

Klimawandel am Oberrhein: Dossier Tropennächte

NILS RIACH*, NICOLAS SCHOLZE*, RÜDIGER GLASER*, SOPHIE ROY** & BORIS STERN†

*Physische Geographie, Universität Freiburg i. Br.

**Météo-France, Illkirch

†GeoRhena, Département du Haut-Rhin, Colmar

Juni 2019

Vorbemerkungen:

1. Das vorliegende Dossier besteht aus 4 Karten zur klimatischen Entwicklung der Transnationalen Metropolregion Oberrhein und einem Begleittext. Das Kartenset beinhaltet 2 Karten zur Entwicklung der Tropennächte in der nahen Zukunft (2021-2050) und 2 Karten zur fernen Zukunft (2071-2100). Für beide Zeithorizonte liegt zudem je eine Karte für ein moderates (RCP4.5) und ein starkes (RCP8.5) Klimawandel-Szenario vor.
2. Der Begleittext dient als Interpretationshilfe für die Klimakarten. Er enthält eine Tabelle mit Referenzwerten an verschiedenen Messstationen, mit deren Hilfe die Stärke des klimatischen Änderungssignals besser eingeschätzt werden kann. Außerdem werden die Hauptaussagen der Karten in dem Abschnitt „Zukünftige Entwicklung“ gebündelt dargestellt.
3. Die Auflösung der Gitterzellen in den Klimakarten beträgt ca. 18km. Der angegebene Wert entspricht dem Mittelwert der gesamten Zellenfläche. Gerade bei großen Höhenunterschieden innerhalb einer Zelle kann es daher zu Abweichungen der lokalen Verhältnisse kommen.
4. Die Karten wurden auf Grundlage eines Modellensembles aus 16 Klimamodellen erstellt. Sie entstammen der [EURO-CORDEX-Initiative](#) und wurden dem Projekt Clim'Ability freundlicherweise vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Bearbeitungsstand der Modellsimulationen ist November 2016.

Eine **Tropennacht** ist eine Nacht, in der das Thermometer nicht unter 20°C fällt. Gemesen wird die Temperatur in einer Wetterhütte zwei Meter über dem Boden. Tropennächte sind in Mitteleuropa bisher zwar relativ selten, nehmen aber im Zuge der globalen Erwärmung zu. Sie treten meist im Zusammenhang mit Hitzewellen auf und gehen oft mit feucht-warmer, schwüler Witterung einher.

Auf Grund der geringen nächtlichen Abkühlung haben Tropennächte einen negativen Einfluss auf den Schlaf und damit auf das allgemeine Wohlbefinden sowie die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit vieler Menschen. Besonders während längerer Hitzewellen verschärfen Tropennächte die ohnehin vorhandene **Wärmebelastung**, da der Körper auch nachts nicht mehr regenerieren kann, wodurch das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen steigt. Als Risikogruppen gelten v.a. ältere Personen, Schwangere, Kinder und Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen.¹ Zu beachten ist auch, dass die Temperatur häufig erst in den

Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang unter 20° fällt. Während der Schlafphase herrschen also deutlich häufiger „tropische“ Bedingungen als durch die strenge Definition der Tropennächte wiedergegeben wird.

Um die Wärmebelastung von Tropennächten und Hitzewellen zu reduzieren werden zunehmend Innenräume gekühlt. Bei einer steigenden Anzahl von Tropennächten nimmt somit auch der Klimatisierungsbedarf vieler Gebäude zu, was wiederum zu einem erhöhten Kühlenergiebedarf führt.

TABELLE: Langjährige Mittelwerte der Tropennächte an verschiedenen Stationen in der Oberrheinregion²

Ort	Tage / Jahr	Periode	Höhe über NN in m
Karlsruhe-Rheinstetten (Umland)	1,2	1971-2000	112
Straßburg-Entzheim (Umland)	0,3	1971-2000	150
Freiburg-Stadt	3,7	1971-2000	236
Basel-Binningen (Stadtrand)	ca. 2	1961-2009	316
Wangenbourg*	1,4	1990-2010	465
Weinbiet / Pfälzer Wald	2,7	1971-2000	553
Hornisgrinde	ca. alle 10-15 Jahre	1971-2000	1.119
Feldberg / Schwarzwald	ca. alle 15 Jahre	1971-2000	1.490

* Die Station Wangenbourg wurde erst im Mai 1990 eingerichtet.

