



The year 2018 in a long-term perspective derived from documentary data

Rüdiger Glaser & Michael Kahle

Physical Geography, University of Freiburg

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

www.geographie.uni-freiburg.de

1. Data & Sources

Ho. 1624.

Dieses Jar ist ein gut herrlich jar an allen fruchten gewesen, mehr
dürr, denn feucht, und hat der wein nach Walpurgis geblühet, und
vor Mathai hat man ihn abgelesen, ist an allen orten, weit u. breit
ein solcher guter wein gewachsen, daß er dem Malteser ist lang
für worden, und von Stund an so schön u. lauter word, daß man
hinter Fruchten bedörfft. sondern man weiß in die gläser ge-
schickt hat, also daß ein eymers gedenscher, kein solcher wein ge-
wachsen ist. u. in Wapenberg ist er eben so gut worden, als hier
weil in Frankfurtland: der eymers hat golten 2. auf 3. fl. und
ist immerzu warm herbst wetter gewest bis auf andtre.
Ob wohl das getreid, wie auch andere fruchten, wohl gerathen,
ist es dennoch theuer gewesen, und das malter Korn 8. der
Dinkel 5. der Haber 3. fl. golten: ist aber nur ein geitz teu-
rung gewesen und weil vom neuen gelt her gerürt.
der wein hat in diesem jar 5. 6. denner golten, ao. 1620. als er
wunderbar, hat dieser wein 6. buzz gelt.

1624

Dieses Jar ist ein gut herrlich Jahr an allen Früchten gewesen, mehr dürr denn feucht und hat der Wein die Wochen nach Walpurgis [1.5.] geblühet und vor Mathai [Matthäus 21.9.] hat man ihn abgelesen, ist an allen orten weit u. breit ein solcher guter Wein gewachsen, . . .und war von Stund an so schön und lauter worden der Eymers hat golten 2 auf 3 fl. und ist immerzu warm herbst wetter gewechs bis auf andtre. Obwohl das Getreid wie auch andere fruchten wohl gerathen, ist es dennoch theuer gewesen, hat das Malter Korn 8 fl. der Dinkel 5 fl. und der Habern 3 fl. gegolten. Ist aber nur ein geitz Teuerung gewesen und noch vom neuen geld her gerürt..

Drought 1540

A.C. **1540** war der **dürre Sommer** / davon die Alten viel zu sagen gewust / **daß es in siebenzehnen Wochen keinen Grund Regen** gethan / unnd alle Morgen ein nasser Thaw die Frücht des Erdbodens allein erquicket: Es wuchs ein **uberaus guter/süsser/köstlicher und starcker Wein in allen Landen** / dergleichen bey Menschen Gedechtniß vor nie geschehen / der war auch sehr wolfeil im kauff / zu **Kitzingen unnd anderswo** galt ein Maß dieses Weins drey Pfennige / ein Fuder zwölf und funffzehnen Gulden. Zu **Beyreuth im Voidland** hat man ein Maß Wassers umb vier Pfennige / und ein Maß Weins umb 3 Pfennige kaufft / daß also **das Wasser aus mangel thewrer gewesen als der Wein.**

(Source: Tambora, ID:21464)

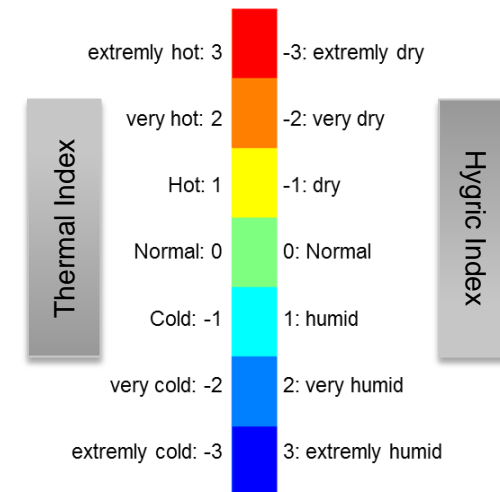


Image source: <http://www.deutscheweine.de>.

Examples of Sources of the Drought 1540

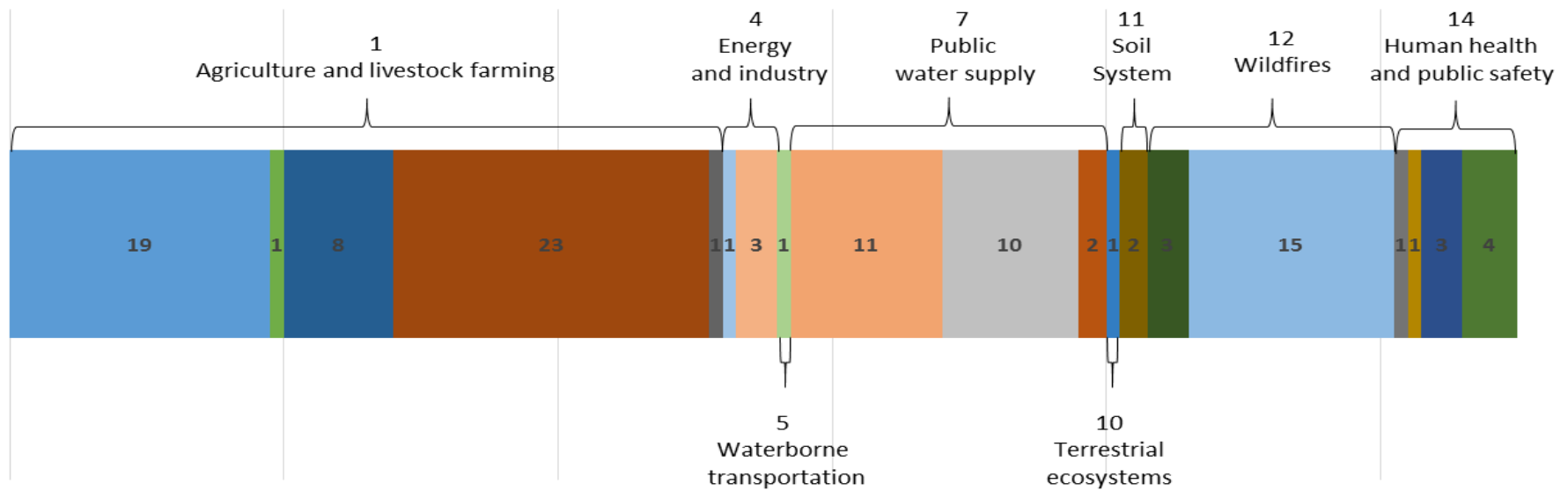
Source	Description	Index	
		Thermal	Hygic
ID:9208	hats off in drey Monaten nicht geregnet		-3
ID:21503	Dürr Sommer. Vom Mertzzen an biß auf den 28 July wenig schir gar nit gerenngt		-3
ID:11705	sind fast alle Brunnen im Gebirge versiegen		-3
ID:11705	die Elbe/Saal und Eger konnte man durchwaden		-3
ID:20837	Übermäßig hitziger Sommer	1	
ID:21398	ganz heisser Sommer. An vielen Orten haben Menschen und Vieh grossen Mangel an Brunnen und Wasser gehabt	2	-2
ID:21412	1540 entzündeten sich bei einer großen Dürre (es hatte 19 Wochen lang nicht geregnet) die Wälder		-3
ID:21429	war ain ganntz haisser vnd durrer sommer, also das es in langer zei nit regnet	2	-2
ID:21464	dürre Sommer/ davon die Alten viel zu sagen gewust/ daß es in siebszehn Wochen keinen Grund Regen gethan		-3
ID:21397	Der Sommer dieses Jars ist der nammhaftiger durre und hitz	1	-1
ID:21426	Heißer Sommer	1	
ID:21428	heisse Sommer fangt an warm zu weden umd Fasnacht den 8 February	2	
ID:21448	was ein vast haisser vnd dürrer sommer, also das es inn langer zeit nitregnet	1	-2
ID:21478	heißer Sommer, daß alles versiegte	1	
ID:1395	heisser Sommer	1	
ID:21427	haisser und dürrer Somme	1	-1
ID21522	noch größere Hitze. Die Flüsse vertrockneten, die Wälder entbrannten. Der Rhein trocknete so sehr ein, daß man im Gelderlande durch selben waten konnte.	2	-3
ID:21495	warmer Sommer	0	
ID:21449	Der Sommer dieses Jahres war sehr heiß und dürr	2	-1
ID:21430	heißer Sommers	1	
ID:21543	heisen Sommer	1	

7-scale Indices



Impacts of droughts 1540

Impacts of drought 1540



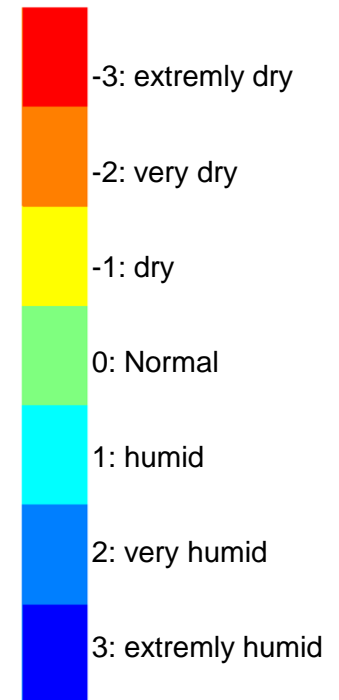
n=110

Steppensommer „Steppesummer“ 1947

Der heiße Atem der Dürre liegt über den mitteleuropäischen Flachlandgebieten. Monatelang brannte die Sonne unbarmherzig hernieder und versengte alle Früchte der Erde, mit denen Mitteleuropa mehr denn je rechnete, den Hunger der Massen zu stillen. In Dänemark wird das Vieh zu 25 Prozent und mehr abgeschlachtet. Auch Norwegen muß mit einem einschneidenden Notabbau seiner Viehbestände rechnen. Frankreich kann seine Viehbestände mit den geringen eingebrachten Rohfuttermitteln so wenig überwintern wie Belgien oder die Schweiz. Portugal meldet eine Missernte. Am schlimmsten aber sind die Auswirkungen der Dürre in Süddeutschland und im Abstand gesehen in verschiedenen Gebieten Nordwest Deutschlands. Lediglich in Südwürttemberg, Hohenzollern und im hohen Schwarzwald waren Heu-, Getreide- und Grummeternte normal. In Südbaden fiel die Heuernte bis zu 50 Prozent aus. Der Heuertrag ist bereits bis zu einem Viertel verfüttert. Das Vieh muss bis zu 50 Prozent abgestoßen werden. Ob der südbadische Bauer seine Viehbestände ohne staatliche Subvention überhaupt wieder aufzubauen vermag, ist mehr als zweifelhaft.

