

Hintergrund

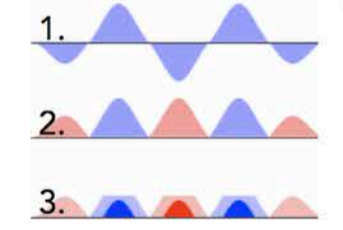
Der Rhein ist eines der größten Stromgebiete Europas und weist hohe Abflussvariabilität und unterschiedliche Regime an seinen Pegeln auf. Dadurch sind Vergleiche von Niedrigwasserereignissen aufwendig und lassen sich schwierig visualisieren. Ziel dieser Studie ist daher extreme Niedrigwasserereignisse durch Visualisierungen aufzuarbeiten.

Methodik

Diese Datenanalyse basiert auf langen Abflusszeitreihen (1917-2016) für sechs Pegel entlang des Rheins. Brienzwiler (Aare) und Illanz (Hinterrhein) repräsentieren die Kopfeinzugsgebiete der Schweiz. Niedrigwassererkennungswerte wurden basierend auf NM7Q-Werten, Schwellenwerte wie MNO sind für 25 Jahresperioden berechnet. Das Abflussdefizit errechnet sich aus der Summe der negativen Abweichungen der Abflüsse von ihren vieljährigen Tagesmittelwerten MQ Tag. Für die Normierung MQ-Tage wird das Abflussdefizit als Dauer in Anzahl Tage mit mittlerem Abfluss ausgedrückt (Van Loon et al., 2014).

Horizonchart

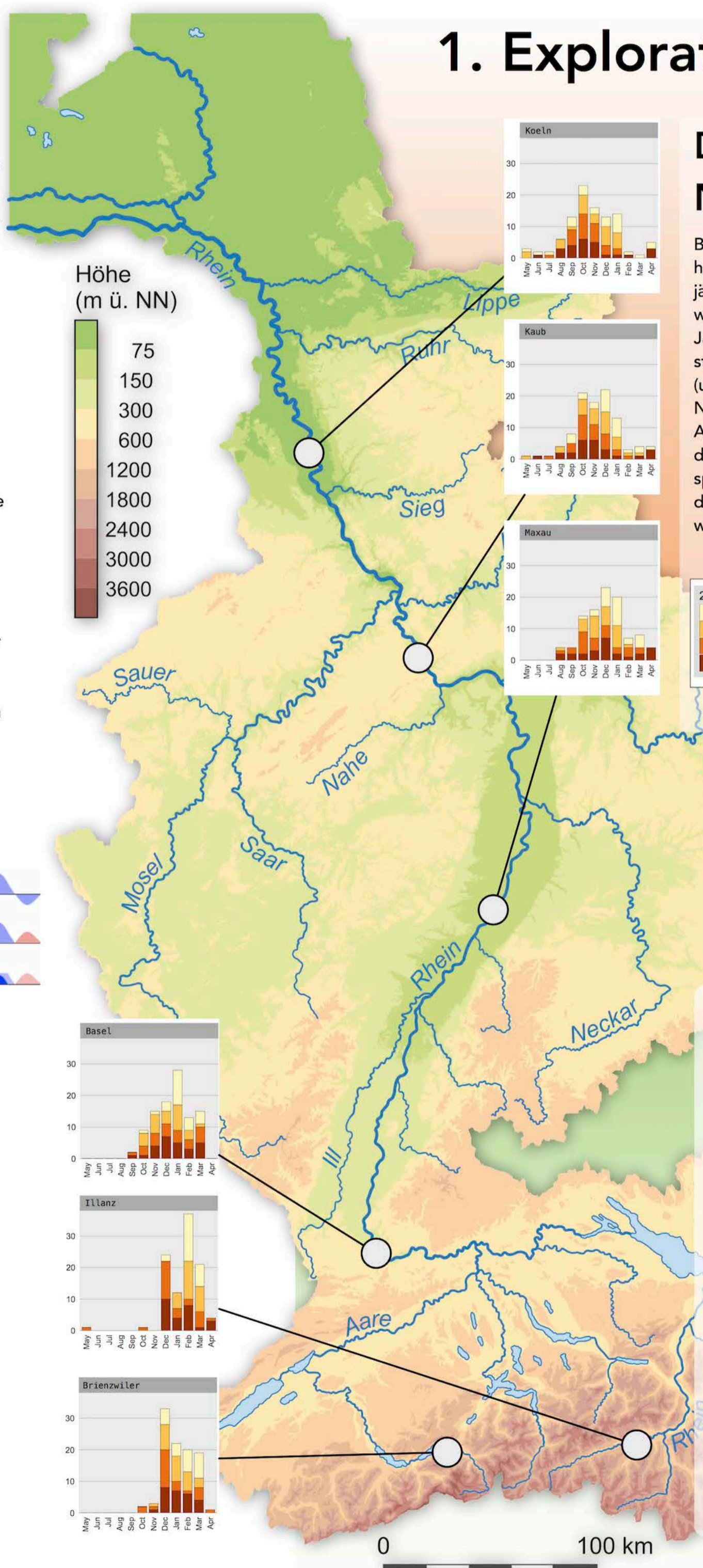
Grundlage sind tägliche z-Werte auf Basis eines 45-tägigen gleitenden Abflussmittels.