Die Tabelle zeigt, dass **Tropennächte** in der Oberrheinregion **bislang nur selten** auftreten. In den Hochlagen des Schwarzwalds und der Vogesen werden sie nur alle 10-15 Jahre während außergewöhnlicher Hitzewellen registriert. In den Tieflagen der Rheinebene sowie in den mittelhohen Lagen sind sie gängiger, hier schwanken die Werte etwa zwischen 0,3 und 3 Tropennächten pro Jahr. Aufgrund des nächtlichen Abflusses von Kaltluft von den Hängen in die Tieflagen treten sie in mittelhohen Lagen mitunter häufiger auf als in der Rheinebene, was aus dem Vergleich der Werte von Weinbiet im Pfälzer Wald und Straßburg-Entzheim ersichtlich wird. Darüber hinaus führt der **städtische Wärmeinseleffekt** zu einem markanten Unterschied zwischen Städten und Umland, wodurch in den Städten mehr Tropennächte gemessen werden als im nahen Umland.³ Auch wenn sich die Stationswerte in der Tabelle nur graduell unterscheiden, macht sich dieser Stadt-Land-Gegensatz vor allem in Extremjahren bemerkbar.

Die **jährliche Anzahl der Tropennächte schwankt stark**, an der Wetterstation Karlsruhe-Rheinstetten im Referenzzeitraum 1971-2000 etwa zwischen 0 und 7 Nächten pro Jahr⁴. In den letzten Jahrzehnten hat die Zahl der Tropennächte bereits messbar zugenommen, in einzelnen Jahren wie 2003, 2006 oder 2015 wurden dort bis zu 10 Tropennächte gezählt. Im Rekordsommer 2003 verzeichnete die Station Kehl 21, die Station Freiburg-Stadt sogar bis zu 26 Tropennächte.⁵ Allerdings gibt es auch innerhalb von Städten große Unterschiede in Bezug auf die Tropennächte. Die höchsten Werte treten in dicht bebauten, stark versiegelten

und schlecht durchlüfteten Quartieren auf, in den übrigen Quartieren sind sie oft erheblich niedriger.

Zukünftige Entwicklung

Die nachfolgenden Karten zeigen nun, dass sich dieser Trend fortsetzen wird und ein weiterer **Anstieg der Tropennächte** zu erwarten ist. In der nahen Zukunft (2021-2050) liegen die Werte der beiden Klimawandel-Szenarien noch relativ nahe beieinander und lassen für weite Teile der Oberrheinebene ca. 3-5 Tropennächte mehr pro Jahr erwarten, was mehr als einer Verdopplung der Vergleichswerte entspricht. In der fernen Zukunft (2071-2100) zeigt sich hingegen ein großer Unterschied zwischen moderatem und starkem Szenario: während im moderaten Szenario (RCP 4.5) der Anstieg in der Oberrheinebene meist 5-8 Nächte pro Jahr beträgt, liegt er im pessimistischen Szenario (RCP 8.5) in weiten Teilen der Oberrheinebene bei über 17 Nächten pro Jahr. Das bedeutet, dass bisher als Jahrhundertereignis bezeichnete Sommer zum Ende des 21. Jahrhunderts der Normalfall werden könnten. Die Zunahme der Tropennächte in städtischen Wärmeinseln wird noch höher liegen, was **gravierende gesundheitliche Risiken** für die dort lebende Bevölkerung mit sich bringt. Es ist daher geboten, umfassende Anstrengungen zur Umsetzung und Kommunikation von Hitzeanpassungsmaßnahmen zu unternehmen, insbesondere in den städtischen Verdichtungsräumen.

In den Höhenlagen ist die Zunahme der Tropennächte in beiden Szenarien schwächer ausgeprägt. Jedoch kommt es auch hier insbesondere im starken Klimawandel-Szenario der fernen Zukunft (RCP 8.5, 2071-2100) zu einer Zunahme der Tropennächte, die auf Grund des niedrigen Ausgangsniveaus prozentual noch stärker ausfällt. Konkret bedeutet dies, dass die mit den Tropennächten einhergehende Wärmelastung in vielen höher gelegenen Gemeinden des Schwarzwalds und der Vogesen im Laufe des 21. Jahrhunderts überhaupt erst zu einem relevanten Thema wird.

Für weitere Informationen:

- Gesundheitsrisiken: www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze
- Klimatische Informationen: Thomas Deutschländer, Hermann Mäichel: Temperatur inklusive Hitzewellen, in: Guy Brasseur, Daniela Jacob, Susanne Schuck-Zöller (Hrsg.) (2017), Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin Heidelberg, S. 47-56.

