Auswirkungen des Klimawandels für unsere Wasser-versorgung – Handlungsoptionen für die Zukunft

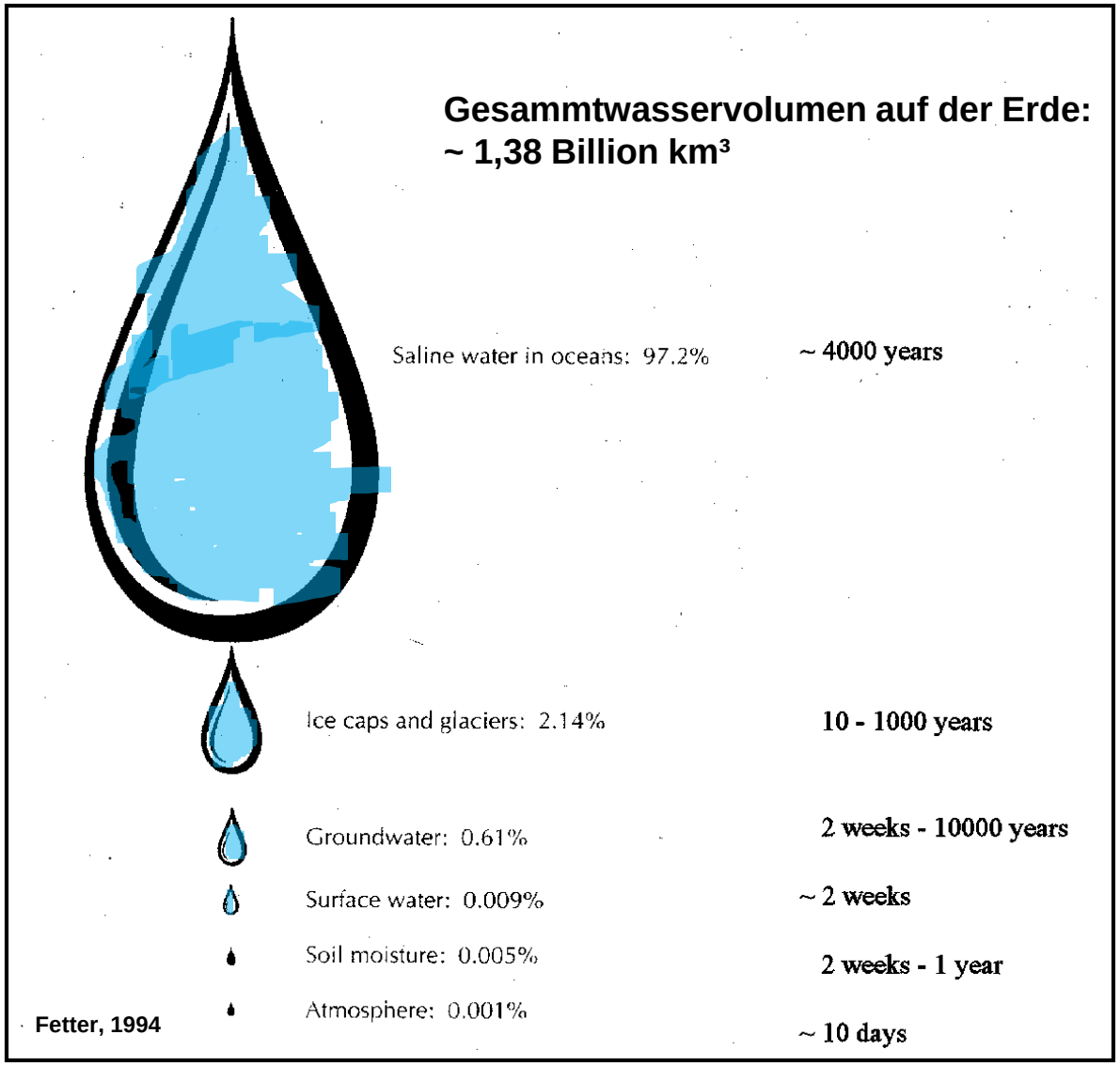
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Christoph Schüth, Technische Universität Darmstadt

Globale Wasserressourcen

Fakten

Seit Ende des 19th Jahrhunderts ist der Meeresspiegel durch globale Erwärmung und das Schmelzen von Gletschern und polaren Eiskappen um etwa 20 cm gestigen



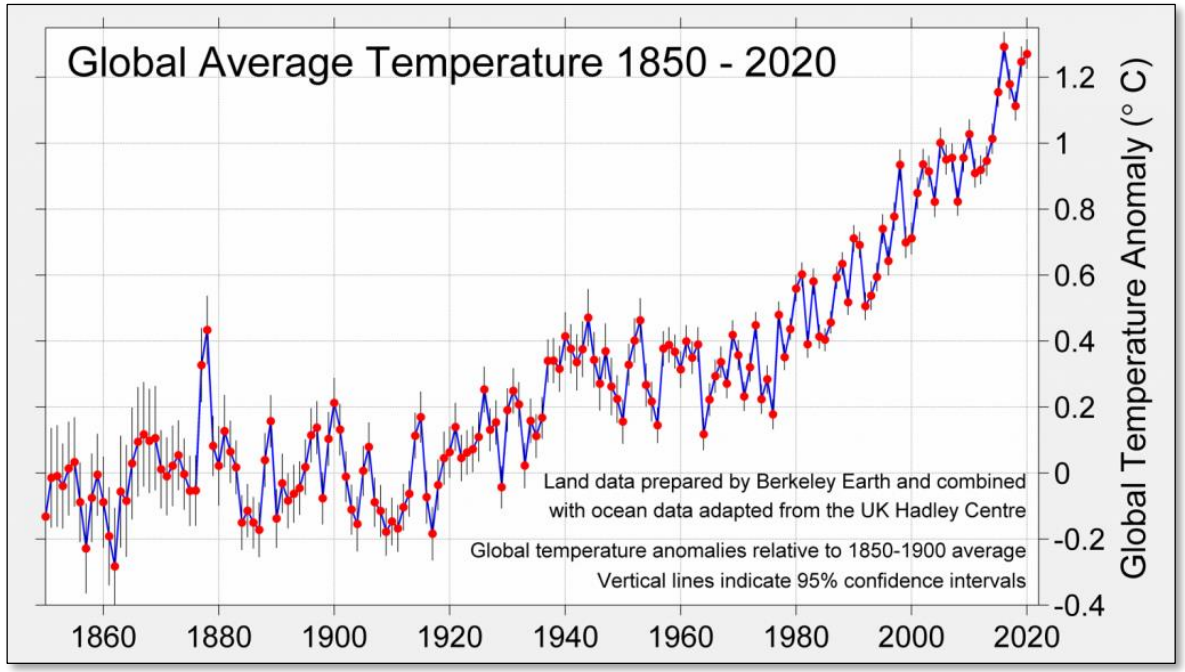
Globale Wasserressourcen

Pasterzenzunge
Großglockner

Globale Wasserressourcen

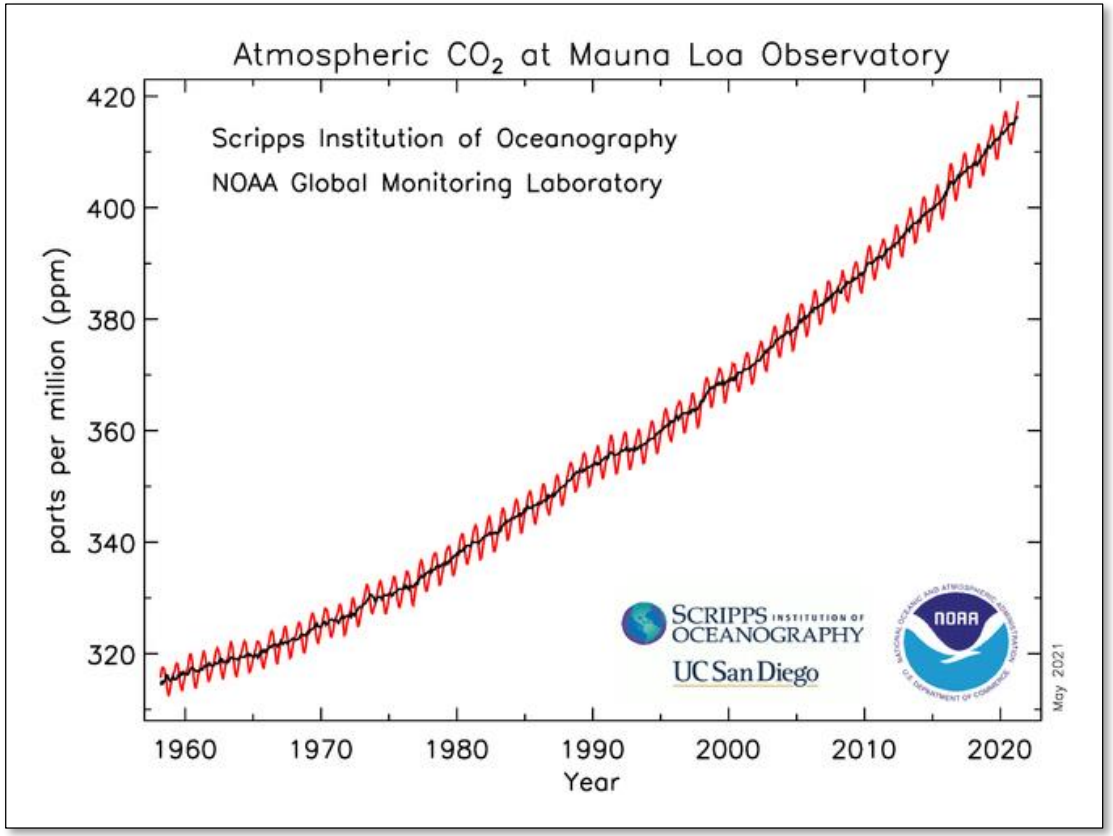
Rhonegletscher

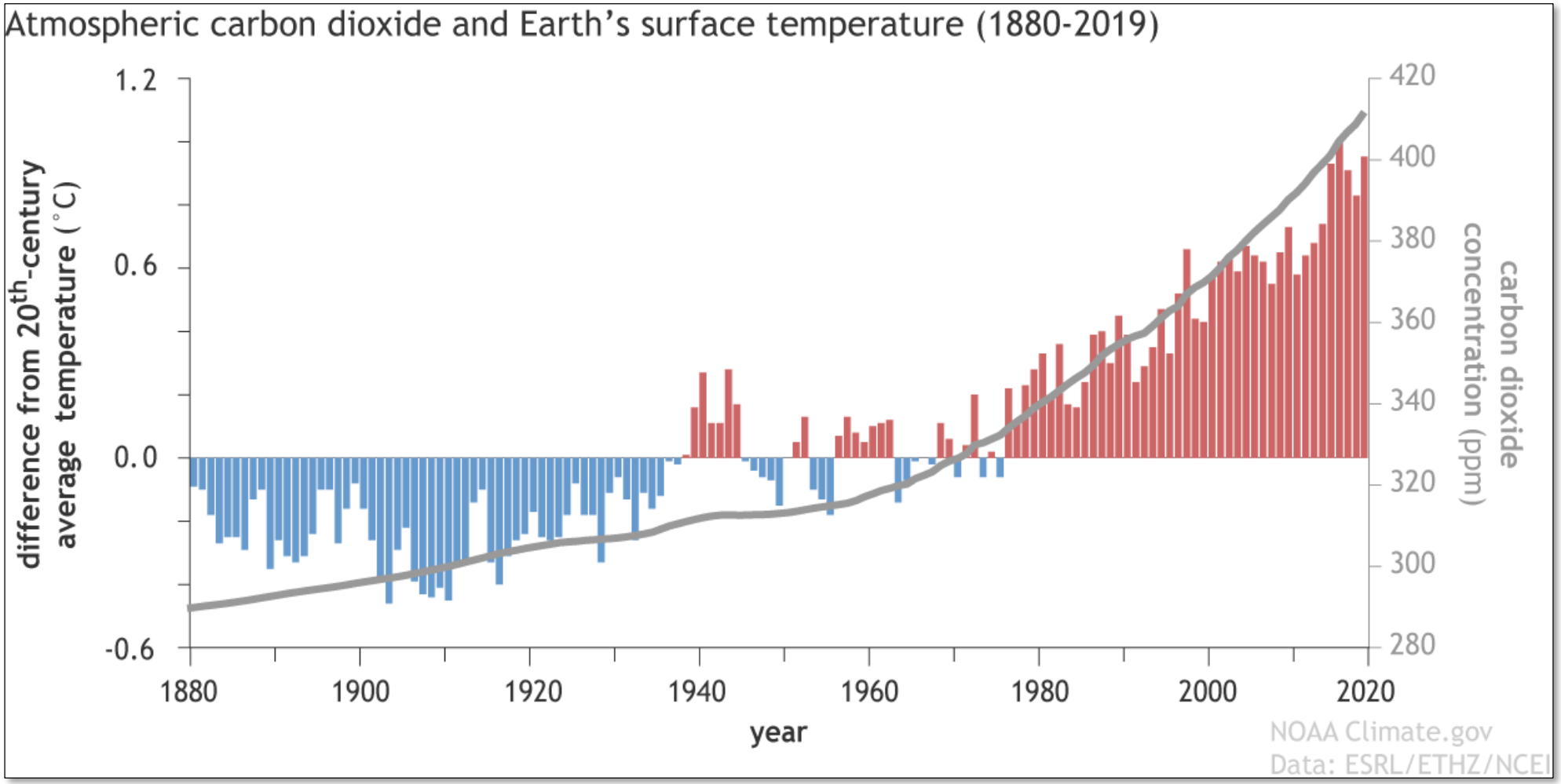
Klimawandel und globale Wasserressourcen



Im Vergleich zum Durchschnitt zwischen 1850 and 1900 (Referenzperiode) ist die globale Durschnittstemperatur um ~1.2 °C angestiegen (berkeleyearth.org).

Seit den 1960er Jahren sind die CO_2 Konzentrationen in der Atmosphäre von ~320 ppm auf ~415 ppm angestiegen. Die Halbjahresschwankungen resultieren aus geringerer CO_2 Fixierung durch Pflanzenwachstum im Winter im Vergleich zum Sommer auf der Nordhalbkugel. Im Sommer auf der Südhalbkugel kann das nicht ausgeglichen werden.



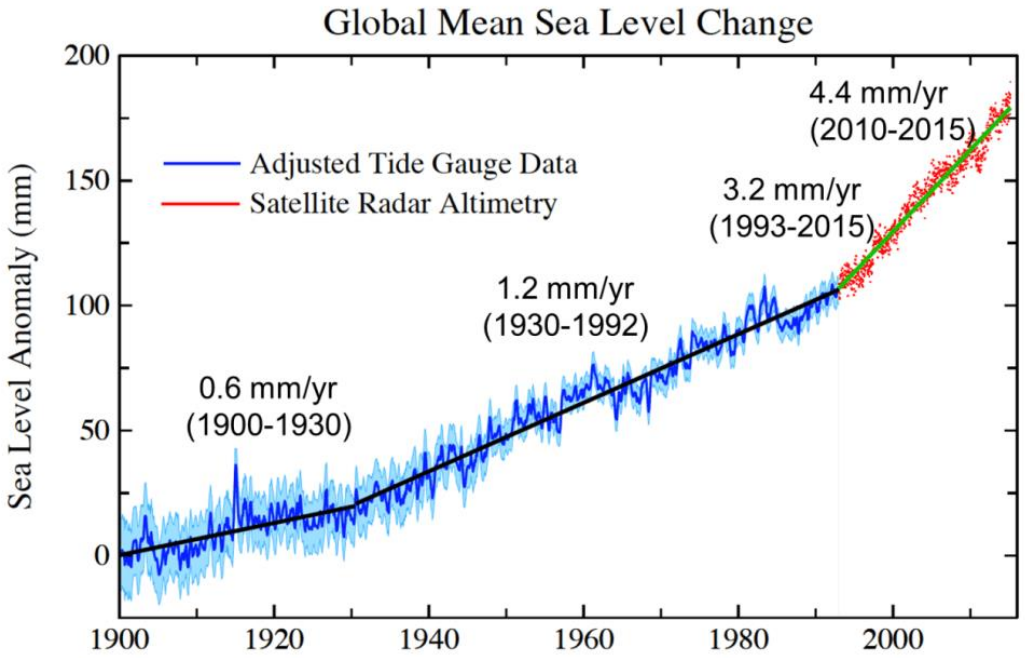

Atmospheric carbon dioxide and Earth's surface temperature (1880-2019)
difference from 20th-century average temperature (°C)
1.2
0.6
0.0
-0.6
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000
2020
year
carbon dioxide concentration (ppm)
420
400
380
360
340
320
300
280
NOAA Climate.gov
Data: ESRL/ETHZ/NCEI

Meeresspiegelanstieg

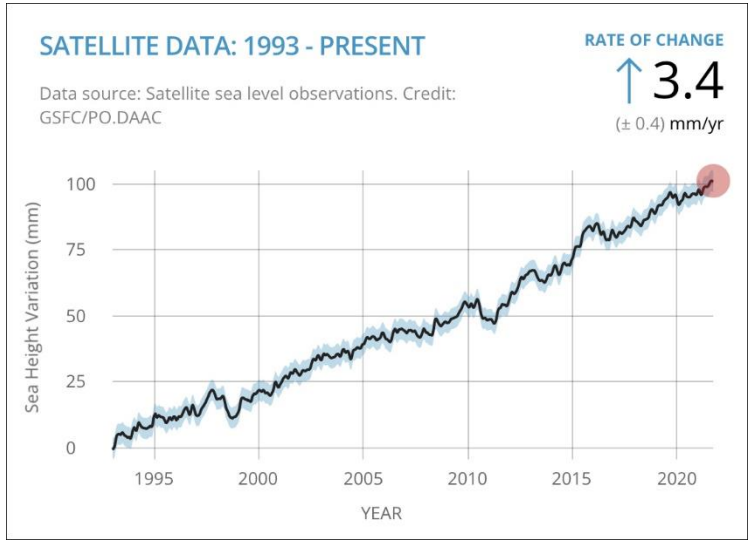
Meeresspiegelanstieg seit 1900 etwa 20 cm…
Anstieg beschleunigte sich von etwa 0.6 mm/Jahr zu etwa 4 mm/Jahr.

Zwei Gründe →

- Abschmelzen von Eis
- Thermische Expansion des Wassers



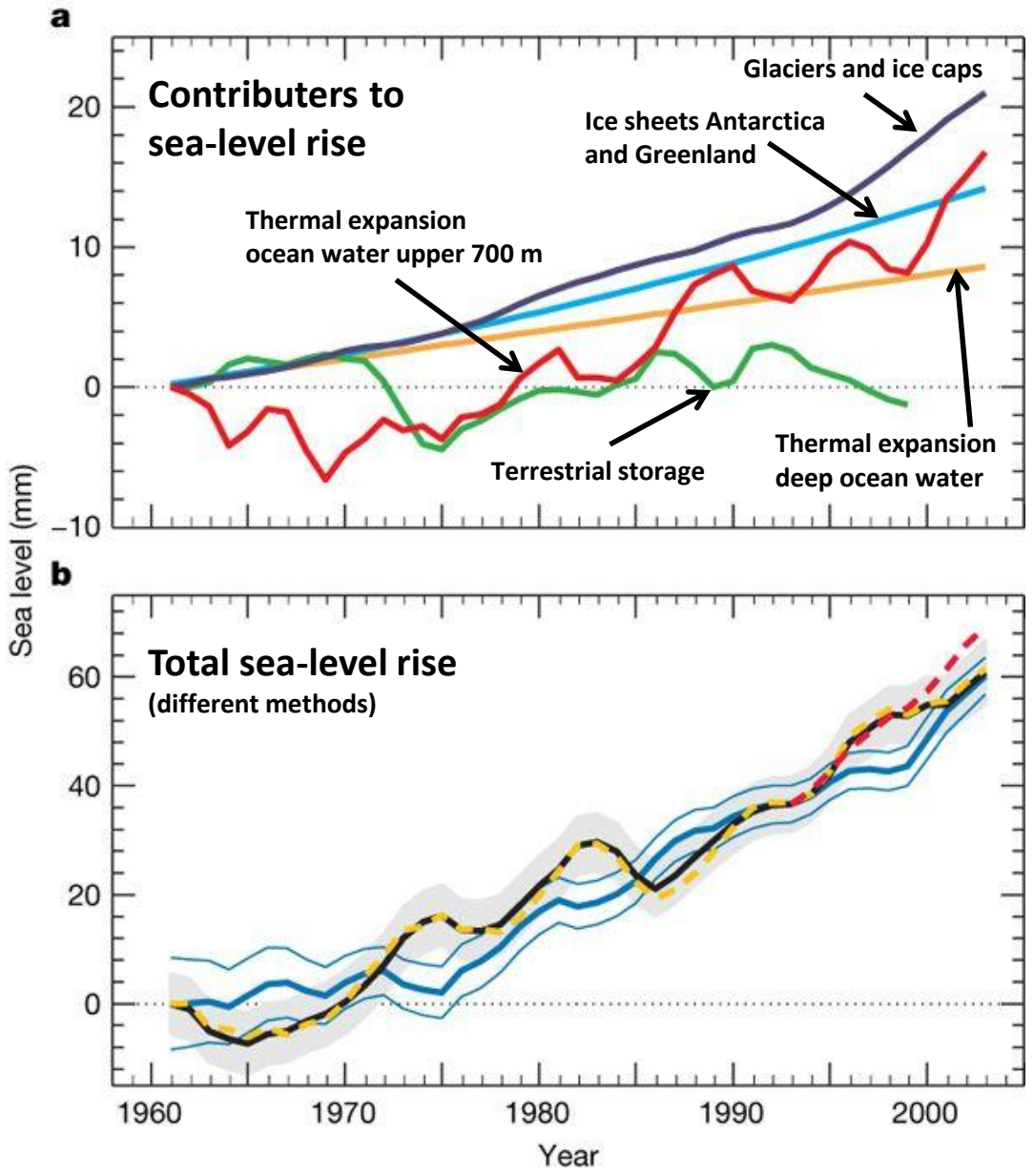
Hay et al. (2015): Nature 215 (7335)



NASA (https://sealevel.nasa.gov/)

Meeresspiegelanstieg

Beitrag der thermischen Expansion des Wassers zum Meeresspiegelanstieg beträgt etwa 40% !

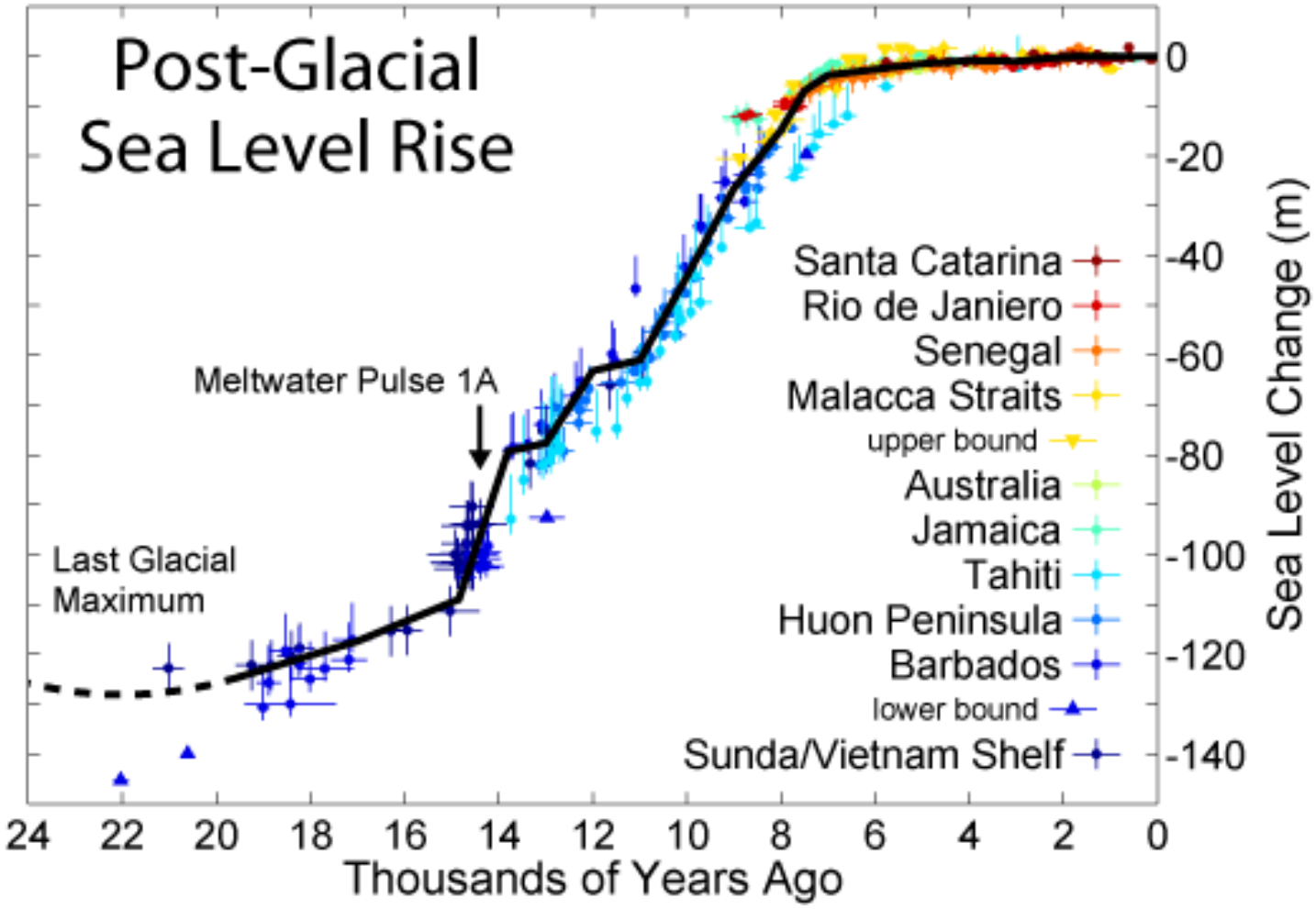


Domingues et al. (2008): Nature 453, 1090-1093

Meeresspiegelanstieg

Seit dem letzten glazialen Maximum vor etwa 20.000 Jahren ist der Meeresspiegel um ca. 120 Meter gestiegen.

Anstiegsraten waren in einigen Perioden deutlich höher als heute (einige cm/Jahr)….



