

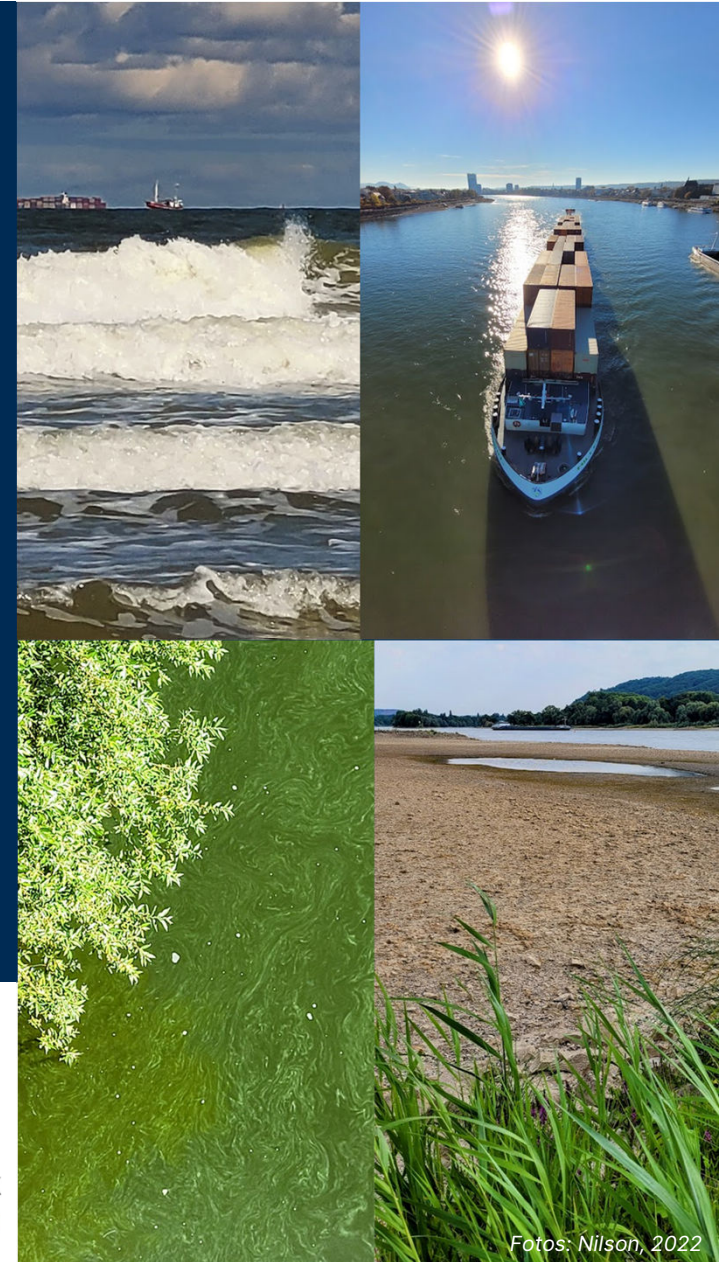
Wasserressourcen Deutschlands im Wandel

- ausgewählte gewässerkundliche
Monitorings- und Wirkungsanalysen

Peter Krahe, *et al.*

Referat M2 – Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen

Weßling, 17.11.2023



BfG Bundesanstalt für
Gewässerkunde



DAS Basisdienst
Klima und Wasser

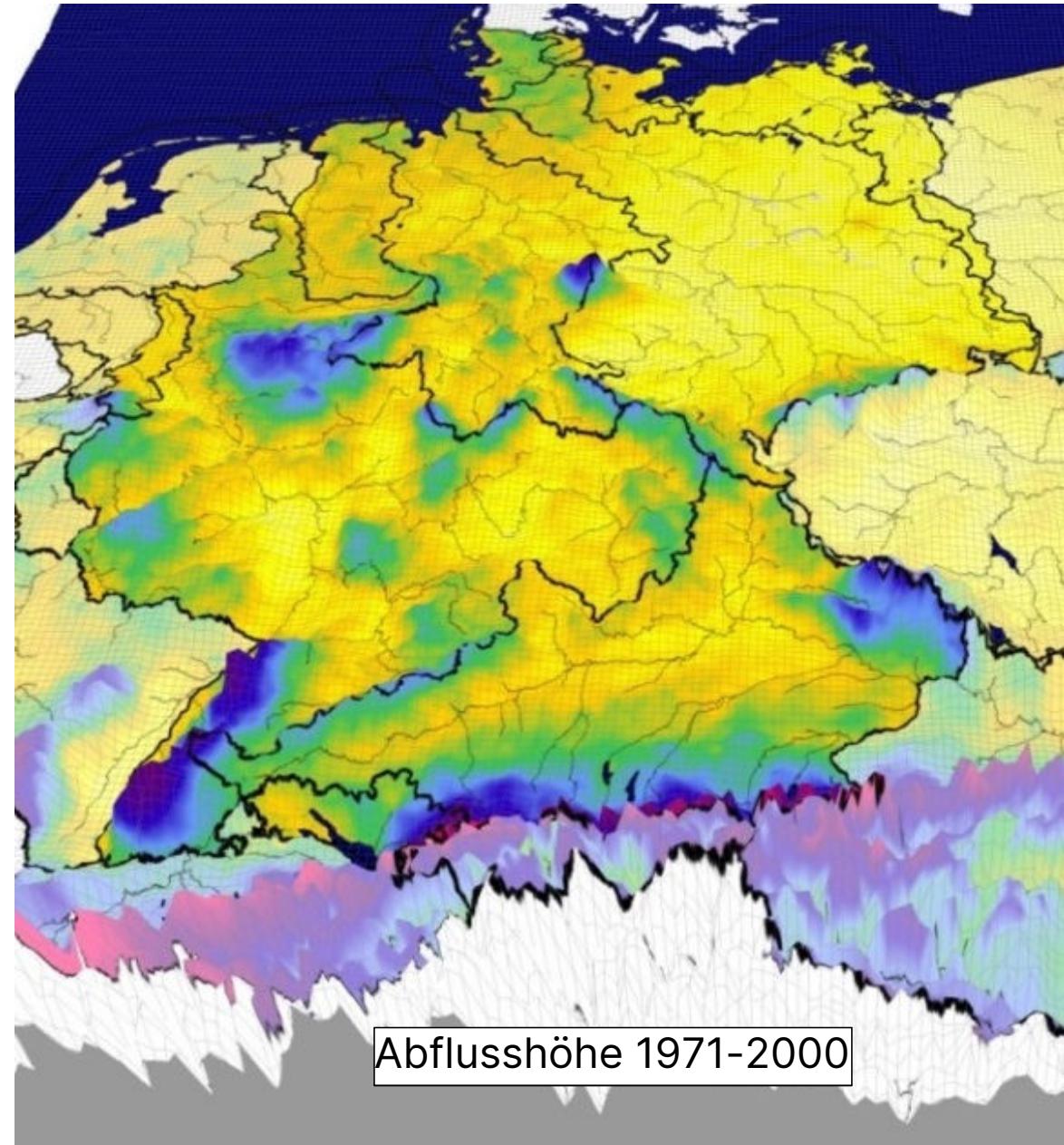


BMDV Expertennetzwerk
Wissen Können Handeln

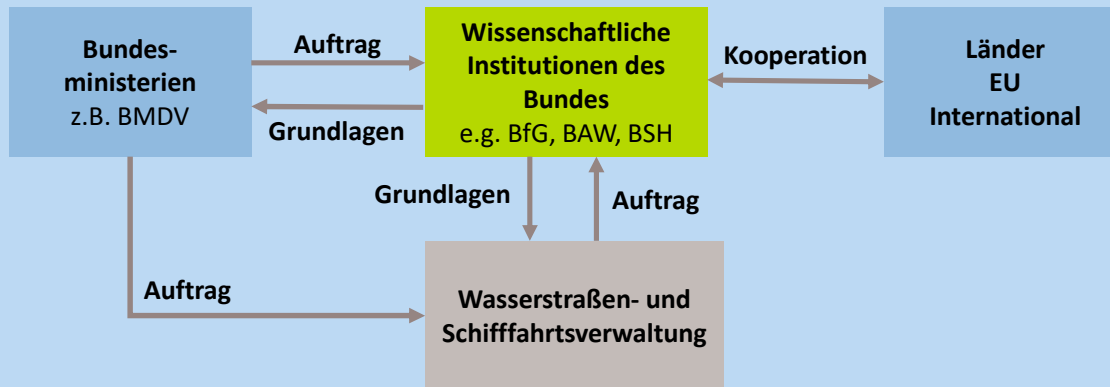
Fotos: Nilson, 2022

Index

1. Wer/Was ist die BfG?
2. Abfluss- und Wasserbilanz Deutschlands
3. Wetter/Klima und
 - Abfluss/Wasserstand - Schifffahrt
4. Wetter/Klima und
 - Gewässergüte
 - Vegetation der Flussufer/-auen



Wer oder was ist die BfG?



- Ressortforschungseinrichtung des Bundes = Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV), aber auch Beratungsleistung für **BMUV** und weitere Ministerien
- Aufgabe: **Beratung, Begutachtung, Forschung** und Entwicklung rund um die Gewässersysteme
- ca. 500 Mitarbeiter/-innen in 3 Abteilungen (Quantitative und qualitative Gewässerkunde, Ökologie)



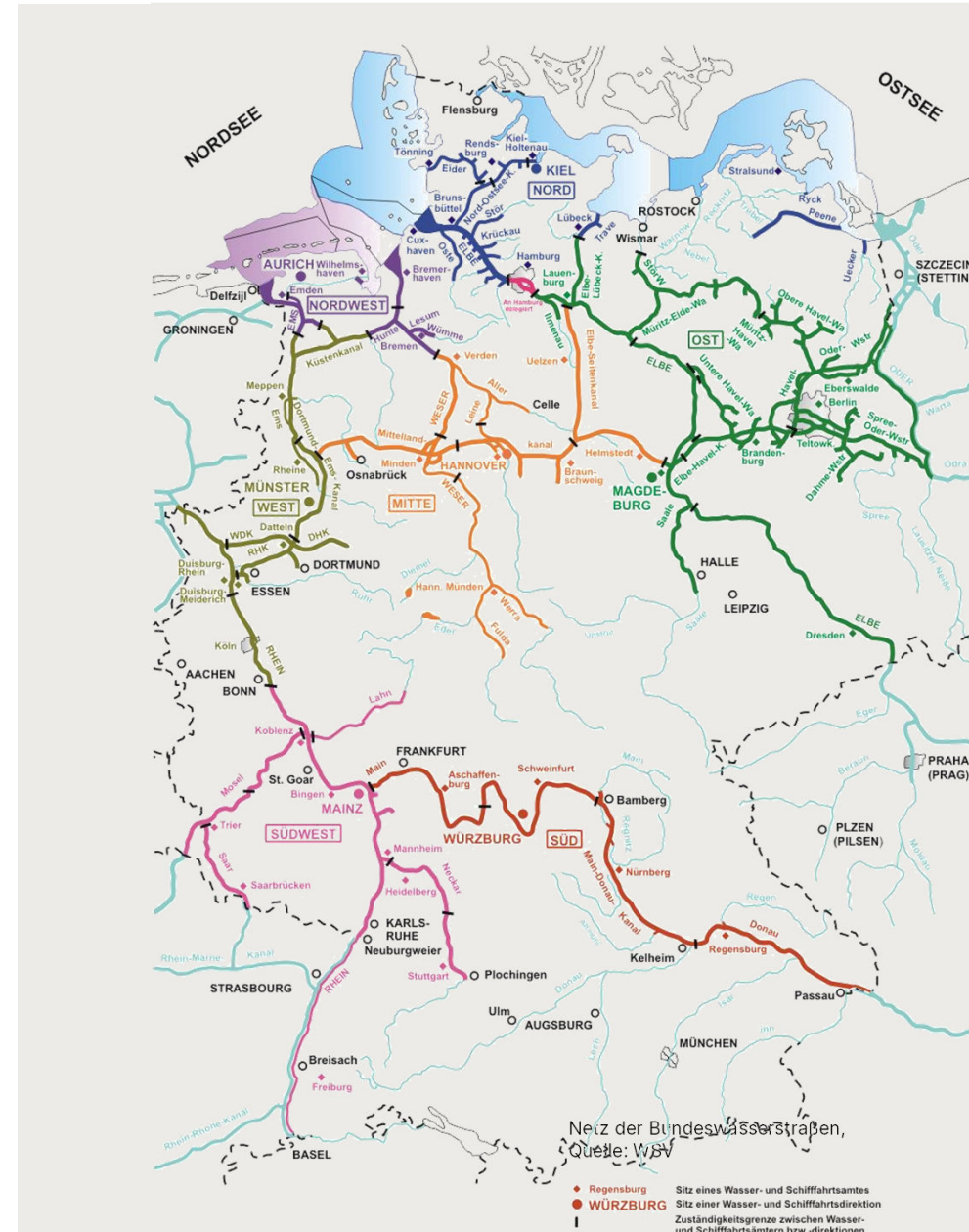
Und an der Küste, in Hamburg

Intro

Aufgabe:

Lieferung der wissenschaftlichen Grundlagen für eine integrative und nachhaltige Entwicklung der Wasserstraßen

- Freifließende Flüsse
- Stauhaltungen, Flusseenen
- Kanäle
- Ästuar (o/m Sperrwerken)
- 2 Talsperren



Intro

Mandat und Expertise

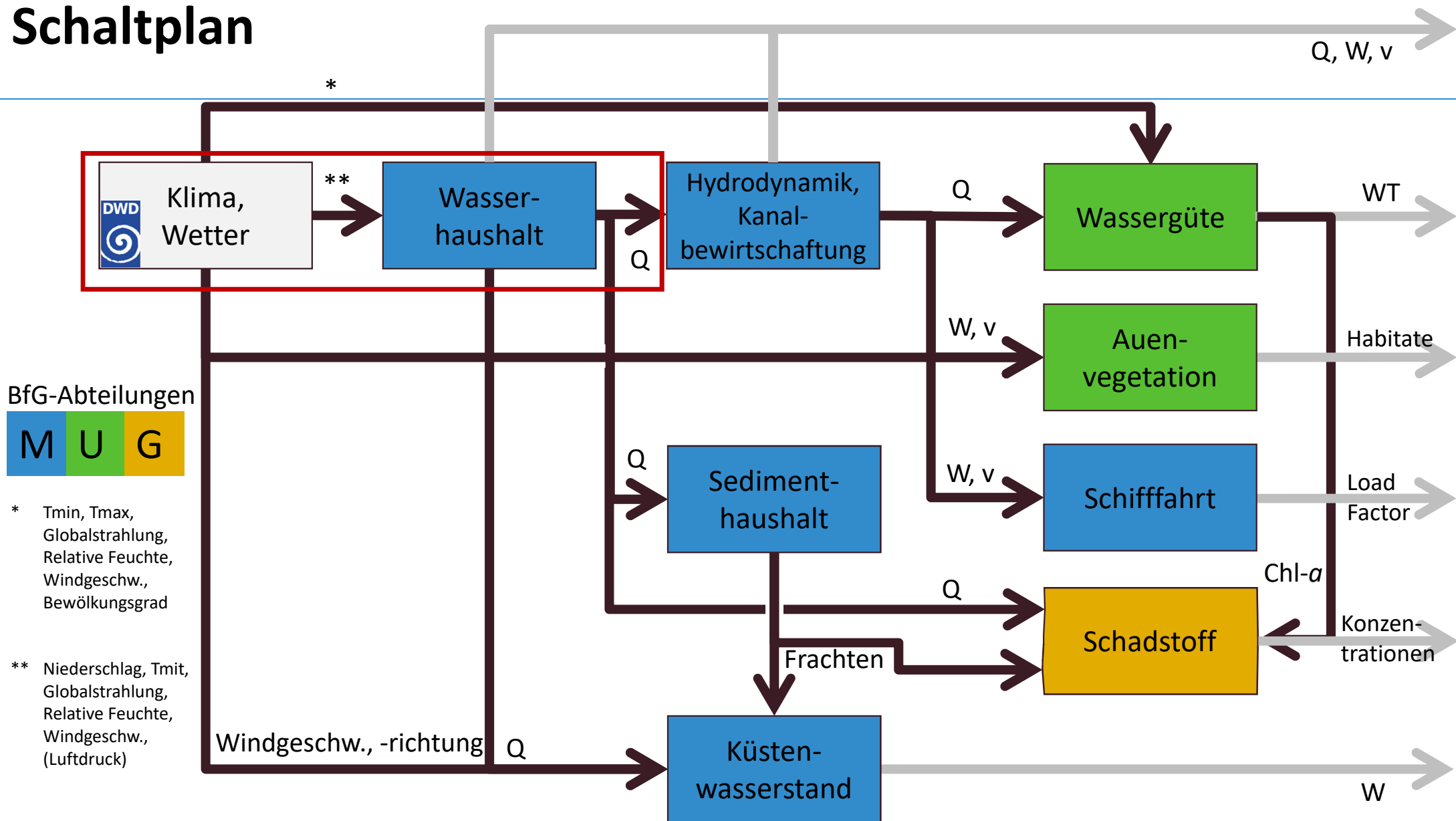
Bundeswasserstraßen,
sind Lebens- und
Wirtschaftsraum
zugleich

Arbeitsfelder BfG

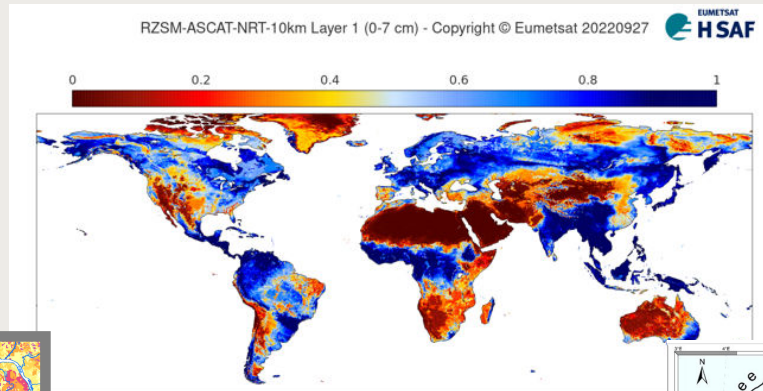
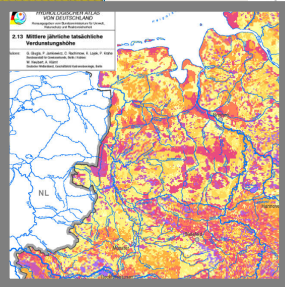
Arbeitsfelder
Referat M2



