



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

25

9./10. März 2015

DRESDNER
BRÜCKENBAU
SYMPOSIUM



© 2015 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer
Angela Heller

Layout: Ammar Al-Jamous

Anzeigen: Harald Michler

Titelgestaltung: Ulrich van Stipriaan

Auflage: 1.500 Stück

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-421-9

Tagungsband
25. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e. V.

09. und 10. März 2015

Inhaltsverzeichnis

0 Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium	
<i>Magnifizienz Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	11
1 Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	15
2 Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte	
<i>Dr.-Ing. Gero Andreas Marzahn</i>	33
3 25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte	
<i>Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke</i>	37
4 Bridge Architecture – from Structure to Elegance	
<i>Dr. Michel Virlogeux</i>	63
5 Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion	
<i>Dipl.-Ing. Andreas Keil</i>	69
6 Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton	
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Dipl.-Ing. Sergej Rempel, Dr.-Ing. Christian Kulas</i>	83
7 Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau	
<i>Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Jürgen Feix, Dipl.-Ing. Dr. Mario Hansl</i>	99
8 Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise	
<i>Prof. dr. ir. Luc R. Taerwe</i>	113
9 Integrale Brücken im Wandel der Zeit	
<i>Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Jaroslav Kohoutek M.Sc.</i>	131
10 Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr	
<i>Dipl.-Ing. Rolf Jung, Dipl.-Ing. Tobias Mansperger</i>	151
11 Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – Von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik	
<i>Dr.-Ing. Gero Marzahn, Dr.-Ing. Markus Hamme, Dr.-Ing. Peter Langenberg, Prof. Dr.-Ing. Gerd Groten, Dipl.-Ing. Michael Paschen</i>	163
12 Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen	
<i>Dipl.-Ing. Michael Hänig, Dipl.-Ing. (FH) Andreas Höregott, Dipl.-Ing. Andrea Thoms</i>	181
13 Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich	
<i>Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, Dipl.-Ing. Sara Foremniak, Dipl.-Ing. Benjamin Kromoser</i>	193

14 Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse	
<i>Holger Glinde</i>	217
15 Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau	
<i>Dipl.-Ing. Wolfgang Draaf</i>	229
16 Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen	
<i>Dr.-Ing. Dirk Proske</i>	239
17 Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland	
<i>Dipl.-Ing. Robert Zobel, Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm</i>	253
18 Chronik des Brückenbaus	
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	265
19 Inserentenverzeichnis	
<i>Übersicht der Werbeanzeigen im Tagungsband</i>	287

16 Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen

Dr.-Ing. Dirk Proske

Axpo Power AG, Döttingen (Schweiz)

16.1 Einleitung

Die Beanspruchung alter Massivbrückenbauwerke wird in der Regel durch ihre große Eigenlast dominiert. Sehr schön kann man dies bei römischen Bogenbrücken sehen, die selbst heutige Verkehrslasten aufzunehmen vermögen, da das Verhältnis von Eigenlast zu Verkehrslast hoch ist und sich somit eine Erhöhung der Verkehrslasten vergleichsweise gering auf die Tragfähigkeit auswirkt. Bei modernen Massivbrücken, die deutlich schlanker ausgebildet werden, sind die Verkehrslasten, temporäre Bauzustände oder Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit bemessungswirksam. Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit können z. B. bei integralen Brückenbauwerken auch aus Temperatureinwirkungen kommen.

Während die Verkehrslasten zur Gruppe der technischen veränderlichen Einwirkungen gehören, zählen die Temperatureinwirkungen zu den natürlichen veränderlichen Einwirkungen. Die bedeutendste natürliche veränderliche Einwirkung ist die seismische Einwirkung, deren Betrag als Folge der Ergebnisse des SHARE-Projektes (Seismic Hazard Harmonization in Europe) [1] wahrscheinlich in den nächsten Jahren auch in Deutschland steigen wird. Neben der seismischen Einwirkung und Hochwassereinwirkungen kann man die verbleibenden natürlichen veränderlichen Einwirkungen unter dem Begriff *extreme Wetterbedingungen* zusammenfassen. Der Begriff wird seit einigen Jahren bei der Robustheitsbeurteilung kritischer Infrastrukturprojekte verwendet (siehe z. B. [2]).

Zur Abschätzung *extremer Wetterbedingungen* wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt, die zum einen eine Erweiterung der Datenreihen mittels nicht-instrumentell vorliegender Werte versuchen, die zum Zweiten neue statistische Verfahren verwenden und die zum Dritten an der Quantifizierung und Einbeziehung von Trends arbeiten, wobei die letzten beiden Punkte zusammengehören. Ziel dieses Beitrages ist die Zusammenfassung dieser aktuel-

len Entwicklungen für die Schweiz bzw. den mitteleuropäischen Raum.

Die Zusammenfassung steht nicht in Konkurrenz zur DIN-1055-Reihe oder zum Eurocode 1 (z. B. [3]), die den anerkannten Regeln der Technik [4] entsprechen, sondern stellt vielmehr eine Ergänzung im Sinne des Standes der Wissenschaft dar. Der heutige Stand der Wissenschaft kann insofern für die Bauingenieure von Bedeutung sein, als dass er Auswirkungen auf die Erreichbarkeit der heute üblichen planmäßigen Lebensdauer von bis zu 100 Jahren für Brücken hat. Auf der anderen Seite ist die Abschätzung der Auswirkungen des Standes der Wissenschaft für die planenden Ingenieure genauso schwierig wie die von politischen und technischen Änderungen in den nächsten Jahren, die die Planung und Ausführung von großen Bauprojekten begleiten [5].

16.2 Definition

Unter dem Begriff *extreme Wetterbedingungen* versteht man eine Sammlung von Extremwerten verschiedener klimatologischer Parameter. Die Extremwerte dieser Parameter werden entweder allein oder in Kombination betrachtet. Die klimatologischen Parameter umfassen in der Regel:

- Extreme Lufttemperaturen,
- Extreme Temperaturen von Flüssen,
- Extreme Windgeschwindigkeiten aus Stürmen, Gewittern und Tornados,
- Extreme Niederschlagsmengen (Starkregen),
- Extreme Schneelasten (Neuschneelasten) und Schneehöhen,
- Extreme Vereisung (vereisender Regen),
- Extremer Hagel,
- Natürliche Brandeinwirkungen wie Waldbrände (keine Fahrzeugbrände auf Brücken),
- Extreme Dürre.

Wie bereits erwähnt werden seismische Einwirkungen, aber auch Einwirkungen aus Hochwasser, separat behandelt. Auch außergewöhnliche Szenarien durch technische Einwirkungen, wie Anpralle, sind nicht Gegenstand dieses Beitrages.

16.3 Grundlagen der Ermittlung von Bemessungswerten

Grundlage für die Festlegung von Bemessungswerten für Einwirkungen auf Brücken ist das aktuelle Sicherheitskonzept, das in verschiedenen Normen erläutert wird (Eurocode 1). Dieses Sicherheitskonzept basiert auf einer statistischen Beschreibung der aleatorischen (zufälligen), teilweise epistemischen (auf der Begrenztheit der Erkenntnisse beruhend) Unsicherheit der verwendeten Berechnungsgrößen [6].