Literaturangaben

1. Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin Heidelberg, Kap. 14 Gesundheit, S. 137-149.
2. Die Werte wurden aus folgenden Quellen entnommen und z.T. aus Rohdaten berechnet:
 - für die französischen Stationen: offizielle Messwerte von Météo France, freundlicherweise zur Verfügung gestellt von S. Roy
 - für die deutschen Stationen: offizielle Messwerte des Deutschen Wetterdienstes (DWD), online verfügbar über das Portal server.wettermail.de/opendata-dwd/cgi-bin/klima2.p

- für die Station Basel-Binningen: offizielle Daten von MeteoSchweiz, online verfügbar über das Portal www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-indikatoren.html
3. zum städtischen Wärmeinseleffekt:
- Krug A, Mücke HG (2018): Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. In: UMID: Umwelt und Mensch - Informationsdienst Nr. 2/2018, S. 67-79. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/publikationen/uba_krug_muecke.pdf [19.07.2019]
 - Kuttler W (2004): Stadtklima. Teil 1: Grundzüge und Ursachen, in: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 16 (3): 187-199. <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.03.078>; Teil 2: Phänomene und Wirkungen, in: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 16 (4): 263-274. <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.08.083> [19.07.2019]
 4. Andrian-Werbung S & Plegnière S (2016): Wärmebelastung in Städten. Indikatorenbasiertes Klimafolgen-monitoring für Baden-Württemberg. URL: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539907/I-SR-3_Indikator_Waermebelastung.pdf/a07eeddb-87c5-485d-83fb-16cb5534e913 [19.07.2019]
 5. offizielle Messwerte des Deutschen Wetterdienstes (DWD), online verfügbar über das Portal server.wettermail.de/opendata-dwd/cgi-bin/klima2.pl [19.07.2019]



Fonds européen de développement régional
(FEDER)
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
(EFRE)



Changement climatique dans le Rhin supérieur : les nuits tropicales

NILS RIACH*, NICOLAS SCHOLZE*, RÜDIGER GLASER*, SOPHIE ROY** & BORIS STERN†

*Physische Geographie, Universität Freiburg i. Br.

**Météo-France, Illkirch

†GeoRhena, Département du Haut-Rhin, Colmar

Juin 2019

Préambule :

1. Le présent dossier se compose de 4 cartes sur le changement climatique dans la région trinationale du Rhin supérieur, et d'un texte d'accompagnement. L'ensemble contient 2 cartes sur l'évolution du nombre de nuits tropicales dans un avenir proche (2021-2050) et 2 cartes pour un avenir lointain (2071-2100). Pour chacun des deux horizons temporels sont également disponibles deux cartes : une carte pour un scénario de changement climatique modéré (RCP4.5) et une carte pour le scénario fort (RCP8.5).
2. Le texte joint sert d'aide à l'interprétation des cartes climatiques. Il contient un tableau avec des valeurs de référence à différentes stations de mesure, qui peuvent être utilisées pour mieux estimer l'intensité du changement climatique. En outre, les principales caractéristiques des cartes sont résumées dans la section "Évolution en climat futur".
3. Pour ces cartes, la résolution (ou maille) des cellules est d'environ 18 km. La valeur donnée correspond à la valeur moyenne calculée pour toute la surface de la cellule. Il peut y avoir des écarts de valeurs au sein d'une cellule, en particulier lorsque celle-ci comprend de grandes différences d'altitude.
4. Les cartes ont été créées sur la base d'un ensemble de 16 modèles climatiques. Elles sont issues de l'[initiative EURO-CORDEX](#). Les données issues des modèles ont été mises à la disposition du projet Clim'Ability par le Service météorologique allemand (DWD = Deutscher Wetterdienst). La date de réalisation des simulations est novembre 2016.

Une **nuit tropicale** est une nuit durant laquelle le thermomètre ne descend pas en dessous de 20°C. La température est mesurée sous abri météorologique à 1,50 mètre du sol. Bien que le nombre de nuits tropicales soit jusqu'à présent relativement faible en Europe centrale, il augmente avec le réchauffement climatique. Elles surviennent généralement avec les vagues de chaleur et sont souvent accompagnées d'un temps chaud et humide.

En raison du faible refroidissement nocturne, les nuits tropicales ont une influence négative sur le sommeil, sur le bien-être général, et donc sur la concentration et les performances de nombreuses personnes. Les nuits tropicales intensifient le **stress thermique**, en particulier pendant les longues vagues de chaleur, car le corps ne peut plus se régénérer, même de nuit, ce qui augmente le risque de maladies cardiovasculaires. Les personnes âgées, les femmes enceintes, les enfants et les personnes souffrant de handicaps physiques sont les principaux groupes à risque.¹ Il convient de noter que la température ne descend souvent

en dessous de 20°C que peu de temps avant le lever du soleil. La nuit, le cumul des durées où les températures excèdent 20°C, est donc supérieur au cumul des nuits tropicales. Afin de réduire le stress thermique des nuits tropicales et des vagues de chaleur, l'intérieur des bâtiments est de plus en plus refroidi. Plus le nombre de nuits tropicales augmente, plus les besoins en climatisation augmentent dans de nombreux bâtiments, ce qui entraîne à nouveau une augmentation des besoins en énergie de refroidissement.