(Quelle: Tambora, ID:110898, Passauer Neue Presse Tagesausgabe vom 03.10.1947)

Hygric Index



Drought 1947 „Hungerstones“



Heatstress and Drought 2003



Die Hitze lässt Dämme brechen

Fast 2000 Menschen sind nach einem Deichbruch in dem niederländischen Ort Wilnis in Sicherheit gebracht worden. Der Deich des Ringvaart-Kanals war in der Nacht zum Dienstag auf 60 Metern Länge weggespült worden. Das Wasser überflutete die Straßen der zwischen Amsterdam und Utrecht gelegenen Stadt bis zu einem halben Meter hoch. Die Polizei stellte Wachmann, damit niemand in das gefährliche Viertel eindringen konnte. Rund 10 000 Sandstöße wurden bereit gestellt, um das Loch im Deich zu schließen. Die Niederlande haben durch die Hitze wellenartig stärker Trockenheit gelitten. Experten zufolge könnte Ausdehnung dem Deichbruch verursacht haben. Wenn ein Deich austrocknet, kommt der verbaute Sand ins Flutschen und deshalb wird leichter vom Wasser fortgespült. Foto: dpa

Süddeutsche Zeitung 26.08.03
Mitteilung

Soziale Klimaopfer

Frankreich sucht nach Leben aus der Hitzekatastrophe

Das Land röhrt sich über seinen Grand-Sommer der Hitze, doch der letzte Frankreichs hoch in der sommerlichen Hitze alle diese Jahre ist es nicht gewesen. Die sozialen Erbschaften zufolge, die diese Woche veröffentlicht wurden, betonte „Le monde“ mehr als 11 000 Opfer – allein in der ersten Augustwoche, die das Land unter traumatischen Folgen genoss, waren doppelt so viele Menschen wie unter im Monatsdurchschnitt. Nach werden in Frankreich Schädlinge gesucht. Und anderswo liegt man sich bräunlich. Laut ein Land, die von Millionen Menschen die Gefahren anfallen, was Also verhalten.“

Die Vielzahl hitzeempfindlicher Menschen mag also schrecklich sein, was zu überlegen. Es stimmt, dass die meisten Opfer über 75 Jahre alt sind gesundheitlich weniger gesünder waren und dass ältere, die nach immer mehr in den Ländlichen liegen, keine Angehörigen hatten. Richtig ist auch, dass die Sterblichkeit sich auf den Norden des Landes konzentrierte, der von der Hitze überhand nahm, während die hitzeempfindlichen Länder eher gemäßigter sind. Dennoch belegt die Statistik, dass nur weniger Temperaturerhöhungen ein Massensterben auslösen können, die Erbschaft der französischen Altersbevölkerung.

Zwei kann man sich Abmilderung bei einem Nachhaken keine Rede sein. Nach immer mehr die Lebenserwartung in Frankreich knapp doppelt im Altersdurchschnitt. Durch die hitzeempfindlichen sind in den individuellen Ergebnissen, viele ältere Menschen über 75 Jahren in dem Wärmestress, andere in die Pflegeheimen. Das ist ein Problem, was es alle so viele Pflegeheimen wie in Deutschland. Man glaubt vor Augen, das demographische Frankreich bis sich offenbar nicht mehr können kann, dem Generationenerneuerung im Überlebenskampf zu erfüllen.

Im Umgang die Hitzekatastrophe auch zur Erinnerung daran, dass Abmilderung keine Spezialleistung, sondern eine Funktionallösung ist – so wie in Europa traditionellsten Ländern und Spanien oder Italien. Dort leben doppelt so viele alte bei ihren Kindern wie in Frankreich oder Deutschland. Hier heißt es Mühsamkeiten die große herbei sein, obwohl es aber manchmal helfen wie in in Norddeutschland. Diese wäre eine Gesellschaft immer noch die beste Lebenserwartung.

28.08

Süddeutsche Zeitung 26.08.03

Erlesener Wein

Winter erwarten nach dem Hitze-Sommer eine Spitzenernte

Beide Ernter haben sich schnell in Hitze und Trockenheit gefangen, dann die Sonne, die die Weinberge wieder belebt. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Süddeutsche Zeitung 26.08.03

Sehr geehrte Kunden

Durch die anhaltende Hitzeperiode in den letzten Monaten, sind die Wasserbestände in Trinkwasserquellen zurückgegangen, so dass ich bedauern Ihnen mitteilen zu müssen, dass ich derzeit nicht in der Lage bin Ihnen weiterhin Ihr Trinkwasser zu liefern.

Selbstverständlich werde ich Sie, sobald es mir möglich wird den Lieferbetrieb aufzunehmen, umgehend informieren.

Ich danke für Ihr Verständnis, mit freundlichen Grüßen

Heidelberger Bergwasser

Wie unter der Sonne Südfrankreichs

Die Weinlese steht vor dem Abschluss, und viele der deutschen Winzer zum Spitzenernte

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Süddeutsche Zeitung 28.08.03

1000 Hitze-Tote in England befürchtet

Die Hitzeperiode im August Großbritannien, mindestens 1000 Menschen die Leben, gekulturelle Erntungen befeuert, bei der Nationalen Statistik-Büro innerhalb der Woche im August 2003 mehr Todesfälle als im Vergleichszeitraum der 10 Jahre zuvor. Die Opfer älterer Menschen, die morgigen sterben.

Die Hitzeperiode im August Großbritannien, mindestens 1000 Menschen die Leben, gekulturelle Erntungen befeuert, bei der Nationalen Statistik-Büro innerhalb der Woche im August 2003 mehr Todesfälle als im Vergleichszeitraum der 10 Jahre zuvor. Die Opfer älterer Menschen, die morgigen sterben.

Süddeutsche Zeitung 27.08.03

Wahrscheinlich mehr Hitzeopfer als vermutet

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.

Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte. Die Ernter erwarten nun eine Spitzenernte.



2018 – newspapers and reports

Frankfurter Allgemeine

NATURSCHUTZGEBIET BEI KASSEL

Trockenheit löst zwei Flächenbrände aus

AKTUALISIERT AM 24.07.2018 - 09:21

TROCKENHEIT IN HESSEN

Feuerwehr gerät bei Großbrand selbst in Gefahr

AKTUALISIERT AM 03.07.2018 - 19:20

HITZE UND TROCKENHEIT

Hessens Bauern fürchten um ihre Ernte

AKTUALISIERT AM 18.07.2018 - 12:00

SCHLECHTE ERNTEPROGNOSEN

Die Getreidepreise steigen

AKTUALISIERT AM 03.08.2018 - 10:59

HITZE TRIFFT KARTOFFELERNTEN

„Es wird von Tag zu Tag kritischer“

AKTUALISIERT AM 29.07.2018 - 11:06

HITZE ZERSTÖRT ERNTE

Bauern wollen eine Milliarde wegen Dürre

AKTUALISIERT AM 30.07.2018 - 03:52

FOLGEN DER HITZEWELLE

Waldbesitzer befürchten „Jahrhundertkatastrophe“

AKTUALISIERT AM 03.08.2018 - 06:46

SCHÖNE BESCHERUNG!

