Schwefelhexafluorid SF_6 gefährliches Treibhausgas ... Umgang damit?

Dr. Axel Friedrich
Berlin

Klima

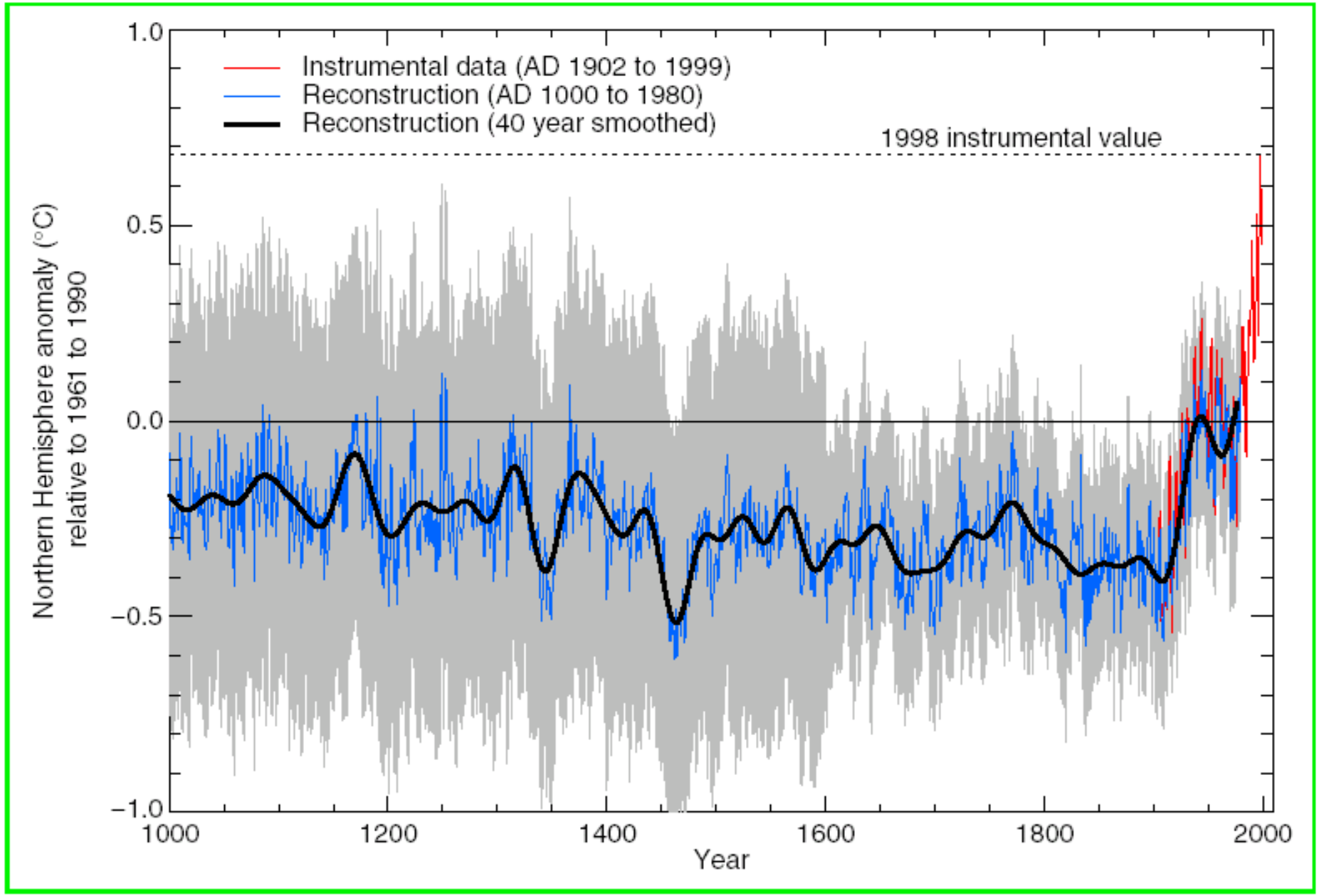
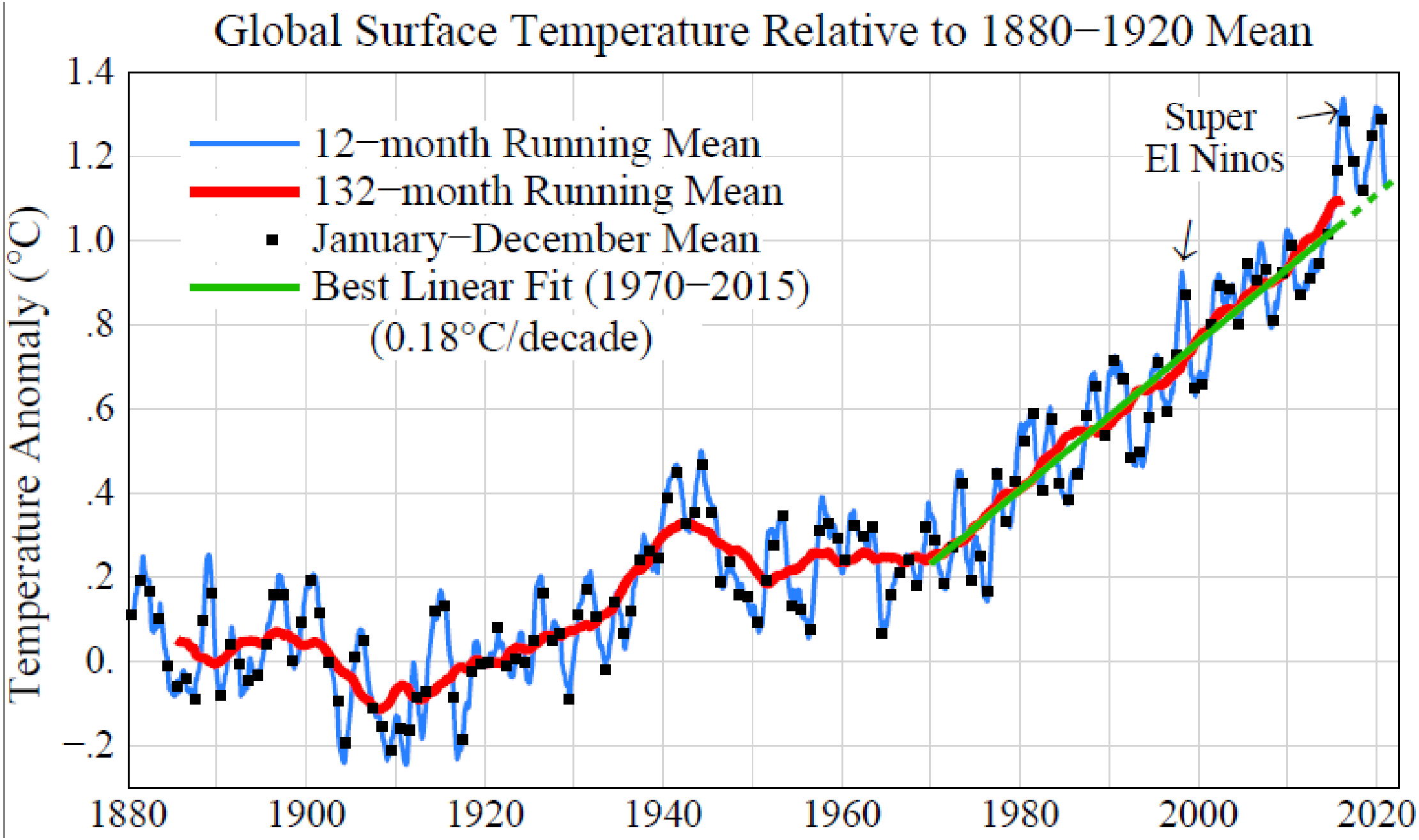
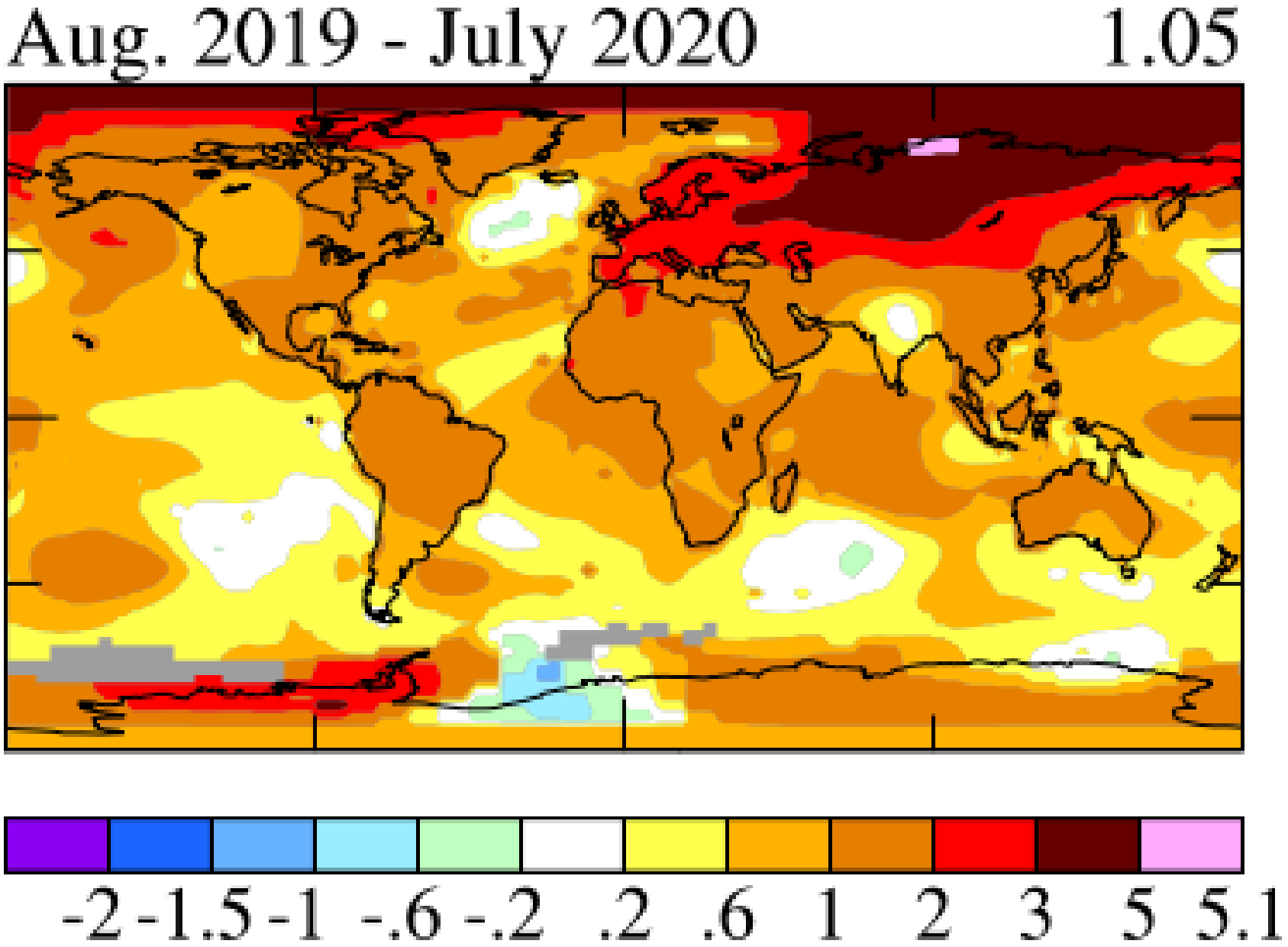