z-Werte sind in Bänder $\pm 0.75\sigma$ gefaltet und mittels Farbsättigung überlagert. Negative Anomalien (Niedrigwasser) werden von oben, positive Anomalien (Hochwasser) von unten aufgetragen. Hochwässer $> +2.25\sigma$ sind schwarz gekennzeichnet. Systematik Horizonchart verändert nach Heer et al. (2009).

Zwei Phasen

Während einer graphischen Datenanalyse (Unwin, 2015) werden zwei Phasen durchlaufen: Eine explorative Phase, um mögliche Muster und Besonderheiten in den Daten herauszuarbeiten und eine erklärende Phase, welche die extrahierten Muster in Zusammenhänge stellt und die Besonderheiten des Datensatzes herausarbeitet.

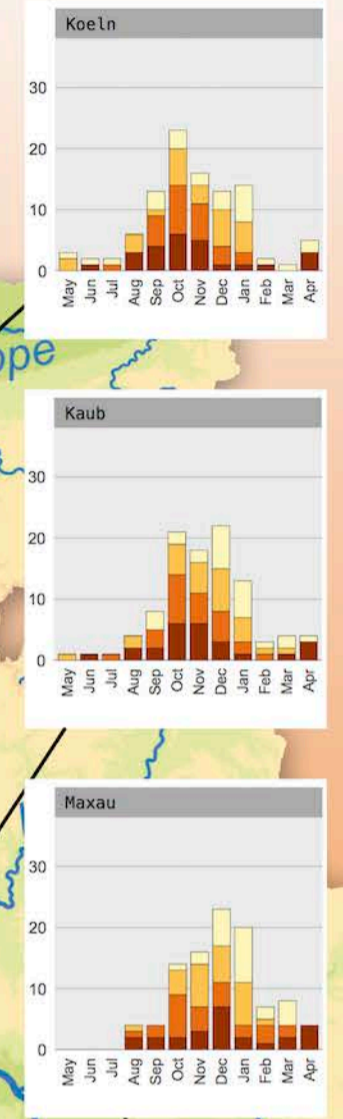


1. Explorative Phase: Niedrigwassermuster erkennen

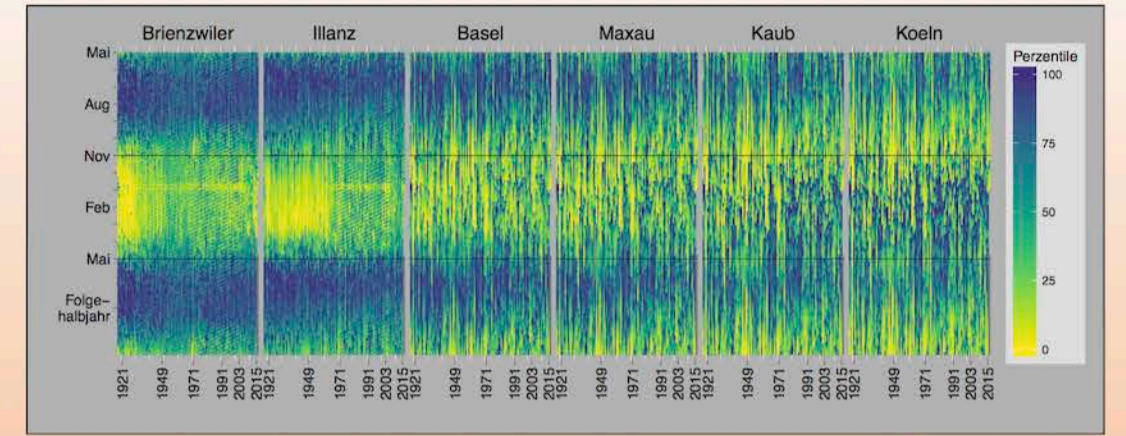
Definition Niedrigwasserjahr

Bei Analysen mit Kalenderjahren treten häufig statistische Abhängigkeiten der jährlichen Niedrigwassererkenntnisgrößen auf, wenn ein Niedrigwasserereignis über den Jahreswechsel hinweg andauert. Aus statistischer Sicht sind für den Rhein 1. Mai (und 1. Juni) als Beginn des Niedrigwasserjahres nutzbar. Aus hydrologischer Sicht sollte das definierte Niedrigwasserjahr alle pegel-spezifischen Niedrigwasserregime entlang des Gewässers abdecken können - winterliche wie sommerliche Ereignisse.

Für die Rheinpegel wurden Niedrigwassermonate auf Basis von mittleren Monatsabflüssen bestimmt und in vier 25-Jahresperioden aufgeteilt.