So sehr setzt die Dürre den Weihnachtsbäumen zu

AKTUALISIERT AM 05.08.2018 - 08:46

EIN BAUER ERKLÄRT

„Das wird hier bald Wüste“

VON JAN GROSSARTH - AKTUALISIERT AM 14.07.2018 - 14:13

HITZE UND TROCKENHEIT

Die Angst vor dem Jahrtausendsommer

VON ANDREAS FREY - AKTUALISIERT AM 30.07.2018 - 14:33

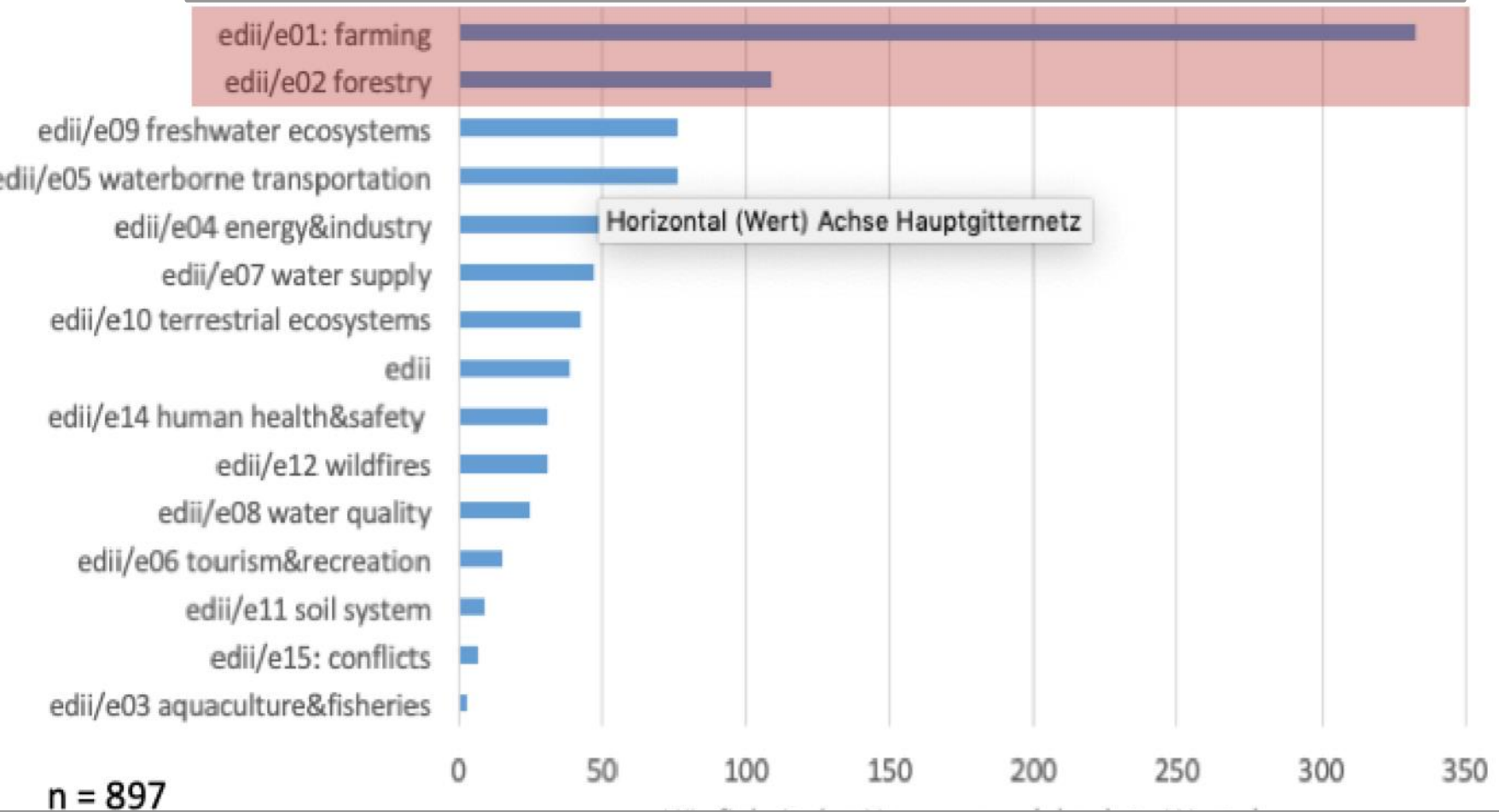
BRITISH OPEN

Die Dürre setzt den Golfern zu

VON WOLFGANG SCHEFFLER, CARNOUSTIE - AKTUALISIERT AM 19.07.2018 - 08:45



Categories

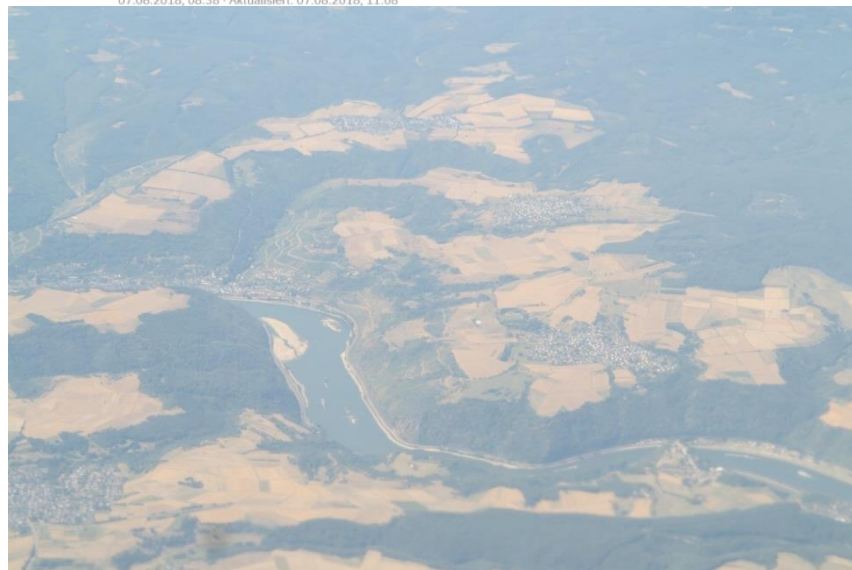




GRÜN

Mit diesem Foto zeigt Alexander Gerst aus dem Weltall, wie Deutschland vertrocknet

07.08.2018, 08:38 - Aktualisiert: 07.08.2018, 11:08



Alexander Gerst ✓

@Astro_Alex



Konnte eben die ersten Bilder von Mitteleuropa und Deutschland bei Tag machen, nach mehreren Wochen von Nacht-Überflügen. Schockierender Anblick. Alles vertrocknet und braun, was eigentlich grün sein sollte. [#Horizons](#)

23:29 - 6. Aug. 2018

♡ 6.700 💬 3.023 Nutzer sprechen darüber

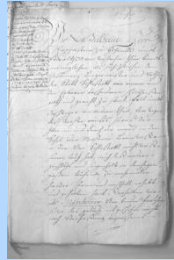
Social Media

Research Design

qualitative

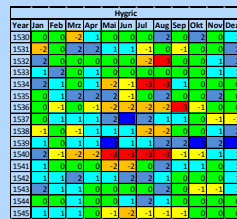
written documents

- ✓ Chronicles, diaries
- ✓ newspapers, reports
- Social media



Data analysis

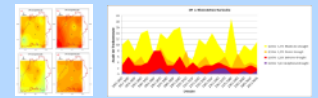
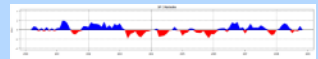
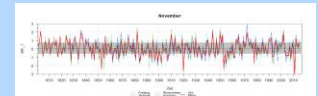
- ✓ Hermeneutic
- ✓ Indices and stats
- ✓ Pathway Analysis
- ✓ Database
tambora.org



quantitative

instrumental Data

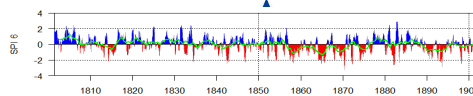
- ✓ Precipitation (since 1800)
- ✓ Temperature (since 1800)



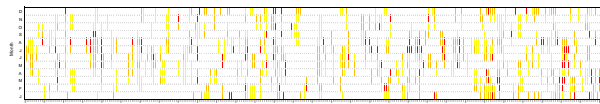
Data analysis

- ✓ Statistics
- ✓ Time series,
- ✓ Indices: SPI, SPEI...

Time series
1500



1800

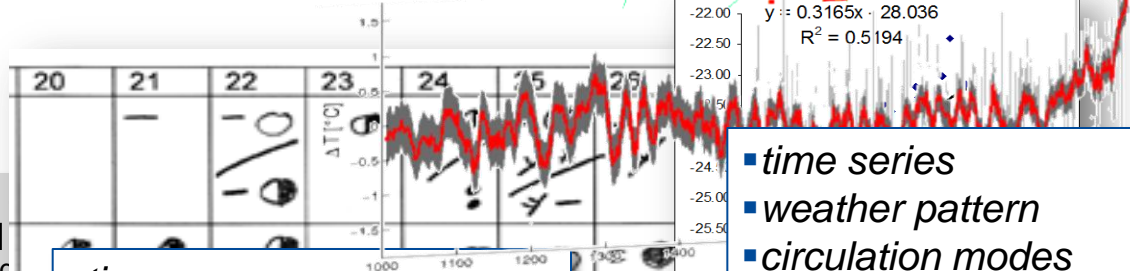
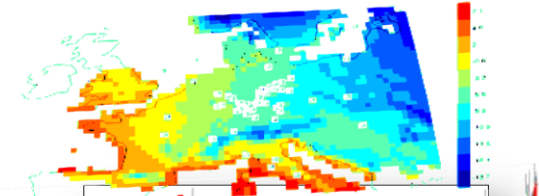


2018

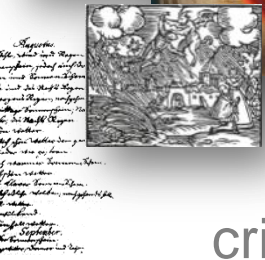
Data integration and workflow: tambora.org

publication of data

incl. DOI



1709 war der grosse Winter, der in die gedauret, und seines gleichen seit [...] gehabt. [...] Den 6. Januar erhob sich c zu einer ausserordentlichen Strenge, d feuchtigen allwo bey einigem Nachlaß e hnee fiel [...]. Es hat dieser h opa unsäglichen Schaden ge sind hier und dar, auch so gar i andere haben Nasen, Ohren, J. C. (1749): Pagus Neletici et Nudici oder ne diplomatisch-historische Beschreibung des eises [...].- Halle: Emanuel Schneider.



- time
- location
- climatological and environmental and societal information

- time series
- weather pattern
- circulation modes
- societal reactions

analysis

calibration

derivation of indices

coding of events

transcription

critical source

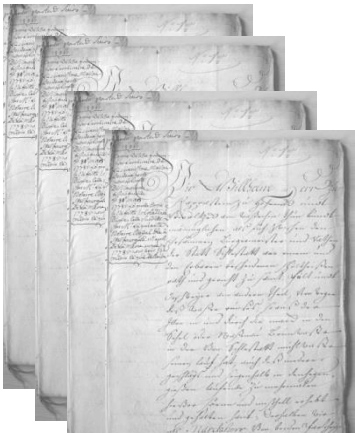
analysis

search sources

Long-Term Reconstructions

From **written documents** to indices:

[Kitzingen] A.C. 1540 was a dry summer, no rain for seventeen weeks



Time

- Summer 1540
- 17 weeks

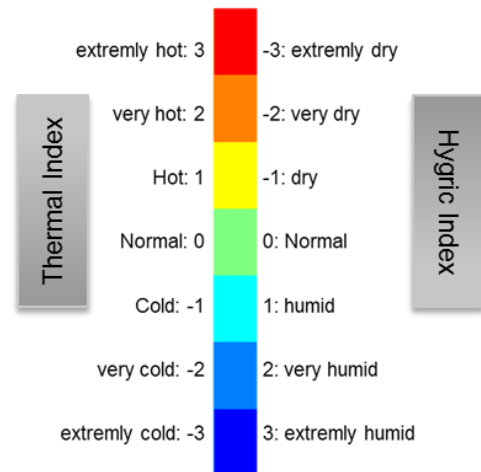
Location

- Kitzingen

Content

- Climatological info.
- Impact on society

7-scale Indices



Derivation of indices

- Thermal
- Hygric

Welcome to

The collage features several elements: a landscape painting on the left, a globe in the center, a map of Europe on the right, and a line graph at the bottom. The line graph plots ΔT [°C] on the y-axis (ranging from -1.5 to 0) against year on the x-axis (ranging from 1000 to 2000). A red line represents the 11-year mean, and a grey line represents the error. A color scale on the right indicates temperature values from -7.4 to 14.2 °C. The word "tambora" is written in large, bold, black letters across the center of the collage.