Figure 5: Millennial Northern Hemisphere (NH) temperature reconstruction (blue – tree rings, corals, ice cores, and historical records) and instrumental data (red) from AD 1000 to 1999. Smoother version of NH series (black), and two standard error limits (gray shaded) are shown. [Based on Figure 2.20]



James Hansen and Makiko Sato 14 October 2021



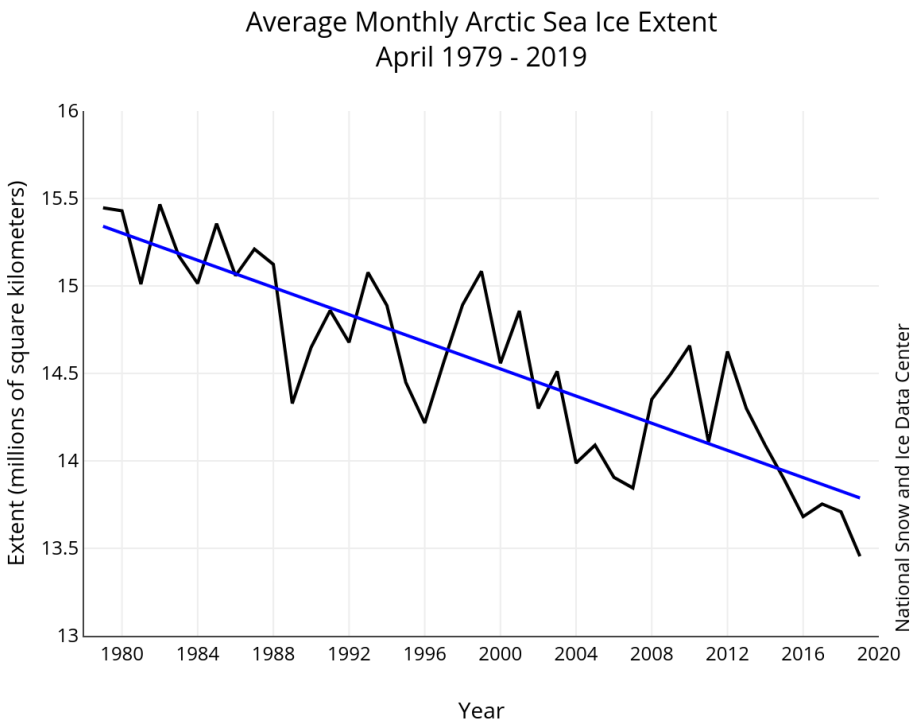
Surface Temperature realtive to 1950 to 1980 Mean (degree C)

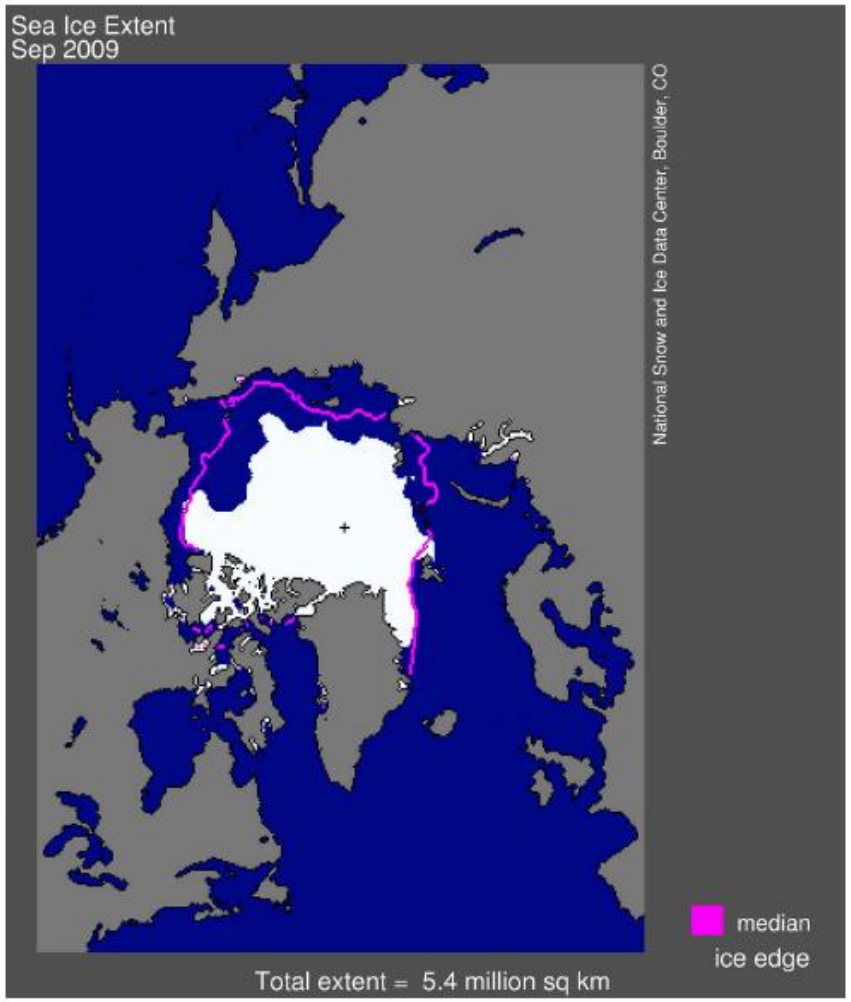
James Hansen and Makiko Sato 2020

Evidence of Arctic Ice Melt

Arctic summer sea ice has decreased by 40% since 1979, accompanied by increasing discharge from the Greenland ice sheet. Natural variability may explain some of the changes, but the overall trend towards warming and melting has been attributed primarily to human induced climate change (Min et al., 2008; Holland et al., 2008). Summer sea ice melt creates a feedback loop that amplifies warming as reflective white ice/snow surfaces are replaced by darker ocean waters increased sunlight absorptionRecent work suggests a link between Arctic sea ice melt and increased glacier runoff in Greenland. (Rennermalm et al., 2009)