Schaltplan



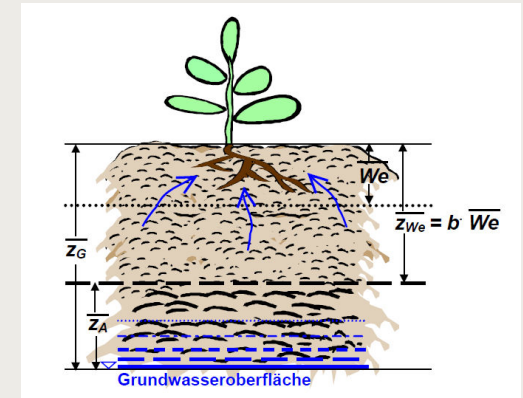
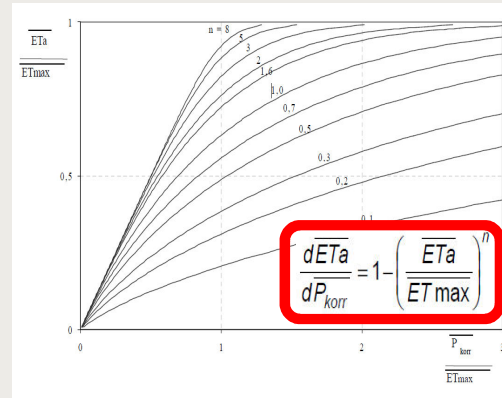
Wasserhaushalt -Raumskalen



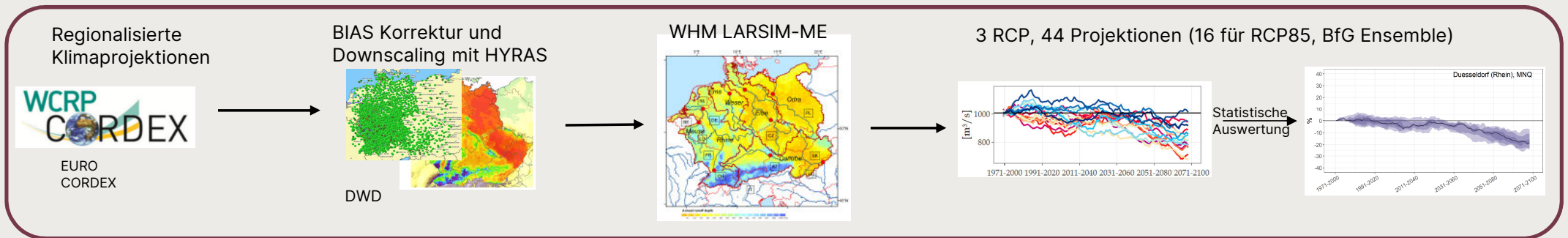
Zukunft Eider

Wasserhaushalt – Wasserdargebot - Abfluss

Empirische Verfahren
z.B. BAGLUVA, BAGROV-DE,....



Konzeptionelle Wasserhaushaltsmodelle - Abflussprojektionen (ME, Stromgebiete)



Abfluss- & Wasserbilanz Deutschland

$$N_h = E_h + A_h \text{ (vielj. Mittel, hier KJ)}$$

$$\text{Erneuerbare Wasserressource} = N_h - E_h + A_h \text{ZZufluss (Jahreswerte, KJ)}$$

Vorläufig

Wassernaushaltsgröße in Milliarden Kubikmeter [Mrd. m ³]	1961 bis 1990		1991 bis 2020		Differenz	2001	2002	2003	2018	2020
	Mittel	IAV	Mittel	IAV	[%]					
Niederschlag	278	39,5	284	36,9	+2,2	335	359	215	210	255
Zufluss von Oberliegern *	71	13,1	69	9,4	-2,8	84	87	55	59	62
Gebietsbürtiger Abfluss *	106	23,0	97	18,3	-8,5	108	148	88	81	74
Evapotranspiration	161	-	176	12,5	+9,3	169	189	171	155	199
pot. Wasserangebot	188	38,4	177	27,5	-5,9					
Erneuerbare Wasserressource						250	257	99	114	118

* Ermittelt aus pegelbasierter Abflussbilanz. Die Werte von 2018 und 2020 sind vorläufig.

Tabelle Wasserbilanz von Deutschland im Vergleich der vieljährigen Mittel der Perioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 sowie mit Jahresangaben zu den extrem nassen und trockenen Jahren. IAV=Interannuelle Variabilität beziehungsweise Standardabweichung der Jahreswerte. Krahe und Nilson, 2021

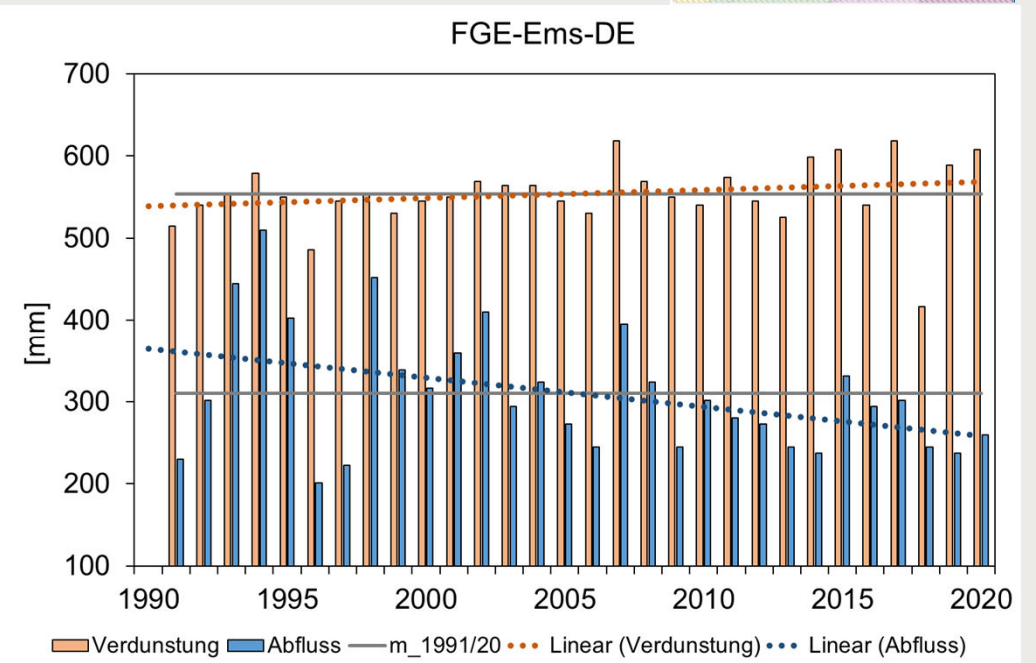
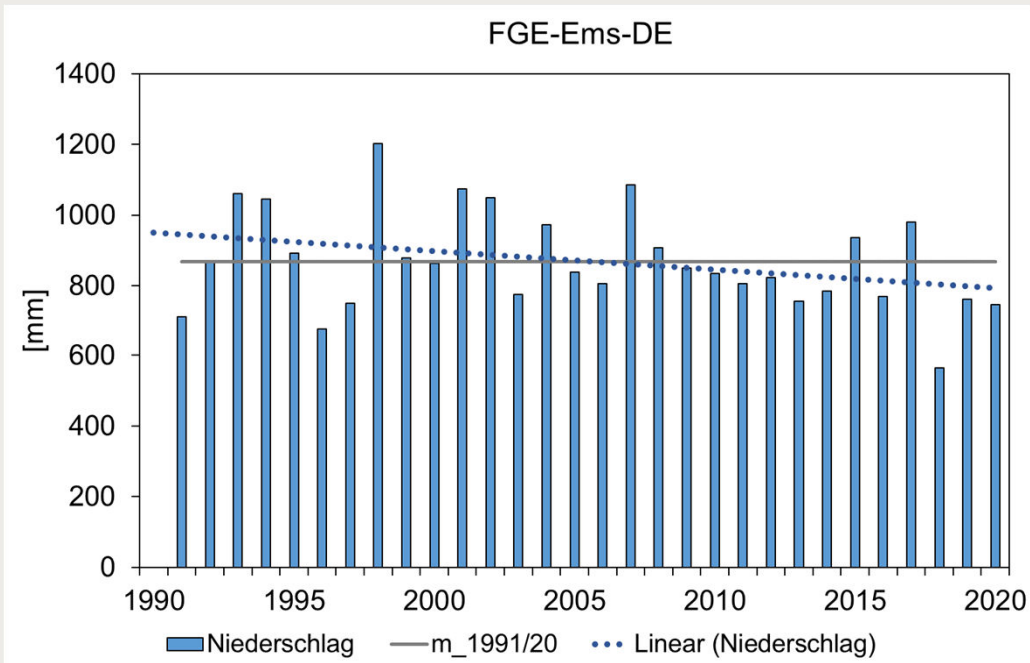
Quellen: Deutscher Wetterdienst, Wasserwirtschaftsverwaltungen des Bundes und der Länder sowie Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Tabelle: Peter Krahe & Enno Nilson, BfG.

Wasservolumen Bodensee ~48,5 Mrd. m³

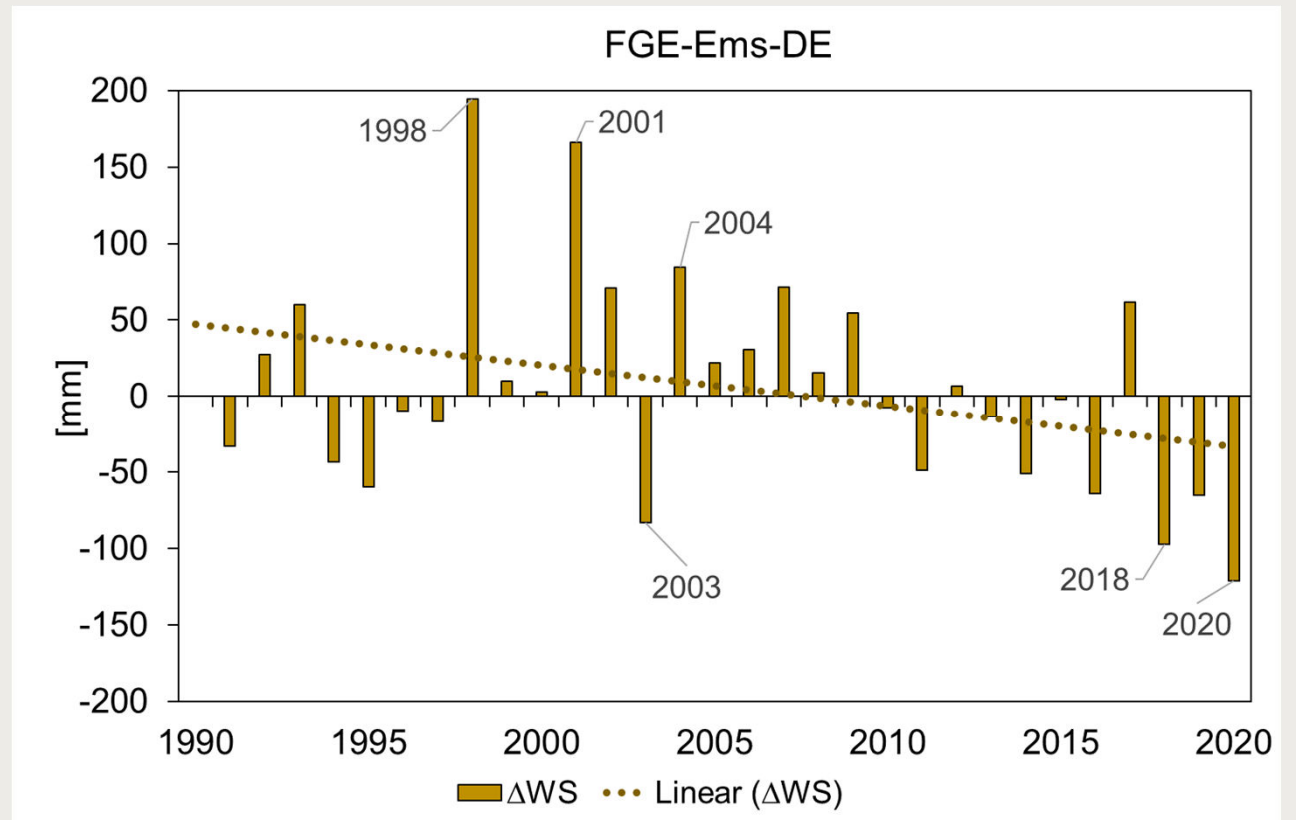
Beispiel: Flussgebietseinheit Ems 1991-2020

$$\Delta WS = N_h - E_h - A_h \text{ (Jahresmittel, KJ)}$$



Beispiel: Flussgebietseinheit Ems 1991-2020

$$\Delta WS = N_h - E_h - A_h \text{ (KJ)}$$



Terrestrial Water Storage GFZ-GRAVIS-GRACE

Satellitenmissionen

GRACE
2002-2017

GRACE-FO
2018 - aktuell

Klimaforschung mit GRACE und
GRACE Follow-on

Was sagen uns Änderungen im Erdschwerefeld?

FRANK FLECHTNER | EVA BÖRGENS | INGO SASGEN

Die Satelliten GRACE und GRACE Follow-on können die zeitlichen Variationen des Schwerfeldes der Erde erstmals im globalen Maßstab mit hoher Präzision messen. Daraus lassen sich viele klimabedingte Prozesse wie Veränderungen im kontinentalen Wasserhaushalt oder das Schmelzen der Eisschilde ermitteln.

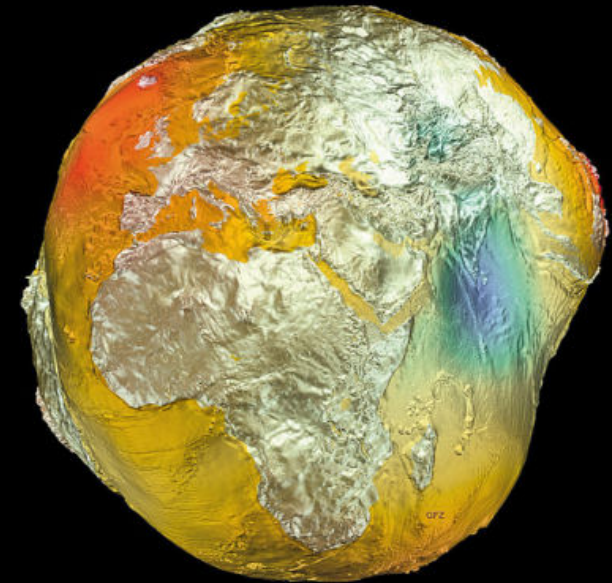
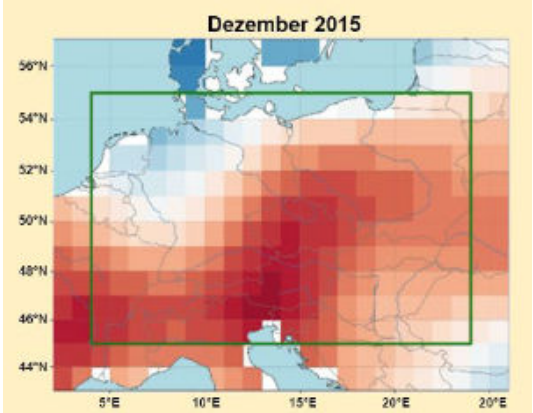
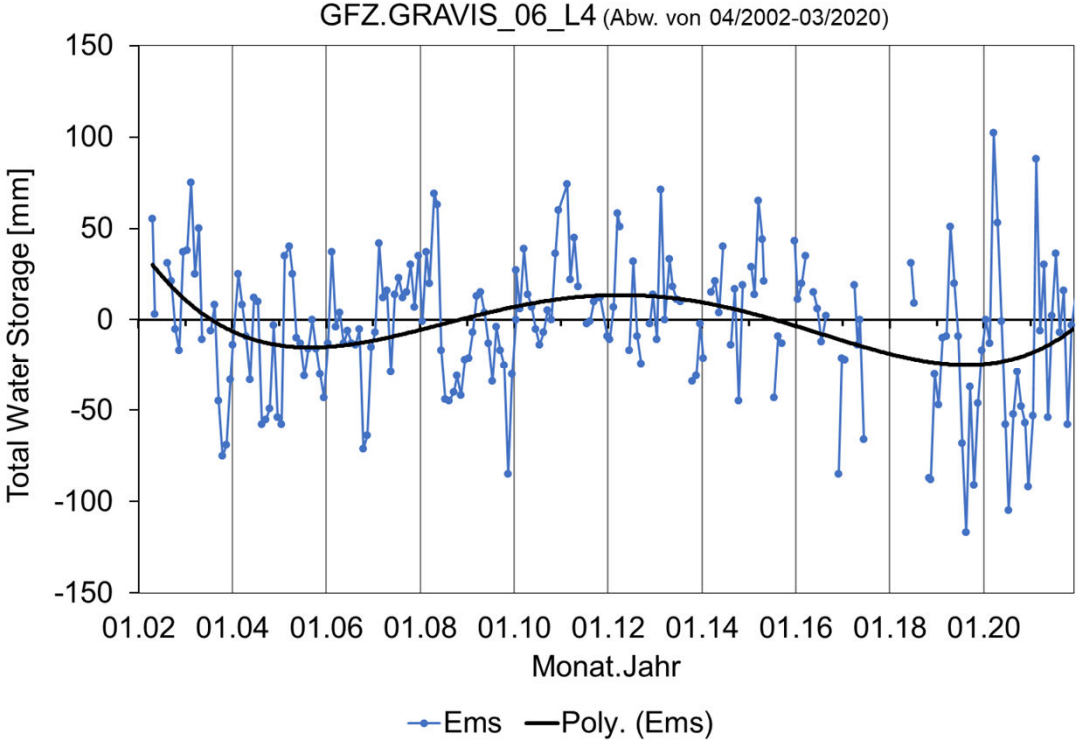


Abb. 1 Das Geoid in stark überhöhter vertikaler Darstellung, auch bekannt als „Potsdamer Schwerekartoffel“ (Bild: GFZ, 2011).