Normalerweise entsprechen die charakteristischen Werte der natürlichen veränderlichen Einwirkungen 98-%-Fraktilwerten. Dies entspricht einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Die Festlegung dieser mittleren Wiederkehrperioden erfolgt durch die Festlegung der jeweiligen Einwirkungskombinationen in den Normen. Tabelle 16.1 listet diese Wiederkehrperioden für die verschiedenen Einwirkungskombinationen auf dem Konzept der DIN 1055er Reihe auf. Die charakteristischen Werte werden mittels Kombinationsbeiwerten in repräsentative und mittels Teilsicherheitsfaktoren in Bemessungswerte umgewandelt. Bemessungswerte und charakteristische Werte können deutlich größeren Wiederkehrperioden entsprechen, wie man z. B. an außergewöhnlichen Einwirkungen sehen kann.

In der Regel basiert die Ermittlung der natürlichen veränderlichen Einwirkungen auf statistischen Auswertungen von Messdaten. Diese Statistiken sind durchaus in der Lage, für bestimmte Wiederkehrperioden, wie z. B. für die charakteristische Einwirkung mit 50 Jahren, robuste und zuverlässige Schätzungen zu geben. Geht man jedoch über diese Wiederkehrperioden hinaus, wie z. B. bei verschiedenen außergewöhnlichen Einwirkungen, oder sind die Zeitreihen sehr kurz, so werden die Schätzungen immer unsicherer, die epistemische Unsicherheit steigt. Deshalb soll man den Datenzeitraum nicht um mehr als das Drei- bis Vierfache extrapolieren [7].

Die Messreihen für verschiedene klimatologische Parameter liegen im Bereich von Jahrzehnten, manchmal im Bereich von wenigen Jahrhunderten vor. So gibt es tägliche Temperaturmessungen seit dem 18. Jahrhundert [8], [9]. Die wahrscheinlich älteste durchgehende Temperaturmessserie liegt für Mittelengland mit Daten seit 1772 vor [10]. Die kontinuierlichen Zeitreihen der anderen klimatologischen Parameter, wie z. B. Niederschlag oder Schneehöhen, sind deutlich kürzer.

Auf Grund dieser relativ kurzen Datenreihen ist man in den vergangenen Jahren dazu übergegangen, nicht-instrumentell erhobene Klimadaten in die Entwicklung statistischer Verteilungen mit einzubinden. Diese Vorgehensweise ist gerade im Bereich des Wasserbaus heute Stand von Wissenschaft und Technik. So liegen dort allgemein anerkannte Verfahren vor, historische Pegelstände mit in die Gefährdungsbestimmung einzubeziehen [11]. Für die Stadt Basel konnte man Hochwasserereignisse über einen Zeitraum von bis zu 700 Jahren quantifizieren [12], die dann z. B. für Gefährdungsanalysen von Brücken verwendet werden können. Auch im Bereich der Seismik verwendet man paleo-seismische Untersuchungen zur Erweiterung des Datenbestandes an Erdbeben [13], [14].

Im Folgenden soll die Anwendung nicht-instrumentell erhobener Daten am Beispiel der Temperaturermittlungen für die Schweiz vorgestellt werden.

16.4 Beispiel für extreme Lufttemperaturen

16.4.1 Einleitung

Gemäß Eurocode 1 [3]/DIN 1055-7 [15] werden verschiedene Temperaturgradienten für die Bemessung von Brücken berücksichtigt. Grundlage für die Bereitstellung der normativen Werte sind kontinuierliche Datenreihen der Lufttemperaturen, die in Messstationen erfasst werden. Diese Messstationen müssen verschiedene Qualitätsanforderungen erfüllen. So liegen sie meistens 2 m über dem Boden und sind beschattet. Die Ergebnisse historischer Messstationen waren häufig noch von lokalen Randbedingungen, wie z. B. von der Farbe der umliegenden Häuser, abhängig [16]. Basierend auf Verschiebungen von Messorten und dem Einsatz neuer Messstationen mussten die Daten homogenisiert werden, um sie zu einer Datenreihe zusammenfügen zu können. In der Regel werden solche Messdaten auch manuell und automatisch geprüft. Damit wird heutzutage eine relativ hohe Qualität der instrumentell erfassten Daten erreicht.

Allerdings hängen auch heute noch Temperaturmessungen von standortspezifischen Bedingungen ab, wie z. B. der Lage in einer Stadt oder auf unbebautem Gebiet und dem damit einhergehenden Feuchtegehalt des Bodens. Gerade der Feuchtegehalt des Bodens führt bei Maximaltemperaturen zu erheblichen Unterschieden. Für Brücken

Tabelle 16.1: Mittlere Wiederkehrperiode für verschiedene Einwirkungskombinationen (überwiegend nach [6])

Einwirkungskombinationen	Mittlere Wiederkehrperiode
Quasi-statisch	50 % der Jahreszeit
Nicht-häufig gemäß (DIN 1055-Reihe	1 Tag (300-mal im Jahr)
Nicht-häufig gemäß DIN-Fachberichten	1 Woche
Häufig	1 Jahr
Selten	10 Jahre
Charakteristisch (Natürliche Einwirkung)	50 Jahre
Außergewöhnlich (Erdbeben)	350 Jahre
Charakteristisch (Straßenverkehrslasten)	1000 Jahre
Außergewöhnlich	10000 Jahre

spielen solche Einflüsse weniger eine Rolle, da sie in der Regel deutlich oberhalb des Geländes liegen. In der Regel ist die Temperatur wenige Meter über dem Boden weniger extrem als am Boden selbst. Allerdings besteht bei Brückenbauwerken ein nicht unerheblicher Einfluss der Strahlungswärme durch die Sonne und durch Wind [17], [18], [32], [33].

Nicht-instrumental erfasste klimatologische Daten werden indirekt über ökonomische, soziale und landwirtschaftliche Proxidata bestimmt. Die Daten sind in der Regel beschreibend. Die zeitliche und räumliche Auflösung ist deutlich geringer als bei den messtechnischen Daten, kann aber durchaus auch Tageswerte umfassen [9].

In der Schweiz existiert seit 1985 die durch Pfister erstellte klimageschichtliche Dokumentation CLIMHIST-CH [19]. Die Datenbank wird von der Universität Bern gepflegt und vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz unterstützt. Im Internet liegen zusätzlich verschiedene paleo-klimatologische Daten für Europa und verschiedene andere Weltregionen vor, auf die unter anderem beim World Data Center for Paleoclimatology, Boulder, und dem NOAA Paleoclimatology Program [20] zugegriffen werden kann. Diese Datensätze umfassen aber zahlreiche klimatologische Parameter, nicht nur die Temperaturen.

16.4.2 Die wärmsten Sommer in Mitteleuropa

Gerade in den vergangenen Jahren wurden mehrere aktuelle Forschungsarbeiten zu extremen historischen klimatologischen Daten veröffentlicht. Dazu gehört eine Zusammenfassung der Frühling-Sommer-Temperaturen der vergangenen ca. 500 Jahre für die Schweiz [21] oder für Zentraleuropa [22]. Eine Bewertung des Klimaverlaufs der vergangenen 2000 Jahre findet sich in [23].