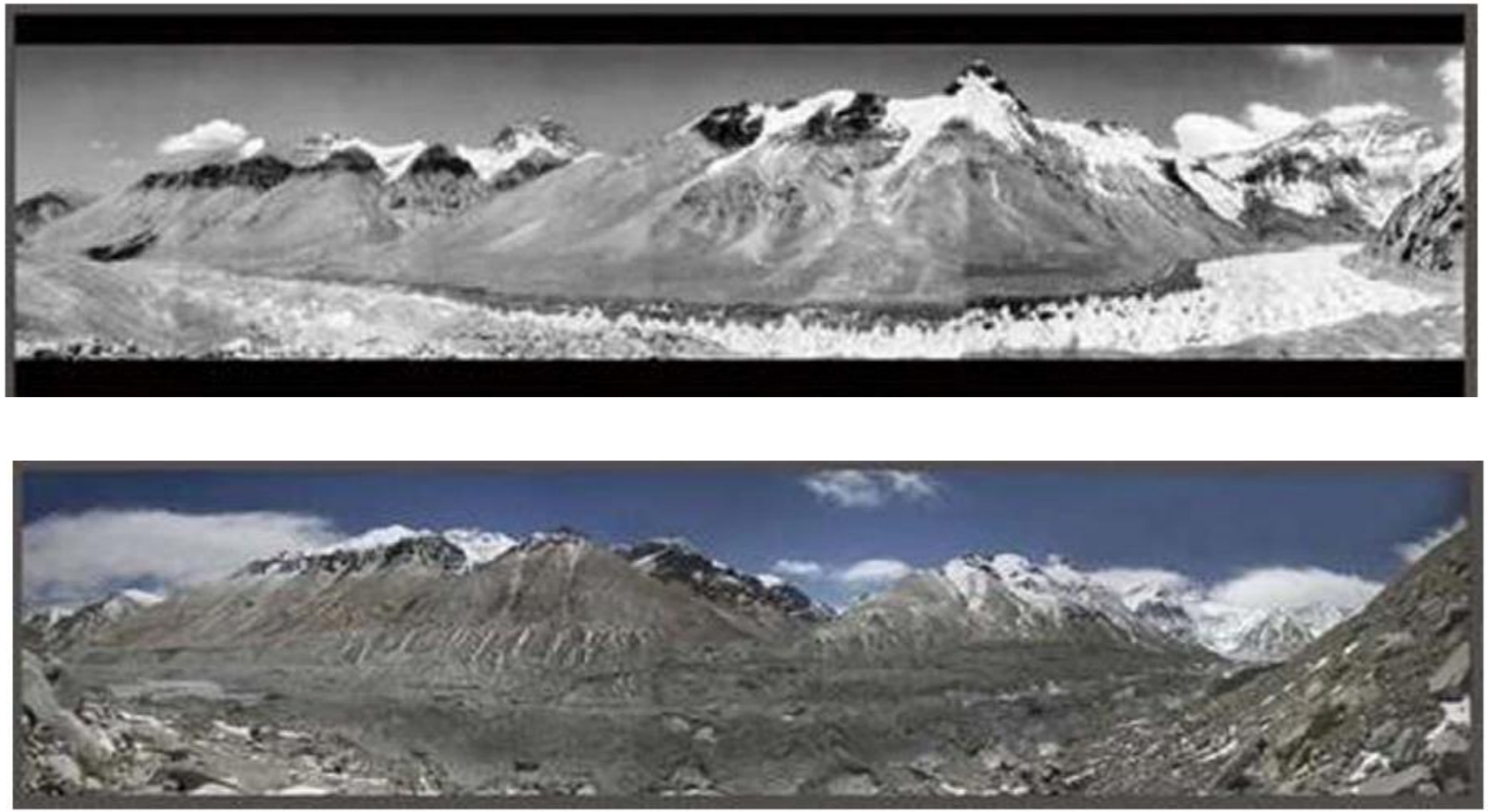
Arktic Summer Ice Minimum



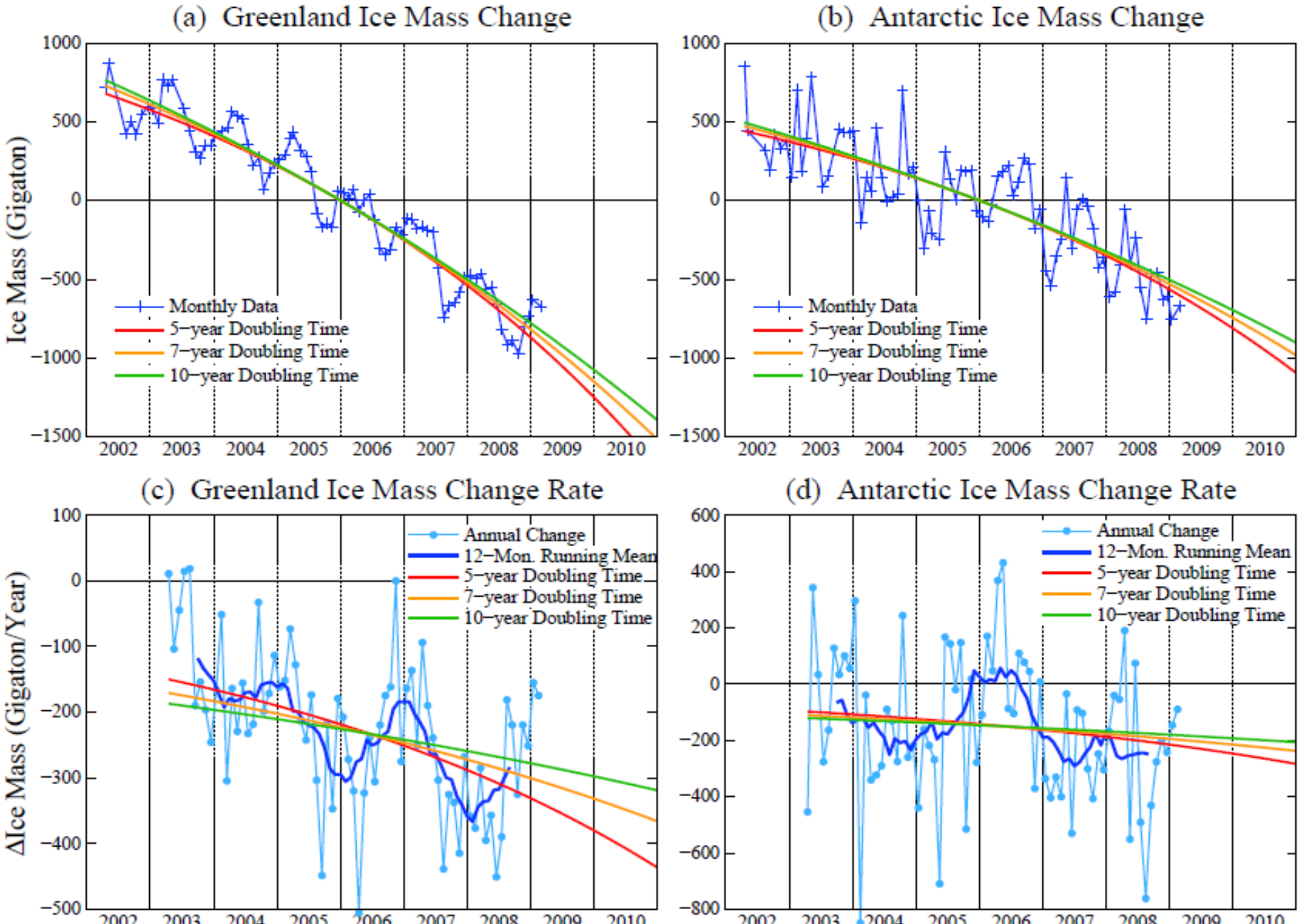


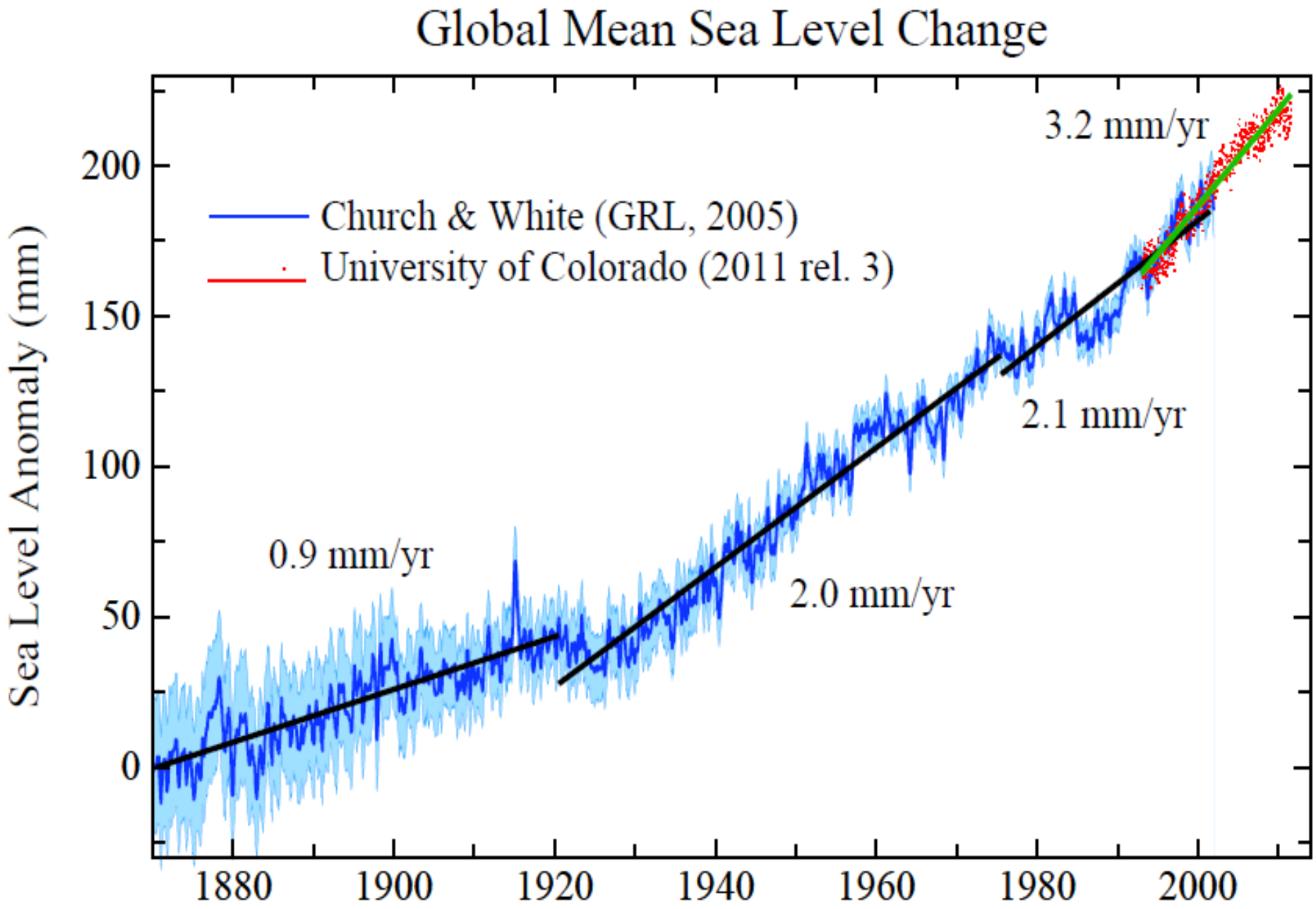
Source: National Snow and Ice Data Center, Boulder, Colorado.

