalen Katastrophe noch zu retten.

#### **3.1 Zusammenfassung**

Das Anbringen einer großen Plane (Sonnenschirm) näherungsweise im Lagrange-Punkt L1 zwischen Sonne und Erde zur Reduzierung der Erdtemperatur wird diskutiert. Wegen der riesigen Dimension ist dieses Projekt nur durchführbar, wenn es gelingt, nahezu alles erforderliche Material einschließlich Raketentreibstoff auf dem Mond zu gewinnen, dort zu verarbeiten und letztendlich von dort aus zum Lagrange-Punkt zu schicken. Sonst würden alleine die zig-Millionen erforderlichen Raketenstarts von der Erde aus diese erst recht in eine ausweglose Situation treiben. Eine weitere, allerdings wesentlich leichter zu erfüllende Grundvoraussetzung ist die Entwicklung und Fertigung von Robotern, die die erforderlichen Arbeiten dazu auf dem Mond, im Mondorbit und im Lagrange-Punkt durchführen können. Sonst würden schon alleine die erforderlichen Mannschaftstransporte zum Mond und wieder zurück zu einer gewaltigen Belastung der Erdatmosphäre durch eine Unzahl von erforderlichen Raketenstarts führen. Ich halte diese Voraussetzungen jedoch für erfüllbar, und daher einen derartigen Sonnenschutz für machbar. Der grobe Entwurf einer solchen Plane sowie deren Stabilisierung im Lagrange-Punkt wird diskutiert.

#### **3.2 Einleitung**

:  
:

#### **3.3 Vorschlag**

Die Erde muss durch eine riesige Plane teilweise gegen die Sonnenstrahlung abgeschattet werden. Diese Plane ist näherungsweise im Lagrange-Punkt L1 zwischen Erde und Sonne anzubringen. L1 ist derjenige Ort zwischen Sonne und Erde, an dem sich die Anziehungskräfte von Sonne und Erde in Verbindung mit der Fliehkraft des jährlichen Umlaufs um die Sonne gerade aufheben, und ein Körper

daher im Idealfall quasi-stationär mit der Erde um die Sonne rotieren kann. L1 befindet sich etwa anderthalb Millionen km vor der Erde in Richtung Sonne.

:

:

Es hört sich zunächst gar nicht so wild an, jedoch sind die Anstrengungen, die dazu unternommen werden müssen, selbst nach heutigen Maßstäben gigantisch. Sehr wahrscheinlich ist es jedoch der einzige derzeit noch gangbare Weg, aus dieser Misere nochmals mit einem blauen Auge davonzukommen.

Zum Vorschlag und den damit verknüpften Problemen im Detail: Ich gehe hier in der Grundversion von einer angestrebten durchschnittlichen Minderung des Temperaturanstiegs für die Erde von 2 °C aus. Andere gewünschte Absenkungen lassen sich entsprechend skalieren. Um diese Temperaturabsenkung zu erhalten, muss eine kreisrunde Plane einen Durchmesser von ungefähr 3000 km aufweisen. Dieser hängt unter anderem von Faktoren ab, auf die ich später noch eingehen werde.

:

:

Zunächst folgt daraus:

1). Bei einem angenommenen Flächengewicht dieser Plane von etwa 50 g/m<sup>2</sup>, was vermutlich nicht wesentlich unterschritten werden kann, ergeben sich insgesamt rund 350 Millionen Tonnen an von der Mondoberfläche aus hochzutransportierendem Material, zuzüglich erforderlichem Raketentreibstoff. Wie riesig diese Materialmenge ist, soll folgendes Beispiel verdeutlichen: Würden **täglich** etwa 10 000 Tonnen Netto-Masse hochgeschafft, an 365 Tagen im Jahr, würde alleine der Transport insgesamt knapp 100 Jahre in Anspruch nehmen. Sämtliche Raketenstarts weltweit schaffen derzeit vielleicht 1000 Tonnen **pro Jahr** hoch. Die Transportkapazitäten in den Weltraum müssten also um deutlich mehr als einen Faktor 1000 erhöht werden, was nicht machbar ist. Die Erde würde durch das Verbrennen der erforderlichen Raketentreibstoffe, die nochmals ein Vielfaches dieser Menge betragen würden, erst recht in eine ausweglose Situation getrieben werden. Die **einzig realistische** Alternative ist, dieses Material einschließlich des erforderlichen Raketentreibstoffs nahezu ausschließlich (möglichst mehr als 99,999%) auf dem Mond zu gewinnen, dort zu verarbeiten und von dort aus hochzuschicken.

