

# Wetterextreme und Artenvielfalt

## Zeitlich hochauflösende Klimainformationen auf dem Messtischblattraster und für Schutzgebiete in Deutschland

Von Franz-W. Badeck, Sven Pompe, Ingolf Kühn und Achim Glauer

### Zusammenfassung

Bei der Analyse klimainduzierter Veränderungen der Natur spielen räumlich homogene und zeitlich lange Datenreihen, d. h. die Güte von Datengrundlagen, eine wichtige Rolle. Im Rahmen von Untersuchungen zur Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation haben wir Klimainformationen für 2.995 Messtischblätter der Verbreitungskarten der deutschen Flora ([www.floraweb.de](http://www.floraweb.de)) und 4.352 Schutzgebiete in Deutschland berechnet. Der Datensatz umfasst Tageswerte von elf Klimaelementen sowie davon abgeleiteten bioklimatischen Größen (1) für den Zeitraum von 1951 bis 2003 und (2) für Szenarien der klimatischen Entwicklung mit 1 °C Erwärmung im Simulationszeitraum 2004 bis 2055. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nahmen die Anzahl der Frosttage statistisch signifikant ab und die Anzahl von zusammenhängenden Jahren, in denen -10 °C nicht unterschritten werden, zu.

Die Klimaszenarien lassen auf eine Fortsetzung dieser Tendenzen schließen. Die Trends in Frostereignissen und -intensitäten lassen eine Abnahme in der Kälte-limitierung von kältesensitiven Organismen und eine damit einhergehende Verschiebung der Konkurrenz zwischen Arten erwarten.

### Summary

*Weather Extremes and Biodiversity – High time resolution climate data in the grid of the "Messtischblätter" and for protection areas in Germany*

Homogeneous data series over a long time period, i. e. the quality of data, are an important prerequisite for the analyses of climate induced changes in nature. In the context of modelling studies on the effects of the climate change on flora and vegetation the study calculated climate data for 2,995 grid elements of the grid used to report distribution maps of the German flora ([www.floraweb.de](http://www.floraweb.de)) and for 4,352 protection areas in Germany. The data set contains daily values for 11 climate variables as well as a number of derived bio-climatic variables (1) for the time period 1951 through 2003 and (2) for scenarios of climatic change with 1 °C temperature rise within the simulation period 2004 through 2055. The second half of the 20th century showed significantly less frost days, and the number of consecutive years without frost events below -10 °C increased. The climate scenarios indicate a continuation of these trends. The reduction in frost events and intensities points towards a decreasing cold limitation for frost-sensitive organisms and may alter competition between species.

stimmter bioklimatischer Größen kann dabei über Vorkommen und Nichtvorkommen von Arten entscheiden. Das Ausbleiben von Frostereignissen oder die Zunahme von Wärmesummen in der Vegetationsperiode kann z. B. zur Begünstigung Wärme liebender Arten in Deutschland führen. Einfache Korrelationen zwischen der Arealveränderung und Temperaturerhöhung sind aber nicht zu erwarten.

Oft ist es notwendig, Daten in täglicher Auflösung zur Verfügung zu haben, wie z. B. im Falle der Analysen von Temperaturschranken für die Auswilderung von exotischen Pflanzenarten aus Gärten im Tessin (WALTHER 2000). Die Relevanz von Häufigkeiten von Frosttagen, Längen von Frostperioden u. ä. begründet das Interesse an der Bereitstellung von historischen Zeitreihen und Klimaszenarien für die Zukunft in täglicher zeitlicher Auflösung. Diese Klimainformationen sollen für das Raster von FLORKART und auch für Schutzgebiete bereitgestellt werden, wenn es darum geht, vor dem Hintergrund sich verschiebender Areale Risiken für die heimische Fauna, Flora und Artenvielfalt zu bewerten.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Konstruktion von Wetterzeitreihen, die für diese Studien benötigt werden. Zur Illustration des Anwendungsbereiches werden exemplarisch einige mit der Limitierung von Artarealen durch Niedrigtemperaturen zusammenhängende Größen dargestellt.

## 1 Einleitung

Die im 20. Jahrhundert beobachtete globale Klimaveränderung und vor allem die zu erwartende Beschleunigung dieses klimatischen Wandels im 21. Jahrhundert wird als eine zunehmende Bedrohung für die Biodiversität wahrgenommen (BADECK et al. 2007 und darin zitierte Quellen, DOYLE & RISTOW 2006) und als eine Herausforderung für die Definition von Schutzziele begriffen (BOYE & KLINGENSTEIN 2006). Anthropogene Faktoren, die eine Veränderung in der terrestrischen Biodiversität und Gefahren des Aussterbens oder der lokalen Extinktion mit sich bringen, waren in der jüngeren Vergangenheit dominiert durch Folgen der Landnutzungsänderung und der Kontamination der Umwelt mit organischen und anorganischen Substanzen. Mit der zu erwartenden Beschleunigung des Klimawandels – die erwartete Erhöhung der globalen Mitteltemperatur im 21. Jahrhundert ist zumindest doppelt so groß wie die im 20. Jahrhundert beobachtete – steigt der daraus resultierende klimabedingte Änderungsdruck auf die Fauna und Flora. Die klimatischen Grenzen für die Ver-

breitung einzelner Arten im geografischen Raum verschieben sich. Damit ändern sich auch die Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten (BADECK et al. 2007 und darin zitierte Quellen).

Infolge der Änderungen der klimatischen Existenzbedingungen können potenziell auch die biodiversitätsbezogenen Schutzziele in Schutzgebieten weiteren Gefahren ausgesetzt sein. Es ist daher wichtig, aufbauend auf Szenarien der Veränderung des Klimas Prognosen treffen zu können, welche Arten (u. a. Schutzobjekte in Schutzgebieten) an den Rand oder jenseits ihrer aktuellen klimatischen Existenzbedingungen (Areal) im geografischen Raum geführt werden. Die Kartierung der deutschen Flora in der räumlichen Auflösung der Messtischblätter (FLORKART, [www.floraweb.de](http://www.floraweb.de), ca. 3.000 Rasterzellen) bildet zurzeit eine der wichtigsten Datengrundlagen für das Studium des Vorkommens von Pflanzenarten und der floristischen Biodiversität in Deutschland. Diese ist auch eine Grundlage für die Analysen der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora von Deutschland (KLOTZ & KÜHN 2007, POMPE et al. 2008). Die Änderung be-

## 2 Methoden

### 2.1 Aufbau der historischen Zeitreihe mit Klimainformationen für das Messtischblattraster und die Schutzgebiete

Als Ausgangsdaten für die Konstruktion der historischen Zeitreihe für das Messtischblattraster und die Schutzgebiete wurden Daten von 2.342 Stationen aus dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) genutzt. Es handelt sich dabei um Stationen mit weitgehend ununterbrochenen Messreihen für den Zeitraum 1951 – 2003. Die Mehrzahl dieser Stationen sind Niederschlagsstationen, ein kleinerer Teil (270) Klimastationen. Die Datensätze für diese Stationen liegen als qualitätsgeprüfte, homogenisierte und wo nötig durch Interpolation auf elf Klimaelemente (siehe Tab. 1) ergänzte Zeitserien für

**Tab. 1: Elf Klimaelemente pro Tag der historischen Zeitreihe und der Klimaszenarien, die für Messtischblatt- und Schutzgebietschwerpunkte interpoliert wurden.**

Name des Klimaelements	Einheit
Maximaltemperatur	°C
Mitteltemperatur	°C
Minimaltemperatur	°C
Niederschlag	mm
Luftdruck	hPa
relative Feuchte	%
Wasserdampfdruck	hPa
Sonnenstunden	h
Bewölkung	%
Strahlung	J/cm <sup>2</sup>
Windgeschwindigkeit	m/s

den Zeitraum 01.01.1951 bis 31.12.2003 vor (ÖSTERLE et al. 2006).

Auf Basis eines digitalen Höhenmodells in 1 km Auflösung wurde die mittlere Höhe für die Rasterzellen der Messtischblätter und für 4 352 Schutzgebiete in Deutschland berechnet. Die Stationswetterdaten der drei den Rasterzellen und Schutzgebieten nächstliegenden Klimastationen wurden gewichtet mit der inversen Entfernung auf deren Mittelpunkte interpoliert. Für die Temperaturvariablen und den Luftdruck wurden Höhenkorrekturen vorgenommen. Für die Niederschläge wurden die Monatsmittelwerte interpoliert und anschließend entsprechend der relativen Niederschlagsmengen der Niederschlagstage der nächstgelegenen Station auf die Tage des Monats verteilt. Für den Wasserdampfgehalt der Luft wurde die Wasserdampfdruckmischungsrate (Feuchtegröße, die sich bei Vertikalbewegungen der Luft nicht ändert, LILJEQUIST & CEHAK 1984) interpoliert und mit dem Luftdruck multipliziert. Zusätzlich wurde ein repräsentativer Satz von bioklimatischen Variablen (Tab. 2) sowie Monats- und Jahreswerte der Mittelwerte und Summen der elf Klimaelemente berechnet.

## 2.2 Klimaszenarien für das Messtischblattraster und die Schutzgebiete

Szenarien des Klimawandels wurden für das Netz der 2 342 Wetterstationen bis 2055 produziert und mit den gleichen Interpolationsverfahren (vgl. Abschnitt 2.1) auf die Schwerpunkte des Messtischblattrasters und die Schutzgebietmittelpunkte bezogen. Als Beispiel werden im Folgenden Szenarien der klimatischen Entwicklung in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts vorgestellt, produziert mit dem statistischen Szenariogenerator STAR (ORLOWSKY 2006, ORLOWSKY et al. 2008, STOCK et al. 2007). Das Verfahren stützt sich dabei auf Ergebnisse von Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM5 (ROECKNER et al. 2003) auf Basis des SRES Szenarios A1B, d.h. die vom Klimamodell verwendete Projektion der zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen wurde aufgrund eines Entwicklungspfad

mit folgenden Charakteristika erstellt: hohe wirtschaftliche Wachstumsraten, Stabilisierung der Weltbevölkerung gegen Mitte des Jahrhunderts und schnelle Einführung von neuen und effizienteren Technologien sowie ein breiter Mix von Energiequellen. Für das im Folgenden besprochene Klimaszenario resultiert ein mittlerer Temperaturanstieg von +1,84 +/- 0,12 °C (Mittelwert über alle Rasterzellen +/- Standardabweichung) für den Simulationszeitraum 2004–2055 (errechnet als Differenz zwischen der mittleren Jahresmitteltemperatur im letzten und im ersten Jahrzehnt des Simulationszeitraums).

## 3 Ergebnisse und Diskussion

Zur Illustration des Anwendungsbereiches der vorgestellten Daten werden exemplarisch zwei mit der Limitierung von Artarealen durch Niedrigtemperaturen zusammenhängende Größen dargestellt. Die Anzahl der Frosttage (Tage mit Minimaltemperatur <0 °C) variiert wie erwartet mit der Höhenlage und der Kontinentalität. Seit den 1950er

Jahren des letzten Jahrhunderts hat sie in weiten Teilen Deutschlands deutlich abgenommen (Abb. 1). Für alle Rasterzellen ergibt sich eine Abnahme in der Zahl der Frosttage. Gemessen mit einer einfachen linearen Regression ist sie für 2 185 Rasterzellen (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit <5 %) statistisch signifikant. Die durchschnittliche Abnahme um 0,34 Frosttage pro Jahr würde nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,33 % in einem stationären Klima realisiert werden (Monte Carlo Analyse mit n = 10 000). Minimaltemperaturen von -10 °C wurden im Beobachtungszeitraum 1951–2006 in allen Rasterzellen unterschritten. Die durchschnittliche Wiederkehrzeit von Jahren mit Minimaltemperaturen unter -10 °C variierte zwischen 1 und 5,6 Jahren. In einigen Regionen entlang der Nord- und Ostseeküste (23 Rasterzellen nördlich des 53. Breitengrades) traten jedoch Perioden mit neun zusammenhängenden Jahren auf, in denen -10 °C nicht unterschritten wurden. Im Zukunftsszenario für 2004–2055 treten bis zu 21 zusammenhängende Jahre ohne Minimumtemperaturen unter -10 °C auf.

**Tab. 2: Ausgewählte abgeleitete bioklimatische Variablen des Datensatzes auf Basis der Tagesdaten von elf Klimaelementen. Vorliegende Jahreswerte für den Zeitraum von 1951 bis 2003.**

Name der Klimavariablen	Einheit
Jahresmittel der Temperatur	°C
Monatsmittel der Temperatur	°C
durchschnittliche Temperatur des kältesten Monats	°C
durchschnittliche Temperatur des wärmsten Monats	°C
Anzahl der Tage über 30 °C pro Jahr	Tage
Temperatursumme Tage über 0 °C, 5 °C, 10 °C, Quartale (MAM, JJA, SON, DJF)	°C
Temperatursumme Tage unter 0 °C	°C
letzter Frosttag (letzter Frost im Frühjahr)	Tag
erster Frosttag (erster Frost im Herbst)	Tag
mittlere Temperatur der Tage unter 0 °C	°C
Anzahl der Tage mit Temperaturen unter -10 °C	Tage
Anzahl der Frosttage (Minimumtemperatur T <sub>min</sub> < 0 °C)	Tage
Anzahl der Eistage (Maximumtemperatur T <sub>max</sub> < 0 °C)	Tage
Länge der letzten Frostperiode	Tage
Länge der ersten Frostperiode	Tage
absolute Maximumtemperatur	°C
absolute Minimumtemperatur	°C
Temperaturdifferenz zwischen absoluter Maximal- und Minimaltemperatur	°C
Temperaturdifferenz zwischen absoluter Maximal- und Minimaltemperatur pro Monat	°C
Isothermalität als Quotient von monatl. Temperaturdifferenz und jährl. Temperaturdifferenz	Index
Anzahl der Tage mit Temperaturen unter 5 °C (sog. Chilling-Temperatur)	Tage
Kontinentalität als Differenz zwischen dem Julimitel und dem Jahresmittel der Temperatur	Index
Niederschlagssumme	mm
Niederschlagssumme, Quartale (MAM, JJA, SON, DJF)	mm
mittlere Temperatur im feuchtesten Quartal	°C
mittlere Temperatur im trockensten Quartal	°C
Niederschlagssumme im trockensten Quartal	mm
Niederschlagssumme im feuchtesten Quartal	mm
Niederschlagssumme der feuchtesten Woche	mm
Saisonalität des Niederschlags (als Variationskoeffizient)	Index
potenzielle Evapotranspiration nach Thornthwaite	mm
Ariditätsindex als Quotient zwischen Julimitel der Temperatur und dem Jahresniederschlag	Index

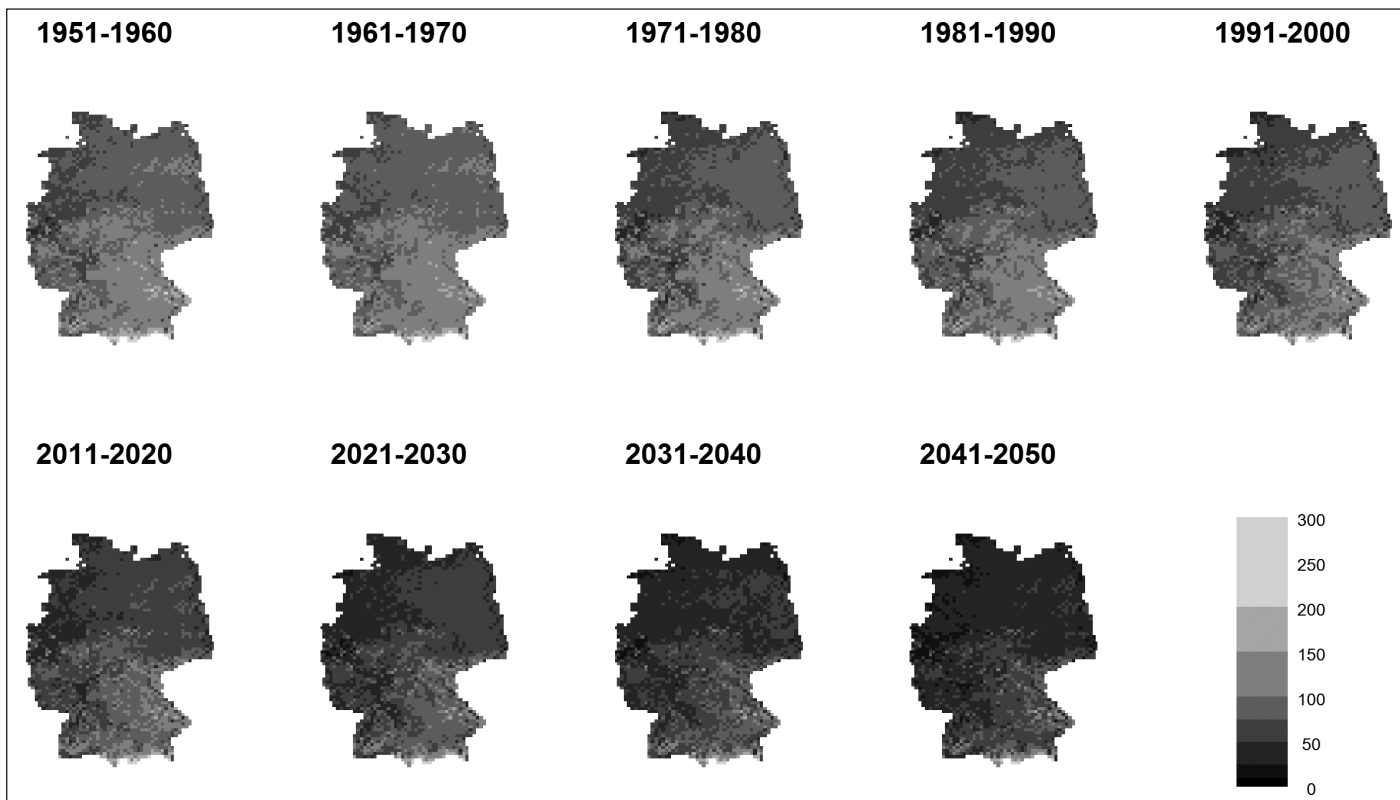


Abb. 1: Veränderung der Anzahl der Frosttage der historischen Zeitreihe 1951 bis 2000 und des Zukunftsszenarios 2011 bis 2050, Anzahl der Frosttage ( $T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) als Dekadenmittel. Download der Karte in farbiger Fassung unter [www.nul-online.de](http://www.nul-online.de) → Service → Download.

Die hier nur beispielhaft angeführten Trends in Frostereignissen und -intensitäten lassen eine Abnahme in der Kälte-limitierung von kältesensitiven Organismen und eine damit einhergehende Verschiebung der Konkurrenz zwischen Arten erwarten.