Himalayan (Rongbuk) Gletscher



Rongbuk, the largest glacier on Mount Everest's northern slopes, in 1968 (top) and 2007.Glaciers are receding rapidly world-wide, including the Rockies, Andes, Alps, Himalayas. Glaciers provide freshwater to rivers throughout the dry season and reduce spring flooding.

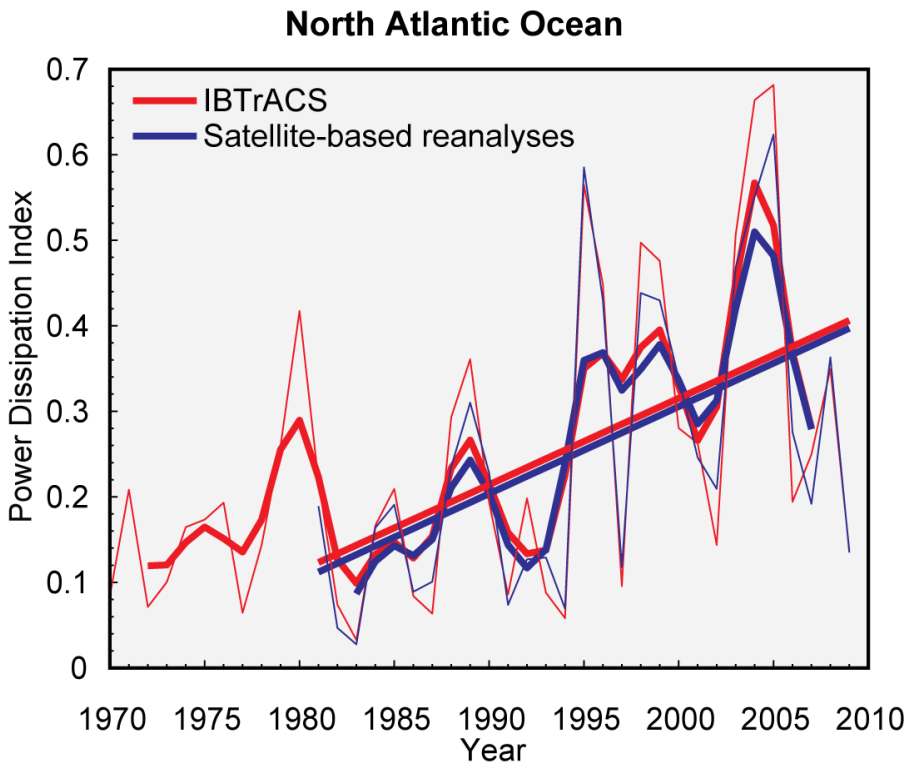

(a) Greenland Ice Mass Change
Ice Mass (Gigaton)
1000
500
0
−500
−1000
−1500
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
Monthly Data
5−year Doubling Time
7−year Doubling Time
10−year Doubling Time
(b) Antarctic Ice Mass Change
1000
500
0
−500
−1000
−1500
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
Monthly Data
5−year Doubling Time
7−year Doubling Time
10−year Doubling Time
(c) Greenland Ice Mass Change Rate
ΔIce Mass (Gigaton/Year)
100
0
−100
−200
−300
−400
−500
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
Annual Change
12−Mon. Running Mean
5−year Doubling Time
7−year Doubling Time
10−year Doubling Time
(d) Antarctic Ice Mass Change Rate
600
400
200
0
−200
−400
−600
−800
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
Annual Change
12−Mon. Running Mean
5−year Doubling Time
7−year Doubling Time
10−year Doubling Time

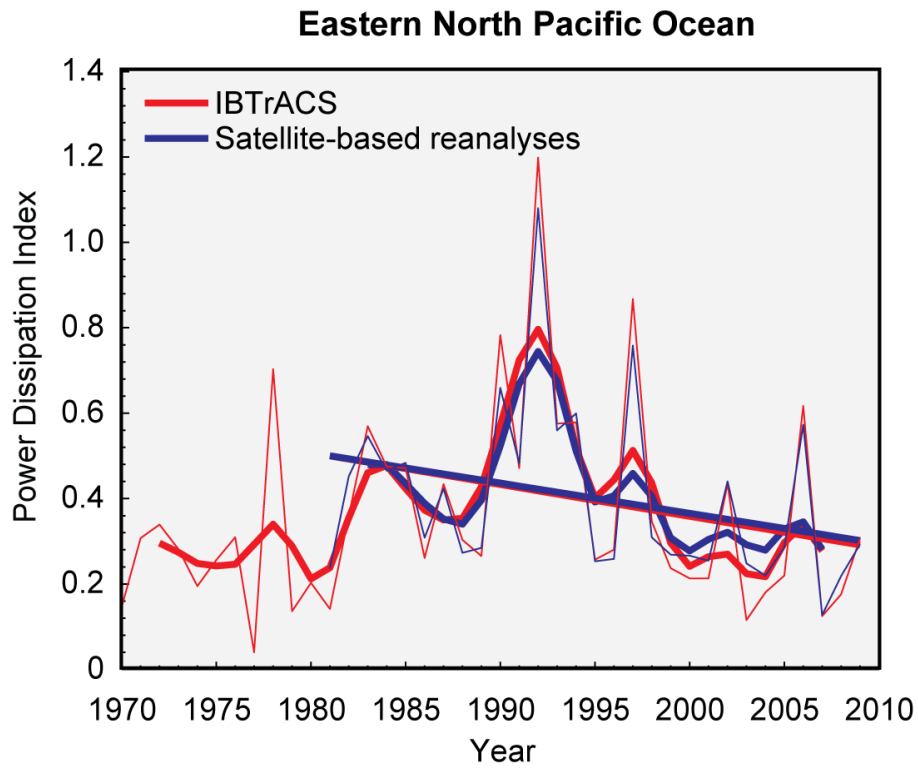

Global Mean Sea Level Change
Sea Level Anomaly (mm)
200
150
100
50
0
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000
Church & White (GRL, 2005)
University of Colorado (2011 rel. 3)
0.9 mm/yr
2.0 mm/yr
2.1 mm/yr
3.2 mm/yr

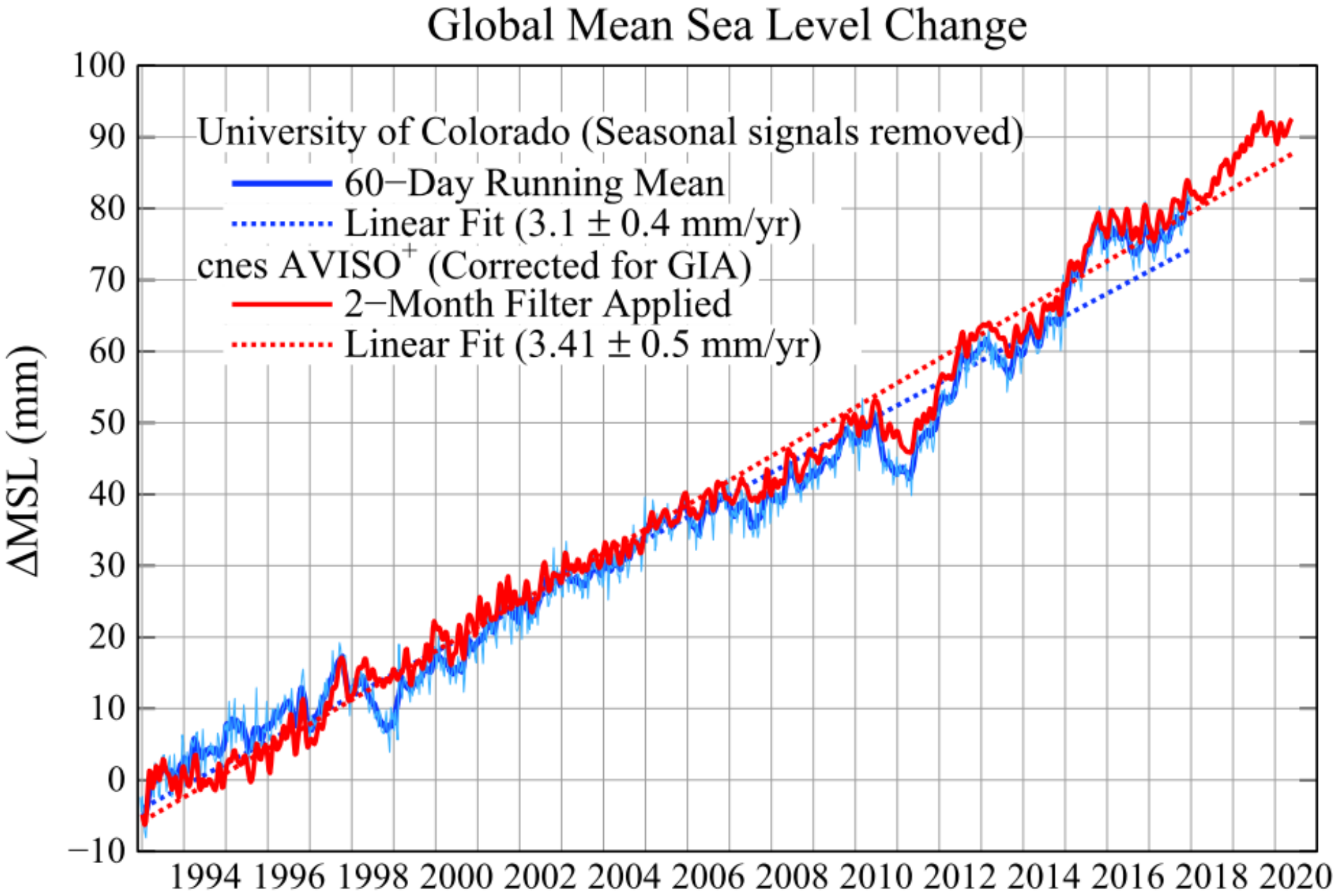
Vanuatu:The cyclone arrived on a Saturday a year ago after gathering strength in the Pacific, bringing winds of more than 300kph