Neben den Zeitverläufen werden oft auch besondere Ereignisse betrachtet. Eine Bewertung des Extremsommers 1540 findet sich in [24] und [25]. Dort wird eine Erhöhung der durchschnittlichen jahreszeitlichen Temperatur von April bis Juni mit bis zu 6 °C angegeben (Temperaturdifferenzen werden in °C angegeben). Allen diesen Veröffentlichungen ist gemein, dass sie *mittlere* klimatologische Werte angeben. Tatsächlich liegen zurzeit noch keine wissenschaftlichen Verfahren vor, um aus solchen, z. B. Viermonatsmittelwerten, Tagesmaximalwerte zu bestimmen, die für die Brücken bemessungswirksam werden können.

Gemäß den vorliegenden Daten werden die Sommer 2003 und 1540 als die heißesten Sommer der vergangenen tausend Jahre in Mitteleuropa betrachtet. Außerdem gab es weitere sehr heiße Sommer, wie z. B. 1822 und 1718 (siehe Bilder 16.1 und 16.2).

16.4.3 Die kältesten Winter in Mitteleuropa

In den vergangenen Jahrhunderten und Jahrtausenden wurden mehrere extrem kalte Winter in Mitteleuropa beobachtet und dokumentiert. So waren die Winter 536, 763/764, 1364, 1607/08, 1709 und 1739/40 außerordentlich kalt [26]. Das Jahr 536 ist insbesondere für seine Verdunklung der Atmosphäre bekannt [27]. Es ist aber unbekannt, ob ein Vulkanausbruch, ein Meteoriteneinschlag oder eine Kombination aus beidem dazu geführt hat [27].

Der Winter 763/764 gilt als einer der kältesten Winter der vergangenen 2000 Jahre [28] in Europa. Allerdings liegen für diesen Winter keine Messwerte vor und konnten bisher auch nicht rekonstruiert werden. Die Winter 1709 und 1739/40 gelten als die kältesten Winter des vergangenen Jahrtausends ([29], Seite 96 und [26], [30], [31]). Die Aussagen „kälteste Winter des vergangenen Jahrtausends“

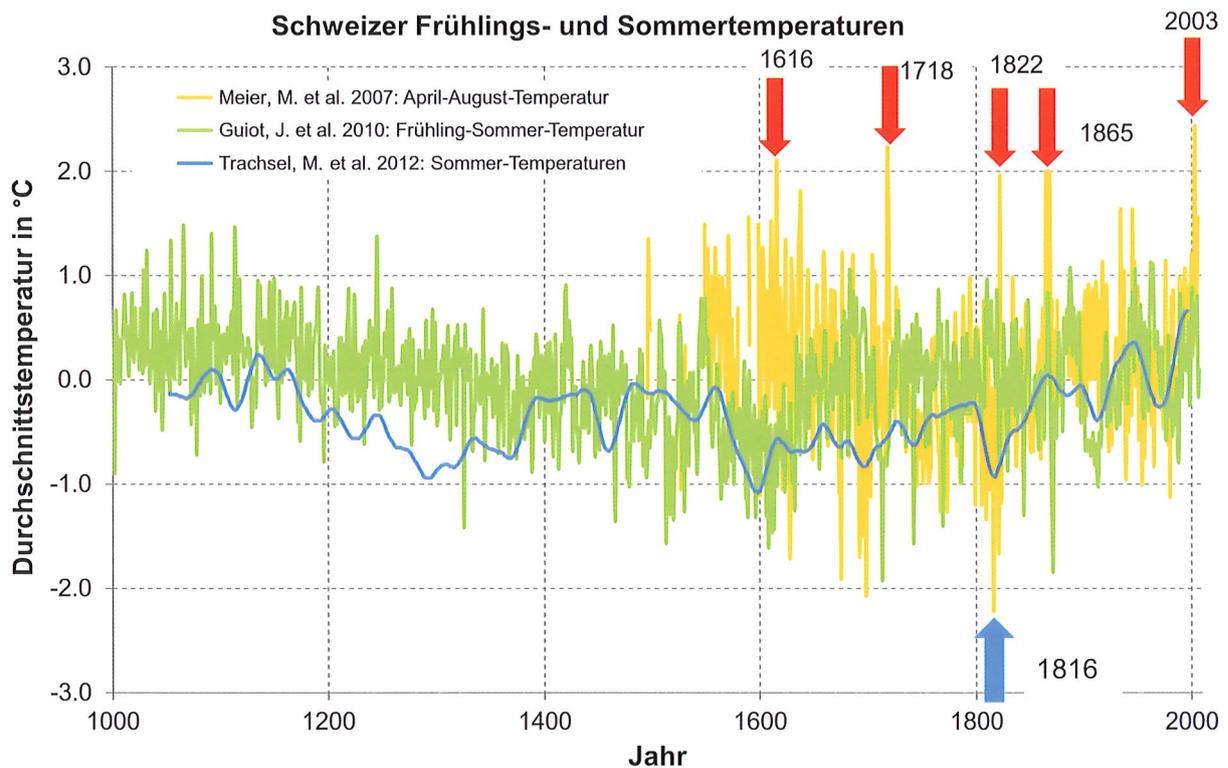


Bild 16.1: Historische klimatologische Angaben zur relativen Frühlings- bzw. Sommertemperatur in der Schweiz mittels Daten aus [20]

sends“ werden allerdings vom selben Autor auch für einen anderen Winter genutzt [32]: „Der Winter 1364 war möglicherweise der kälteste des verflossenen Jahrtausends“.

In den Wintern 1709 und 1739/40 platzten die Bäume in Deutschland und einigen Gebieten der Schweiz auf. Dazu sind länger andauernde Tiefsttemperaturen von -25 bis -30 °C notwendig. 1709 konnten an mehreren Orten thermometrische Messungen festgehalten werden. In Berlin wurde am 10. Januar 1709 eine Tagesmitteltemperatur von -30 °C gemessen. Am 27. November 1739 wurden -25 °C in Dresden gemessen.

16.4.4 Zuverlässigkeit der Daten

Die Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit solcher Daten soll am Beispiel der Schweizer maximalen Lufttemperaturen geprüft werden. In Tabelle 16.2 werden die maximalen instantanen und standortspezifischen Lufttemperaturen für verschiedene Schweizer Messstationen angegeben. Für große Städte wurden die Maximalwerte im Jahr 2003 erreicht, wie z. B. in Zürich oder Basel. Für einen Großteil der Schweizer Messstationen wurde der

Maximalwert aber 1983, also nicht 2003, erreicht. Dieses Jahr markiert auch für die Städte Basel und Zürich die zweithöchsten Messwerte. Für die Städte Zürich und Bern brachte auch das Jahr 1947 Extremwerte, für Basel das Jahr 1921.

Im Bild 16.2 werden die aus den Weintraubenernten zurückgerechneten jährlichen mittleren Aprilbis-Juli-Temperaturen für die Schweiz dargestellt. Vergleicht man nun die Messungen aus Tabelle 2 mit den Temperaturen aus Bild 16.2, so zeigen sich verschiedene Widersprüche. Zwar wird in der Tabelle 16.2 und in Bild 16.2 das Jahr 2003 als extrem angezeigt, aber die Extremwerte aus den Messungen für die Jahre 1947 und 1921 lassen sich in Bild 16.2 bei den aus der Weintraubenernte ermittelten Temperaturen nicht belegen. Dort werden eher Extremwerte in den Jahren 1934 und 1945 nachgewiesen.