Fleming et al. 1998,
Fleming 2000, & Milne et al. 2005

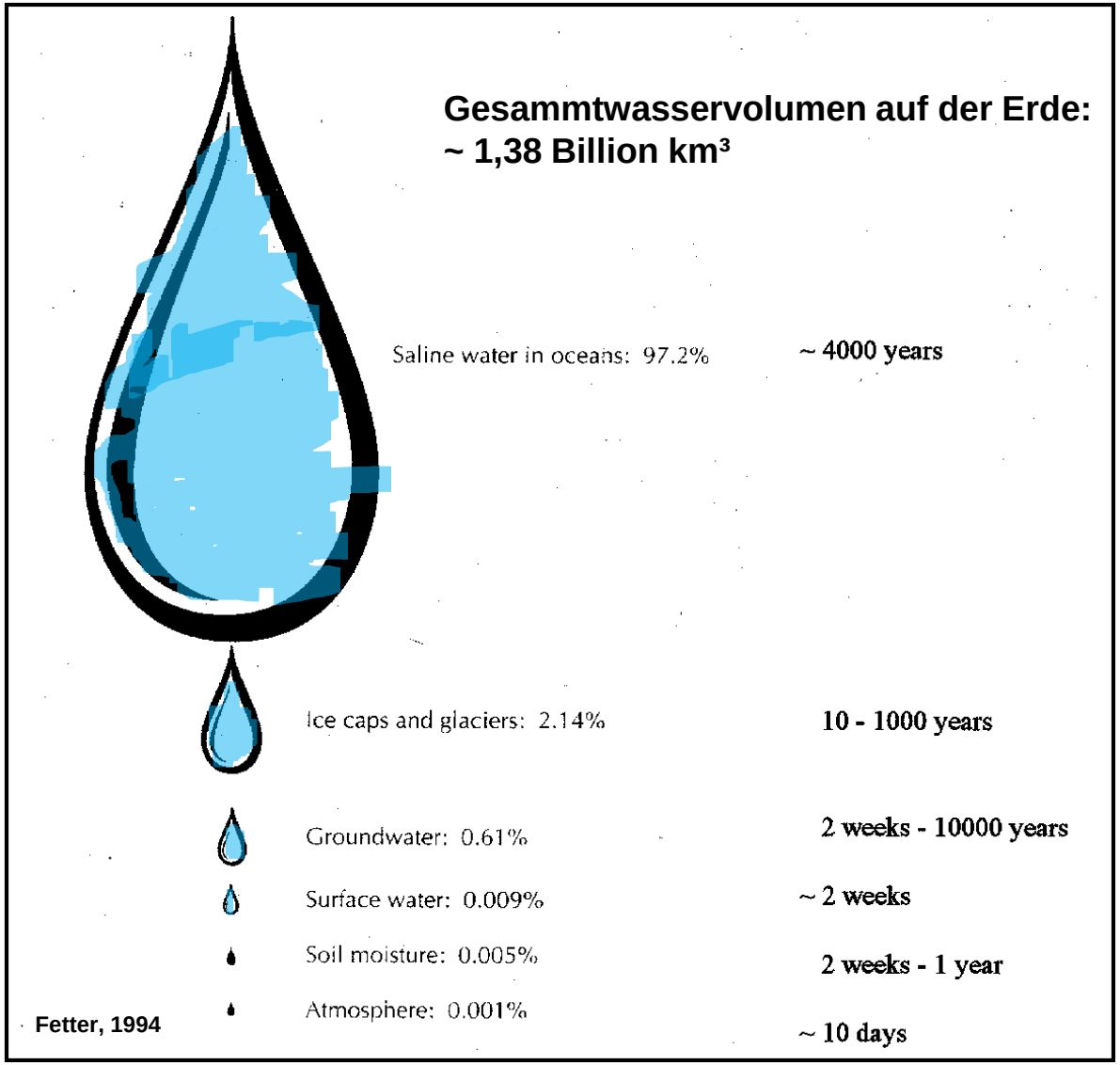
Globale Wasserressourcen

Fakten

Seit Ende des 19th Jahrhunderts ist der Meeresspiegel durch globale Erwärmung und das Schmelzen von Gletschern und polaren Eiskappen um etwa 20 cm gestigen

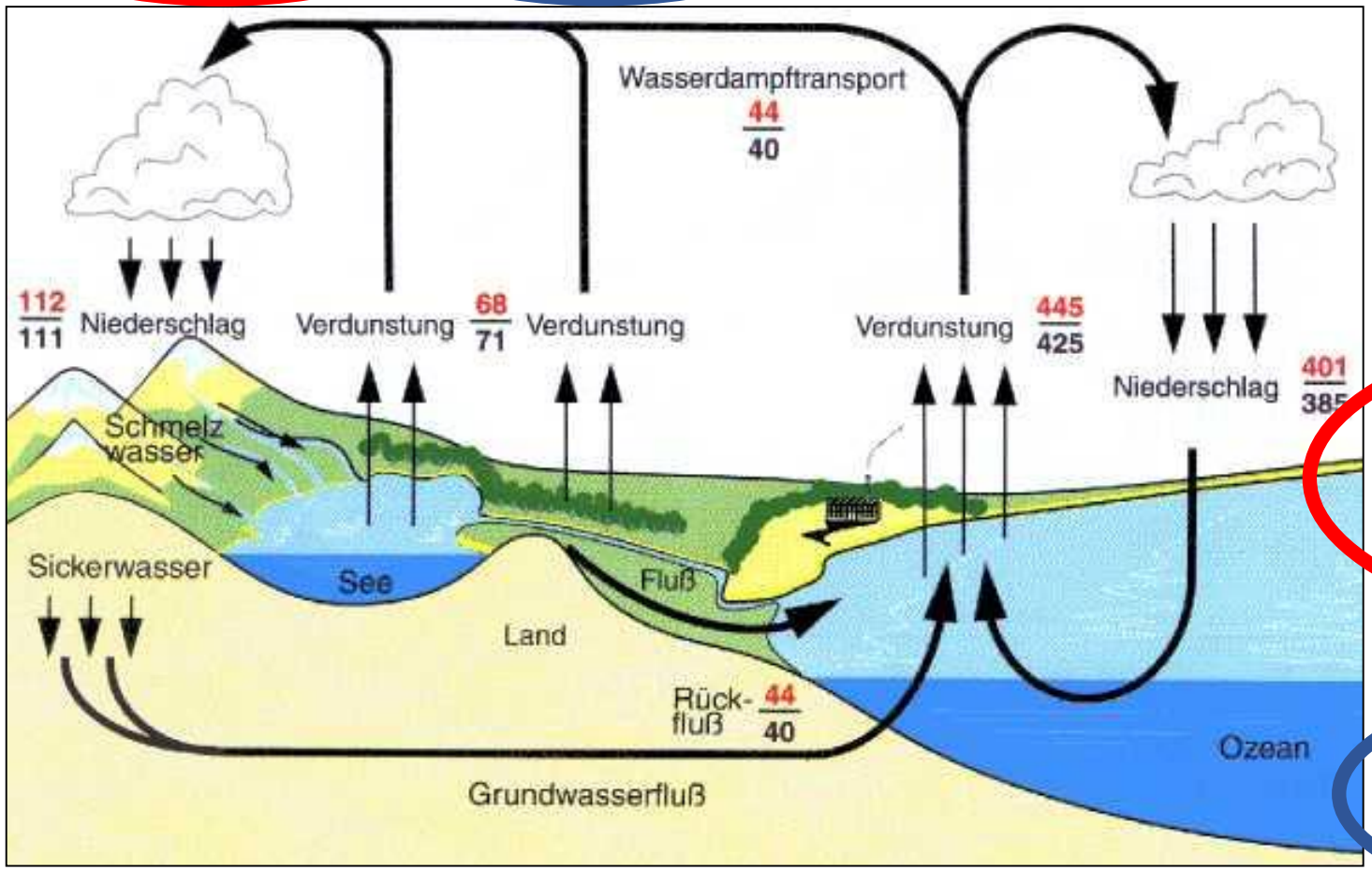
Wenn die Gletscher und Eiskappen vollständig abschmelzen würden würde der Meeresspiegelanstieg etwa 80 Meter betragen (Das Grölandeis würde allein etwa 7 m ausmachen).

Meeresspiegelschwankungen zwischen Eiszeiten und Interglazialperioden betrugen bis zu 200 m .



Wasserkreislauf - Wasserhaushaltsgleichung…

Niederschlag = Abfluss + Evapotranspiration (+/- Speicheränderungen)



DKRZ, 1995)

Globaler Wasserkreislauf
~ 500.000 km³ / Jahr

Rot – Modellberechnungen
(Max-Planck Institut für Meteorologie, ECHAM 3, 1992)

Schwarz – basierend auf Messwerten
(Baumgartner und Reichel, 1975)

Wasserkreislauf Deutschland
~ 282 km³ / Jahr

(Niederschlag 791 mm/a, Bezugsperiode 1991 – 2020
+ Zufluss aus anderen Ländern)

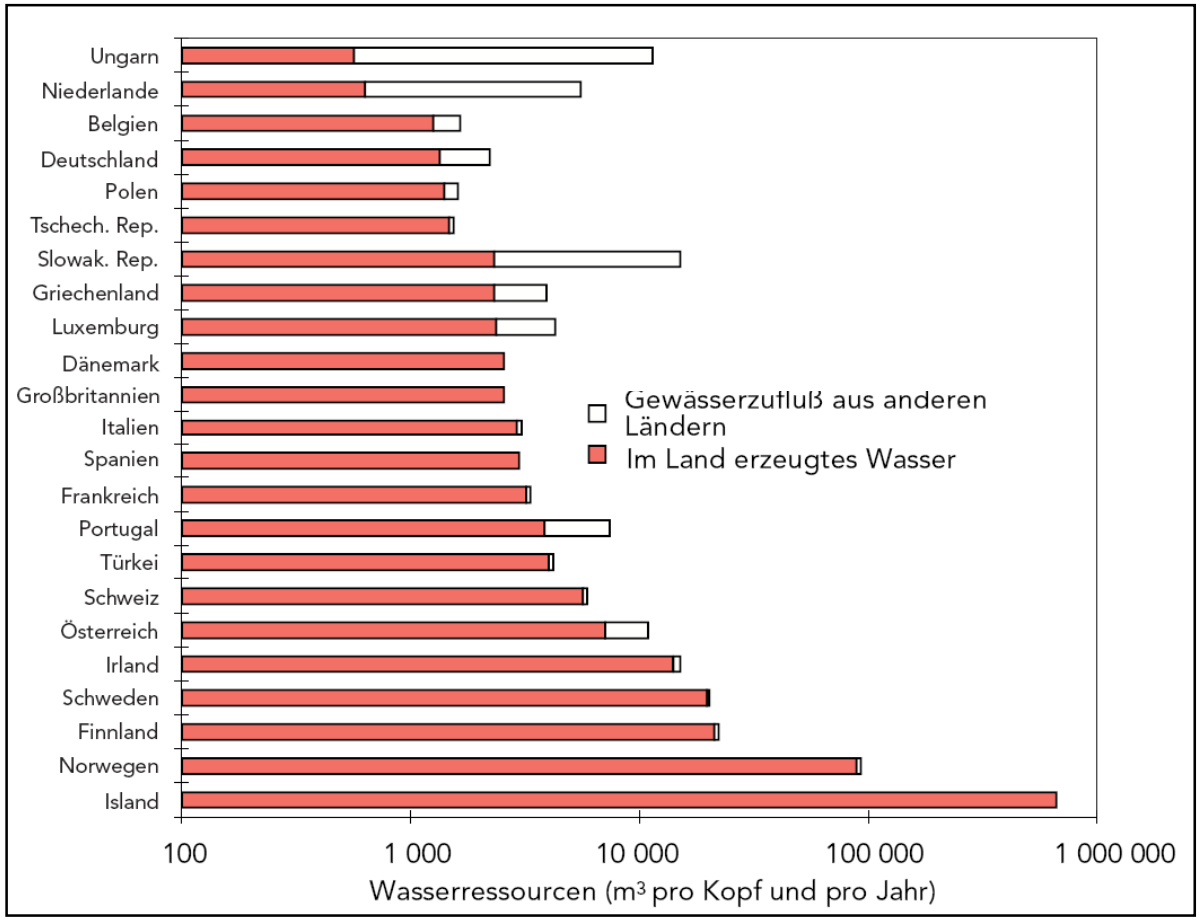
Wasserdargebot Deutschland
~ 176 km³ / Jahr

(Abfluss, Bezugsperiode 1991 – 2020

Wasserverfügbarkeit/Wasserdargebot – EU

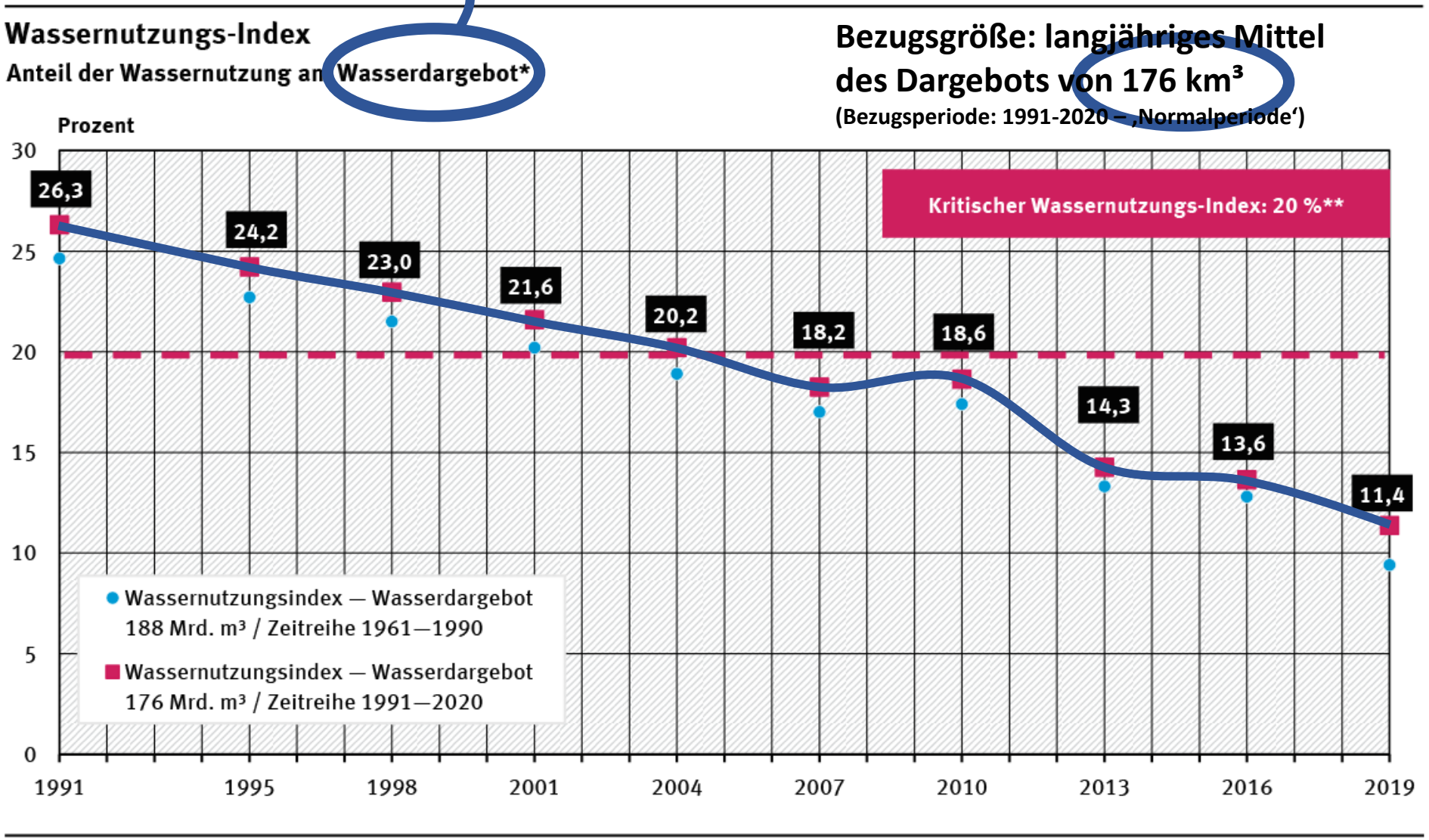
In einem durchschnittlichen Jahr sind für jeden Einwohner der EU etwa 3.200 m³ Wasser verfügbar (erneuerbare Wasserressourcen - Wasserdargebot), es werden jedoch nur rund 660 m³ benutzt (~ 20%). Der durchschnittliche Oberflächenabfluss von Regenwasser reicht von mehr als 3.000 mm im Westen Norwegens zu weniger als 25 mm in Süd- und Zentralspanien.

Wassernutzungsindex



European Environmental Agancy (EEA) 1999. ***Sustainable Water Use in Europe.***

Niederschlag = Abfluss + Evapotranspiration (+/- Speicheränderungen)

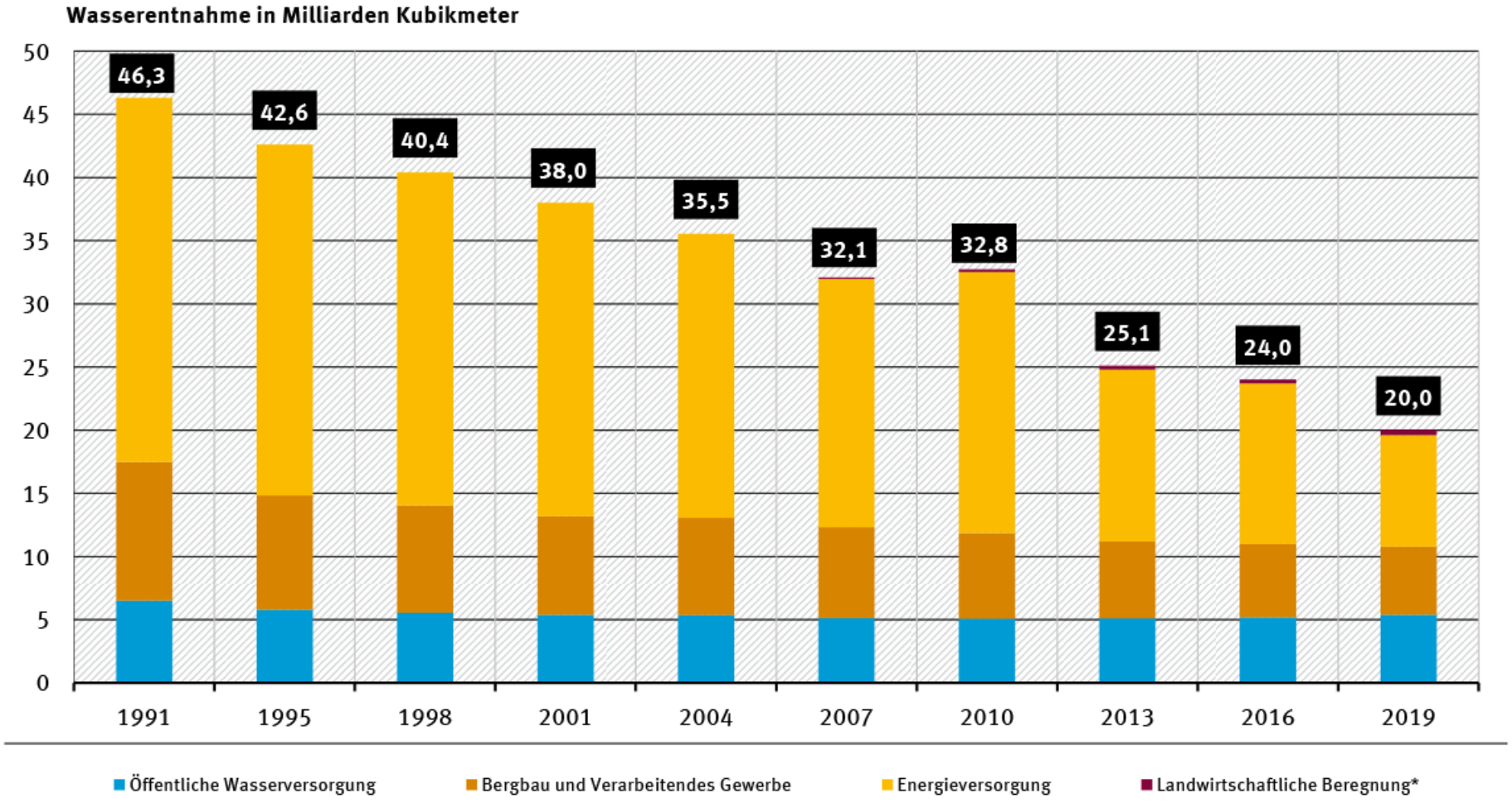


* Der Wassernutzungs-Index wird gebildet aus dem Verhältnis der gesamten Wasserentnahme des betrachteten Jahres (seit 2007 inkl. der landwirtschaftlichen Beregnung) zum langjährigen Wasserdargebot in Deutschland (176 Mrd. m³).
** Ein Wassernutzungs-Index von 20 % gilt als Schwelle zum Wasserstress.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, R. 2.1.1 und 2.2, Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge; Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, zuletzt aktualisiert 30.09.2022

Wassergewinnung

Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung, Bergbau und verarbeitendes Gewerbe, der Energieversorgung und der Landwirtschaft

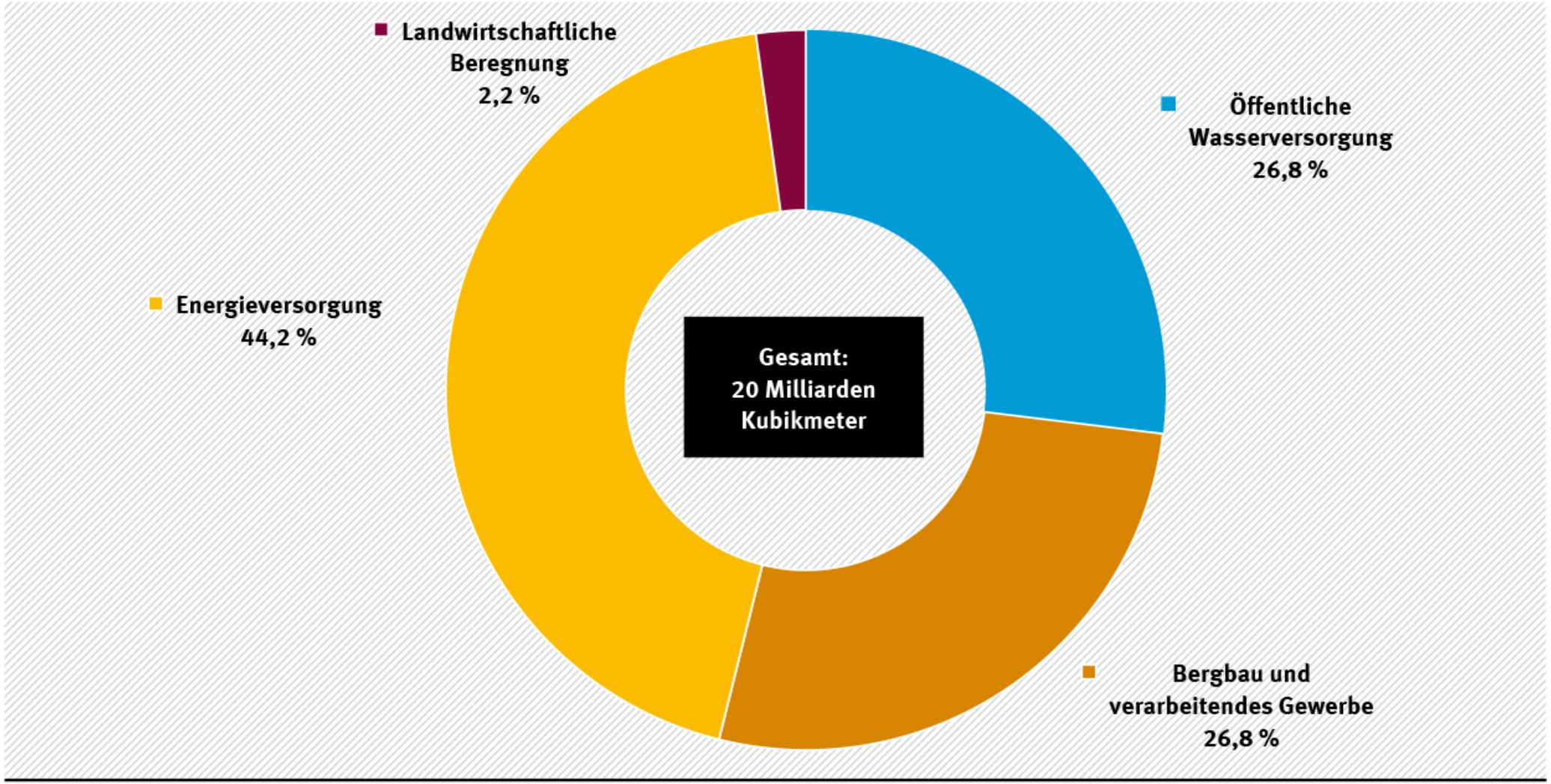


* Daten erst ab 2007 verfügbar

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, R. 2.1.1 und 2.2, Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge

Wassergewinnung

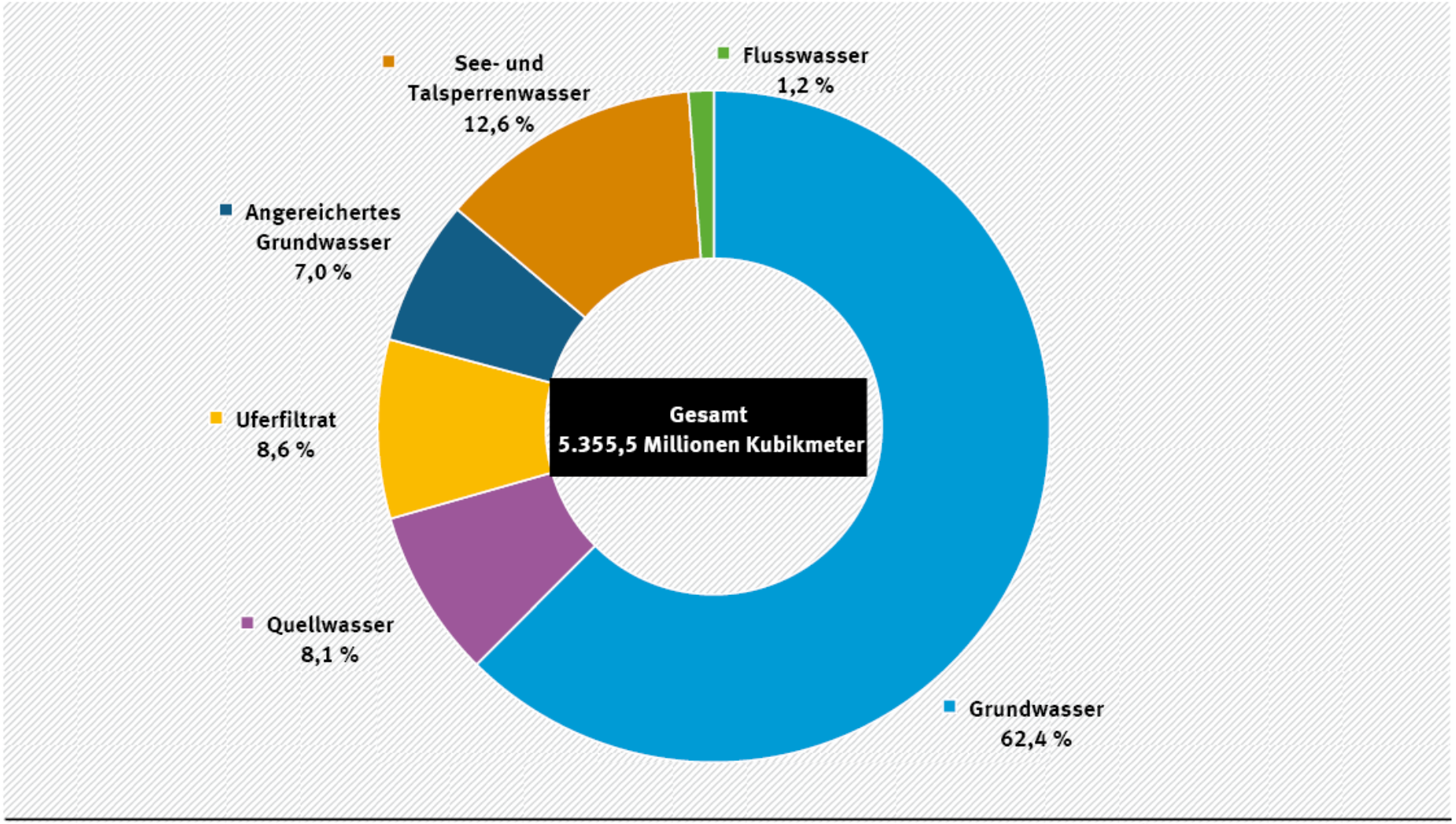
Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung, Bergbau und verarbeitendes Gewerbe, der Energieversorgung und der Landwirtschaft 2019



Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, R. 2.1.1 und 2.2, Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge

Wassergewinnung – öffentliche Wasserversorgung

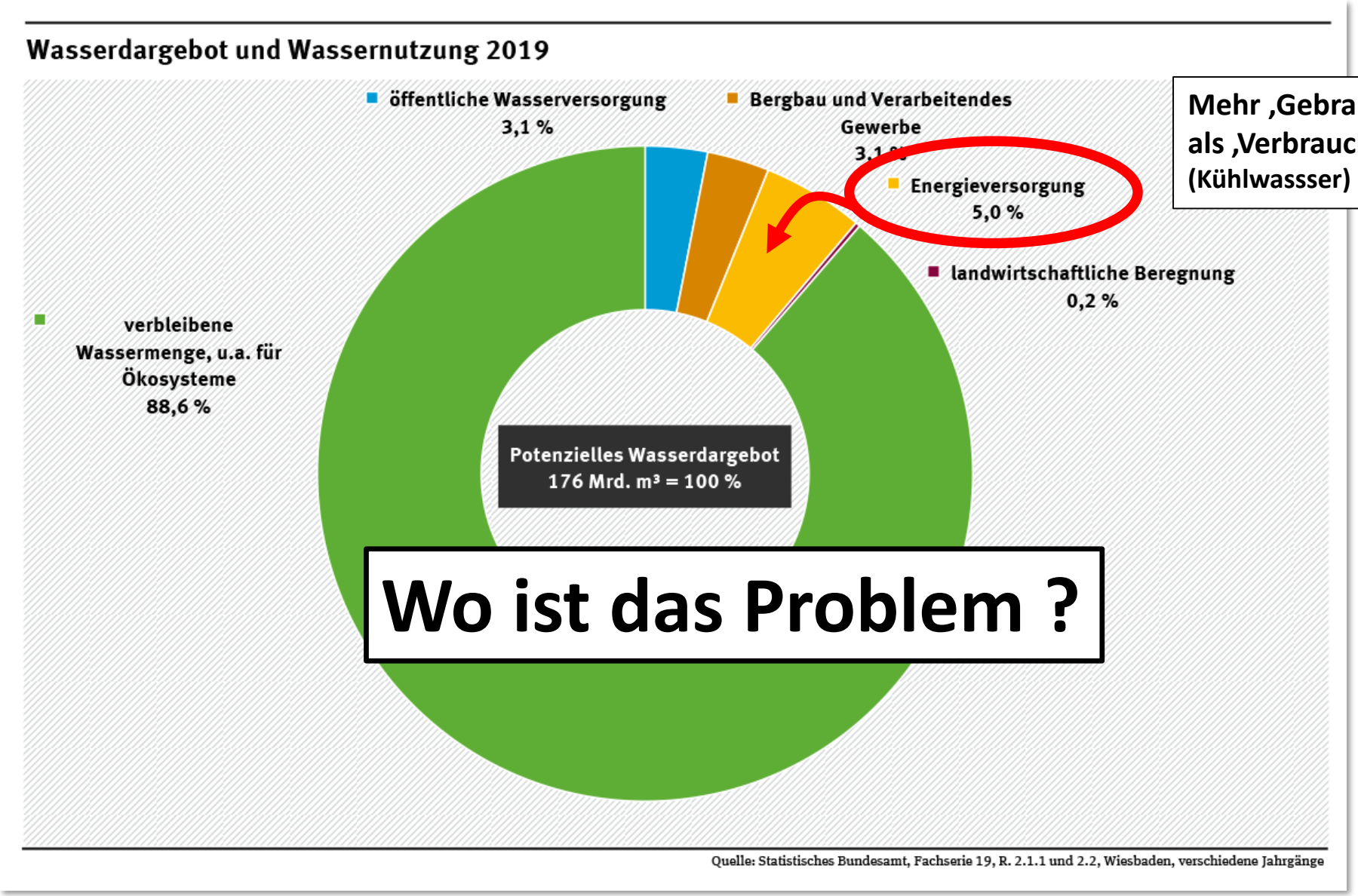
Wassergewinnung nach Wasserarten 2019 *



*Einschließlich der Wassermenge, die durch Unternehmen

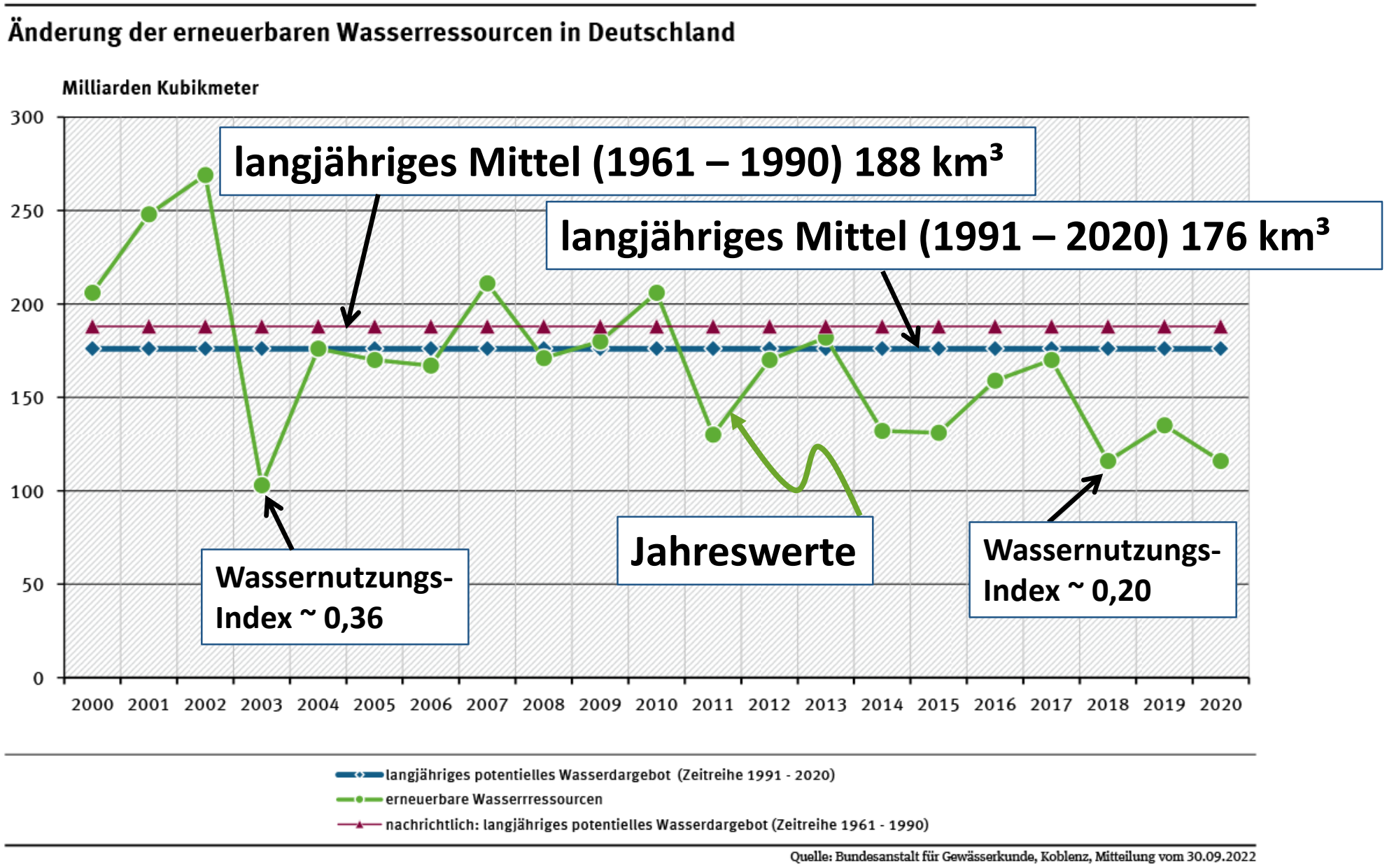
Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Reihe 2.1.1 Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserbeseitigung - Öffentliche Wasserversorgung 2022