Terrestrial Water Storage GRAVIS (GFZ)

Flächenmittel TWS Flussgebietseinheit Ems



Flechtner et al. 2021

Datenquelle: Boergens et al.,2020; <http://gravis.gfz-potsdam.de/land>

Auswertung und Grafik: BfG

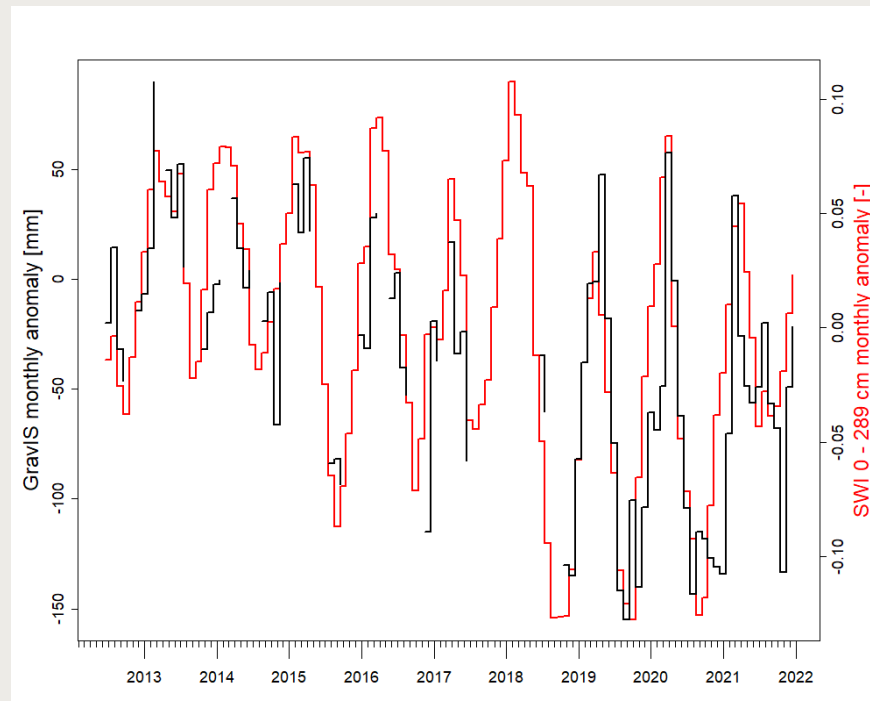
Terrestrial Water Storage Grace-GRAVIS

EUMETSAT H SAF Bodenfeuchte

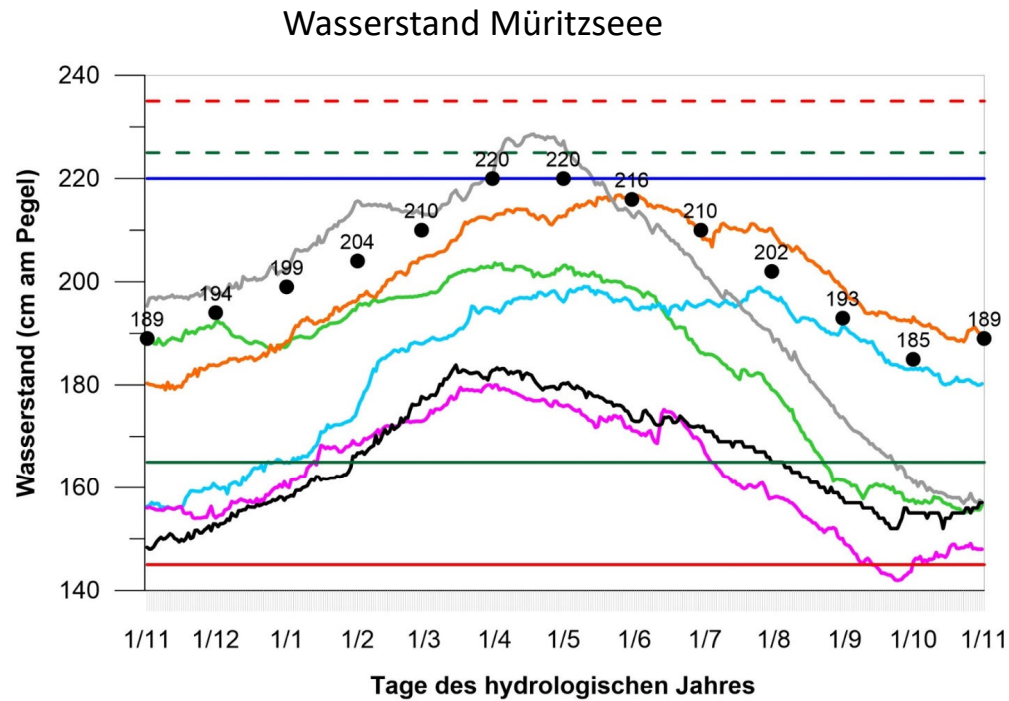
Vergleich SWI-H14 – GRAVIS-GRACE



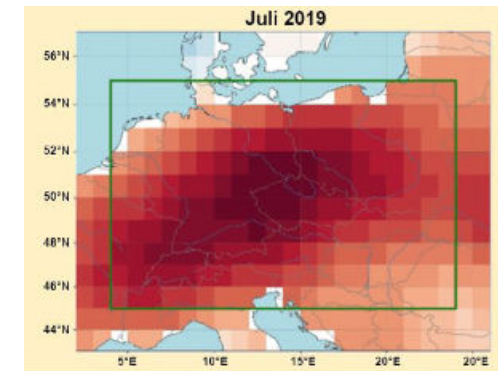
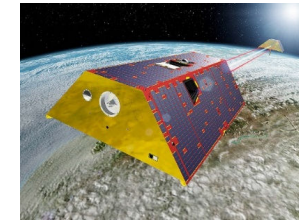
Flächenmittel
Bundesgebiet



GRAVIS -Bewirtschaftungskurven Pegel Waren/Müritz



- | | | |
|----------------------|----------------------|------------------------------|
| --- höchste Stauziel | --- oberes Stauziel | — Stauziel |
| — unteres Stauziel | — unterstes Stauziel | ● ● ● Ziel zum 1. des Monats |
| — HYDJ 2003 | — HYDJ 2004 | — HYDJ 2005 |
| — HYDJ 2018 | — HYDJ 2019 | — HYDJ 2020 |



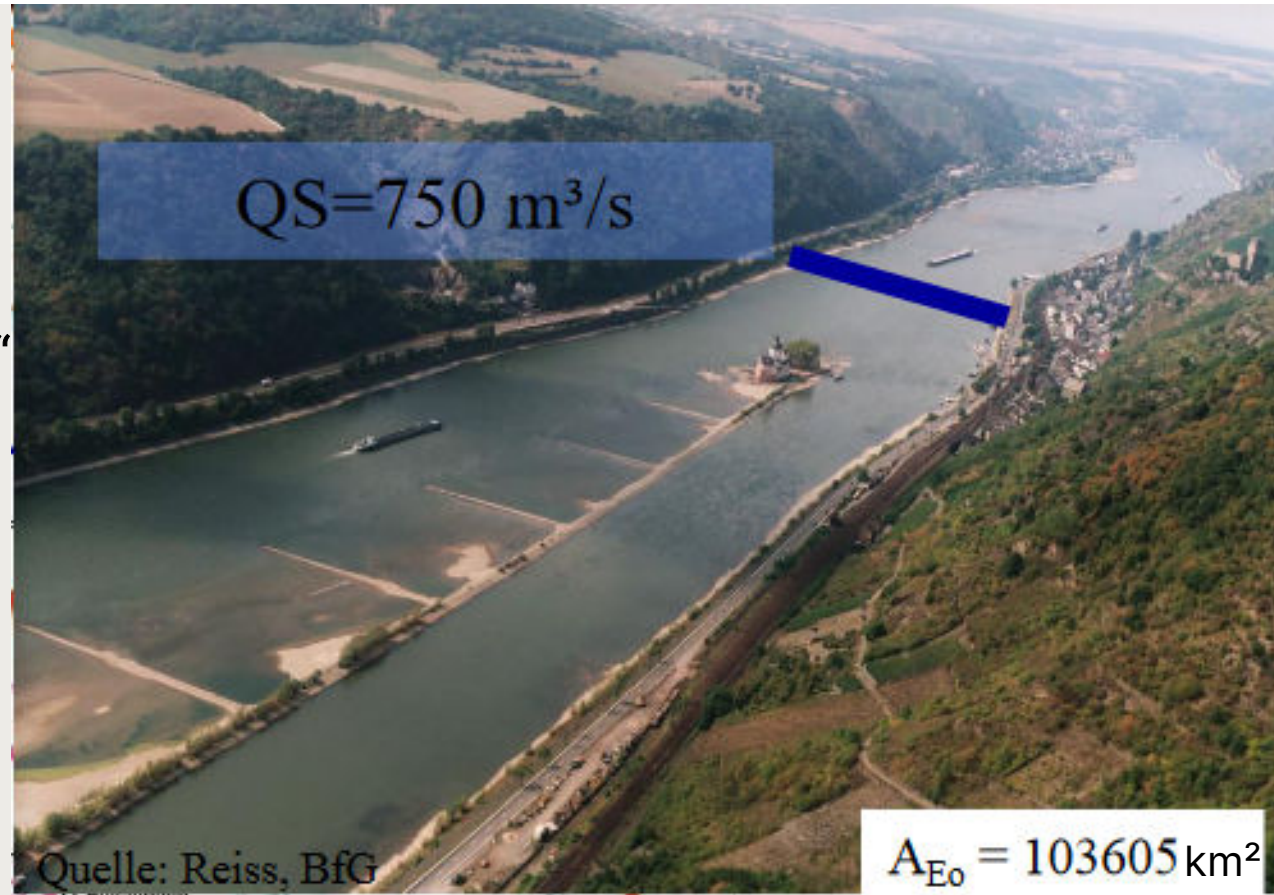
Flechtner et al. 2021

Niedrigwasser 2023

Rheinpegel bei Kaub:
"Kein normales Güterschiff voll beladen"

SZ 11. Oktober 2023, 14:40 Uhr

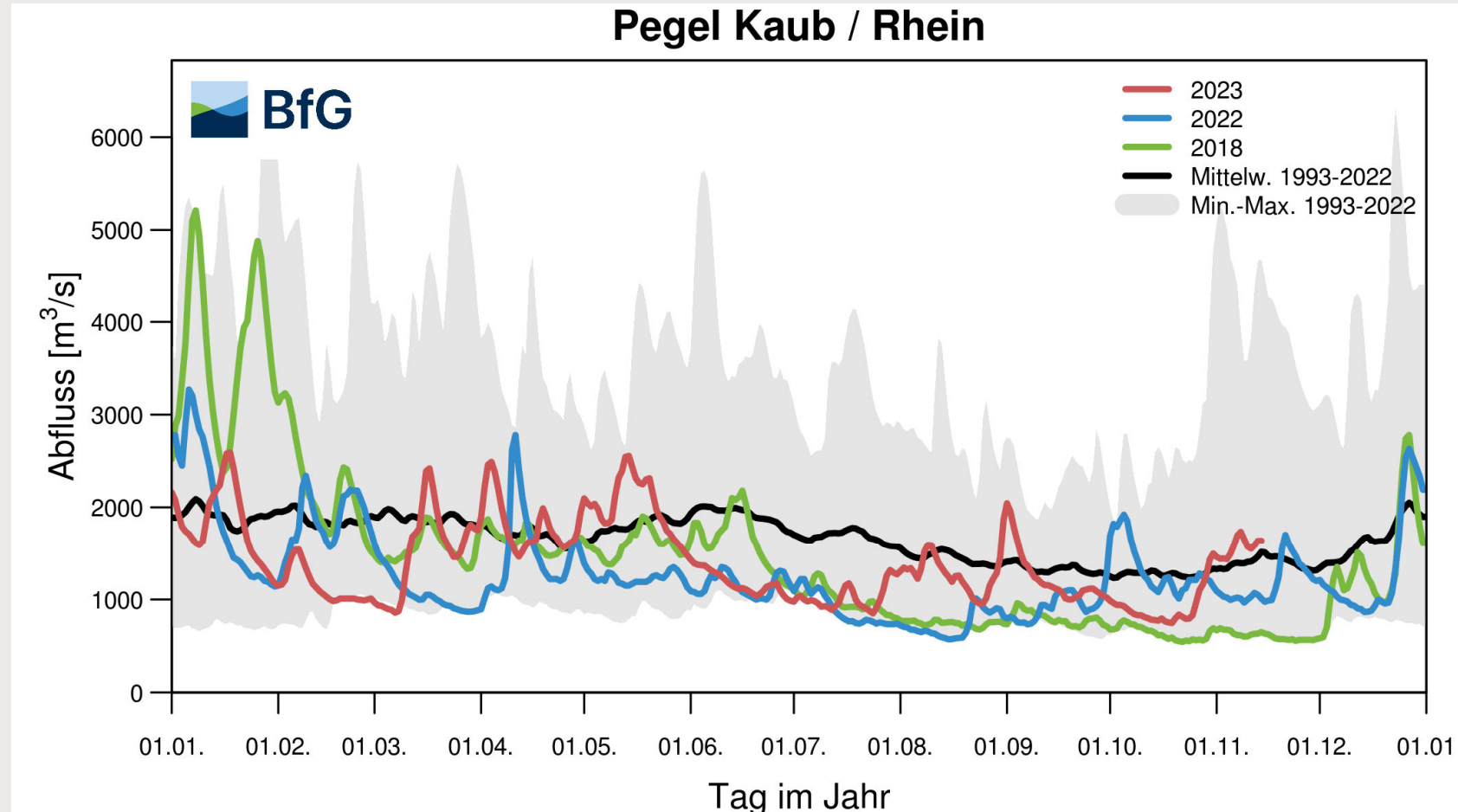
Für die kommenden
Tagen prognostizieren
die Behörden weiter
fallende Wasserstände -
auf bis zu 71 Zentimeter
an der Engstelle Kaub.



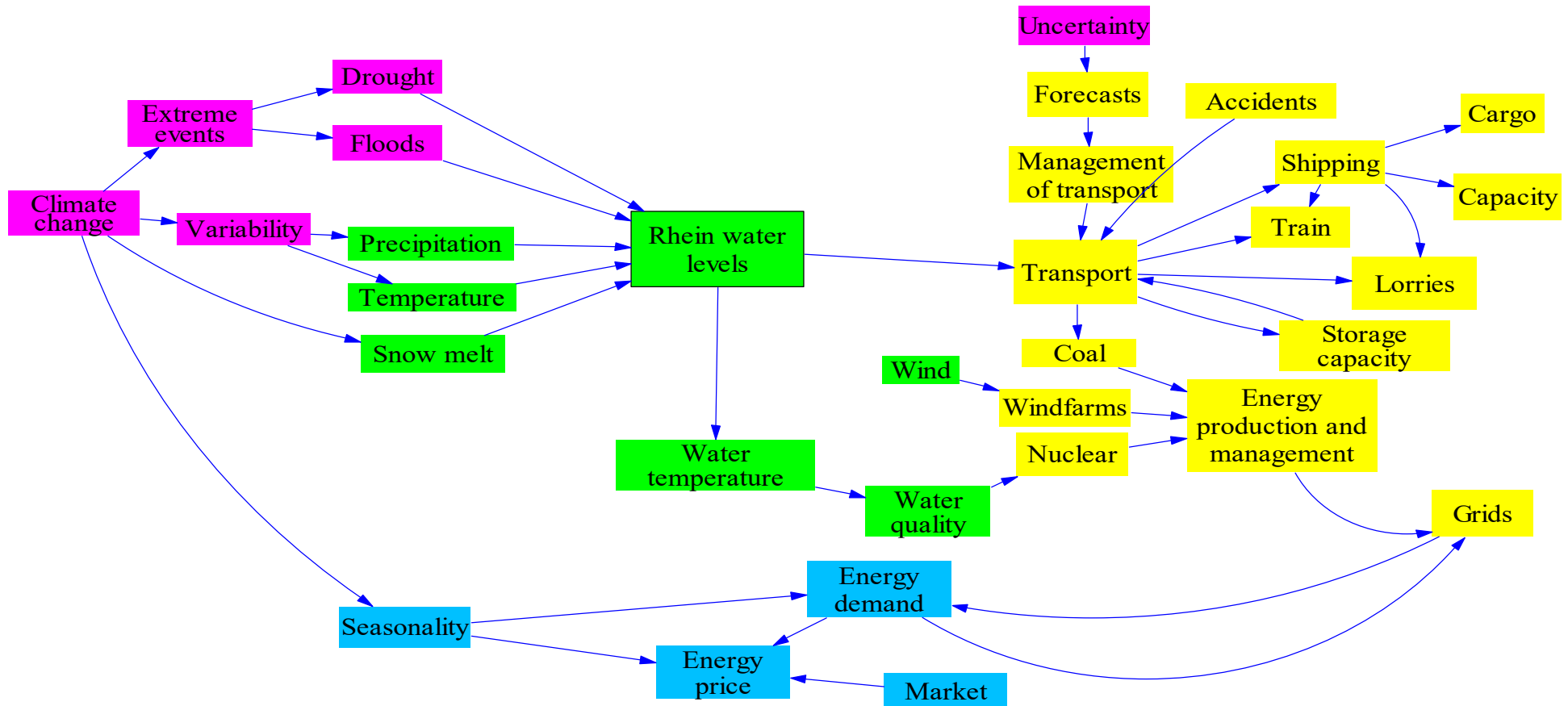
Der wichtige Rheinpegel bei Kaub misst nur noch 85 Zentimeter - ein neuer Jahrestiefstwert.
Viele Schiffe kommen nur noch halb beladen durch die Engstelle. Drohen bald Engpässe?

<https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/rheinpegel-kaub-schiffsverkehr-1.6284539>

Niedrigwassersequenz 2015 bis 2023 (Ausnahme 2017 und 2021)



Bsp. Wirkpfad Wetter/Klima-Wasserstand-Schifffahrt - Energiesektor



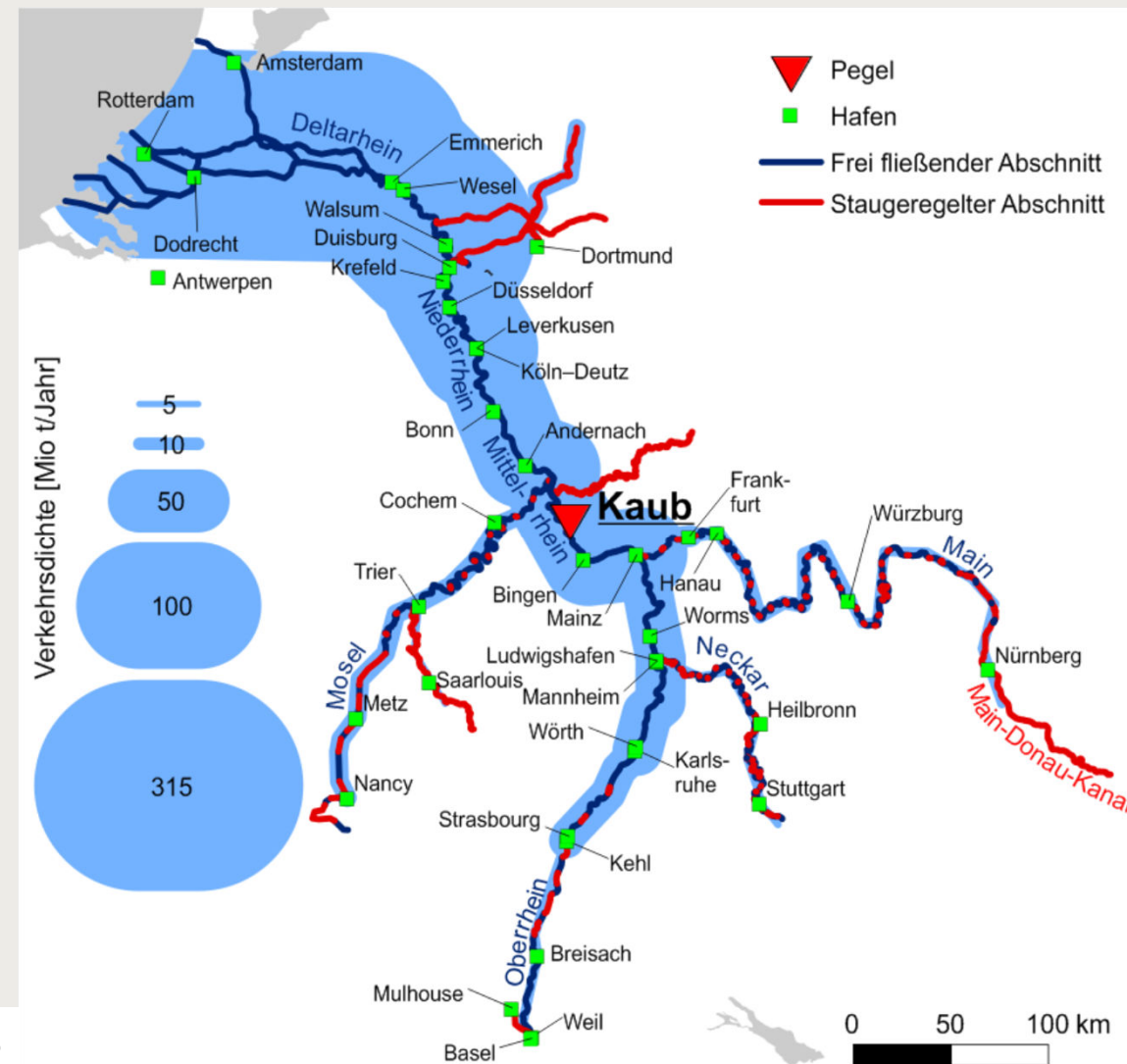
Blau: gesellschaftliche / anthropogene Einflüsse, grün: natürliche Einflüsse,
 gelb: Aktivitäten zur Nutzung der Ressource Fluss / Wasserstraße,
 pink: Gefahren / negative Einflüsse

(Kovalevsky et al. 2019, Frielingsdorf et al., 2022)

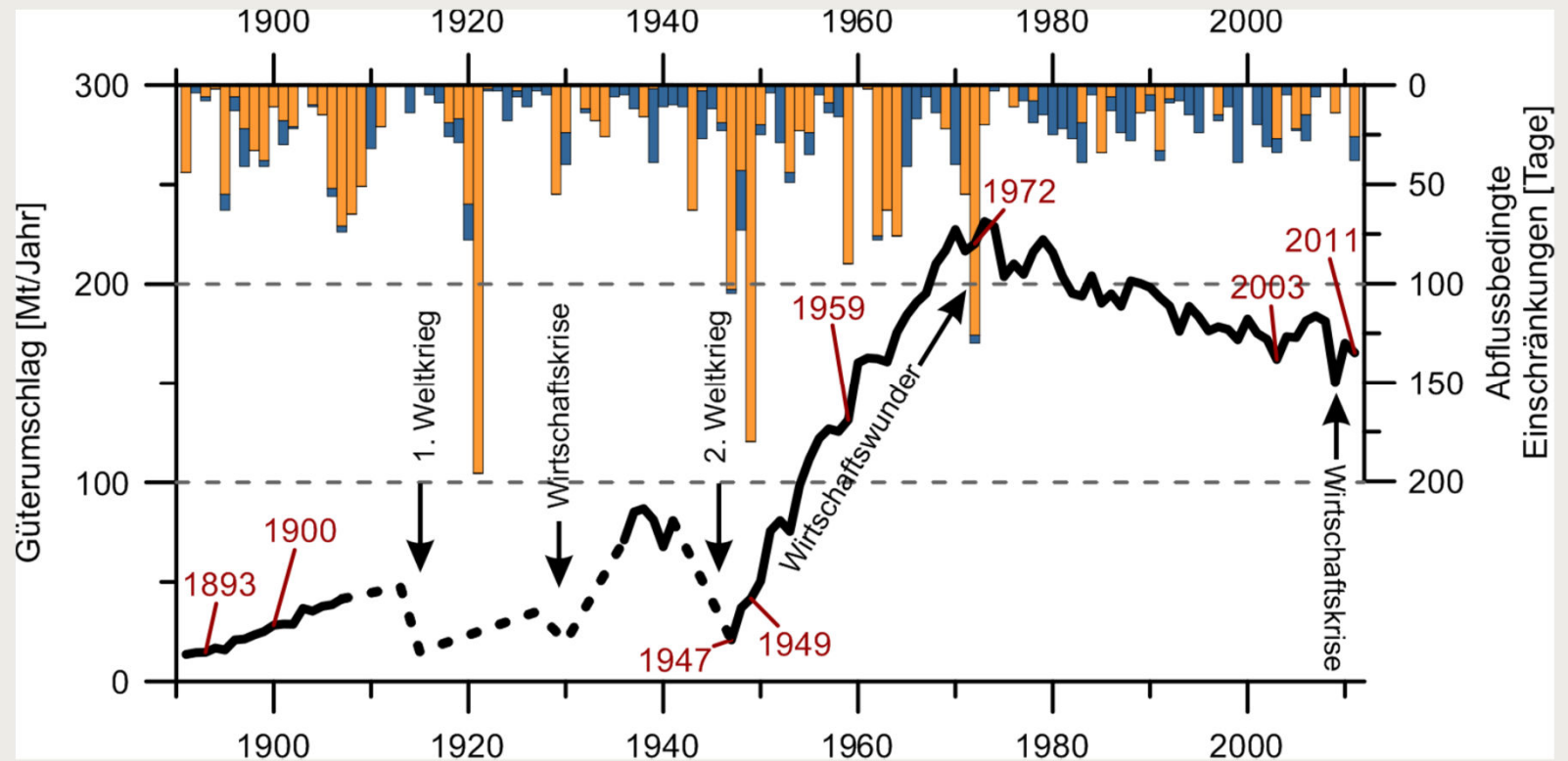
Der Rhein als Wasserstraße

- wichtigste Binnenwasserstraße Deutschlands und im Europäischen Transportnetzwerk
- z.B. 2012 entfielen **80 % - 85 %** aller Binnenschifftransporte in DE auf den Rhein
- Verkehrsprognose für das Jahr 2025 zufolge könnte dieser Anteil in Zukunft zunehmen?

Nilson und Krahe, 2013



Entwicklung des Güterumschlags im Rheingebiet im 20. Jahrhundert

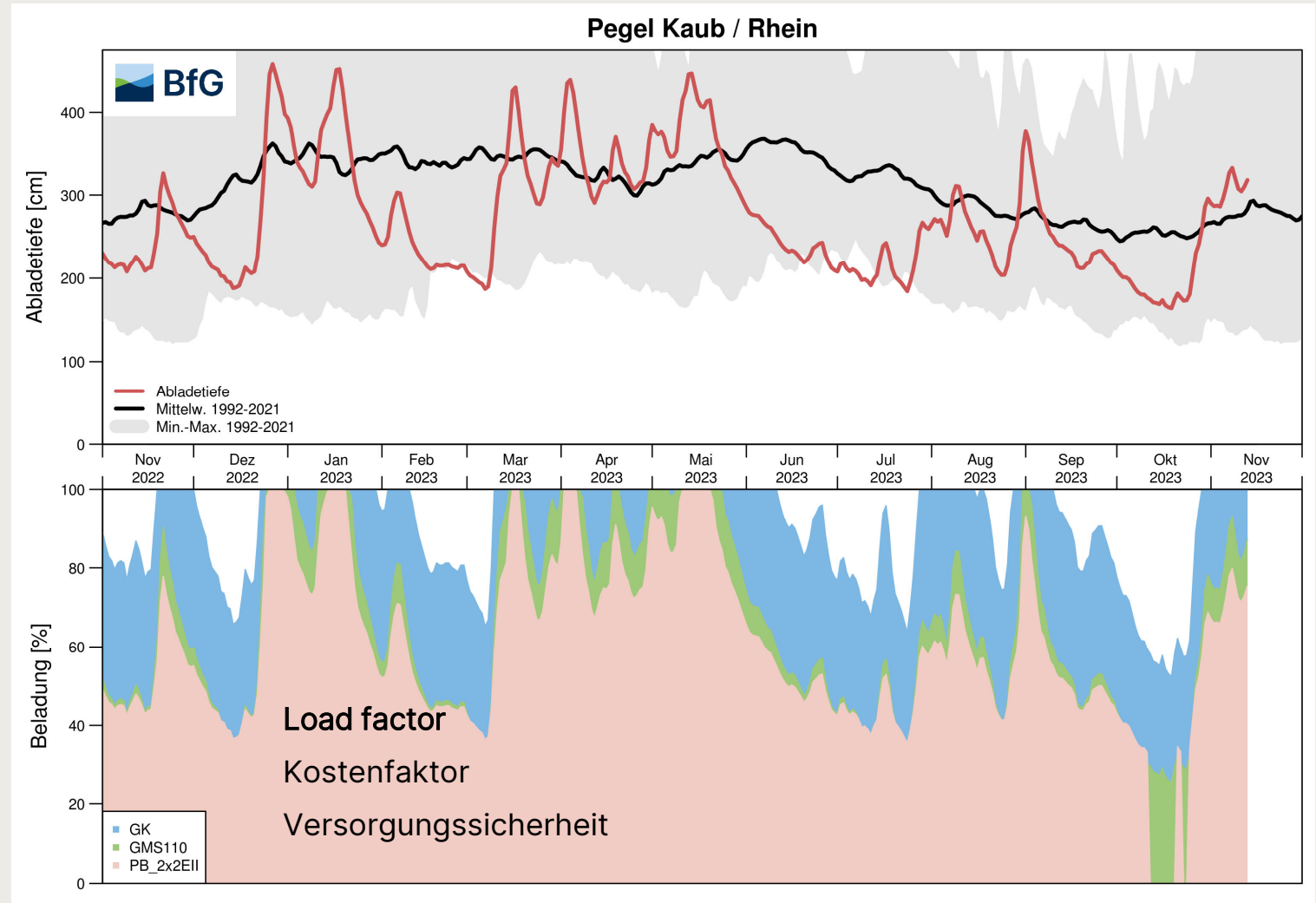


Orange = niedrigwasserbedingte Einschränkungen, blau = hochwasserbedingte Ausfalltage). Die extremen Niedrigwasserjahre (rote Notation) sind Krahe & Larina (2010) entnommen. Die Umschlagszahlen repräsentieren Mittelwerte von 38 (um 1900) bis 50 (um 2000) Häfen im Rheingebiet. (Nilson und Krahe, 2013)

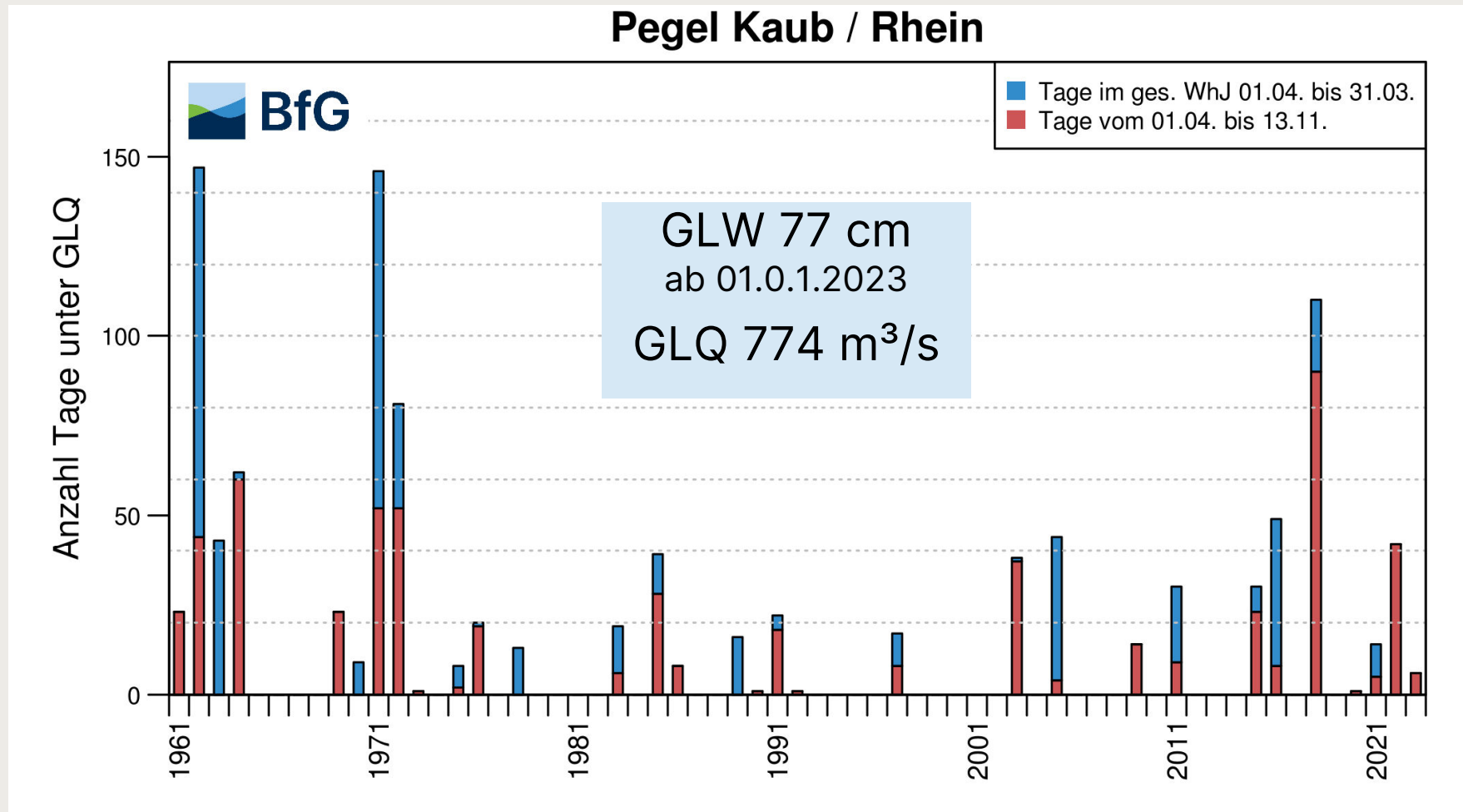
Abladtiefe –Load factor



Klein und Meißner, 2015



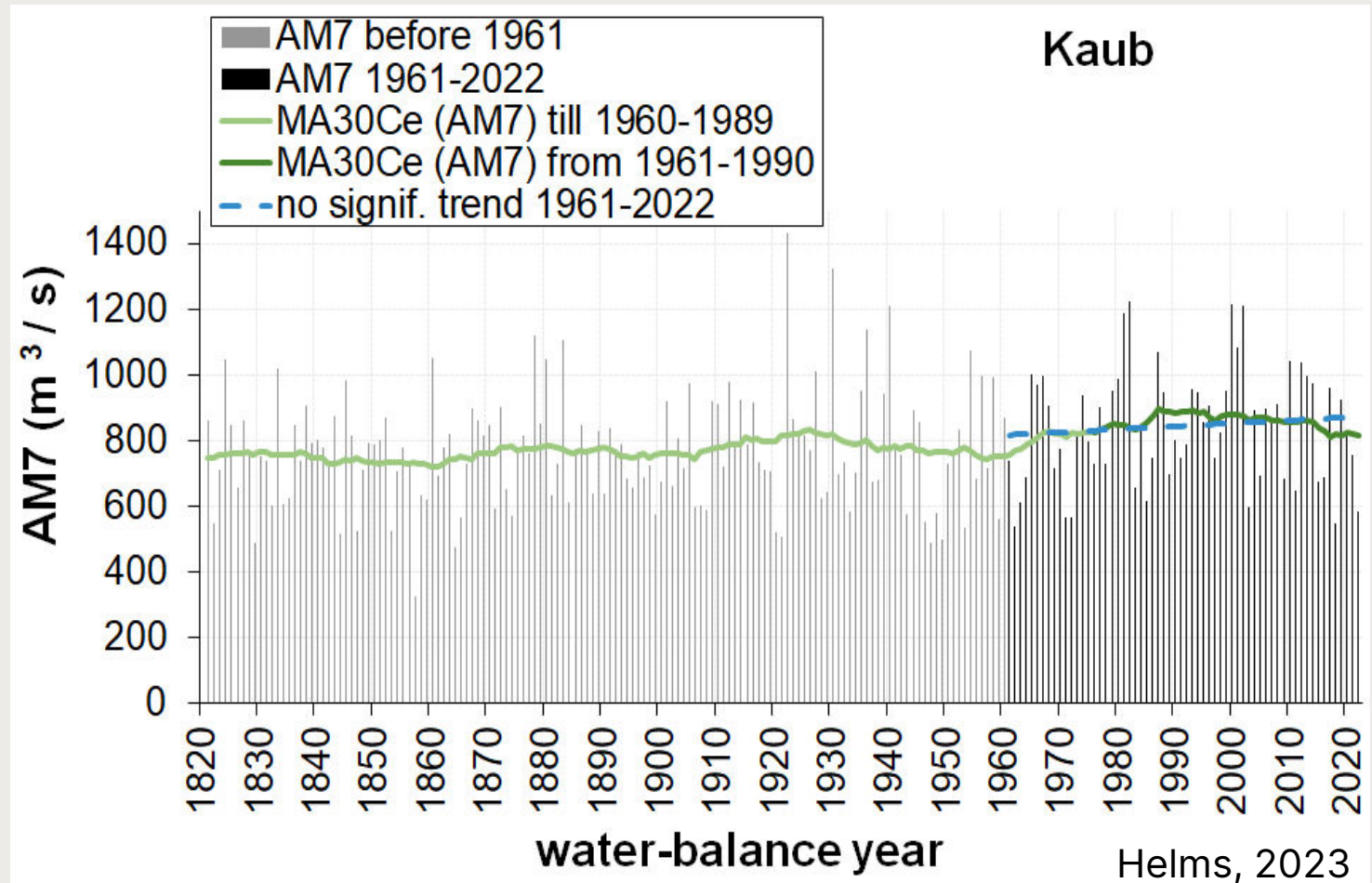
Unterschreitung des GLQ/GLW-Grenzwertes



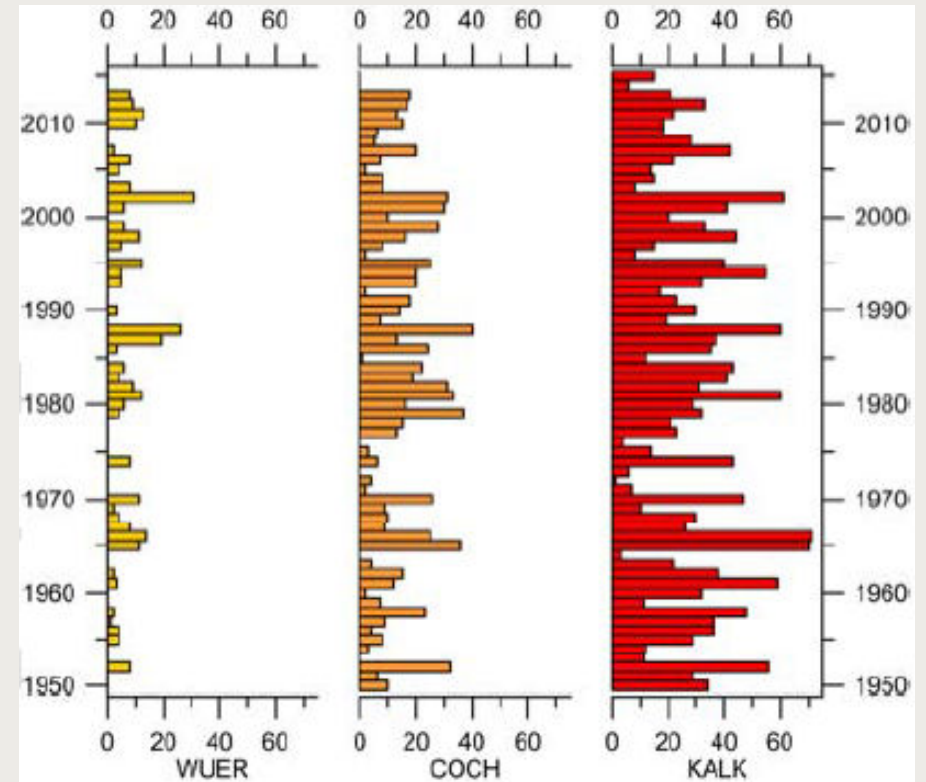
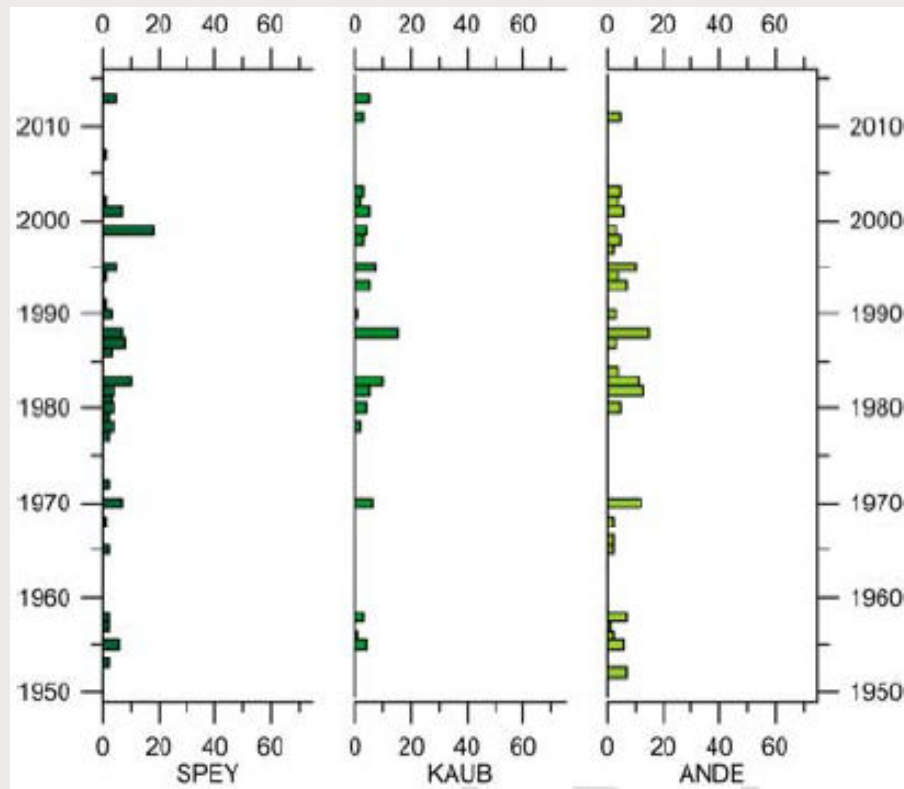
Historische Einordnung abladerelevanter Niedrigwasserkenngrößen

NM7Q
(engl. AM7)

Kleinstes
7-Tagesmittelwert
des Abflusses
in einem
Wasserhaushaltsjahr



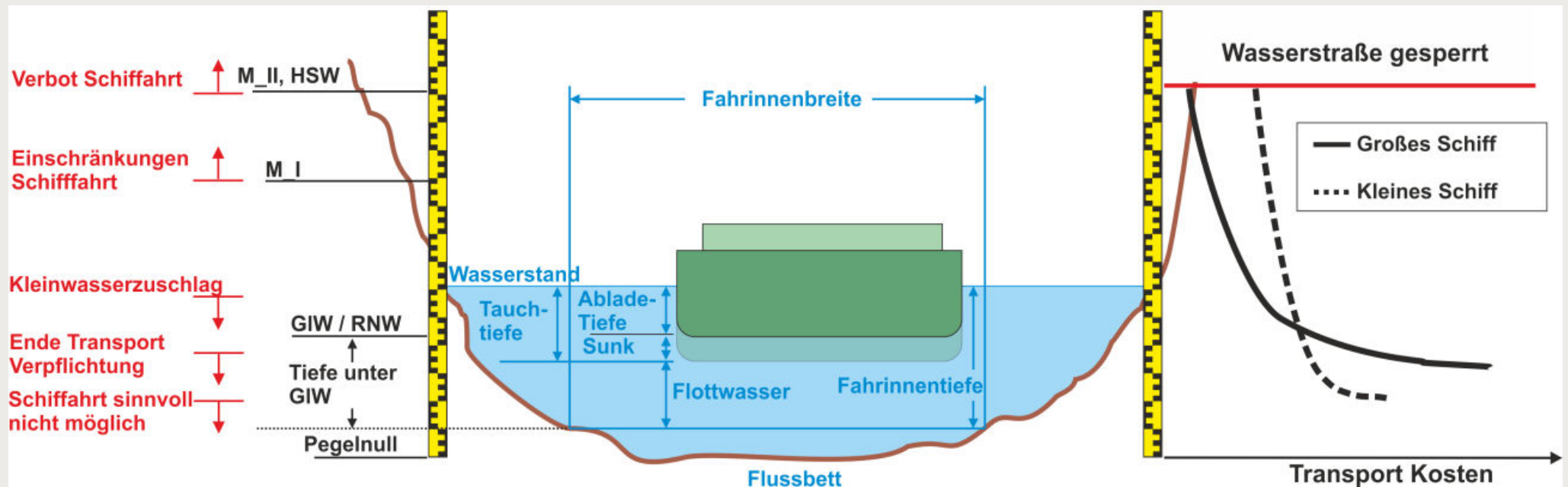
Indikator "Jährliche Anzahl von Tagen mit hochwasserbedingter Sperrung"



*Ausgewählte Pegel am Rhein und ausgewählten Nebengewässern
(Main, Mosel, Lahn) zwischen 1950 und 2015*

Nilson und Helms, 2017

Zusammenhang zwischen hydrologischen Bedingungen (Wasserstand), Geometrie der Wasserstraße und Kennwerte für die Schifffahrt und Transportkosten



Frielingsdorf et al. (2022), Meißner et al. (2017)

Konzertierte Aktion gegen die weitreichenden Folgen von extremem Niedrigwasser im Rhein:

BMDV und mehrere Verbände haben einen 8-Punkte-Plan erarbeitet, der zuverlässig kalkulierbare Transportbedingungen am Rhein sicherstellen soll. Für die chemische Industrie ist der Rhein die wichtigste Binnenwasserstraße



- Foto: - © EKH-Pictures/stock.adobe.com

Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ für zuverlässigen Transport H2O statt CO2 – Wir machen den Güterverkehr auf dem Rhein zukunftssicher

Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“



04.07.2019



Informationsbereitstellung

1. Wasserstandsvorhersage verbessern
2. DAS-Basisdienst Klima & Wasser
3. Aktuelle Tiefeninformationen bereitstellen



Transport & Logistik

4. Transportkonzepte anpassen & Technik optimieren



Infrastruktur

5. „Abladeoptimierung am Mittel- & Niederrhein“ beschleunigen
6. Beschleunigte Umsetzung der Abladeoptimierung am Mittelrhein durch Maßnahmengesetz



Langfristige Lösungsansätze

7. Wasserbauliche & wasserwirtschaftliche Optionen untersuchen
8. Gesellschaftlicher Dialog

Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

"[...] auch bei einer erfolgreichen Begrenzung des Temperaturanstiegs ist mit Auswirkungen des bereits begonnenen Klimawandels zu rechnen.

Die Bundesregierung legt deshalb eine **Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)** vor. [...]"

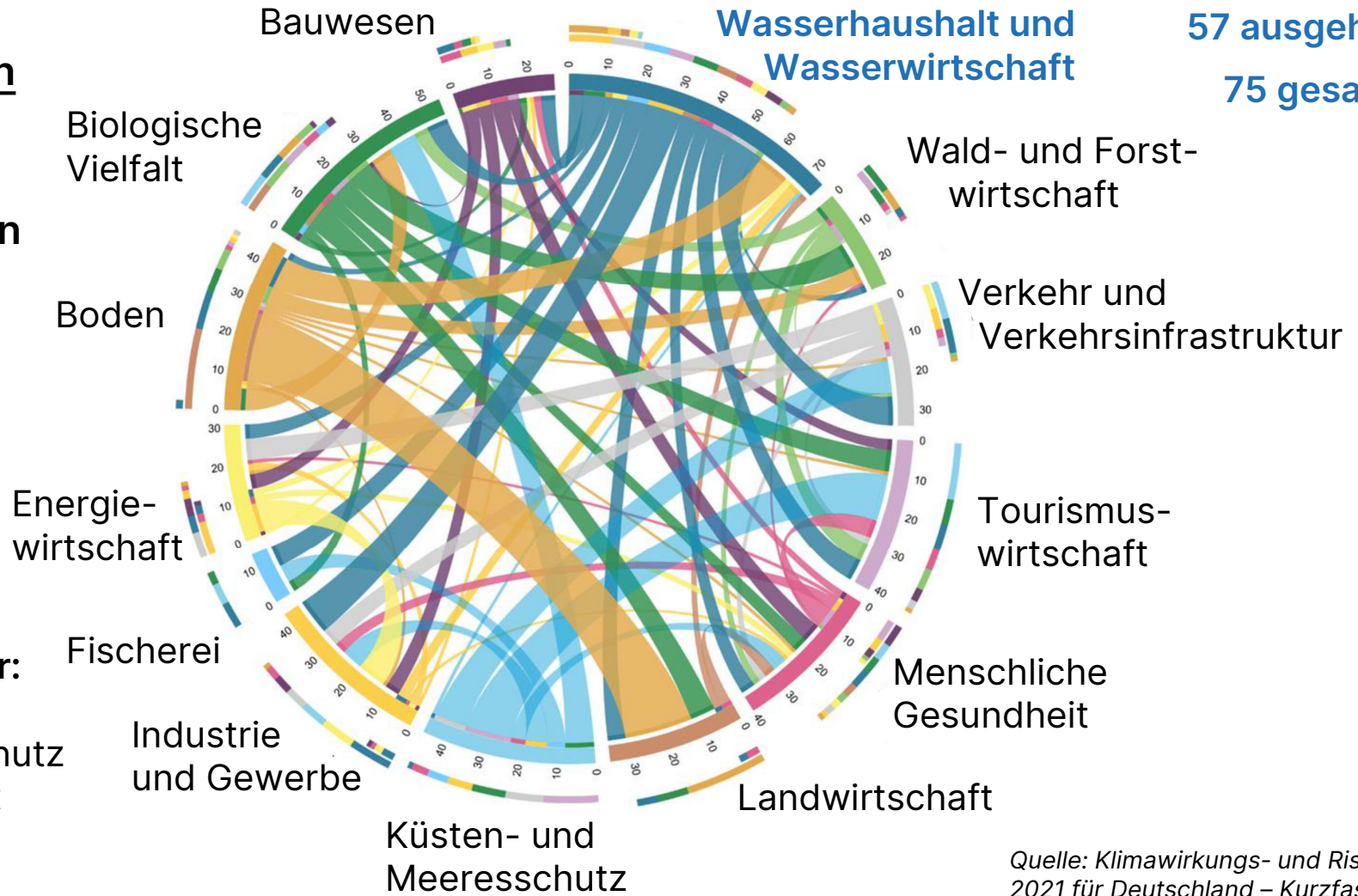
beschlossen vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008



Foto: bei Andernach (Nilson, 24.05.2022)

Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Wirkbeziehungen zwischen den 13 DAS- Handlungsfeldern



18 eingehend
57 ausgehend
75 gesamt

- + **Querschnittsfelder:**
- Raumordnung
 - Bevölkerungsschutz
 - Finanzwirtschaft

Quelle: Klimawirkungs- und Risikoanalyse
2021 für Deutschland – Kurzfassung.
Climate Change 26/2021; hier: adelphi

Ressortübergreifende Entwicklung

Datengrundlagen für die
Anpassungsstrategien
*handlungsfeldübergreifend
abstimmen!*

DAS-Basisdienst "Klima und Wasser"

Maßnahmenbezogene Beratung

Einstiegshürden für die
Anwendung in der Praxis
herabsetzen!



Leistungen des DAS Basisdienstes (Hydrologie)

Interaktives Webportal

- interaktiver Webzugriff auf Informationen und Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland
- Abfluss- und Wassertemperaturprojektionen
- Tidewasserstände
- Darstellen und Vergleichen unterschiedlicher RCP-Szenarien und Ensembles

<https://ws-klimaportal.bafg.de/>

Das WS-Klimaportal
Auf dieser Seite finden Sie Informationen und Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die großen Flüsse und Küstengewässer in Deutschland.
Das Angebot umfasst Informationen zu vergangenen und zukünftigen Änderungen von Abflüssen, Wassertemperaturen und weiteren Kennwerten der Wasserbeschaffenheit an Binnenwasserstraßen sowie zu Meeresspiegeländerungen und zur Tidecharakteristik in den Küstengebieten.

Ein Angebot für die Wasserwirtschaft und Schifffahrt
Unser Angebot richtet sich an Akteure, die sich für die Auswirkungen des Klimawandels auf die großen Flüsse und das Küstengewässer in Deutschland interessieren, sich mit der Anpassung an den Klimawandel auseinandersetzen müssen oder die Forschungsarbeit zu diesem Zukunftsthema voranbringen möchten. Angesprochen sind die Politik, Behörden, wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen, Medien sowie die Öffentlichkeit.

Teil des DAS-Basisdienstes "Klima und Wasser"
Der Dienst ist Teil des DAS-Basisdienstes "Klima und Wasser" und liefert Grundlagen für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel der Bundesregierung. Das Angebot befindet sich noch im Aufbau. Sollten Sie weitergehenden Beratungs- oder Datenbedarf haben, nehmen Sie bitte [Kontakt](#) mit uns auf.

Hinweis für WSV-Mitarbeitende
Für wiederkehrende Informationsbedarfe, z.B. im Zuge von routinemäßigen Planungsvorgängen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, können spezifische flussabschnittsbezogene Berichte konfiguriert, generiert und bereitgestellt werden. Bitte wenden Sie sich bei Interesse an das [Beratungsteam](#)

[Impressum](#) [Datenschutzerklärung](#)

Stationsbezogene Auswertungen
Zu den stationsbezogenen Auswertungen geht es hier lang; zum Beispiel Abflussänderungen an Flusspegeln.
Pfling (Donau, MQ)
Karten
Hier erreichen Sie direkt unseren Atlas; zum Beispiel regional differenzierte Änderungen im Gewässernetz.

Rohdaten
Falls Sie Interesse an Zeitreihen- und Rohdaten haben, wenden Sie sich bitte an unser Funktionspostfach das-basisdienst@bafg.de.

Katib, MQ

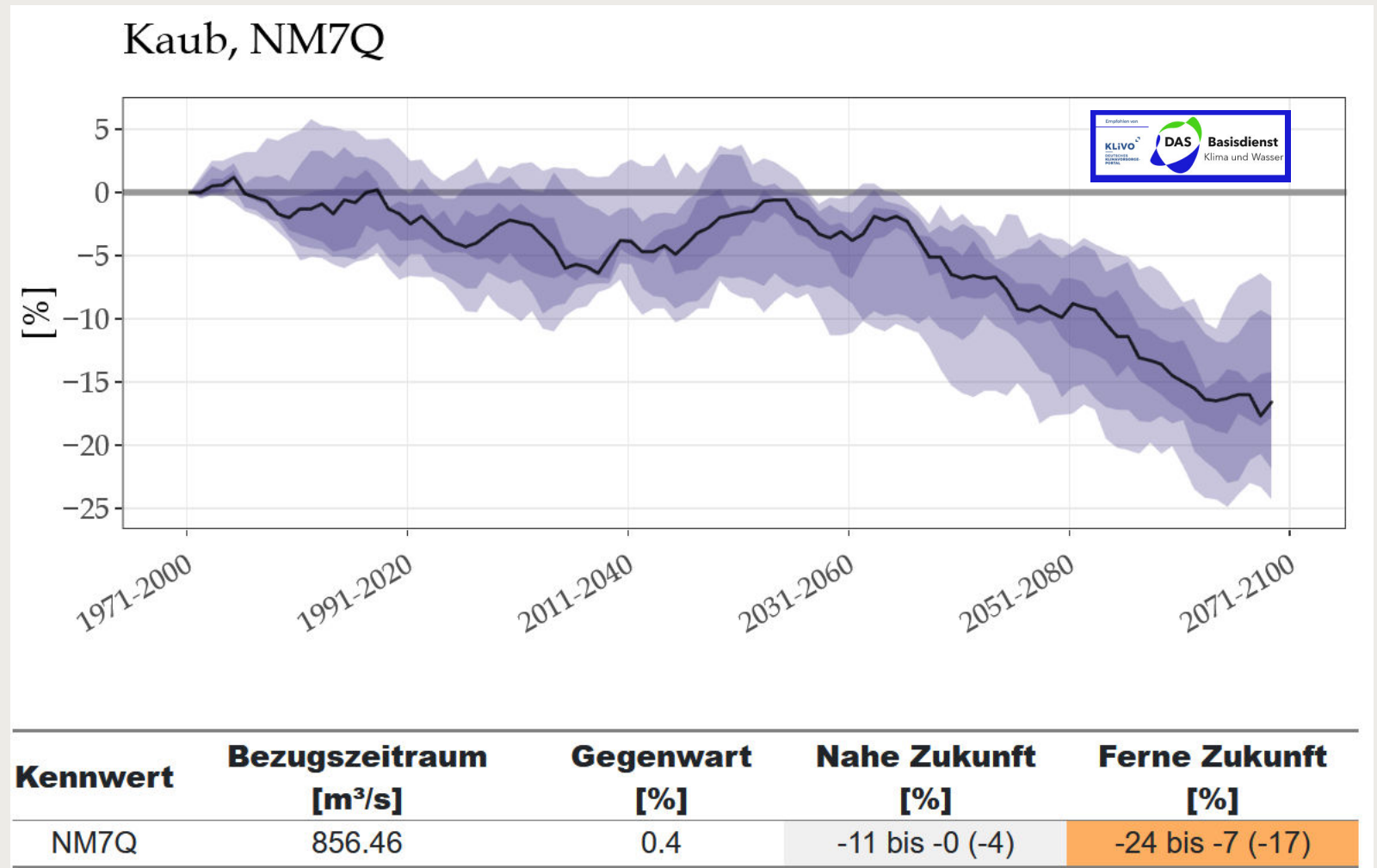
Beispiel: Entwicklung Niedrigwasser

Szenario

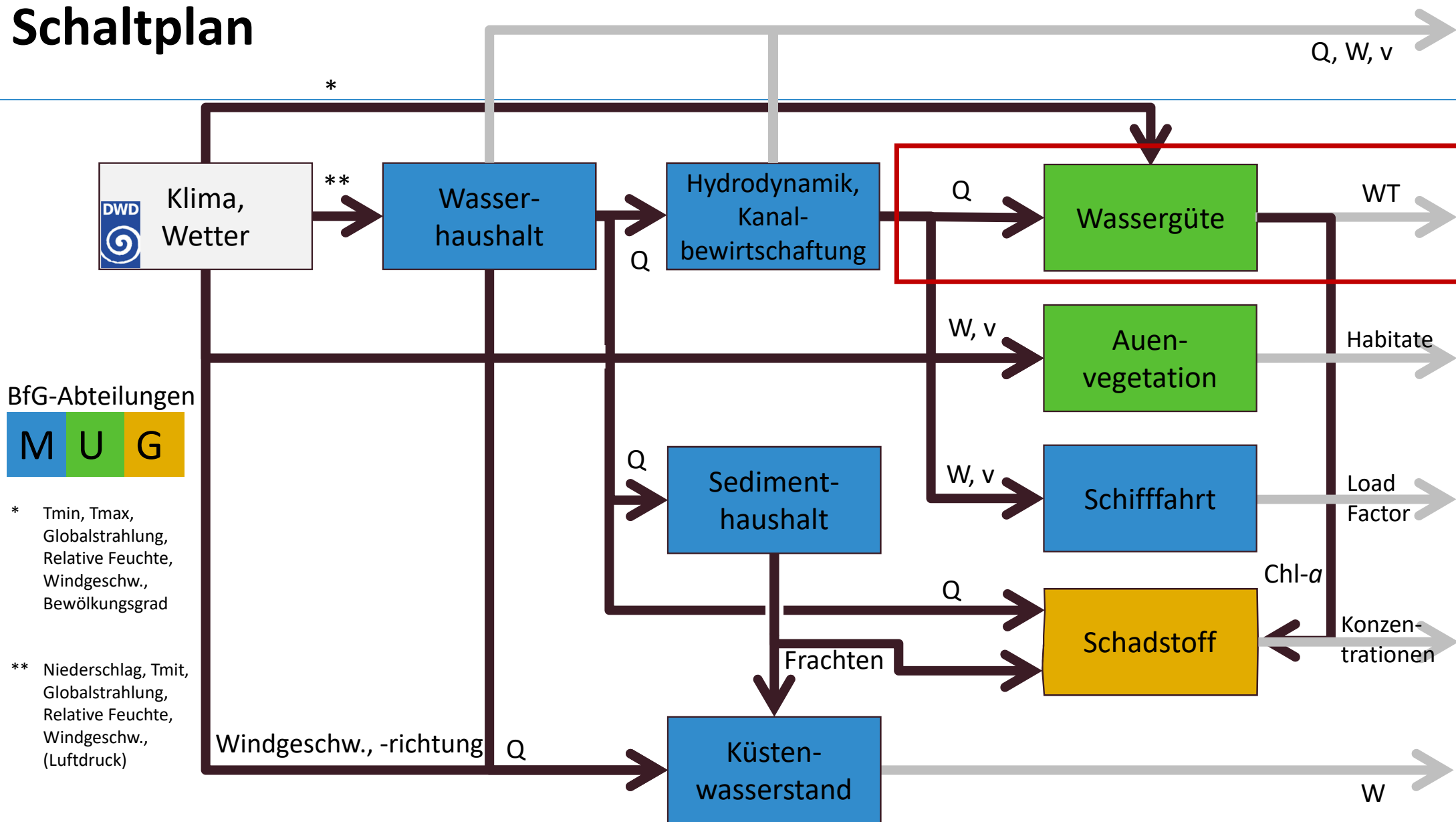
Ensemble

Kennwert

Aufbereitung



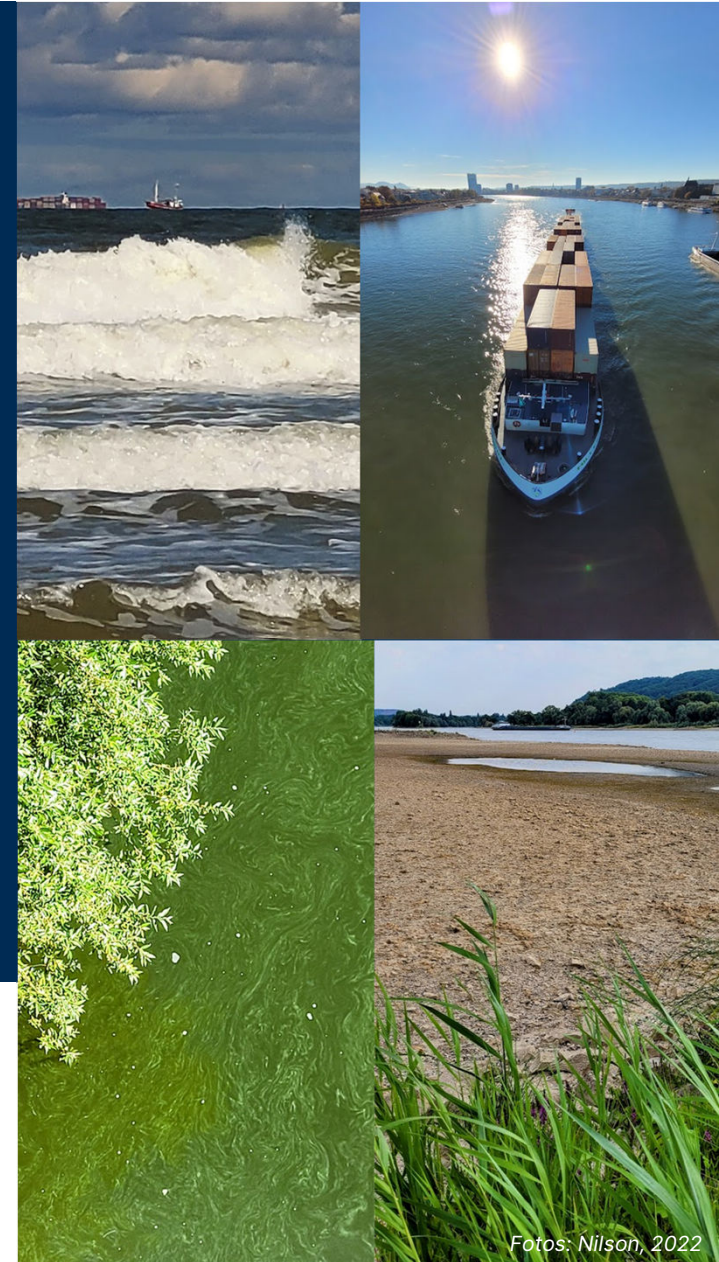
Schaltplan



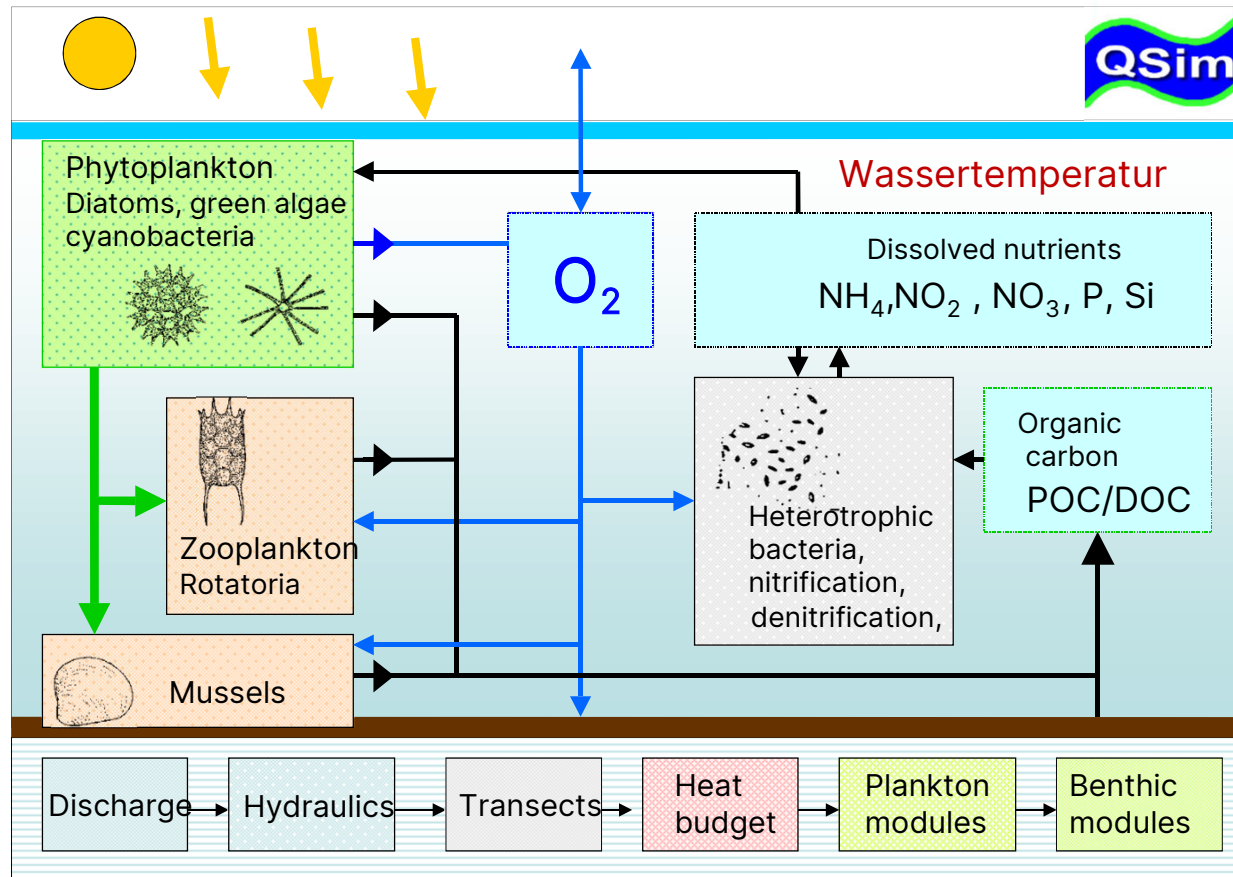
Gewässergüte in Klimawandel und Klimaanpassung: Phytoplankton-Massenentwicklung ... durch Niedrigwasser

Helmuth Fischer, Marieke Frassl,
Claudius Fleischer*, Enno Nilson*, Carsten Viergutz*

Referat U2 – Mikrobielle Ökologie
Referat M2* – Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen



Das Gewässergütemodell QSim



Schöl et al. 1999, 2002

Simulation komplexer chemischer und biologischer Prozesse in Fließgewässern

Deterministisches Modell

Aktive Entwicklung seit 1979

Informationen zu Qsim:

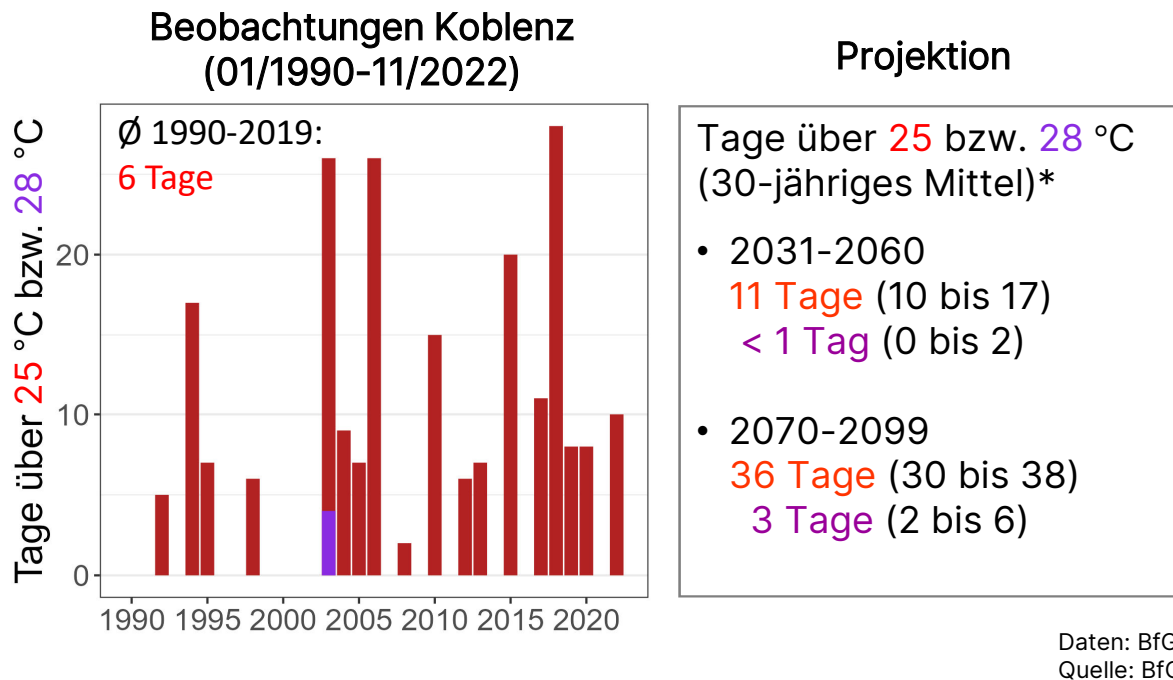
https://www.bafg.de/DE/08Z_Ref/U2/QSIM/qsimZ_node.html

Informationen zu weiteren aquatischen Ökosystemmodellen:

Janssen, et al. "Exploring, exploiting and evolving diversity of aquatic ecosystem models: a community perspective." *Aquatic Ecology* 49 (2015): 513-548

<https://github.com/aemon-j/aquatic-ecosystem-model-library/wiki>

Schwellenwertüberschreitungen der Tagesmittelwerte der Wassertemperatur



Maßnahme und Klimawirkung APA:

Fischerei & Biodiversität

Nr. 1.4: Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

- FI-01: „Gebietsfremde Arten, Artenspektrum“
- FI-02: „Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen“
- BD-02: „Areale von Arten“

Energie

Nr. 2.33: Überprüfung von Wärmelastplänen unter veränderten hydrologischen und Temperaturbedingungen