2). Ich gehe in einer sehr groben Abschätzung, die sicher noch zu verbessern wäre, davon aus, dass für die durchzuführenden Arbeiten auf der Mondoberfläche und im Mondorbit wenigstens 10 000 Astronauten ständig benötigt werden würden. Es dürfte für einen Astronauten nicht zumutbar sein, länger als ein Jahr für 8 Stunden täglich auf und um den Mond zu arbeiten, spätestens dann muss er wieder zur Erde zurückgebracht werden. Um die Anzahl der Astronauten aufrecht zu erhalten, müssten täglich mehr als 25 Astronauten hoch- und dafür andere wieder heruntertransportiert werden. Dies wäre ein klares „no go“, da allein dadurch immer noch täglich mehrere Starts und Landungen von Raumfähren erforderlich wären. Die Arbeiten auf dem Mond, im Mondorbit und im Lagrange-Punkt müssen daher fast ausschließlich durch speziell dafür konstruierte Roboter durchgeführt werden, **ohne diese geht es nicht**. Diese Roboter müssen noch entwickelt und gebaut werden. Dies ist aber sicher das kleinere Problem.

Die Vorteile von Robotern liegen jedoch auf der Hand: Sie könnten im Gegensatz zu Menschen viele Jahre lang rund um die Uhr arbeiten, wenigstens im Mondorbit und im Lagrange-Punkt. Auf dem Mond selbst vielleicht nur die Hälfte der Zeit, solange die Sonne für die Energieversorgung zur

Verfügung steht. Daher bräuchte man im Vergleich zur Zahl der erforderlichen Astronauten deutlich weniger, wenn man von gleicher Arbeitsleistung pro Zeiteinheit ausgeht. Man könnte sie leicht bauen, vielleicht 10 kg an hochzutransportierender Masse pro Roboter, statt wohl weit mehr als eine Tonne pro Astronaut mit Nahrungsmitteln, Getränken, Atemluft und sonstigem Life-Support für ein Jahr. Daher könnte man mit jedem Start anstelle eines einzelnen Astronauten gut 100 Roboter hochschicken. Insgesamt ließe sich damit die notwendige Anzahl der erforderlichen Starts um weit mehr als einen Faktor 1000 reduzieren, die Rückkehr zur Erde könnte ganz entfallen.

:

:

3). Die Situation auf dem Mond, erheblich reduzierte Schwerkraft und fehlende Atmosphäre, sollte es andererseits gestatten, die erforderlichen Materialien in kleineren Einheiten zunächst ohne Raketenantrieb mittels einer horizontalen elektrischen Beschleunigungsvorrichtung wenigstens in einen hochelliptischen Orbit um den Mond zu schicken. Auf der Erde existieren bereits Schienenwege mit elektromagnetischem Antrieb für Zuggeschwindigkeiten von 500 km/h und mehr – so ähnlich könnte auch diese Beschleunigungsvorrichtung funktionieren. Der weitere Transport zunächst in einen hohen, näherungsweise kreisförmigen Orbit um den Mond und anschließend zum Lagrange-Punkt muss dann natürlich mit Raketenantrieb erfolgen. Dies kann entweder mittels konventioneller Triebwerke geschehen, was dann noch zu schätzungsweise 1/3 an Zusatzmasse für Raketentreibstoff führen würde. Eine Alternative wären die in letzter Zeit vermehrt eingesetzten Ionentriebwerke, die sich dadurch auszeichnen, dass wesentlich weniger Treibstoff benötigt wird, allerdings mit drastisch geringeren Schubwerten.

Eine sofortige Anhebung des Orbits jeder einzelnen Nutzlast ist unbedingt erforderlich, weil diese sonst schon nach einem Umlauf wieder in den Mond stürzen könnte, bedingt hauptsächlich durch Störungen infolge der wechselnden Gravitationseinwirkung der Erde. Jede einzelne Nutzlast benötigt daher ein Antriebs- sowie ein Lageregelungssystem.

### **3.4 Entwurf**

Zunächst muss, aufgrund der großen Abmessungen, die Plane stabilisiert oder versteift werden. Stabilisierung könnte im Prinzip durch eine langsame Rotation um die Flächennormale der Plane erzielt werden (als Flächennormale bezeichnet man die Richtung senkrecht zur Ebene einer Fläche). Dem steht jedoch entgegen, dass diese stets in Richtung Sonne ausgerichtet sein und sich daher in einem Jahr auch um sich selbst drehen muss. Eine zusätzliche Rotation um eine Achse senkrecht zur Flächennormale dürfte in diesem Fall zumindest nur schwer machbar sein und auch viel zu viel zusätzlichen Treibstoff erfordern. Eine starre Stützstruktur ist weitaus besser, so dass die Plane ohne Rotation um die eigene Achse stabil gehalten wird, und deren Flächennormale ohne Treibstoffeinsatz stets in Richtung Sonne ausgerichtet sein kann.