temperatures — 11yr mean — error 11yr mean

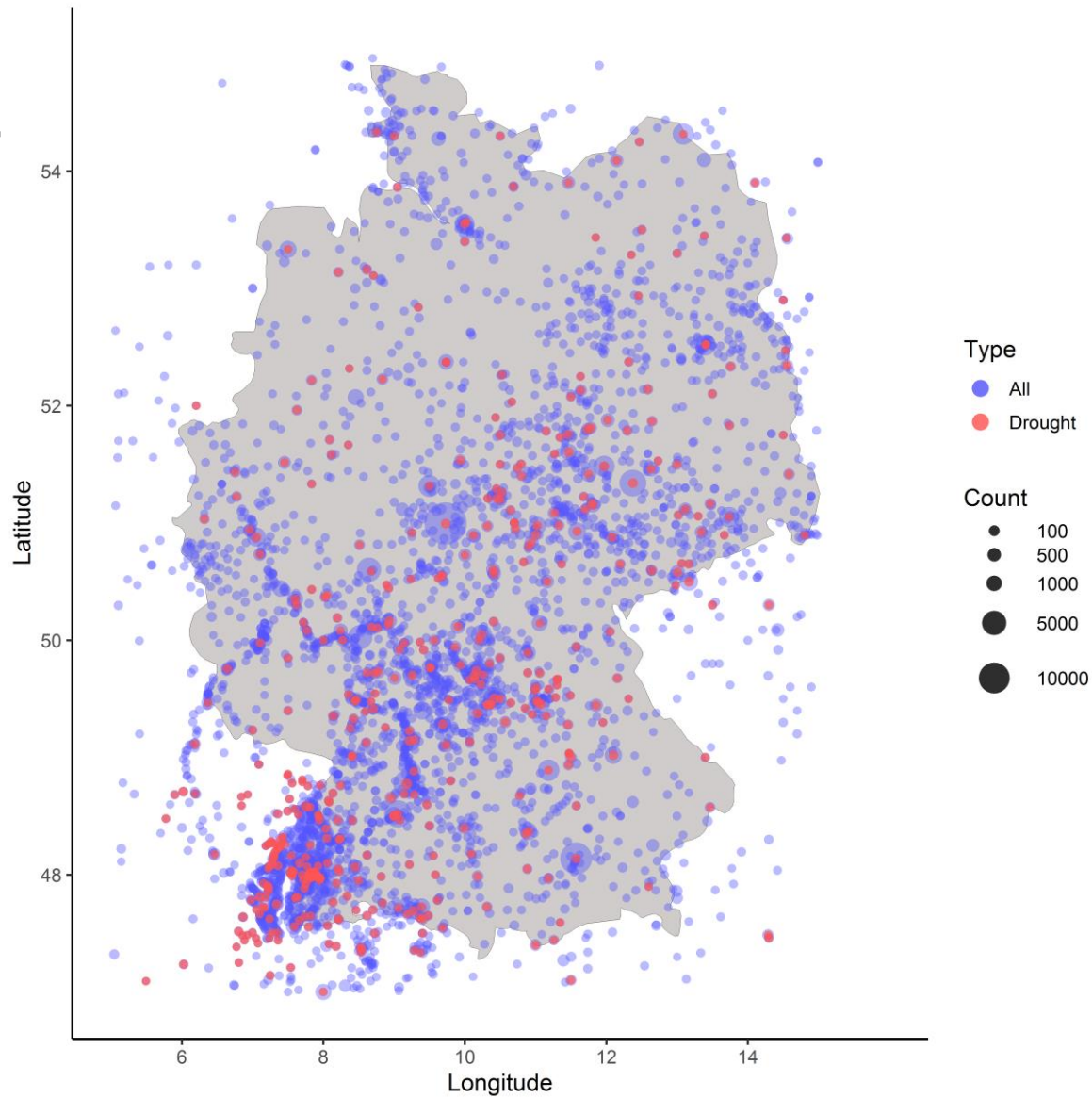
tambora

the climate and environmental history collaborative research database

Funded by



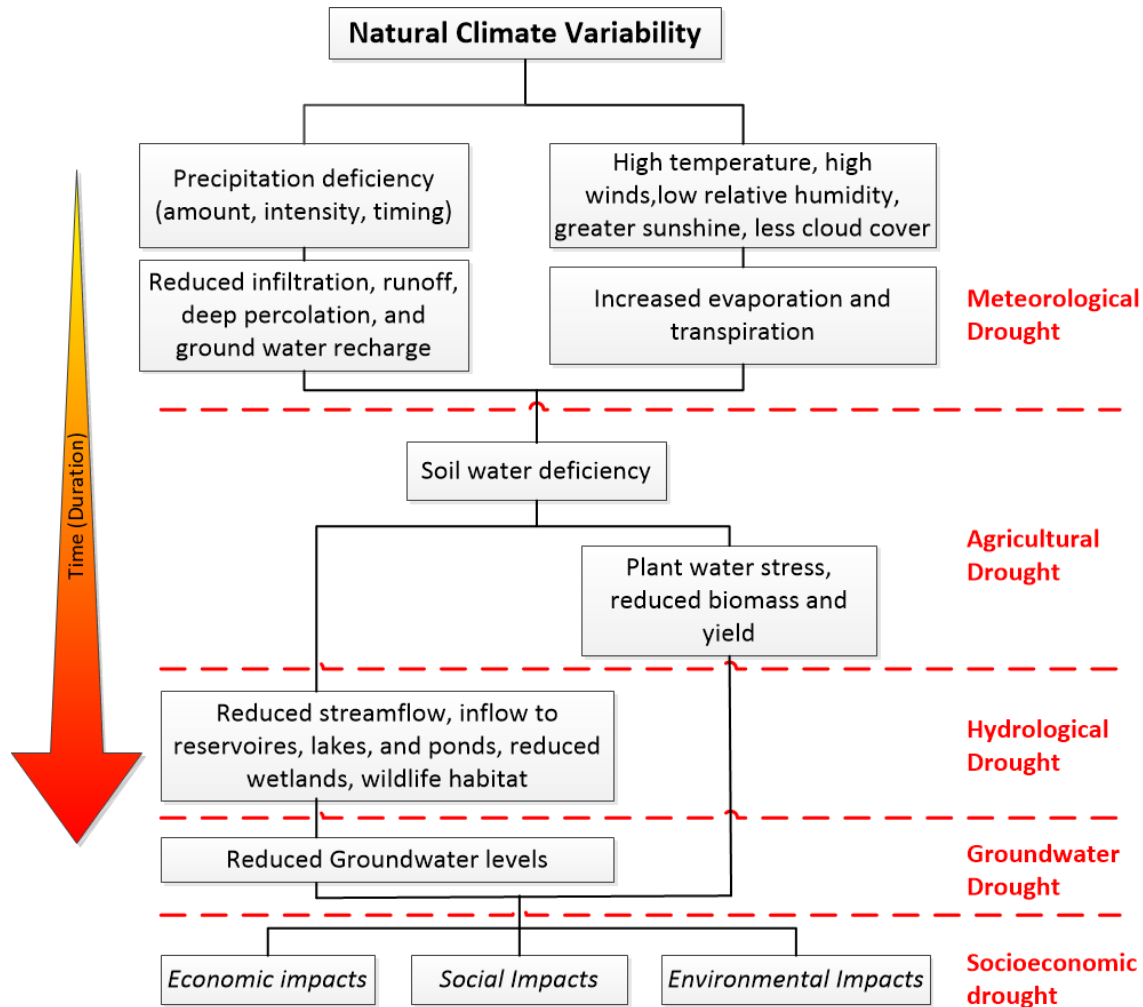
Spatial distribution of information in tambora.org for Central Europe since AD 1500



Glaser R, Kahle M, Hologa R: The tambora.org data series edition Freidok, 2016: 1:
<http://dx.doi.org/10.6094/tambora.org/2016/seriesnotes.pdf> (download: <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:11541/datastreams/FILE1/content>)