Source: http://www.bbc.com/news/world-asia-31901998

Observed Trends in Hurricane Power Dissipation

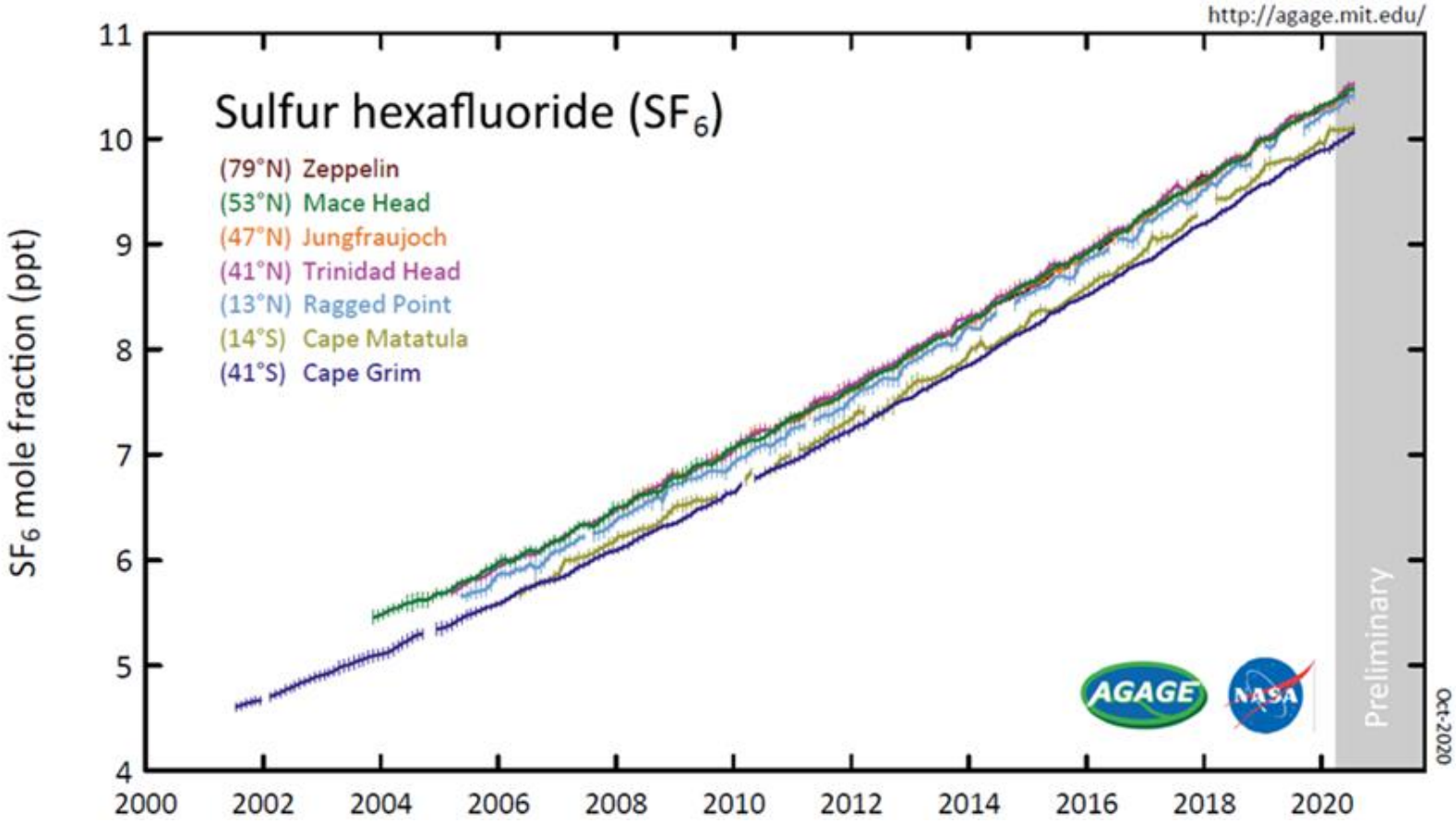




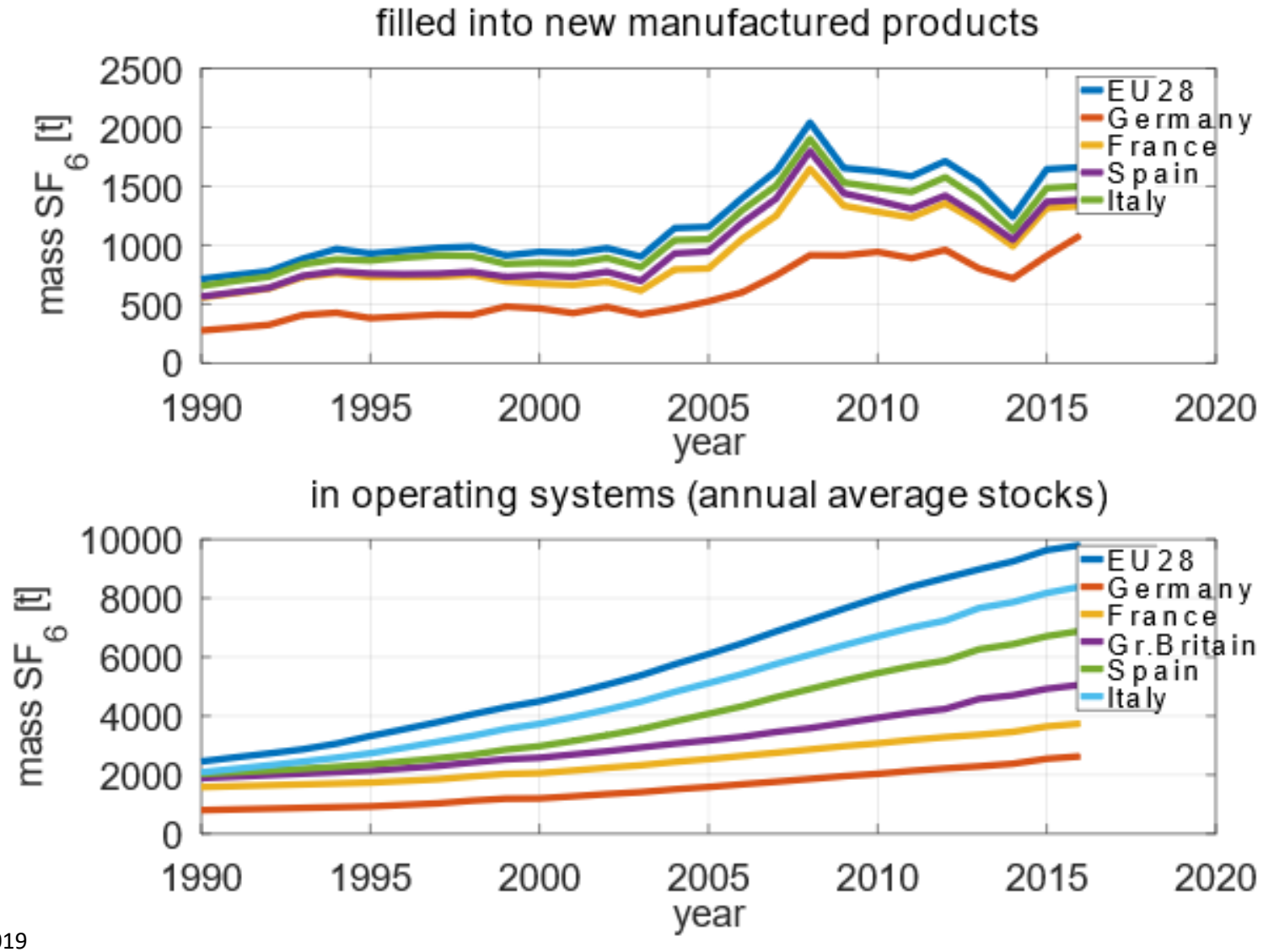

Global Mean Sea Level Change
University of Colorado (Seasonal signals removed)
60−Day Running Mean
Linear Fit (3.1 ± 0.4 mm/yr)
cnes AVISO+ (Corrected for GIA)
2−Month Filter Applied
Linear Fit (3.41 ± 0.5 mm/yr)
ΔMSL (mm)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
−10
1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012 2014 2016 2018 2020