Wassernutzung

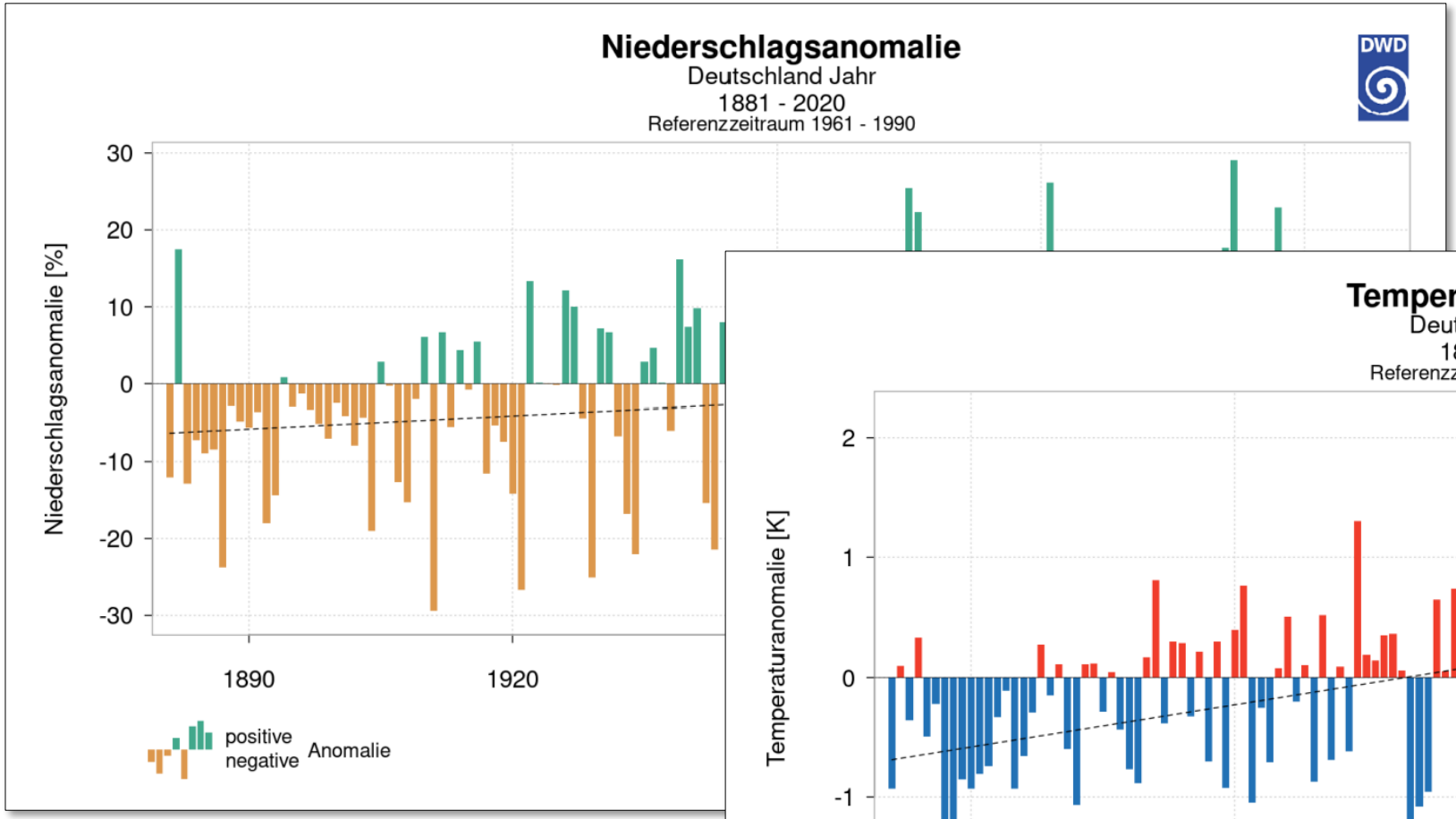


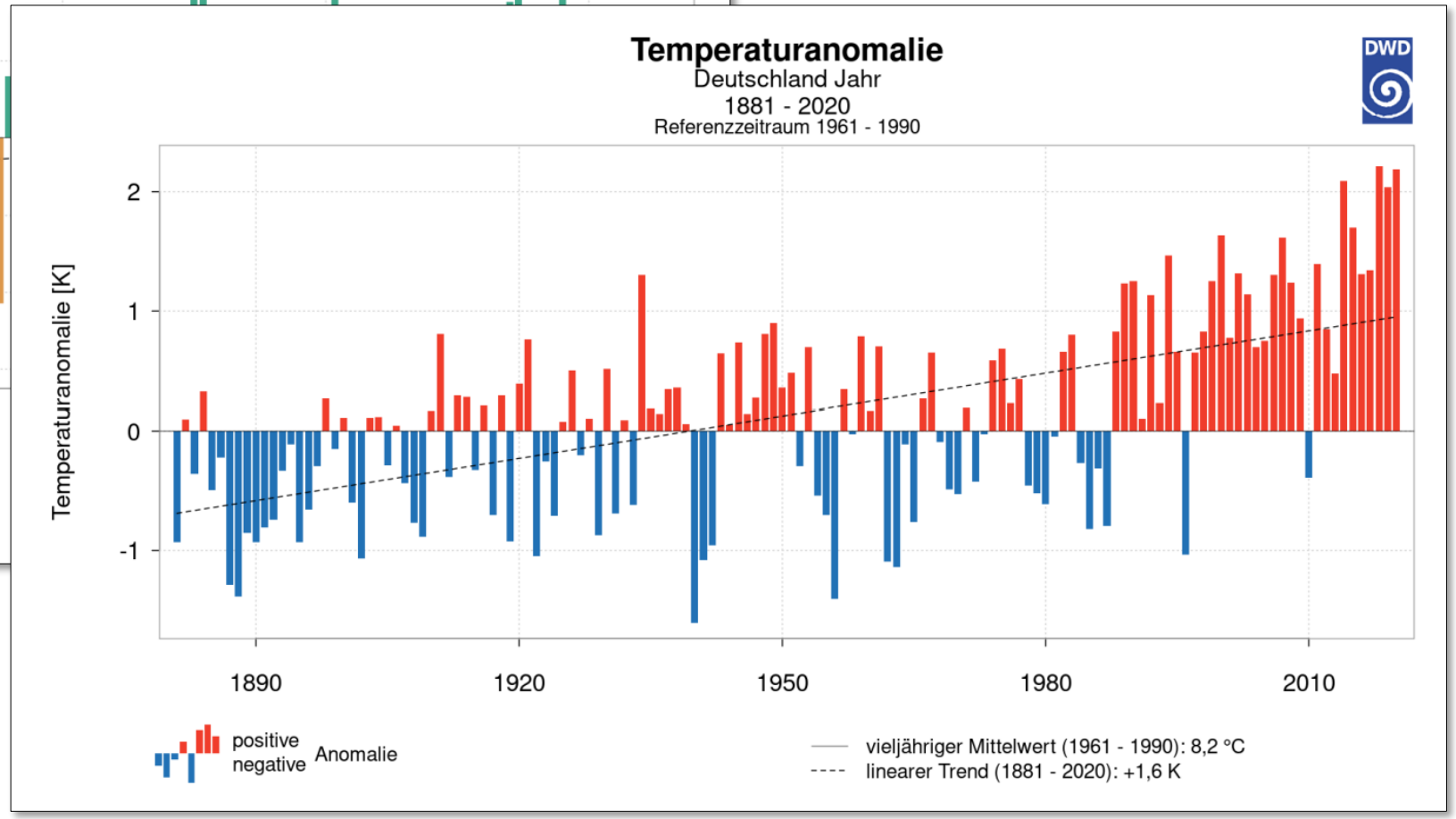
Mehr ‚Gebrauch' als ‚Verbrauch' (Kühlwassser)

Faktor1: Klimanderungen

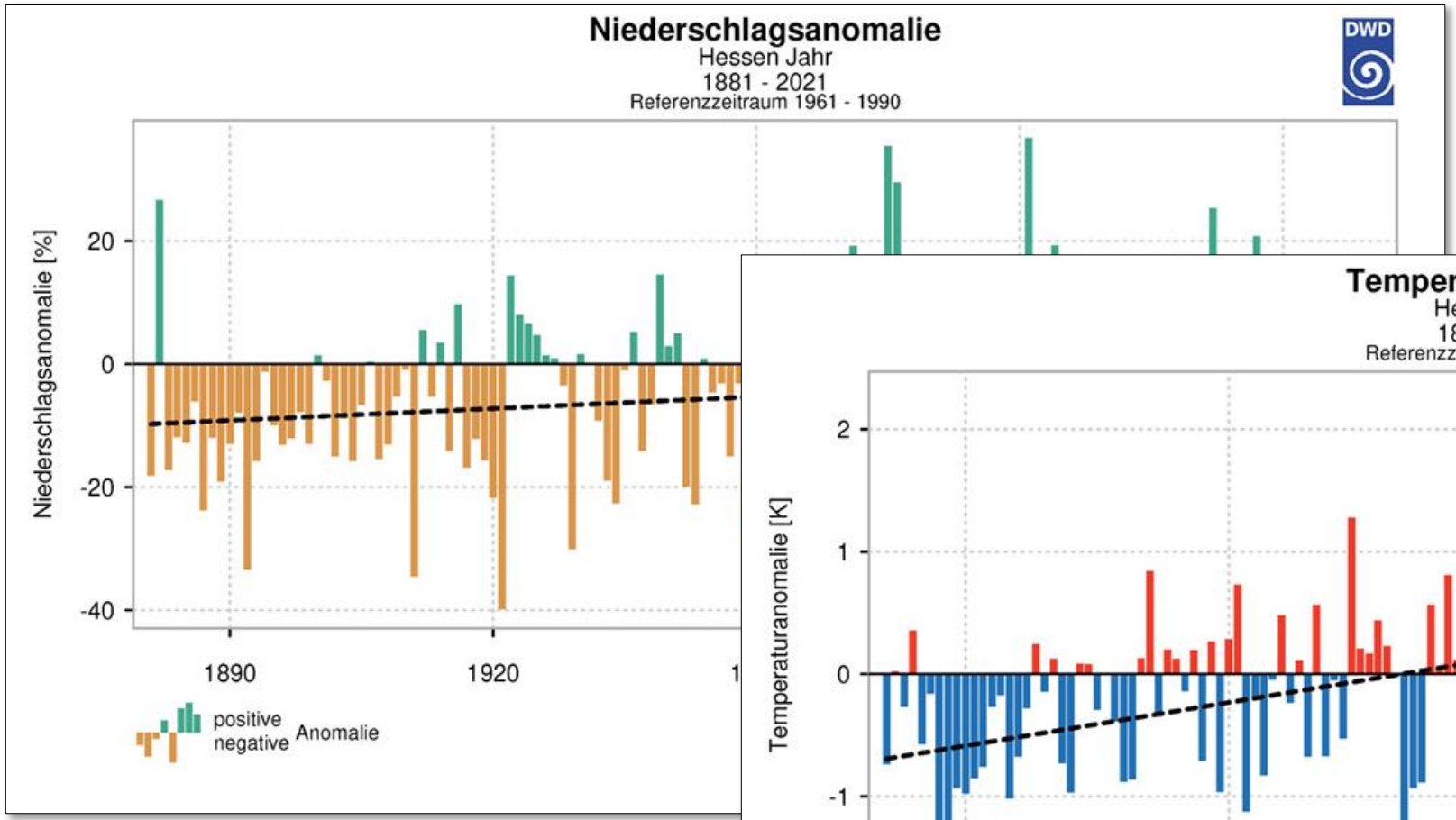


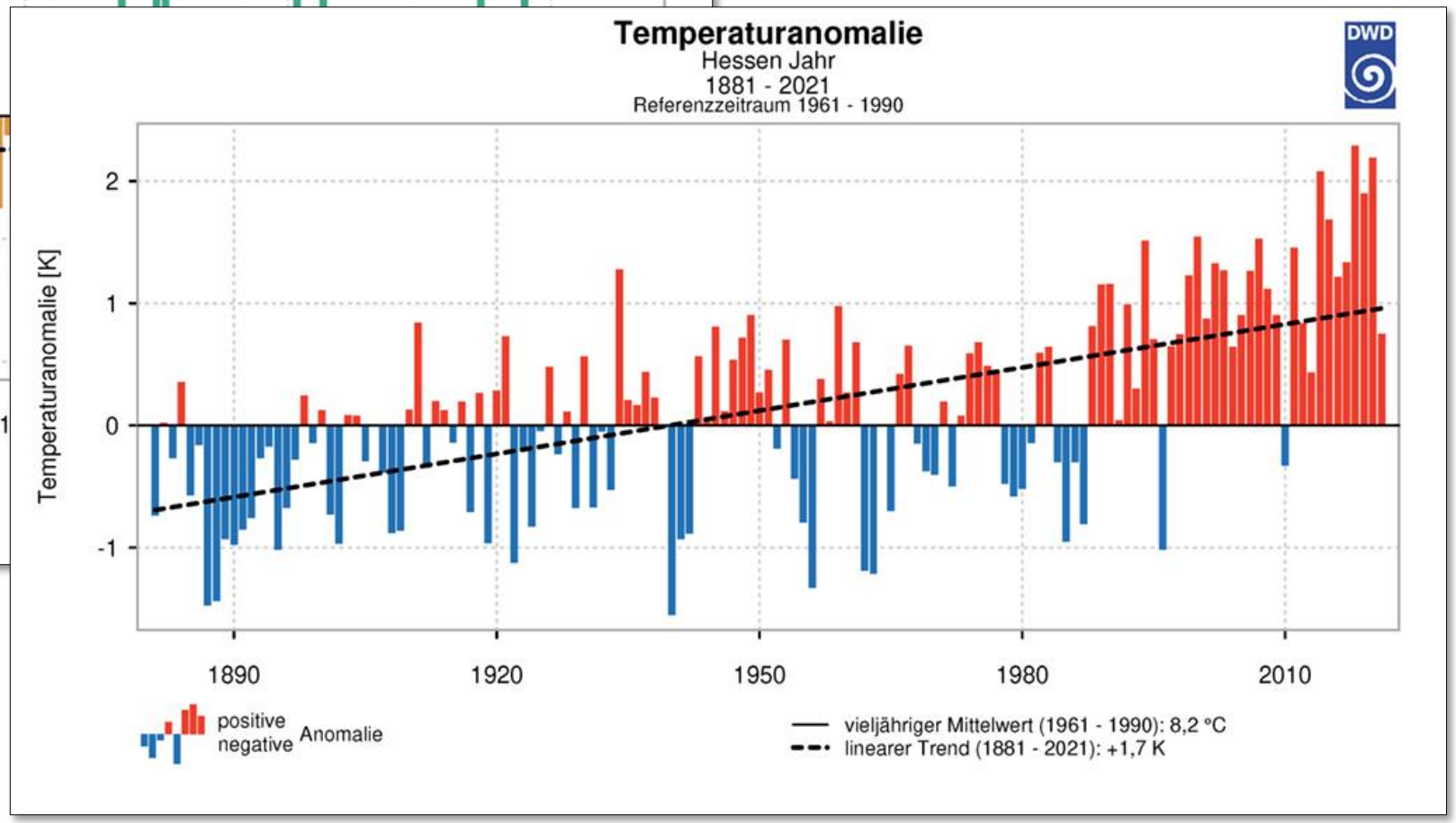
Faktor 1: Klimaänderungen… Deutschland

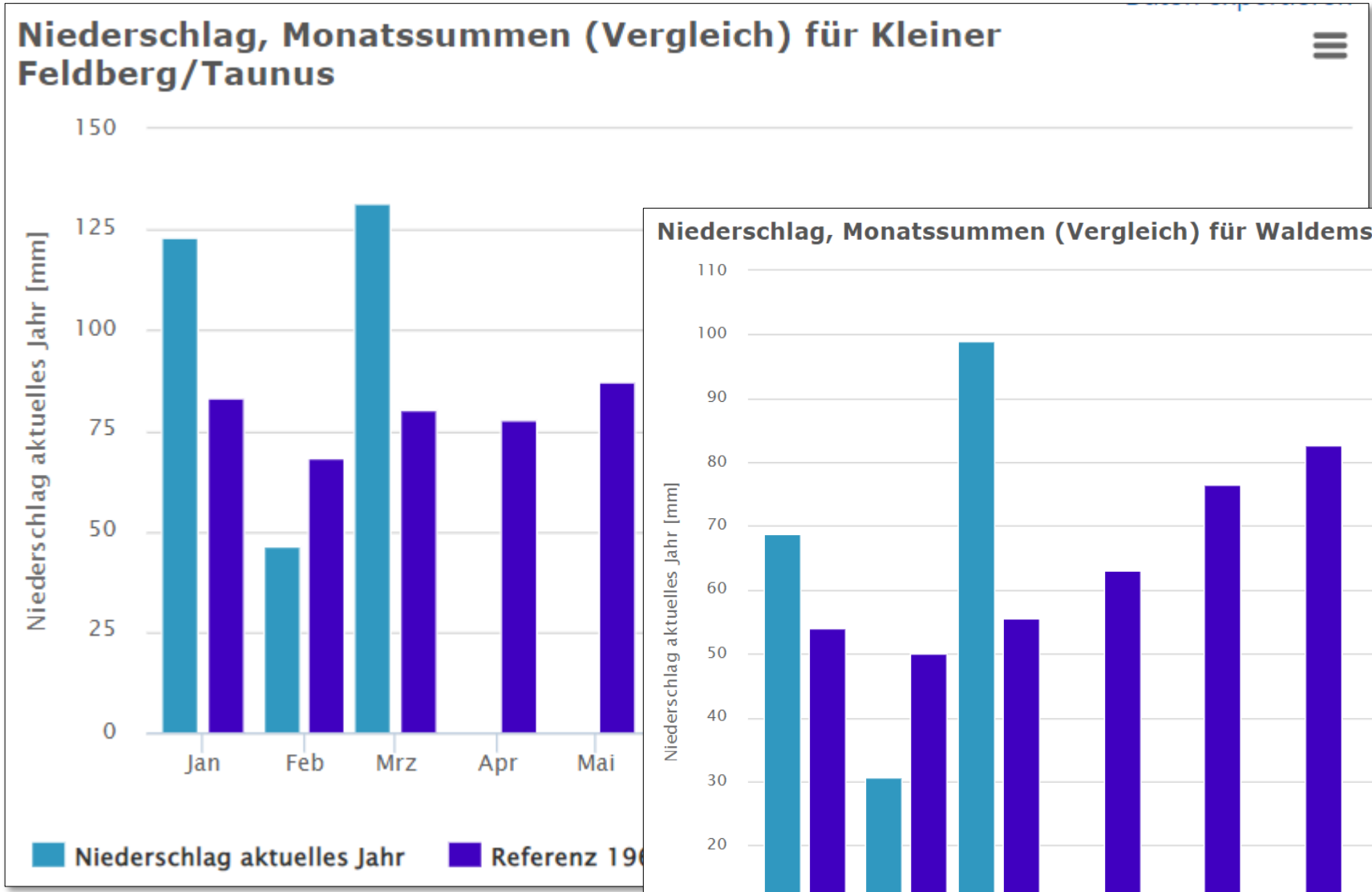


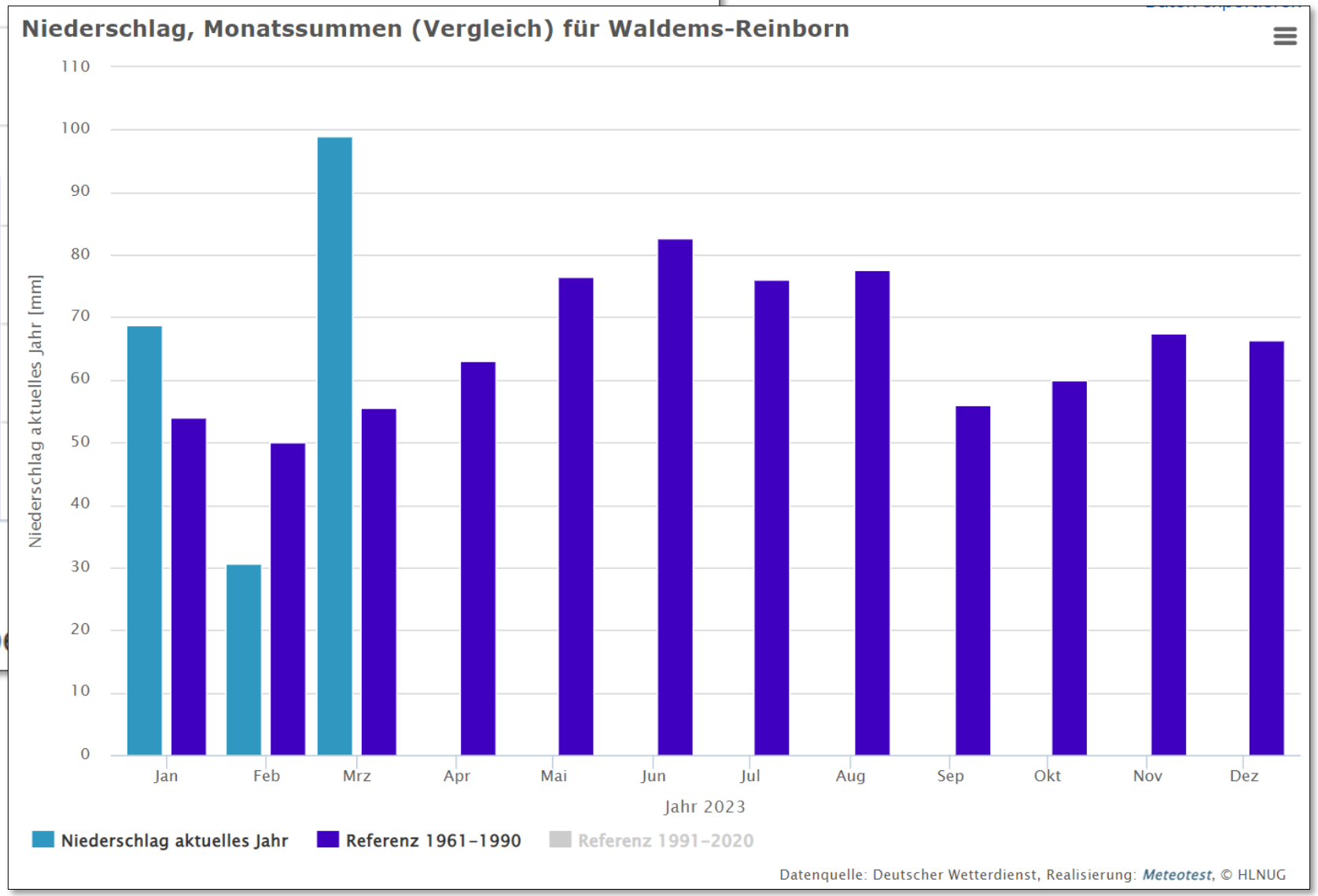


Faktor 1: Klimaänderungen… Hessen



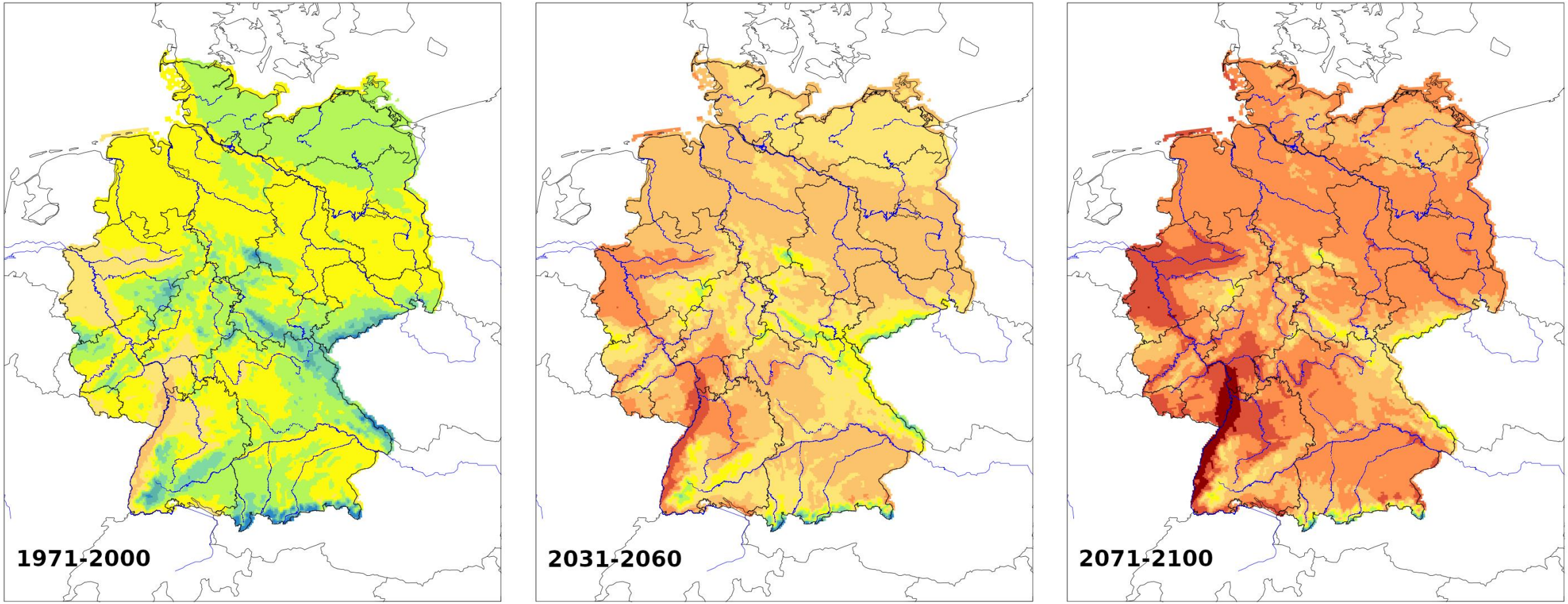



Niederschlag, Monatssummen (Vergleich) für Kleiner Feldberg/Taunus
Niederschlag aktuelles Jahr [mm]
150
125
100
75
50
25
0
Jan
Feb
Mrz
Apr
Mai
Niederschlag aktuelles Jahr
Referenz 19


Niederschlag, Monatssummen (Vergleich) für Waldems-Reinborn
Niederschlag aktuelles Jahr [mm]
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Jan
Feb
Mrz
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez
Jahr 2023
Niederschlag aktuelles Jahr
Referenz 1961–1990
Referenz 1991–2020
Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Realisierung: Meteotest, © HLNUG

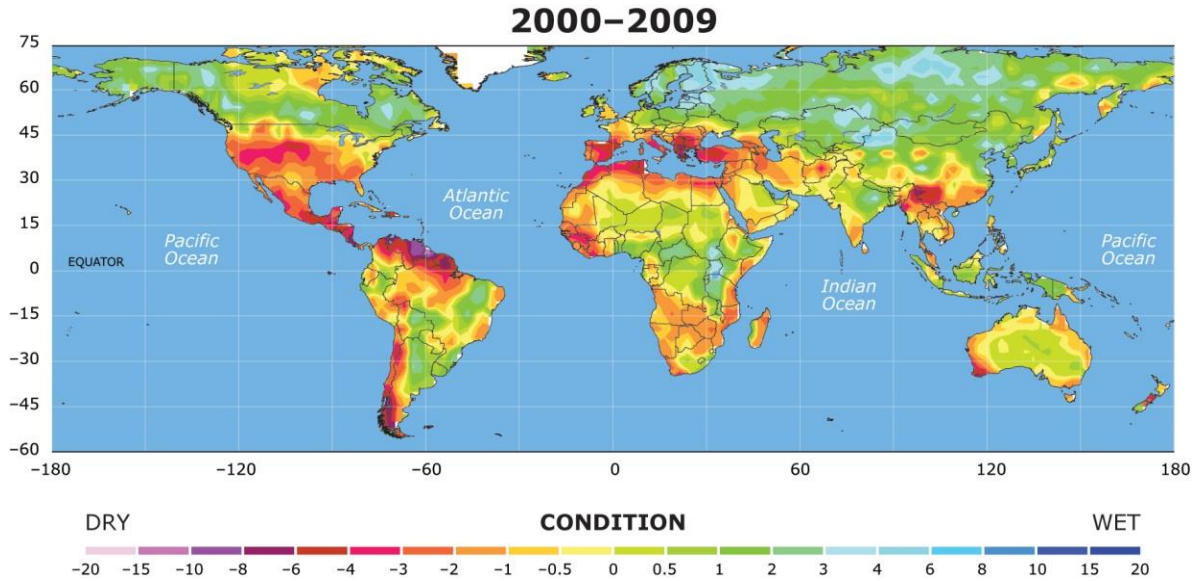
Faktor 1: Klimaänderungen… Deutschland - Temperatur

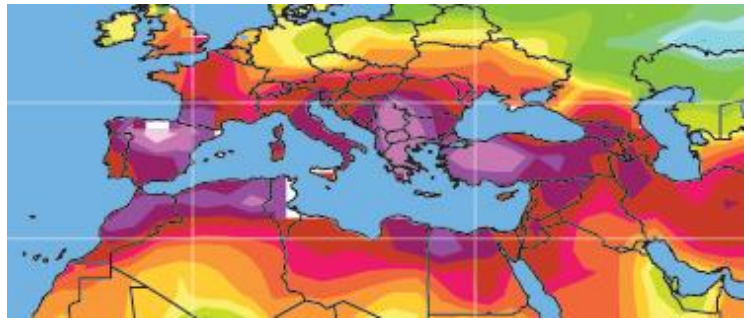
30-Jahresmittel der 2m-Temperatur aus COSMO-CLM Klimasimulationen mit 3 km Gitterweite für den historischen Zeitraum (1971-2000, links), die nahe Zukunft (2031-2060, Mitte) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts). Die Projektionen für nahe und ferne Zukunft wurden mit dem RCP8.5-Szenario gerechnet.