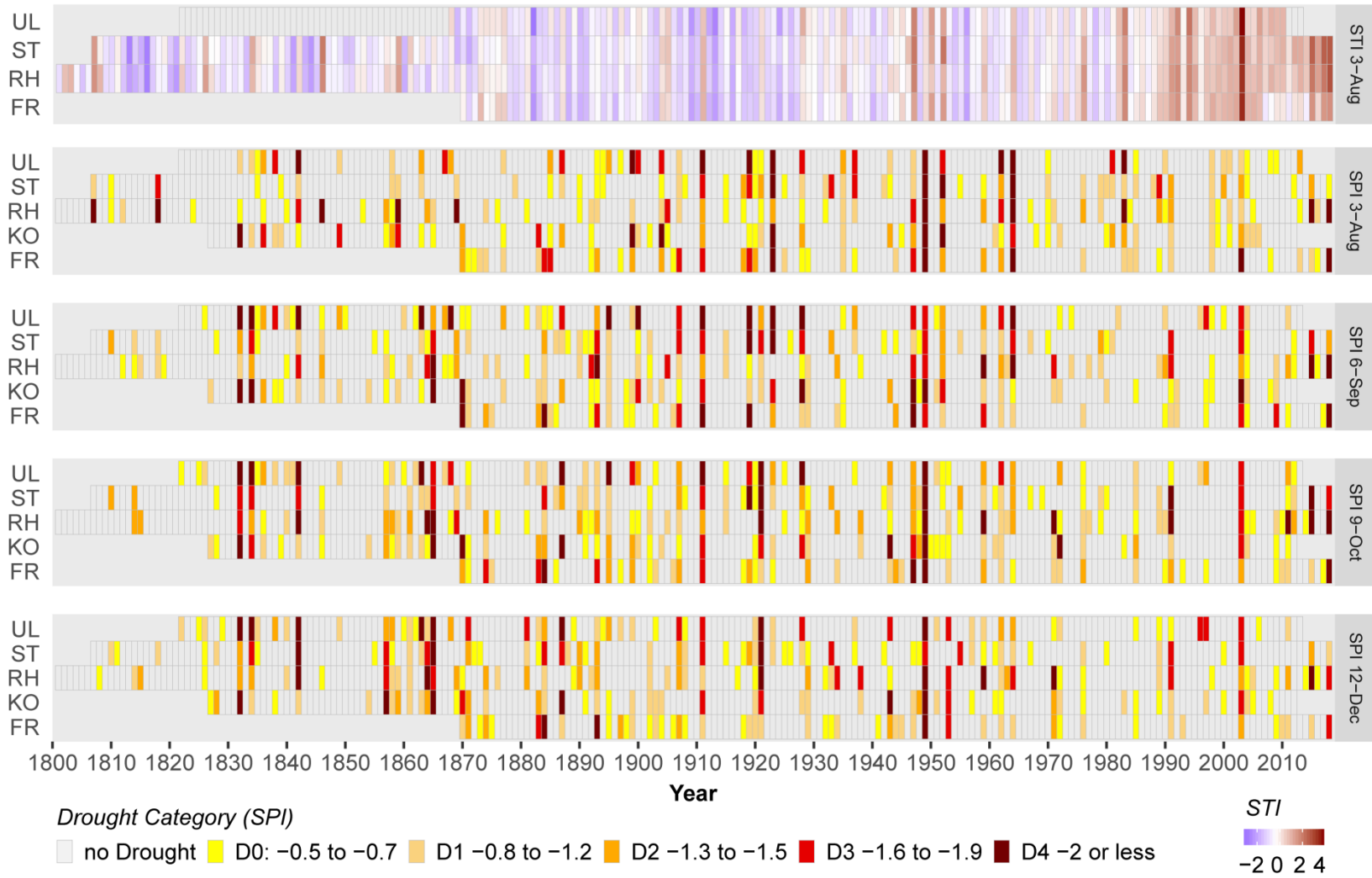
2. Analysis

Drought Types: Definitions



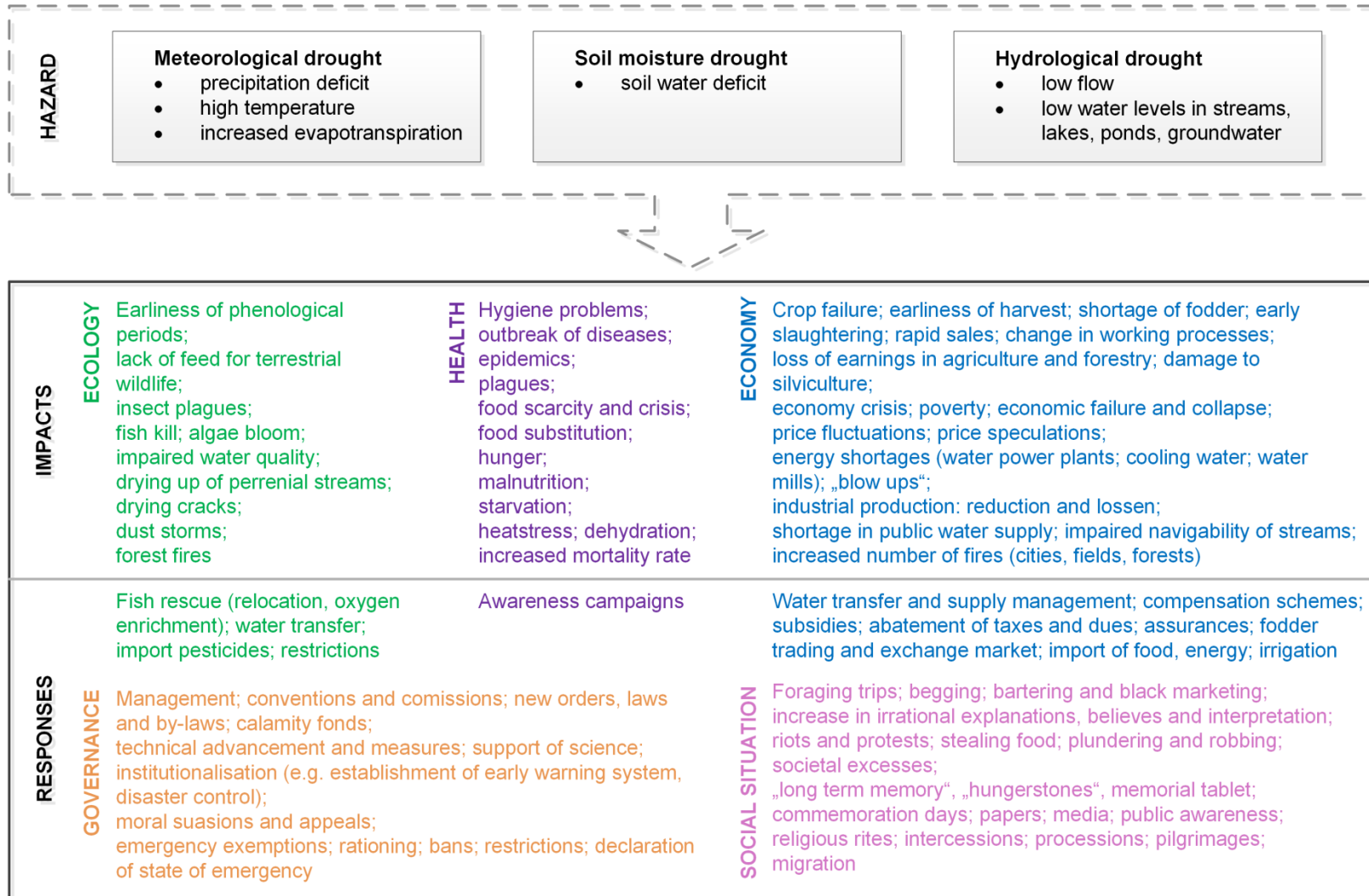
(Source: *National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, U.S.A* and Bernhofer, C., Hänsel, S., Schaller, A. & Pluntke, T. (2015): Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, modified)

Drought development on different time-scales for measuring stations in Baden-Württemberg since AD1800



(UL: Ulm-Giengen, ST: Stuttgart-Schnarrenberg, RH: Rheinstetten, KO: Konstanz-Meersburg-Friedrichshafen, FR: Freiburg im Breisgau). The y-axis shows the Standardised Precipitation Index (SPI) values for different accumulation periods. SPI values are coded according to severity thresholds shown in the legend. The STI (Standardised Temperature Index) value is shown for an accumulation period of 3 months for August. Database: Histalp (*Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region*, Auer et al. [2007](#)) and DWD (Deutsche Wetterdienst)

Matrix of drought impacts and responses in southwestern Germany derived from contextual content of the original quotations and documents - pathways



Impacts and societal responses of selected major droughts in southwestern Germany since 1800

M: Meteorological drought hazard for the stations Ulm-Giengen (top), Stuttgart-Schnarrenberg, Rheinstetten, Konstanz-Meersburg-Friedrichshafen, Freiburg im Breisgau (bottom);
 S: soil moisture drought;
 H: Hydrological drought.

Drought event	Hazard		Impacts & Responses												
	M	S H	Ecology	Health	Eco- nomy	Political situation	Societal situation	Governance							
SPI-3 August															
SPI-6 Septembeber															
SPI-9 October															
SPI-12 December															
Agricultural impacts - crop failure															
Hydrological impacts - low water level															
Earliness of phenological periods															
Algae bloom															
Forest fires															
Fish kill															
Insect plagues															
Malnutrition															
Hunger															
Diseases & epidemics															
Water scarcity															
Hygiene problems															
Heat stress - casualties, increased mortality															
Rising food prices															
Speculations															
International food import															
o weak state/ - failed state/ + strong state															
Global interdependencies															
National water law															
EU - common agriculture policy															
EU - water framework directive															
Societal assets															
Financial assets															
Age distribution															
Religious rites															
Riots & protests, stealing food, plundering															
Technical advancements															
Migration															
Water transfer/ supply management															
Local/ regional aid															
International aid															
National/ international compensation schemes															
Long term disaster management															
1834		x x	x x x x x x	x x	x x x x	x x x	o -	- -	▲ x x	- +	-	-			
1865		x x	x x x x x x	x x x x x x	x x x x x x	x x x	o -	- -	▲ x	x - +	- x o -				
1921		x x	x x x x x x	x x	x x x x	x	o o o	o o	▲	o	o x o -				
1947		x x	x x x x x x	x x x x x x	x x x x x x	x	o -	- -	⚡	x o	o -				
1949		x x	x x x x x x	x	x	x	o o	- -	⚡	x o	o x x + x				
2003		x x	x x x x x x		x		+ + + x x	+ +	◆	+	+ x + x				
2018		x x	x x x x x x				+ + + x x x	+ +	◆	+	+ x + x				

x = indicated - = low o = medium + = high ▲ = increase ⚡ = post war ◆ = stable

Drought Severity Classification System

Category	Description	Possible Impacts	Ranges				
			Palmer Drought Severity Index (PDSI)	CPC Soil Moisture Model (Percentiles)	USGS Weekly Streamflow (Percentiles)	Standardized Precipitation Index (SPI)	Objective Drought Indicator Blends (Percentiles)
D0	Abnormally Dry	<p>Going into drought:</p> <ul style="list-style-type: none"> short-term dryness slowing planting, growth of crops or pastures <p>Coming out of drought:</p> <ul style="list-style-type: none"> some lingering water deficits pastures or crops not fully recovered 	-1.0 to -1.9	21 to 30	21 to 30	-0.5 to -0.7	21 to 30
D1	Moderate Drought	<ul style="list-style-type: none"> Some damage to crops, pastures Streams, reservoirs, or wells low, some water shortages developing or imminent Voluntary water-use restrictions requested 	-2.0 to -2.9	11 to 20	11 to 20	-0.8 to -1.2	11 to 20
D2	Severe Drought	<ul style="list-style-type: none"> Crop or pasture losses likely Water shortages common Water restrictions imposed 	-3.0 to -3.9	6 to 10	6 to 10	-1.3 to -1.5	6 to 10
D3	Extreme Drought	<ul style="list-style-type: none"> Major crop/pasture losses Widespread water shortages or restrictions 	-4.0 to -4.9	3 to 5	3 to 5	-1.6 to -1.9	3 to 5
D4	Exceptional Drought	<ul style="list-style-type: none"> Exceptional and widespread crop/pasture losses Shortages of water in reservoirs, streams, and wells creating water emergencies 	-5.0 or less	0 to 2	0 to 2	-2.0 or less	0 to 2