In Bild 16.3 werden außerdem die Temperaturen für zwei unterschiedliche biologische Proxys (indirekte Klimaanzeiger) angegeben: die Traubenernte und die Roggenernte. Auch hier erkennt man Unterschiede, nicht nur in den Maximalwerten, sondern teilweise auch im Verlauf. Während im Bild 2 für den Sommer des Jahres 1540 eine Temperatu-

Tabelle 16.2: Maximaltemperaturen in °C an verschiedenen Schweizer Orten, die zweithöchsten und dritthöchsten Messwerte sind ebenfalls in Abhängigkeit vom Jahr aufgeführt [13]. Das orange gefärbte Feld zeigt die höchste gemessene Lufttemperatur für eine bestimmte Messstation.

Ort	Messstation	2003	1983	1971	1957	1947	1945	1921
Tessin/Misox	Grono	41,5 ¹⁾						
	Locarno-Monti	37,9	37,3				36,0	
	Piotta	34,0	32,8					
	San Bernardino	27,6	27,9					
	Basel	38,6 ²⁾	38,4 ⁴⁾					38,4 ⁴⁾
	Zürich	36,0	35,8 ⁵⁾			35,8		
	Bern	37,0				35,9		
	Altdorf	36,5		35,6 ⁶⁾				
Berner Oberland	Chateau-d'Oex	33,4	35,0					
	Gstaad-Grund	32,0	34,0					
	Adelboden	29,4	32,2					
	Mürren (1638 m)		30,4					
Höhenlagen Zentral- und Ostschweiz	Elm und Engelberg	32,6	32,7					
	Napf	29,7	30,4					
	Pilatus	22,3	27,3					
	Gütsch ob Andermatt	22,8	25,1					
	Säntis	18,8	20,8					
Wallis und Nord-/Mittel-bünden	Sion	37,2						
	Ulrichen	30,5	32,2					
	Montana	30,0	30,6					
	Zermatt	30,1	31,9					
	Grächen	29,5	31,5					
	Chur	37,1	37,5					
	Disentis	32,6	32,9					
	Davos	27,3	29,0					
	Arosa	26,2	26,5					
	Weissfluhjoch	19,6	22,8					
Münstertal und Puschlav	Sta. Maria	29,7	30,6					
	Robbia	32,9	33,3					
	Scuol	33,1				34 ³⁾		
	Genf	37,8						38,5

¹⁾ Rekord der Schweiz: Grono liegt nahe der Grenze zu Italien.
²⁾ Rekord nördlich der Alpen
³⁾ Wert wird angezweifelt.
⁴⁾ 38,4 °C vom Juli 1983 und Juli 1921, der bisherige Maximalwert von 39 °C vom 2. Juli 1952 wurde auf 37,3 °C korrigiert.
⁵⁾ Der bisherige Höchstwert von 37,7 °C vom 29. Juli 1947 wurde auf 35,8 °C korrigiert.
⁶⁾ Föhn

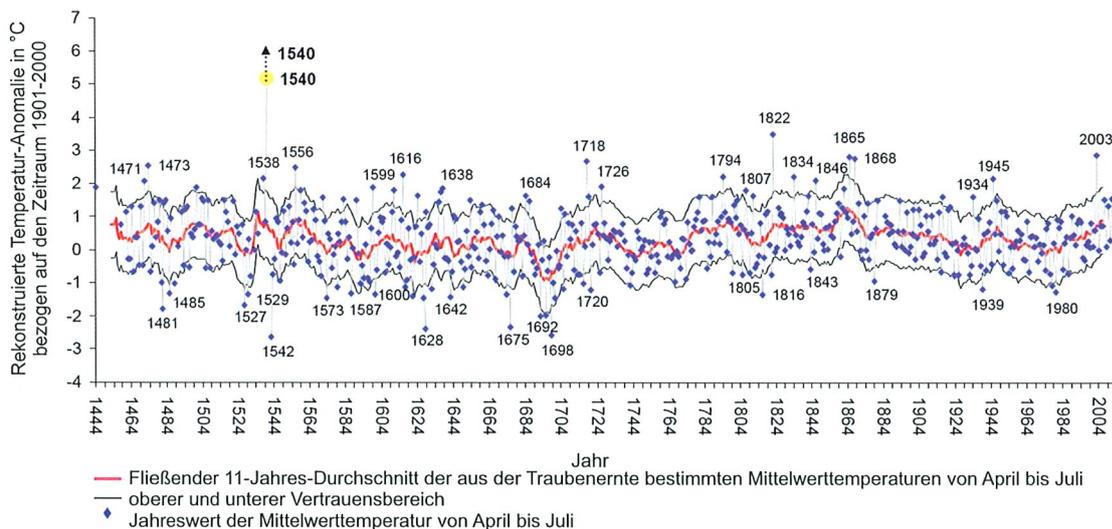


Bild 16.2: April-Juli Temperaturen in °C bezogen auf den Durchschnitt von 1901 bis 2000 nach [24] (leicht überarbeitet)

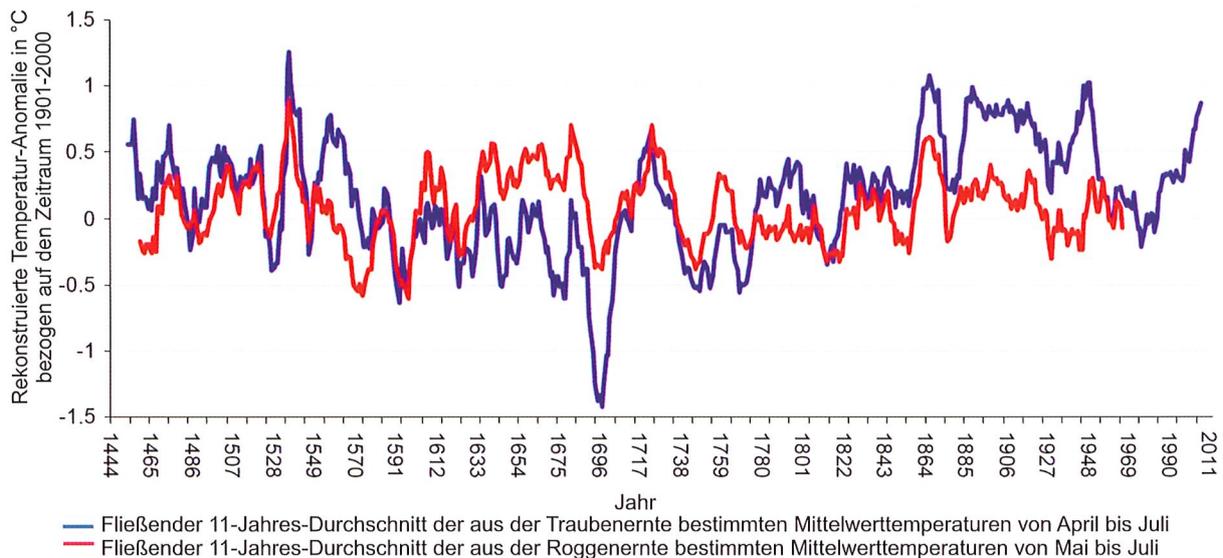


Bild 16.3: April-Juli- bzw. Mai-Juli-Temperaturen in °C nach [33] und [24] (leicht überarbeitet)

ranomalie von 5 bis 6 °C angegeben wird, beträgt die Anomalie in Bild 16.3 maximal 2 °C.