Schwefelhexafluorid SF_6

SF6 – Konzentration in der Atmosphäre



- Verdreifachung bis 2050 bei gleichbleibenden Emissionen
- Atmosphärische Lebenszeit: 1000 Jahre
- Treibhauspotential (CO_{2eq}): IPCC - AR 6 = 25.200

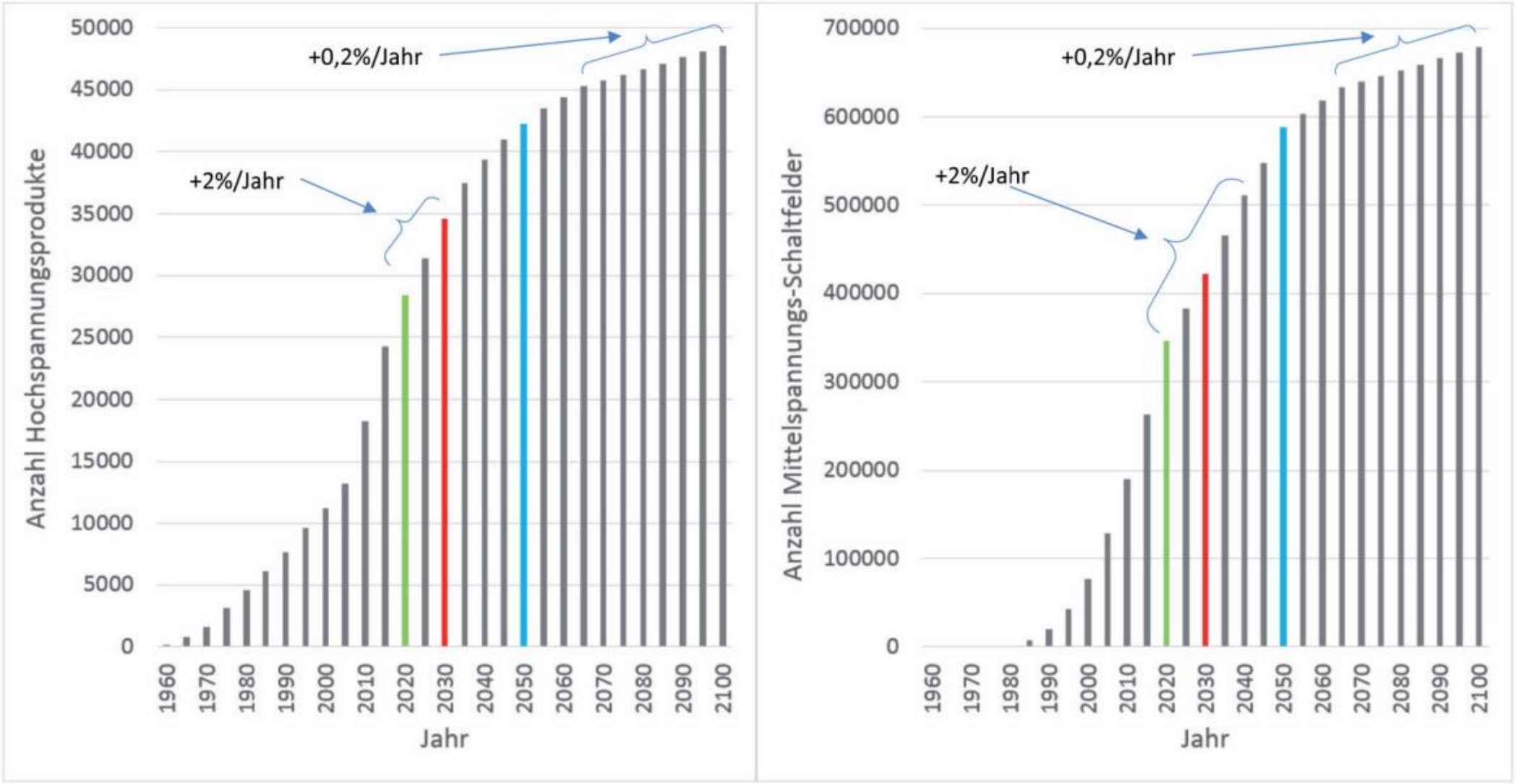


Datenquelle: UNFCCC 2019

Die in Neuanlagen eingespeicherte SF6 Menge nimmt stetig zu. Ein Großteil der verbauten Menge wird exportiert (bis zu 80%).

Vorhersage der zu erwartenden Anlagenpopulation bis 2100 für die Mittelspannung bzw. Hochspannung in Deutschland

(Quelle: Szenario zur Reduktion der SF6-Betriebsemissionen von elektrischen Betriebsmitteln durch den Einsatz alternativer Isoliergase, ZVEI VIK VDE 2020)



Netzbetreiber und Energieversorger sind Hauptanwender von SF_6

Durchschnittlich **2,5 kg** SF_6 Füllmenge je MS-Schaltanlage

SF_6 bleibt **3,200 Jahre** in der Atmosphäre bestehen

Netzbetreiber und Energieversorger sind verantwortlich für **80% den jährlichen SF_6- Gas Emissionen**

*Einsatzgebiete und Emissionen von SF_6 Gas

Mittelspannungsschaltanlagen
(SF_6 als Schalt- / Isolationsmedium)

Sport Schuhe
(SF_6 zur Verringerung von Stoßbelastungen)

Tennis Bälle
(SF_6 für längere Lebensdauer)

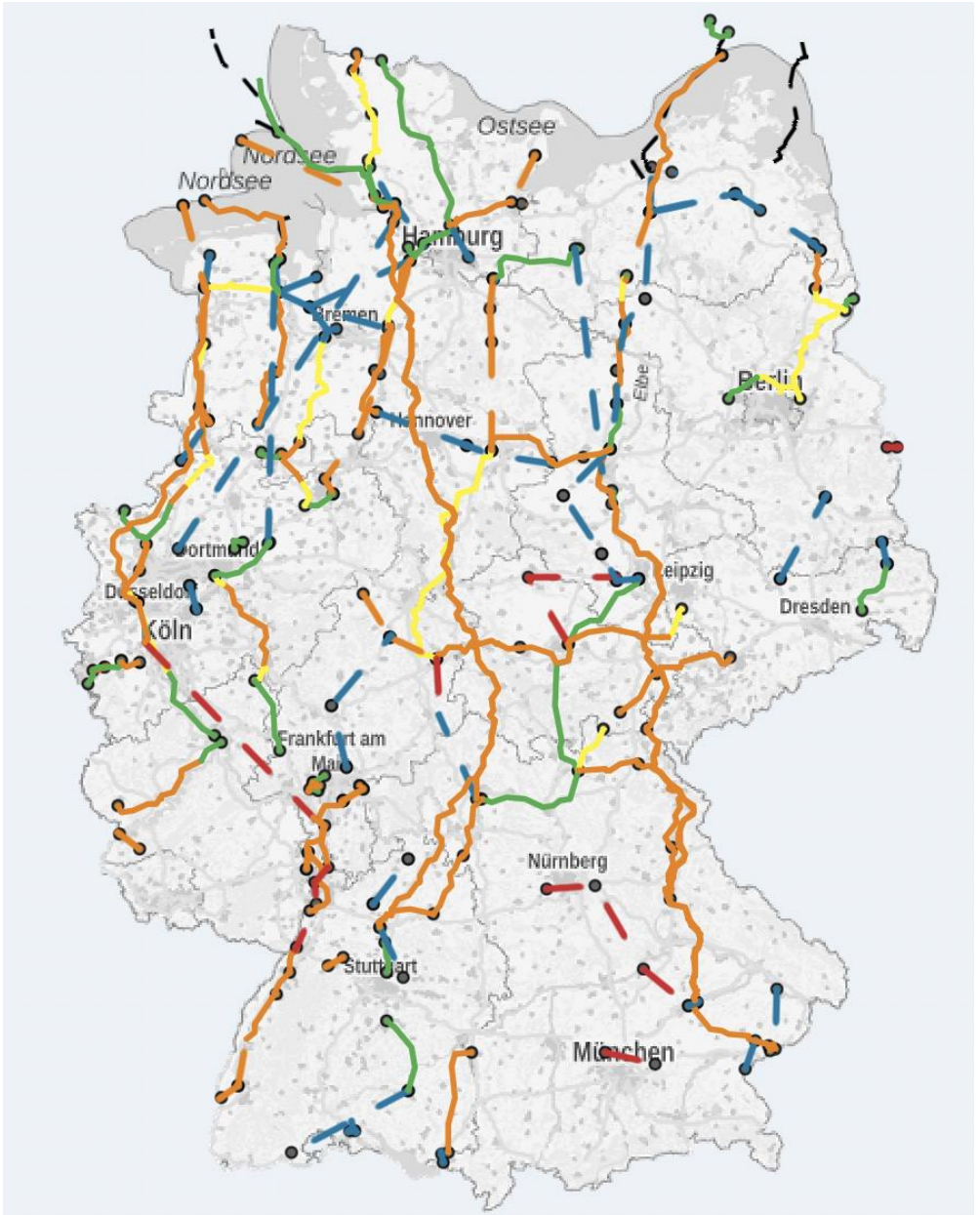
Autoräder
(SF_6 zur Verringerung von Druckverlust)

Doppelverglasung
(Temperaturisolierung mit SF_6)

Quelle: EATON 2021

Netzausbauplan Deutschland

Bundesnetzagentur



Legende

- noch nicht im Genehmigungsverfahren
- im Raumordnungs- oder Bundesfachplanungs-verfahren
- im oder vor dem Plan-feststellungs- oder Anzeigeverfahren
- genehmigt beziehungs-weise im Bau
- fertiggestellt

Weiteres Vorgehen Novellierung EU F-Gas Verordnung

Zeitschiene

- Optionen werden analysiert und bewertet (impact assessment)
- Keine weiteren Konsultationen
- Verordnungsentwurf für 2. Quartal 2022 erwartet
- Inkrafttreten voraussichtlich 2023?

Links zu den EU-KOM Dokumenten

- Stakeholder Konferenz: https://ec.europa.eu/clima/news/stakeholder-conference-review-rules-fluorinated-greenhouse-gases_en

Briefing paper: https://ec.europa.eu/clima/system/files/2020-04/2020_03_25_sf6_and_alternatives_en.pdf

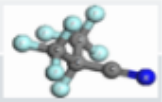
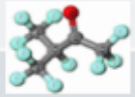
	SF_6	Clean-air	Fluoronitrile	C5-Fluoroketone
Chem. Formula	SF_6	$N_2 + O_2$ (79.5%/20.5%)	$(CF_3)_2CFCN$	$(CF_3)_2CFC(O)CF_3$
CO_2-Equivalent	22.800	0	2.210 	1 
Boiling point (°Celsius)	-64	< -183	-4.7	+26.9
LC50* (ppm)	-	-	>10.000 - <15.000	>20.000
TWA** (ppm)	1.000	-	65	225
Gas mixture				
Carrier gas	Pure or mixed with N_2, CF_4	Not applicable	96% CO_2 for GIL 94% CO_2 for GIS	83% CO_2 / 11% O_2
CO_2-Equivalent	< 22.800	0	327…462	< 1
Boiling point (°Celsius)	<- 64° (variable)	< -183°	-30…-25	0
Dielectric strength at same pressure	1 (normalized)	~ 0.43	0.7…0.75 for GIL >0.75 for GIS	~ 0.7 in mixture with air
Arcing impact				
Dissociation / decomposition	Reversible (~ 2000 K)	Reversible (N_2 ~ 7000 K, O_2 ~ 4000 K)	Non reversible (> 920 K)	Non reversible (~ 970 K)
Decomposition products found	HF, SO_2, sulfur compounds	Only if failure: Nitrogen oxides, ozone	HF, CO, OF_2,CF_3CN, C_2F_5CN, C_2F_6	HF, CF_4, C_2F_6, C_3F_8
			For both: C_4F_{10},C_3HF_7; C_4F_8, C_4F_6, C_3F_6, C_2F_3N, C_2N_2 in MV GIS mixed with air	

Table 1: Properties of currently discussed SF_6 alternative gases [2, 3]

Quelle: M.Kuschel et.al. Cigre 2018, www.cigre.org

The main differences of clean air in comparison to SF 6

- No global warming potential from insulating gas (CO_2 equivalent = 0), no F-gas
- Chemically stable, non-toxic as well as applicable below -30° without liquefaction
- Reduced dielectric strength (around 60 % in comparison to SF_6 under equivalent pressure)
- Arc quenching capability similar, no significant increase of arcing times with increasing number of operations and no dark soot generation by BTC (Bus transfer current) switching
- Long-term stability in the electric field similar, no significant change with respect to dielectric strength and dew point because of thermal or electrical aging from PD (partial discharge)

From a wind turbine operator perspective the clean air technology also conducts simpler safety measure and less training requirements for the service teams working in the turbine.

Quelle: M.Kuschel et.al. Cigre 2018, www.cigre.org

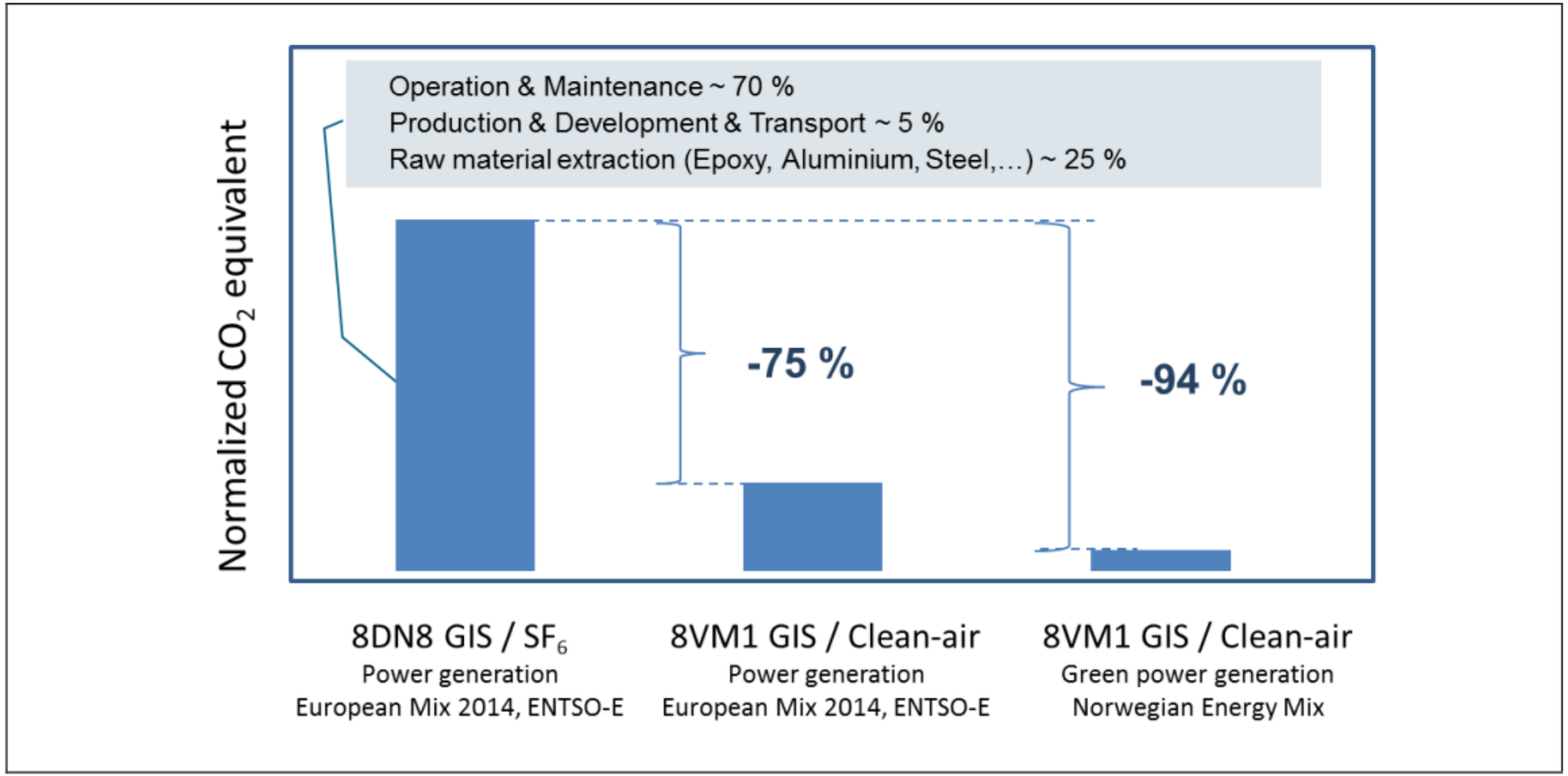


Figure 7: Carbon footprint for the entire life cycle based on LCIA method according to ISO 14040/44

Main boundaries: lifetime 50 years, 1 maintenance after 25 years, 50 % rated current over 50 years, production/development gas losses 0.71 %, operational gas losses 0.1 % per year, maintenance gas losses 0.01 %

Quelle: M.Kuschel et.al. Cigre 2018, www.cigre.org

SF6 Windenergie

Was also spricht dagegen, dass die Wirtschaft nachzieht? Bei Schaltanlagen in niedrigeren Hochspannungsbereichen bieten viele Hersteller bereits luftisolierte Anlagen an. Die müssen wegen der schlechteren Isolationswirkung zwar etwas größer als SF_6-haltige Anlagen sein, passen aber trotzdem noch in den Turm eines Windrads oder das Technikgebäude eines Solarparks. Der Kaufpreis ist höher, die laufende Wartung dafür günstiger.

