

Sonnenenergie und Eisschmelze in Grönland

von

Prof. Dr.-Ing. Peter Ribler

Februar 2012

Zusammenfassung

Im letzten Jahrzehnt haben sich viele Forscher darum bemüht, das Schmelzen des grönländischen Eispansers zu messen. Da jeder seine und/oder die gerade modernste und genaueste Methodik anwandte, sind die Ergebnisse kaum vergleichbar. Auch wird bei den Ergebnissen über Unsicherheiten von solcher Größe berichtet, dass manchmal letztlich nicht festgestellt werden kann, ob sich die Eismasse verkleinert oder vergrößert hat. Verringerungen zwischen 100 und 250 km³/a werden derzeit für wahrscheinlich angesehen, z.B. im Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 2007.

In dieser Arbeit wurde der Versuch unternommen, anhand einer Energiebilanz eine Antwort auf die Frage zu finden, ob und wie weit der Klimawandel an sich und ggf. auch der anthropogene Anteil am Schmelzen des Eises beteiligt ist.

Es zeigte sich, dass die derzeitigen Schmelzraten allein durch die von der Sonne eingetragene Energie im Zusammenspiel mit den Niederschlägen erklärt werden können. Weder die Klimaerwärmung selbst noch ein anthropogener Anteil derselben sind für eine Erklärung notwendig

Es ist deshalb falsch zu behaupten, das Schmelzen wäre auf den Klimawandel zurückzuführen und die Schmelzrate hätte sich in den letzten Jahren signifikant vergrößert.

1. Anlass

Bei der Klimadiskussion wird ziemlich häufig auch das schmelzende Grönlandeis als Beleg nicht nur für die globale Temperaturerhöhung selbst, sondern insbesondere für den anthropogenen Anteil angeführt. Es schien deshalb geboten, einmal der Frage nachzugehen, in welchem Umfang das grönländische Inlandeis tatsächlich schmilzt und in welchem Umfang der Mensch mit seinem Tun dies beeinflusst.

Mit anderen Worten: Taugt das Argument des schmelzenden Eises als Beweis für den schädlichen Einfluss des Menschen?

Der angestrebten Seriosität wegen wird bei der Untersuchung soweit wie irgend möglich auf Daten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), zumeist auf den Bericht von 2007 (IPCC2007), zurückgegriffen.

2. Zum anthropogenen Anteil an der Klimaänderung

Die Kernaussage in IPCC2007

Anthropogenic warming over the last three decades has likely had a discernible influence at the global scale on observed changes in many physical and biological systems¹.

in Verbindung mit

Where uncertainty in specific outcomes is assessed using expert judgement and statistical analysis of a body of evidence, then the following likelihood ranges are used to express the assessed probability of occurrence:likely >66 % , very likely >90%... .²

bedeutet schlicht, dass IPCC im Jahr 2007 es für zu **mehr als 66 % und zu weniger als 90 % wahrscheinlich** hält, dass anthropogen ausgelöste Erwärmungen im Weltmaßstab **erkennbaren Einfluss** auf beobachtete Veränderungen bei vielen physikalischen und biologischen Systemen gehabt hat.

Dies bedeutet im Umkehrschluss

- dass sich IPCC nicht sicher ist und
- dass die anthropogenen Wirkungen zwar die Veränderungen mit beeinflusst haben, sie jedoch nicht zwingend verursacht haben bzw. dass sie auch nicht zwingend ausschlaggebend für den gegenwärtigen Zustand sind.

3. Zur Energiesituation auf der Erde

Die von der Erde im Mittel aufgenommene Einstrahlung wird in der Literatur zu 168 W/m^2 angegeben. IPCC2007 zeigt hierzu Abb. 1.

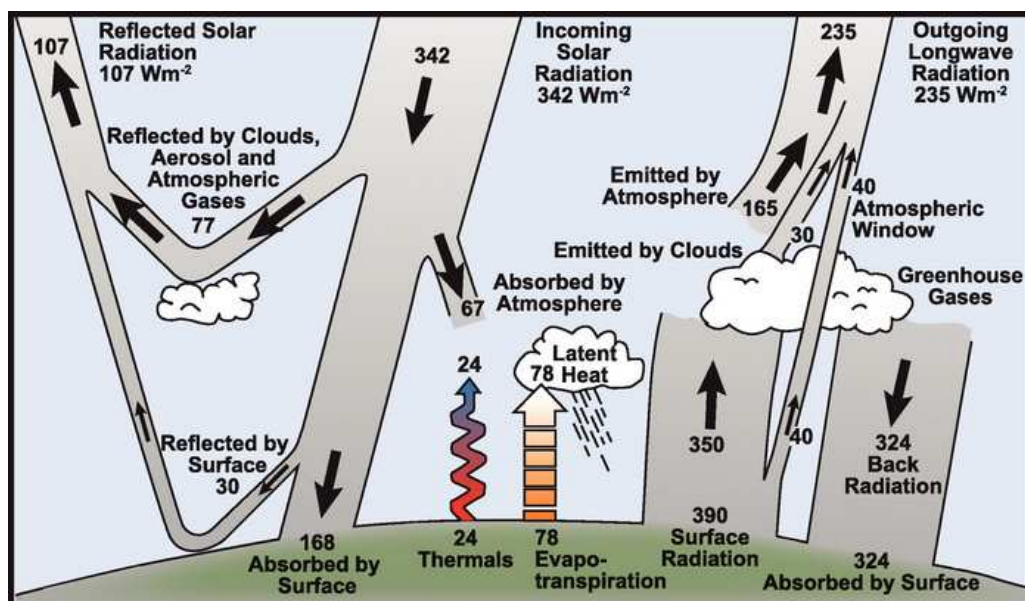


Abb. 1 FAQ 1.1, Figure 1. Estimate of the Earth's annual and global mean energy balance. Over the long term, the amount of incoming solar radiation absorbed by the Earth and atmosphere is balanced by the Earth and atmosphere releasing the same amount of outgoing longwave radiation. About half of the incoming solar radiation is absorbed by the Earth's surface. This energy is transferred to the atmosphere by warming the air in contact with the surface (thermals), by evapotranspiration and by

longwave radiation that is absorbed by clouds and greenhouse gases. The atmosphere in turn radiates longwave energy back to Earth as well as out to space. Source: Kiehl and Trenberth (1997).³

4. Forschungsarbeiten zum Schmelzen der Eismassen in Grönland

IPCC2007 wertet (vermutlich) alle bis zu diesem Zeitpunkt existierenden seriösen Versuche aus, die Veränderungen des grönländischen Eispanzers zu bestimmen⁴.

In Tabelle 1 sind die von IPCC erwähnten Ergebnisse zusammengestellt. IPCC beschreibt Änderungen der Eismassen in Gt/a und nennt für jede Erhebung zwei Zahlen in der Form $x \pm y$. Dabei bezeichnet x den von den jeweiligen Forschern angegebenen Mittelwert und y die Unsicherheit der Auswertung. Jedes Ergebnis liegt also zwischen $x - y$ als minimaler und $x + y$ als maximaler Veränderung. Hierzu sind in Spalte 4 die absoluten Zahlen aufgenommen.

Die Zahlen in Tabelle 1 sind gelb unterlegt, soweit sie sich auf das letzte Jahrzehnt beziehen. Sie sind teilweise etwas größer als die aus früheren Jahren, doch ist dies angesichts der großen Streuungen, sogar innerhalb der Ergebnisse einzelner Forscher, kaum aussagekräftig.

Tabelle 1 In IPCC2007 aufgeführte Schätzungen zur Verringerung des grönländischen Eispanzers

Autor(en), Jahr	Ermittlung für das Zeitfenster	Verringerung in Gt/a (Mittelwert \pm Unsicherheit)	Verringerung in Gt/a von - bis
Velicogna/Wahr, 2005	April 2002-Juli2004	75 \pm 26	49 bis 101
Ramillien et al., 2006	Juli 2002-März 2005	129 \pm 15	114 bis 144
Box et al., 2006	1988-2004	> 100	> 100
Hanna et al., 2005	1961 - 1990	22 \pm 51	-29 bis 73
	1993 - 1998	14 \pm 55	-41 bis 69
	1998 - 2003	36 \pm 59	-23 bis 95
Zwally et al., 2006	1992 - 2002	-(11 \pm 3)*	-14 bis -8
Krabill et al., 2004	1993/94 – 1998/99	45	45
	1997 - 2003	73 \pm 11	62 bis 84
Rignot/Kanagaratnam, 2006	1993/94 – 1998/99	27 \pm 23	4 bis 50
	1997 - 2003	55 \pm 25	30 bis 80
Thomas et al., 2006	1998/99 - 2004	81 \pm 24	57 bis 105
Zusammengefasst von IPCC	1961 – 2003	-25 bis 60	
	1993 – 2003	50 bis 100	
	2003 - 2005	> 100	

*) Ein Minuszeichen bedeutet hier eine Zunahme des Eisvolumens.

5. Jüngere Ergebnisse

Etwa zeitgleich mit der Veröffentlichung von IPCC2007 oder auch kurz danach wurden weitere Arbeitsergebnisse bekannt. So berichten Chen et al.⁵ sehr ausführlich über Messungen zur grönländischen Eiskappe, durchgeführt nach dem Start des NASA-German Aerospace Center Gravity and Climate Experiments (GRACE) in 2002 (satellite gravity measurements). Sie kommen zu einem jährlichen Eisverlust für die Jahre 2004 bis 2007 im

Südteil von Grönland von 7,24 cm/a und im Norden von ca. 4 cm/a. Für die gesamte Eiskappe errechneten sie $239 \pm 23 \text{ km}^3/\text{a}$.

Interessant dabei ist besonders, dass sie sich zu Anfang intensiv mit früheren Arbeiten beschäftigen, welche durchwegs mit anderen Methoden erfolgt waren und zu wesentlich anderen Ergebnissen gekommen sind (Satellite interferometer observation, 1996, $91 \pm 31 \text{ km}^3/\text{a}$, airborne laser altimetry measurements, 1997 bis 2003, $80 \pm 12 \text{ km}^3/\text{a}$, satellite interferometry, 2005, $224 \pm 41 \text{ km}^3/\text{a}$). Dies bestätigt die vorstehend geäußerte Ansicht, dass die Ergebnisse solcher Ermittlungen doch sehr von der gewählten Methode abhängen. Auch die neuesten Ergebnisse sind daher unter Vorbehalt zu sehen. Die Autoren selbst drücken dies verbal aus: *Despite close agreement between our GRACE estimate and recent radar interferometry estimates, quantification of Greenland ice mass balance remains a challenge.*

Eine weitere Berechnung stammt von Mernild S.H.⁶, allerdings aus Sicht des Meteorologen. Er kommt zum Ergebnis, dass in der Jahresreihe 1999 bis 2004 jährlich 260 km^3 von den Gletschern Ostgrönlands abgeflossen sind. Für Gesamtgrönland müsste daher etwa die doppelte Menge gelten.

6. Kritik

Bereits eine flüchtige Sichtung der ermittelten Schmelzraten zeigt beachtliche Unterschiede. Insbesondere fällt auf, dass die zahlenmäßigen Unsicherheiten teilweise größer sind als die Mittelwerte, was im Grunde zum Ausdruck bringt, dass sich der jeweilige Autor unsicher ist, ob er am Ende eine Verringerung der Eismasse oder eine Vergrößerung ermittelt hat. Dies zeigt, dass die Ergebnisse generell mit Vorbehalt zu bewerten sind. IPCC2007 ist sich dieses Mangels bewusst. Denn die Bestandsaufnahme schließt mit dem Satz: *Lack of agreement between techniques and the small number of estimates preclude assignment of statistically rigorous error bounds.*

Gleichwohl nennt IPCC2007 zusammenfassend Zahlen für die wahrscheinliche Verringerung des Eispanzers (letzte Zeile in Tab. 1), was das vorstehende Zitat konterkariert.

Das generelle Problem dabei: Volumenbestimmungen (besser: fundierte Schätzungen) in solchen Dimensionen sind erst seit der Entwicklung von Satellitenmethoden halbwegs zuverlässig möglich. Frühere Versuche, z.B. per Flugzeug, führten stets zu nur mehr oder weniger glaubhaften Ergebnissen und waren auf Teilbereiche beschränkt.

Soweit mit unterschiedlichen Methoden gewonnene Ergebnisse verglichen werden, ergibt sich auch gegenwärtig ein generelles Problem. Es ist stets zu vermuten, dass sie unterschiedliche Genauigkeiten aufweisen, insbesondere dann, wenn die Methode sehr unterschiedlich sind (z.B. vom Flugzeug oder von Satelliten aus). Dies wirkt sich besonders dann aus, wenn Resultate, die nur ganz wenig voneinander abweichen, von einander subtrahiert werden müssen und macht die Aussagen oft fragwürdig.

Des Weiteren sind Vermessungen und Auswertungen sehr aufwendig, weshalb auch aus neuester Zeit nur wenige Daten vorhanden sind. Abb. 2 verdeutlicht an zwei Beispielen, dass es sicherlich nicht einfach ist, bei den naturgegebenen Oberflächenstrukturen deren Höhe im Millimeter- bis Zentimeterbereich zuverlässig zu bestimmen und diese ggf. noch mit früheren Messungen zu vergleichen.



Abb. 2 Oberflächenstrukturen des Grönlandeises (beispielhaft)

Ein weiteres Problem ist allen auf Höhenmessungen der Eisoberfläche (hier künftig als oberflächenbasierte Verfahren bezeichnet) beruhenden Verfahren gemein. Die Oberfläche aller Punkte der Eisoberfläche ändert sich von Tag zu Tag durch Niederschläge und zwar unabhängig von Schmelzvorgängen. Diese fallen als Schnee, verwandeln sich binnen kurzem zu Eis und gehen in die Ergebnisse der oberflächenbasierten Verfahren ein. Wenn also der Einfluss der Niederschläge nicht bei jeder Messung richtig erfasst und das Ergebnis der oberflächenbasierten Verfahren nicht richtig korrigiert worden ist, sind sie allein schon deswegen angreifbar.

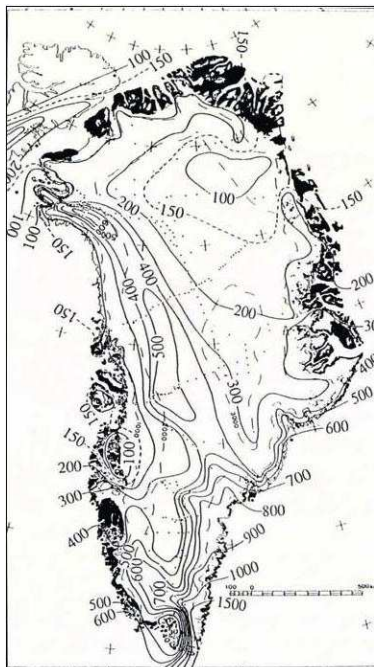


Abb.3 Jährliche Niederschläge auf Grönland

Es ist leicht zu zeigen, dass die Niederschläge bei der Berechnung von Schmelzraten eine beachtliche Rolle spielen. Abb.3, entnommen aus Ohmura/Reeh⁷, zeigt, dass im Süden Grönlands um 400 oder mehr mm/a fallen, wohingegen die Niederschläge nach Norden hin bis auf ca. 100 mm/a abnehmen. Nun ist zu fragen, wie diese bei den oberflächenbasierten Verfahren eingeflossen sind. Vermutlich sind nur Korrekturen, hergeleitet wahrscheinlich aus Karten wie der in Abb. 3 dargestellten, verwendet worden, wenn überhaupt.

Welche Folgen bzw. Fehler dadurch entstanden sein können, lässt sich schnell abschätzen. 400 mm Niederschlag entsprechen grob 440 mm Eis und 100 mm etwa 110 mm Eis. Geht man grob von im Mittel 220 mm/a niederschlagsbedingtem Eiszuwachs und von einer Gesamtfläche des grönländischen Eispanzers von 1,76 Mio. km² aus, so entspricht dies einem Eisvolumen von 387 km³. Würde der durch den Niederschlag entstehende Störeinfluss

nur um 10 % falsch eingeschätzt (entweder, weil die oberflächenbasierten Verfahren bzw. die Vergleiche zwischen deren Ergebnissen nicht in der oben skizzierten Weise korrigiert worden sind oder, weil die Niederschlagsschwankungen zwischen einzelnen Jahren nicht erfasst

worden sind), so beliefe sich der Fehler bei den Ergebnissen der Tabelle 1 auf um $\pm 40 \text{ km}^3$. Dies kommt jedoch in die Größenordnung der errechneten Schmelzraten selbst und würde die Ermittlungen wertlos machen.

7. Energetische Betrachtung

In Öffentlichkeit und Politik lassen sich die ermittelten Schmelzraten sehr gut „verkaufen“, zumal Vergleiche mit dem gesamten Eisvolumen $2,5 \text{ Mio. km}^3$ gewöhnlich zurückgehalten werden. Mit dem „schmelzenden Grönlandeis“ wurden schon vielfältige Ängste geweckt und politische Ziele begründet. Angesichts der vorstehend diskutierten Unzulänglichkeiten ist dies nicht gerechtfertigt. Ebenso ist es auch nicht gerechtfertigt, daraus eine anthropogene Schuld am Klimawandel herzuleiten.

Es erschien deshalb sinnvoll, ja notwendig, sich der Frage nach den Schmelzraten, nach ihren Verursachungen und nach den zugehörigen Bewertungen auf anderem Wege zu nähern.

Erstaunlich, dass sich die Wissenschaft so große Mühe macht, den Eisverlust durch immer neue Techniken zu messen. Energetische Betrachtungen sind dagegen in der Literatur nicht zu finden.

Der Grundgedanke der nachfolgenden Betrachtung ist, die von der Sonne eingebrachte Energie mit der zum Schmelzen des Eises notwendigen zu vergleichen und daraus abzuschätzen, ob und ggf. wieweit der Klimawandel zum Schmelzprozess beigetragen hat.

Nach Abb. 1 werden 168 W/m^2 der Sonnenstrahlung von der Erde absorbiert. Dieses Quantum wird am Äquator aufgenommen. Mit zunehmender geografischer Breite nimmt die Einstrahlung ab; an den Polen geht sie gegen Null.

Die Südspitze Grönlands liegt am $60.$ Breitengrad; der Nordrand auf 84° nördlicher Breite. An der Südspitze beträgt die Absorption theoretisch $168 \times \cos 60^\circ = 84 \text{ W/m}^2$, am Nordende $168 \times \cos 84^\circ = 17,6 \text{ W/m}^2$. „Theoretisch“ wegen der Albedo. Bei einer Eisbedeckung wird gemeinhin von 90% ausgegangen.

Nachfolgend wird die Frage gestellt, wie viel geschmolzenes Eis jährlich bei diesem Energieeintrag in ganz Grönland zu erwarten ist. Um dieses Volumen zumindest größenordnungsmäßig zu ermitteln, bedarf es keiner komplizierten Hard- und Software; Excel reicht. Es geht dabei auch nicht um letzte Genauigkeit, vielmehr um ein verbessertes Verständnis der Vorgänge.

Wegen der sehr unterschiedlichen geografischen und klimatischen Situation zwischen Süd und Nord wurde die Insel für die Berechnung in fünf Teilflächen zerlegt (F1: Südspitze bis Polarkreis, F2 zwischen Polarkreis und $70.$ Breitengrad (BG), F3 zwischen $70.$ BG und $75.$ BG, F4 zwischen $75.$ BG und $80.$ BG und F5 zwischen $80.$ BG und der Nordgrenze). In die Rechnung geht die mittlere Neigung der Sonne am Schwerpunkt jeder Teilfläche ein. Die Ausgangstemperatur des Eises wurde für die beiden südlichsten Teilgebiete zu -20°C angenommen, die der übrigen Teilgebiete zu -30°C . Es gibt viele Belege in der Literatur, welche dies als gerechtfertigt erscheinen lassen.

Berechnet wird das spezifische Schmelzvermögen der absorbierten Strahlungsenergie im Zentrum jeder Teilfläche. Hierzu tragen zwei Faktoren bei, die Energie, um das Eis von -20

bzw. von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis auf $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu erwärmen und die Schmelzenergie ($79,4\text{ kcal/kg}$ entsprechend $92,3\text{ kWh/m}^3$), um aus Eis mit $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ Wasser von der gleichen Temperatur zu erzeugen. Das Schmelzvermögen wird dann auf die einzelnen Teilflächen und anschließend auf die Gesamtfläche übertragen.

Diese Berechnung (Zeilen 1 bis 13 in Tabelle 2) führt zu einem scheinbaren Schmelzvolumen des Eises von $649\text{ km}^3/\text{a}$. Scheinbar deshalb, weil der Einfluss des Niederschlags noch nicht berücksichtigt ist.

Wie bereits vorstehend bei den oberflächenorientierten Verfahren erläutert, führen die als Schnee gefallenen und später zu Eis werdenden Niederschläge auch bei der energetischen Betrachtung eine Rolle. Sollen deren Ergebnisse mit denen der eingangs besprochenen Forschungsarbeiten verglichen werden, so ist der Effekt der gefrorenen Niederschläge auf das Ergebnis herauszurechnen.

Anschaulich lässt sich dies anhand von Abb. 4 erklären. Säule A beschreibt die Eishöhe nach der Oberflächenmessung des vergangenen Jahres. Die Sonne allein erzeugt die Schmelzhöhe h_1 (Säule B). Dies entspricht den oben erwähnten $649\text{ km}^3/\text{a}$. Der während des Jahres, also zwischen zwei Messungen fallende Niederschlag bewirkt eine zusätzliche Eishöhe h_2 (Säule C). Mit den oberflächenorientierten Verfahren gemäß Tabelle 1 wird die Schmelzhöhe h_3 gemessen. Bei der Energiebetrachtung wird das Schmelzmaß h_3 durch Subtraktion h_1 minus h_2 ermittelt.

Diese Korrektur um den Niederschlagseinfluss ist in Tabelle 2 in den Zeilen 14 bis 17 enthalten.

Werden die Zahlen aus den Zeilen 13 und 17 voneinander subtrahiert, so ergibt sich in den Zeilen 18 und 19 das gesamte tatsächliche Schmelzvolumen.

Die in Tabelle 2 skizzierte einfache Rechnung führt ohne irgendeine hier nicht sichtbare Maßnahme zu einer jährlichen Eisabnahme von 241 km^3 . Es erstaunt, dass bereits eine derart einfache Simulation im Wesentlichen das mittlere Ergebnis der vorstehend diskutierten aufwendigen Forschungsarbeiten widerspiegelt.

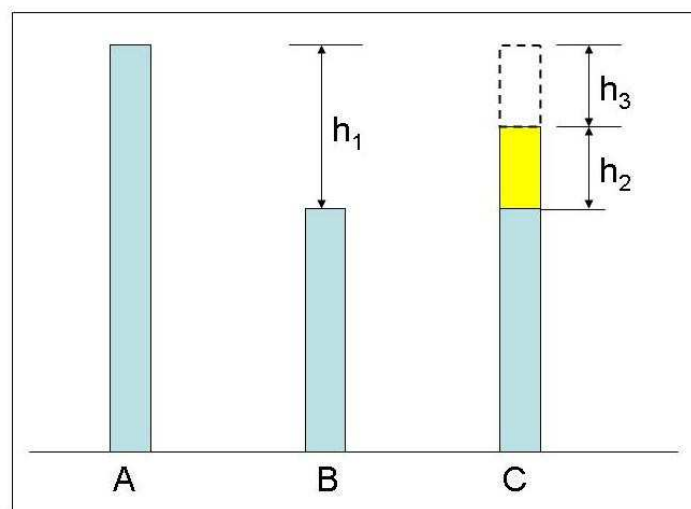


Abb. 4 Zur Erläuterung des Zusammenwirkens von Schmelzvorgang und Niederschlägen

Tabelle 2 Energetische Betrachtung zum Schmelzen des Grönlandeises

1	Teilfläche	F1	F2	F3	F4	F5
2	Mittlere nördliche Breite (°)	67,5	68,75	72,5	77,5	82,5
3	Mittlere Schräge des Sonnenstands (°)	67,5	68,75	72,5	77,5	82,5
4	Annahme Eistemperatur (°C)	-20	-20	-30	-30	-30
5	Mittlere Absorption im Zentrum der Teilfläche (W/m ²)	64,7	61,3	50,8	36,6	22,1
6	Albedo (%)	90	90	90	90	90
7	Daher wirksam (W/m ²)	6,5	6,1	5,1	3,7	2,2
8	Energie zur Temperaturerhöhung bis zum Schmelzpunkt (kWh/m ³ H ₂ O)	23,3	23,3	34,9	34,9	34,9
9	Schmelzwärme (kWh/m ³ H ₂ O)	92,3	92,3	92,3	92,3	92,3
10	Summe (kWh/m ³ H ₂ O)	115,6	115,6	127,2	127,2	127,2
11	Schmelzhöhe des Eises (m/a)	0,54	0,51	0,38	0,28	0,17
12	Scheinbares Schmelzvolumen für gesamte Eiskappe (km ³ Eis/a)	136	146	194	134	39
13	Summe scheinbares Schmelzvolumen (km ³ Eis/a)	649				
14	Niederschläge (mm H ₂ O/a)	400	300	200	123*)	100
15	Niederschläge als Eis (m Eis/a)	0,44	0,33	0,22	0,14	0,11
16	Niederschlagsvolumen (km ³ Eis/a)	111	95	111	65	26
17	Auffüllvolumen durch Niederschlag (km ³ Eis/a)	408				
18	Bereinigtes Schmelzvolumen für gesamte Eiskappe (km ³ Eis/a), Zeile 16 minus Zeile 12	25	52	83	68	13
19	Gesamtes Schmelzvolumen (km ³ Eis/a)	241				

*) Wert für Thule verwendet

Das Ergebnis der überschlagsweisen Berechnung in Tabelle 2 macht deutlich, dass 2/3 des durch die Sonnenenergie bewirkten Schmelzvolumens durch Niederschläge wieder kompensiert wird.

Die einzige Annahme in der vorstehend erläuterten Berechnung, welcher eine gewisse Unsicherheit zugesprochen werden muss, ist die Ausgangstemperatur des Eises (Zeile 4 in Tabelle 2). Deshalb wurde die Berechnung wiederholt mit den Annahmen

F1/ F2: -15 ° C, F3/ F4/ F5: -25 ° C und
 F1/ F2: -10 ° C, F3/ F4/ F5: -20 ° C

Die Ergebnisse hierzu sind Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3 Vergleich der Ergebnisse für unterschiedliche Eistemperaturen

Eistemperatur	Verringerung des Eisvolumens
F1/ F2: -20 ° C, F3/ F4/ F5: -30 ° C	241 km ³
F1/ F2: -15 ° C, F3/ F4/ F5: -25 ° C	272 km ³
F1/ F2: -10 ° C, F3/ F4/ F5: -20 ° C	306 km ³

Aus Tabelle 3 ist zweierlei heraus zu lesen:

1. Sollte das Eis an der Oberfläche der Eiskappe um 5 oder um 10 K wärmer sein als im ersten Schritt angenommen, so wären rein rechnerisch 13 % bzw. 27 % höhere Schmelzraten zu erwarten. Nach aller Kenntnis dürfte jedoch die Annahme -20 ° C / -30 ° C die realistischste sein.
2. Sollte die Eistemperatur irgendwann aufgrund des Klimawandels um 5 K wärmer sein als gegenwärtig, so würden die Schmelzraten um 13 % steigen. Im Augenblick ist eine globale Temperaturerhöhung seit 1860 um weniger als 1 K bewiesen. Im Zeitabschnitt 1961 bis 2011 sind dies weniger als 0,5 K. Selbst wenn sich die Klimaerwärmung im polaren Raum stärker bemerkbar machen würde als im Durchschnitt, so wären dies bei 2 K und auf Basis von 241 km³ nur 12 km³, erheblich weniger als die Streubreite der Ergebnisse in Tabelle 1.

8. Einfluss des Klimawandels

Das wesentlichste Ergebnis der Studie besteht jedoch darin, dass allein die Absorption der Sonnenstrahlung ausreicht, die gemessenen Eisverluste zu erklären. Es bedarf hierzu keiner „Klimaerwärmung“. Eisverluste dieser Größenordnung hat es seit der letzten Eiszeit immer gegeben, mal etwas mehr (in den „Warmzeiten“), mal etwas weniger (z.B. in der „kleinen Eiszeit“). Es sollte nicht vergessen werden, dass der grönländische Eispanzer ein Relikt aus der letzten Eiszeit ist und seit damals langsam taut.

Bei einem Schmelzverlust von jährlich um 250 km³ wird es 10.000 Jahre dauern, bis der 2,5 Mio. km³ große Eispanzer geschmolzen ist. Dies entspricht – rückwärts gerechnet - einer Zeitspanne bis zur Würmeiszeit. Selbst wenn sich die Schmelzraten verfünffachen würden, entstände ein eisfreies Grönland erst um 4.000 n. Chr..

Auch die Behauptung, das schmelzende Grönlandeis könnte den Golfstrom zum Stillstand bringen, entbehrt jeder Grundlage. Der Golfstrom transportiert 4,7 Mio. km³ Wasser je Jahr. Dagegen nehmen sich die Schmelzwassermengen von ca. 250 km³/a aus Grönland mehr als bescheiden aus.

9. Niederschläge und Messergebnisse

Zwischen 1876 und 2006 fielen in Deutschland im Mittel jährlich 762 mm Niederschlag. Das nasseste Jahr war 1931 mit 147 % des Mittelwerts, das trockenste war 1959 mit nur 60 % des mittleren Niederschlags.

Die Niederschläge streuten und streuen sehr stark. Nur 22 % lagen innerhalb von $\pm 10\%$ um den Mittelwert.

Ähnliche Schwankungen gibt es natürlich auch in Grönland, „nasse“ und trockene Jahre. Berichten zufolge dürften die in Tabelle 2 in Zeile 14 eingespeisten Zahlen etwa mittleren Verhältnissen entsprechen. Abweichungen von mehreren 10 % nach oben und unten müssen daher unterstellt werden.

Tabelle 4 weist aus, wie sich weniger bzw. mehr Niederschlag auf das instrumentell beobachtbare bzw. berechnete Schmelzvolumen auswirkt. Unterstellt wurden 10 %, 20 % und 30 % mehr bzw. weniger Niederschlag. Das scheinbare Schmelzvolumen ist gemäß Tabelle 2, Zeile 13 zu $649 \text{ km}^3/\text{a}$ angenommen.