Die Abweichungen zwischen den Messungen und den Angaben aus Bild 16.2 lassen sich z. B. durch die unterschiedlichen Granularitäten (zeitliche und räumliche Auflösung) erklären – während die Messung einen instantanen Wert beschreibt, liefert der Proxy einen Temperaturanstaltspunkt für einen Zeitbereich von drei Monaten. Aber gerade in den vergangenen Jahren haben wir eine überproportionale Erwärmung der Frühlingsmonate in Mitteleuropa erlebt. Hier besteht also weiterhin Forschungsbedarf.

Prinzipiell kann es aber bei der Verwendung von Schriftstücken als Proxydaten – und Schriftstücke bilden auch die Grundlage für die Datenauswertung der Bilder 16.2 und 16.3 – immer auch zu Fehlern kommen. Dies gilt nicht nur für *extreme Wetter*, sondern für alle Gefährdungen. So hat man bei der Erstellung des Makroseismischen Katalogs der Schweiz lange die Intensität des Lindauer Erdbebens vom 20. Dezember 1720 durch einen Übersetzungsfehler überschätzt [13]. Auch bei der räumlichen Zuordnung historischer Erdbeben entstehen Fehler. So wurde ein Erdbeben im *Welschland* im Jahre 1152 dem Schweizer Ort Neuenburg zugeordnet. Tatsächlich aber bezeichnete der Begriff *Welschland* vor dem 19. Jahrhundert nicht die Romandie, sondern Italien [14].

Nicht-instrumentell erhobene Daten können also nur zum Teil den Datenmangel für die Extrapolation großer Wiederkehrperioden beheben. In vie-

len Bereichen ist die zeitliche und räumliche Auflösung zu gering (die Granularität), die Beschreibungen sind widersprüchlich und indirekt. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten der vergangenen Jahre zeigen große Unterschiede auf, selbst von denselben Autoren.

16.5 Andere klimatologische Parameter

Der Sommer 2003 stellt ein Extremereignis bei den Maximaltemperaturen dar. Auch bei den anderen klimatologischen Parametern findet man solche Extremereignisse in den vergangenen Jahren. Beim Niederschlag waren das die Starkniederschläge im August 2005 in der Schweiz. Dabei wurden 48-Stunden-Niederschläge beobachtet, die gemäß der statistischen Auswertung der bis dahin vorliegenden 100-jährigen Datenreihe einem 300-jährigen, in einem Ort sogar einem 1000-jährlichen Ereignis entsprachen [34]. Auch die 24-Stunden-Niederschläge erreichten extreme Werte.

Neben den Temperaturen und den Niederschlägen wurden in Europa in den vergangenen Jahrzehnten auch extreme Stürme beobachtet. Dazu zählen unter anderem die Stürme Lothar (1999) und Vivian (1990) mit punktuellen Windgeschwindigkeiten von 50 m/s im Schweizer Mittelland und 75 m/s im Bergland [35]. Dies entspricht einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren. Pfister [29] bezeichnet Vivian als den stärksten Sturm der vergangenen 260 Jahre.

Auch Tornados der Fujita-Stufe F4 mit über 90 m/s wurden in den vergangenen Jahren im mitteleuropäischen Raum beobachtet (Pforzheim 1968, Brandenburg 1979). Neben den verursachten erheblichen Windgeschwindigkeiten können sie auch in Form sogenannter Windborn Missiles, also windgetragene Festkörper, auf Brückenbauwerke einwirken.

Auch bei Hagel hat man in den vergangenen Jahren mehrere extreme Ereignisse beobachtet. So wurde am 6. August 2013 in Baden-Württemberg ein Hagelkorn mit einem Durchmesser von 14 cm gefunden. Damit erreicht man zwar nicht die extremen Hagelkörner aus den USA von knapp über 20 cm, aber ein Durchmesser von 14 cm entspricht einem sehr seltenen Wert. Das Hagelereignis vom 12. Juli 1984 in München mit Schäden in Höhe von ca. 800 Millionen Euro zeigte das enorme Schädigungspotential solcher Ereignisse auf.

Bei anderen Ereignissen, wie z. B. bei Waldbränden, lassen sich noch keine Extremwerte nachweisen.

16.6 Statistische Auswertung der Messdaten

16.6.1 Verfahren

Für die statistische Auswertung der Daten und für die Entwicklung einer Verteilungsfunktion der unterschiedlichen klimatologischen Parameter stehen verschiedene statistische Verfahren zur Verfügung. Im Rahmen einer vom Autor betreuten Untersuchung wurden die Block-Maxima-Methode mit der generalisierten Extremwertverteilung (GEV), die Ordnungsstatistik (r-largest order) und das POT-Verfahren (POT = Peaks-over-threshold) eingesetzt. Jedes dieser Verfahren hat gewisse Vor- und Nachteile, die Auswirkungen auf die Bestimmung der charakteristischen Werte haben. Durch den Einsatz verschiedener Verfahren soll eine Absicherung der Ergebnisse erfolgen.

Zunächst wurden die Daten auf Trends untersucht. Die GEV wurde bei der Temperatur für die monatlichen Maximalwerte genutzt. Allerdings wurden für die Bestimmung der Maximaltemperaturen nur die Monate Mai bis September und für die minimalen Lufttemperaturen nur die Monate Oktober bis April verwendet. Beim Niederschlag wurden nur die Monate Mai bis September untersucht. Es wurde sowohl ein linearer Trend (Klimawandel) als auch

ein harmonischer Trend über den Jahreslauf berücksichtigt. Die zeitabhängige Schätzung für einen Parameter der GEV sah dann beispielsweise wie folgt aus:

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1(t - t_0) + \sum_{j=1}^L \left\{ c_j \cos \frac{2\pi \cdot j \cdot t}{365} + s_j \sin \frac{2\pi \cdot j \cdot t}{365} \right\}$$

Mit:

$\mu(t)$	statistischer Parameter für den Zeitpunkt t, hier z. B. der Mittelwert
μ_0	statistischer Parameter für das Bezugsjahr
μ_1	linearer Trend des statistischen Parameters
t	gewählter Zeitpunkt
t_0	Bezugszeitpunkt (meistens Jahr)
c_j, s_j	Konstanten zur Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen

Für die anderen statistischen Parameter der GEV wurde die gleiche Methode verwendet.

Anschließend wurde die Ordnungsstatistik ebenfalls für die Monatswerte unter Verwendung der beiden größten Monatswerte erstellt. Die Ergebnisse aus der GEV wurden bestätigt.

16.6.2 Langzeittrend

Im vorangegangenen Abschnitt wurde der Begriff Klimawandel verwendet. Unter Klima versteht man als Abgrenzung zum Wetter einen statistisch ermittelten Zustand der Erdatmosphäre über mehrere Jahrzehnte. Die Weltorganisation für Meteorologie hat als Referenzwert eine 30-Jahre-Periode definiert, die sogenannte Klimanormalperiode. Die festgelegten Intervalle sind die Zeiträume von 1931 bis 1960, von 1961 bis 1990, von 1991 bis 2020, 2021 bis 2050 etc.

