
Globale Stressklassifikation: Kartierung und Messung



Karolina Slamova

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Agenda

- ❖ Definition der Beanspruchung für solarthermische Kollektoren
- ❖ Vorstellung der *SpeedColl* Standorte und derer klimatischen Charakteristik
- ❖ Definierte *SpeedColl* Belastungsprofile für Prüfverfahren
- ❖ Globale Klassifikation der *SpeedColl* Belastungsprofile
 - ❖ Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität
 - ❖ Ortsabhängige Stressklassifikation und ihre Ziele
 - ❖ Weitere Beispiele der Stressklassifikation
- ❖ Zusammenfassung und Ausblick

Definition der Beanspruchung

Klimaklassifikation nach Köppen und Geiger

TROPISCH

- Af
- Am
- As
- Aw

TROCKEN

- BWk
- AWh
- BSk
- BSh

WARMGEMÄßIGT

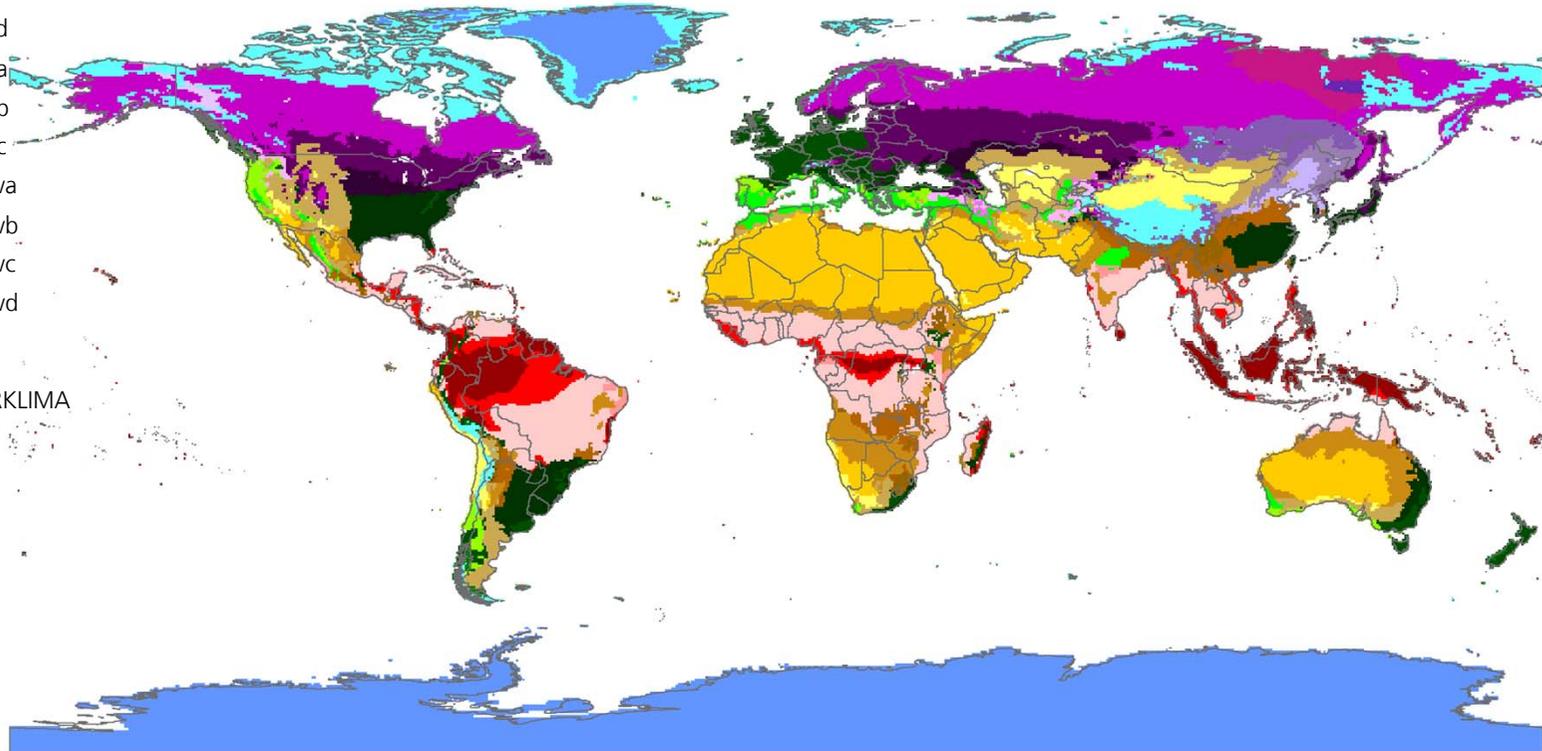
- Cfa
- Cfb
- Cfc
- Csa
- Csb
- Csc
- Cwa
- Cwb
- Cwc

SCHNEEKLIMA

- Dfa
- Dfb
- Dfc
- Dfd
- Dsa
- Dsb
- Dsc
- Dwa
- Dwb
- Dwc
- Dwd

POLARKLIMA

- EF
- ET



Quelle: Kottek, M. et al., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z., 15, 259-263.

Definition der Beanspruchung

Outdoor Exposition



© Bosch Thermotechnik GmbH

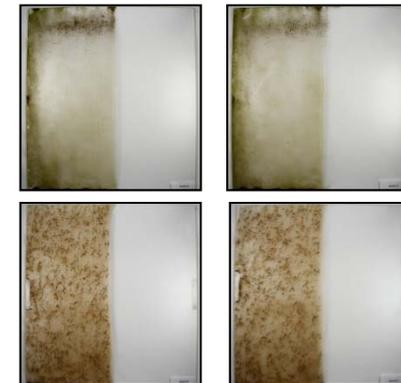
- ❖ Und weitere globale und lokale Umwelteinflüsse (z.B. Luftschadstoffe) und Kombination dieser Einflüsse