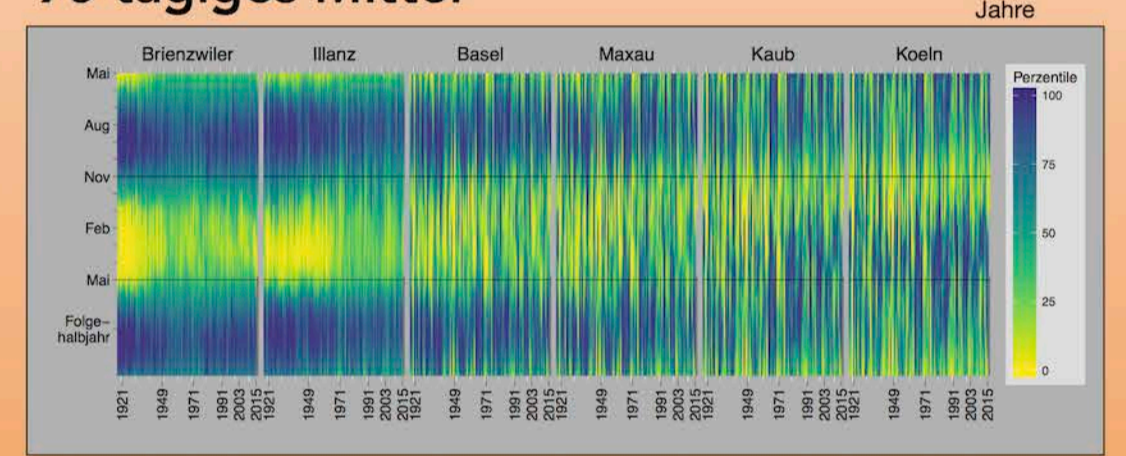


Abflussperzentile



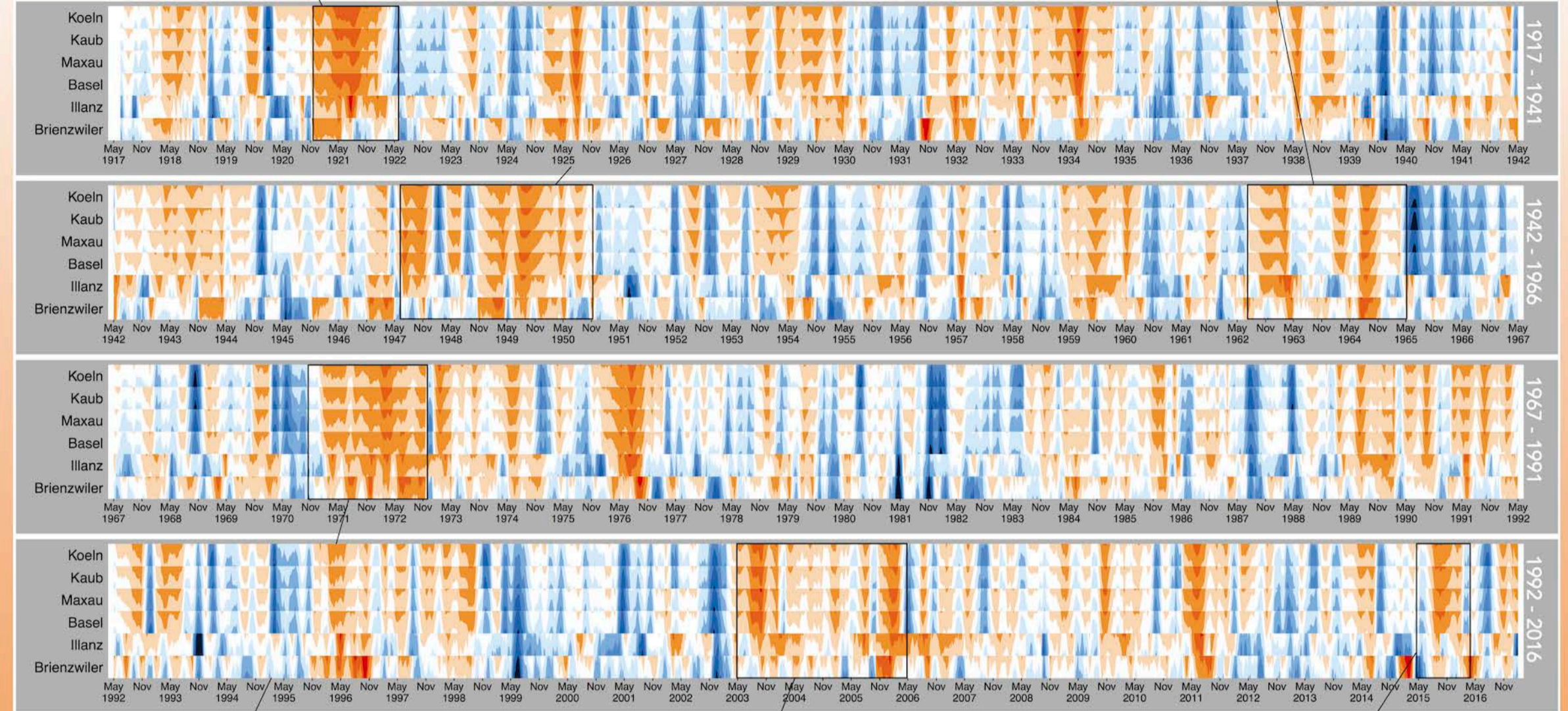
Tageswerte

90-tägiges Mittel



- Unterschiedliche Niedrigwasser-Saisonalität an den verschiedenen Pegeln
- Veränderung der Niedrigwasser-Saisonalität mit der Zeit (Pegel-spezifisch)
- Die Kopfeinzugsgebiete Brienzwiler und Illanz sind durch Stauhaltungen zur Stromproduktion geprägt