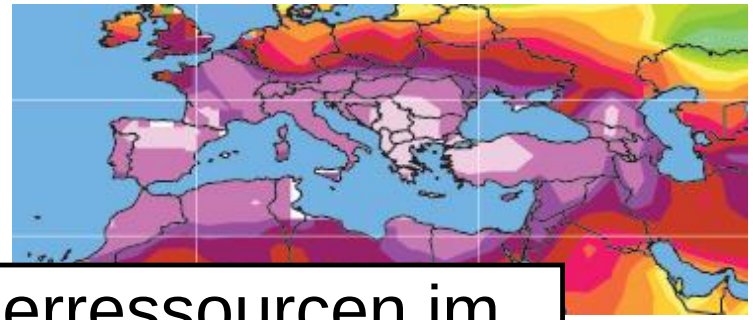


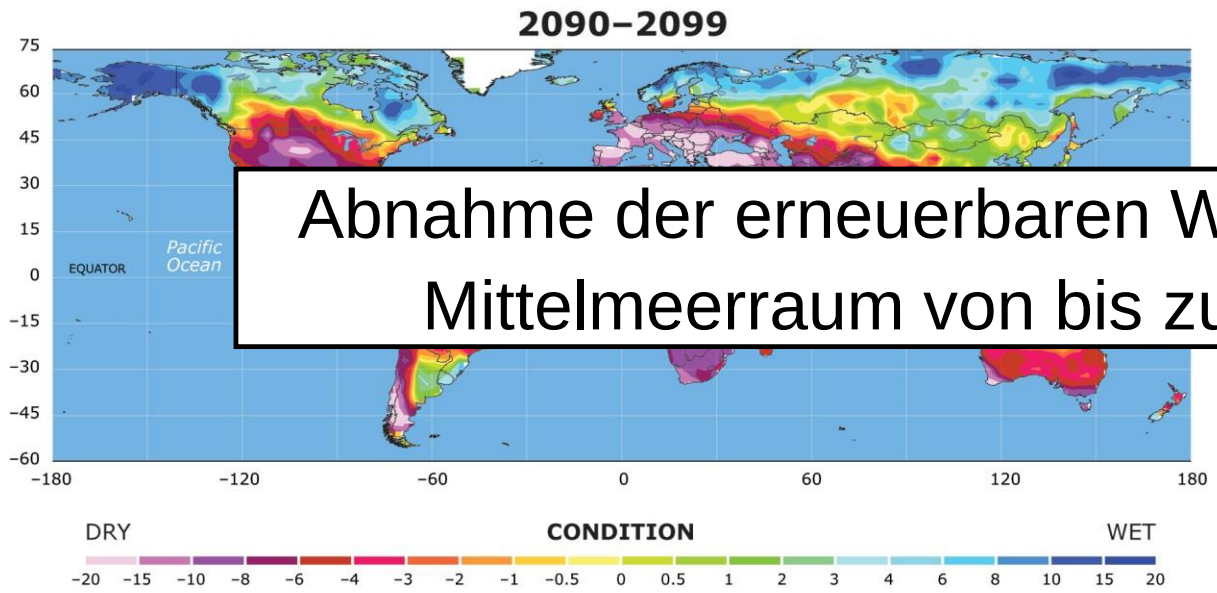
Faktor 1: Klimaänderungen… Anstieg der Zahl der Dürreperioden

Palmer Drought Severity Index*









Abnahme der erneuerbaren Wasserressourcen im Mittelmeerraum von bis zu 50% bis 2100 !

Temperaturinformationen

- Langzeitvorhersage

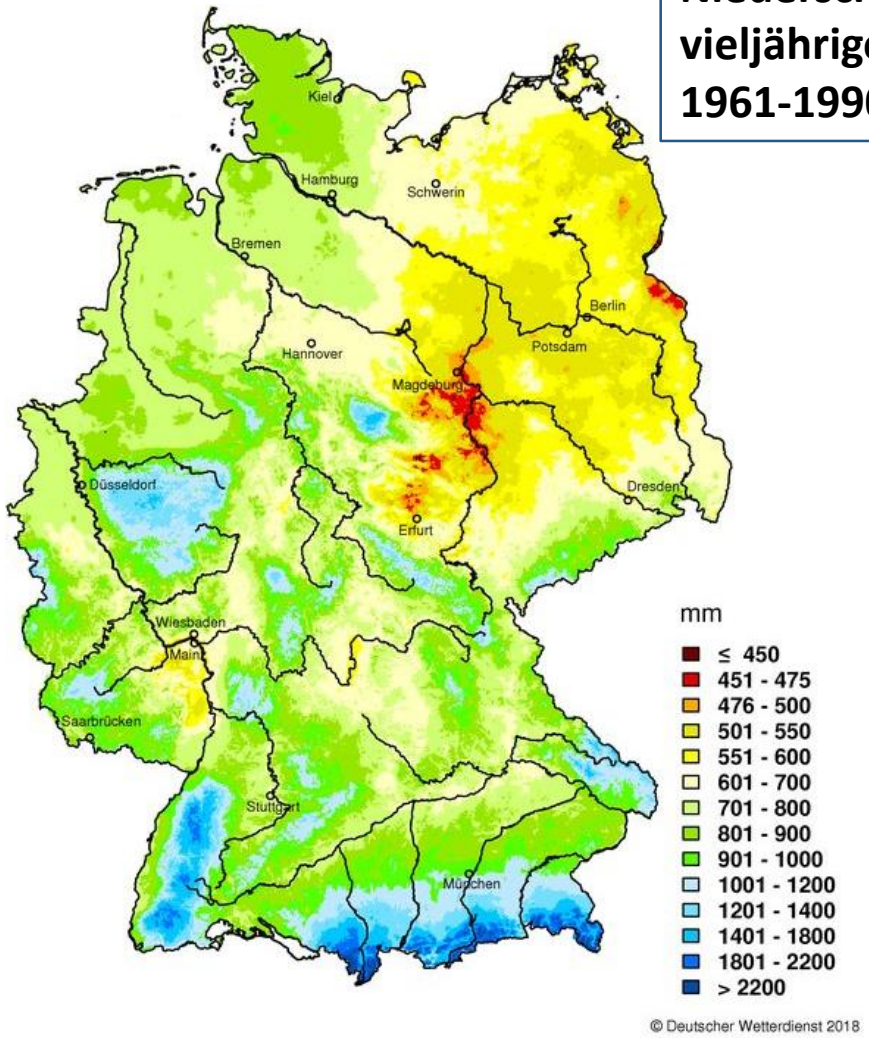
< -4 = extreme Dürre

source: NCAR

Faktor 2: Betrachtungsskala – Ungleiche räumliche Verteilung…

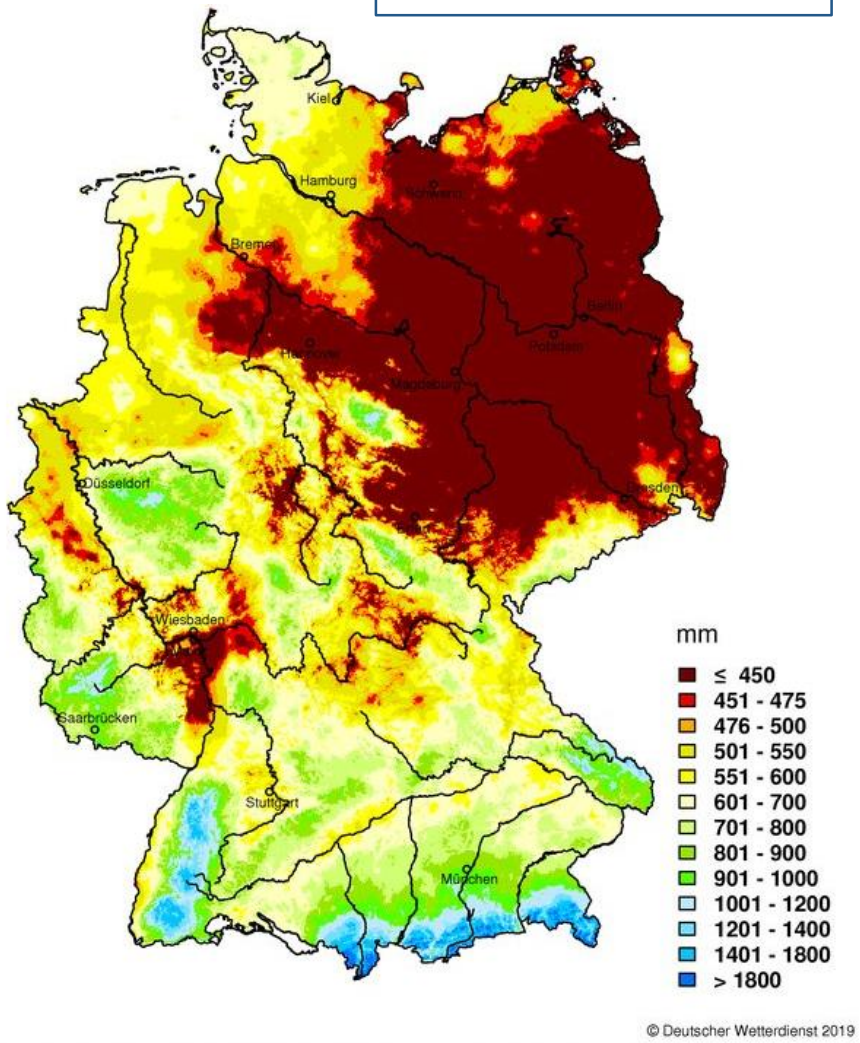
…und ungleiche zeitliche Verteilung

Niederschlagshöhen vieljähriger Mittelwert 1961-1990



Diese Karte wurde am 23.05.2018 mit den Daten aller Stationen aus den Messnetzen des DWD erstellt.
This chart was produced on May 23, 2018 using data of all stations of the networks of DWD.

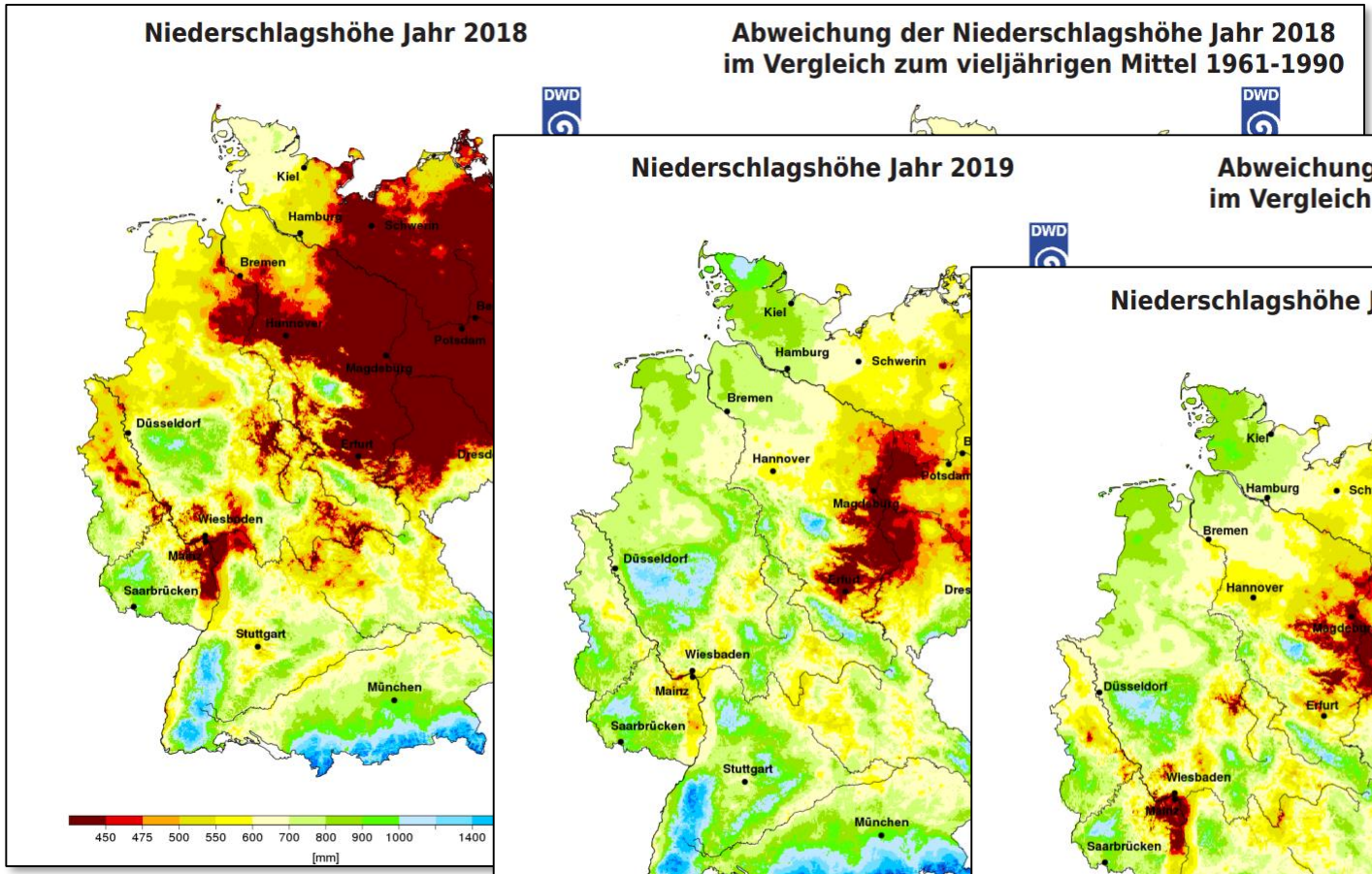
Niederschlagshöhen 2018

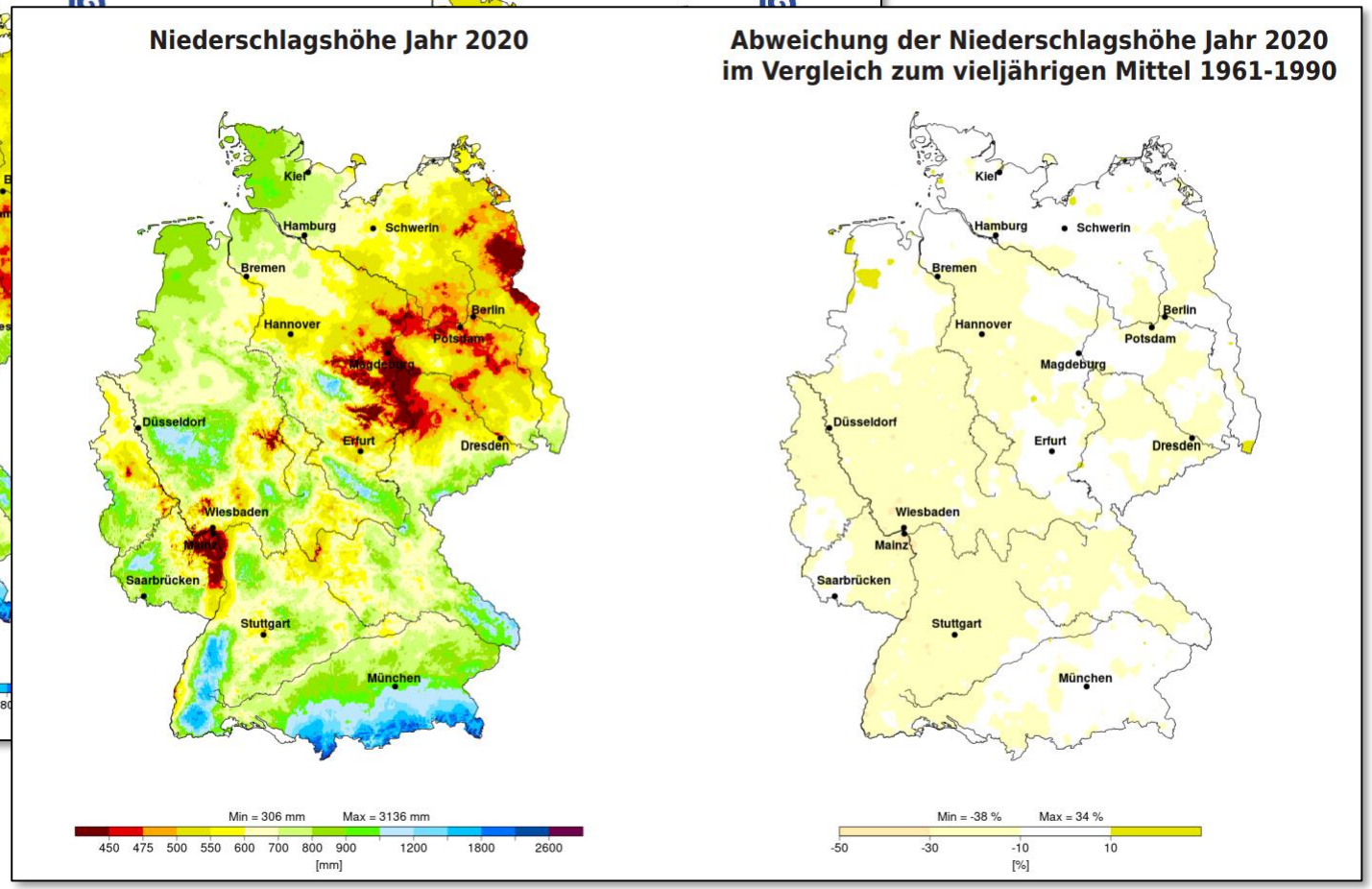


Diese Karte wurde am 02.01.2019 mit den Daten aller Stationen aus den Messnetzen des DWD erstellt.
This chart was produced on January 02, 2019 using data of all stations of the networks of DWD.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Faktor 3: Betrachtungsskala – Ungleiche zeitliche Verteilung…



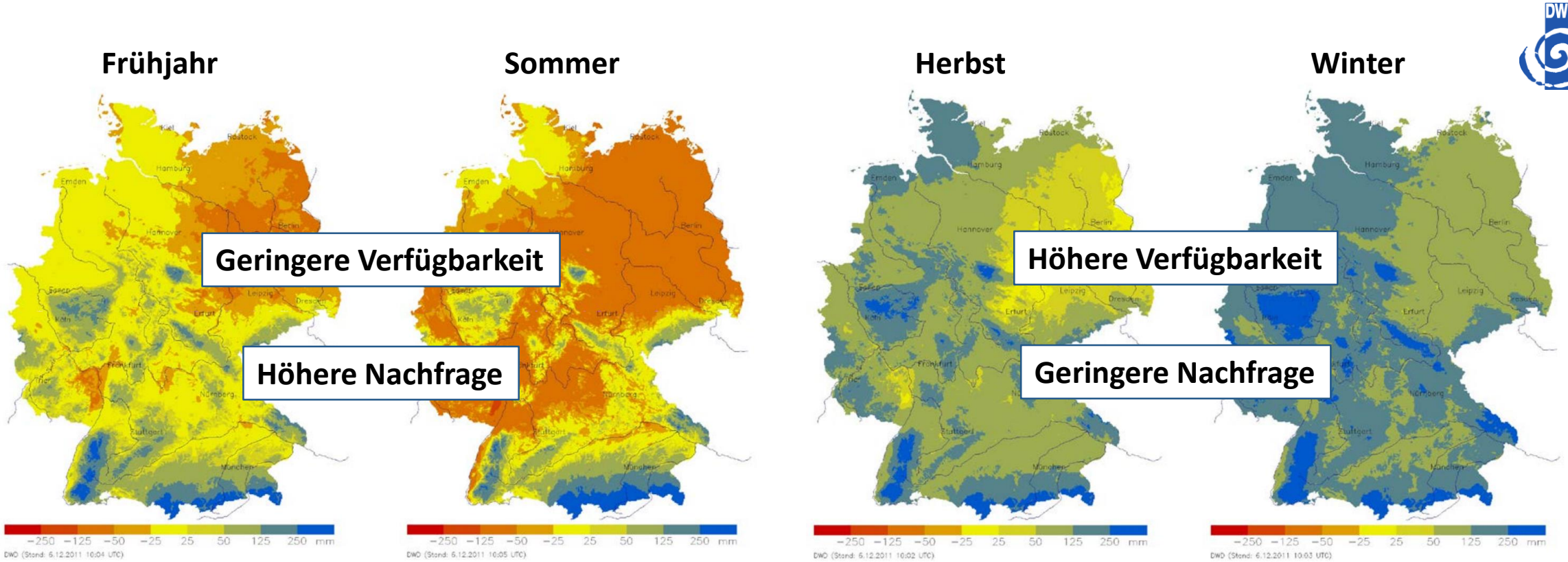


Faktor 3: Betrachtungsskala – Ungleiche zeitliche Verteilung…

Klimatischen Wasserbilanz:

Differenz aus der Niederschlagssumme und der Summe der potentiellen Verdunstung über Gras.

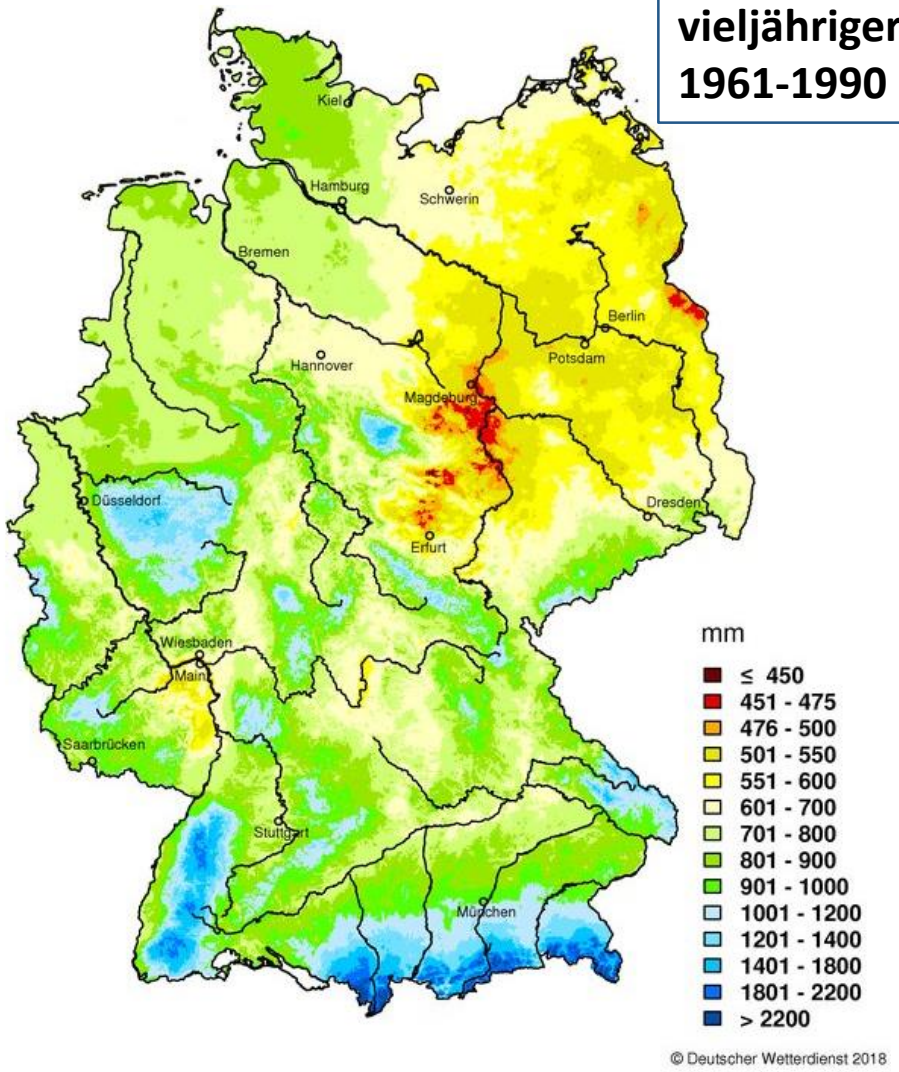
Gelb: ausgeglichen **Orange – rot:** negative Bilanz **grün – blau**: positive Bilanz



Mittlere Jahreszeitensummen der Klimatischen Wasserbilanz 1981 - 2010

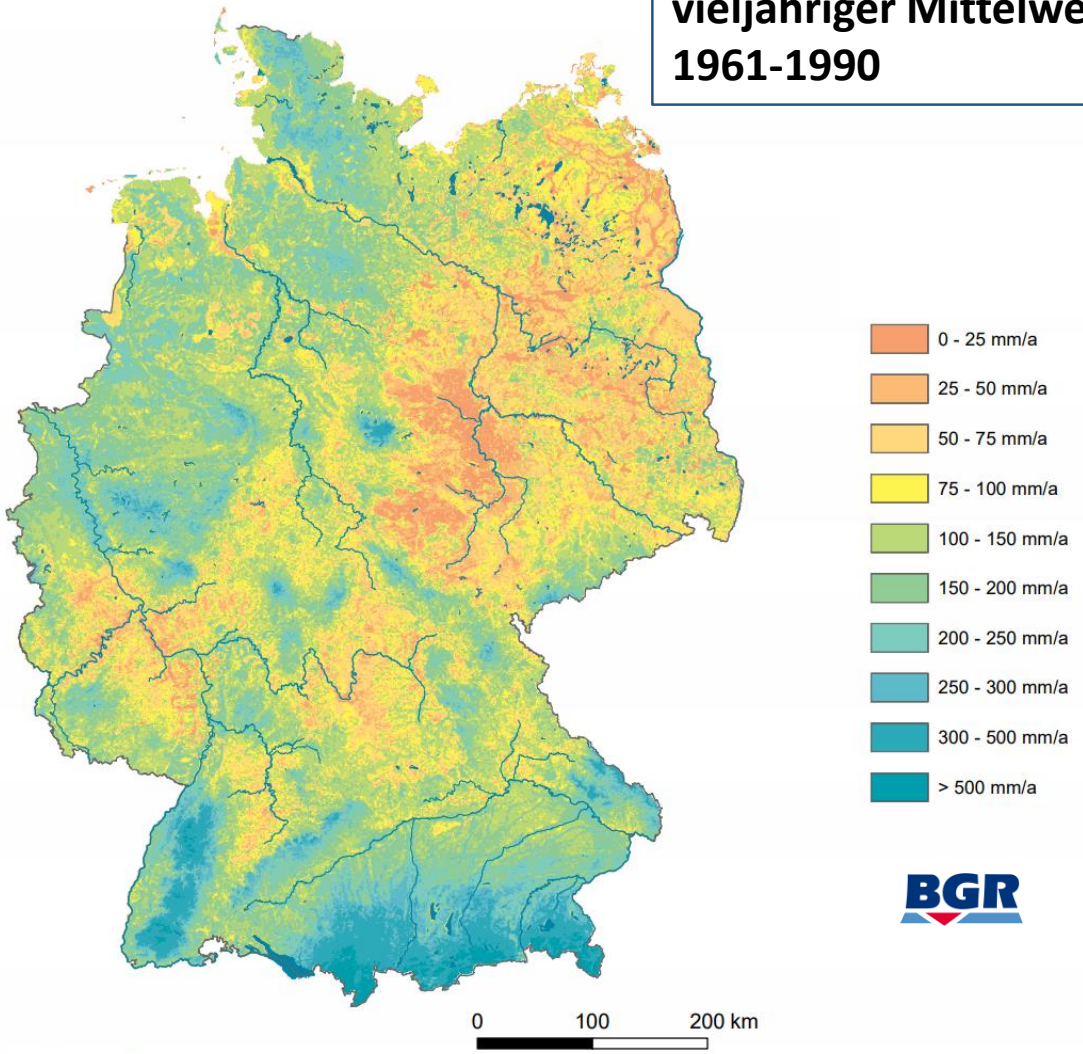
Grundwasserneubildung…

Niederschlagshöhen vieljähriger Mittelwert 1961-1990



Diese Karte wurde am 23.05.2018 mit den Daten aller Stationen aus den Messnetzen des DWD erstellt.
This chart was produced on May 23, 2018 using data of all stations of the networks of DWD.