TABLEAU : Normales du nombre de nuits tropicales dans différentes stations de mesure du Rhin supérieur :²

Lieu	Jours / an	Période	Altitude en m.
Karlsruhe-Rheinstetten (périphérie)	1,2	1971-2000	112
Strasbourg-Entzheim (périphérie)	0,3	1971-2000	150
Freiburg (centre-ville)	3,7	1971-2000	236
Bâle-Binningen	env. 2	1961-2009	316
Wangenbourg*	1,4	1990-2010	465
Weinbiet / Pfälzer Wald	2,7	1971-2000	553
Hornisgrinde	Tous les 10-15 ans environ	1971-2000	1.119
Feldberg / Schwarzwald	Tous les 15 ans environ	1971-2000	1.490

* La station de Wangenbourg n'a ouvert qu'en mai 1990.

Le tableau montre que les **nuits tropicales** dans la région du Rhin supérieur n'ont jusqu'à présent été qu'**assez rares**. Sur les hauteurs de la Forêt Noire et des Vosges, elles ne sont enregistrées que tous les 10-15 ans, lors de vagues de chaleur exceptionnelles. En revanche, elles sont plus fréquentes dans la vallée du Rhin, ainsi que dans les régions de moyenne altitude, où les valeurs varient entre 0,3 à 3,7 nuits tropicales par an. En raison de l'écoulement nocturne de l'air froid des pentes vers les vallées, les nuits tropicales sont parfois plus fréquentes dans les zones de moyenne altitude, que dans la plaine du Rhin, comme le montre la comparaison des valeurs entre Weinbiet et Strasbourg-Entzheim. De plus, l'**effet d'îlot de chaleur urbain** entraîne une différence marquée entre les villes et la campagne environnante. Les nuits tropicales sont donc nettement plus nombreuses dans les villes que dans les campagnes environnantes.³ Même si les valeurs des stations dans le tableau ne diffèrent que graduellement, ce contraste urbain-rural est particulièrement marqué dans les années extrêmes.

Le **nombre annuel de nuits tropicales varie fortement** à la station météorologique de Karlsruhe-Rheinstetten au cours de la période de référence 1971-2000 : entre 0 et 7 nuits par an.⁴ En l'espace des dernières décennies, le nombre de nuits tropicales a augmenté de manière quantifiable, certaines années comme 2003, 2006 ou 2015, jusqu'à 10 nuits tropicales ont été recensées. Au cours de l'été 2003, la station de Kehl a enregistrée 21 nuits tropicales, celle de Freiburg-centreville jusqu'à 26 nuits tropicales.⁵ Cependant, il existe également de grandes différences à l'intérieur des villes en termes de nuits tropicales. Les valeurs les plus élevées se situent dans les quartiers densément bâties, très imperméabilisés et mal ventilés, alors qu'elles sont souvent nettement inférieures dans d'autres quartiers ou hors du centre-ville.

Évolution en climat futur

Les cartes climatiques montrent que cette tendance se poursuivra, et qu'il faut s'attendre à une **augmentation du nombre de nuits tropicales**. Dans un futur proche (2021-2050), les valeurs des deux scénarios de changement climatique sont encore relativement proches l'une de l'autre, et prévoient pour une grande partie de la vallée rhénane environ 3-5 nuits tropicales supplémentaires par an en moyenne, soit plus du double des valeurs de référence. Dans un futur plus lointain (2071-2100), il existe cependant une grande différence entre le scénario modéré et le scénario fort : alors que dans le scénario modéré (RCP4.5), l'augmentation du nombre de nuits tropicales dans la vallée rhénane est généralement de 5-8 nuits tropicales par an en moyenne, dans le scénario pessimiste (RCP8.5) elle est supérieure à 17 nuits par an. Les étés exceptionnellement chauds du début du XXIe siècle, tel l'été 2003, pourraient devenir la norme dans la deuxième moitié du XXIe siècle. L'augmentation du nombre de nuits tropicales dans les îlots de chaleur urbains est susceptible d'être encore plus élevée lors d'épisodes extrêmes, ce qui pose de **graves risques pour la santé** de la population y résidant. Un effort important est donc nécessaire pour mettre en œuvre et faire connaître les mesures d'adaptation à la chaleur, en particulier dans les agglomérations urbaines.

