Klimawandel am Oberrhein: Dossier Frosttage

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 Trinationalen Metropolregion Oberrhein und einem Begleittext. Das Kartenset beinhaltet 2 Karten zur Entwicklung der Frosttage 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.

Ein **Frosttag** ist ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter 0°C liegt, wobei die Temperatur in 2 Metern Höhe gemessen wird. Die Anzahl der Tage mit **Bodenfrost** ist meist höher als die der Frosttage. Liegt auch die Maximaltemperatur eines Tages unter 0°C, so spricht man von einem **Eistag**. Die Anzahl der Frosttage gibt Auskunft über die Strenge des Winters und ist u.a. ausschlaggebend für die Länge der Wintersportsaison und den Energiebedarf der winterlichen Heizperiode.

Die Tabelle zeigt, dass die **Anzahl der Frosttage** in der Oberrheinregion **mit der Meereshöhe zunimmt**. Kleinräumige Abweichungen sind jedoch möglich, besonders in Kessellagen, in denen sich im Winter Kaltluft sammelt und somit erhöhte Werte erreicht werden. Wie auch bei den Sommertagen und Tropennächten macht sich bei den Frosttagen ein städtischer Wärmeinseleffekt bemerkbar, der dafür sorgt, dass in den Städten weniger Frosttage gezählt werden als im direkten Umland, wie aus dem Vergleich der Messwerte von

TABELLE: Langjährige Mittelwerte der Frosttage an verschiedenen Stationen in der Oberrheinregion[1]

Ort	Tage / Jahr**	Periode	Höhe über NN in m
Karlsruhe-Rheinstetten (Umland)	60,6	1971-2000	112
Straßburg-Entzheim (Umland)	68,7	1971-2000	150
Freiburg (Innenstadt)	52,3	1971-2000	236
Basel-Binningen (Stadtrand)	71,0	1961-2009	316
Wangenbourg*	76,8	1991-2010	465
Weinbiet / Pfälzer Wald	88,3	1971-2000	553
Hornisgrinde	135,7	1971-2000	1.119
Feldberg / Schwarzwald	158,9	1971-2000	1.490

* Die Station Wangenbourg wurde erst im Mai 1990 eingerichtet.
∗∗ In Frankreich gelten alle Tage mit einer Minimaltemperatur von kleiner *oder gleich* 0° C als Frosttage, in Deutschland hingegen nur die Tage mit einer Minimaltemperatur strikt unter 0° C. Die Messwerte sind also nicht ganz homogen, die französischen Werte können leicht erhöht sein.

Freiburg-Stadt und Straßburg-Entzheim deutlich wird. Die Zahl der Frosttage schwankt zudem beträchtlich von Jahr zu Jahr, in Straßburg-Entzheim etwa zwischen 35 und 104 in der Periode 1971-2000. In den letzten Jahrzehnten ist bereits eine deutliche Abnahme feststellbar. So wurde für das Elsass ein Rückgang von 2-5 Frosttagen pro Jahrzehnt im Zeitraum 1961-2010 errechnet[2].

Zukünftige Entwicklung

Die Klimakarten zeigen, dass sich dieser Trend fortsetzen wird und flächendeckend eine **markante Abnahme der Frosttage** zu erwarten ist. Im Allgemeinen wird die Abnahme in den höher gelegenen, kälteren Regionen stärker sein als in den milderen tiefen Lagen.

Für den Großteil der **Tieflagen** wird bis 2021-2050 eine recht moderate Abnahme der Frosttage um weniger als 18 Tage (RCP4.5) bzw. um die 20 Tage (RCP8.5) vorhergesagt. In der fernen Zukunft (2071-2100) sind es je nach Szenario zwischen ca. 28 bis maximal 40 Frosttage weniger, was mehr als eine Halbierung darstellt. Damit würde die Strenge des Winters zum Ende des Jahrhunderts hin mit dem heutigen Klima Mittelitaliens vergleichbar. Dort misst man z. B. in Florenz im Durchschnitt der Periode 1996-2016 26 Frosttage pro Jahr[3]. Während milde Winter einerseits Probleme wie eine Zunahme von Schädlingen oder die Überwinterung neuer Krankheitserreger aus wärmeren Weltregionen mit sich bringen, werden sie andererseits für einige Wirtschaftszweige auch positive Auswirkungen haben, z. B. einen Rückgang von schneebedingten Verzögerungen in der Logistikkette, weniger frostbedingte Unterbrechungen bei Arbeiten im Freien, z. B. im Baugewerbe, oder eine längere Vegetationsperiode in der Landwirtschaft.