Grundwasserneubildung vieljähriger Mittelwert 1961-1990



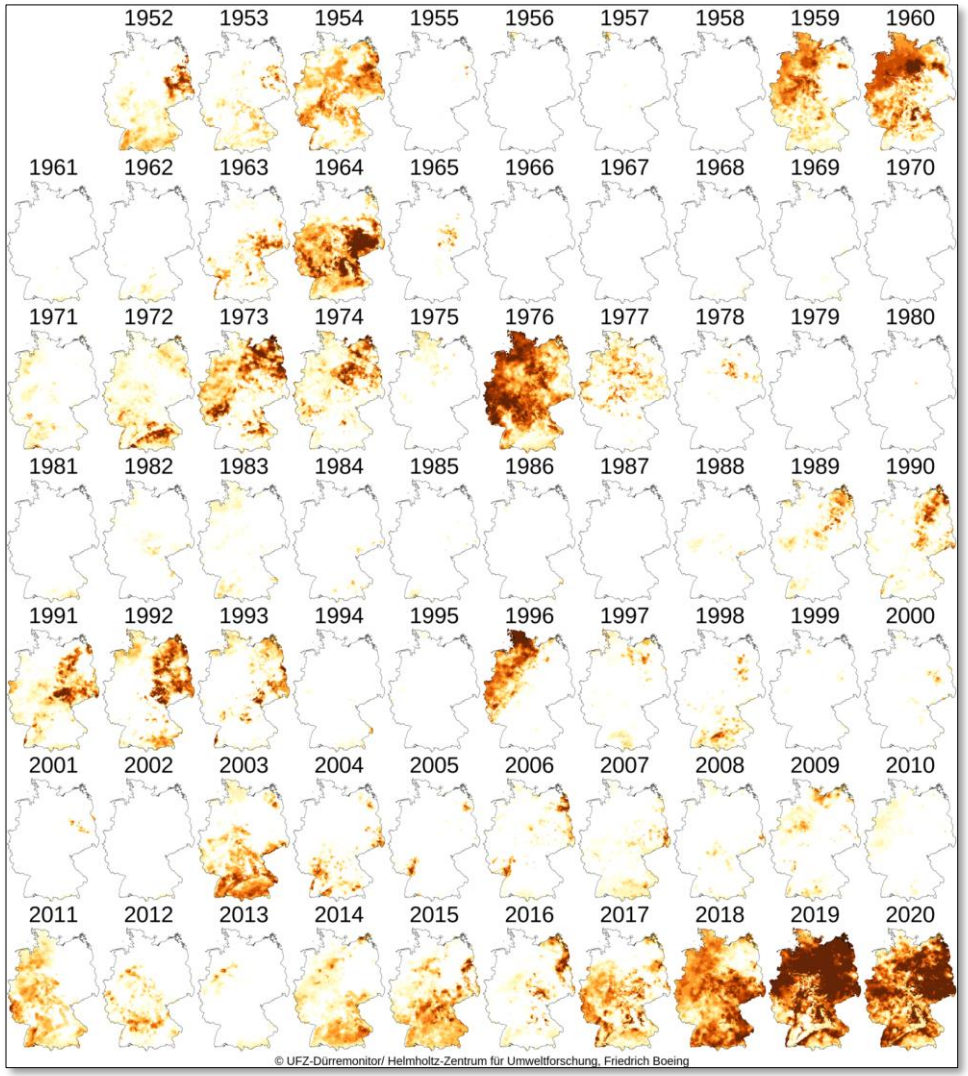
Datenquelle: BGR; Topografie: BKG

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Klimawandel und Bodenwasservorräte…

Dimensionslose Dürremagnitude, Gesamtboden bis 180 cm

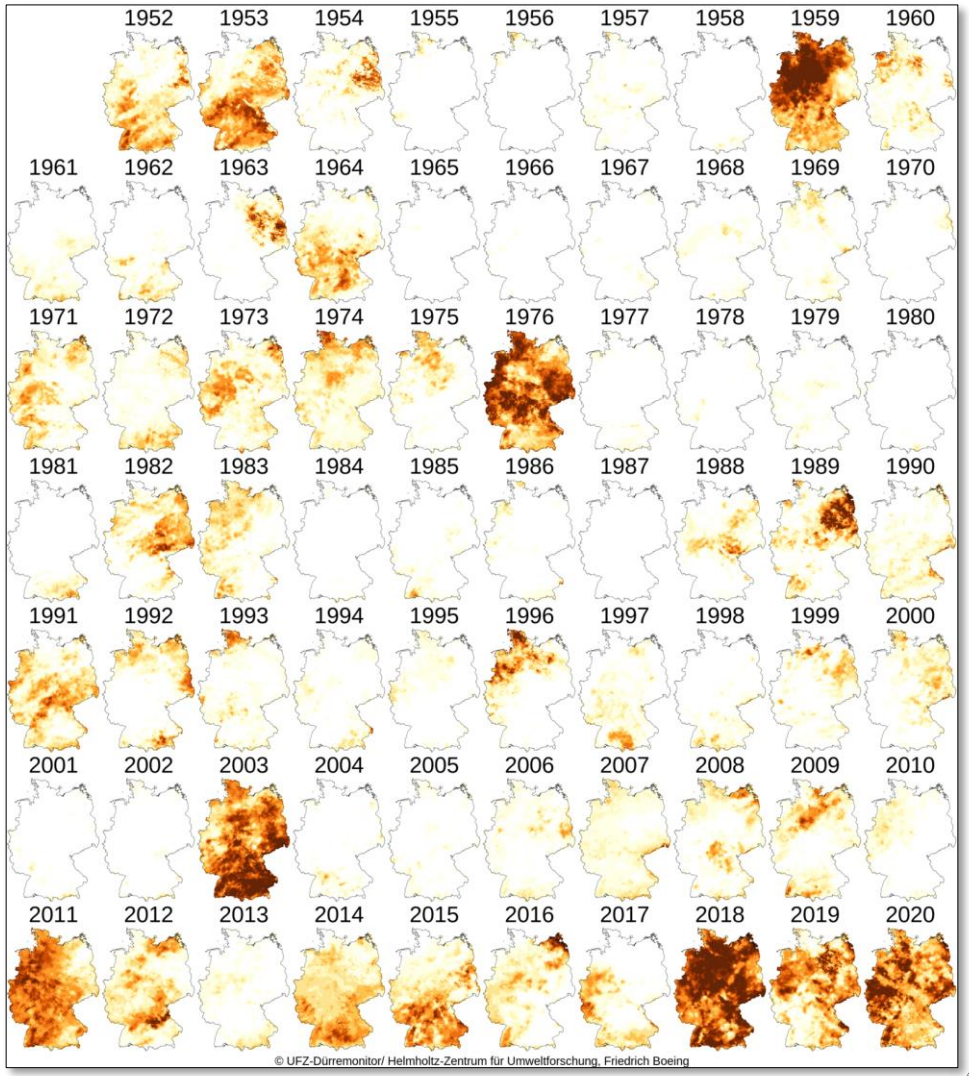
Vegetationsperiode April bis Oktober



UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Dimensionslose Dürremagnitude, Oberboden bis 25 cm

Vegetationsperiode April bis Oktober



Hemholtz Klimainitiative: https://www.ufz.de/index.php?de=37937

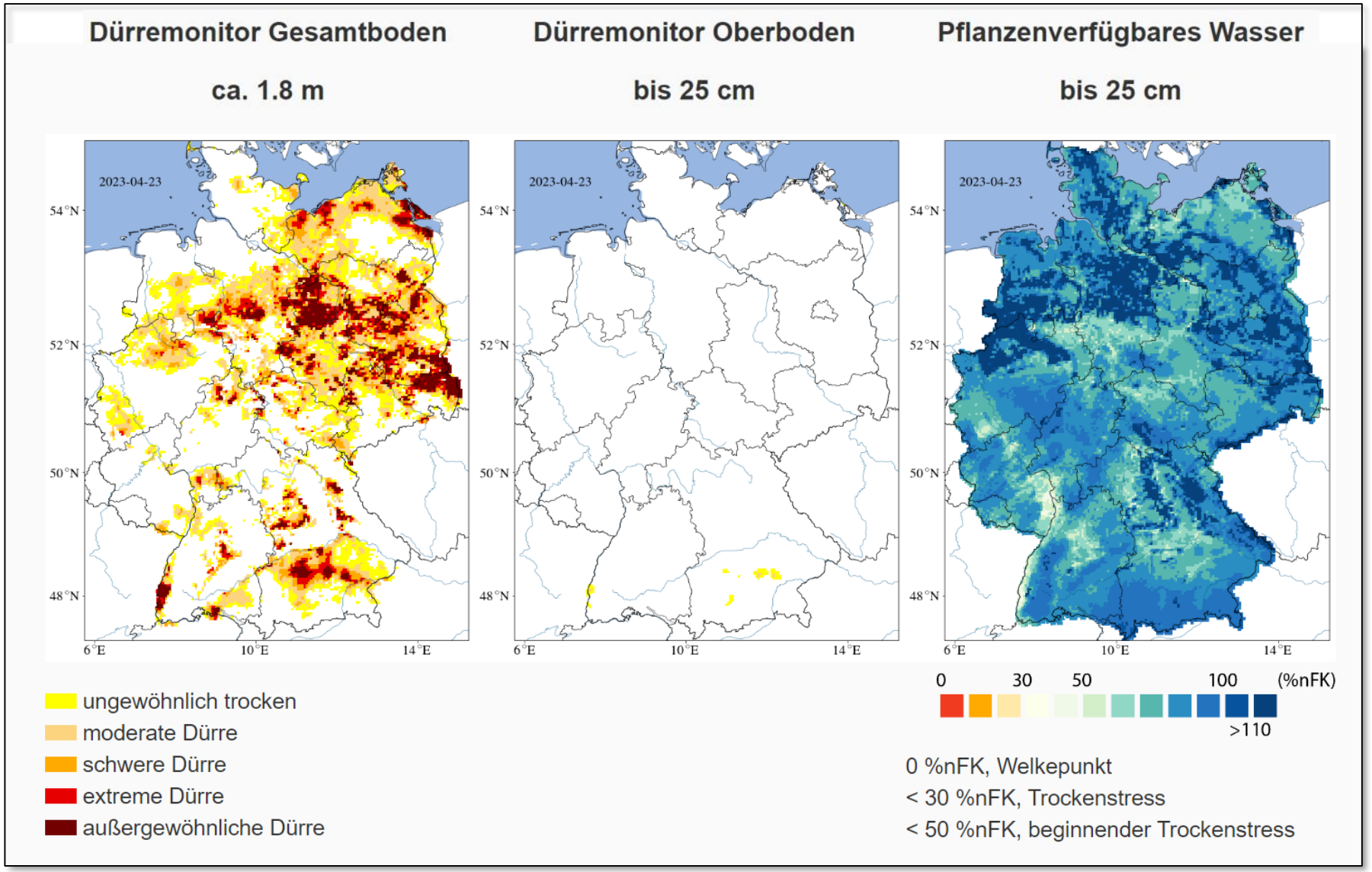
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Klimawandel und Bodenwasservorräte…

Situation 23.04.2023

Deutliche Verbesserung der Wasserverfügbarkeit im Oberboden…

…aber immer noch deutliches Wasserdefizit im Gesamtboden insbesondere in den östlichen Bundesländern.



Hemholtz Klimainitiative:
https://www.ufz.de/index.php?de=37937

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

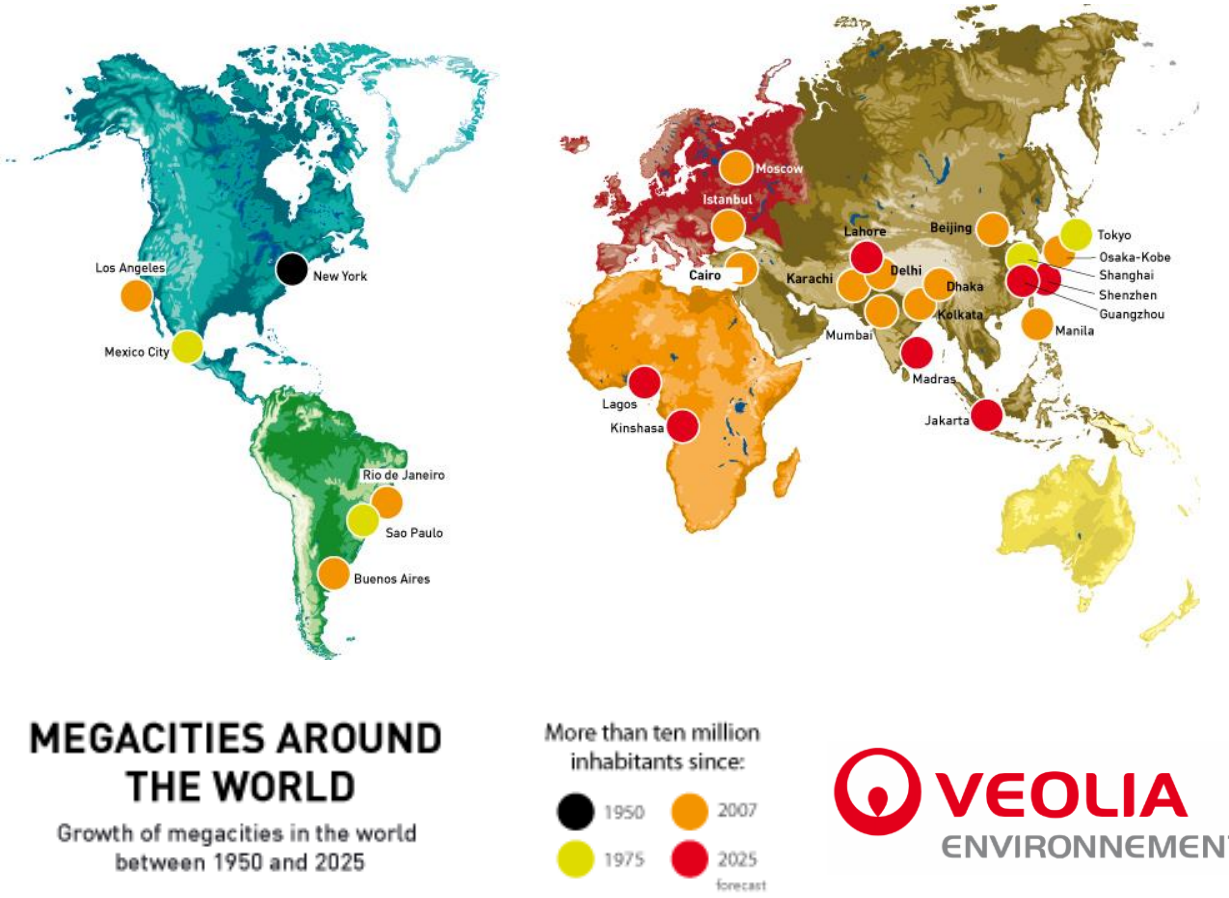
Faktor 4: Zunehmende Bevölkerung und Urbanisierung…

Zunehmende Urbanisierung hat einen großen Einfluss auf unsere Wasserressourcen

1900 → 14 % der Weltbevölkerung leben in urbanen Räumen

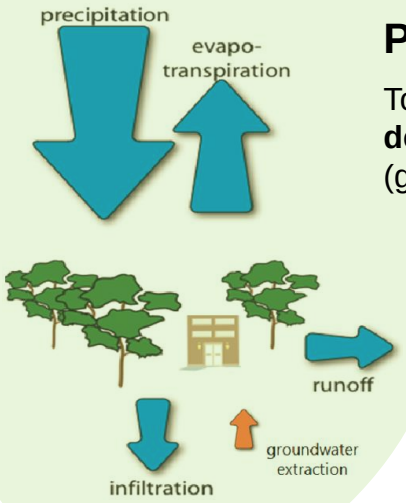
2010 → 50 % der Weltbevölkerung leben in urbanen Räumen

2030 → 66 % der Weltbevölkerung werden in urbanen Räumen leben



- Welchen Einfluss hat Urbanisierung auf den Wasserkreislauf ?
- Was sind die Konsequenzen für dortige Wasserverfügbarkeit ?
- Welche Konzepte gibt es um die Wasserversorgung sicherzustellen ?

Veränderungen des Wasserkreislaufs - Urbanisierung



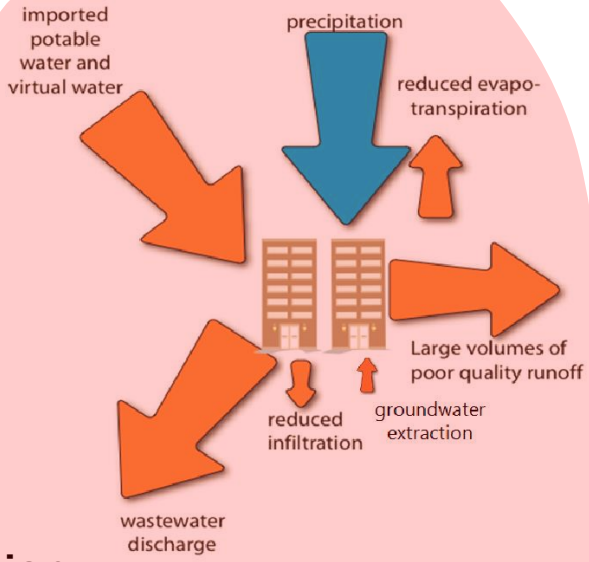
Pre-Urbanization

To a large extend natural water cycles, **water demand is typically covered by local resorces** (groundwater/surface water)

Key:

natural state

altered state

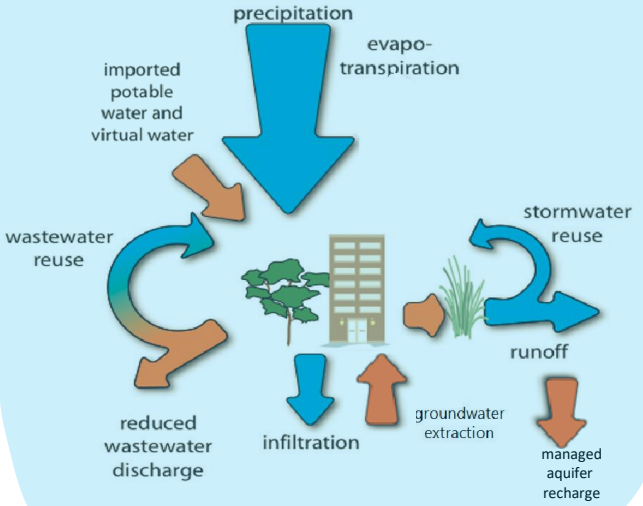


Current Urbanization

Significantly altered water cycles, large surface areas sealed, reduced evapotranspiration/infiltration, large quantities of wastewater, reduced use of local water resoures due to quality problems, **large quantities of water are imported**

„Sustainable“ Urbanization

Water reuse, optimized water cycles, reduced surface sealing, infiltration of excess water, **increased use of local resources, reduced water import**



Modified after Skinner (2013)

Was können wir tun ?

Der Klimawandel ist Realität, wir müssen alles tun um die CO_2 Emissionen zu verringern…

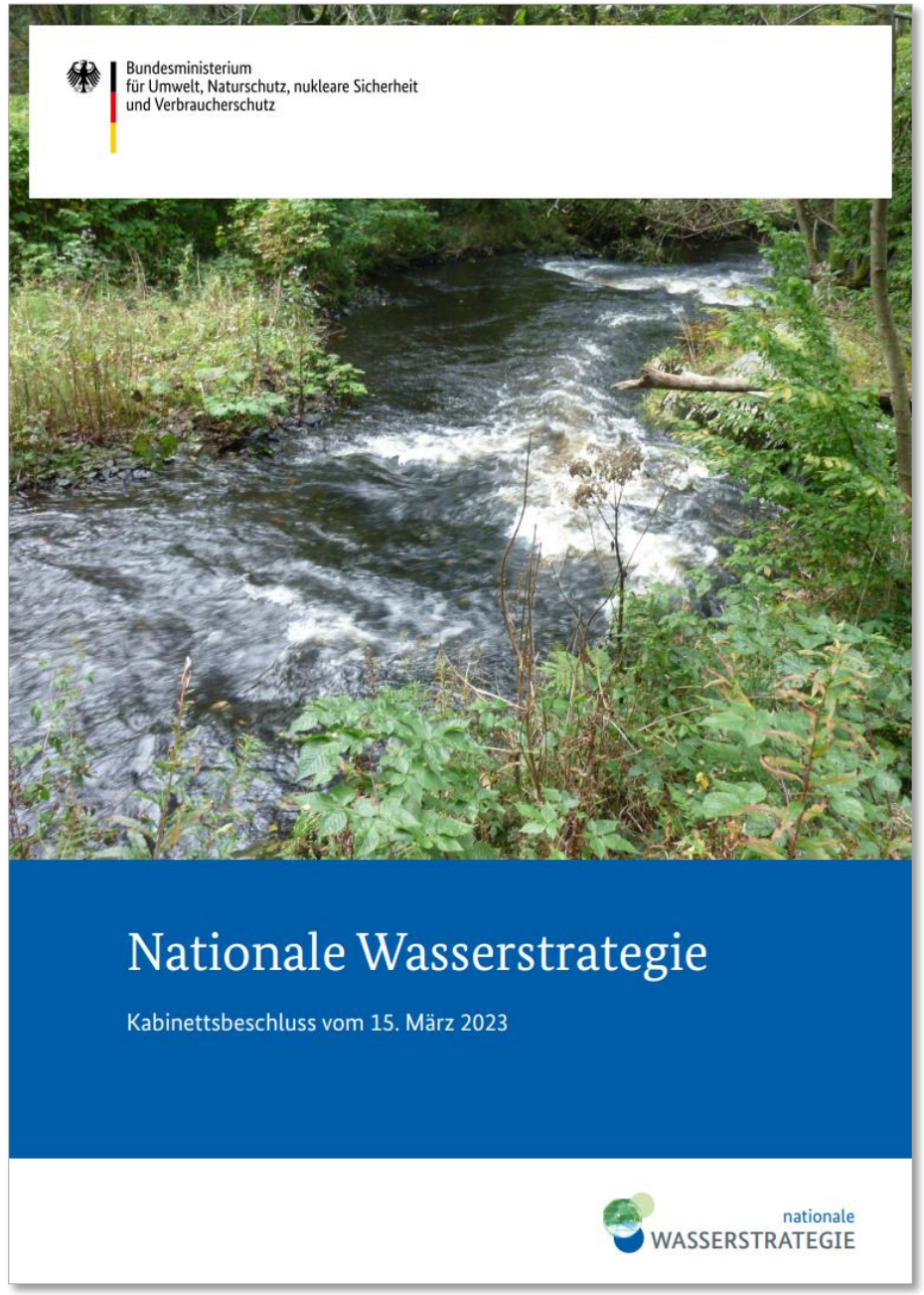
Es braucht in allen Bereichen, die Wasser verbrauchen Anpassungsstrategien

Aus der Sicht eines Hydrogeologen:

Effizientere Wassernutzung, Nutzung von alternativen Wasserressourcen, Wasser-Wiederverwendung im ‚Fit for Purpose' Konzept, Zwischenspeicherung bei hohem Dargebot – Nutzung bei hoher Nachfrage, Schaffung von Verbünden als Backup-Lösung….

…und wir haben noch nicht über Wasserqualitätsaspekte gesprochen…

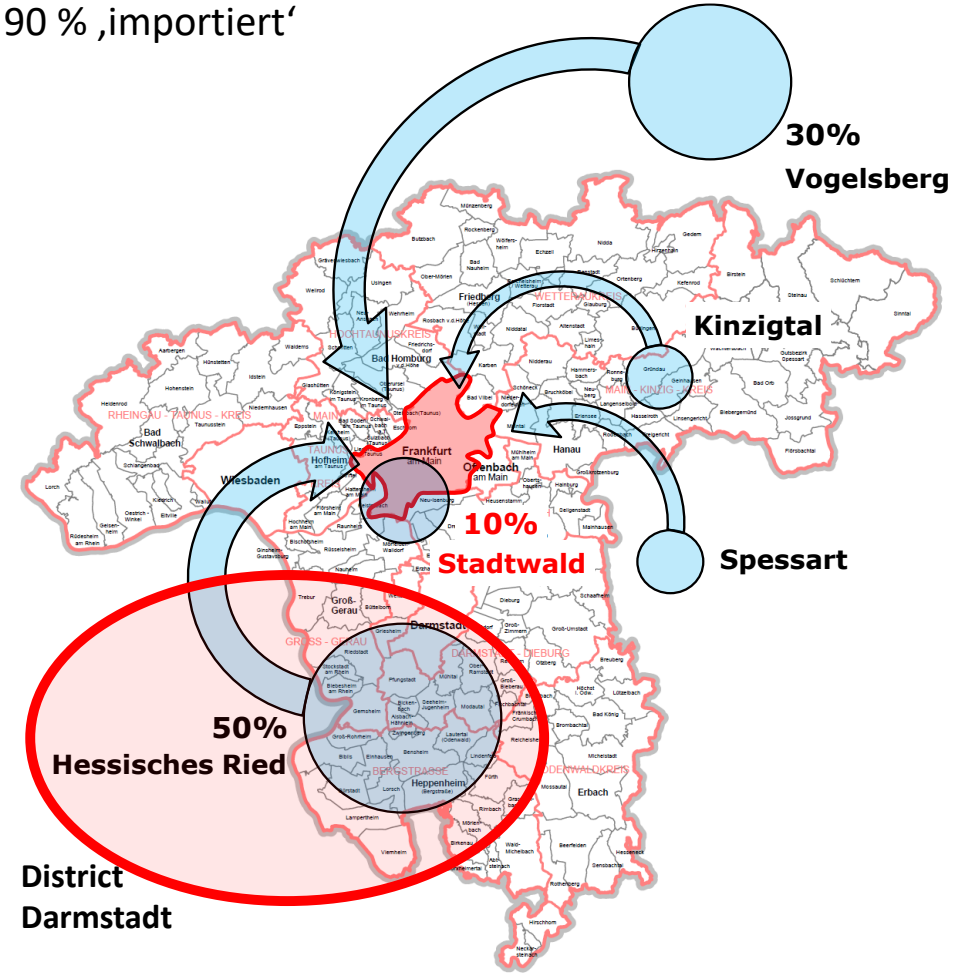
Nationale Wasserstrategie Deutschland



Beispiel Frankfurt Rhein-Main

Wasserbedarf~ 60.000.000 m³/a

90 % ‚importiert'



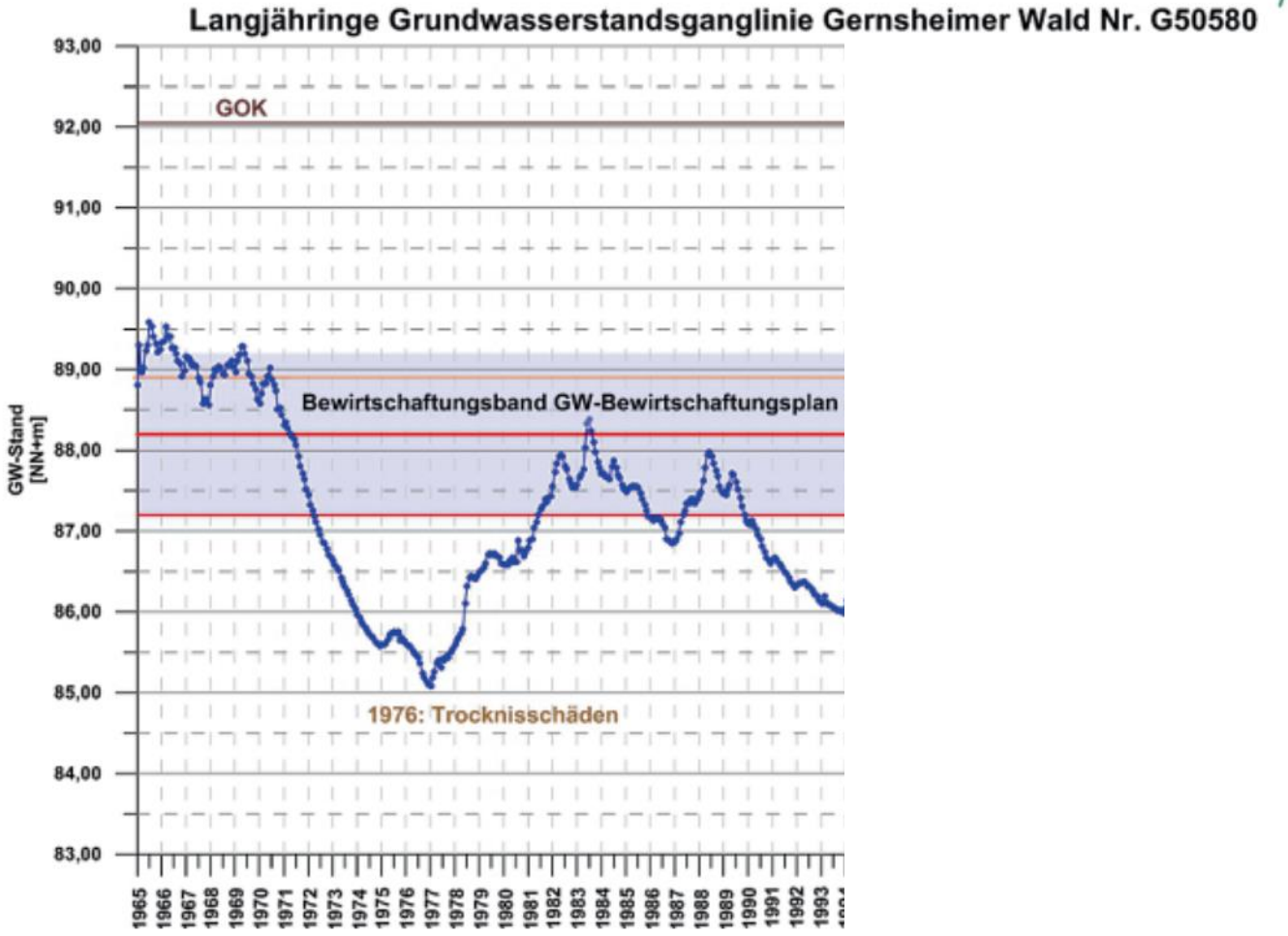
Abwasserableitung

Abgabe von 100.000.000 m³/a
behandelten Abwassers in den Main

Zusätzlich etwa 20.000.000 m³/a behandeltes
Abwasser vom Industriepark Hoechst

Rückgang der Grundwasserstände

Starke Übernutzung des Grundwassers in den 70er und 80er Jahren.