Cependant, ici également, et ceci surtout dans le scénario de changement climatique à long terme (RCP8.5, 2071-2100), il y aura une augmentation des nuits tropicales, qui sera encore plus importante en termes de pourcentage que dans les zones moins élevées, en raison du faible niveau initial. Concrètement, cela signifie que la charge thermique liée aux nuits tropicales dans les communes situées d'altitude de la Forêt-Noire et des Vosges, ne deviendra un sujet pertinent qu'au cours du 21ème siècle.

Citations

1. Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöller S (Ed.) (2017) : Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin Heidelberg, Chap. 14 Gesundheit, p. 137-149.
2. Les valeurs indiquées dans le tableau proviennent des sources suivantes et ont été partiellement calculées à partir de données brutes :
 - pour les stations françaises : mesures officielles de Météo France
 - pour les stations allemandes : mesures officielles du Service météorologique allemand (DWD), disponibles en ligne sur le portail server.wettermail.de/opendata-dwd/cgi-bin/klima2.pl
 - pour la station de Bâle-Binningen : données officielles de MétéoSuisse, disponibles en ligne sur le portail www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-indikatoren.html
3. Par rapport à l'îlot de chaleur urbain :
 - Krug A, Mücke HG (2018) : Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. In : UMID : Umwelt und Mensch - Informationsdienst Nr. 2/2018, S. 67-79. URL : http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/publikationen/uba_krug_muecke.pdf [19.07.2019]
 - Kuttler W (2004) : Stadtklima. Teil 1 : Grundzüge und Ursachen, in : Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 16 (3) : 187-199. <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.03.078>; Teil 2 : Phänomene und Wirkungen, in : Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 16 (4) : 263-274. <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.08.083> [19.07.2019]

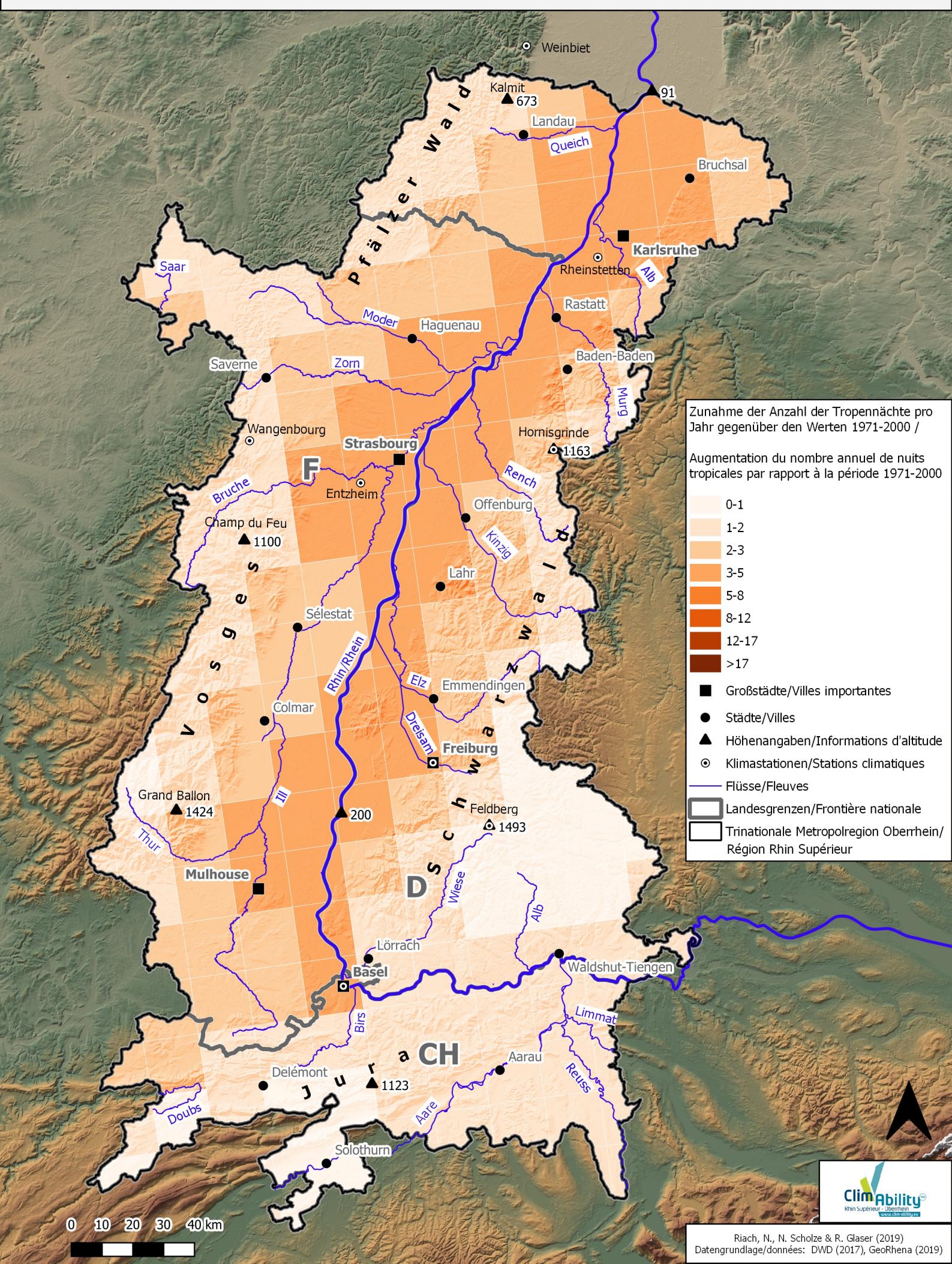
4. Andrian-Werbung S & Plegnière S (2016) : Wärmebelastung in Städten. Indikatorenbasiertes Klimafolgenmonitoring für Baden-Württemberg. URL : https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/539907/I-SR-3_Indikator_Waermebelastung.pdf/a07eeddb-87c5-485d-83fb-16cb5534e913 [19.07.2019]
5. Données officielles du Service météorologique allemand (DWD), disponibles en ligne sur le portail server.wettermail.de/opendata-dwd/cgi-bin/klima2.pl [19.07.2019]



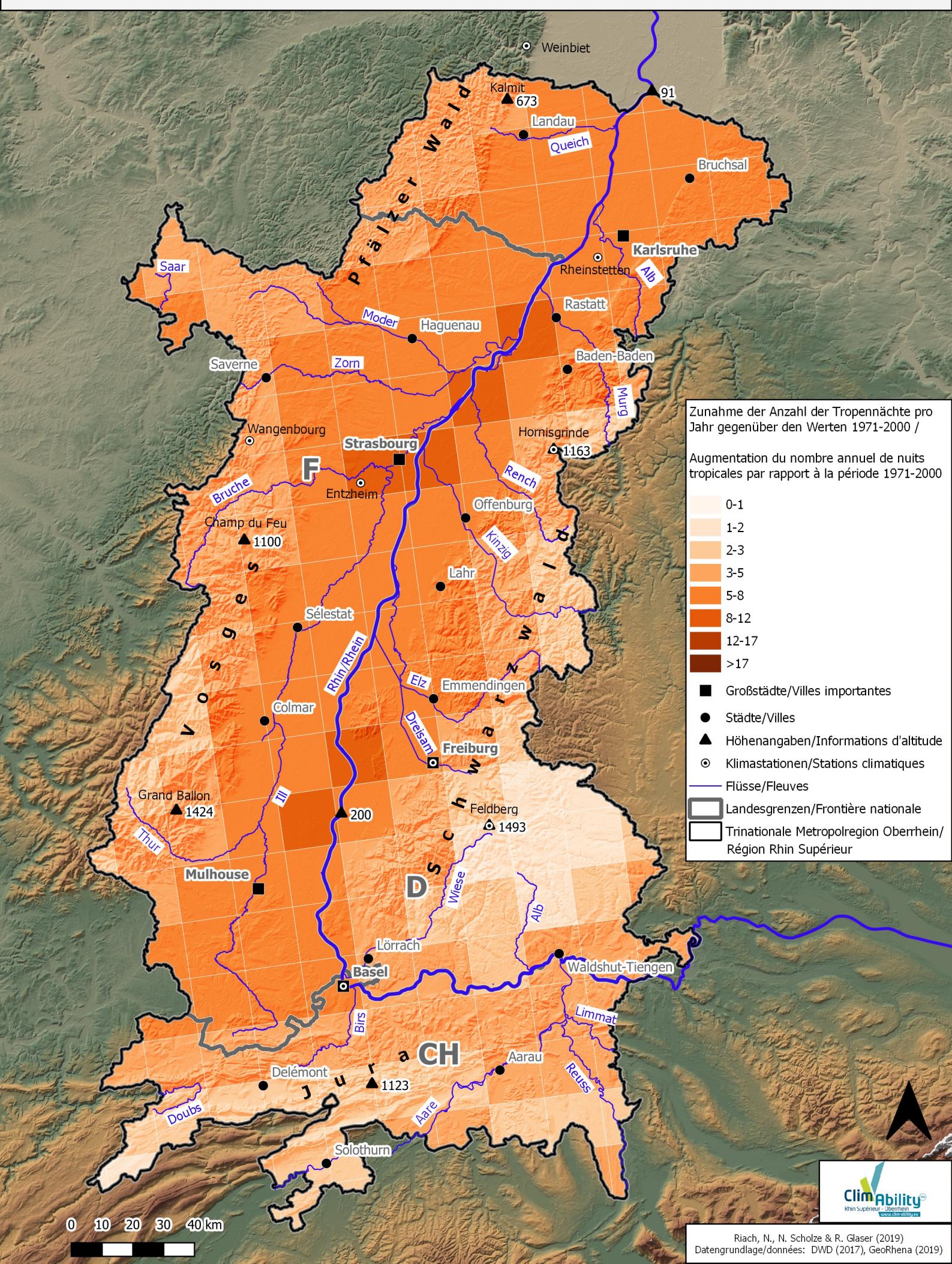
Fonds européen de développement régional
(FEDER)
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
(EFRE)



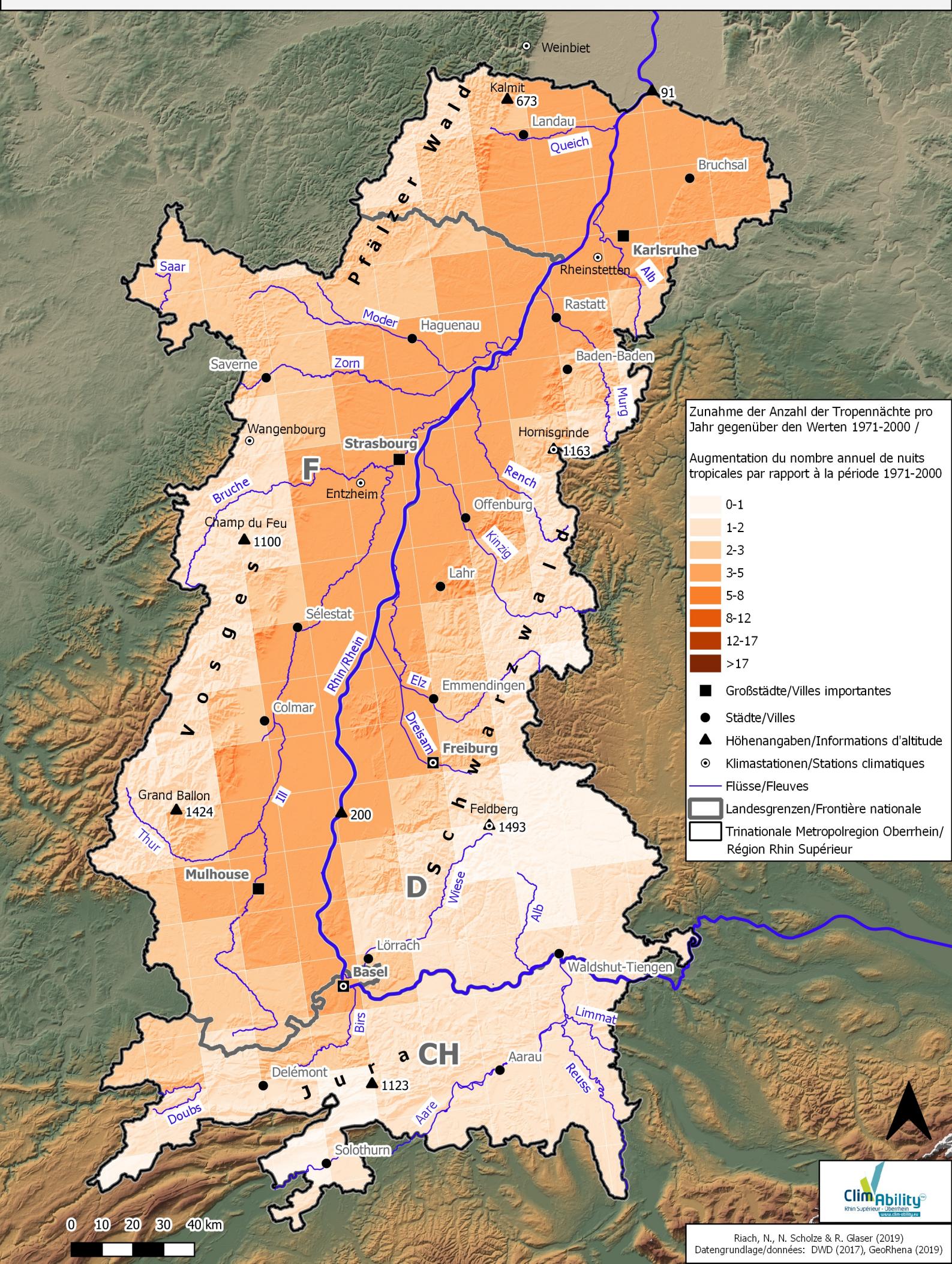
Moderater Klimawandel / Changement climatique modéré (RCP4.5) 2021-2050



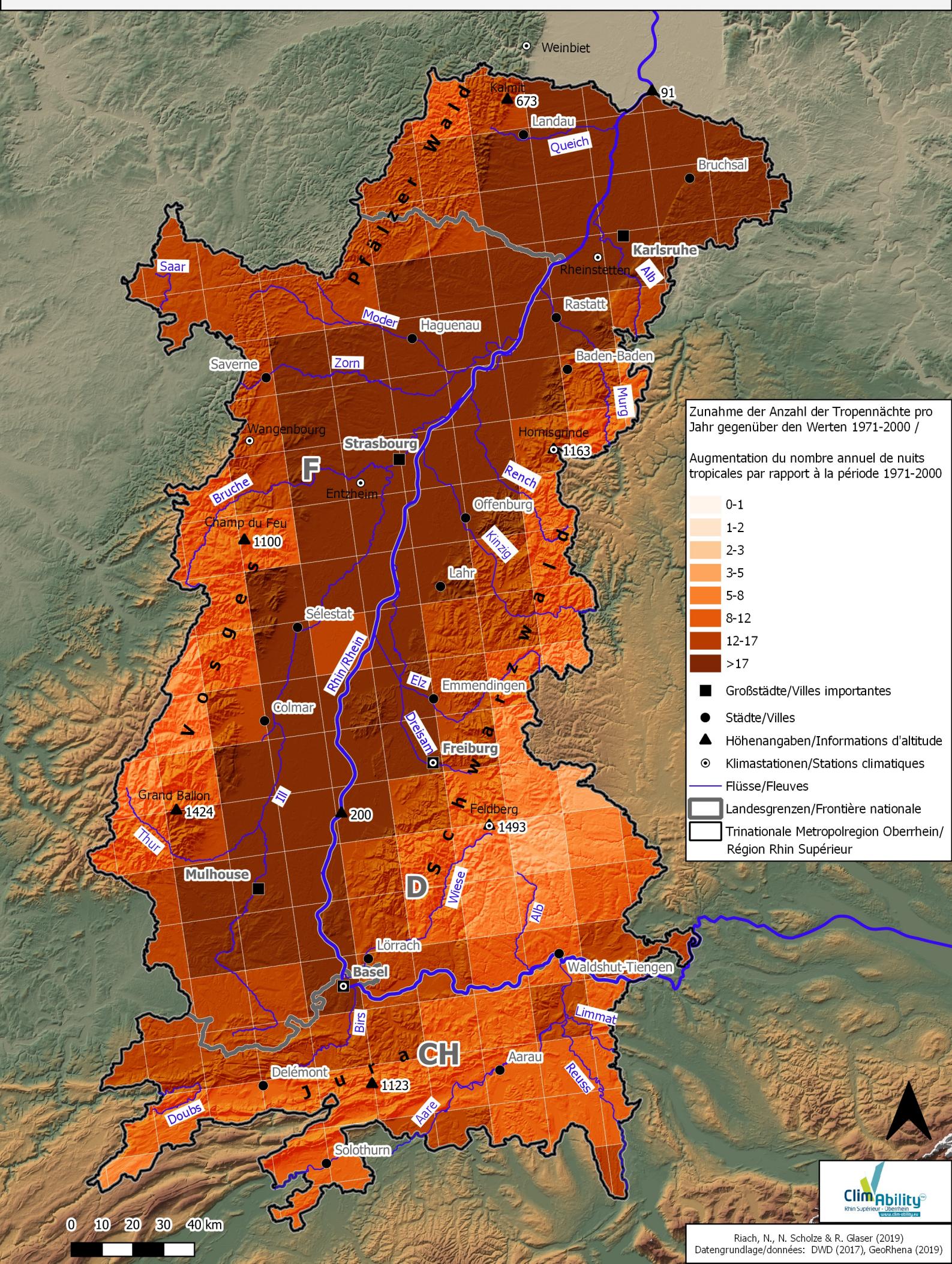
Moderater Klimawandel / Changement climatique modéré (RCP4.5) 2071-2100



Starker Klimawandel / Changement climatique fort (RCP8.5) 2021-2050



Starker Klimawandel / Changement climatique fort (RCP8.5) 2071-2100



0 10 20 30 40 km