Für den Hoch- und Höchstspannungsbereich, an den etwa Offshore-Windparks angeschlossen sind, gibt es luftisolierte Schaltanlagen zwar ebenfalls bereits, bisher allerdings nur von wenigen Herstellern. Die Hoffnung ist nun, dass sich das bei einem SF_6-Verbot schnell ändern wird. "Wir haben weltweit schon 200 Anlagen in Betrieb, 2000 weitere sind bestellt", sagt Mark Kuschel von Siemens Energy.

Überraschend knapp reagiert aber der Bundesverband Windenergie auf die Frage nach einem SF_6-Verzicht. "Alternativen zu dieser Technologie müssen sich erst am Markt bewähren und beweisen, dass ihr Einsatz sicher ist", sagt dessen Sprecher Frank Grüneisen. Beispiele für Windparkbetreiber, die bereits bewusst auf SF_6 verzichten, kennt er nicht.

Quelle: https://www.zeit.de/2021/42/emissionen-sf6-windkraft-schwefelhexafl..

Übergangszeiten für alternative gasisolierte elektrische Betriebsmittel notwendig

Hersteller und Anwender empfehlen angemessene Übergangszeiten

VDE FNN unterstützt nachdrücklich die Ziele der Europäischen Kommission, alle Klimaschutzbemühungen zu verstärken und bis 2050 Klimaneutralität für Europa zu erreichen.

Mit einer überarbeiteten EU-F-Gase-Verordnung, die den Einsatz von alternativen Technologien unterstützt, kann in der Energietechnik bei neuen Betriebsmitteln der schrittweise Übergang, ausgehend von einem Inkrafttreten der Verordnung am 01.01.2023, dann innerhalb von 5 bis 9 Jahren je Anwendungsfall erreicht werden, ohne dass dadurch Risiken für den sicheren Betrieb der Stromnetze und die Energiewende herbeigeführt werden.

Diese Übergangszeiten wurden für die verschiedenen Anwendungsfälle differenziert bewertet. Durch eine enge Verzahnung der Umsetzungsschritte bei Herstellern und Anwendern können vorhandene Synergien genutzt und die Zeiten so gering wie möglich gehalten werden.

Beispielsweise ist der Übergang zu SF_6-freien Anlagen in der primären Verteilebene bis 24 kV bis Ende 2027 möglich, wenn eine neue EU-F-Gase-Verordnung ab Anfang 2023 gelten würde.

Weitere Spannungsebenen und Technologien folgen dann schrittweise.

Nicht genug Erfahrungen mit SF6 freien Schaltanlagen

Eaton produziert schon über 100'000 Xiria Schaltanlagen

Die Produktionsstätte von Eaton in **Holland** entwickelt und produziert die SF_6-freie Xiria Schaltanlage

Die Xiria kann nach seiner Lebensdauer **komplett recycelt** werden ohne schädliche Gase

Die MS-Schaltanlage Xiria ist **100% ohne dem SF_6 Gas** welches das schlimmste Gas für die Globale Erwärmung mit 23'900 mal mehr als CO_2 ist

Die Xiria Schaltanlage ist **skalierbar** und kann sich mit ihrem **flexiblen Design** an Ihre Bedürfnisse anpassen

Die Anlagen werden von Kunden in über **50 Ländern eingesetzt**

Eaton's Xiria wurde im Jahr 2002 mit der **Eaton's Green Philosophy** entwickelt

Eaton produzierte die **100'000** Xiria Anlage im Sommer 2018

Die Xiria kann über **10'000 Schaltungen** vornehmen und erhöht die Sicherheit im laufenden Betrieb

EATON
Powering Business Worldwide

> 770 Einheiten erfolgreich in Asien, Amerika & Europa On-/Offshore im Betrieb
> 1,900 Einheiten vertraglich bestellt -> F-Gas-frei setzt den Nachhaltigkeitsstandard

~ 2,700,000 tons of CO_2 equivalent saved! ***More than > 6 million hours of commercial operation!***

Blue Live Tank CB™ 72.5 kV

- world's first 72.5 kV LT CB with vacuum CB with clean air insulation
- same footprint as SF_6 product
- 6 units in operation
- since 2010

Blue Live Tank CB™ 145 kV

- world's first 145 kV LT CB with vacuum CB clean air insulation
- same footprint as SF_6 product
- units contracted: 164
- in operation: 142

Wind Tower Blue GIS™ 72.5 kV

- 72.5 kV switchgear for application in wind turbines, with vacuum CB and clean air insulation
- similar footprint as SF_6 product
- units contracted: 974
- in operation: 201

Blue GIS™ 145 kV

- world's first 145 kV switchgear with vacuum CB and clean air insulation
- similar footprint as SF_6 product
- optimized footprint by using LPIT*
- units contracted: 349
- in operation: 50

Blue Dead Tank CB™ 145 kV

- world's first 145 kV DT vacuum CB with clean air insulation
- same footprint as SF_6
- units contracted: 15
- in operation: 6 in 2021

Blue Clean Air GIB™ 420 kV Neu

- 245 - 420 kV = combined solution GIS + Blue GIB (30-65% less SF_6) with clean air insulation
- 3 orders received: 4900 m

Blue Instrument Voltage Transformer™ up to 420 kV

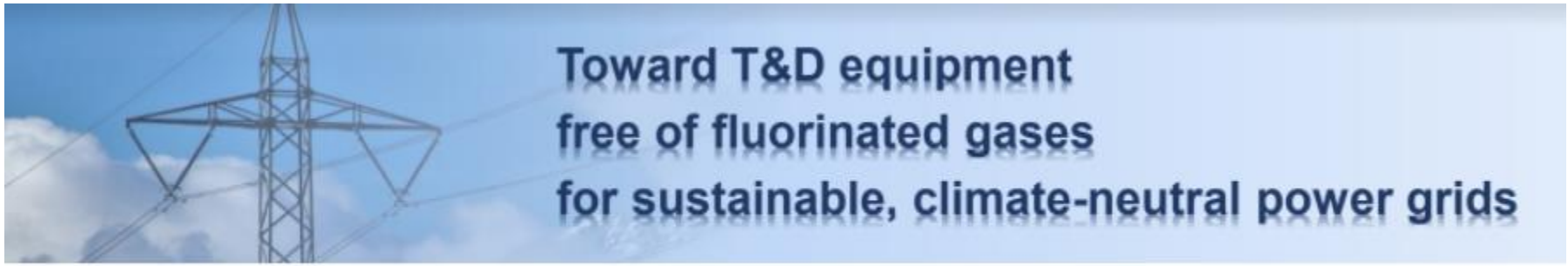
- world's first 420 kV voltage transformer with clean air insulation
- same footprint as SF_6 product
- CT's and combined devices available on lower voltages
- units contracted: 396
- in operation: 265

Blue Station Service Voltage Transformer™ up to 420 kV

- world's first 420 kV station service transformer with clean air insulation
- output power up to 167 kVA / phase
- same footprint as SF_6 product
- units contracted: 24
- in operation: 6

* Low Power Instrument Transformer

Quelle: M. Kuschel, Siemens Energy, Vortrag DUH WS 10/2021



Toward T&D equipment free of fluorinated gases for sustainable, climate-neutral power grids

A joint statement of T&D equipment manufacturers

2021/11/02

ILJIN Electric
Soo Hwang
President & CEO
ILJIN Electric Co., Ltd

MEIDEN
Nobuaki Tamaki
Director & Senior Managing Executive Officer
MEIDENSHA CORPORATION

MITSUBISHI ELECTRIC Changes for the Better
Masanori Osumi
General Manager, Switchgear department
T & D Systems Center
Mitsubishi Electric Corporation

MITSUBISHI ELECTRIC
MITSUBISHI ELECTRIC POWER PRODUCTS, INC.
John Paserba
Vice President
Power Systems Group
Mitsubishi Electric Power Products, Inc.

nuventura
Dr. Fabian Lemke
Co-founder & CEO
Nuventura GmbH

Schneider Electric
Melton Chang
Senior Vice President – Medium Voltage LoB
Schneider Electric

SIEMENS
Stephan May
CEO of Distribution Systems at Siemens Smart Infrastructure
Siemens AG

SIEMENS energy
Dr. Ulf Katschinski
Senior Vice President Transmission Switching Products & Systems
Siemens Energy Global GmbH & Co. KG

TOSHIBA
Koji Saito
Vice President, Director
Grid Aggregation Div.
Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

Each of the undersigned is committed to delivering T&D equipment free of fluorinated-gas and PFAS-gas needed to enable this transition.

Forderungen an die Wind- und Solarbranche

- Wir fordern die Windanlagenherstellern auf, ab sofort keine SF6 Anlagen zu verbauen
- Wir fordern die Windparkbetreiber auf, ab sofort keine Bestellungen mehr für SF6-haltige Anlagen zu tätigen!
- Wir fordern die Finanzierer von Windparks auf, kein Geld in unnachhaltige SF6 Anlagen zu stecken!
- Verwenden Sie nur halogenfreie Alternativen, wie z.B. trockene Luft!
- Keine Substitute, die in einer bestimmten Gasmischung zwar das Treibhauspotential deutlich mindern, dafür allerdings genau wie SF6 zur problematischen Gruppe der Per-und Polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) gehören.

- Es ist unakzeptabel, dass Anlagen, die helfen sollen den Klimawandel zu stoppen, zu diesem beitragen!

axel.friedrich.berlin@gmail.com