Beispiel Wasserversorgung Südhessen/Frankfurt

Wasserwerk Biebesheim, Hessisches Ried :

Max. 5,400 m³/h Entnahme von Rheinwasser (< 0,1% des durchschnittlichen Abflusses).

Aufbereitung zu Trinkwasserqualität → Wasser wird zur landwirtschaftlichen Bewässerung und zur Infiltration genutzt, seit 1989 ! **Untergrund ist Zwischenspeicher !**

Max. Infiltrationsmenge: 38 Mio m³/a; 3 Wasserwerke im Ried, Produktion von rund 52 Mio m³/a.

Infiltrationsanlagen

Infrastruktur Rheinwasseraufbereitung und Verteilung

Kapazität Rheinwasseraufbereitung

Biebesheim

43 Mio m³/y

Infiltrationskapazität

38 Mio m³/y

Kapazität der Wasserwerke

52 Mio m³/y

Bewässerung

2,5 – 8,5 Mio m³/y

(bis zu 4.5 Mio m³/y aus Biebesheim + Grundwasser)

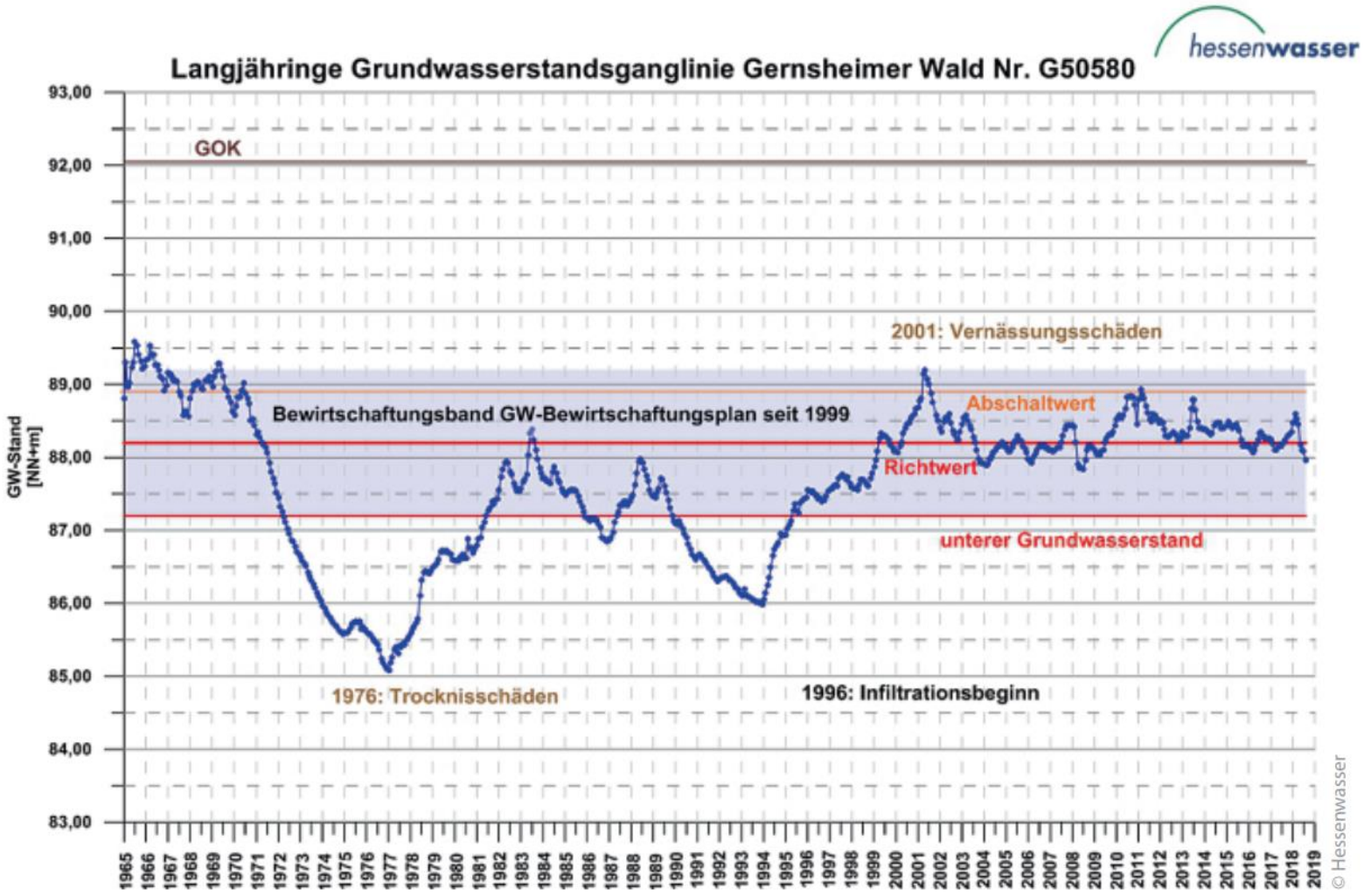
Stabilisierung der Grundwasserstände

Starke Übernutzung des Grundwassers in den 70er und 80er Jahren.

Stabilisierung nach Beginn der Infiltration in den 90er Jahren

Unterer Grundwasserstand: Keine weitere Entnahme

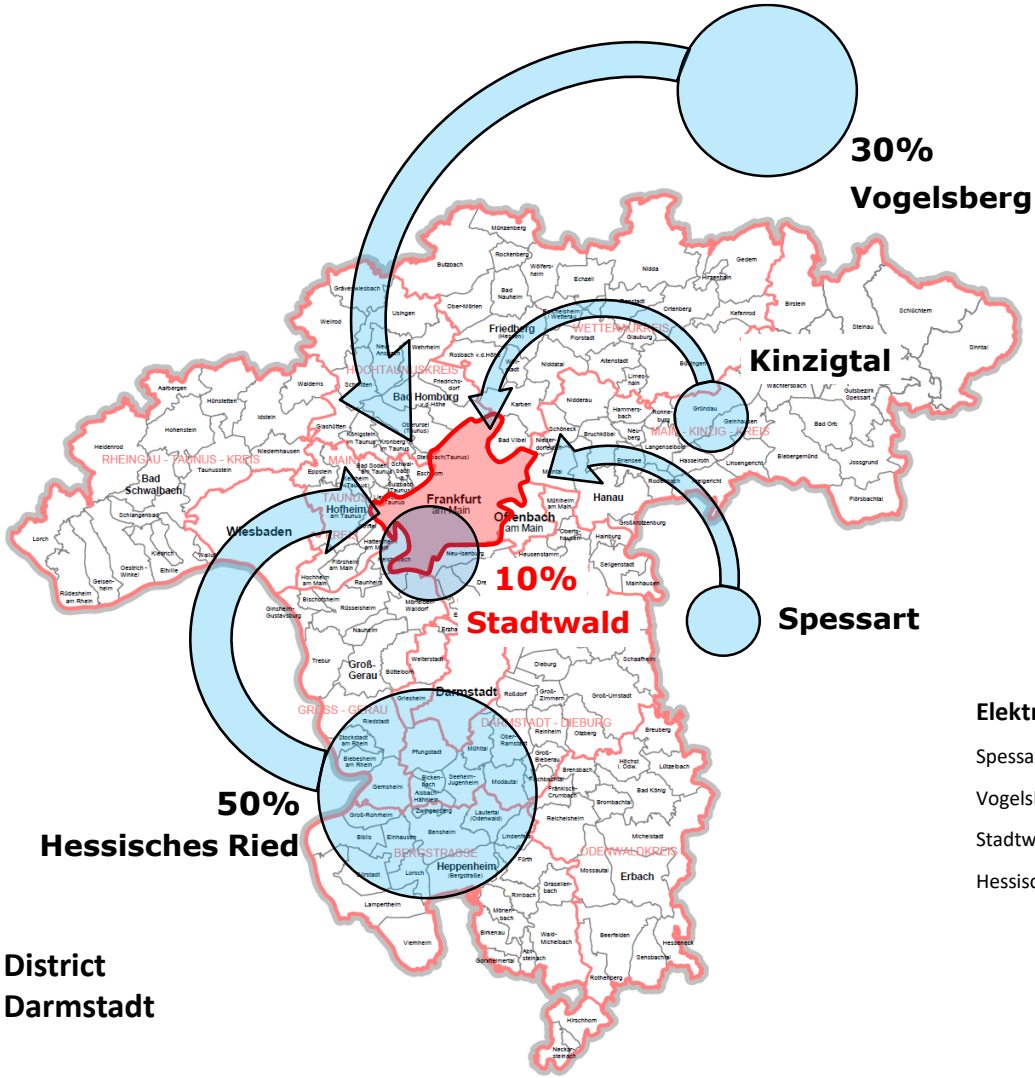
Oberer Grundwasserstand: Abschaltung der Infiltration



Beispiel Frankfurt Rhein-Main

Wasserbedarf~ 60.000.000 m³/a

90 % ‚importiert'



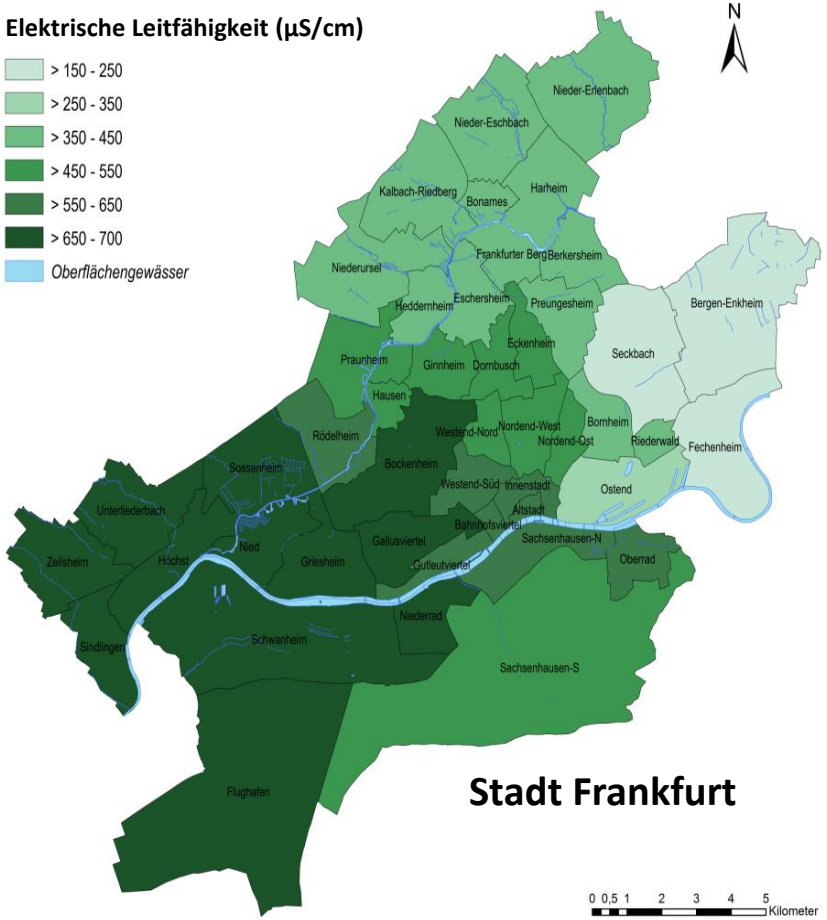
District Darmstadt

Elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)

Spessart/Vogelsberg	170 – 230
Vogelsberg	390 – 430
Stadtwald	570 – 720
Hessisches Ried	710 – 740

Hessenwasser, 2012

Elektrische Leitfähigkeit Trinkwasser Frankfurt



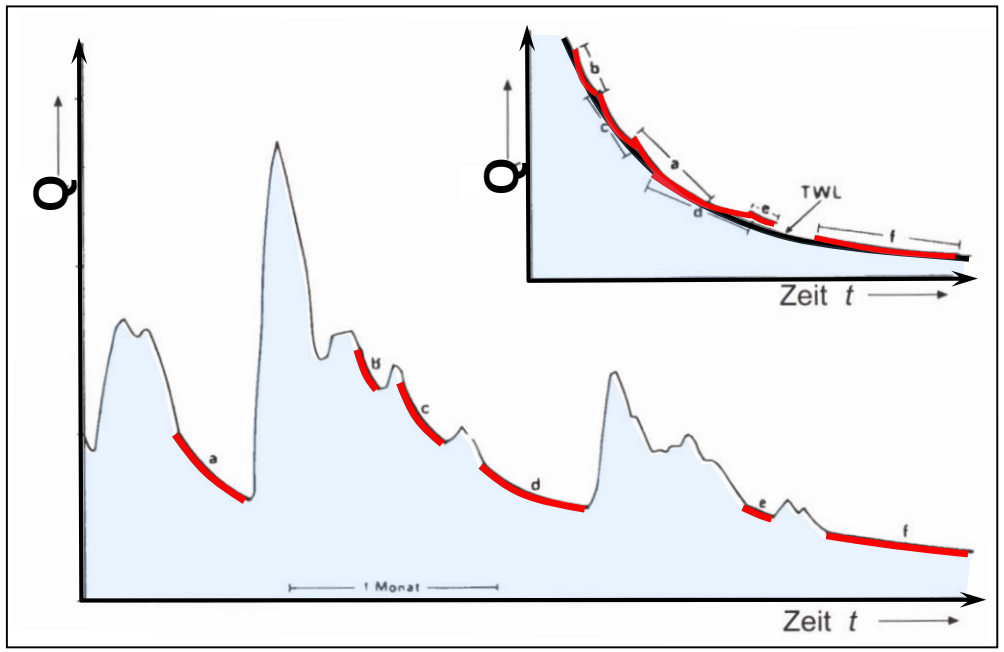
Stadt Frankfurt

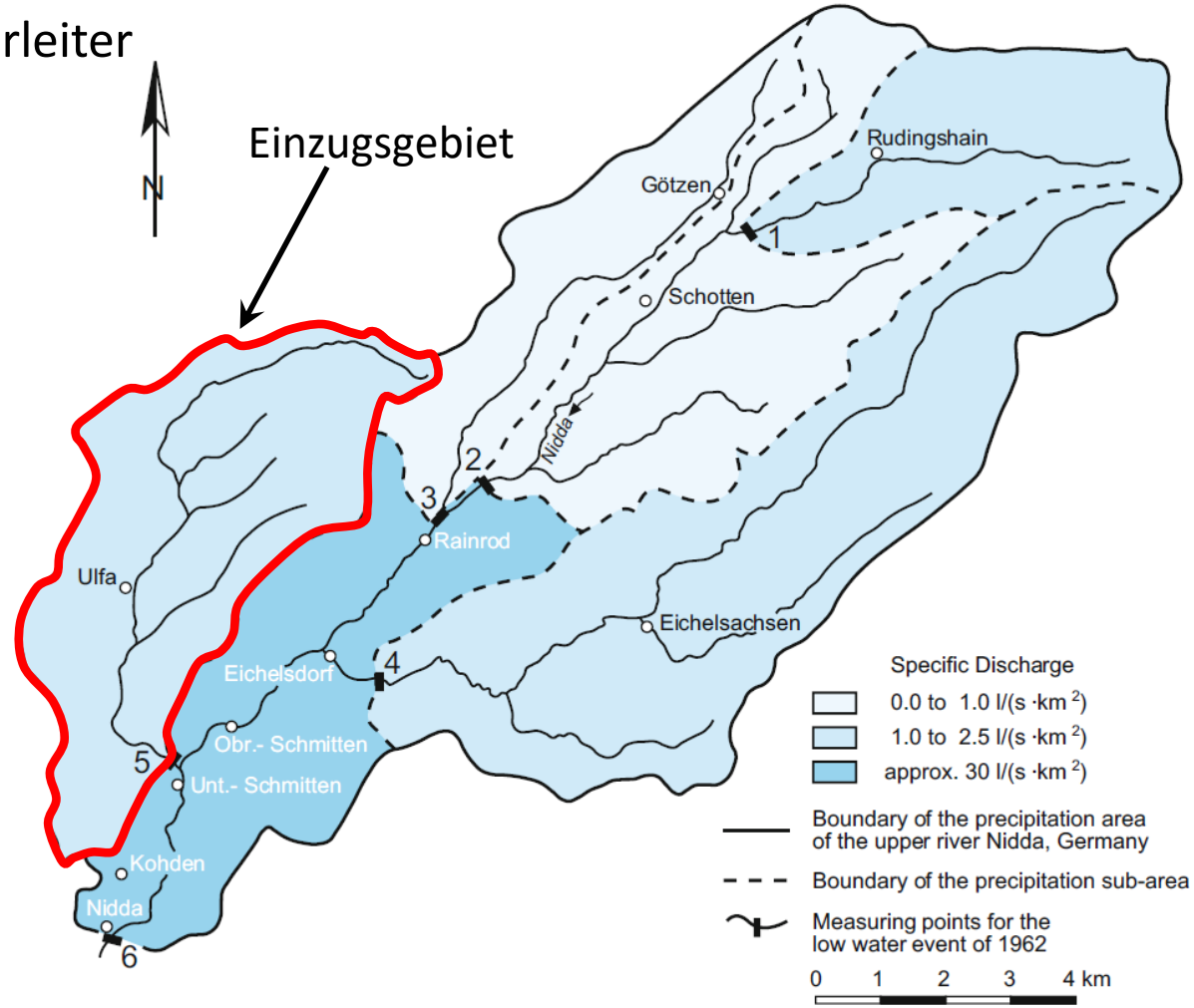
Data from Püttmann et al., Uni Frankfurt

Beispiel kleine Einzugsgebiete

Kleine Einzugsgebiete sind bei längeren Trockenperioden oft wenig resilient – schnelles *Leerlaufen* der Grundwasserleiter

Abflussganglinie eines Flusses - Trockenwetterfalllinie





Hölting & Coldewey, 2019

Resilienz durch Infrastruktur

Wasserversorgungsinfrastruktur im südlichen Hessen

Versorgungsverbünde bieten back-up Lösungen wenn Teilgebiete Versorgungsschwierigkeiten haben

Das heißt aber auf keinen Fall dass lokale Wasserversorger überflüssig sind, ganz im Gegenteil.

Lokale Ressourcen sollten genutzt werden, um die Gesamtresilienz des Systems zu steigern.

Resilienz durch Infrastruktur

Bodensee-Wasserversorgung

Wasserversorgungsinfrastruktur in Baden-Württemberg - Bodenseewasserversorgung

Versorgungsverbünde bieten back-up Lösungen wenn Teilgebiete Versorgungsschwierigkeiten haben

Das heißt aber auf keinen Fall dass lokale Wasserversorger überflüssig sind, ganz im Gegenteil.

Lokale Ressourcen sollten genutzt werden, um die Gesamtresilienz des Systems zu steigern.

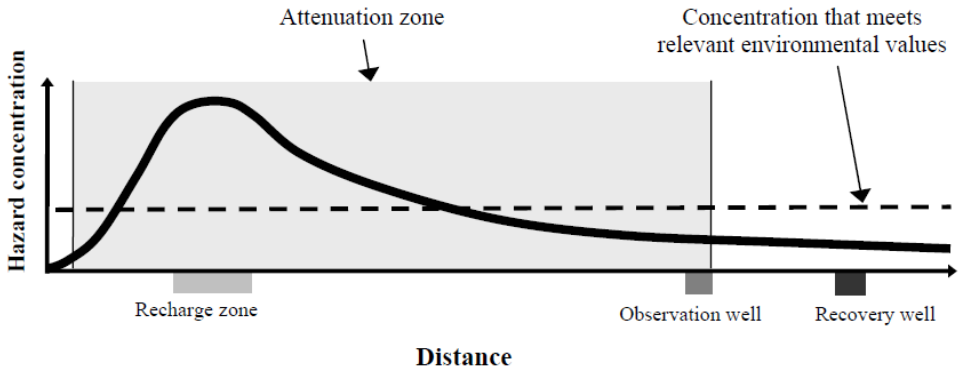
Grundwasseranreicherung – Managed Aquifer Recharge

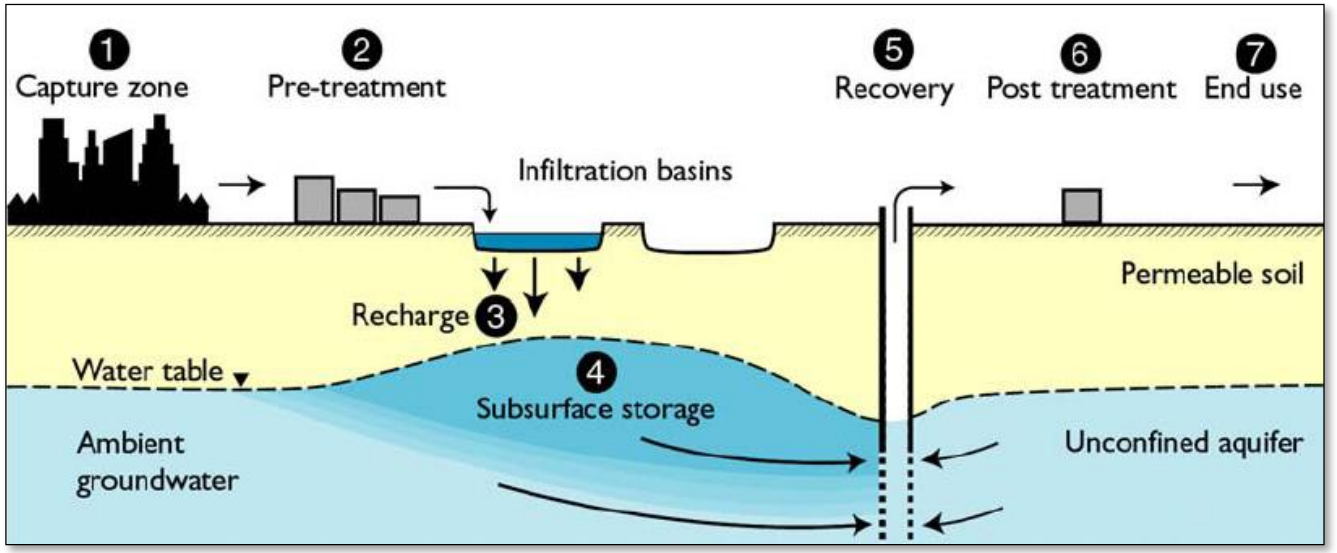
Managed Aquifer Recharge (MAR)…

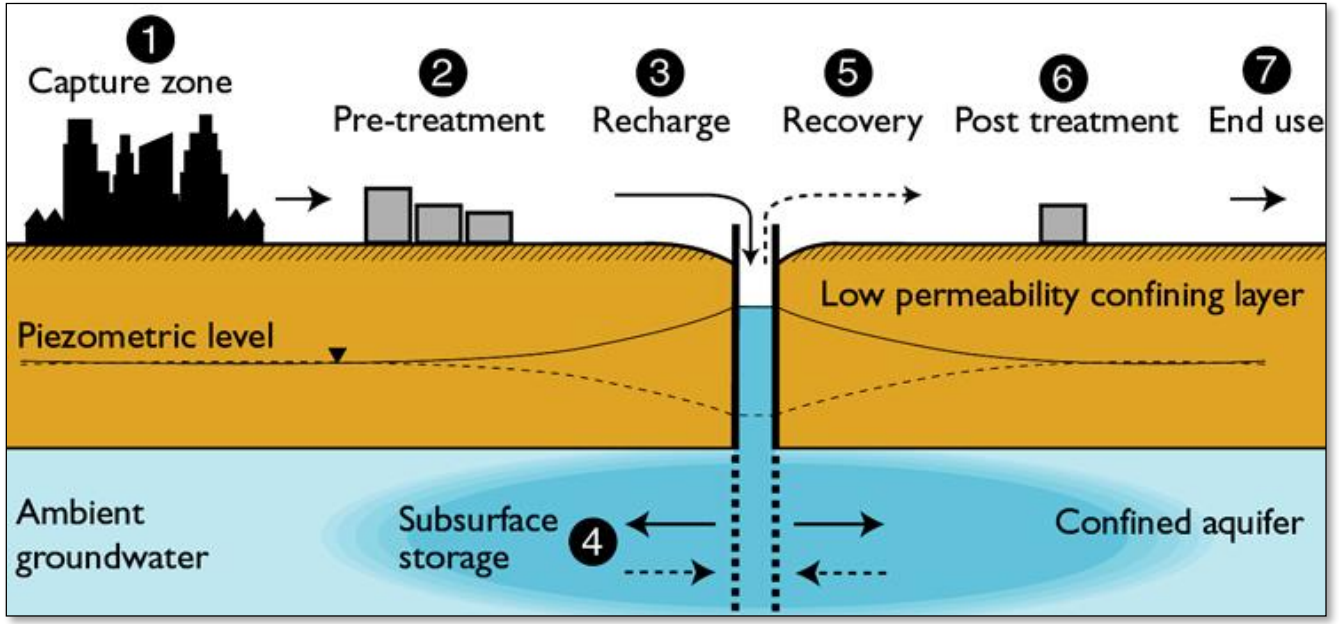
…unterschiedliche Techniken mit denen zur Verfügung stehendes Wasser durch die Bodenzone in den Aquifer infiltriert wird.

Bei der Bodenpassage kann eine Qualitätsverbesserung durch physikalische/chemische/biologische Prozesse erreicht werden →

Soil Aquifer Treatment (SAT)







Australian guidelines for Water recycling, 24: Managed Aquifer Recharge (2009)

MARSOL - Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought (www.marsol.eu)

Public (Research) Institutions (5)

- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- MRA – Malta Resources Authority
- Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ
- Autorità di Bacino
- Provincia di Lucca

Universities (6)

- Technische Universität Darmstadt
- UPC
- Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento
- ICCS
- UAlg – Universidade do Algarve
- [unidentified]

Industry (4)

- Tragsa – TragsaGroup, Partners in excellence
- Mekorot Development & Enterprise Ltd.
- ΕΥΔΑΠ
- 20 Years Water Services Corporation 1992 - 2012

SMEs (6)

- Τεχνολογικό Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου
- SGI – life, first
- IWW
- TARH
- TEASISTEMI – Energy and Environment Technologies
- PARAGON Europe

Scientific Advisory Board

MARSOL Feldstadorte

Unterschiedliche Wässer in unterschiedlicher Qualität – unterschiedliche Techniken

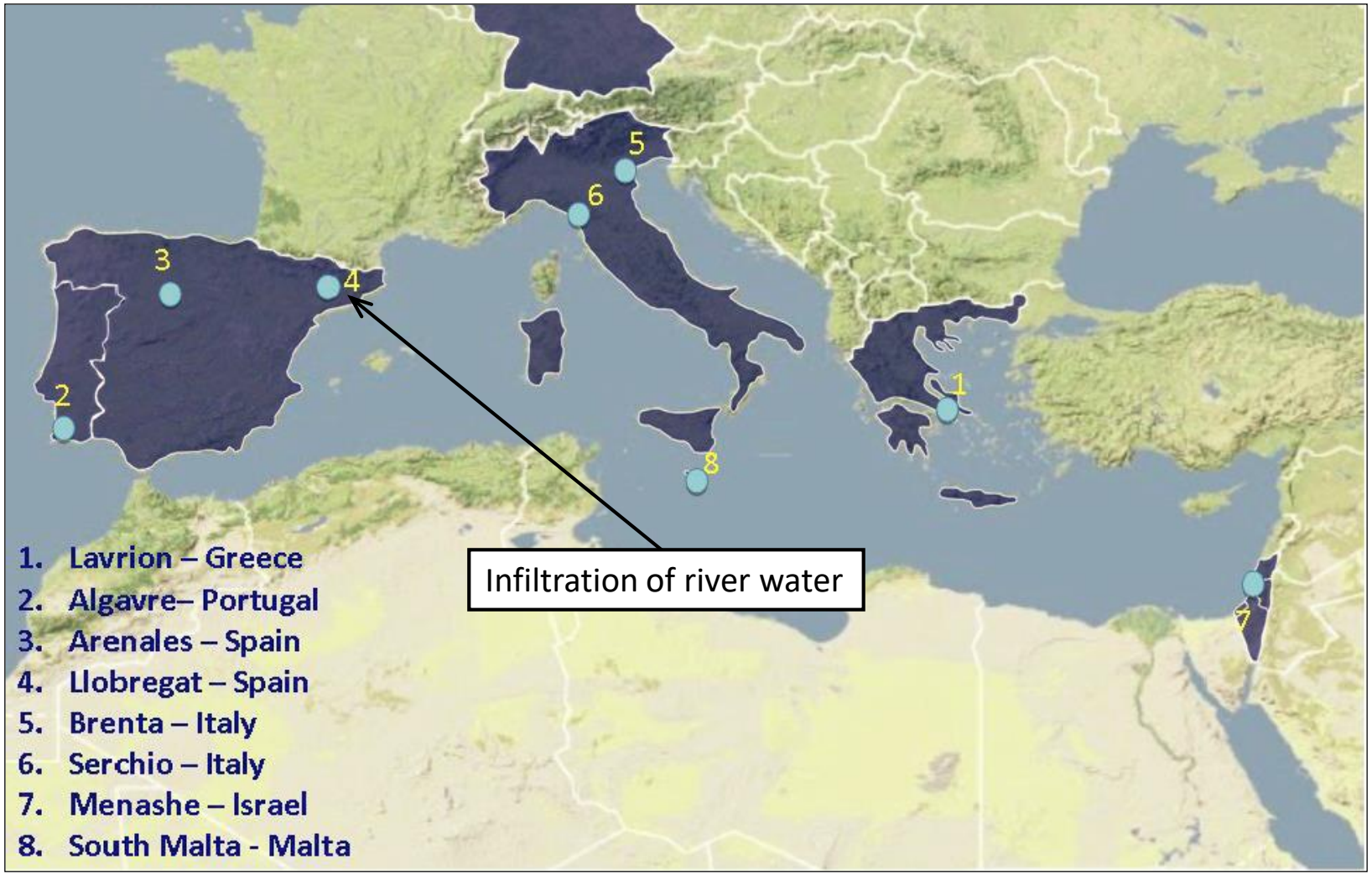
MARSOL

Demonstrationsanlagen zur Infiltration von ...