Ferner muss bei dieser Größe und Einsatzdauer auch damit gerechnet werden, dass Plane, Stützstruktur und auch Elektrik gelegentlich durch größere Meteoriden lokal durchlöchert werden, und dadurch auch Steuerungselemente ausfallen können. Die Gesamtanlage darf hierdurch jedoch keinesfalls in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, bis die Schäden wieder repariert werden, soweit dies erforderlich ist. Es werden deshalb beispielsweise räumlich stark getrennte Vielfachredundanzen sämtlicher Elektrik einschließlich der Leitungen erforderlich sein (eine Redundanz ist ein Ersatzteil für den Fall, dass das ursprüngliche Teil ausfällt). Auch darf die Plane im Laufe der Jahrhunderte nicht einfach durch Sonnenstrahlung und Sonnenwind wegerodiert werden. Ich nehme an, dass aus diesem Grund nur eine metallische Oberfläche in Frage kommt.

Die Gesamtanlage ist dem Strahlungsdruck der Sonnenstrahlen und dem stark variablen Sonnenwind ausgesetzt, wobei der Strahlungsdruck weit überwiegt. Den ständigen Variationen diese Einflüsse im an sich schon instabilen Lagrange-Punkt mit Triebwerken entgegenzuwirken, würde ständigen Treibstoffeinsatz erfordern. Aufgrund der extrem hohen Anforderung an die Einsatzdauer würde dies im Laufe der Zeit zu gewaltigen zusätzlich benötigten Treibstoffmengen führen. Die Plane muss ja mindestens etliche hundert Jahre im Einsatz bleiben. Eine weitaus bessere Möglichkeit ist die Beibehaltung der korrekten Position und Orientierung mit Hilfe des Strahlungsdrucks der Sonne, einen geringen Anteil trägt auch der Sonnenwind bei. Dazu wird die gesamte Anlage beispielsweise in einzelne, ungefähr einen Quadratkilometer große Teilflächen unterteilt, die zwar untereinander verbunden sind, von denen sich jedoch zumindest ein geringer Teil davon individuell zur Steuerung verstellen lässt. Die Größe dieser Teilflächen richtet sich letztendlich danach, welche Fläche noch ohne Schwierigkeiten schwenkbar sein wird. Je nach Bedarf wird dann stets ein Teil dieser verstellbaren Teilflächen einfach schräg oder parallel zur Richtung Sonne (d.h. Flächennormale nicht mehr Richtung Sonne) gestellt, so dass er für den Strahlungsdruck weniger oder gar keine Angriffsfläche mehr bietet. Dies regelt die Positionierung in Richtung Sonne. Bei Schrägstellung entsteht durch Lichtablenkung außerdem ein geringer seitlicher Schub, der sich zur Positionsregelung senkrecht zur Richtung Sonne verwenden lässt. Auftretende Variationen im Sonnenwind und kleinere Variationen der solaren Strahlungsintensität lassen sich so kompensieren, und auch die genaue Ausrichtung zur Sonne regeln.

Ein Nachteil des Strahlungsdrucks ist die Tatsache, dass dagegen deutlich vorgehalten werden muss. Die gesamte Anlage muss sich je nach Flächengewicht eine ziemliche Strecke vor dem eigentlichen Lagrange-Punkt befinden. Für eine Gesamtanlage mit effektiv  $50 \text{ g/m}^2$  und einer durchschnittlichen Reflektivität von 20% bei Transmission 0 beträgt diese Vorhaldedistanz immerhin etwa 440 000 km. Der Einsatzpunkt befindet sich dadurch in knapp 2 Millionen km Entfernung von der Erde. Dies ist von erheblichem Nachteil, da dadurch die Schattenwirkung deutlich reduziert wird. Es ist deshalb auch nicht sinnvoll, die Plane zu dünn und zu leicht zu machen, da dann die Vorhaldedistanz noch größer und dadurch die Schattenwirkung weiter reduziert wird. Das Optimum zwischen Flächengewicht (Masse pro Flächeneinheit) und erzielter Schattenwirkung liegt für Anlagen mit 20 % Reflektivität und Transmission 0 bei etwa  $26 \text{ g/m}^2$ , die zugehörige Gleichgewichts-Entfernung etwa 2,45 Millionen km vor der Erde. Anlagen mit noch geringerem Flächengewicht müssen so weit vor der Erde positioniert werden, dass ihre Effizienz stärker zurückgeht als die Gewichtsreduktion pro Flächeneinheit.