In den **Hochlagen** wird der Rückgang der Frosttage deutlich stärker ausfallen: In der nahen Zukunft (2021-2050) wird er zwischen 20 und 24 Tage pro Jahr betragen, je nach Szenario und Höhenlage. In der fernen Zukunft (2071-2100) liegen die Werte hingegen weiter auseinander: im optimistischeren RCP4.5-Szenario wird ein Rückgang von 36 - 40 Frosttagen prognostiziert, im pessimistischen RCP8.5-Szenario ist schon in mittleren Höhen wie

dem Pfälzer Wald mit einer Abnahme von mehr als 50 Tagen, in den Hochlagen über 1.000m sogar mit mehr als 60 Tagen zu rechnen. Konkret bedeutet dies, dass die Winter in den Mittelgebirgen der Oberrheinregion deutlich milder werden und die Schneedeckendauer v.a. unterhalb von 1.000m signifikant abnehmen wird. In den Wintersportgebieten des Schwarzwalds und der Vogesen, aber auch im Schweizer Jura oder im Hotzenwald kann sich die kalte Jahreszeit im ungünstigsten Fall bis Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 2 Monate verkürzen.

Einen **regionalen Hot Spot** stellt die **Hochrheinregion** um Waldshut-Tiengen mit dem Hotzenwald dar. Dort werden mit die höchsten Rückgangswerte prognostiziert, trotz der eher mittleren Höhe des Gebiets. Dies kann mit einer Häufung von Westlagen erklärt werden, die in milderen Wintern vorherrschen und milde, feuchte Atlantikluft in die Oberrheinregion bringen. Diese milde Luft kann über die Burgundische Pforte südöstlich von Mulhouse relativ ungehindert in die Hochrheinregion vordringen. Die Bereiche nördlich des Hochrheins liegen hingegen im Lee der Vogesen, an deren Westseite sich diese Luftmassen oftmals abregnen und in der Oberrheinregion somit nicht mehr so wirksam sind.

Literaturangaben

1. 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
2. Météo France, Webportal ClimatHD, URL: www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd [18.07.2019]
3. Weather Online, URL: https://www.weatheronline.de [18.07.2019]

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

Changement climatique dans le Rhin supérieur : les jours de gel

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 jours de gel 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.

Un **jour de gel** est un jour où la température minimale de l'air, mesurée à une hauteur de 1,50 mètres, est inférieure à 0°C. Le nombre de jours avec gelée au sol est généralement plus élevé que le nombre de jours de gel. Si la température maximale d'un jour est également inférieure à 0°C, on parle alors de jour sans dégel. Le nombre de jours de gel fournit des informations sur la rigueur de l'hiver, et est décisif pour la durée de la saison des sports d'hiver ou les besoins énergétiques de la période de chauffage.

Le tableau montre que dans la région du Rhin supérieur, le **nombre de jours de gel augmente avec l'altitude**. Cependant, des exceptions sont possibles, en particulier dans les cuvettes où l'air froid s'accumule en hiver, où le nombre de jours de gel est plus élevé. Comme pour les jours d'été et les nuits tropicales, l'effet d'îlot de chaleur urbain se fait sentir durant les jours de gel, ce qui permet de compter moins de jours de gel dans les villes que dans leur voisinage immédiat, comme le montre la comparaison des valeurs mesurées

TABLEAU : Normales du nombre de jours de gel dans différentes stations de mesure du Rhin supérieur : [1]