…behandeltem Abwasser, Flusswasser, desaliniertem Wasser, Regenwasser…

MARSOL Field sites

Various water sources and qualities - various technologies - various objectives



Infiltration of water from Llobregat river

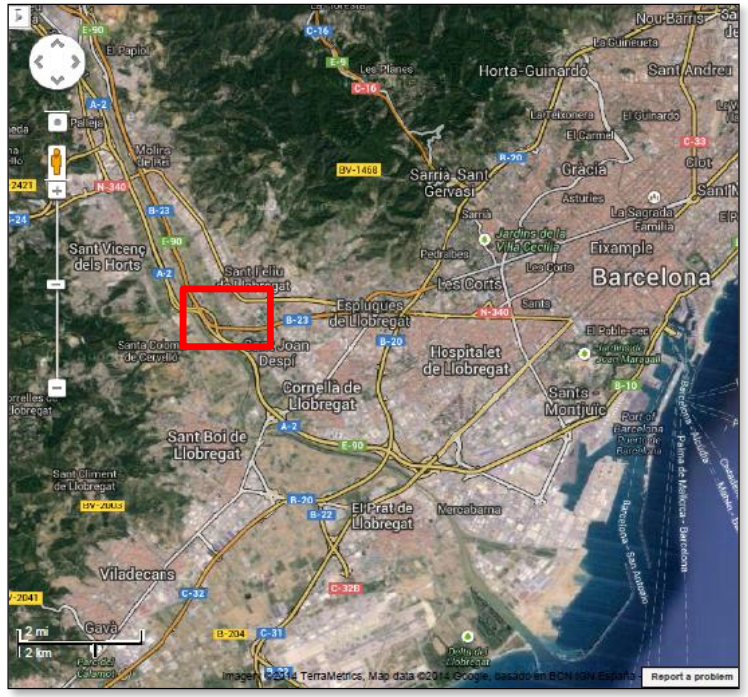
Artificial aquifer recharge through infiltration ponds. The site includes a sedimentation and an infiltration pond. Water for recharge is diverted from the Llobregat River. Recovery is done by extraction wells downgradient.

Major goals

(i) increase the strategic groundwater reserves in the Llobregat aquifer in order to supply water to Barcelona

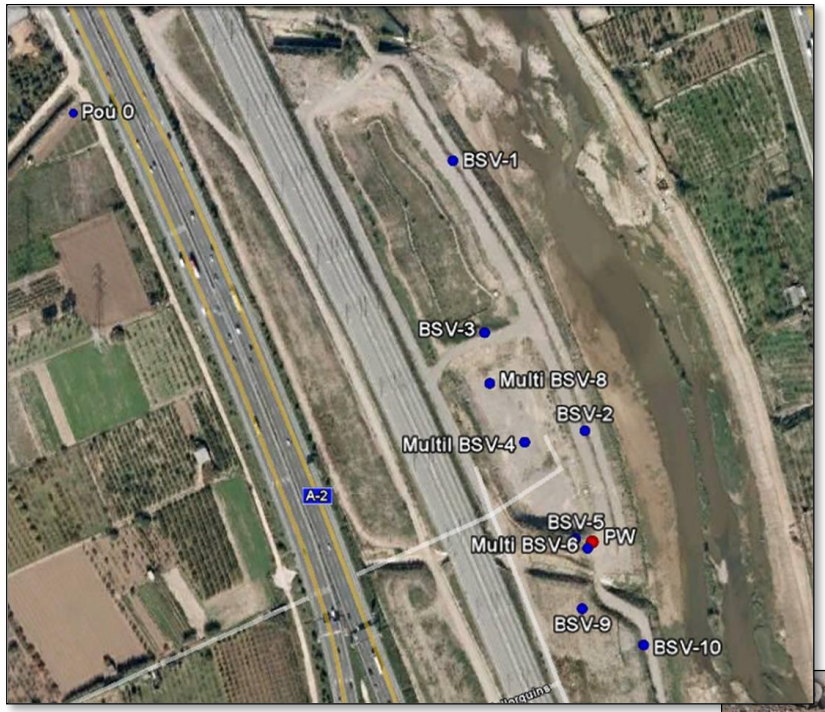
(ii) improve the groundwater quality

(iii) Improve infiltrated water quality with respect to nitrate



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH

Site installations / activities

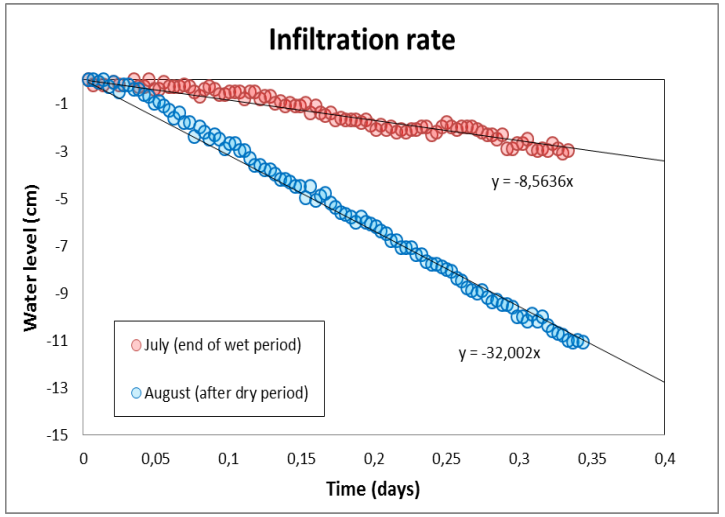


Soil/sediment sampling

Pumping test, tracer test, etc.

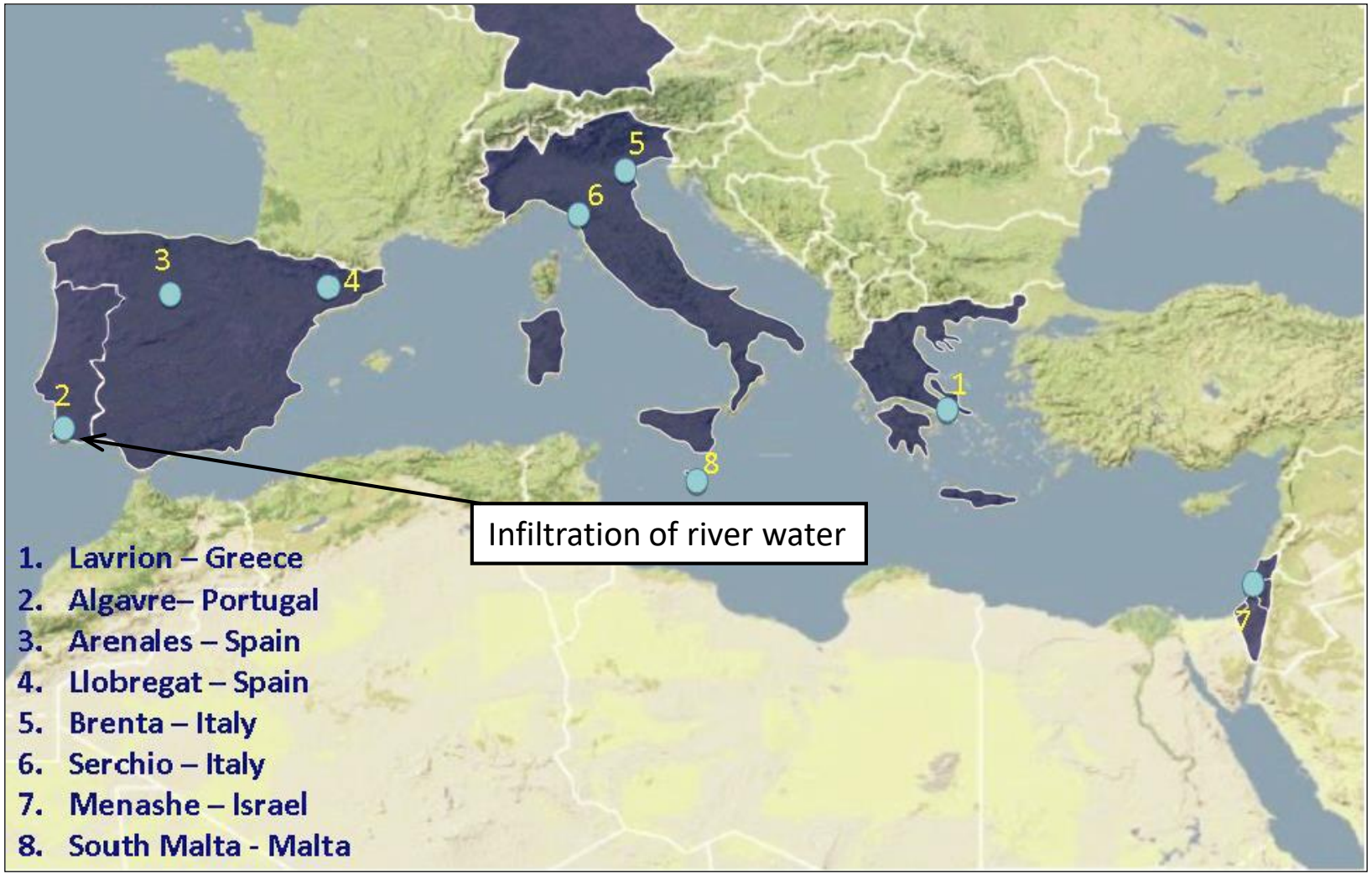
Monitoring of infiltration rates

Multilevel piezometer, tensiometer, …



MARSOL Field sites

Various water sources and qualities - various technologies - various objectives



Direct Infiltration of Rio Seco water

Preparation of highly permeable zones in the bed of the Rio Seco during dry summer months.

MAR SOL MANAGED AQUIFER RECHARGE SOLUTIONS

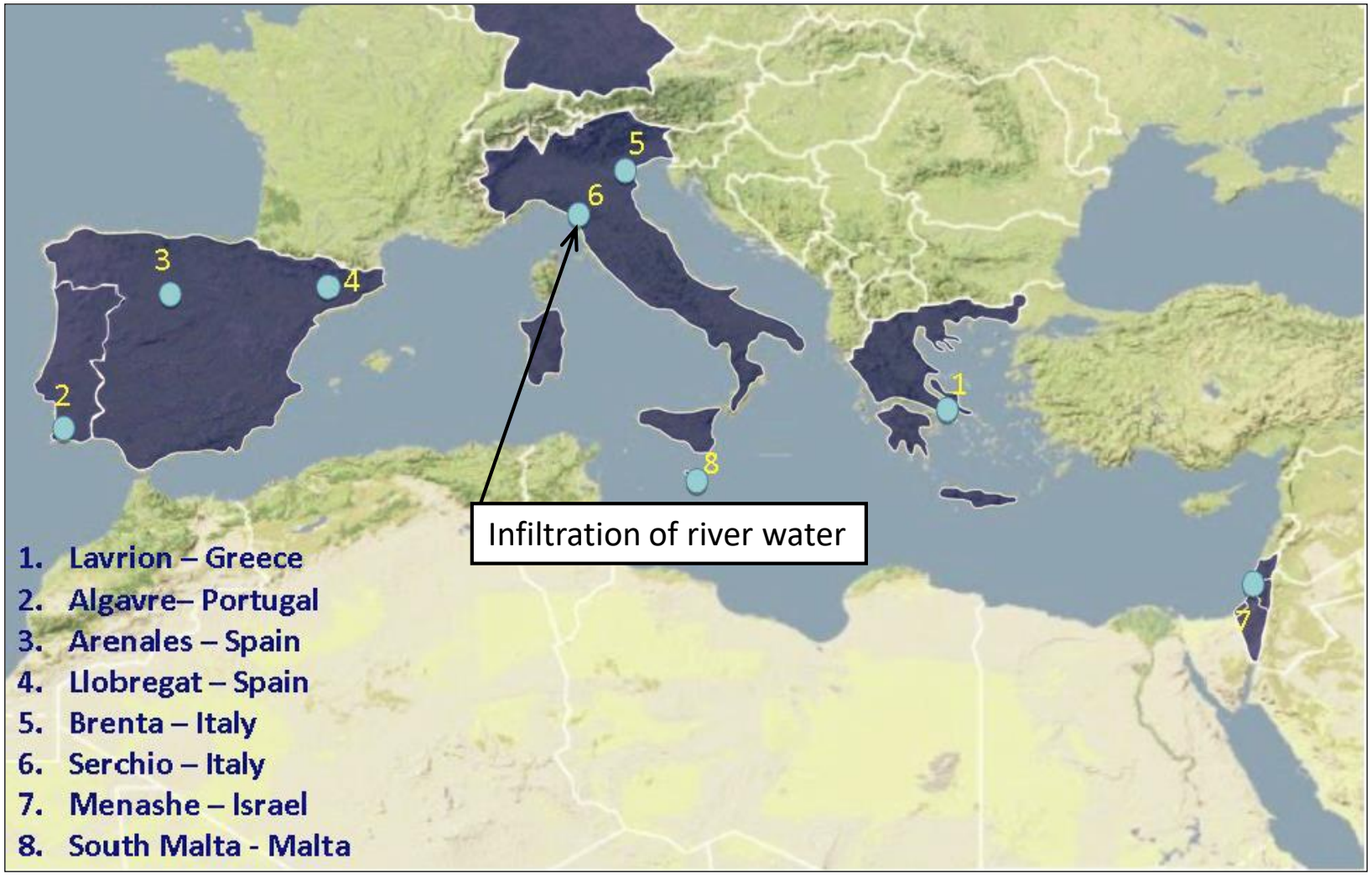
LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Direct Infiltration of Rio Seco water

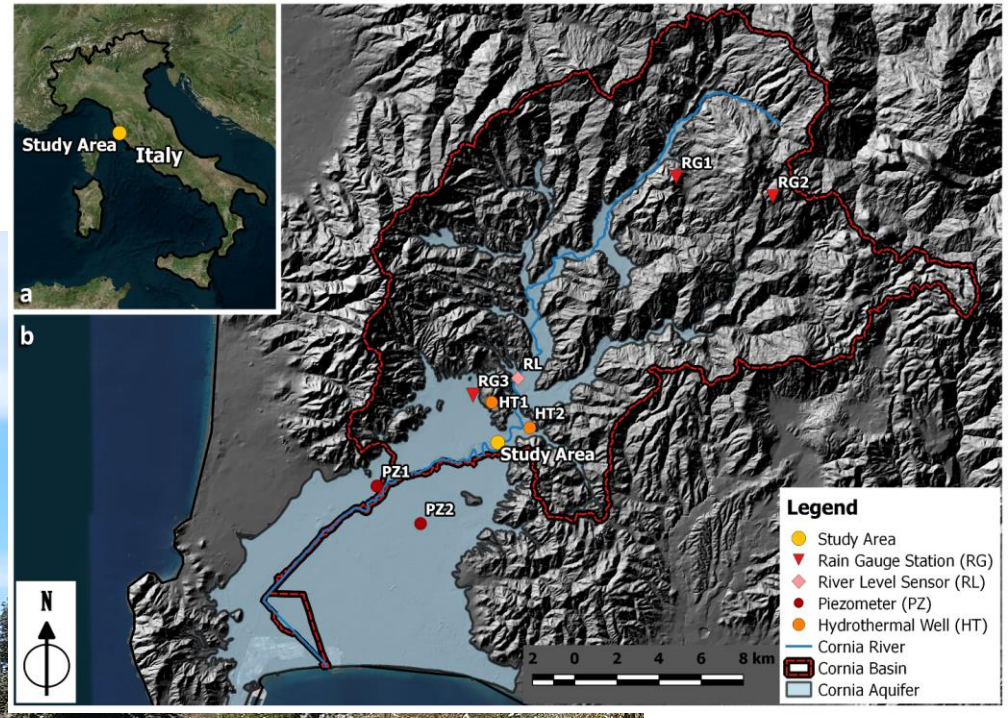
Tracer experiment with salt to determine infiltration capacity and flow directions.

MARSOL Field sites

Various water sources and qualities - various technologies - various objectives

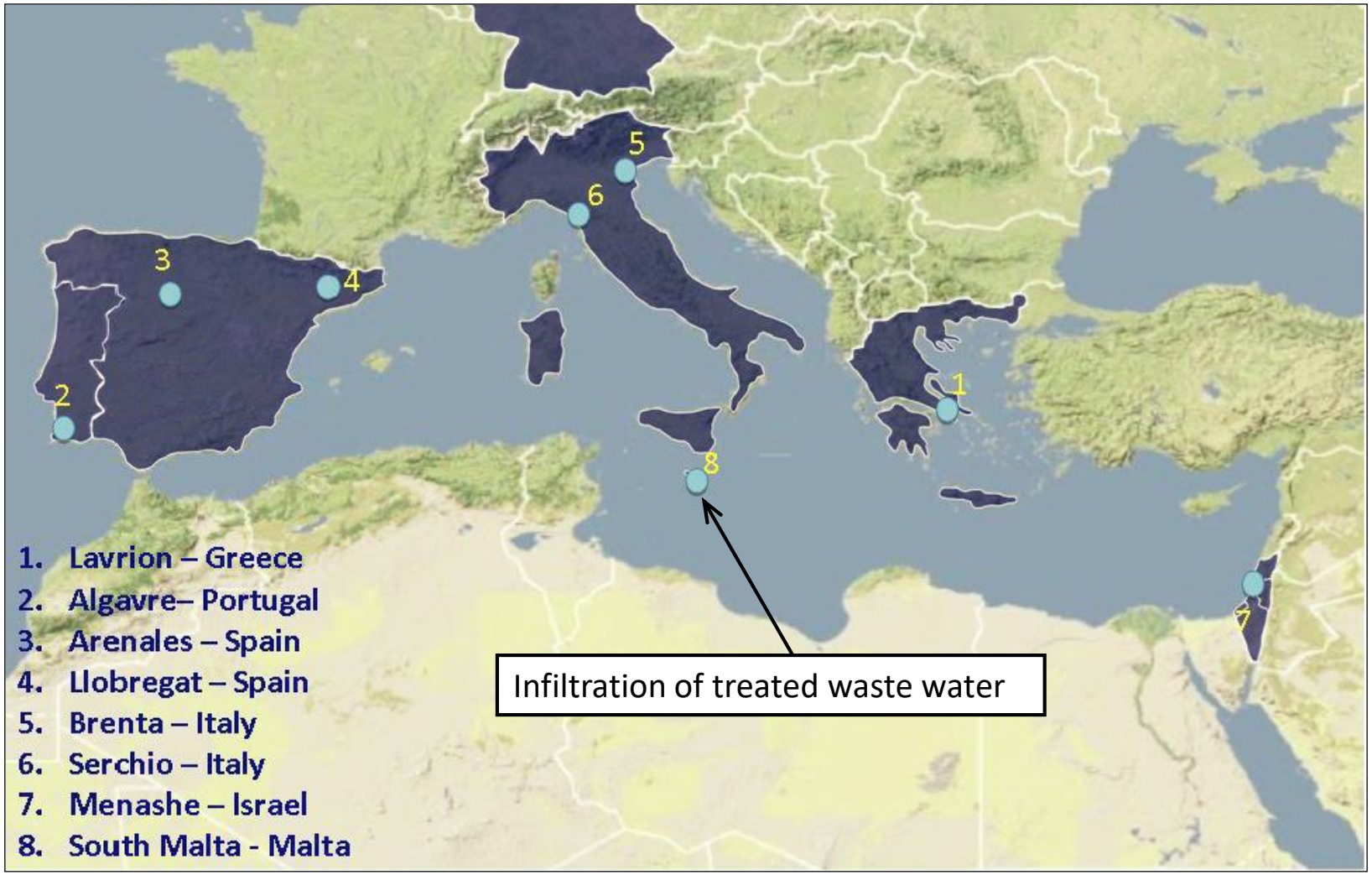


Direct Infiltration of Cornia River water



MARSOL Field sites

Various water sources and qualities - various technologies - various objectives



MARSOL

Treated waste water - Malta

A floating lens of freshwater in direct contact to seawater. Due to agricultural water abstraction incrasing problems with seawater intrusion.

Availability of large quantities of waste water effluent available from a nearby treatment plant. Water used for irrigation, but a surplus is available

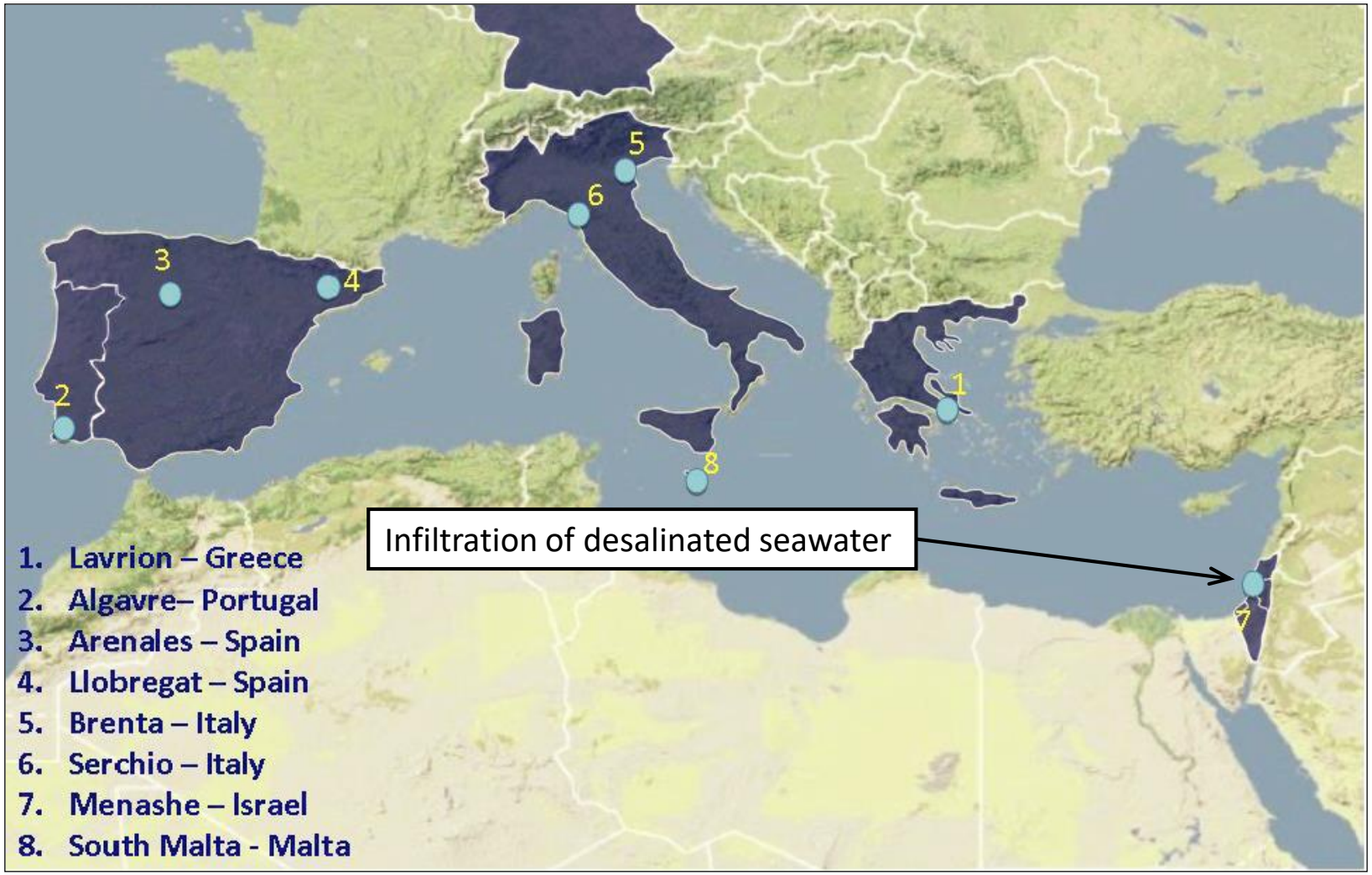
Major goals

(i) combat sweater intrusion by creating a hydraulic barrier

(ii) increase availability of freshwater in the coastal aquifer

MARSOL Field sites

Various water sources and qualities - various technologies - various objectives



MARSOL

Desalinated sea water - Israel

5 desalination plants currently operating

Desalination plants built under build-operate-transfer (BOT) contracts.
Production costs ~ 0. 70 € / m³.

- Less dry periods during the last years

→ **Production of an increasing amount of excess water in times of low demand or mainainance of the distribution system**

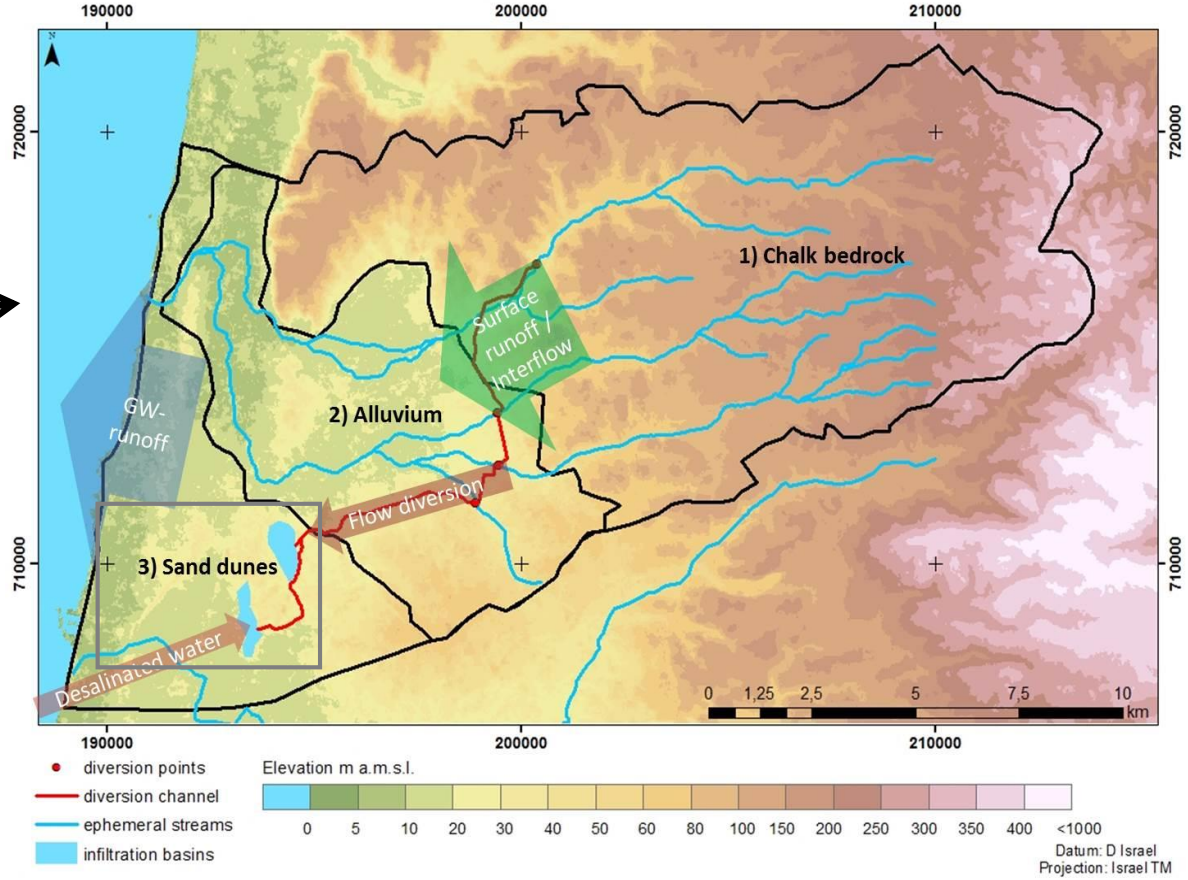
Water authorities aim at seasonal storage as well as aquifer storage recovery (ASR) of large volumes of these surpluses in the adjacent coastal aquifer via artificial recharge. Techniques include infiltration ponds and injection wells.

Hadera Desalination plant: 120 Mio m³/a
20 % of Israel's demand for potable water

MARSOL

Desalinated sea water - Israel

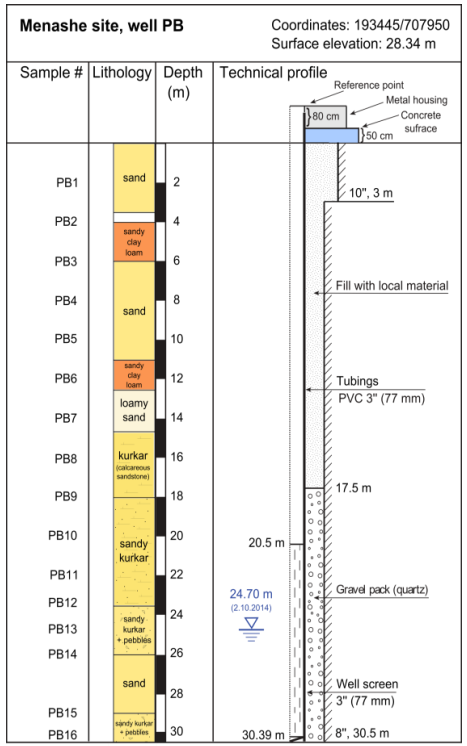
Nachalei Menashe Watershed: ~ 200 km², 4 main ephemeral streams stormwater collection since 1966, 4 dams/diversion points, 16 km diversion channel, 1 settlement basin, 3 infiltration ponds

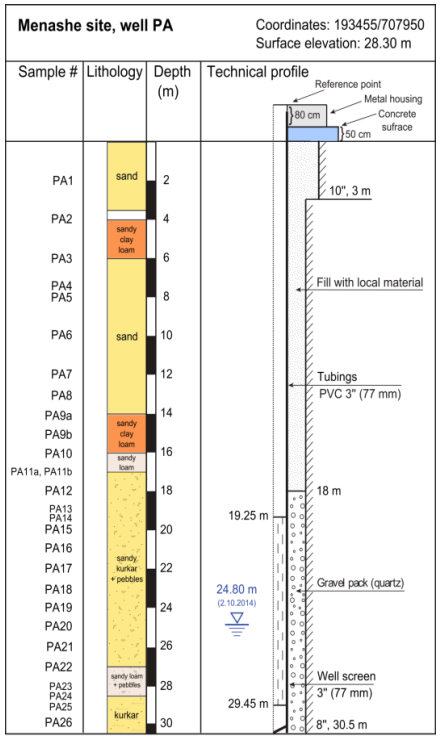


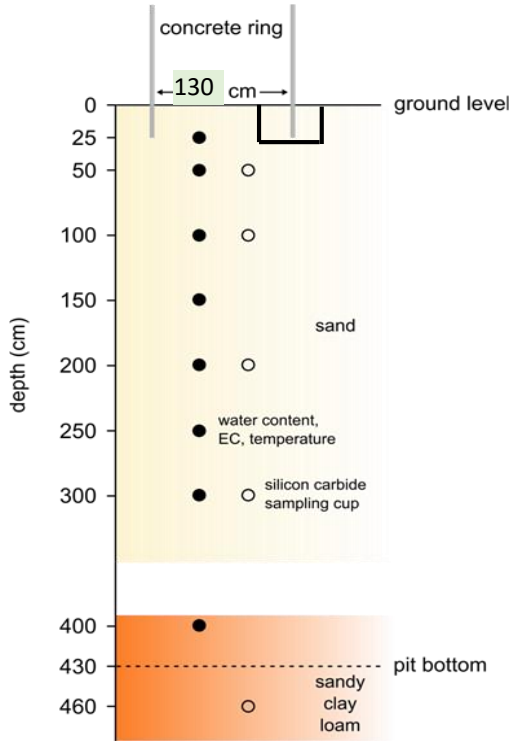
Setup of the field site

pumping station for water from Hadera and inlet pipeline

Monitoring wells







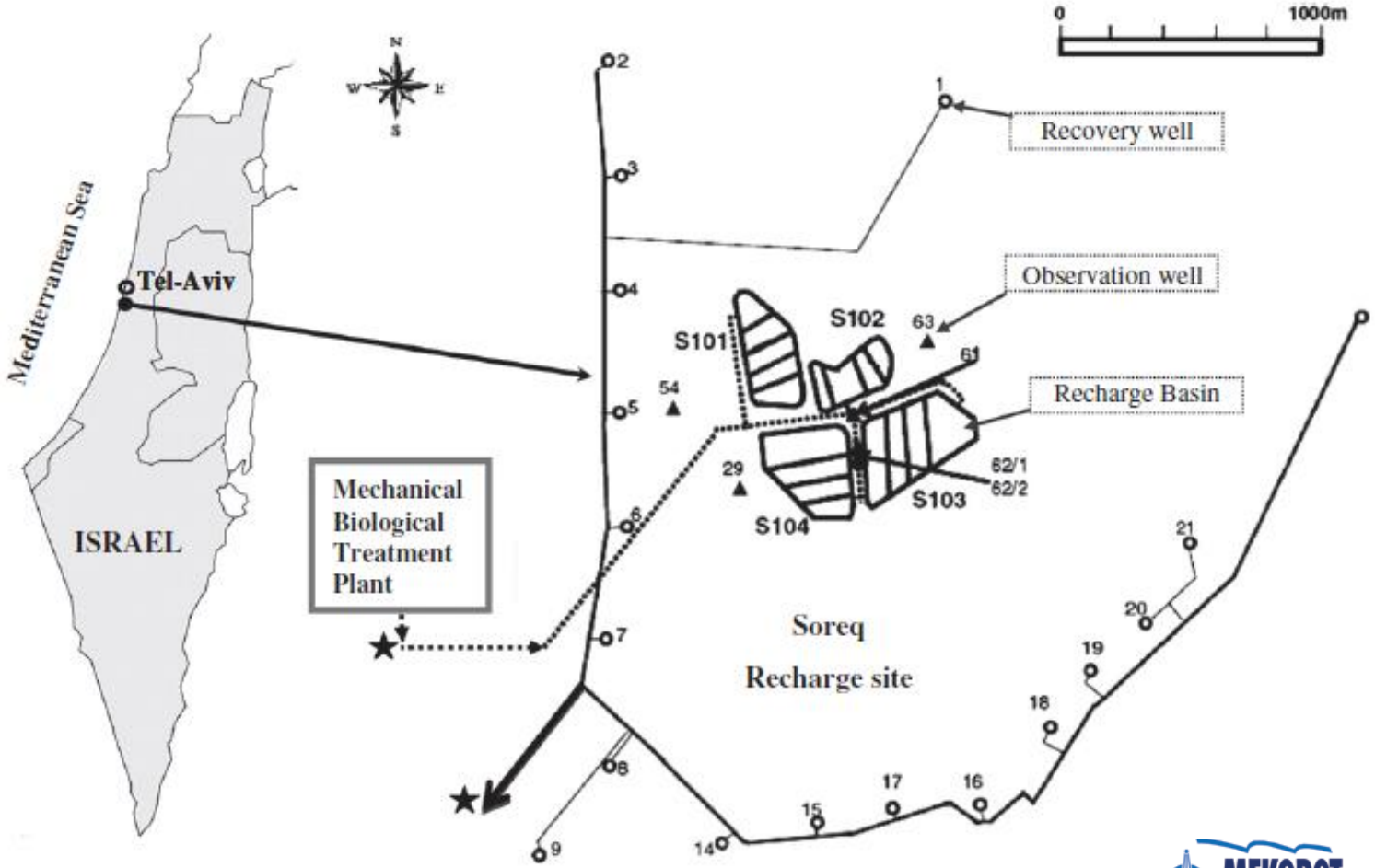
Flooding in Feb 2014, and infiltration measurements

Managed Aquifer Recharge in Israel

Dan Region Wastewater Treatment Plant (Shafdan) in Israel

The main components of the reclamation system include: (i) a mechanical - biological treatment plant, (ii) infiltration basins and (iii) recovery wells from which a conveyance system distributes the reclaimed wastewater.

Infiltration of about 130 Mio m³/a !



Arye et al. (2011): Fate and transport of carbamazepine in soil aquifer treatment (SAT) infiltration basin soils.

MEKOROT
ISRAEL NATIONAL WATER CO.

Water Quality has to be regulated

Compounds found in treated waste water in Europe

Category	Number of Sub Categories	Number of Substances	Source/Indicator for	Number of data
Pharmaceutics	58	292	Domestic, Hospital	9,379
Industrial Chemicals	11	87	Industry	1,020
Personal Care Products	9	32	Domestic	348
Pesticides	5	39	Agriculture	565
Food Additives	1	6	Domestic	84
Others	1	2	Domestic	6
Total	85	458		11,402

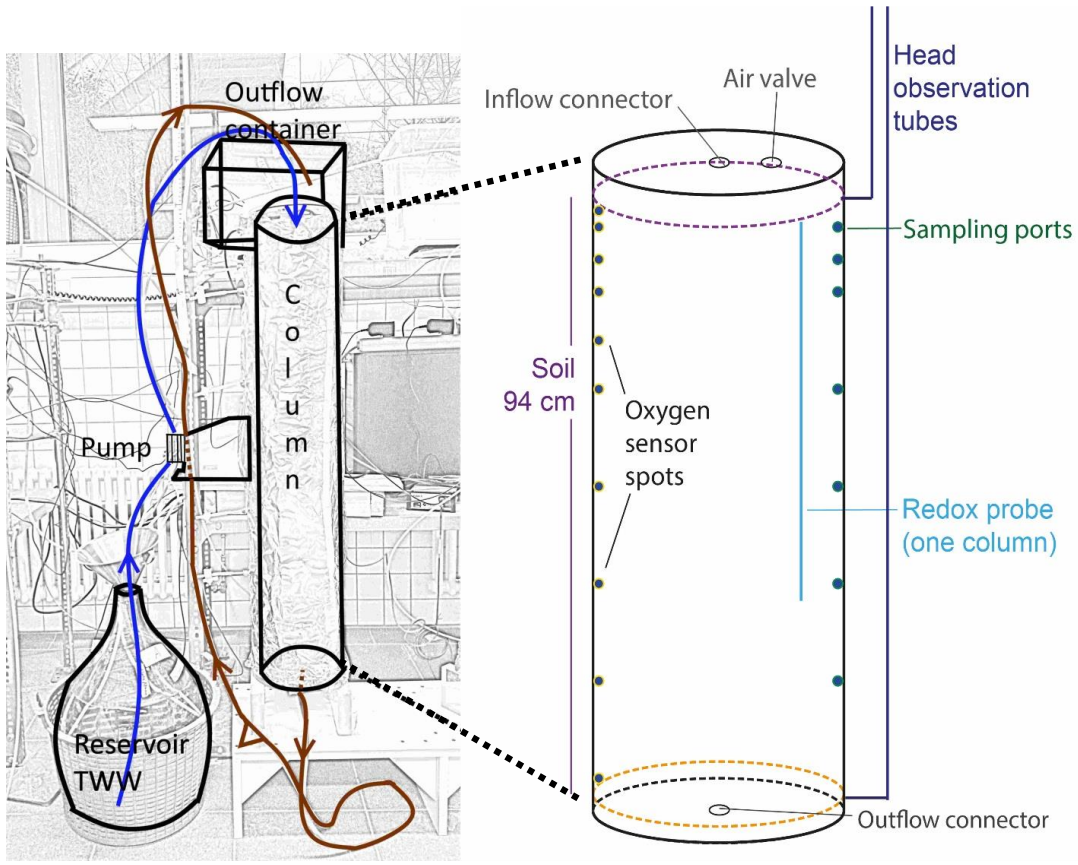
Numerous compounds are found in e.g.treated waste water from varous sources. Similar patterns all over Europe…

…as they are found in treated waste water, they are also found in surface waters…

	Treated waste water (municipal) [µg/L]		Comparison Max	Surface water [µg/L]	
	Min	Max		Min	Max
Pharmaceuticals					
Carbamazepine	0.0020	67.7150	>	0.0001	11.5612
Ciprofloxacin	0.0030	5.6920	<	0.0010	13.5670
Clarithromycin	0.0040	1.7270	<	0.0008	2.3300
Clofibric acid	0.0020	1.8000	<	0.0002	7.9100
Diclofenac	0.0017	97.0000	>	0.0002	18.7400
Erythromycin	0.0009	3.8470	>	0.0007	0.3625

Laboratory Column Experiments

Soil from Greece, TWW from Eberstadt (Germany)



Measurements:

- Hydraulic head
- Volumetric flow rate
- Oxygen concentration
- Collection of samples – various chemical analyses
- Redox potential

Pharmaceuticals:
Acetylsalicyl acid
Carbamazepine
Diclofenac
Fenoprofen
Gemfibrozil
Ibuprofen
Naproxen

Antibiotics:
Doxycycline
Sulfamethoxazole
Sulfamethazine

Das Konzept Schwammstadt (Sponge City)

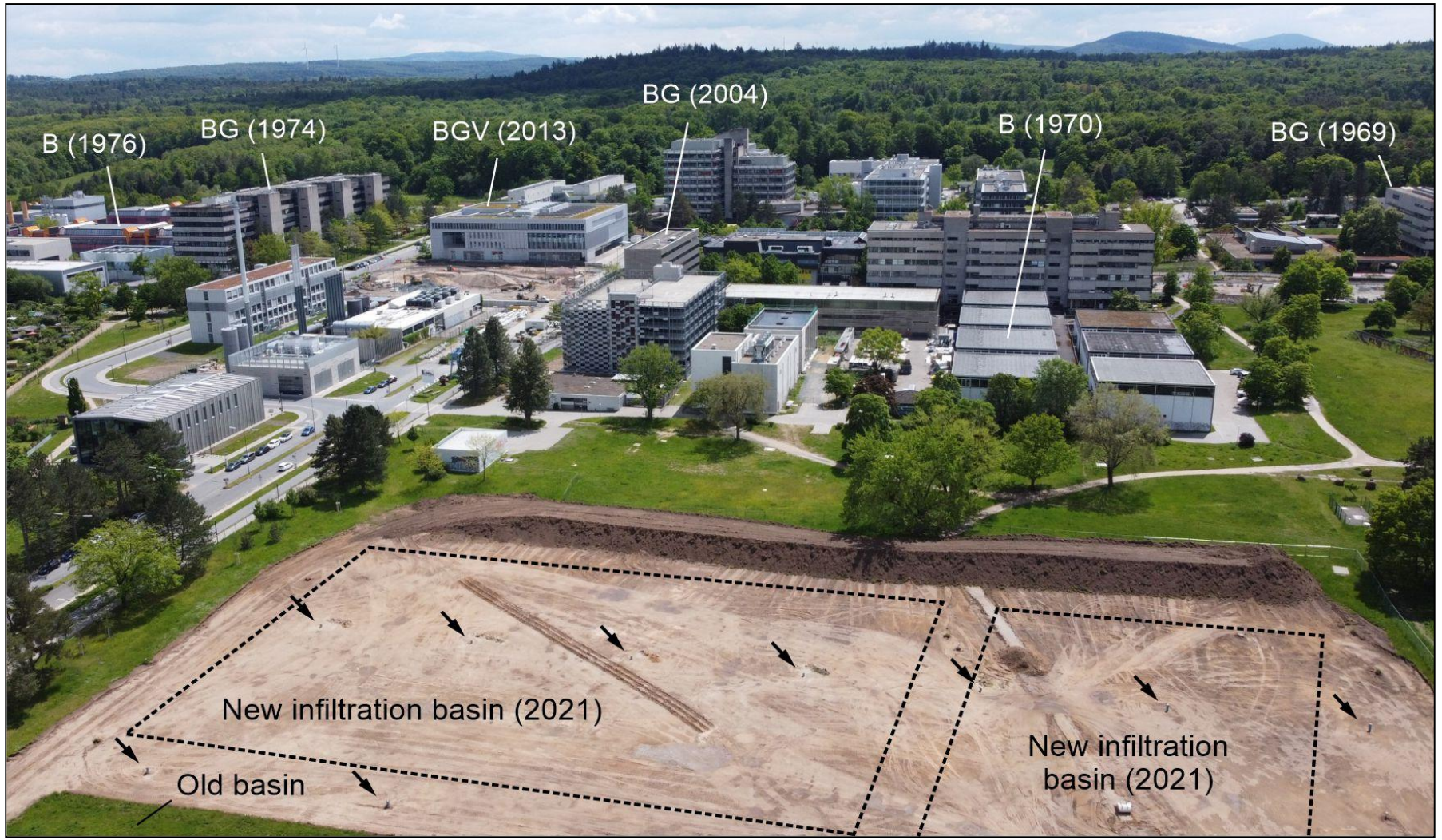
Schwammstadt:
Regenwasser in Städten wird lokal durch Grünflächen, Infiltrationsbecken oder versickerungsfähige Bepflasterung im Untergrund gespeichert, anstatt es lediglich zu kanalisieren und abzuleiten.

Vermeidung von Überflutungen bei Starkregenereignissen, Verbesserung des Stadtklimas und Wasserressourcen nutzbar in Trockenperioden

Shi et al., *Water*, 2023.

Beispiel Wassermanagement TU Darmstadt Campus ‚Lichtwiese‘

Sammlung von Oberflächenabfluss von allen versiegelten Flächen (Dachabläufe, Straßen, Fußwege) und Infiltration in angelegten Becken. Entnahme zu Bewässerungszwecken und als Prozesswasser.



MARSoluT (2019-2023)

Managed Aquifer Recharge Solutions Training Network
(EU-MSCA-ITN)

MARSoluT
Managed Aquifer Recharge ITN

Tackle specific challenges in the operation of MAR sites that have been identified in MARSOL, especially related to the operation of sites, water quality, and processes in the unsaturated zone.

Beneficiaries

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Agricultural Research Organization Volcani Center

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH

LNEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Tragsa Grupo

THE ENERGY & WATER AGENCY

UAlg UNIVERSIDADE DO ALGARVE

National Technical University of Athens

Partners

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE

IWW

MEKOROT ISRAEL NATIONAL WATER CO.

TEASISTEMI ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGIES

TEL AVIV UNIVERSITY

ERM

GREEN 2 SUSTAIN

water services corporation

Training of Early Stage Researchers (ESRs) to become experts in the application of MAR

Edinsson Muñoz Vega

Holding an M.Sc. in Water Resources and Environment of the University of Chile, Edinsson worked as a hydrogeologist with five years of experience in experimental studies and numerical modelling. His interests lie in treatment techniques for emerging organic pollutants, related to managed aquifer recharge solutions.

Marcel Horovitz

Marcel graduated in geology with emphasis in
Jena, Germany, and worked four years as hydr
environmental fate of pesticides. He is interest
organic emerging pollutants - originating from
treatment plants - in aquatic systems and soil.

José David Henao Casas

José is a geological engineer with two years of
hydrogeological monitoring. He holds an Erasm
Degree in Groundwater and Global Change. Hi
adapt to climate change from a hydrogeologic
when it comes to the technical design of MAR

Rodrigo Pérez Illanes

Rodrigo graduated as a hydraulics engineer at
research interests are related to numerical mod
environmental fluid mechanics. He has a strong
technologies improving the handling, consump
datasets, skills that will certainly support his pla

Vera Rebecca Behle

Vera obtained an M.Sc. in Environmental Engineering at the Darmstadt Technical University in Germany, where she focused her studies on water supply and groundwater management. For her PhD research she is interested in the interactions between emerging organic compun
(biosorption, biodegradation) and the modelling of the

Esteban Rafael Caligaris

With an M.Sc. in Water Resources Management and Hy
(EuroAquae), Esteban is a civil engineer with specialisin
water resources. He is interested in the effects of MAR
Arsenic and Boron beside the use of this water for irrig
development of tools to study these phenomena.

Francesco Demichele

Francesco graduated at the Politecnico di Bari, Italy, wit
Environmental Engineering and a Master's thesis on th
groundwater connected to the practice of land disposa
His interests lie in modelling the application of different
the development of a seawater intrusion barrier in Mal

Rebecca Sultana

Rebecca specializes in hydrogeology, having obtained
Water Resources Engineering from the Katholieke Univ
Belgium. Her wider interest is in the research of ground
interaction, hydrogeological modelling, water quality, a
harvesting.

Maria Chiara Lippera

Maria is an environmental engineer with an M.Sc. in Environmental and Land Planning Engineering. She is interested in the analysis of complex environmental systems when tackling management plans, and in increasing her skills in performing reliable predictions through modelling and monitoring techniques.

Kathleen Standen

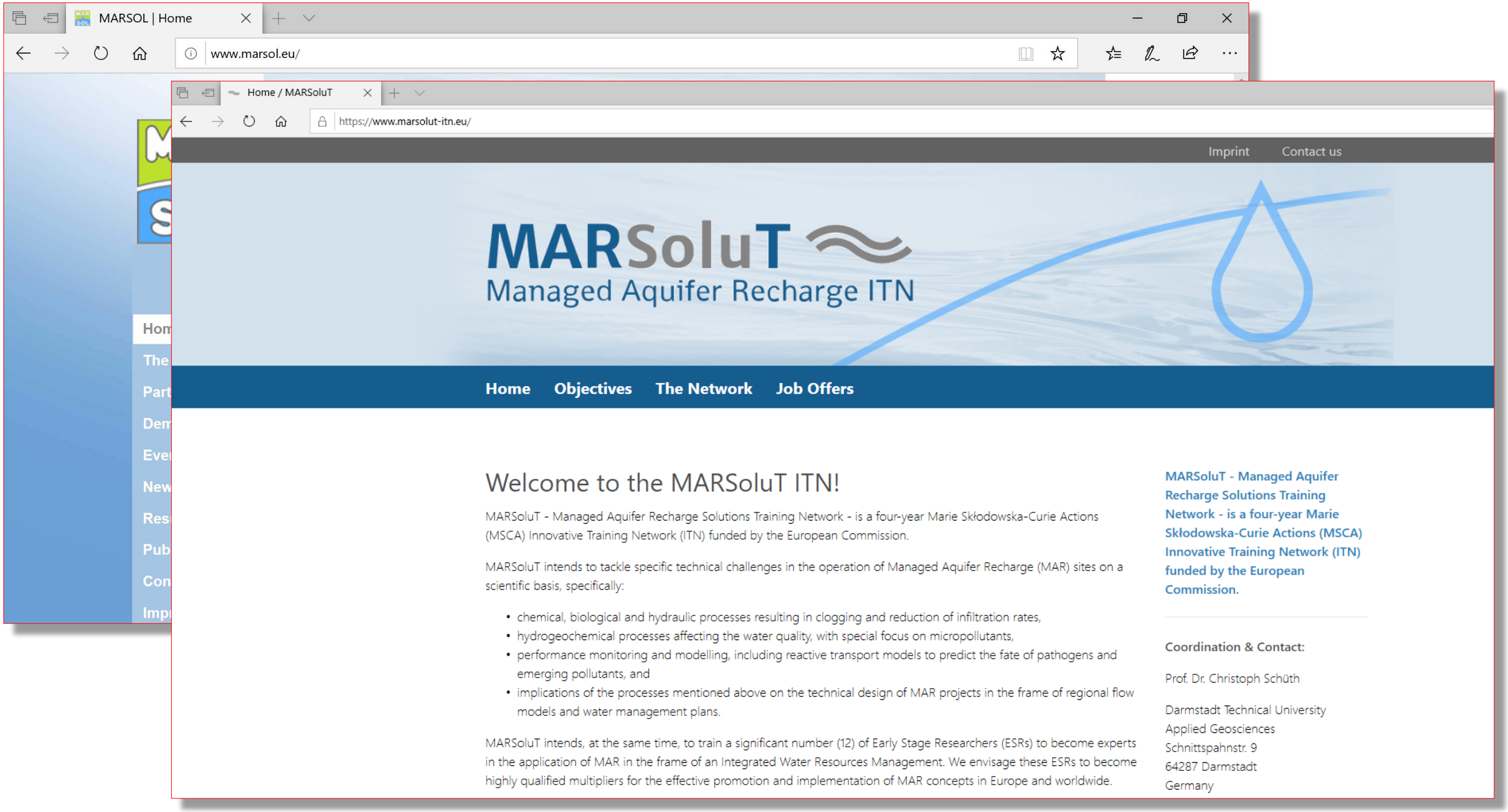
Kath is a hydrogeologist with 15 years of experience working in the water, mining and industrial sectors, in diverse locations including Australia, Canada, Panama, Papua New Guinea, Qatar, and the UK. She intends to investigate the potential for regional MAR solutions in the Algarve to improve the status of groundwater bodies under the Water Framework Directive.

German Rudnik

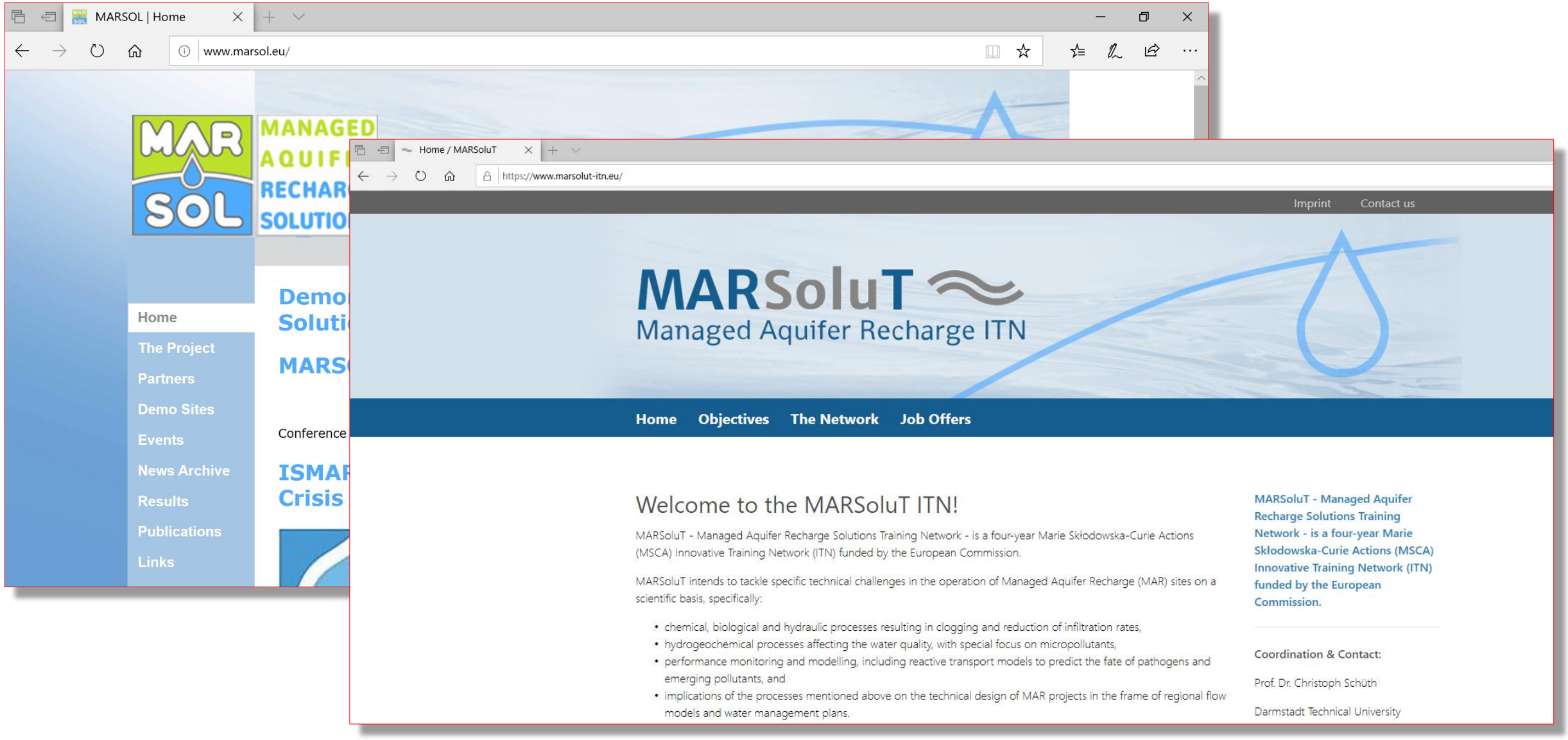
Gera is a civil engineer with two years of experience in infrastructure design. He holds an M.Sc. in Hydroinformatics and Water Management (EuroAquae - a joint degree of Université de Nice, France, BTU Cottbus, Germany, Newcastle University, UK, and UPC Barcelona, Spain) and is interested in numerical modelling of complex hydrologic and hydraulic processes.

Angeliki Vlassopoulou

Angeliki is a Dipl. Mining Engineer, holding an M.Sc. in Petroleum Engineering and an M.Sc. in Exploration Geophysics. She has three years of working experience in data processing of marine seismic data. Her scientific interests are subsurface modeling, model calibration, sensitivity analysis and uncertainty.


MARSOL | Home
www.marsol.eu/
Home / MARSoluT
https://www.marsolut-itn.eu/
Imprint
Contact us
MARSoluT
Managed Aquifer Recharge ITN
Home
Objectives
The Network
Job Offers
Welcome to the MARSoluT ITN!
MARSoluT - Managed Aquifer Recharge Solutions Training Network - is a four-year Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) Innovative Training Network (ITN) funded by the European Commission.
MARSoluT intends to tackle specific technical challenges in the operation of Managed Aquifer Recharge (MAR) sites on a scientific basis, specifically:
chemical, biological and hydraulic processes resulting in clogging and reduction of infiltration rates,
hydrogeochemical processes affecting the water quality, with special focus on micropollutants,
performance monitoring and modelling, including reactive transport models to predict the fate of pathogens and emerging pollutants, and
implications of the processes mentioned above on the technical design of MAR projects in the frame of regional flow models and water management plans.
MARSoluT intends, at the same time, to train a significant number (12) of Early Stage Researchers (ESRs) to become experts in the application of MAR in the frame of an Integrated Water Resources Management. We envisage these ESRs to become highly qualified multipliers for the effective promotion and implementation of MAR concepts in Europe and worldwide.
MARSoluT - Managed Aquifer Recharge Solutions Training Network - is a four-year Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) Innovative Training Network (ITN) funded by the European Commission.
Coordination & Contact:
Prof. Dr. Christoph Schüth
Darmstadt Technical University
Applied Geosciences
Schnittspahnstr. 9
64287 Darmstadt
Germany

Weitere Informationen



Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung an Letztverbraucher, Eigenverbrauch der Wasserwerke und Wasserverluste

		1991	1995	1998	2001	2004	2007	2010	2013	2016	2019
Wasserabgabe zum Letztgebrauch	Millionen Kubikmeter	5.747,9	5.094,2	4.858,6	4.773,9	4 727,7	4.543,9	4.500,0	4.467,7	4.622,1	4.731,0
davon											
Haushalte und Kleingewerbe	Millionen Kubikmeter	4.127,8	3.872,0	3.814,0	3.779,1	3 752,3	3.622,9	3.576,9	3.540,5	3.675,5	3.855,0
	Liter pro Einwohner/Tag	*144*	*132*	*129*	*127*	*126*	*122*	*121*	*121*	*123*	*128*
Gewerbliche Unternehmen und sonstige Abnehmer[1)3)]	Millionen Kubikmeter	1.620,2	1.222,1	1.044,6	994,8	976,3	921,0	923,2	927,1	946,5	876,0
Eigenverbrauch der Wasserwerke	Millionen Kubikmeter	142,7	123,6	131,7	133,5	145,4	149,6	144,6	136,4	132,6	153,8
Wasserverluste[2)]	Millionen Kubikmeter	758,0	711,1	600,4	529,7	495,5	462,3	473,5	470,6	456,5	473,2

[1)] sonstige Abnehmer: z.B. Krankenhäuser, Schulen, Behörden und kommunale Einrichtungen, Bundeswehr, landwirtschaftliche Betriebe.

[2)] Tatsächliche (z. B. Rohrbrüche) und scheinbare (Messfehler) Verluste sowie statistische Differenzen

[3)] Die Basis für die Berechnug der Wasserabgabe je Einwohner und Tag hat sich nach 2010 geändert. Grundlage ist nun die Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Umwelt, Reihe 2.1.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (1991, 1995, 1998, 2001, 2004, 2010, 2013, 2015, 2019, 2022)