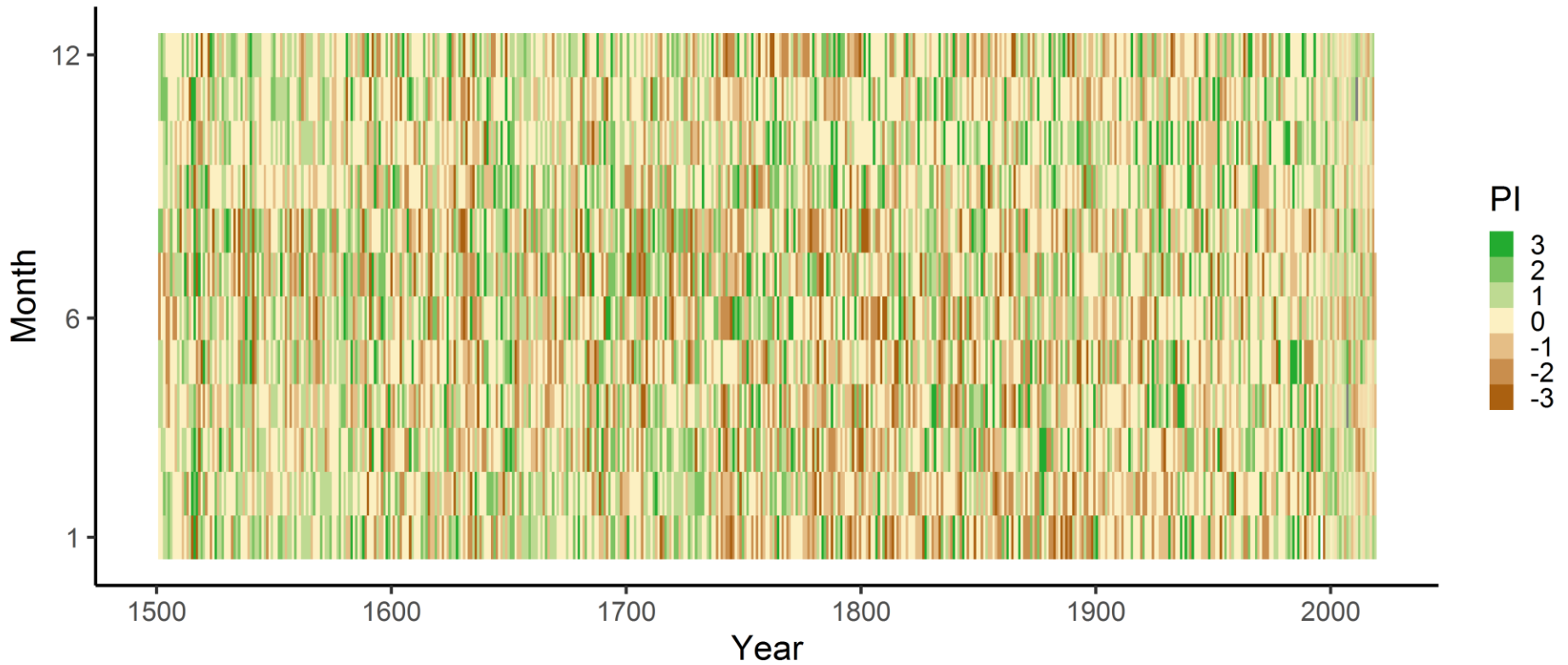
Synopsis of recent SPI, drought categories, duration, recent descriptions and the HPI as well as the description of the historical consequences and impacts

SPI	Drought-categories	Duration months	Recent descriptions of the effects and consequences as well as the duration	HPI (Historical Precipitation Index)	Historical descriptions of effects and duration
-0.1 to -0.99 (SPI1, SPI2)	almost normal (slight dryness) D0	1-2	short-term dryness	0 to -1.5 (HPI1, HPI2)	low rainfall, heat and drought, possible first consequences for agriculture and yields
-1.0 to -1.49 (SPI1, SPI2)	moderate drought D1	1-2	meteorological drought: one to two months drier than usual	-1.5 to -2.5 (HPI1, HPI2)	lower crop impact on main crops, failures in rain-sensitive horticultural products and hay, better wine quality
-1.5 to -1.99 (SPI2 - SPI4)	severe drought D2	2-4	agricultural drought: two months and longer dry, crop losses	-2.5 to -4.5 (HPI2 - HPI4)	crop losses on main crops, emergency slaughter for lack of food, prematurity phenological phases, drying up springs, low water levels, mill arrest, forest fires, problems with water supply, heat deaths, measures of the authorities, price increases, hunger, religious rites
-2.0 to -2.99 (SPI4- SPI10)	extreme drought D3	4-10	hydrological drought: from four months, groundwater and level affected	-4.5 to -12 (HPI4 - HPI10)	crop failures, emergency slaughterings, strong premature phenological phases forest fires, fish dying, algal blooms, soil erosion drying of springs and wells, low water levels of large rivers, hunger stones, heat deaths, epidemics, price increases and speculation, measures of the authorities, hunger, religious rites, increasing irrational explanations
-3.0 to -4.0 (SPI10- SPI12)	extra-ordinary drought D4	> 10	socio-economic drought: from one year, water shortage slows down producing economy	-12 to -36 (HPI10 - HPI12) (Century-events)	...begging, moving about, searching for food, food substitution, robbery, plunder, murder, emigration and emigration, social excesses

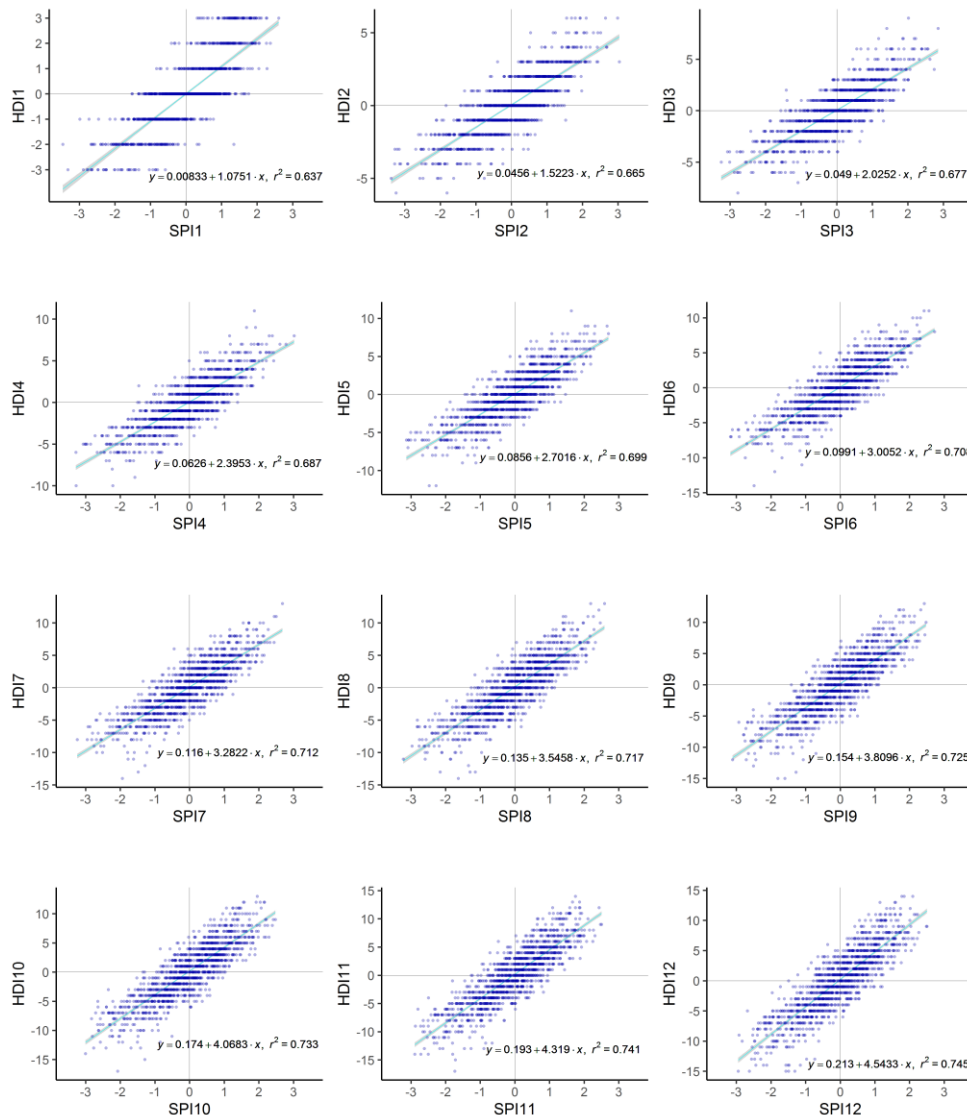
The modern SPI1-SPI12 was calculated from the official precipitation values for Germany 1881 - 2018 (Tab.1, first column). The drought categories and the characterization of the droughts as well as the duration and the description of the consequences were taken over from the scheme of the DWD (DWD 2018).

Glaser, R. and Kahle, M.: Reconstructions of Droughts in Germany since 1500, Clim. Past Discuss., <https://doi.org/10.5194/cp-2019-104>, in review, 2019.