:

:

Insgesamt führt dies zu folgendem Vorschlag für den ungefähren Entwurf der gesamten Anlage, siehe Abb. 3.4-1 und 3.4-2. Alle darin enthaltenen Zahlenwerte sind nur vorläufige Annahmen, die sicher noch optimiert werden müssen. Auch bin ich kein Mechaniker, der sich mit diesen Details gut auskennt.

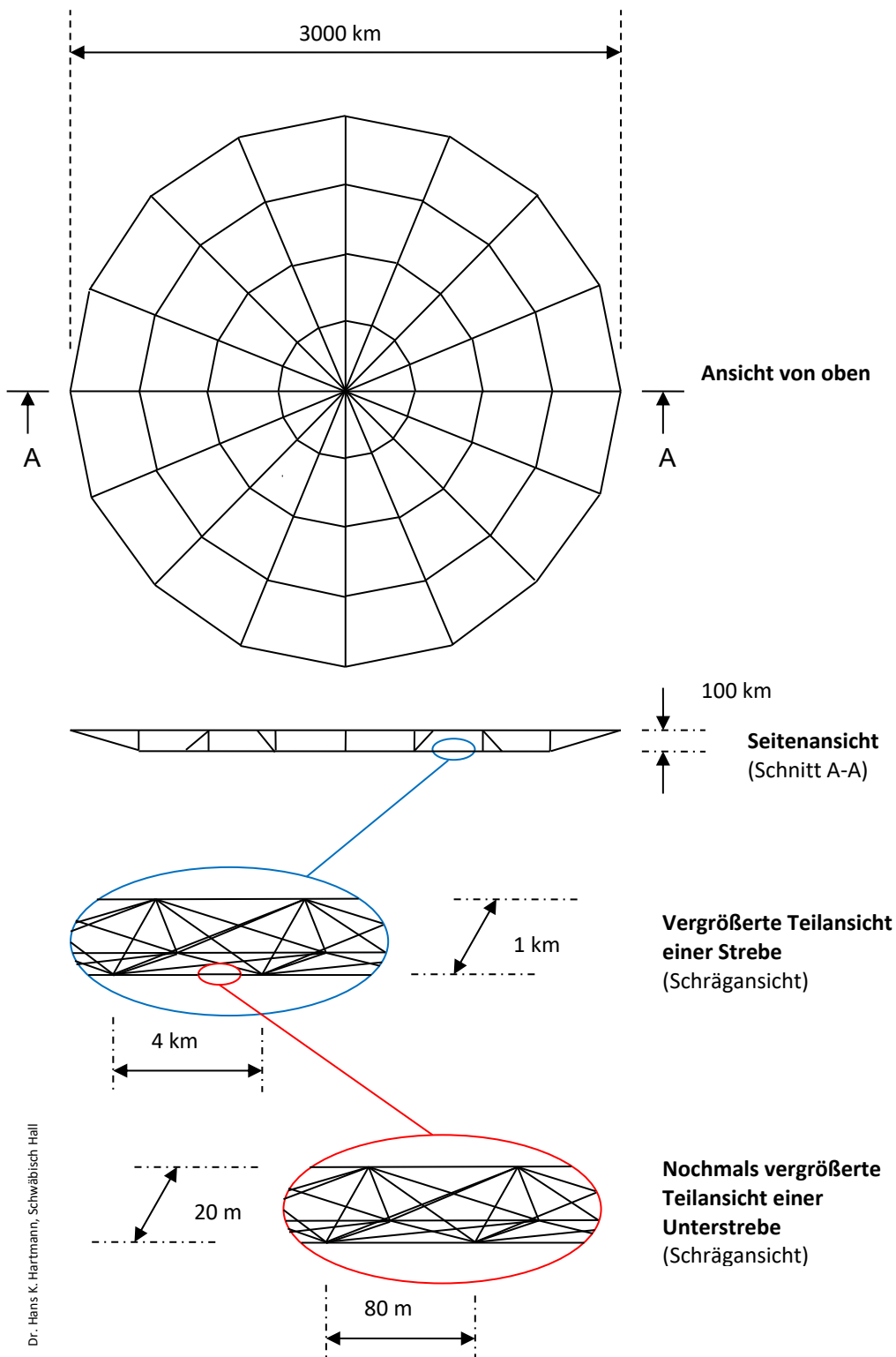


Abb. 3.4-1: Vorschlag für die Gesamtanlage (nicht maßstabsgetreu)