Definition der Beanspruchung

Outdoor Exposition



© Bosch Thermotechnik GmbH

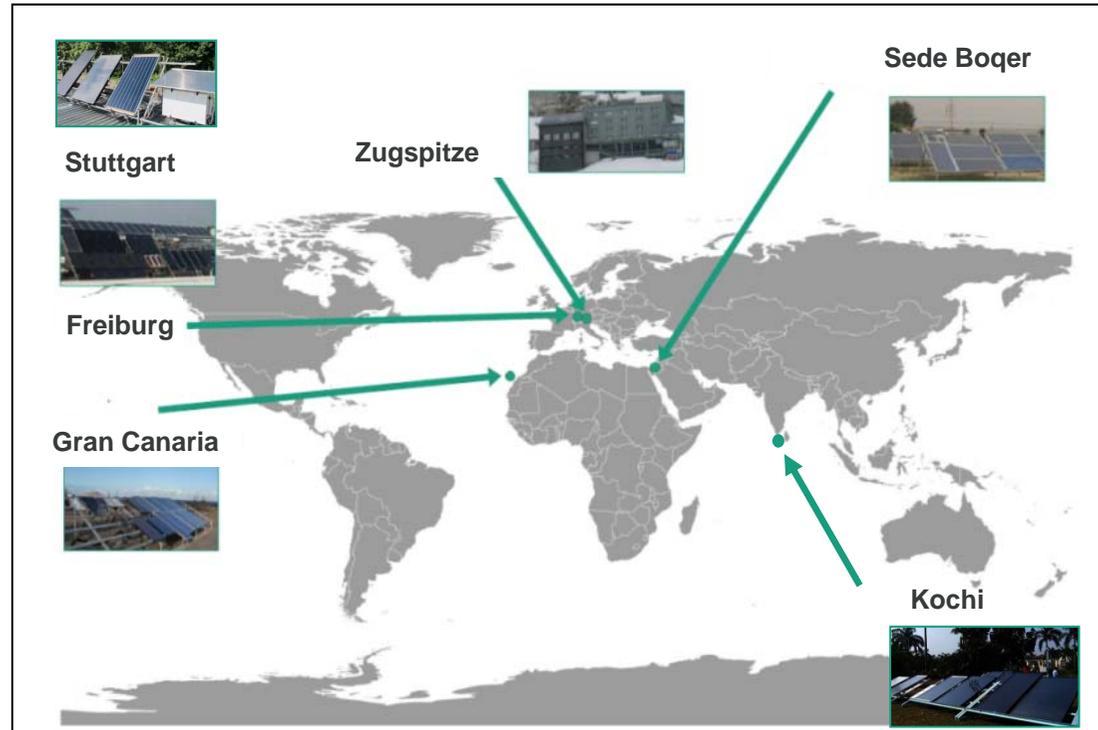


Vorstellung *SpeedColl* Standorte

Outdoor Exposition



Meteorologische
Parameter



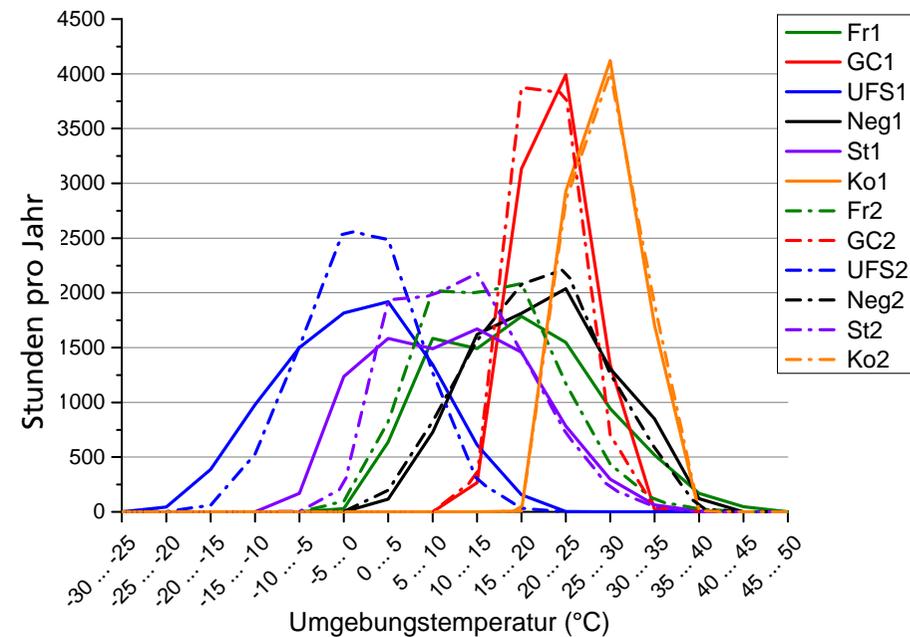
Materialspezifische
Parameter

- ❖ Freiburg, Deutschland (moderat)
- ❖ Stuttgart, Deutschland (moderat)
- ❖ Zugspitze, Deutschland (alpin)
- ❖ Kochi, Indien (tropisch)
- ❖ Sede Boqer, Israel (arid)
- ❖ Gran Canaria, Spanien (maritim)

Definierte Belastungsprofile in *SpeedColl*:

- ❖ Aus erfassten meteorologischen Daten wurden Belastungsprofile für alle *SpeedColl* Standorte erzeugt:

- ❖ Außentemperatur
- ❖ Relative Luftfeuchtigkeit
- ❖ Ultraviolettstrahlung
- ❖ Atmosphärische Korrosivität



Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität

Bestimmung der Korrosivität nach ISO 9226/1992

- ❖ Die Korrosionsmessung wird anhand einer Exposition von Standardmetallen (Cu, Al, Fe, Zn) durchgeführt
- ❖ Die Korrosionsgeschwindigkeit (r_{corr}) wird anhand des Massenverlustes Δm_{GB} , der Expositionszeit t_E und der Größe der exponierten Fläche A_{GB} nach der Formel aus ISO 9226:1992 berechnet:

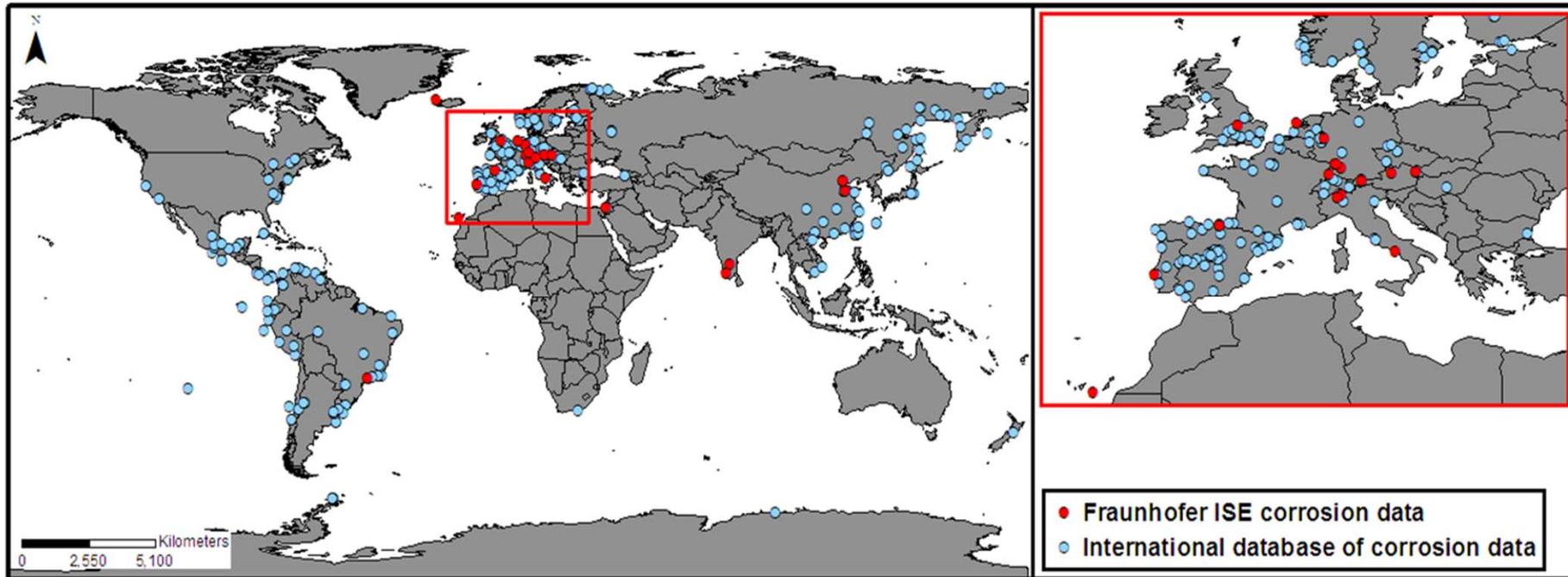
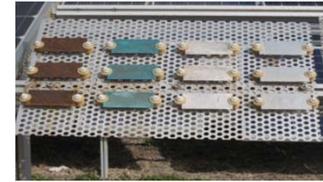
$$r_{corr} \left[\frac{g}{m^2 * a} \right] = \frac{\Delta m_{GB}}{A_{GB} * t_E}$$

- Δm_{GB} : Massenverlust der Gebrauchsnormale in g
- A_{GB} : Exponierte Oberfläche der Gebrauchsnormale in m²
- t_E : Expositionsdauer in a