Abflussanomalien



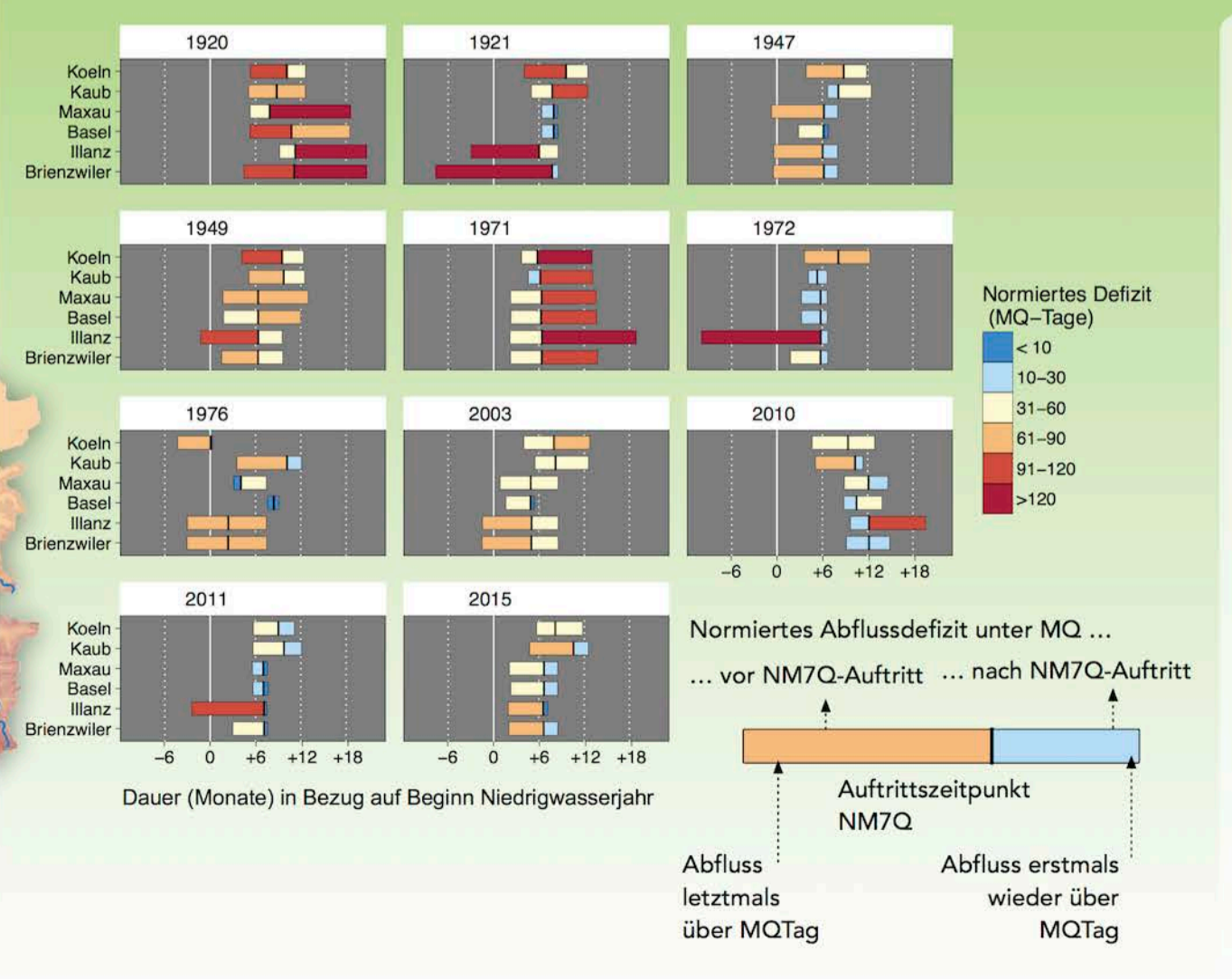
- 1920/21: Rekord-Niedrigwasser ab Basel, Beginn November 1920 und Ende Frühjahr 1922, Extrema im Sommer 1921. Stärker ausgeprägt stromabwärts.
- 1947-1949: Verkettung der Niedrigwasser-Jahre 1947, 1948 und 1949 mit Erholungsperioden.
- 1962-1964: Winterliche Niedrigwasser-Kaskade stromaufwärts 1962 und sommerliche Niedrigwasser-Kaskade stromabwärts 1964, Perioden nicht durch Hochwasser unterbrochen
- 1971/72: Im Rhein wesentlich persistenter als der "Klassiker 1976", aber weniger intensiv. Beispiel für langanhaltendes Niedrigwasser.
- 2003: Ein Klassiker der sommerlichen Niedrigwasserereignisse. Trotz feuchtem 2002 extremes Niedrigwasser im Sommer 2003, Niedrigwasser-Anomalie verschleppt sich teilweise bis 2006 (z.B. Illanz), 2005 teilweise extremer als 2003
- 2015: Beginnend ab September, Herbst/Winter-NW, ausgeprägt ab Basel, später Frühjahrs-NW in Kopfeinzugsgebieten (wie auch 2014 Brienzwiler)

Verschiebung der Saisonalität auf zwei Ebenen: im gesamten Einzugsgebiet und an den einzelnen Pegeln über 100 Jahre

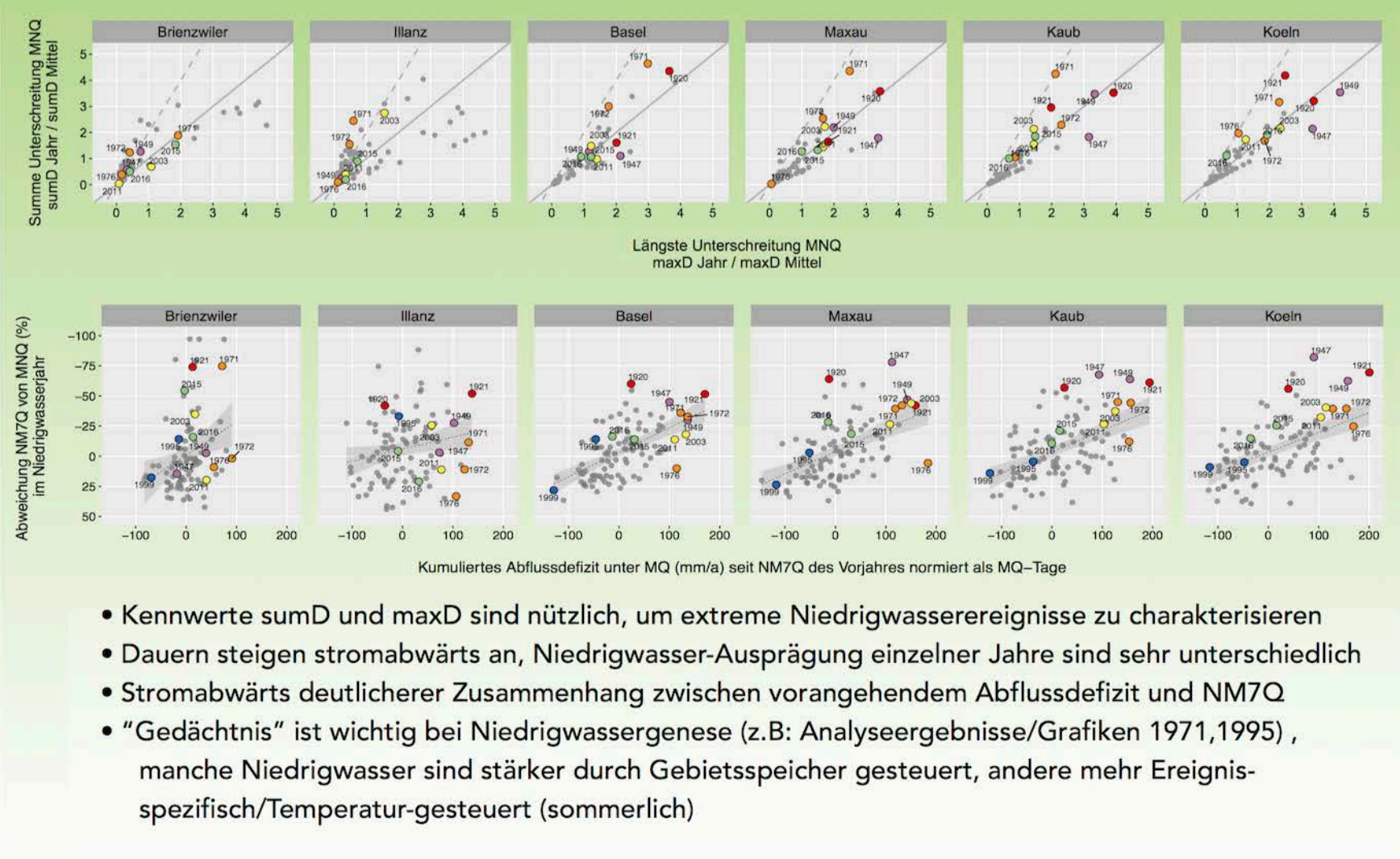
Unterschiedliche Niedrigwasser-Charakteristika für verschiedene Ereignisse und Unterschiede in den Ausprägungen an den Pegeln

2. Erklärende Phase: Eigenschaften extremer Ereignisse

Saisonalität und Verlauf



Dauer und Defizit



- Kennwerte sumD und maxD sind nützlich, um extreme Niedrigwasserereignisse zu charakterisieren
- Dauern steigen stromabwärts an, Niedrigwasser-Ausprägung einzelner Jahre sind sehr unterschiedlich
- Stromabwärts deutlicher Zusammenhang zwischen vorangehendem Abflussdefizit und NM7Q
- "Gedächtnis" ist wichtig bei Niedrigwassergenenese (z.B. Analyseergebnisse/Grafiken 1971,1995), manche Niedrigwasser sind stärker durch Gebietsspeicher gesteuert, andere mehr Ereignis-spezifisch/Temperatur-gesteuert (sommerlich)

Graphische Schlussfolgerungen

- Heatmaps (Abflussperzentile) und Horizoncharts (Abflussanomalien) eignen sich für lange Zeitreihen und eine Gegenüberstellung verschiedener Abflusszeitreihen.
- Zur Detektion von Mustern sind gereichte Einzelplots für Pegel (small multiples) oder die Anordnung der Pegelzeitreihen in sortierten Bändern (Horizoncharts) hilfreich.
- Die Faltung der Bänder im Horizonchart ermöglicht eine platzsparende, komprimierte Darstellung.
- Scatterplots können erweitert werden, wenn die Grundgesamtheit der Daten als Muster im Hintergrund und einzelne Jahre als Hervorhebung im Vordergrund dargestellt sind.

Hydrologische Schlussfolgerungen

- Die Abflussperzentile zeigen Beeinflussung der Pegel (vor allem im Oberlauf) und die Verschiebung der Niedrigwassersaisonalität für jeden Pegel, aber auch für das gesamte Rheineinzugsgebiet.
- Die Abflussanomalien geben Aufschluss über die Genese von Niedrigwasserperioden und beleuchten deren unterschiedliche Charakteristika.
- Unterschiedliche Niedrigwasser-Ereignisse haben an den Rhein-Pegeln unterschiedliche zeitliche Ausprägungen, Abflussdefizite und Verläufe.
- Bei extremen Niedrigwasser-Ereignissen sind stromabwärts die Dauern länger, stromaufwärts die Abflussdefizite größer.