Ich stelle mir die gesamte Anlage in etwa so vor: Vom Zentrum führt zunächst eine bestimmte Anzahl radialer Streben mit je etwa 1500 km Länge weg. Gezeichnet sind 16 Streben, es könnten auch mehr erforderlich sein. Diese Streben machen die gesamte Anlage in etwa kreisförmig. Ein zweiter Strebensatz wird im Abstand von beispielsweise 100 km darunter angebracht und mit dem oberen verstrebt, siehe Seitenansicht. Dadurch wird zunächst die Gesamtstruktur einigermaßen steif. Nun

besteht jede dieser Streben wieder aus jeweils mindestens 3 Unterstreben, die etwa im Abstand 1 km voneinander angebracht sind. Und jede dieser Unterstreben ist wieder unterteilt in jeweils mindestens 3 Einzelstreben im gegenseitigen Abstand von etwa 20 m. Ziel ist es, den Streben einigermaßen Steifigkeit über große Distanzen zu verleihen, ohne allzu viel Masse zu investieren. Gleichzeitig soll dadurch die Gesamtstruktur auch einigermaßen widerstandsfähig gegen Meteoriden-Einschläge werden. Selbst Asteroiden bis zu einigen 100 m Durchmesser dürfen die Struktur nicht in der Weise schädigen, dass sie ihre Schutzfunktion für die Erde verliert. Es sollte ausreichen, wenn beispielsweise alle 20 Jahre eine Bestandsaufnahme von inzwischen erfolgten Meteoriden-Schäden durchgeführt wird, mit anschließender Reparatur dieser Schäden, soweit überhaupt erforderlich. Meines Erachtens wäre eine Reparatur nur dann erforderlich, wenn beispielsweise Rechner oder sonstige Elektronik sowie elektrische Leitungen oder wichtige Strukturteile betroffen wären. Löcher in der Folie, egal welcher Größe, können sicher toleriert werden.

Die Oberseite der Gesamtstruktur, d.h. die eigentliche Plane, sollte in etwa wie in Abb. 3.4-2 dargestellt aussehen. Die Ausschnittvergrößerung unten zeigt unter anderem ein zur Steuerung schräg gestelltes Flächenelement.

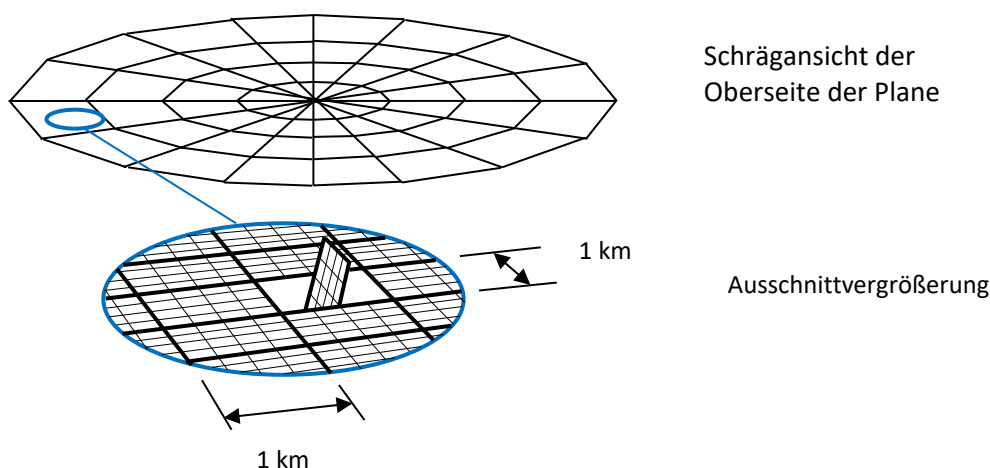


Abb. 3.4-2: Schrägansicht der Gesamtanlage und Ausschnittvergrößerung (nicht maßstabsgerecht)

Die Oberseite der Anlage wird in etwa  $1 \text{ km}^2$  große Gitterzellen unterteilt. Mindestens einige dieser Gitterzellen, insbesondere an den Außenrändern der Plane, sind zwecks Steuerung schwenkbar, siehe Ausschnittvergrößerung.

:  
: