

Klimawandel – Wasserwandel?

Prof. Dr.-Ing. Dörte Ziegler

Wasserressourcen- und Umweltmanagement

Scientists for Future-Vortragsreihe, 17.06.2020

- Klimawandel - Wasserwandel

Wie verändert der Klimawandel den Wasserhaushalt -
global und in Rheinland-Pfalz am Mittelrhein?

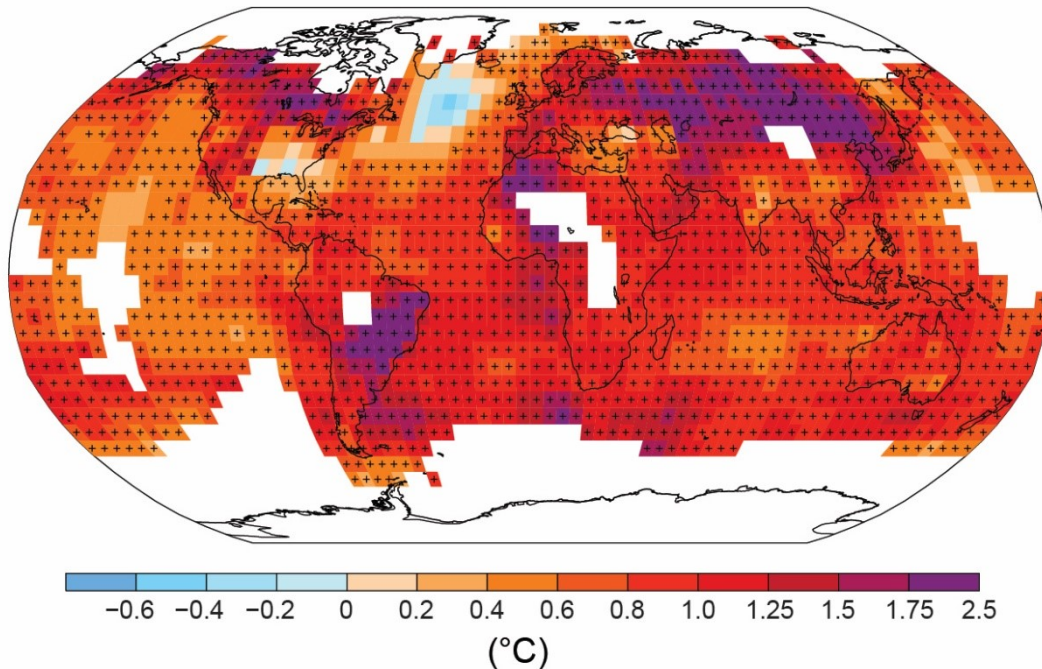
- Anpassung an den „Wasserwandel“

Was kann getan werden für die zukünftige Wasser-“Sicherheit“?

Es wird wärmer

Die Erderwärmung von 1850 bis 2018 betrug weltweit 1 °C.
Über Land beträgt sie bisher mehr als 1,5 °C.
Die Jahre des 21. Jahrhunderts gehören zu den wärmsten seit 1861.

Observed change in surface temperature 1901–2012



1850 – 2018, Temperaturen im Vergleich zur Durchschnittstemperatur.

Hawkins. E. (2018). Warming stripes for 1850-2018 using the WMO annual global temperature dataset.
URL <http://www.climate-lab-book.ac.uk/>

Erderwärmung ist global unterschiedlich stark

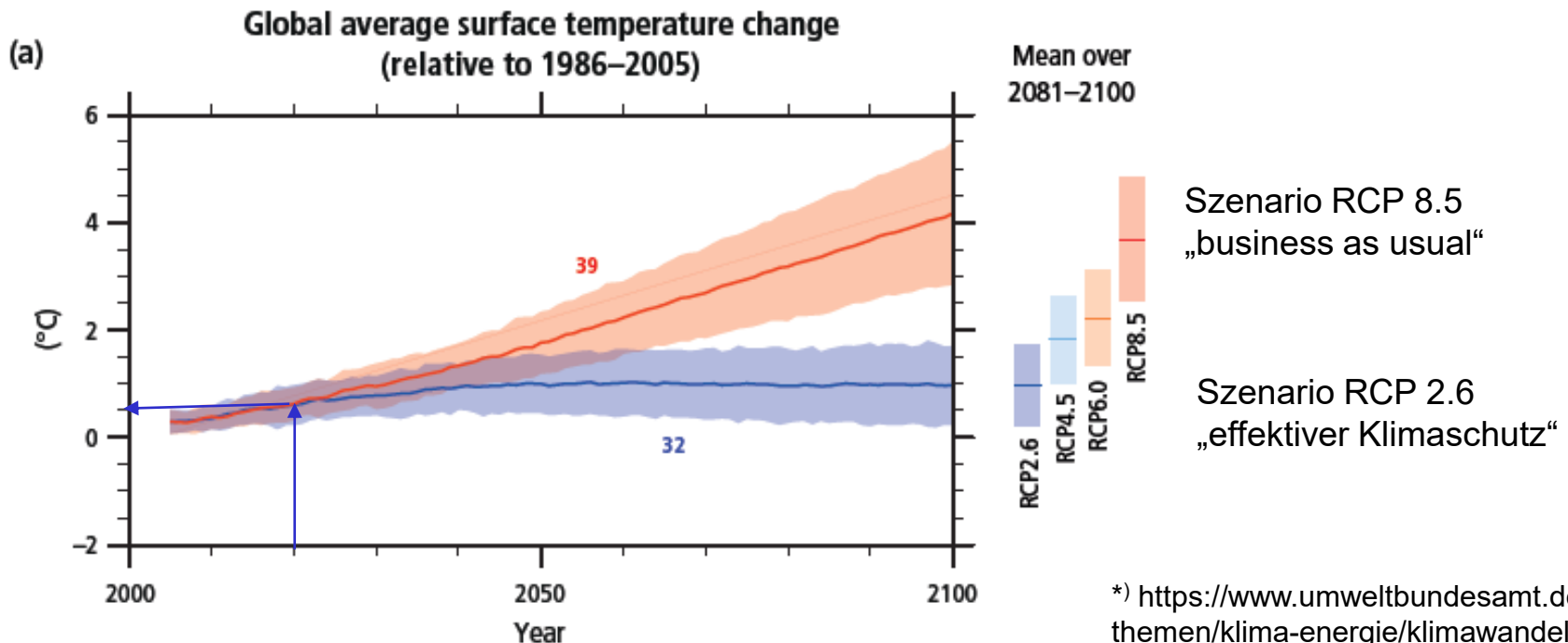
Erderwärmung- Szenarien



Die Erderwärmung wird weiter voranschreiten.

Politisch wurde in Paris (2015) ein Ziel von 1,5°C bzw. deutlich unter 2°C vereinbart.

Es ist jetzt schon erkennbar, dass die Erderwärmung bis 2100 vermutlich deutlich darüber liegen wird. Sie könnte 4 (2,4-6,4) Grad Celsius erreichen*.



IPPC (2014): Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers.

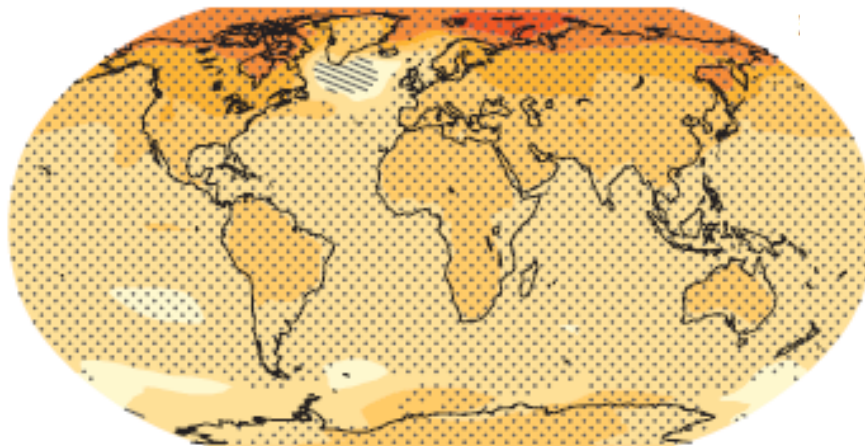
*) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/zu-erwartende-klimaaenderungen-bis-2100>

Erderwärmung- Szenarien

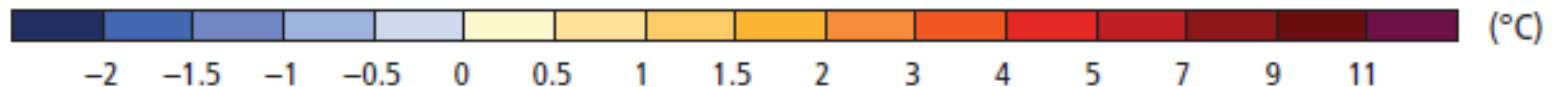
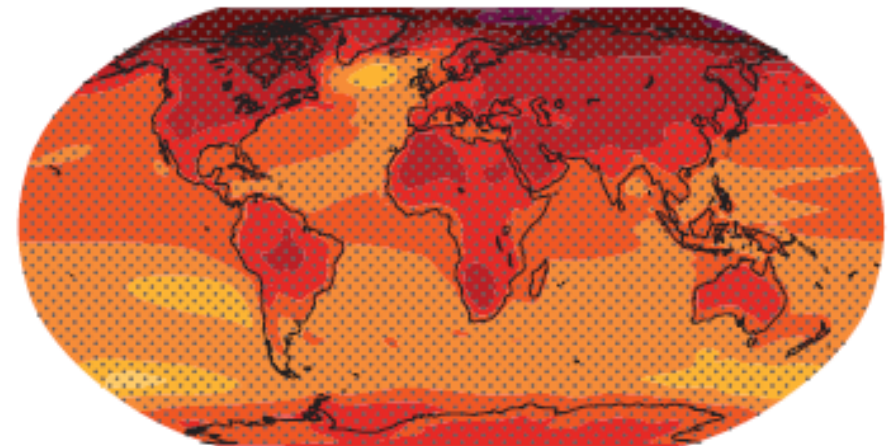
Die Erderwärmung wird sich global unterschiedlich verteilen:
die Polkappen und Landmassen erwärmen sich stärker als die Ozeane.

Veränderung der durchschnittlichen Oberflächentemperatur (1986-2005 bis 2081-2100)

RCP 2.6 „effektiver Klimaschutz“

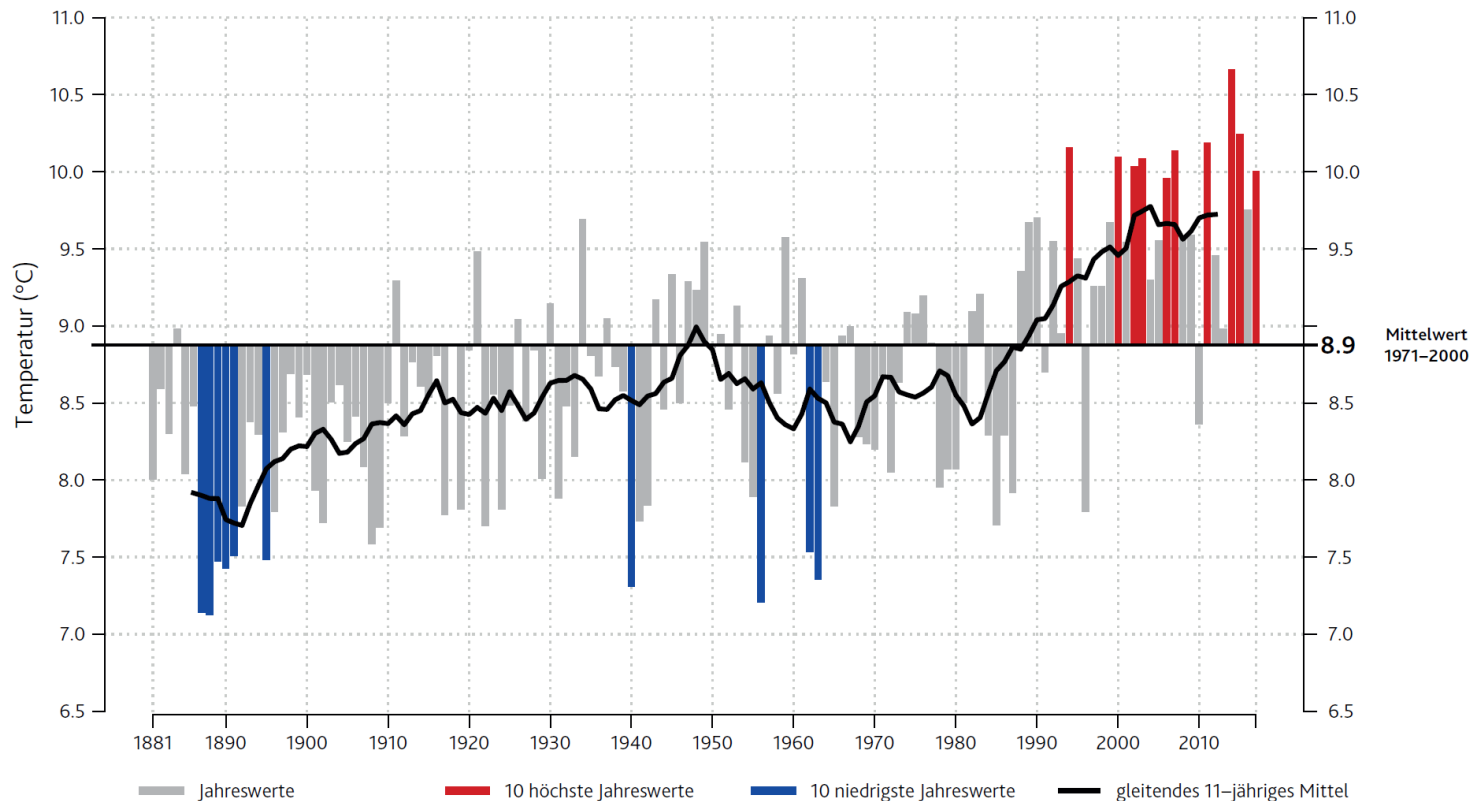


RCP 8.5 „business as usual“



IPPC (2014): Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers.

- Zunahme der mittleren Temperatur um +1,5 °C seit 1881 (bundesweit überdurchschnittlich- RLP eine der am stärksten betroffenen Regionen)
- seit 1994 traten die 10 wärmsten gemessenen Jahre auf

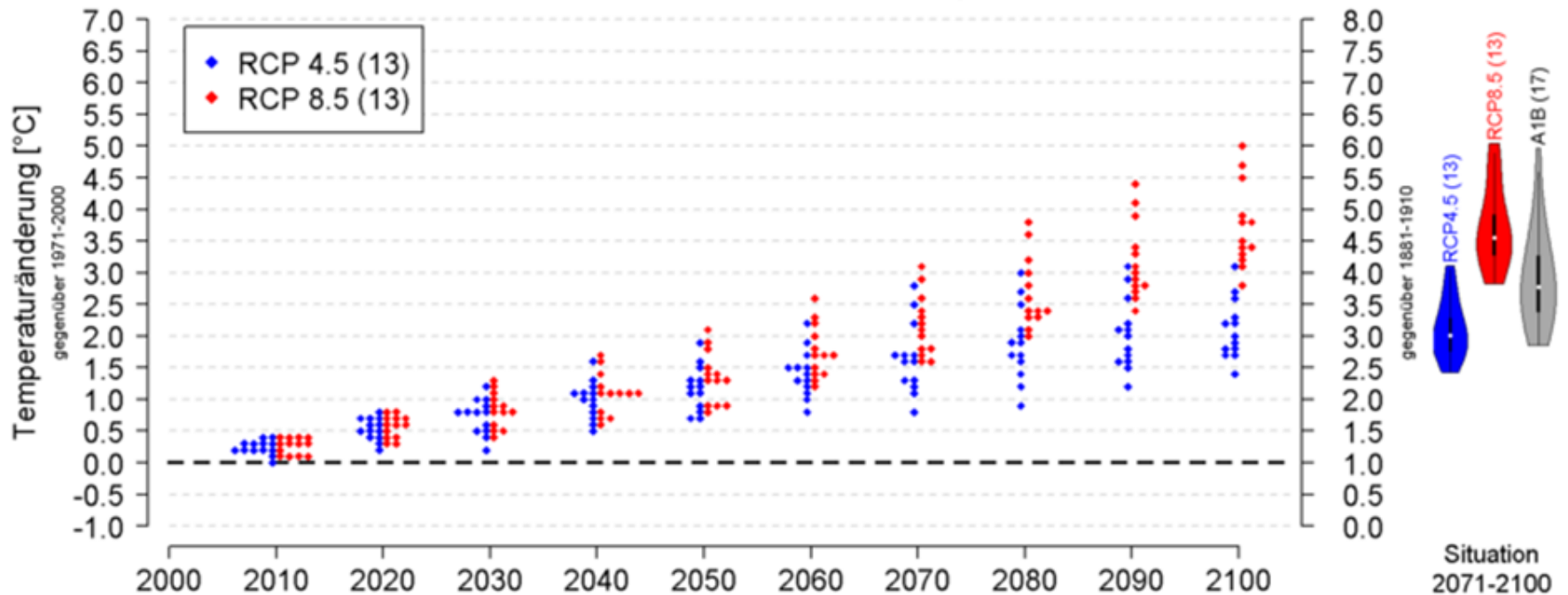


Zeitreihe der Jahresmitteltemperaturen in Rheinland-Pfalz für den Zeitraum 1881-2017.
Daten: Deutscher Wetterdienst.

Klimawandel am Mittelrhein

- Je nach Szenario am **Mittelrhein** weiterer Temperaturanstieg 2071–2100
um + 1,5 bis + 5,0 °C (ggüb. 1971-2000) um +2,3 bis + 6,0 °C (ggüb. 1881-1910)

**Ensemble der Temperaturänderung im Kalenderjahr
für den Naturraum Mittelrheingebiet**



Dargestellt sind 30-jährige Mittel der Abweichung vom langjährigen Mittel (1971 bis 2000). Die 30-jährigen Mittel beziehen sich auf den jeweiligen Zeitraum bis zum Jahr der Darstellung.
Als Ensemble bezeichnet man eine Vielzahl von Klimaprojektionen (die Zahl in Klammern gibt die Anzahl an).

Datenquellen: Deutscher Wetterdienst, CORDEX, ENSEMBLES

© RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (www.kwis-rlp.de)

Der Klimawandel hat Folgen für die Wasserwirtschaft:

- Erwärmung & Ausdehnung des Ozeans
 - Anstieg des Meeresspiegels
- Schmelzen von Eis (Gletscher & Eis an Nordpol, Südpol, Grönland)
 - Verringerung von Gletscherwasser in Flüssen;
Meeresspiegelanstieg
- Veränderte Luftströmungen der Erde
 - Längere stabile Wetterlagen → Dürren
- Erhöhte Verdunstung über Land, veränderte Niederschlagsmuster
 - Erhöhtes Risiko für Hochwasser und für Starkregen
 - Regional verschlechterte Wasserbilanzen

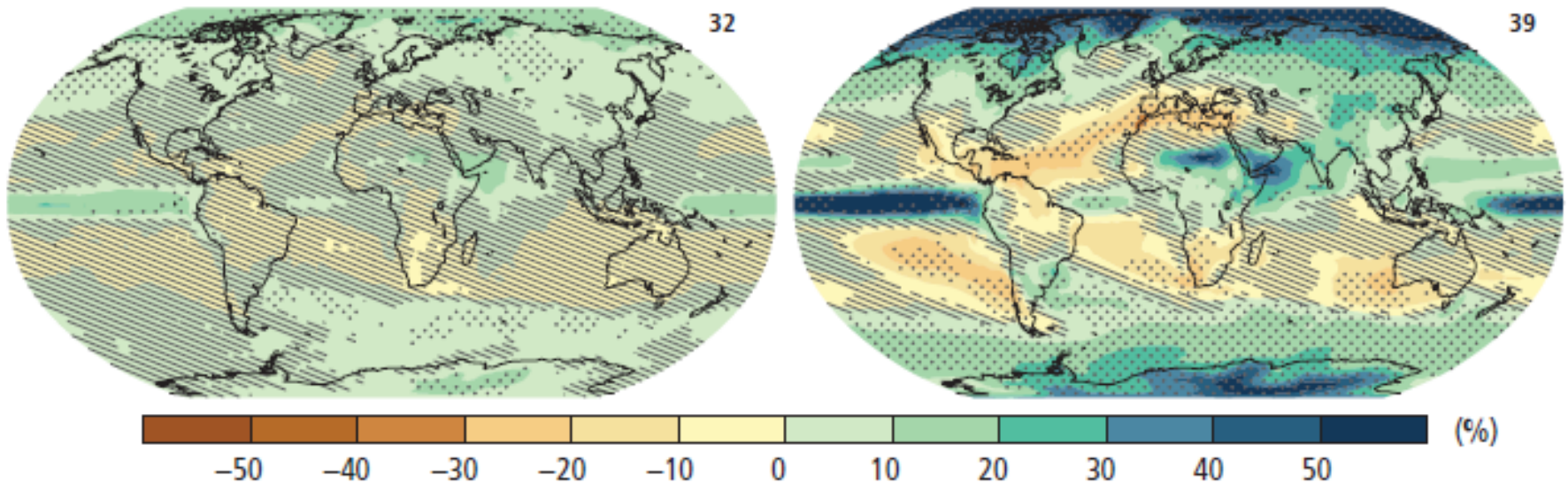
Veränderung der Niederschläge

Beobachtet: Niederschläge stiegen in Europa um 6-8% an:
v.a. im Nordwesten (teilweise bis 40%), umgekehrt wurden Osteuropa und der Mittelmeerraum trockener (EEA 2008, auf UBA Webseite)

Veränderung des durchschnittl. Niederschlags (1986-2005 bis 2081-2100)

RCP 2.6 effektiver Klimaschutz

RCP 8.5 „business as usual“

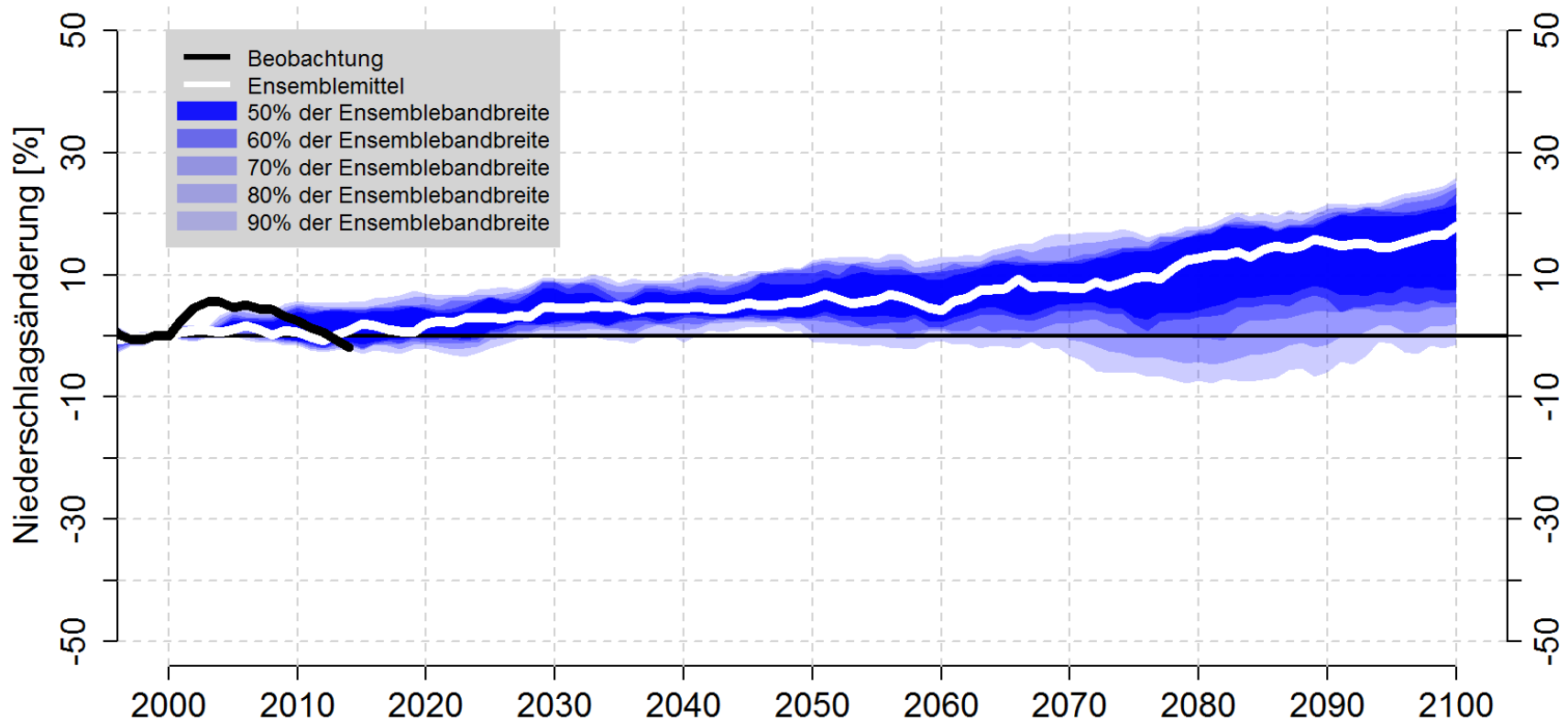


IPPC (2014): Climate Change 2014. Synthesis Report. Summary for Policymakers.

Mehr Trockenheit oder mehr Regen?



Ensemble der Niederschlagsänderung im hydrologischen Winter für Rheinland-Pfalz



Dargestellt sind gleitende 30-jährige Mittel der Abweichung vom langjährigen Mittel (1971 bis 2000). Die gleitenden Mittel beziehen sich auf den jeweiligen Zeitraum bis zum Jahr der Darstellung.
Als Ensemble bezeichnet man eine Vielzahl von Klimaprojektionen (in diesem Fall 15: 15 RCMs, alle SRES-Szenario A1B). Die Bandbreite der Klimaprojektionen wird mit Hilfe von Perzentilen dargestellt.

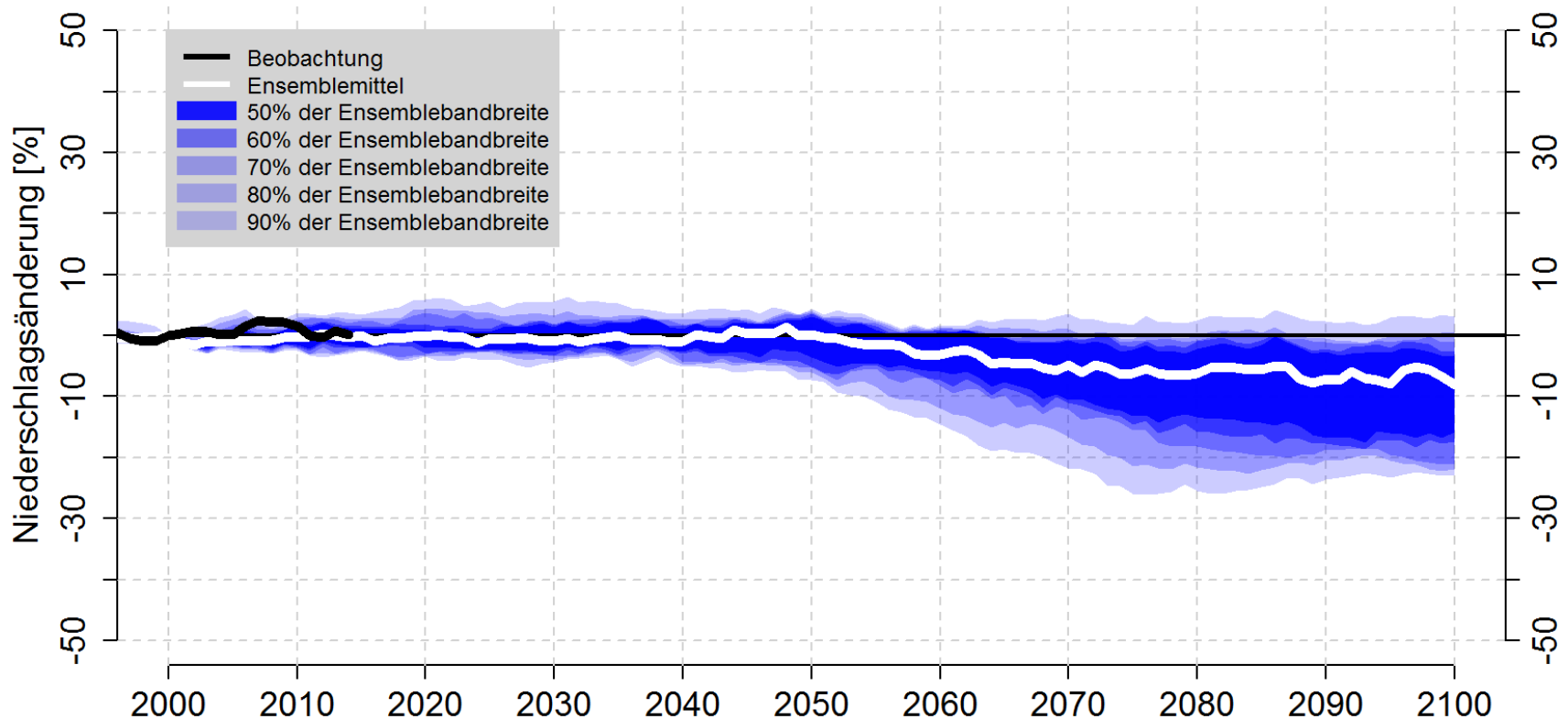
Datenquelle: ENSEMBLES, Deutscher Wetterdienst

© RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (www.kwis-rlp.de)

Mehr Trockenheit oder mehr Regen?



Ensemble der Niederschlagsänderung im hydrologischen Sommer für Rheinland-Pfalz



Dargestellt sind gleitende 30-jährige Mittel der Abweichung vom langjährigen Mittel (1971 bis 2000). Die gleitenden Mittel beziehen sich auf den jeweiligen Zeitraum bis zum Jahr der Darstellung.
Als Ensemble bezeichnet man eine Vielzahl von Klimaprojektionen (in diesem Fall 15: 15 RCMs, alle SRES-Szenario A1B). Die Bandbreite der Klimaprojektionen wird mit Hilfe von Perzentilen dargestellt.

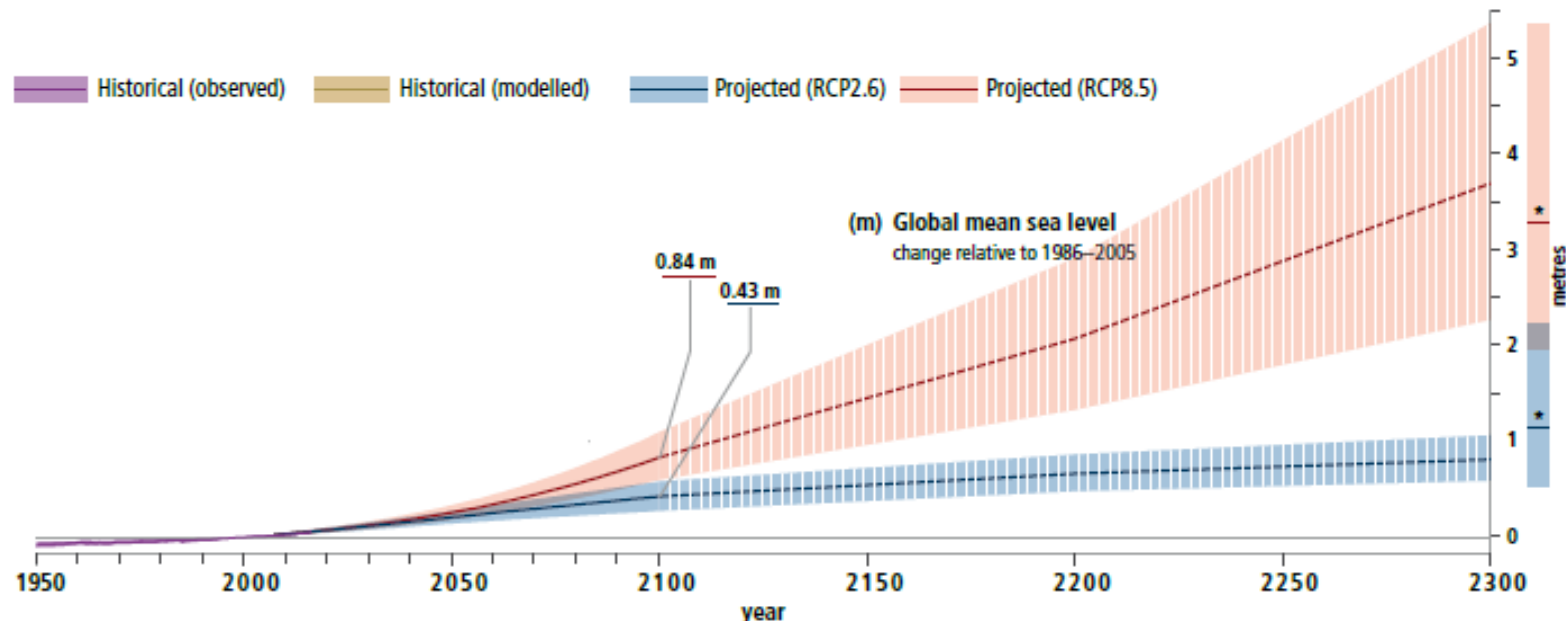
Datenquelle: ENSEMBLES, Deutscher Wetterdienst

© RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (www.kwis-rlp.de)

Anstieg des Meeresspiegels



- Der Meeresspiegel steigt mit ansteigender Geschwindigkeit an (s. Grafik). Bisher beträgt der Anstieg von 1902–2015 **16 cm** (Variation 12–0.21 cm).
- Er wird – je nach Szenario- bis 2100 um ca. **43 bis 84 cm** ansteigen im Vergleich zu 1986-2005, je nach Veränderung der Eisschilde auch mehr
- Der Meeresspiegelanstieg würde sich zunächst auch bei rückgehenden Treibhausgasemissionen fortsetzen.
- Die Meere versauern – mit Folgen wie dem Verlust der Korallenriffe.



IPCC (2019): Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Summary for Policymakers.

Verlust von Eis und Gletschern



- Verluste von Gletschern, Meereis und Eisschilden haben sich beschleunigt
- Von 2007–2016 verdreifachte sich der Verlust antarktischen Eises im Vergleich zu 1997–2006. In Grönland hat sich in der Zeit der Eisverlust verdoppelt.
- Das Eis der Arktis schrumpft um 2,7-7.4% pro Jahr: der Rekord-Tiefstand lag 2012 bei 50% unter dem Mittel von 1979-2000.
- Permafrostböden tauen auf und degradieren (24-70% Flächenrückgang)

Quellen: IPCC 2014; UBA 2013 Webseite:
Beobachteter Klimawandel

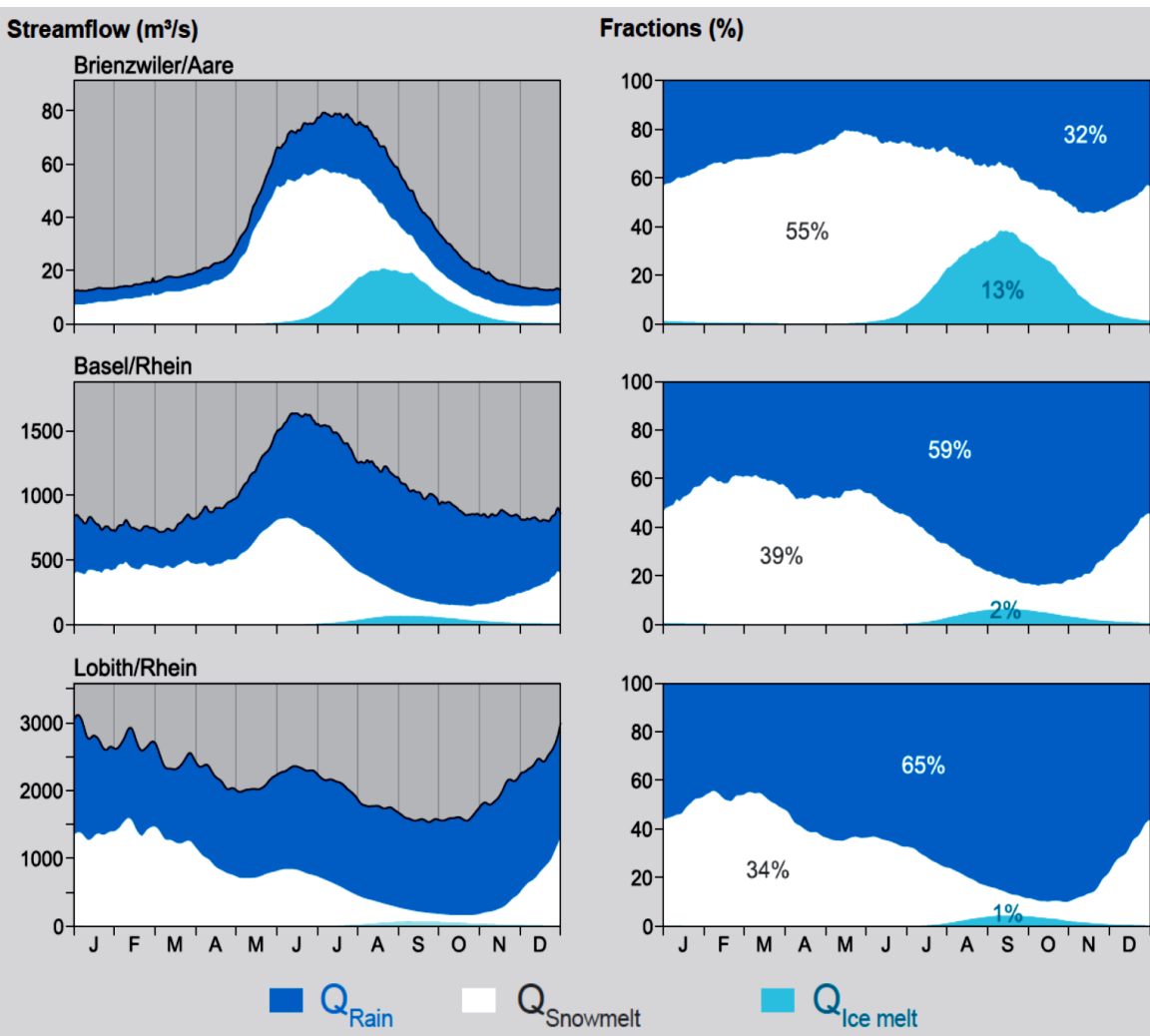


Mer de Glace,
Montenvers, Mont Blanc,
2018.

Das Bild zeigt den Eis-
Verlust in nur 3 Jahren.

Foto Juli 2018, Ziegler

Weniger Wasser in Flüssen



Rhein-Oberlauf im Spätsommer und Herbst von Gletscherwasser beeinflusst (türkis)

→ wird künftig weniger, Abflussspitzen verschieben sich

Andere Weltregionen sind stärker betroffen: z.B. Zentralasien; Pakistan; Peru oder Chile.

Abflusskomponenten des Rheins
(Jahresmittel 1901 – 2006)

Stahl et al. (2016): Abflussanteile aus Schnee- und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Zuflüssen vor dem Hintergrund des Klimawandels

Niedrigwasserereignisse wie 2018 werden am Rhein in Zukunft häufiger auftreten



Der Mäuseturm bei Bingen. Foto: Dr. Klaus Wendling,
Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten, Rheinland-Pfalz

Wärmere Flüsse, erhöhte Abwasseranteile

Weniger Abfluss

- höhere Temperatur
- erhöhte Anteile von Abwasser

2018, Rhein bei Koblenz:
31 Tage mit $T > 25^{\circ}\text{C}$ statt
normalerweise 9 Tagen
 25°C : für Fische kritisch

Klarwasseranteile (gereinigtes Abwasser)
im Mittelrhein bei Niedrigwasser: 10-20%,
in Lahn und Nahe sogar $> 50\%$

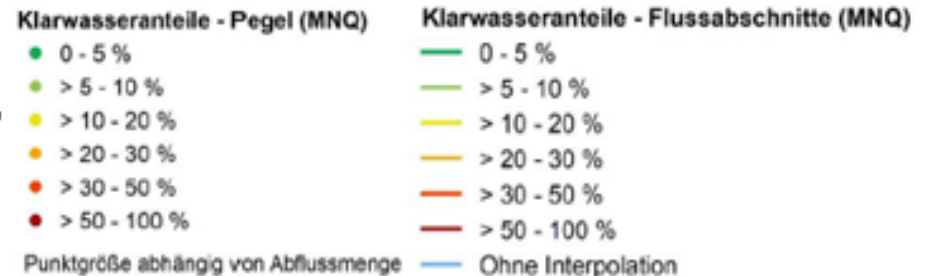
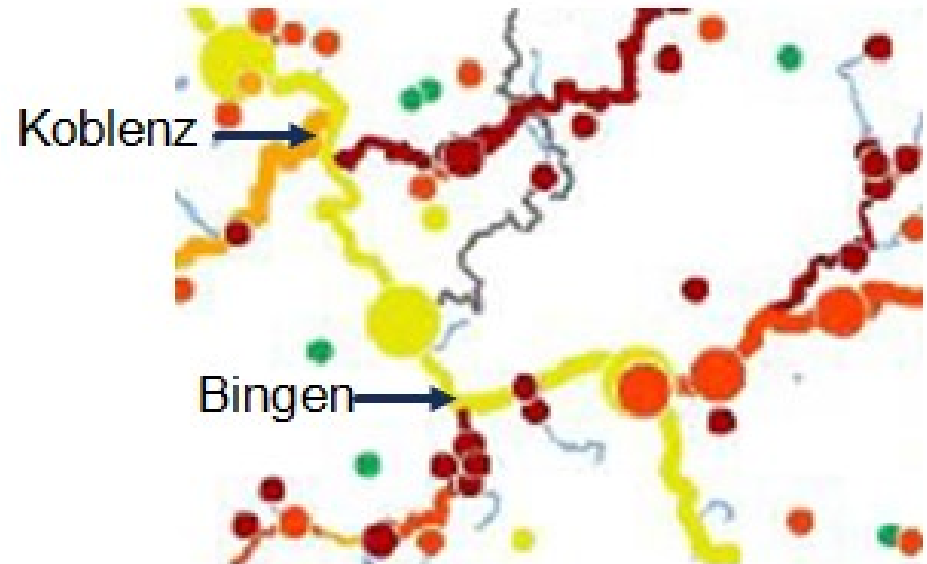


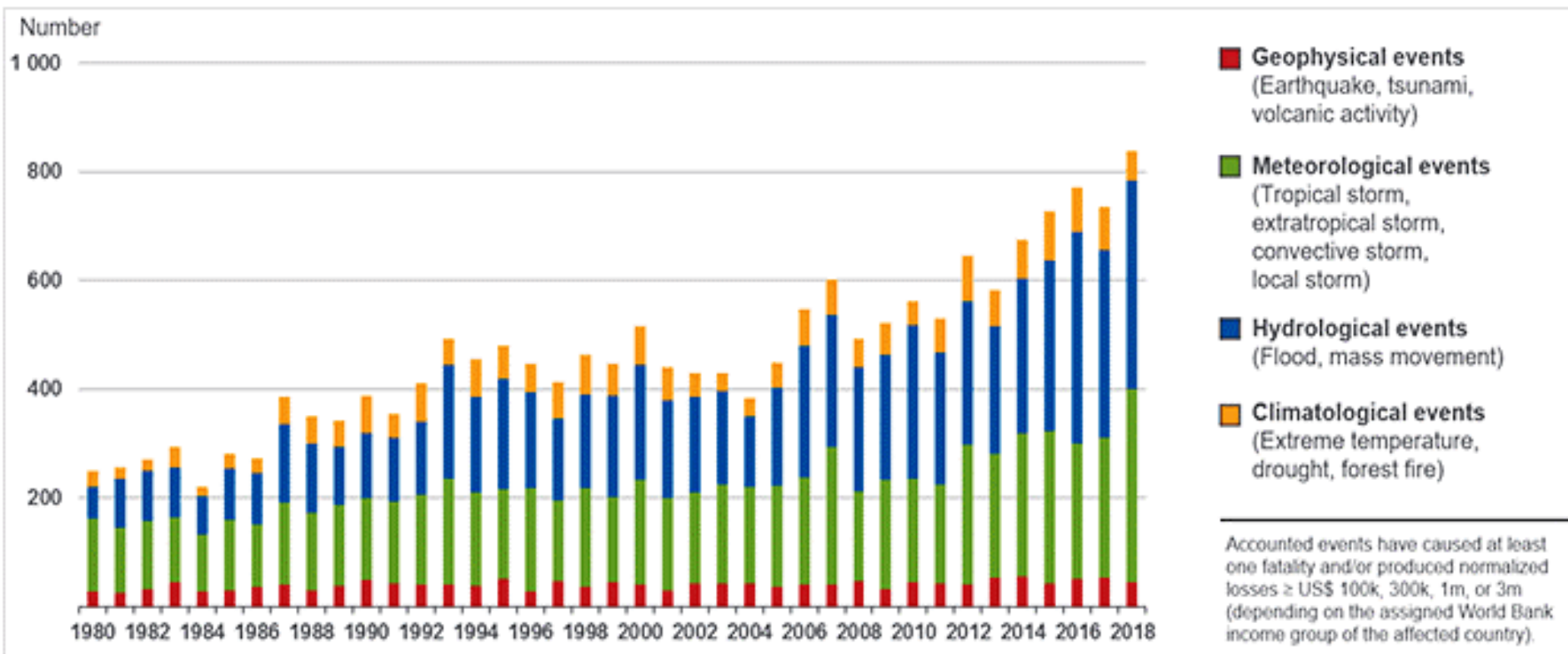
Abb.: Anteile von gereinigtem Abwasser (Klarwasser) bei Niedrigwasser im Mittelrhein und Zuflüssen (UBA Texte 59/ 2018)

Mehr Hochwasser



Global nehmen Hochwasserkatastrophen bereits jetzt zu
– vgl. blauer Balken in der Grafik von 1980 – 2018.

Ursachen sind veränderte Landnutzungen. Der Klimawandel verschärft die Folgen, da Niederschläge heftiger ausfallen.



Insurance Information Institute (2019) Number of world natural catastrophes, 1980 – 2018.

Mehr Hochwasser



Klimawandel →
mehr Niederschläge im Winterhalbjahr;
weniger Niederschläge im Sommerhalbjahr.

Im Winterhalbjahr am Rhein:
Zunahme der kleinen bis mittleren
Hochwasserereignisse:
Stromabwärts des Pegels Kaub;
2021-2050 und 2071-2100

- häufige Hochwasser:
Änderungen von -5% bis +15%
- mittlere Hochwässer: 0 bis +20%
- seltene Hochwässer: -5% bis +25%

IKSR (2015): Klimawandelanpassungsstrategie für die IFGE Rhein.
Internationale Kommission zum Schutz des Rheins, Koblenz.



Warnung am Moselufer.

Bild: Thomas Frey, dpa, Archivbild.



Hochwasser in Koblenz.

Bild: „Hochwasser am Mittelrhein“, 2011 S.T.Hahn.
Bad Breisig, www.umweltschutz-vegetation-agrar.de

Mehr Starkregen

- Klimawandel → höhere Temperaturen
→ erhöhte Wasseraufnahme der Luft
→ Abkühlung aufsteigender Luft
→ lokal sehr hohe Niederschläge
- Starkregenereignisse und Erdbeben nehmen weltweit zu
- Klima-Modellierungen für 2071-2100 im Vergleich zu 1971-2000 zeigen Zunahme von Zahl und Intensität von Starkregenereignissen für Süddeutschland (KLIWA 2019a)
- Starkregenschäden: Kestert, Boppard, Koblenz, St. Goar, etc.

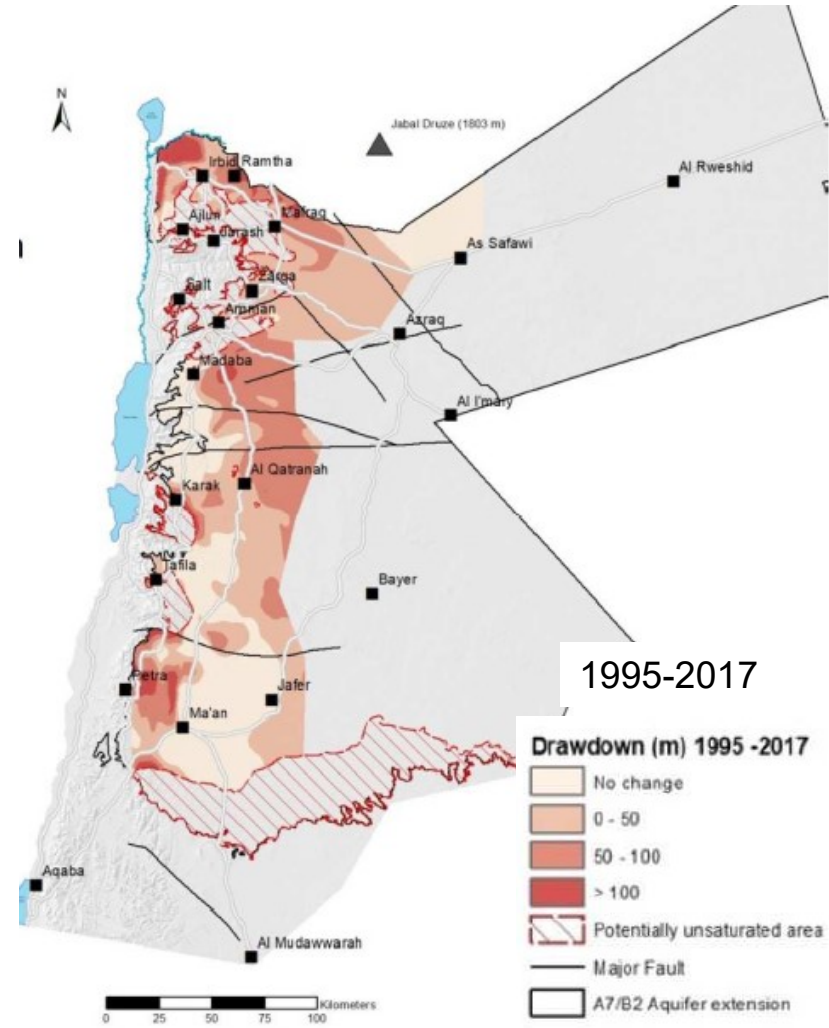


Sturzflut in Fischbach (SOL.de 2018)



Überschwemmung in Boppard (Frey 2019)

- Grundwasser – der größte Teil der weltweiten Süßwasserreserven - wird verstärkt genutzt, v.a. in trockenen Regionen wie dem Mittelmeerraum
- Grundwasserstände sinken z.B. im südlichen Mittelmeergebiet oder in China um 2-3 Meter im Jahr
- Beispiel Jordanien: Abnahme der Grundwasserspiegel in 22 Jahren um teilweise mehr als 100 m!



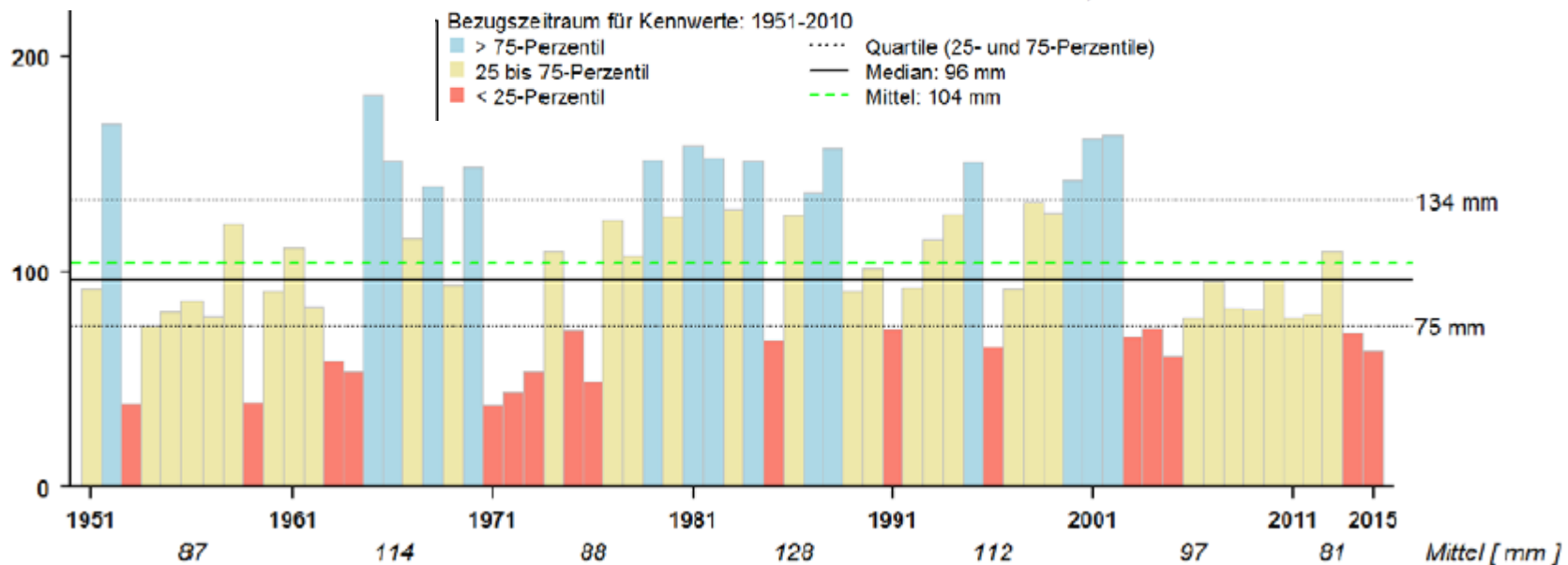
Quelle: MWI Jordan, BGR (2018)

Grundwasser ist Trinkwasser



- Grundwasser und Uferfiltrat stellen in Rheinland-Pfalz mit knapp 73% die wichtigste Trinkwasserressource dar.
- Grundwasserneubildung ist mit 104 mm/a (1951-2015) im Vergleich zu Deutschland (135 mm/a) nicht sehr hoch.
- Grundwasserneubildung kann bis 2100 zurückgehen auf 80 mm.

Grundwasserneubildungssummen, Rheinland-Pfalz, 1951-2015

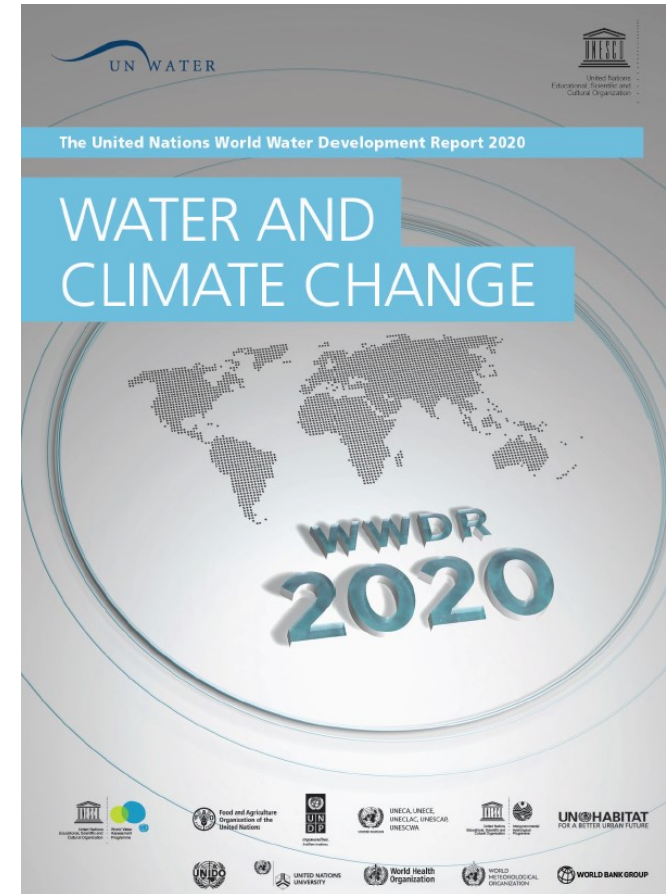


KLIWA (2016): Klimawandel im Süden Deutschlands. Folgen für die Wasserwirtschaft. KLIWA (2017): Heft 21: Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung [...]. RLP (2018): Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung. Anpassungsstrategien zur Daseinsvorsorge.

Globale „Wasserwandel“- Folgen



- Zunahme von Wasserknappheit: bis 2025 wird erwartet, dass 1,8 Milliarden Menschen in Ländern mit absoluter Wasserknappheit leben und 2/3 der Menschheit von Wasser-Stress betroffen sein werden
- Mehr Dürren: weniger Ernteerträge, geringere Nahrungsmittelsicherheit
- Fruchtbare Land geht zunehmend verloren
- Klimaflüchtlinge: die zunehmende Wasserknappheit wird zwischen 24 und 700 Millionen dazu bringen, ihr Land zu verlassen
- Anstieg des Meeresspiegels: Verlust von Küstensiedlungsräumen



UN Water (2018): Water and Climate Change. Facts and figures; UN Water: World Water Development Report 2020

Klimawandel- Wasserwandel!

- Weniger Wasser im Sommer, mehr Dürren
- mehr Niedrigwasser in Gewässern
- Zunahme von Überschwemmungen, Hochwasser und Starkregen
- Risiken für die Grundwasserressourcen
- Beschleunigte Abnahme der Gletscher und Eiskappen
- Anstieg des Meeresspiegels um bis zu 85 cm bis 2100



Global denken- lokal handeln

Klimaschutz und

Anpassung an den Klimawandel

Blau-grüne Infrastruktur & Schwammstädte

Überblick Klimaanpassung und Wasser



Klimawandel-Folgen	Anpassungsmaßnahmen
Starkregen	<ul style="list-style-type: none">• Hochwasservorsorgekonzepte• Renaturierungen von Fließgewässern• Blau-grüne Infrastruktur: Rückhalt von Wasser in Städten• Dachbegrünung fördern• Bauvorsorge stärken
Hochwasser	<ul style="list-style-type: none">• Hochwasservorsorge stärken• Auenflächen und Überschwemmungsgebiete zurückgewinnen• Technischer Hochwasserschutz: Rückhaltebecken, Deiche, Wände
Wasserknappheit	<ul style="list-style-type: none">• Wasserspeicher und Verbundnetze ausbauen• Wassereffizienz steigern, Regenwasser nutzen• Wasserwiederverwendung (Grauwasser, Klarwasser)
Niedrigwasser	<ul style="list-style-type: none">• Fahrrinnen für die Schifffahrt umweltverträglich anpassen• Schiffe und Transportkapazitäten anpassen

Blau-grüne Infrastruktur

Verbindung von hydrologischen Funktionen mit Landschaftsgestaltung und Stadtplanung:

Blau (Wasser) und

Grün (Natur, Plätze, Parks)

schützen vor Überschwemmungen und reduzieren Hitze.



Tanner Springs Park. Foto auf de.ramboll.com, BGI

Schwammstädte

Städte nehmen Wasser in Zeiten von Starkregen und Hochwasser auf und speichern es für Trockenzeiten – z.B. über Mulden-Rigolen-Systeme, Regenwasserzisternen, grüne Dächer



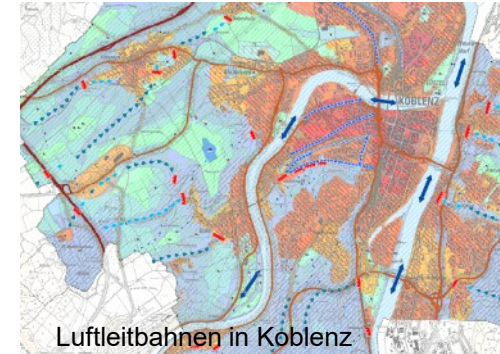
Schwammstadt Berlin, Adlershof.
Berliner Regenwasseragentur.

Klimaanpassungsmaßnahmen – Blau-grüne Infrastrukturen



- Bäume, Dach- und Fassadenbegrünung
 - Verschattung und Kühlung in Wärmeinseln
- durchlässige Flächen, tiefergelegte Flächen
 - weniger Aufheizung, erhöhter Wasserrückhalt
- Renaturierung kleiner Fließgewässer: Zugang zu Wasser, Kühlung, Erholung, gleichzeitig Wasserrückhalt
- Helle statt dunkle Oberflächen, mehr Wasserflächen
 - geringere Erwärmung; Kühlung

Ziel: Reduktion von Hitze, Speichern von Wasser



Luftleitbahnen in Koblenz



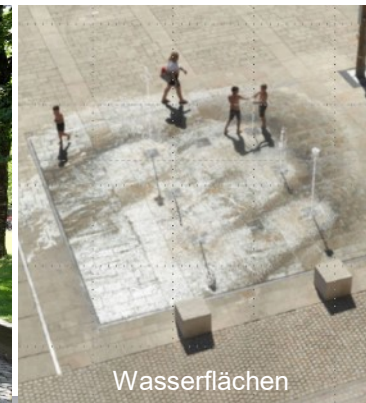
Dachbegrünung Hochschule RMC



Fassadenbegrünung



Bäume als Schattenspender



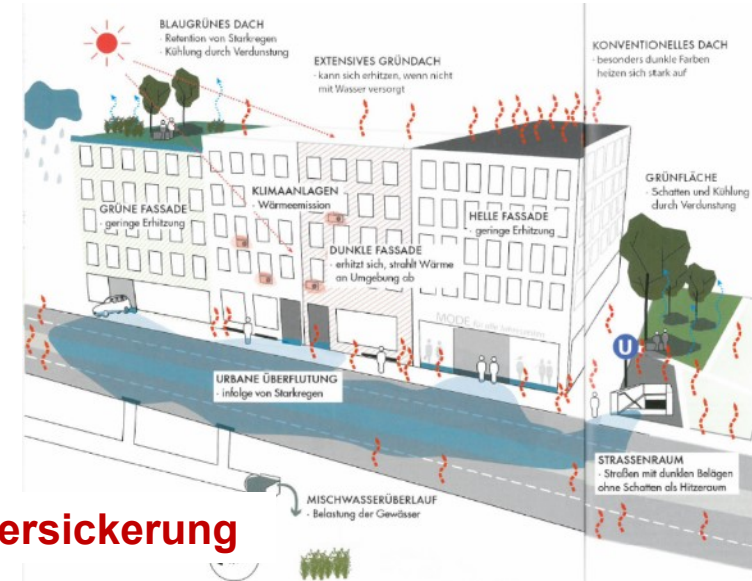
Wasserflächen



Straßenbäume in Koblenz

Klimaanpassungsmaßnahmen – Schwammstadtprinzip

- Dezentrale Versickerung von Regenwasser erhöhen
z.B. Mulden-Rigolen-Systeme, Entsiegelung
- Mehr Rückhalt von Wasser durch Speicherung
(Kanäle, offene Flächen, Dachbegrünung)
- Maßnahmen an Häusern
wie Schwellen, Regenwasserzisternen,...
- Renaturierung von Fließgewässern mit dem Ziel des
Hochwasser- bzw. Starkregenschutzes



Ziel: Förderung von Verdunstung, Rückhaltung und Versickerung



Bachrenaturierung in Brey



Durchlässige Oberflächen / Beläge



Mulden-Rigolen-System

Ziel: Reduktion von Treibhausgasen

Einsatz von Erneuerbare Energien, Verbesserung der Energieeffizienz

- Koblenz: 200 bzw. 117 g CO₂ /m³ für Trink- und Abwasser* pro Person knapp 14 kg CO₂ /a (7,9 t CO₂ /a dt. Durchschnitt 2018)
- Erzeugung von Biogas aus Klärschlamm auf Kläranlagen, Produktion von Strom & Wärme
- Reduktion von Pumpenenergie für Wasserver- und -entsorgung
- Einsatz erneuerbarer Energien wie Photovoltaik, Wasserkraft oder Wind

Schutz von Kohlenstoffsinken Feuchtgebiete und Ozeane schützen: Moore speichern 657 Milliarden Tonnen Kohlenstoff!

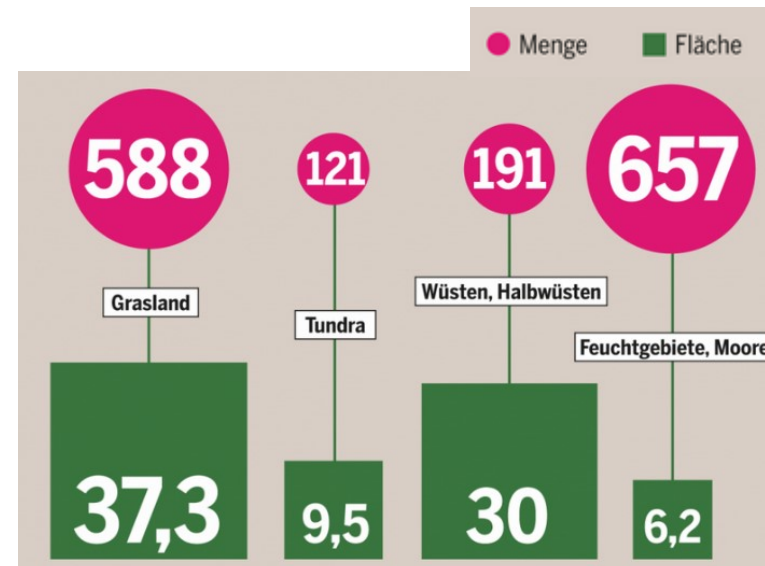
Am wichtigsten sind die Moore: **Gespeicherter Kohlenstoff nach Ökosystemen, in Millionen km² und Milliarden Tonnen.**

Bodenatlas 2014/EC, Heinrich-Böll-Stiftung, Klima- der große Kohlenstoffspeicher. Webseite.

*Annahme: 0,5 kWh/m³ Trinkwasser (evm);
0,29 kWh/m³ Abwasser (ohne Eigenstrom) (Kläwerk Koblenz);
401 g CO₂ pro kWh (2019, Umweltbundesamt)



Blockheizkraftwerk, Klärwerk Koblenz-Wallersheim (Ziegler, 2015)



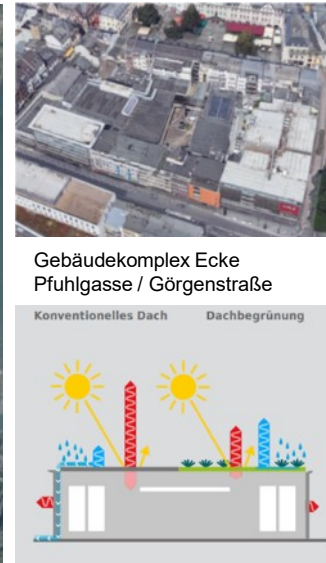
Identifizierung von Potenzialen

Park-/Stellplatzflächen

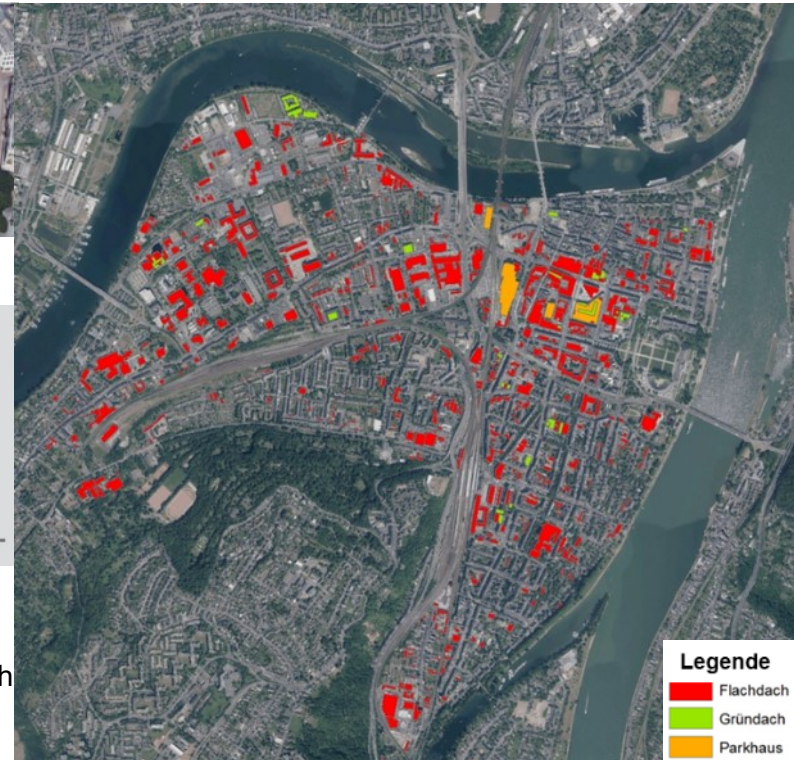
→ Entsiegelungs-/Wasserspeicherungspotenzial

Flachdächer

→ Begrünungs-/Kühlungspotenzial

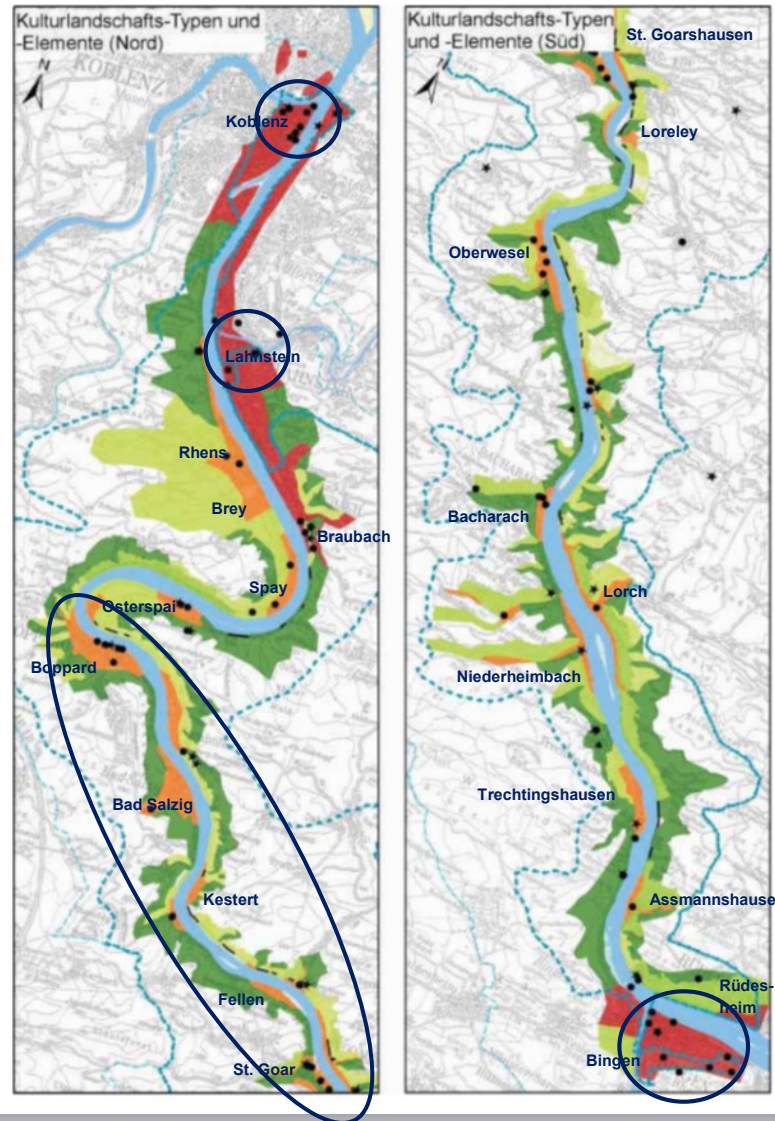


Kühlende Wirkung begrünter Dächer - Verdunstungskälte durch Speicherung von Regenwasser



Klimaanpassung im Mittelrheintal & RLP

- Überprüfen der **Bauleitplanung** zu Klimaanpassung in **Koblenz** und in **Lahnstein**
- Umgang mit versiegelten **Großparkplätzen** - Photovoltaik oder Bäume
- **Innovative Wasserinfrastruktur** für Koblenz-Horchheim
- Klimaanpassungsempfehlungen **Oberes Mittelrheintal** (Boppard, St. Goar, St. Goarshausen)



- Umgang mit **Regen- und Grundwasser** beim neuen Hallenbad **Koblenz**
- **Hochwasservorsorge** Konzepte für **Kommunen in RLP**
- **Fassadenbegrünung** des Löhr-Centers, **Koblenz**
- Betrachtung des **technischen Hochwasserschutzes** an der **Mosel**
- **Renaturierung** von Fließgewässern

Fazit und Ausblick



- Klimawandel ist Wasserwandel:
 - Zunahme von Hochwasser und Starkregen, Zunahme von Dürren
- Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel
- Politischer Wille, engagierte Bürger und Aktivität der öffentlichen Hand sind unerlässlich

Die **Umsetzung von Klima-Anpassung** erfordert Ausdauer,
gleichzeitig Dynamik und Innovation –
dafür **braucht es junge Leute mit guten Ideen!**



Weitere Informationen



IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
Reports 2014; Special reports

www.ipcc.ch

ipcc

UN Water: World Water Development Report, 2020:
Water and Climate Change

www.unwater.org

UN WATER

Umweltbundesamt: Webseiten und Publikationen zum
Klimawandel

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel>

Umwelt 
Bundesamt

KLIWA: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (BW,
BY, RLP, HE)

www.kliwa.de

 **KLIWA**
Klimaveränderung
und Wasserwirtschaft

Klimaanpassungszentrum Rheinland-Pfalz

www.kwis-rlp.de

 RHEINLAND-PFALZ
KOMPETENZZENTRUM
FÜR KLIMAWANDELFOLGEN