- EW-04: „Kühlwasser für thermische Kraftwerke“

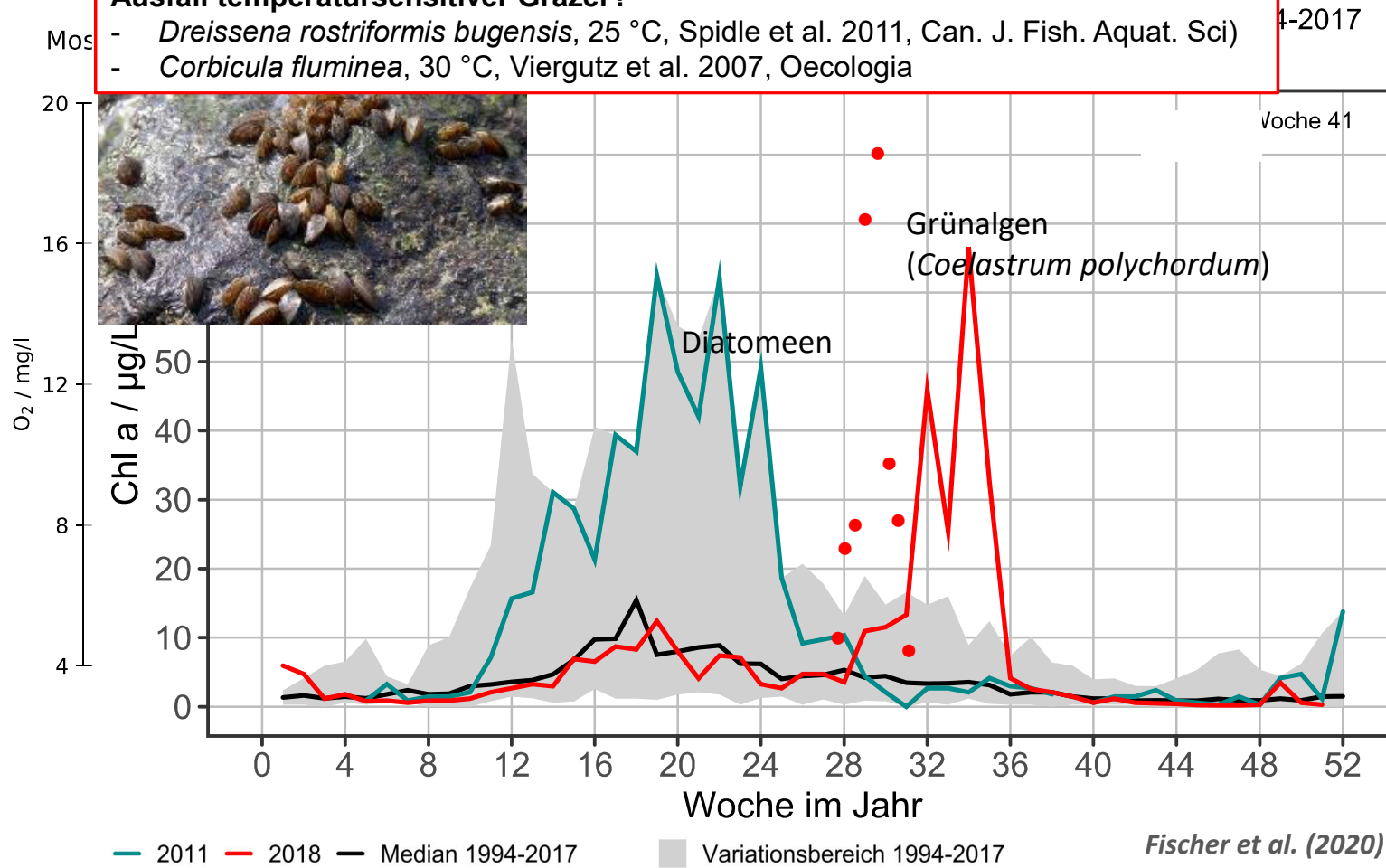
- Schwellenwerte 25°C und 28°C (vgl. WRRL & OGewVO)
- * berechnet aus 5 Wassergüteprojektionen für das Emissionsszenario RCP8.5

Algendynamik

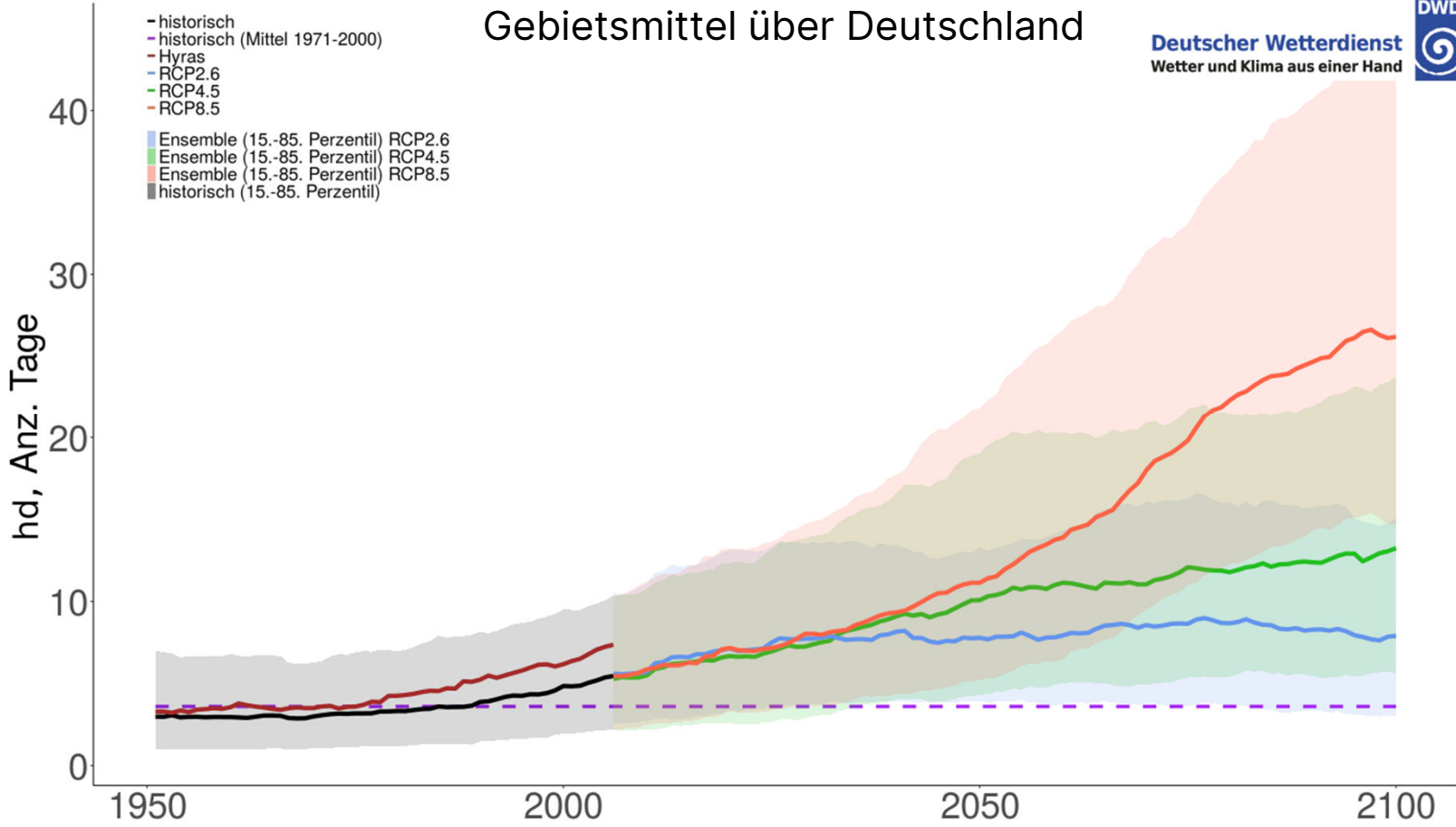
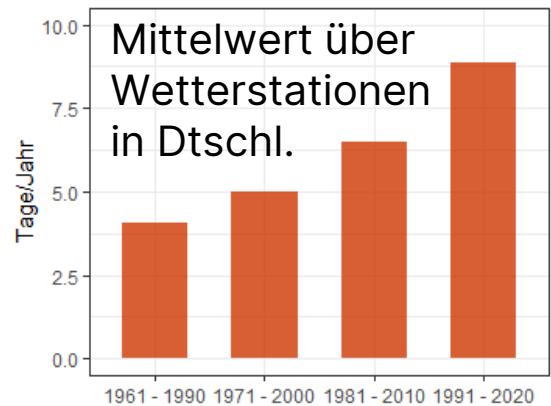
Chlorophyll a: Rhein (Koblenz)

Ausfall temperatursensitiver Grazer?

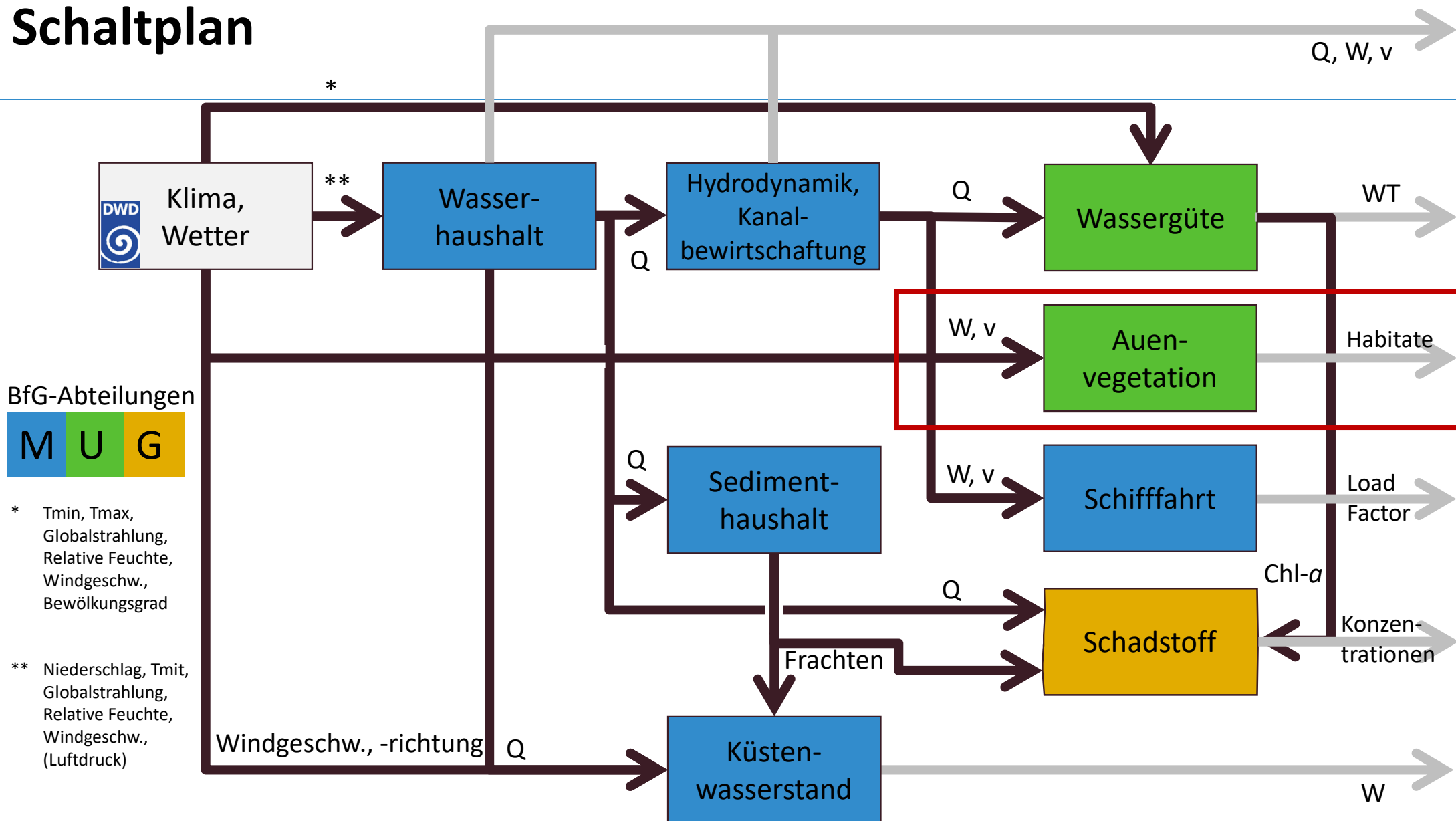
- *Dreissena rostriformis bugensis*, 25 °C, Spidle et al. 2011, Can. J. Fish. Aquat. Sci)
- *Corbicula fluminea*, 30 °C, Viergutz et al. 2007, Oecologia



Hitzefrei: Anzahl der heißen Tage (Tage mit Tagesmaximum der Temp. $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Schaltplan



Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flusssufer und -auen

Peter Horchler & Arnd Weber

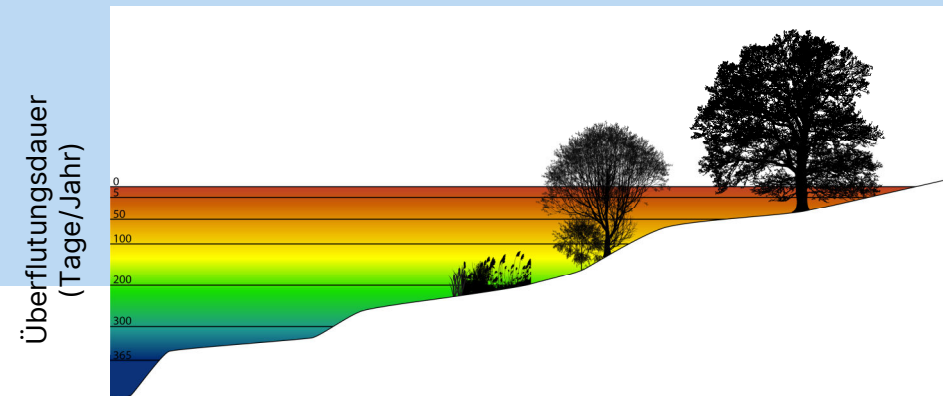
Referat Vegetationskunde, Landschaftsplanung



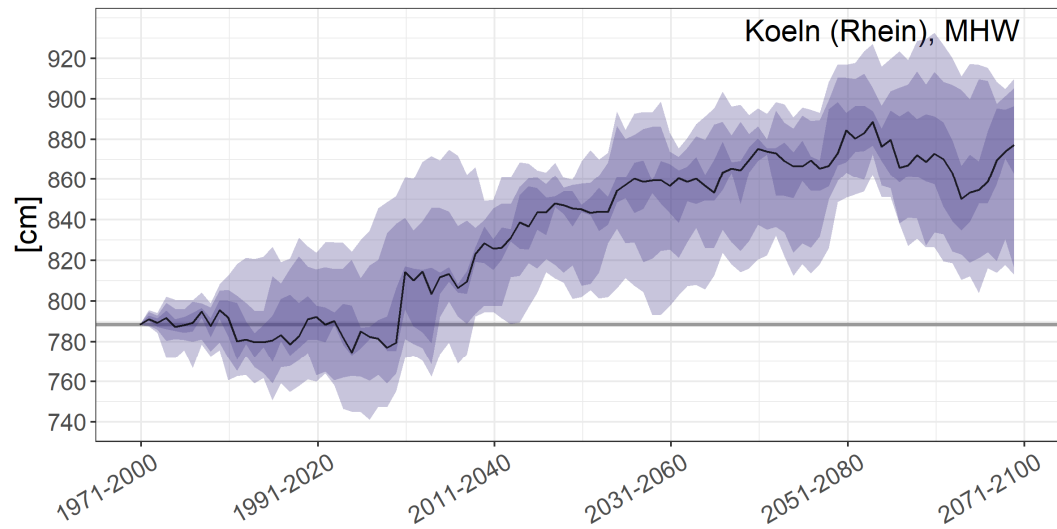
BfG Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Wie sind Auen definiert?

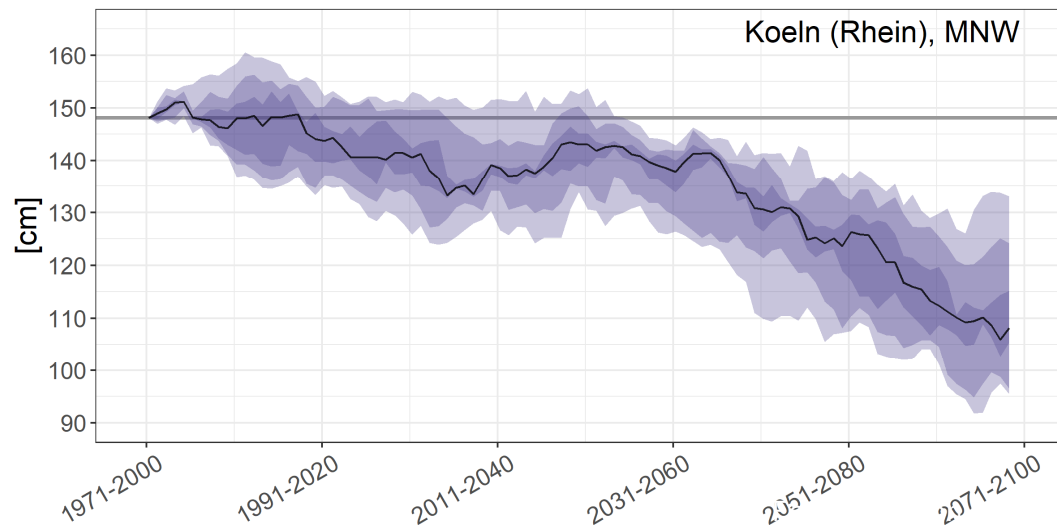
- Auen sind geprägt von permanenten Veränderungen der Habitateigenschaften
- natürliche Auen sind hydrologisch und morphologisch sehr dynamisch
- Auen sind semi-terrestrisch oder semi-aquatisch, bzw. nicht vollständig aquatisch, aber auch nicht vollständig terrestrisch



Klimawandel



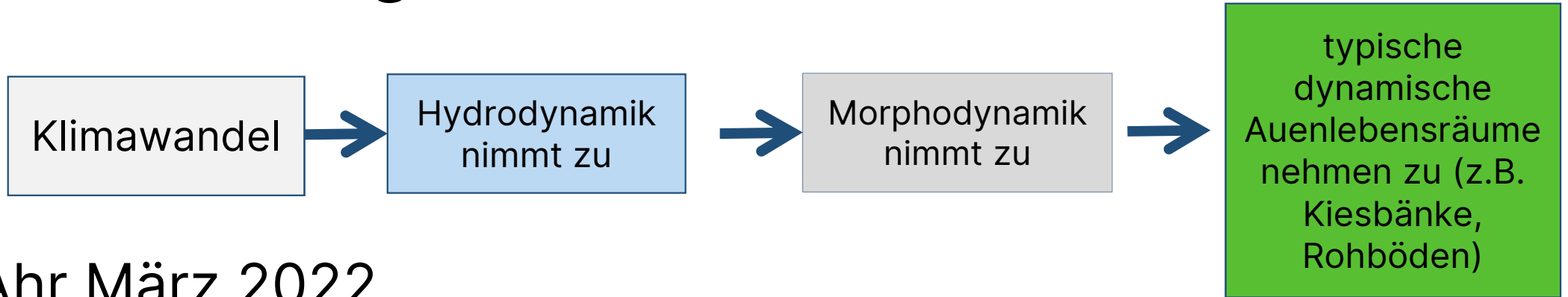
+ 90 cm



- 40 cm

Schwankungs-
breite nimmt
zu

Auswirkungen extrem hoher Abflüsse



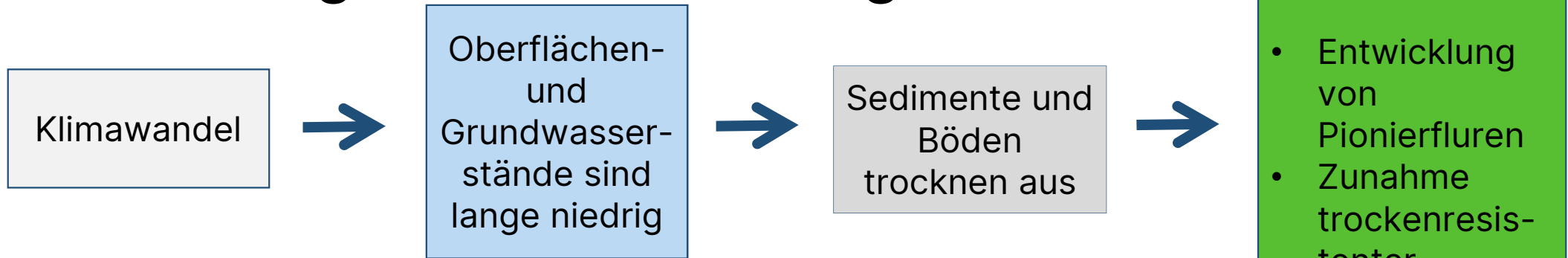
Ahr März 2022



Fazit

- extremere Hochwässer führen zu mehr Morphodynamik und damit zur Neubildung dynamischer Habitate
- eine bessere, natürliche Vorsorge für Hochwasserextreme (mehr Raum für Flüsse) schafft Potentiale für „Renaturierungen durch Hochwässer“

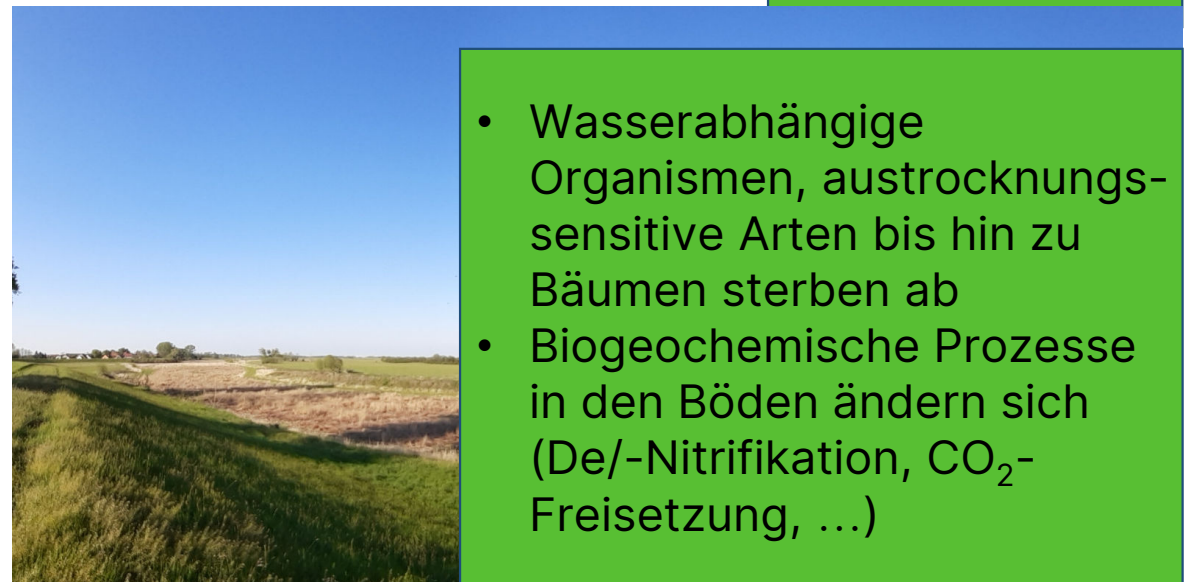
Auswirkungen extrem niedriger Abflüsse



Mittelrhein August 2018



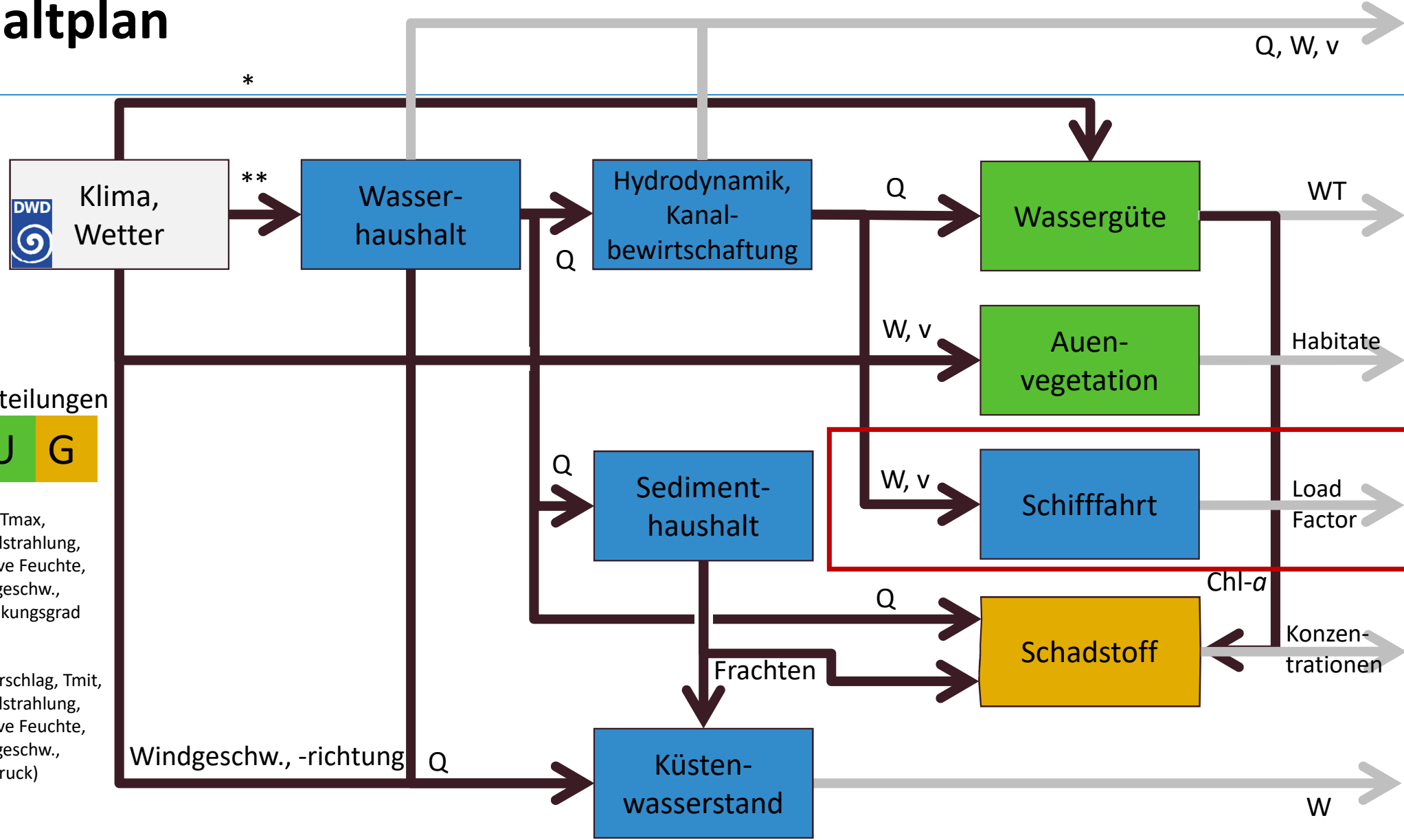
Alte Elbe bei Bösewig



Fazit

- trockenheitsresistente, wärmeliebende Arten nehmen zu (z.B. Feigen)
- trockenheitssensitive Arten nehmen ab (z.B. Weiden)
- Es wird neue Artengemeinschaften geben
→ ggf. Anpassung naturschutzfachlicher Normen
(z.B. Kriterien für FFH-LRT)
- Änderung biogeochemischer Prozesse
→ ggf. Veränderung regulativer Ökosystemleistungen

Schaltplan



BfG-Abteilungen
M U G

* Tmin, Tmax,
 Globalstrahlung,
 Relative Feuchte,
 Windgeschw.,
 Bewölkungsgrad

** Niederschlag, Tmit,
 Globalstrahlung,
 Relative Feuchte,
 Windgeschw.,
 (Luftdruck)

Windgeschw., -richtung

Frachten

Q, W, v

WT

Habitate

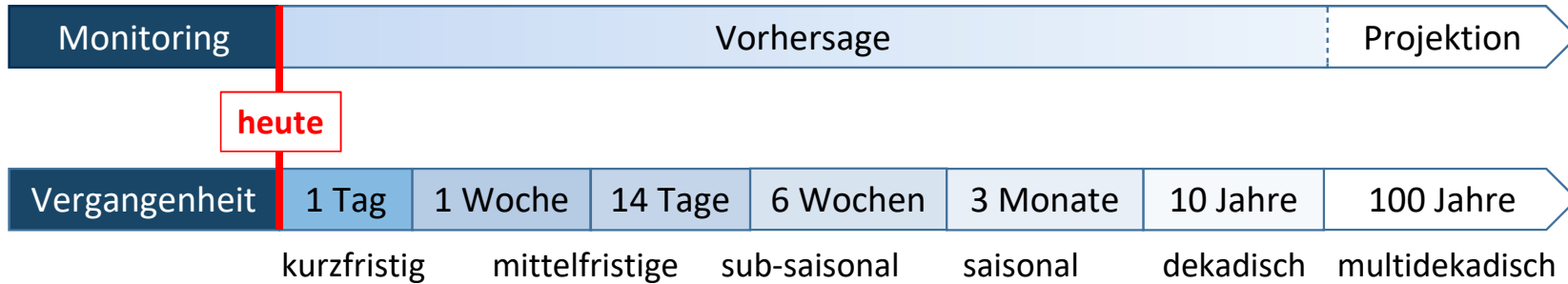
Load Factor

Chl-a

Konzentrationen

W

Vorhersage



Veröffentlichung
verkehrsbezogener
Wasserstands-
vorhersagen
im WSV- Portal /
dem RIS der WSV
ELWIS
(www.elwis.de)

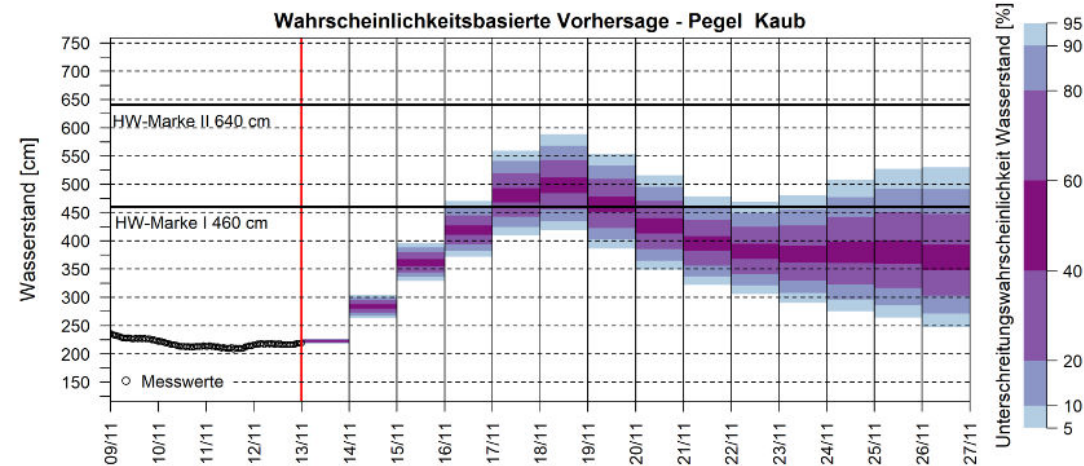
Schwarze Linie: beobachteter/eingetretener
Wasserstand

Wahrscheinlichkeitsbasierte 14-Tage-Vorhersage Pegel Kaub

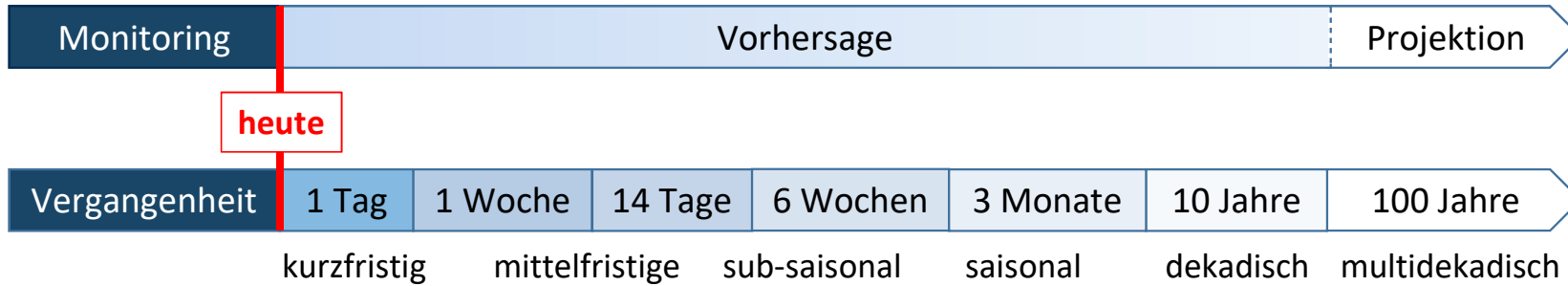


Vorhersage vom: 13.11.2023 00:00 MEZ

Die in der Grafik und in den Tabellen angegebenen Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten definierter Wasserstände basieren auf Tagesmittelwerten (jeweils 00:00 bis 00:00 des Folgetages).

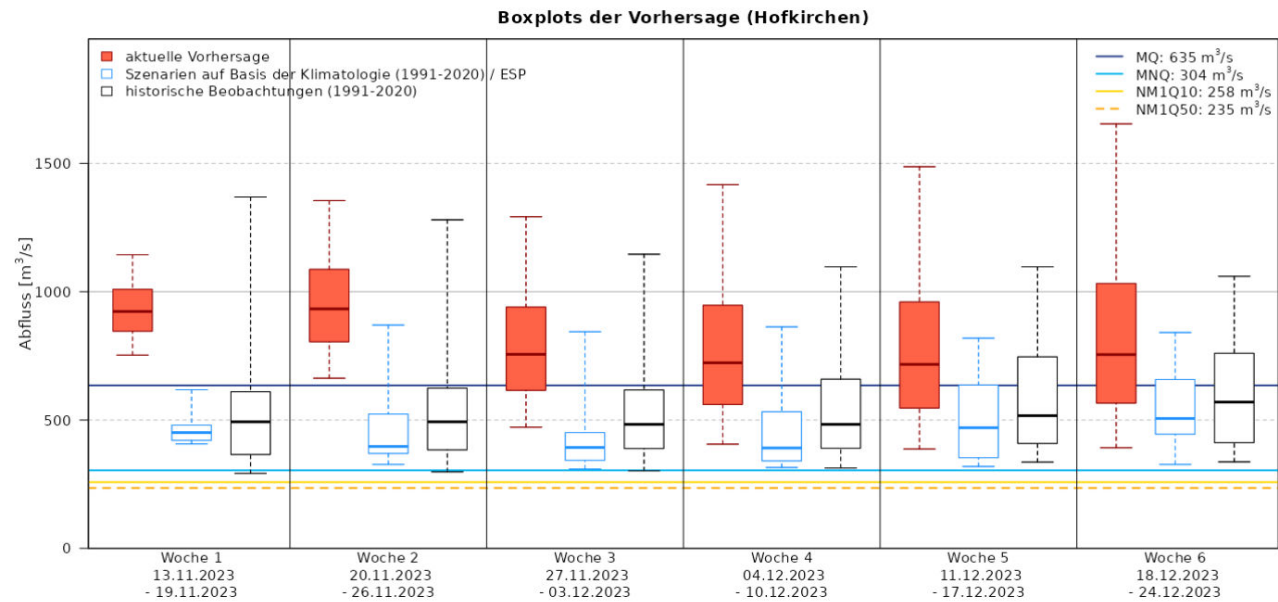


Vorhersage



6-Wochen-
vorhersage

Experimentell



Schwarze Linie: beobachteter/eingetretener
Wasserstand

BMDV-Expertennetzwerk – Ressortforschungsprogramm "Verkehr"

Folgen des Klimawandels
einheitlich bewerten –
**verkehrsträgerübergreifend,
interinstitutionell und
interdisziplinär!**

Themenfeld "Klimawandelfolgen und Anpassung"



Gemeinsam forschende BMDV-Oberbehörden



Bundesamt
für Logistik
und Mobilität

bast
Bundesanstalt für
Straßenwesen



BAW
Bundesanstalt für Wasserbau



BfG Bundesanstalt für
Gewässerkunde



Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt



Photo(montage): E. Nilson (BfG); 06.09.2020

Peter Krahe
Referat M2
+49 261 1306-5234
krahe@bafg.de

Daten & Infos DAS-Basisdienst:

E-Mail:

DAS-Basisdienst@BafG.de

Website/Portal

<https://www.das-basisdienst.de/>

<https://ws-klimaportal.bafg.de/>



Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

www.bafg.de