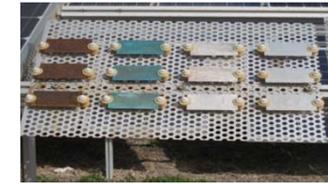
- ❖ Die Korrosionsklasse (C1-C5 von „sehr gering“ bis „sehr hoch“ plus CX Klasse als extrem hohe Korrosion) wird von r_{corr} für jedes Metall ermittelt

Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



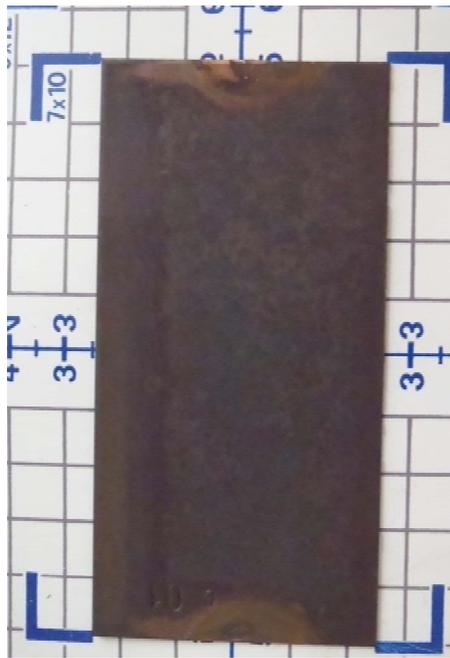
- ❖ Exposition von metallischen Gebrauchsnormalen (Karbonstahl, Kupfer, Aluminium und Zink) über ein Jahr an 23 Standorten mit diversen Klimaten und Emissionsbelastungen

Belastungsprofil: Atmosphärische Korrosivität



ID	Test site	Country	Climate (Köppen-Geiger)	Annual average relative humidity (%)	Annual average temperature (°C)	Annual precipitation (mm)
Marine atmosphere						
1	Pozo Izquierdo	Spain	BWh	64.7	21.2	160
2	Portici	Italy	Csa	70.5	15.8	901
3	Petten	Netherlands	Cfb	81.1	9.1	771
4	Hnifsdalur	Island	Cfc	78.2	3.3	1031
5	Estoril	Portugal	Csb	68.8	15.9	750
6	Loughborough	Great Britain	Cfb	75.1	9.7	630
7	Sao Paulo	Brazil	Csb	76.1	18.5	1341
8	Kochi	India	Am	76.7	26.9	3254
9	Bilbao	Spain	Cfb	70.2	14.1	1174
Urban atmosphere						
10	Freiburg	Germany	Cfb	68.0	12.7	887
11	Ennepetal	Germany	Cfb	73.4	9.0	888
12	Vienna	Austria	Cfb	72.7	9.9	623
13	Cannobio	Switzerland	Cfb	67.6	11.5	1209
14	Karlsbad-Langensteinbach 2	Germany	Cfb	71.9	9.6	790
Rural atmosphere						
15	Sede Boqer	Israel	Bwh	58.9	19.2	99
16	Zugspitze	Germany	ET	74.3	-1.1	2003
17	Ispra	Italy	Cfb	68.7	11.5	1137
18	Eberstalzell	Austria	Cfb	77.0	8.3	1078
19	Karlsbad-Langensteinbach 1	Germany	Cfb	71.9	9.6	790
20	Dettenhausen	Germany	Cfb	72.7	8.7	759
Industrial atmosphere						
21	Bangalore	India	As	68.8	23.6	831
22	Beijing	China	Dwa	52.6	12.1	610
23	Jinan	China	Cwa	54.9	14.5	613

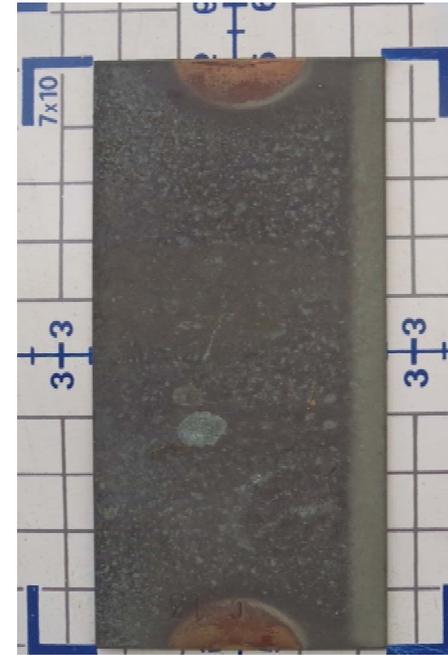
Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



Freiburg



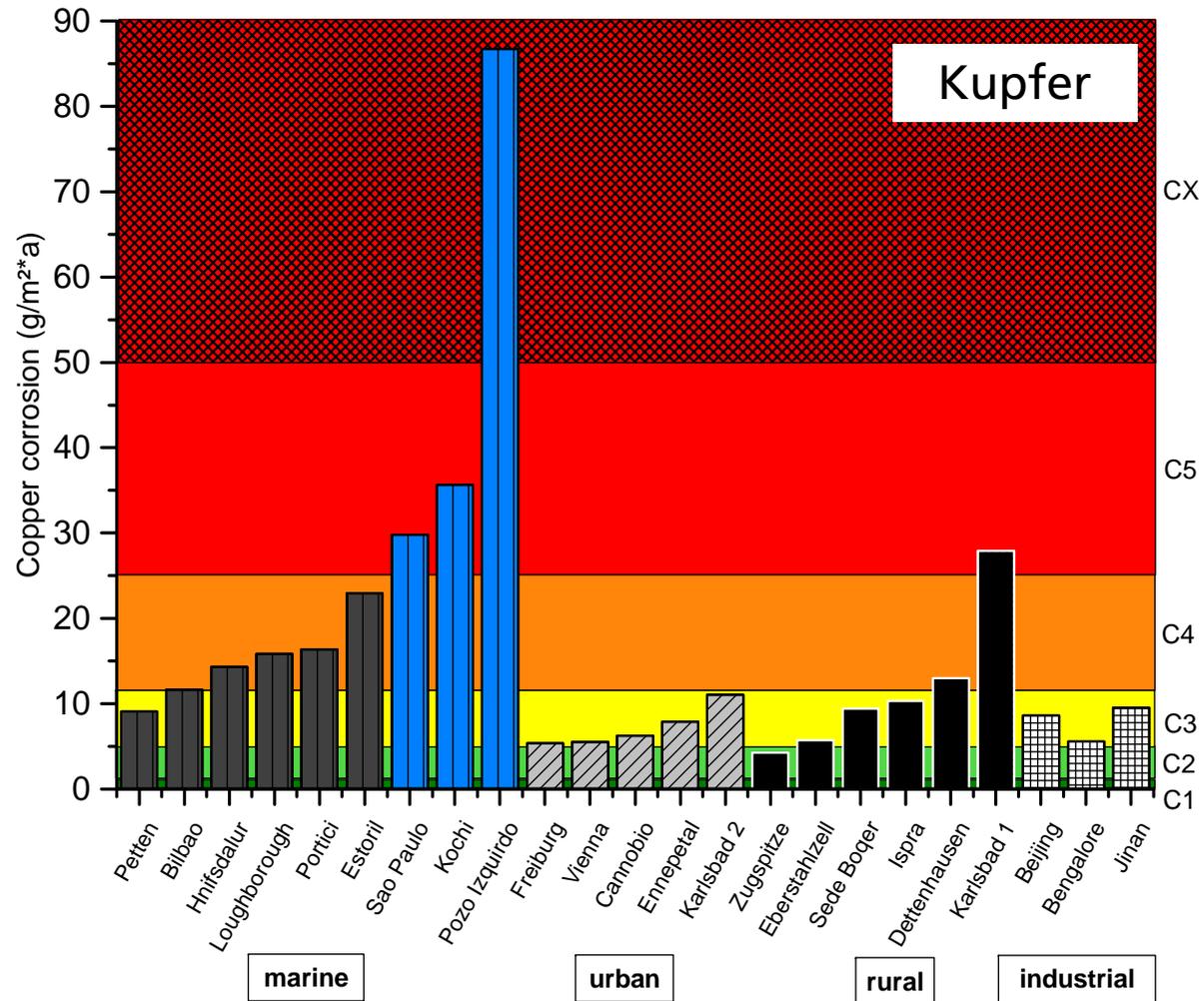
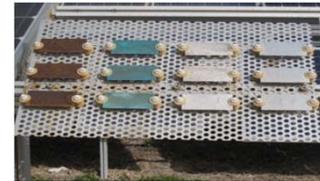
Gran Canaria