Lieu	Jours / an **	Période	Altitude en m.
Karlsruhe-Rheinstetten (périphérie)	60,6	1971-2000	112
Strasbourg-Entzheim (périphérie)	68,7	1971-2000	150
Freiburg (centre-ville)	52,3	1971-2000	236
Bâle-Binningen (banlieue)	71,0	1961-2009	316
Wangenbourg*	76,8	1991-2010	465
Weinbiet / Pfälzer Wald	88,3	1971-2000	553
Hornisgrinde	135,7	1971-2000	1.119
Feldberg / Schwarzwald	158,9	1971-2000	1.490

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

∗∗ En France, tous les jours avec une température minimale inférieure *ou égale* à 0° C sont considérés comme des jours de gel, alors qu'en Allemagne, seuls les jours avec une température minimale inférieure strictement à 0° C sont considérés comme des jours de gel. Donc, les données du tableau ne sont pas totalement homogènes, les valeurs françaises peuvent être légèrement supérieures.

pour le centre-ville de Fribourg-en-Brisgau et Strasbourg-Entzheim. Le nombre de jours de gel varie parfois considérablement d'une année à l'autre, ainsi à Strasbourg-Entzheim on observe entre 35 et 104 jours de gel au cours de la période 1971-2000 ; on constate néanmoins déjà une nette baisse au cours des dernières décennies. Ainsi, pour l'Alsace par exemple, une baisse de 2 à 5 jours de gel par décennie a été calculée pour la période 1961-2010.[2]

Évolution en climat futur

Les cartes ci-jointes montrent que l'on peut s'attendre à une **diminution marquée du nombre de jours de gel**, partout dans la région. De manière générale, la diminution sera plus forte dans les régions à plus haute altitude et froides, que dans les régions à plus basse altitude et plus douces.

Dans la plupart des **régions de basse altitude**, une diminution assez modérée des jours de gel, de moins de 18 jours (RCP4.5), ou d'environ 20 jours (RCP8.5), est prévue dans un avenir proche (2021-2050). Dans un avenir plus lointain (2071-2100), selon le scénario, le nombre de jours de gel diminuera d'environ 28 à 40 jours au maximum, ce qui, compte tenu des faibles valeurs initiales d'environ 60 à 70 jours de gel par an, représente plus de la moitié. Vers la fin du siècle, ceci rendrait la rigueur de l'hiver comparable au climat actuel de l'Italie centrale. Ainsi, à Florence par exemple, une moyenne de 26 jours de gel par an est mesurée pour la période 1996-2016.[3] Tandis que les hivers doux causeront des problèmes comme l'augmentation des nuisibles ou la survie d'agents pathogènes provenant de régions plus chaudes du monde, ils auront également des effets positifs sur certains secteurs de l'économie, comme par exemple une diminution des retards dans la chaîne logistique en raison de la neige ou du verglas, des interruptions moins fréquentes des travaux extérieurs dus au gel, notamment dans la construction, ou une période végétative plus longue dans l'agriculture.

Dans les **régions à plus haute altitude**, la diminution du nombre de jours de gel sera beaucoup plus forte en termes absolus : dans un avenir proche (2021-2050), il se stabilisera entre 20 et 24 jours de gel par an, selon le scénario et l'altitude. Dans un avenir plus lointain en revanche (2071-2100), les valeurs sont plus hétérogènes : dans le scénario RCP4.5, plus optimiste, on prévoit une diminution de 36 à 40 jours de gel, tandis que dans le scénario RCP8.5, plus pessimiste, une diminution de plus de 50 jours de gel à moyenne altitude (forêt palatine), et même de plus de 60 jours à plus haute altitude (au-dessus de 1 000 mètres) sont à prévoir. Concrètement, cela signifie que les hivers dans les moyennes montagnes du Rhin supérieur seront nettement plus doux, et que la durée de l'enneigement diminuera sensiblement, en particulier en dessous de 1 000 mètres. Dans les stations de sports d'hiver de la Forêt-Noire et des Vosges, mais également du Jura Suisse et du « Hotzenwald », la saison froide pourra ainsi être raccourcie de 2 mois dans le pire des cas d'ici la fin du 21ème siècle.