#### 4 Perspektiven

Die Daten werden in einer Datenbank am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) vorgehalten. Interessenten an der Nutzung von Daten in täglicher, monatlicher oder jährlicher Auflösung wenden sich an Herrn Prof. Gerstengarbe ([gerstengarbe@pik-potsdam.de](mailto:gerstengarbe@pik-potsdam.de)). Über die hier vorgestellte Version 1 des Basisdatensatzes Deutschland hinaus werden in der näheren Zukunft die historischen Zeitreihen bis zum Ende des Jahres 2006 ergänzt und weitere Klimaänderungsszenarien in die Datenbank eingegeben. Für Schutzgebiete, die sich über eine größere Höhenspanne erstrecken, und für das Messtischblattraster wird ein Datensatz zur Berücksichtigung der höhenabhängigen Klimagradienten hinzugefügt. Die um diese Änderungen erweiterte Datenbasis wird als Version 2 des Basisdatensatzes Deutschland bereitgestellt werden.

#### Dank

Die vorgestellten Klimaszenarien wurden für zwei durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderte Projekte produziert: Model-

lierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Flora und Vegetation (FKZ 80581001) und Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen (FKZ 80682270).

#### Literatur

- BADECK, F.-W., BÖHNING-GAESE, K., CRAMER, W., IBISCH, P., KLOTZ, S., KÜHN, I., KREFT, S., VOHLAND, K., ZANDER, U. (2007): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 46, 149-166.
- BOYE, P., KLINGENSTEIN, F. (2006): Naturschutz im Wandel des Klimas. *Natur und Landschaft* 81, (2), 574-577.
- DOYLE, U., RISTOW, M. (2006): Biodiversitäts- und Naturschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. Für einen dynamischen integrativen Schutz der biologischen Vielfalt. *Naturschutz & Landschaftsplanung* 38, (4), 101-107.
- KLOTZ, S., KÜHN, I. (2007): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 46, 49-56.
- LILJEQUIST, G.H., CEHAK, K. (1984): *Allgemeine Meteorologie*. Vieweg, München, 3. Aufl.
- ORLOWSKY, B. (2006): A statistical model for regional climate scenarios. In: KUNDZEWICZ, Z.W. HATTERMANN, F.F., eds., *Natural systems and global change*, Research Center for Agricultural and Forest Environment of the Polish Academy of Sciences, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Poznan und Potsdam, 28-34.
- , GERSTENGARBE, F.W., WERNER, P.C. (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology* 92, 209-223.
- ÖSTERLE, H., GERSTENGARBE, F.-W., WERNER, P.C. (2006): Ein neuer meteorologischer Datensatz für

Deutschland, 1951 – 2003. In: *Proceedings der 7. Deutschen Klimatagung*. Klimatrends: Vergangenheit und Zukunft, Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität, München, 3 S.

POMPE, S., BADECK, F.-W., HANSBACH, J., KLOTZ, S., THULLER, W., KÜHN, I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters* 4, 564-567 (DOI: 10.1098/rsbl.2008.0231).

ROECKNER, E., BAÜML, G. BONAVENTURA, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULTZWEIDA, U., TOMPKINS, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. *Max-Planck-Inst. F. Meteor.*, Report No. 349. Hamburg.

STOCK, M., BADECK, F., GERSTENGARBE, F.-W., HOPPMANN, D., KARTSCHALL, T., ÖSTERLE, H., WERNER, P.C., WODINSKI, M. (2007): Perspektiven der Klimaänderung bis 2050 für den Weinbau in Deutschland (Klima 2050) – Schlussbericht zum FDW-Vorhaben: Klima 2050. PIK-Report 106, PIK, Potsdam.

WALTHER, G.R. (2000): Climatic forcing on the dispersal of exotic species. *Phytocoenologia* 30, 409-430.

*Anschriften der Verfasser: Dr. Franz-W. Badeck und Achim Glauer, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Telegraphenberg A 31, D-14473 Potsdam, E-Mail [badeck@pik-potsdam.de](mailto:badeck@pik-potsdam.de) bzw. [glauer@pik-potsdam.de](mailto:glauer@pik-potsdam.de); Sven Pompe und Dr. Ingolf Kühn, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 Halle/Saale, E-Mail [sven.pompe@ufz.de](mailto:sven.pompe@ufz.de) bzw. [ingolf.kuehn@ufz.de](mailto:ingolf.kuehn@ufz.de)*