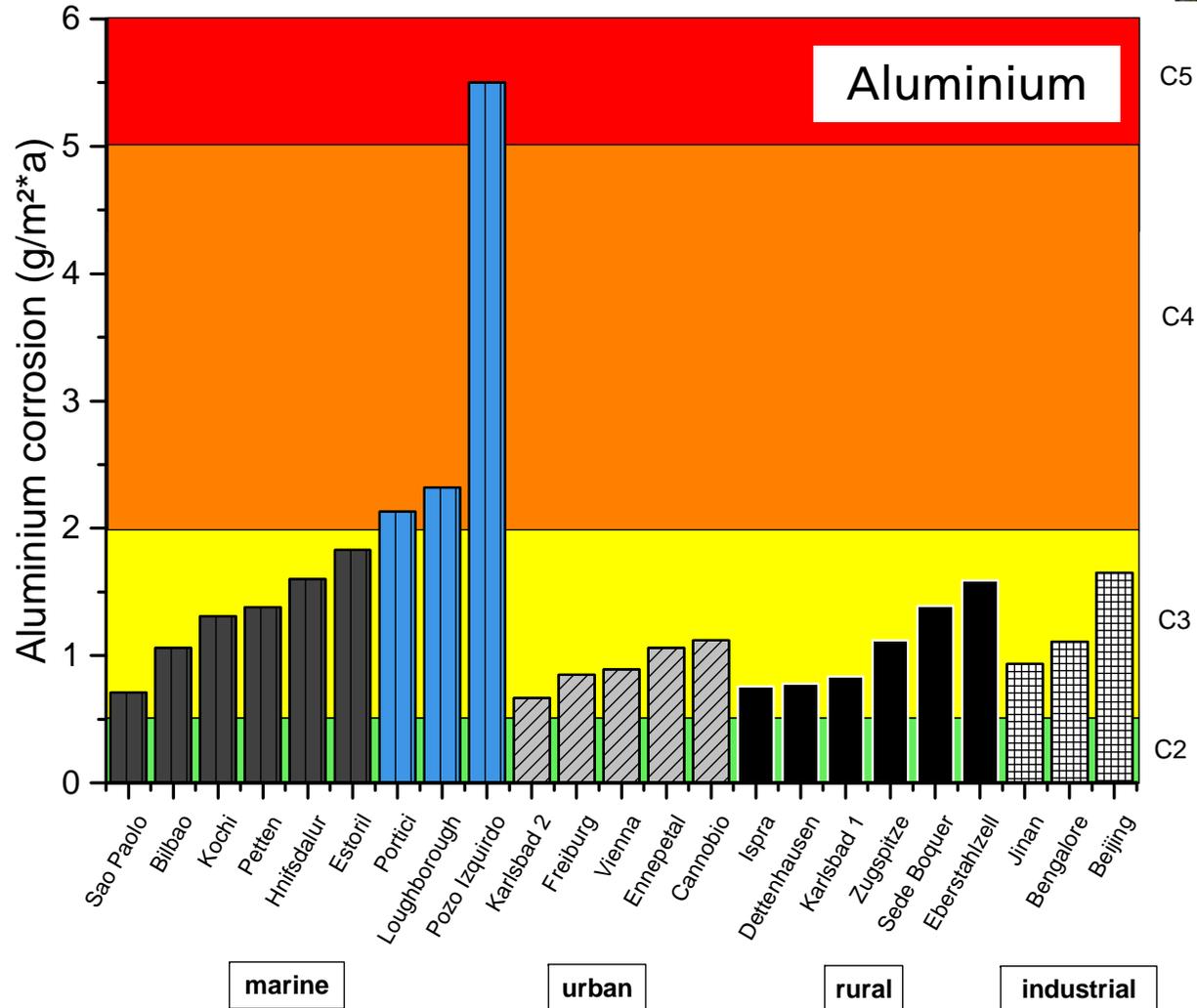
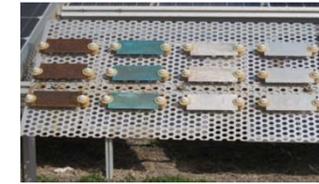
Kochi

- ❖ Visuelle Betrachtung der exponierten Kupferproben nach einem Jahr Exposition

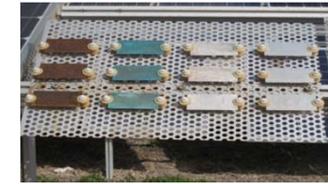
Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität

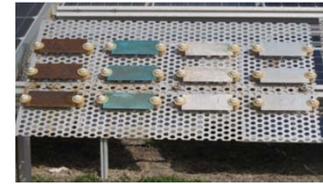


Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



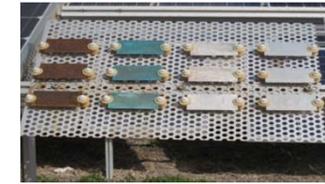
Standort	Al [g/(m ² *a)]	Cu [g/(m ² *a)]	Fe [g/(m ² *a)]	Zn [g/(m ² *a)]
Freiburg	0.85	5.38	29.1	3.98
Gran Canaria	5.5	86.74	1307.53	816.33
Sede Boqer	1.39	9.42	154.2	4.7
UFS	1.12	4.28	1.8	3.34
Stuttgart	Keine Auswertung im betrachteten Zeitraum			
Kochi	1.31	35.67	341.4	9.64

Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



Standort	Al	Cu	Fe	Zn
Freiburg	C3	C3	C2	C2
Gran Canaria	C5	CX	C5	>CX
Negev	C3	C3	C2	C2
UFS	C3	C2	C1	C2
Stuttgart	Keine Auswertung im betrachteten Zeitraum			
Kochi	C3	C5	C3	C3

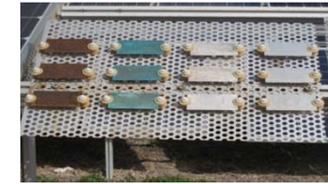
Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



- ❖ Vergleich der Korrosionsraten für **Kupfer** in Pozo Izquierdo mit der internationalen Korrosivitätsdatenbank Korrfield und ISOCORRAG (1968-2010)

Standort	Köppen-Geiger Klimaklassifikation	Atmosphäre	Kupfer Korrosionsrate (g/(m ² *a))	Jahr
Alicante 30 m to coast	BSh	marine, industrial	89.2	1978
Pozo Izquierdo	BWh	marine, urban	86.74	2013
Piura	BWh	marine, rural	81.89	1990
Rio De Janeiro	Am	marine, industrial	77.07	1989
Hualien	Cfa	marine, urban	68.15	1992
ChangQing 1, Shandong	Cfa	industrial	66.90	1983
Colon	Am	marine, urban	64.85	1989
Barcelona	As	marine, urban	59.76	1978
Campeche	As	marine, urban	58.3	1993
GuiYang 1, Guizhou	Cwa	industrial	57.98	1997

Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität

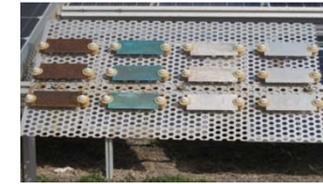


- ❖ Vergleich der Korrosivität von **Karbonstahl** und **Aluminium** in Pozo Izquierdo mit internationalen Korrosivitätsdatenbank Korrfield und ISOCORRAG (1968-2010)

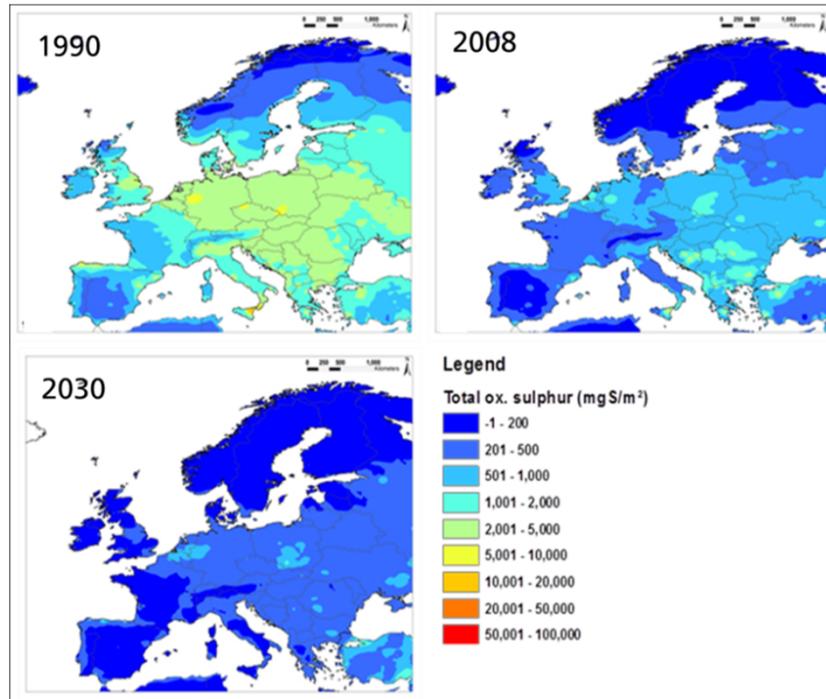
Metal	Korrosivität Pozo Izquierdo [g/(m ² *a)]	Ranking weltweit	Maximal Wert [g/(m ² *a)]	Maximal Wert Standort
Fe	1307.53	15	3290.04	Hualien (Taiwan)
Al	5.5	21	21.393	Badalona (Spanien)

Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität

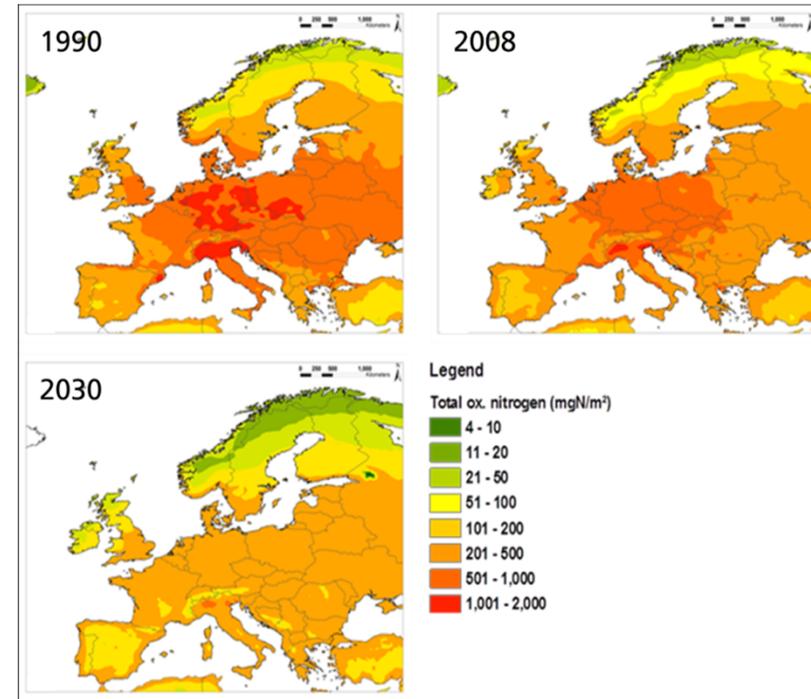
Entwicklung der Schadstoffe in Europa



SO₂



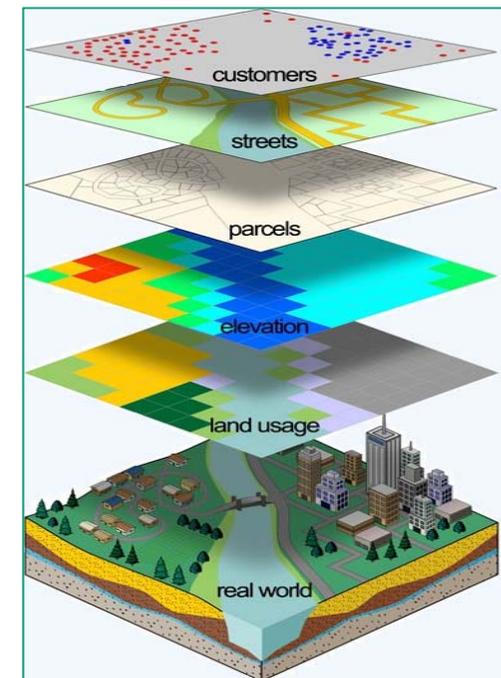
NO_x



Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität

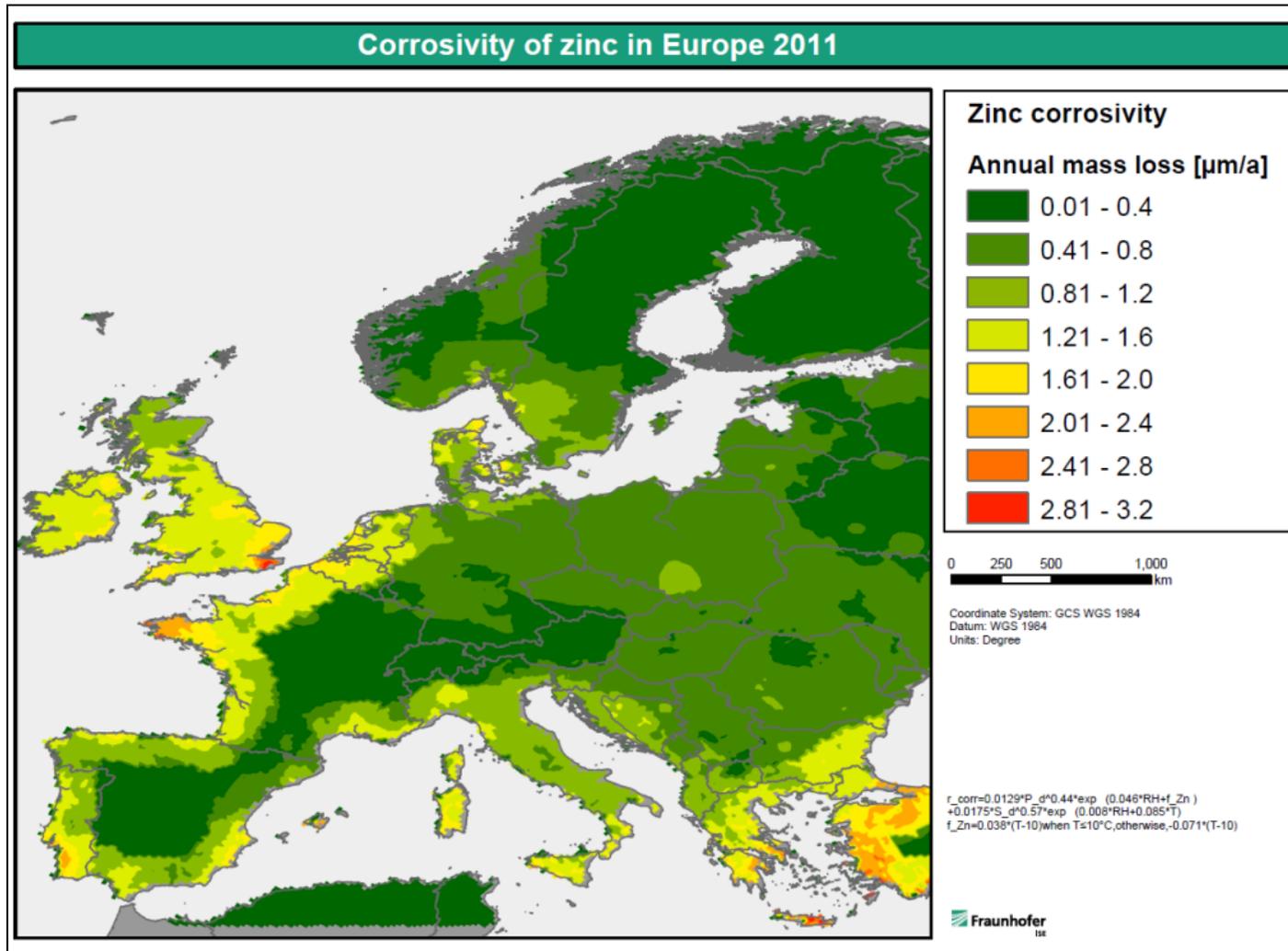
- ❖ Die technische Umsetzung der Korrosivitätskartierung basiert auf der Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS)
- ❖ Für die Berechnung wird die Formel ISO 9223/2012 verwendet
- ❖ Grundlagedaten für die Berechnung sind frei verfügbare aktuelle globale Rasterdaten mit ausreichender räumlicher Auflösung:

Parameter	Datenquelle	Jahr
Tamb	Worldclim	1950-2000
RH	Climatic Research Unit	1961-1990
SO₂ dep.	The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)	2011
Cl dep.	Interpolation von punktuellen Daten von Korrfeld	1950-2003



© <http://www.giscom.cz/en/gis-data-1>

Globale Klassifikation der atmosphärischen Korrosivität



Ortsabhängige Stressklassifikation und ihre Ziele

- ❖ Belastungsfaktoren in Abhängigkeit von der geographischen Lage der Probe

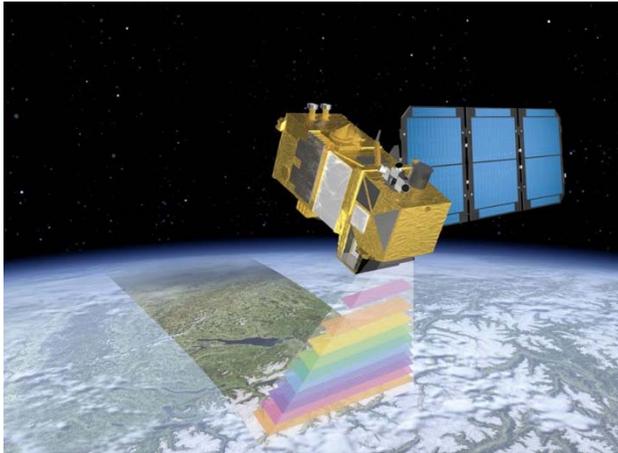
→ Materialstress als Funktion des Standorts und der Zeit

- ❖ Ziel: Globale Belastungskarte
 - ❖ Ähnlichkeiten mit Köppen-Geiger Klimaklassifikation
 - ❖ Vergleich der Indoor- und Outdoor-Alterung
 - ❖ Stresszonen-angepasste Indoor-Prüfzyklen
 - ❖ Rückschlüsse auf die Lebensdauer der Materialien

$$S = f(\text{lat}, \text{lon}, t)$$

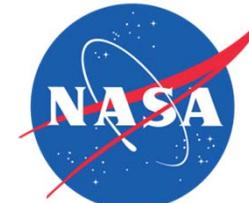
Ortsabhängige Stressklassifikation

Datengrundlage



Name	Version	Data source	Time	Statistics	Area
SA - Surface albedo	ECR	Polar orbiting satellites	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SA - Surface albedo	ECR	MSG	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SA - Surface albedo	ECR	MSG	Monthly	Mean	MSG full disk (includes Europe, Africa, Atlantic Ocean)
SA - Surface albedo	ECR	Merged MSG and polar orbiting satellites	Monthly	Mean	MSG full disk (includes Europe, Africa, Atlantic Ocean)
SA - Surface albedo	ECR	Polar orbiting satellites	Monthly	Mean	Arctic
SA - Surface albedo	ECR	Polar orbiting satellites	Weekly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SA - Surface albedo	ECR	MSG	Weekly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SA - Surface albedo	ECR	MSG	Weekly	Mean	Arctic
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	Polar orbiting satellites	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	MSG full disk (includes Europe, Africa, Atlantic Ocean)
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	Arctic
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	Merged MSG and polar orbiting satellites	Monthly	Mean	MSG full disk (includes Europe, Africa, Atlantic Ocean)
SD - Surface downward longwave radiation	ECR	MSG	Daily	Mean	Arctic
SD - Surface incoming direct radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	MSG full disk (includes Europe, Africa, Atlantic Ocean)
SD - Surface incoming direct radiation	ECR	MSG	Monthly	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface incoming shortwave radiation	ECR	Polar orbiting satellites	Daily	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface incoming shortwave radiation	ECR	MSG	Daily	Mean	CM SAF baseline area (30N-60N, 90W-0E)
SD - Surface incoming shortwave radiation	ECR	MSG	Daily	Mean	Arctic
SD - Surface incoming shortwave radiation	ECR	MSG	Daily	Mean	Arctic

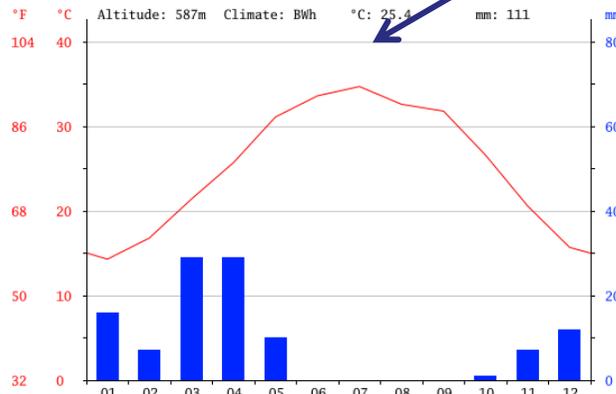
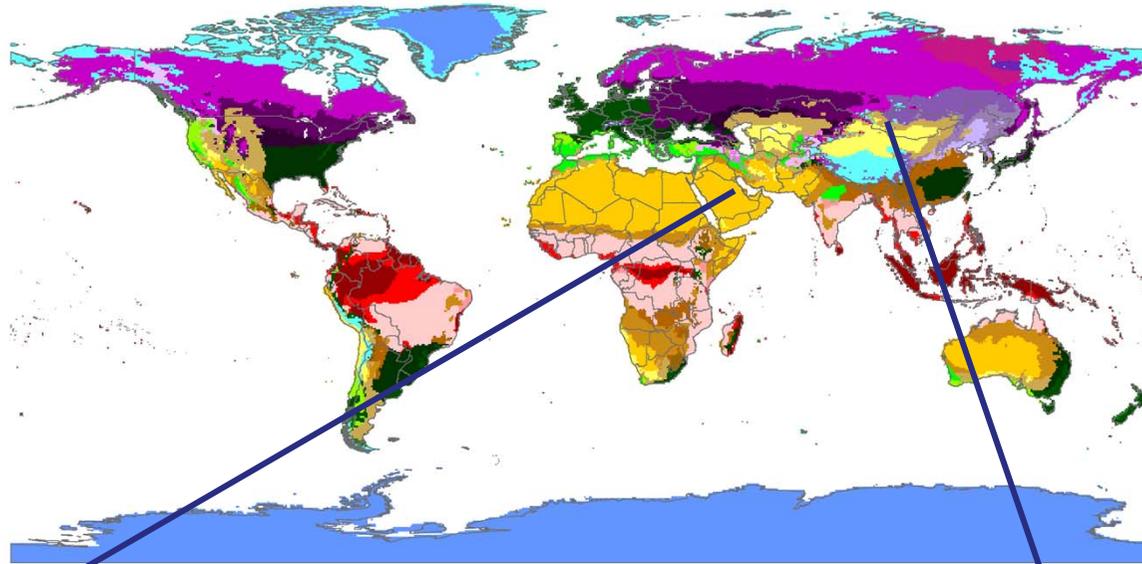
© Airbus Defence and Space