Monthly precipitation index (PI) for Central Europe AD 1500-2018



Strength and shape of the relationship between SPI and HPI (historical precipitation index) 1881-1996

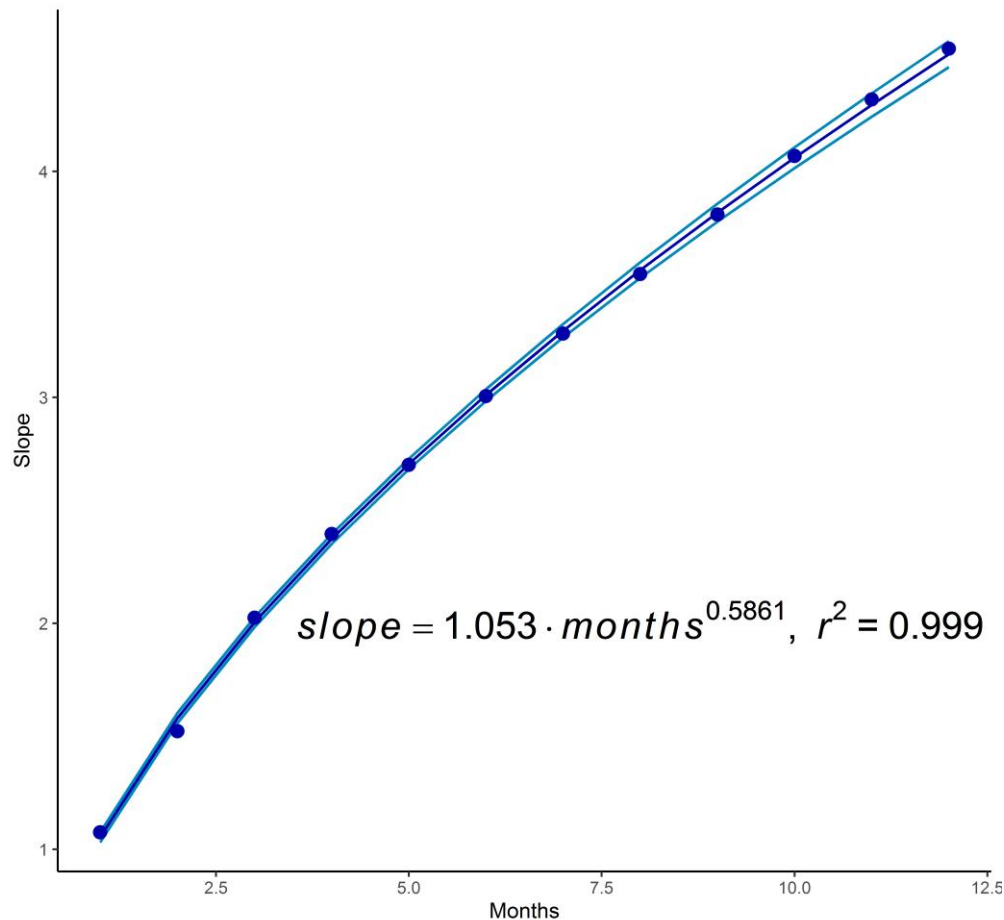


The derivation of the historical precipitation index (HPI) from the monthly precipitation indices (PI) - including the positive deviations - is analogous to the SPI as the sum of the corresponding number of months of the period 1881-1996.

The results show a very high correlation of 0.65 to 0.74 between SPI and HPI!

Glaser, R. and Kahle, M.: Reconstructions of Droughts in Germany since 1500, *Clim. Past Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/cp-2019-104>, in review, 2019.

Duration and scale factors of the relationship between SPI and HPI

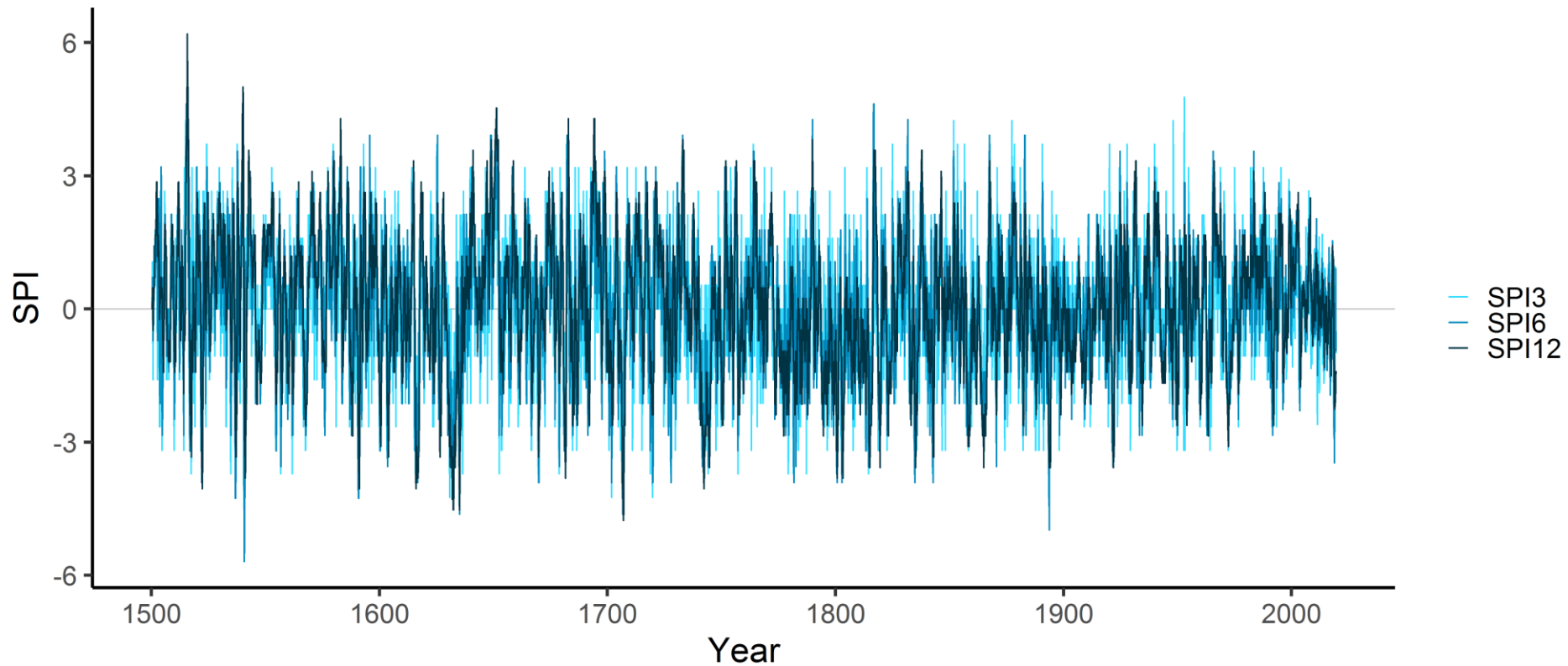


If one compares the accumulated values, then a factor dependent on the number of months results.

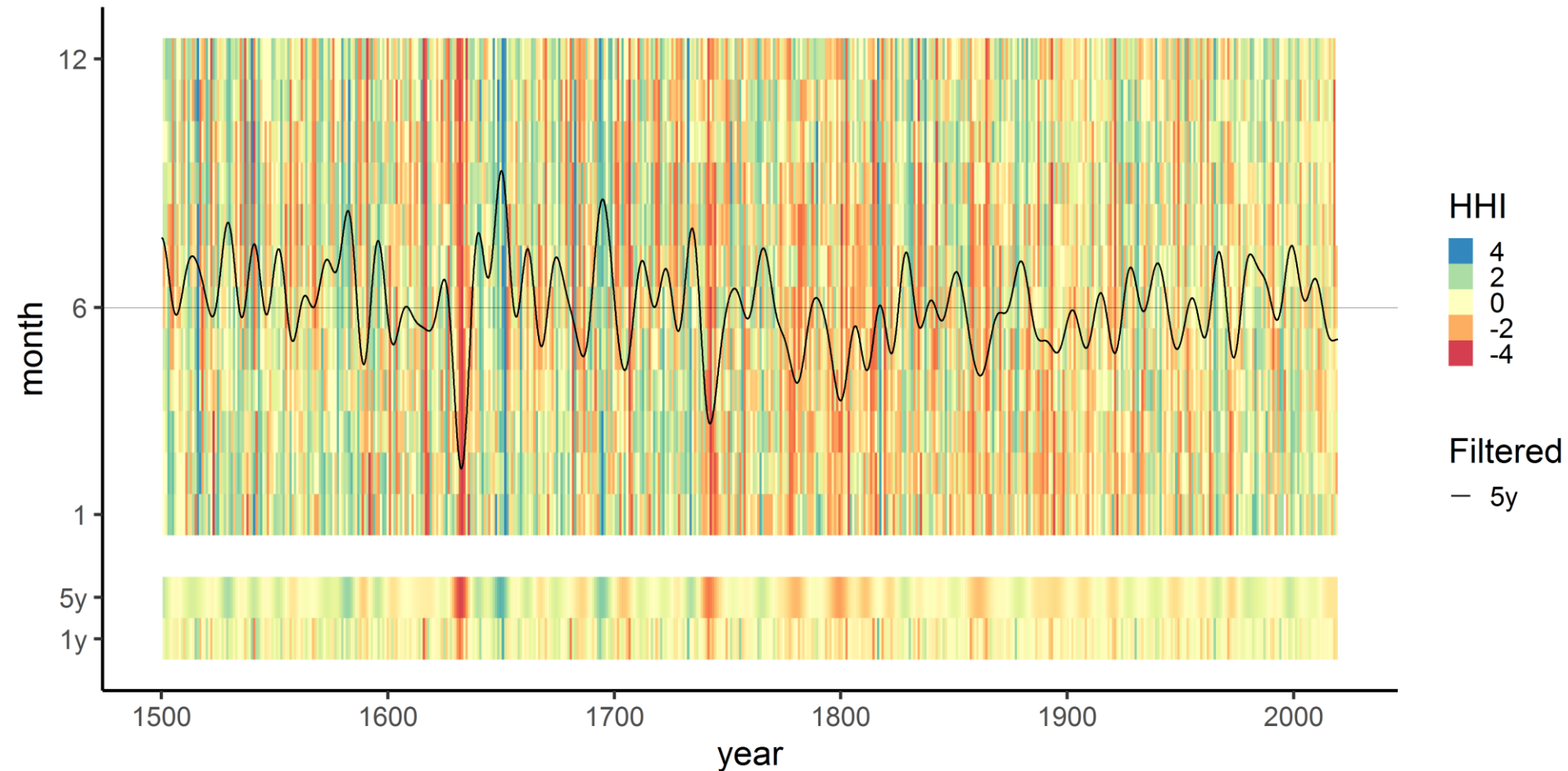
The calculation of the HPI class limits is done from the SPI class limits according to the formula:

$$HPI_i = SPI_i \cdot i^{\frac{1}{\sqrt{3}}}$$

Historical SPI3, SPI6 and SPI12 for Germany since 1500

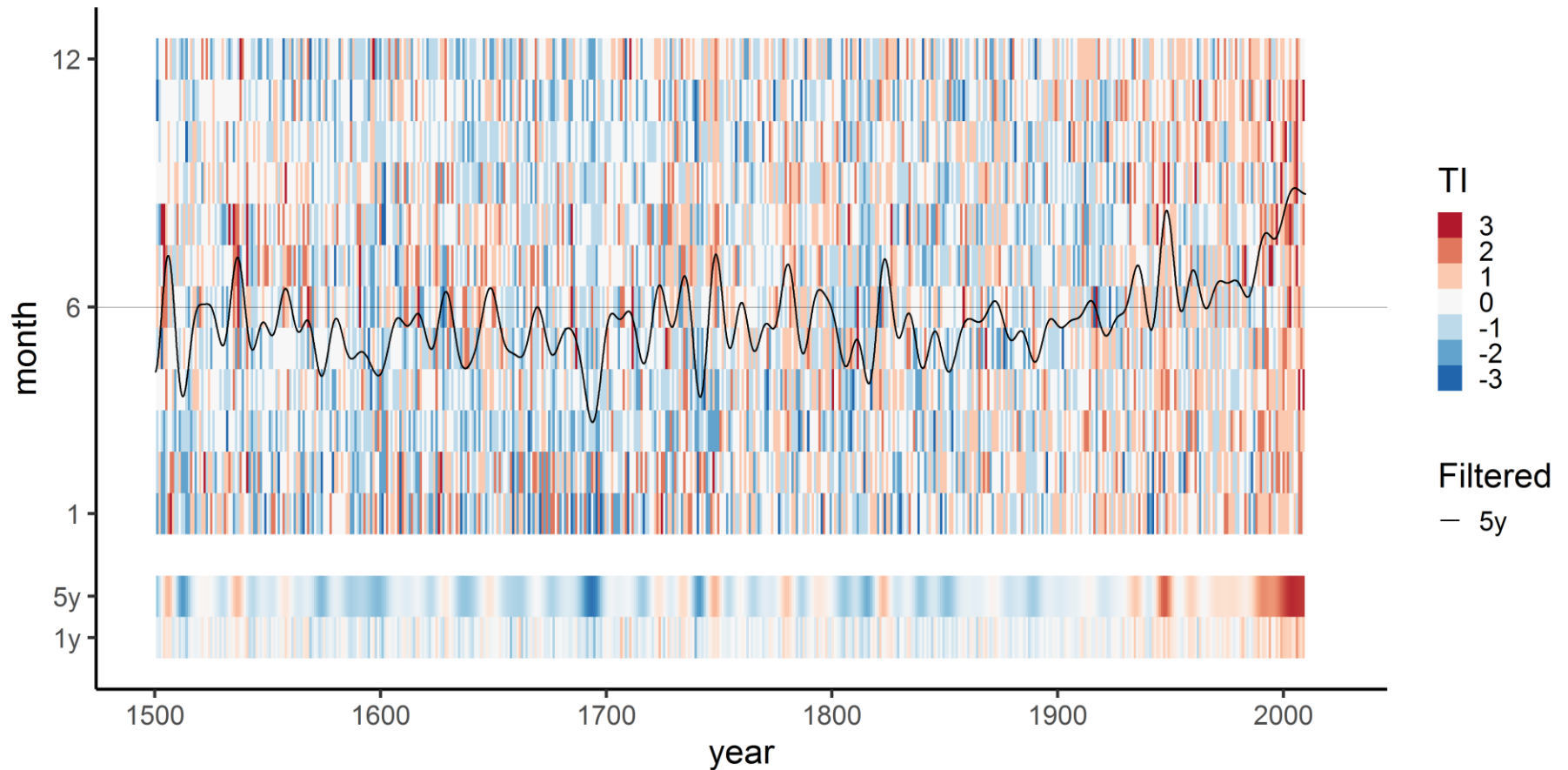


Historical Humidity Index (HHI) for Germany from 1500

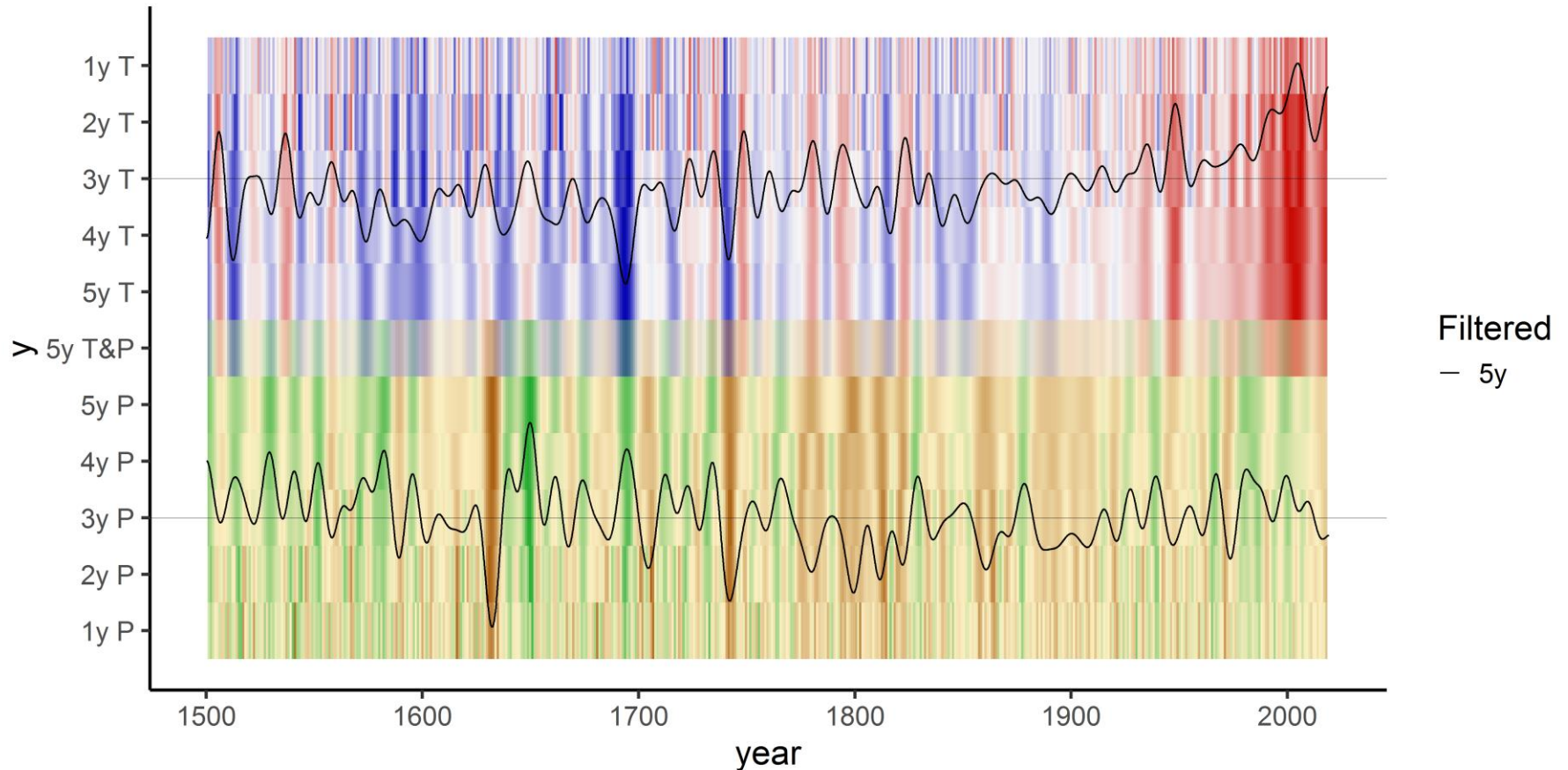


To include not only dryness and drought aspects humidity has also taken into account for the analysis by including the positive hygric indices as a Historical Wet Index (HWI). Its derivation was analogous to the class boundaries of the drought categories. The dominating effects of the HDI and the HWI are combined into the Historical Humidity Index (HHI).

Thermal Indices for Central Europe since AD 1500



Combination of hygric and thermal indices



3. Results

- The written sources on which the analysis are based and the derived seven-step monthly precipitation indices (PI) allow differentiated statements about the development of dryness and droughts in Germany since 1500.
- The consequences and impacts on the environment and societies can also be reconstructed very well.
- The source material enables in particular to derive pathways from drought events to the consequences and impacts onto societies. These are very strongly coupled with the intensity and duration of the precipitation deficiency. The agrarian, then the hydrological and finally the socio-economic consequences are presented in a progressing cascade.
- The societal conceptualisation was quite different, revealing the resilience of the different societies.
- The comprehensive data collections in tambora.org also enable to identify outstanding events of the centuries likewise 1540, 1503 and 1534; 1615 and 1616, the striking sequence 1630-1635, 1669 and 1684, 1718 and 1719, 1832, 1834, 1842, 1865 and 1893, 1921, 1947, 1949, 1959, 1976, 2003 and 2018.
- The reconstructed SPI for Germany from 1500 onward show high variability on the one hand, and more or less stationarity in the long-term perspective on the other. However, variability is slightly higher in the first 150 years, while it has been reduced over the last 100 years.



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
www.geographie.uni-freiburg.de

Thank you for your Attention!

**UNI
FREIBURG**