Tabelle 4 Einfluss unterschiedlicher Jahresniederschläge auf das gesamte Schmelzvolumen

	Szenario	Auffüllvolumen durch Niederschlag km^3/a	gesamtes tatsächliches Schmelzvolumen km^3/a
trockener	-30 %	286	363
	-20 %	326	323
	-10 %	367	282
normal	gemäß Tabelle 2	408	241
„nasser“	+10 %	449	200
	+20 %	490	159
	+30 %	530	119

Unterstellt, die Streuung der grönländischen Jahresniederschläge würde denen in Deutschland entsprechen, so würden die Schmelzraten bereits in 22 % der Jahre, in welchen die Niederschläge um nicht mehr als $\pm 10\%$ vom Mittelwert abweichen, zwischen 200 und $282 \text{ km}^3/\text{a}$ schwanken. In 78 % der Jahre wären wesentlich größere Abweichungen zu erwarten.

Dies macht deutlich, dass eine wirklichkeitsnahe Ermittlung des jeweiligen Niederschlagseinflusses bei den Ergebnissen aus oberflächenorientierten Verfahren von fundamentaler Bedeutung ist.

10. Ergebnis

Das Ziel der Studie bestand darin, zum Verständnis des Zusammenhangs zwischen Sonnenenergie, Schmelzraten und Niederschlag im Grönlandeis und zu einer Bewertung insbesondere unter dem Gesichtspunkt „Klimawandel“ beizutragen. Es ging nicht darum, zu den oft widersprüchlichen Ergebnissen der oberflächenbasierten Verfahren eine weitere Ermittlung durchzuführen. Folgendes ist festzuhalten:

1. Der Einfluss der Sonnenenergie – für sich allein - führt zu Schmelzraten um $650 \text{ km}^3/\text{a}$.
2. Um $400 \text{ km}^3/\text{a}$ werden durch Niederschläge kompensiert.

3. Nur deswegen messen oberflächenbasierte Ermittlungsverfahren die in Tabelle 1 zusammengestellten Volumina.
4. Die derzeitigen Schmelzraten des Grönlandeises lassen sich allein durch die Betrachtung der von der Sonne eingetragenen Energie erklären. Es dürfte daher klar sein, dass vergleichbare Schmelzraten schon immer gemessen worden wären – hätte man früher nur gemessen.
5. Die viel diskutierte Klimaerwärmung ist zur Erklärung der derzeitigen Schmelzraten nicht erforderlich.
6. Eine wirklichkeitsnahe Einbeziehung der jeweils aktuellen Jahresniederschläge ist von fundamentaler Bedeutung für die Richtigkeit aller Ergebnis aus oberflächenbasierten Verfahren.
7. Die bisherigen Versuche, den Eisschwund zu messen oder anderweitig zu bestimmen, weisen – auch für gleiche Zeitabschnitte - extrem unterschiedliche Ergebnisse auf. Dafür sind die Unterschiede in den Methoden, vielleicht auch bei der Korrektur hinsichtlich der Jahresniederschläge, verantwortlich. Ein Vergleich ist kaum möglich.
8. Daher kann daraus auch nicht auf den tatsächlichen jährlichen Eisverlust zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt geschlossen werden.
9. Demzufolge ist die Berechnung von wachsenden Schmelzraten aufgrund des Klimawandels nicht möglich, auch wenn dies dem Trend der Zeit entspricht.
10. Es ist deshalb ebenfalls falsch zu behaupten, die Schmelzrate hätte sich in den letzten Jahren signifikant vergrößert.
11. Aufgrund der Massenverhältnisse (Eisschmelze: um 250 km³/a, Golfstrom 4,7 Mio. km³/a) gehört die Besorgnis, das schmelzende Eis könnte den Golfstrom zum Stillstand bringen, in das Reich der Fabel.

¹ IPCC 2007: AR4 SYR Synthesis Report Summary for Policymakers – 2 Causes of change

² IPCC 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report - Introduction

³ Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, FAQ 1.1

⁴ Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

⁵ J. L. Chen, C. R. Wilson and B. D. Tapley: Satellite Gravity Measurements Confirm Accelerated Melting of Greenland Ice Sheet

⁶ Mernild S.H.: Future East Greenland runoff acceleration. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 6 (2009)

⁷ A. Ohmura/N. Reeh: New precipitation and accumulation maps for Greenland, Journal of Glaciology, Vol. 37, No. 125, 1991