© SpeedColl

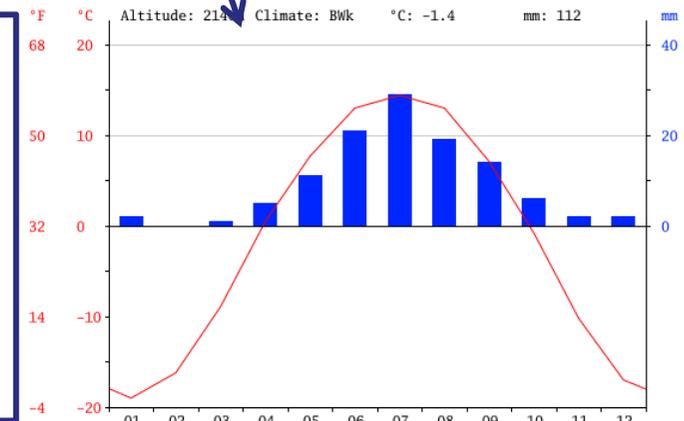


Globale Klassifikation der *SpeedColl* Belastungsprofile



Klimadiagramm von Riad in Saudi Arabien: Trockenklima

Trotz gleicher Klimagruppe sehr unterschiedliche klimatische Charakteristik → sehr unterschiedliche Materialbeanspruchung



Klimadiagramm von den Altai Gebirgen in der Mongolei

Stressklassifikation

DATA



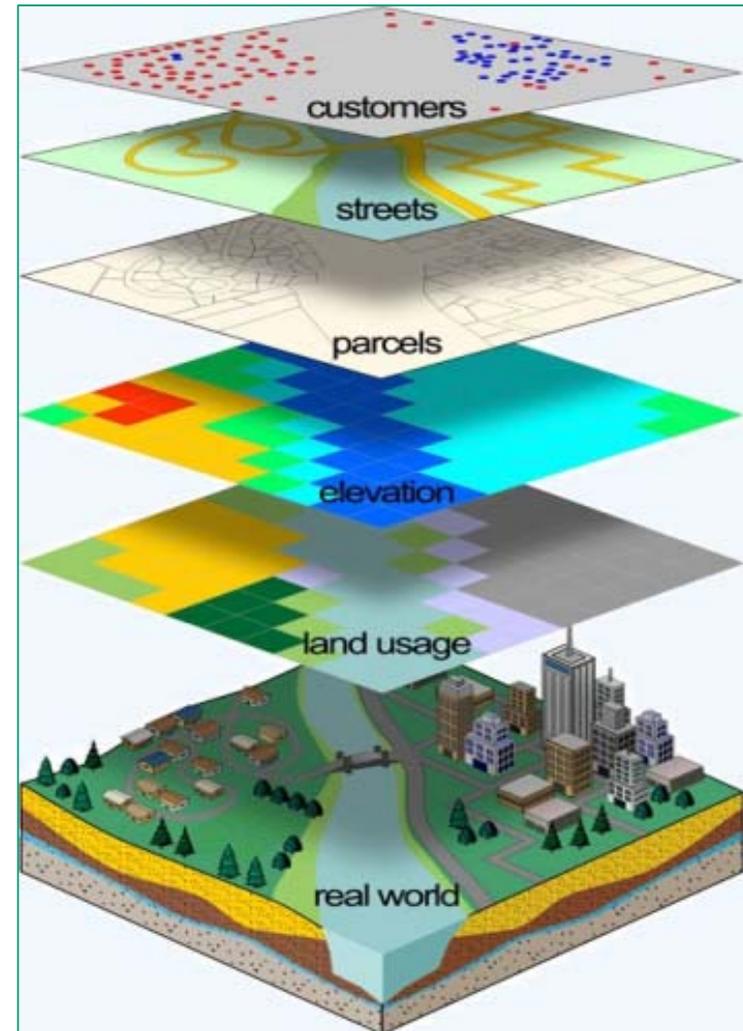
SORTED



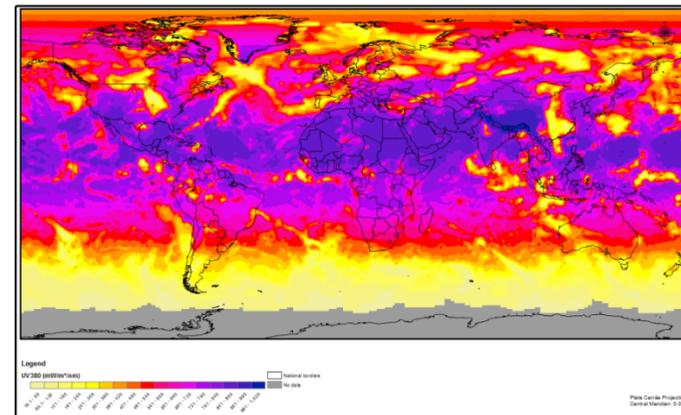
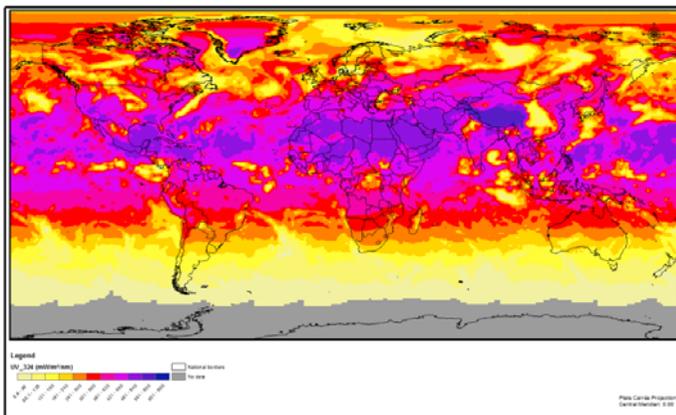
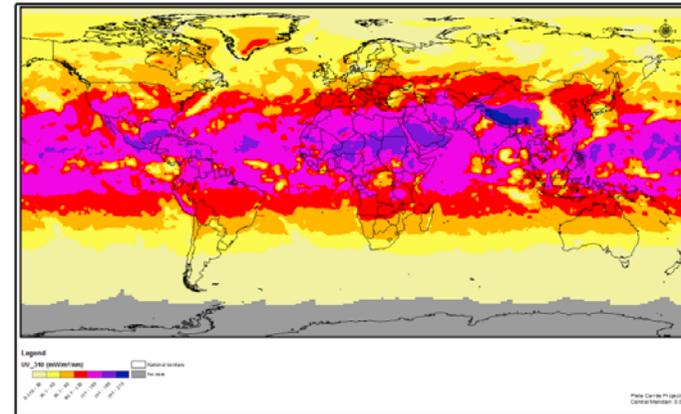
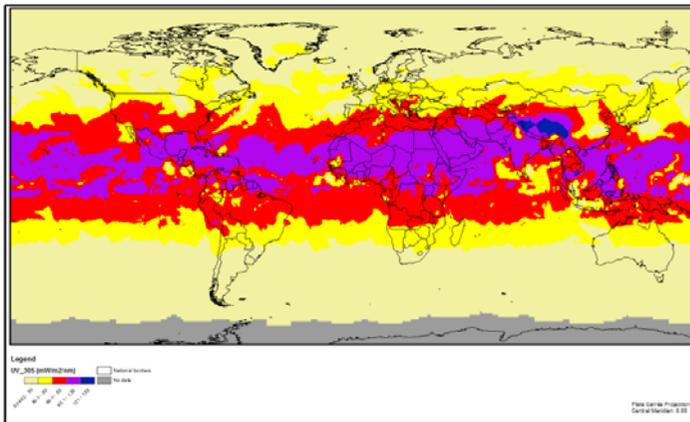
ARRANGED



PRESENTED VISUALLY

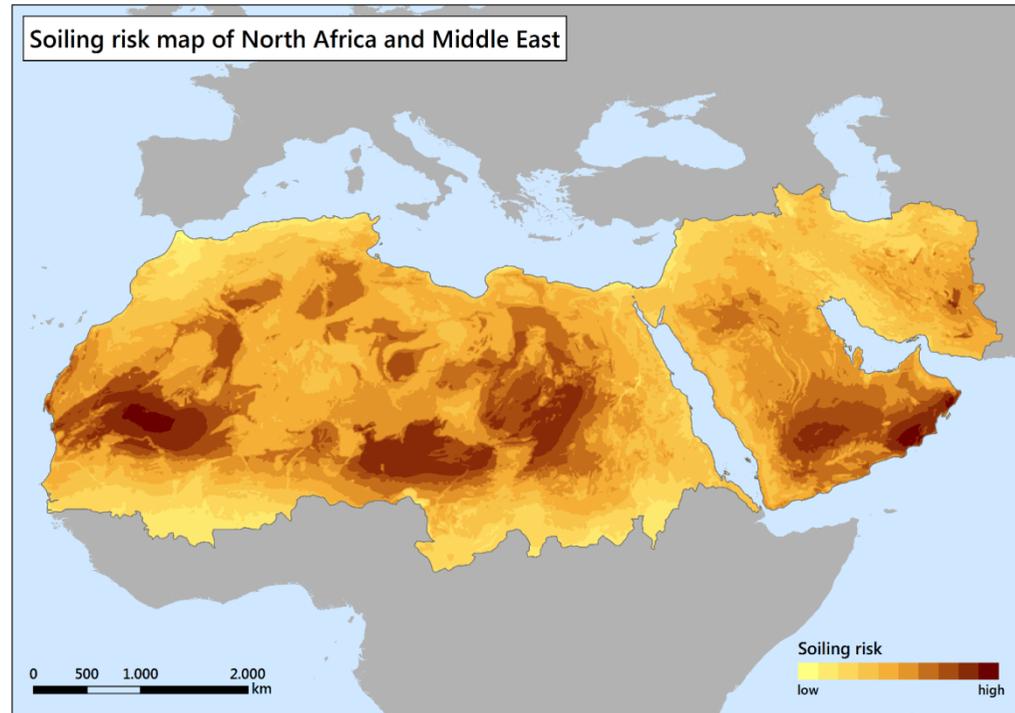
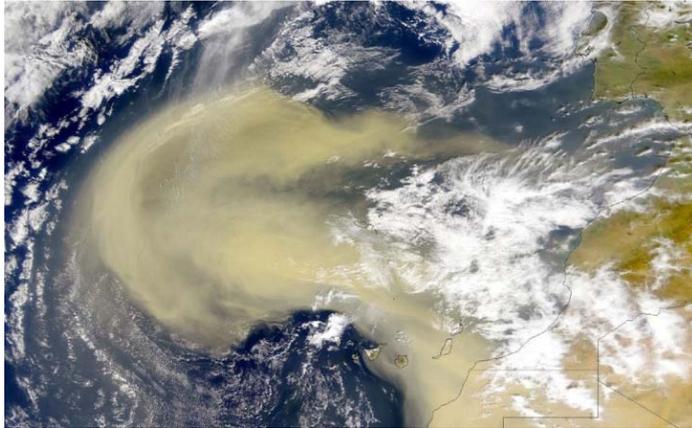


Ortsabhängige Stressklassifikation: UV Strahlung

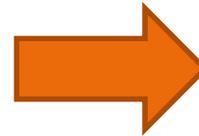
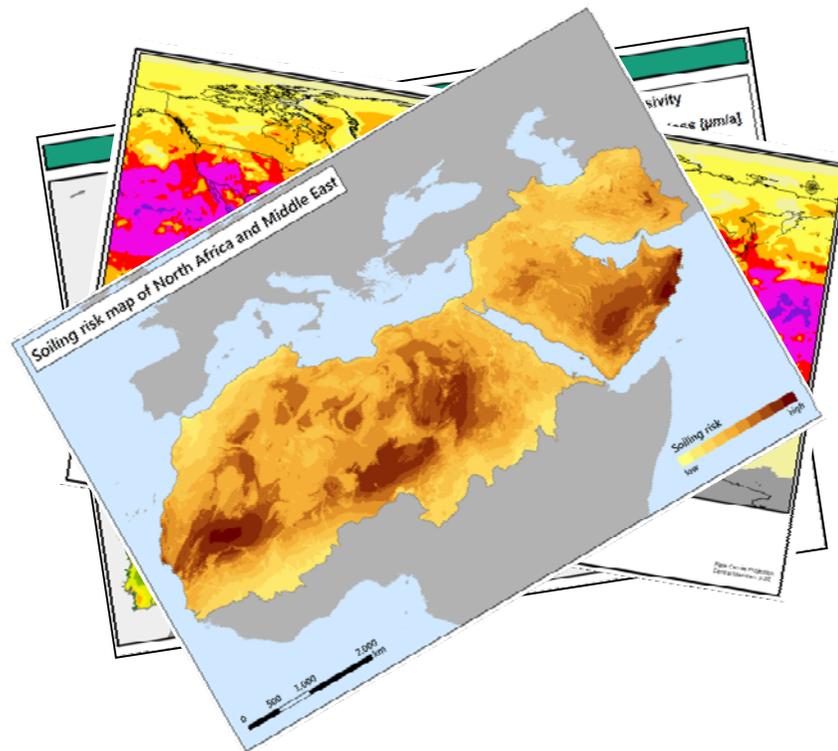


- ❖ Globale Karte der UV Strahlung für verschiedene Wellenlängen am 07/06/2010

Ortsabhängige Stressklassifikation: Staubbelastung



Ausblick: Ortsabhängige Stressklassifikation



Entwicklung eines globalen Belastungs-Klassifikations-Systems

- ❖ Gezielte Anpassung an Materialien für die Solarenergie
- ❖ Vergleich der Indoor- und Outdoor-Alterung
- ❖ Stresszonen-angepasste Indoor-Prüfzyklen
- ❖ Rückschlüsse auf die Lebensdauer der Materialien

Nachhaltige Nutzung der Solarenergie