Im Gegensatz dazu besitzt das Wetter einen Zeitrahmen von Stunden bis wenige Wochen und die Witterung einen Zeitrahmen von einigen Tagen bis zu wenigen Monaten. Die Veränderungen, die sich zwischen den Klimanormalperioden zeigen, können als klimatische Schwankungen interpretiert werden. Auf Grund der Annahme, dass die zuletzt beobachteten Veränderungen zumindest teilweise vom Menschen induziert sind, sind statistische Klimaschwankungsmodelle nur begrenzt verwendbar. Man spricht deshalb heute von einem menschengemachten Klimawandel.

Die vorliegenden und untersuchten Temperaturmessungen der vergangenen Jahre bestätigen diesen Klimawandel. Je nach Schweizer Region stieg die mittlere Jahrestemperatur in den vergangenen beiden Jahrzehnten mit einer Rate von 5 bis 7 °C pro Jahrhundert. Die Maximaltemperaturen steigen dabei langsamer als die Jahresmittelwerte, da die Temperaturzunahme im Wesentlichen die Frühlings- und teilweise die Wintermonate betrifft. Bild 16.4 zeigt die Tagesmaximalwerte für einen Schweizer Messort, deren Entwicklung diese Aussage bestätigt. Bei den anderen klimatologischen Parametern, wie Niederschlag oder Wind, sind die Trends nicht eindeutig nachweisbar.

16.7 Ausblick

Für Brücken sind standortspezifische Bedingungen von Bedeutung [17]. Im Gegensatz dazu werden in den Normen in der Regel aber Regionen abgedeckt [18]. Dazu müssen Messwerte aus verschiedenen Stationen miteinander korreliert werden. Insbesondere in den vergangenen Jahren wurden dazu verschiedene Forschungsprojekte gestartet, die mittels Copulas nichtlineare Korrelationen zwischen verschiedenen Messserien berücksichtigen können. Copulas erlauben eine umfassendere Beschreibung des Zusammenhangs zweier oder mehrerer Zufallsvariablen als es übliche eindimensionale Korrelationskoeffizienten ermöglichen. Erwähnenswert wäre für Niederschlag z. B. das Forschungsprojekt STAMMEX [36] oder verschiedene Projekte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (z. B. Spatial Interpolation of environmental parameters with Copulas), teilweise auch mit Bezug auf Hochwasser. Die Anwendung von Copulas kann zu höheren charakteristischen Werten zu führen, wie bisher an einem Beispiel gezeigt wurde.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass auf Grund verschiedener Weiterentwicklungen statistischer und klimahistorischer Verfahren heute umfassendere Abschätzungen der extremen Wetterbedingungen erfolgen können, als noch vor wenigen Jahren. Auf der anderen Seite zeigt dieser Beitrag offene Fragen auf.

16.8 Auswirkungen für den Brückenbau

Langfristig werden sich die natürlichen Einwirkungen auf Brücken verändern, wahrscheinlich grund-

sätzlich steigen. Allerdings ist eine direkte Übernahme von neuen Ergebnissen, z. B. bei der Temperatur, für die Bemessung nicht möglich. Die hier vorgestellten Temperaturdaten beziehen sich in der Regel auf eine Höhe von 2 m über dem Boden. Normalerweise sind die Lufttemperaturen in Bodennähe extremer, so dass sich an den Brücken, die sich mehrere Meter über dem Talboden befinden, im Sommer geringere und im Winter höhere Temperaturen einstellen.

Zusätzlich werden für die gleichmäßige Temperaturbelastung Effekte wie Wind und Sonnenstrahlung [33], [34] in Form von Summanden berücksichtigt. So wird die Maximaltemperatur um 2 °C verringert und die Tiefsttemperatur um 5 °C erhöht.

Dadurch dürften die -24 °C gemäß DIN 1055-7 [15] bzw. Eurocode [3] die oben genannten historischen Tagesmittelwerte von -30 °C auf 2 m Höhe gerade noch abdecken. Das gleiche gilt für die +37 °C, die kurzzeitige Extremwerte von 40 °C auf 2 m Höhe abdecken. Der Bemessungswert in Verbindung mit einem Teilsicherheitsfaktor von 1,5 erscheint ausreichend.

Bezüglich der anderen Einwirkungen, wie Stürme, Niederschläge oder Hagel, rechnen wir eher mit Einschränkungen in der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit der Brücken als mit Fragen der Standsicherheit. So können Brückeneinbauten, wie Lärmschutzwände, durch Tornados und Windborne Missiles beschädigt werden. Das gleiche gilt für Hagelkörner. Extreme Niederschläge können die Nutzungsfähigkeit der Brücken durch die begrenzte Abführung des Niederschlagswassers beeinträchtigen.

16.9 Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Studien zu nicht-instrumentell erhobenen Klimadaten veröffentlicht. Diese Daten können in die statische Auswertung der instrumentell erhobenen klimatologischen Daten einbezogen werden und haben Auswirkungen auf die Festlegung charakteristischer bzw. repräsentativer Einwirkungen. Gleichzeitig erlauben neue statistische Verfahren (GEV, Copulas) robustere statistische Extrapolationen.

Die Veränderung solcher Einwirkungskenngrößen kann wiederum Konsequenzen für die Bemessung von Brückenbauwerken haben, wie z. B. veränderte Temperatureinwirkungen bei semi-integralen oder integralen Brückenbauwerken. Die ersten, hier vorgestellten Überlegungen zeigen,

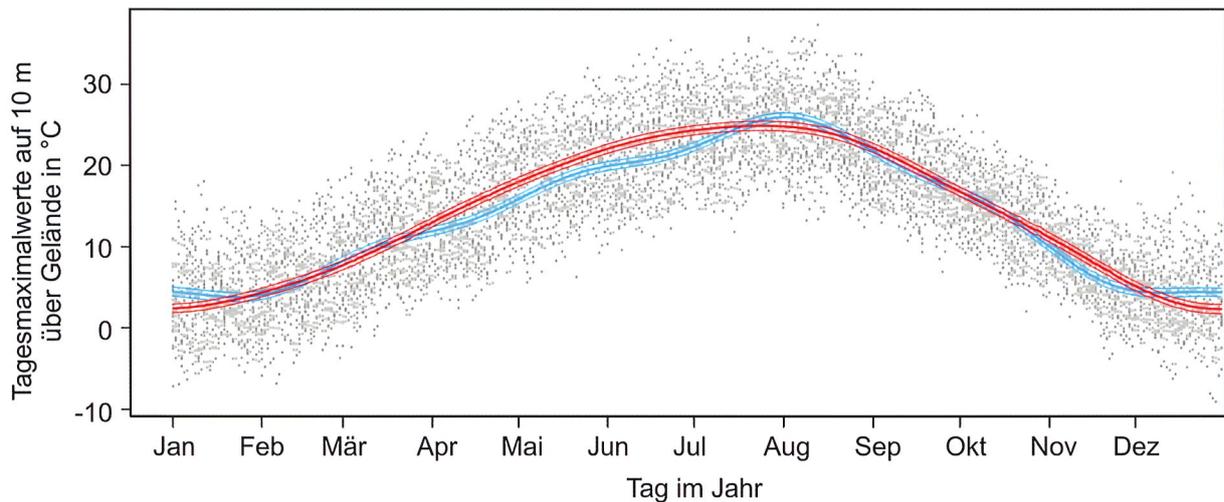


Bild 16.4: Beispiele des Jahresverlaufs der Tagesmaximaltemperatur für einen Schweizer Standort für die Jahre 1989 und 2008

dass die Abweichungen zu den normativen Werten im Bereich von 10 % liegen. Geht man ferner davon aus, dass für größere Brückenbauprojekte ortsspezifische Werte erhoben und berücksichtigt werden, so dürften die Auswirkungen auf den Bemessungsprozess noch geringer werden. Im Gegensatz dazu können für die Bemessung von Brücken mit einer Lebensdauer von 100 Jahren allerdings aktuelle Trends der klimatologischen Parameter von Bedeutung sein. So zeigen die Jahresmitteltemperaturen an verschiedenen Schweizer Orten in den vergangenen Jahrzehnten eine Temperaturerhöhung von bis zu 7 °C pro Jahrhundert. Das würde bedeuten, dass heute errichtete Brücken Ende des 21. Jahrhunderts erheblich größeren Maximaltemperatureinwirkungen ausgesetzt sind.

Fazit: Wir erleben im Augenblick eine äußerst schnelle Zunahme des Wissens über historische Klimadaten und statistische Datenauswertungen klimatologischer Parameter, die zu Veränderungen der Bemessungseinwirkungen auf Brücken führen können. Die Auswirkungen auf den Brückenbau erscheinen bis auf weiteres noch überschaubar. Dies gilt für die gesamte Einwirkungsgruppe der *extremen Wetterbedingungen*.

16.10 Literaturverzeichnis

[1] GIARDINI, D.; WOESSNER, J.; DANCUI, L.; CROWLEY, H.; COTTON, F.; GRÜNTAL, G.; PINHO, R.; VALENSISE, G.: SHARE European Seismic Hazard Map for Peak Ground Accelerati-

on, 10% Exceedance Probabilities in 50 years, doi: 10.2777/30345, Zürich: ETH Zürich, 2013

- [2] VDI Technologiezentrum GmbH (Projektträger): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen, Bedrohungsanalyse, Öffentliche Fassung des Berichts. bearbeitet von Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI), Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren der Universität Stuttgart (ILEK), Lehrstuhl für Psychologie I der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, gefördert durch Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Berlin, Bochum, 2013, <http://skribt.org/ergebnisse.htm>
- [3] DIN EN 1991-1-5 (12/2010): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen, Deutsche Fassung, EN 1991-1-5-2003
- [4] Architektenkammer Nordrhein-Westfalen: Praxishinweis – Die rechtliche Bedeutung von technischen Regelwerken. Oktober 2011
- [5] PROSKE, D.: Entscheidung unter Unsicherheit als Beruf: Der Bauingenieur. In: Bauforschung und Baupraxis. Wie wollen wir in Zukunft bauen? Festschrift zum 60. Jahrestag von Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Tragwerksplanung der TU Dresden, Band 10, 2011, S. 367-372

- [6] CURBACH, M.; PROSKE, D.: Einführung in das Sicherheitskonzept, die Baustoffe, die Einwirkungen und Schnittgrößenermittlung in den DIN-Fachberichten. Einführung in die DIN-Fachberichte. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit & Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität Dresden (Hrsg.), Dresden: 2002
- [7] PUGH, C.: Changing Sea Levels – Effects of Tides, Weather and Climate. Cambridge: Cambridge University Press, 2004
- [8] PFISTER, CH.: Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Berlin Stuttgart Wien: Paul Haupt, 1999
- [9] BEHRINGER, W.: Die Kulturgeschichte des Klimas. dtv, München: 2011
- [10] <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcet/>
- [11] DHI-WASY Software: HQ-EX 3.0: Programm zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Benutzerhandbuch, 2007
- [12] WETTER, O.; PFISTER, C.; WEINGARTNER, R.; LUTERBACHER, J.; REIST, T.; TRÖSCH, J.: The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence. Hydrological Sciences Journal 56 (2011) 5, S. 733-758
- [13] SCHWARZ-ZANETTI, G.; FÄH, D.: Grundlagen des Makroseismischen Erdbebenkatalogs der Schweiz, Band 2: 1681-1878. Schweizerischer Erdbebendienst (Hrsg.), Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2011
- [14] SCHWARZ-ZANETTI, G.; FÄH, D.: Grundlagen des Makroseismischen Erdbebenkatalogs der Schweiz, mit Beiträgen von Virgilio Masciadri und Philipp Kästli, Band 1: 1000-1680, Schweizerischer Erdbebendienst (Hrsg.), Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2011
- [15] DIN 1055-7:2002-11: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 7: Temperatureinwirkungen. Berlin: Beuth
- [16] Z'GRAGGEN, L.: Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen. In: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz (Hrsg.): Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 212, 2006, Zürich
- [17] KOHOUTEK, J.; LINH TRAN, N.; GRAUBNER, C.-A.: Thermal actions on box girder bridges made of prestressed concrete. In: Lahmer, T.; Huber, M.; Most, T.; Proske, D.; Werner, F. (Hrsg.): Proceedings of the 12th International Probabilistic Workshop, Weimar, November 2014, S. 139-149
- [18] LICHTER, U.: Klimatische Temperatureinwirkungen und Kombinationsregeln bei Brückenbauwerken. Diss., Universität der Bundeswehr München, 2004
- [19] <http://www.euroclimhist.unibe.ch/de/>
- [20] NOAA: National Climatic Data Center: NOAA Paleoclimatology. <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/recons.html>, letzter Zugriff: 26.11.2013
- [21] WETTER, O.; PFISTER, C.: Spring-summer temperatures reconstructed for northern Switzerland and southwestern Germany from winter rye harvest dates, 1454-1970. Climate of the Past, Journal of the European Geosciences Union (2011) 7, S. 1307-1326
- [22] DOBROVOLNY, P.; MOBERG, A.; BRAZDIL, R.; PFISTER, C.; GLASER, R.; WILSON, R.; VAN ENGELEN, A.; LIMANOWKA, D.; KISS, A.; HALICKOVA, M.; MACKOVA, J.; RIEMANN, D.; LUTERBACHER, J.; BÖHM, R.: Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. Climatic Change 101 (2010) Juli, Issue 1-2, S. 69-107
- [23] AHMED, M.; ANCHUKAITIS, K. J.; ASRAT, A.; BORGAONKAR, H.-P.; BRAIDA, M.; BUCKLEY, B. M.; BÜNTGEN, U.; CHASE, B. M.; CHRISTIE, D. A.; COOK, E. R.; CURRAN, M. A. J.; DIAZ, H. F.; ESPER, J.; FAN, Z. X.; GAIRE, N. P.; GE, Q.; GERGIS, J.; GONZÁLEZ-ROUCO, J. F.; GOOSSE, H.; GRAB, S. W.; GRAHAM, R.; GRAHAM, N.; GROSJEAN, M.; HANHIJÄRVI, S. T.; KAUFMAN, D. S.; KIEFER, T.; KIMURA, K.; KORHOLA, A. A.; KRUSIC, P. J.; LARA, A.; LÉZINE, A.-M.; LJUNGQVIST, F.-C.; LORREY, A.-M.; LUTERBACHER, J.; MASSON-DELMOTTE, V.; MCCARROLL, D.; MCCONNELL, J. R.; MCKAY, N. P.; MORALES, M. S.; MOY, A. D.; MULVANEY, R.; MUNDO, I. A.; NAKATSUKA, T.; NASH, D. J.; NEUKOM, R.; NICHOLSON, S. E.; OERTER, H.; PALMER, J. G.; PHIPPS, S. J.; PRIETO, M. R.; RIVERA, A.; SANO, M.; SEVERI, M.; SHANAHAN, T. M.; SHAO, X.; SHI, F.; SIGL, M.; SMERDON, J. E.; SOLOMINA, O. N.; STEIG, E. J.; STENNI, B.; THAMBAN, M.; TROUET, V.; TURNEY, C. S. M.; UMER, M.; VAN OMMEN, T.; VERSCHUREN, D.; VIAU, A. E.; VILLALBA, R.; VINTHER, B. M.; VON GUN-

- TEN, L.; WAGNER, S.; WAHL, E. R.; WANNER, H.; WERNER, J. P.; WHITE, J. W. C.; YASUE, K.; ZORITA, E.: Continental-scale temperature variability during the last two millennia PAGES 2k Consortium. *Nature Geoscience* 6 (2013), S. 339-346
- [24] WETTER, O.; PFISTER, C.: An underestimated record breaking event – why summer 1540 was likely warmer than 2003. *Climate of the Past, Journal of the European Geosciences Union* 9 (2013), S. 41-56
- [25] WETTER, O.; PFISTER, CH.; WERNER, J. P.; ZORITA, E.; WAGNER, S.; SENEVIRATNE, S.I.; HERGET, J.; GRÜNEWALD, U.; LUTERBACHER, J.; ALCOFORADO, M.-J.; BARRIENDOS, M.; BIEBER, U.; BRÁZDIL, R.; BURMEISTER, K.-H.; CAMENISCH, C.; CONTINO, A.; DOBROVOLNÝ, P.; GLASER, R.; HIMMELSBACH, I.; KISS, A.; KOTYZA, O.; LABBÉ, T.; LIMANÓWKA, D.; LITZENBURGER, L.; NORDLI, Ø.; PRIBYL, K.; RETSÖ, D.; RIEMANN, D.; ROHR, CHR.; SIEGFRIED, W.; SÖDERBERG, J.; SPRING, J.-J.: The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 – a worst case. *Climatic Change* 125 (2014), S. 365-367
- [26] HENNIG, R.: Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800. *Abhdl. Kgl. Preuß. Met. Inst., Bd. II (1904) No. 4*
- [27] BARRAS, C.: The year of darkness. *NewScientist* (2014) Jan., Issue 2952, S. 35-38
- [28] PFISTER, C.; LUTERBACHER, J.; SCHARZANETTI, G.; WEGMANN, M.: Winter air temperature variations in western Europe during the Early and High Middle Ages (AD 750-1300). *The Holocene* 8 (1998), S. 535-552
- [29] PFISTER, CH.: *Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Berlin Stuttgart Wien: Verlag Paul Haupt, 1999
- [30] BERNHARDT, K.-H.; MÄDER, C.: Statistische Auswertung von Berichten über bemerkenswerte Witterungsereignisse seit dem Jahre 1000. *Z. Meteorol.* 37 (1987) 2, S. 120-130
- [31] BERNHARDT, K.-H.; HELBIG, G.; HUPFER, P.; KLIGE, R. K.: *Rezente Klimaschwankungen*. In: Hupfer, P. (Hrsg.): *Das Klimasystem der Erde*, Berlin: Akademie-Verlag, 1991
- [32] PFISTER, C.; CAMENISCH, C.; PRIBYL, K.: *DAS KLIMA EUROPAS IM MITTELALTER, MIT ZUARBEITEN VON BRÁZDIL, R.; CAMENISCH, C.; CAMUFFO, D.; GLASER, R.; KISS, A.; MACKOVA, J.; PRIBYL, K.*; Vortrag auf der Tagung: Variabilität, Vorhersagbarkeit und Risiken des Klimas: acht Jahre NFS Klima, 12.06.2009 in Bern, Switzerland, http://occr23.unibe.ch/conferences/acht_jahre/pdfs/Pfister.pdf, letzter Zugriff 5.2.2014
- [33] WETTER, O.; PFISTER, C.: An underestimated record breaking event – why summer 1540 was very likely warmer than 2003. *Climate of the Past, Journal of the European Geosciences Union, Discussion*, 8 (2012), S. 2695-2730, www.clim-past-discuss.net/8/2695/2012/
- [34] *MeteoSchweiz, Zürich (Hrsg.): Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 211, Starkniederschlagsergebnis August 2005*
- [35] CEPPI, P.; DELLA-MARTA, P. M.; APPENZELLER, C.: *Extreme Value Analysis of Wind Speed Observations over Switzerland*. *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, 219, 43 S., Zürich, 2008
- [36] ZOLINA, O.; SIMMER, C.; KAPALA, A.; SHABANOV, P.; BECKER, P.; MÄCHEL, H.; GULEV, S.; GROISMAN, P.: *Precipitation Variability and Extremes in Central Europe: New View from STAMMEX Results*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95 (2014) July, Issue 7

(Alle Internetquellen wurden, so nicht anders angegeben, am 20.1.2015 geprüft.)

- 11** Herzlich Willkommen zum 25. Dresdner Brückenbausymposium
- 15** Überall Brücken – von der Vielgestaltigkeit eines Gedankens
- 33** Brückenbau in Deutschland – eine Auswahl zukünftiger Schwerpunkte
- 37** 25 Jahre Dresdner Brückenbausymposium – eine deutsche Erfolgsgeschichte
- 63** Bridge Architecture – from Structure to Elegance
- 69** Fußgängerbrücken – Entwurf und Konstruktion
- 83** Schlanke vorgespannte Fußgängerbrücke aus Textilbeton
- 99** Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau
- 113** Gustave Magnel – ein Wegbereiter der Spannbetonbauweise
- 131** Integrale Brücken im Wandel der Zeit
- 151** Dynamisch über das Saale-Elster-Tal – Bemessung und Konstruktion einer Stabbogenbrücke für den Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr
- 163** Sicherung der Rheinbrücke Leverkusen – von der Schadensaufnahme zum Instandsetzungsmanagement unter Berücksichtigung der Altstahlproblematik
- 181** Friedrichsbrücke Berlin – Denkmalgerechte Erneuerung und Anpassung der Friedrichsbrücke über die Spree – die Verbindung von zwei verschiedenartigen Brückenkonstruktionen
- 193** Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke – Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich
- 217** Feuerverzinken im Brückenbau – Anwendung und aktuelle Forschungsergebnisse
- 229** Das Schwergutgewerbe – Großraum- und Schwertransporte, Autokrane, Brückenbau
- 239** Massivbrücken unter extremen Wetterbedingungen
- 253** Brückenbauexkursion 2014 – Spurensuche in Deutschland
- 265** Chronik des Brückenbaus