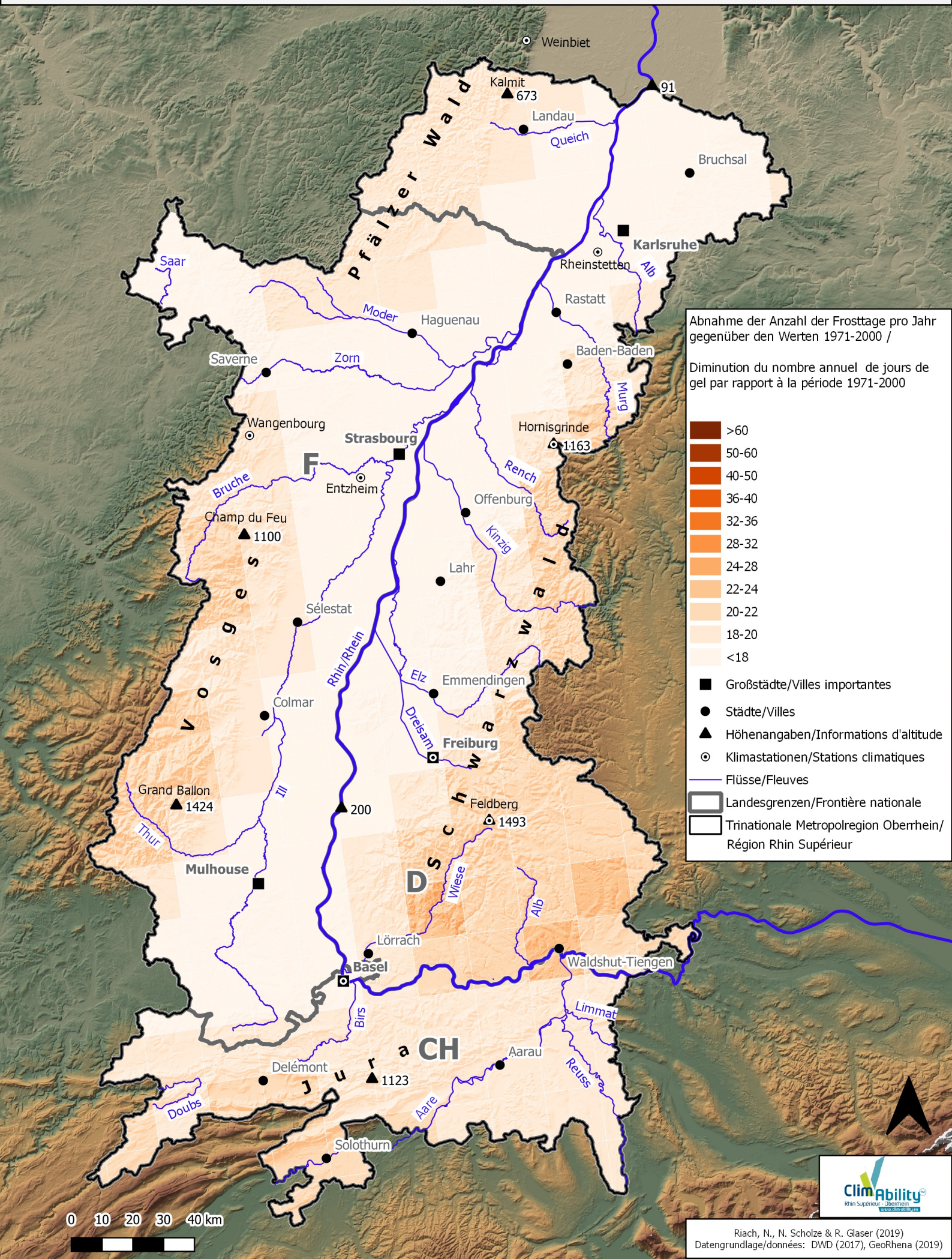
La région autour de Waldshut-Tiengen et du Hotzenwald constitue un **point chaud régional**. On y prévoit les plus fortes baisses du nombre de jours de gel, ceci malgré l'altitude plutôt moyenne de la zone. Cela peut s'expliquer par la fréquence des flux d'ouest, qui prédominent durant les hivers plus doux et apportent un air océanique doux et humide dans cette région. Cet air doux peut pénétrer assez librement dans cette région par la Porte de Bourgogne au sud-est de Mulhouse. Les régions plus au nord sont en revanche situées sous le vent des Vosges, sur le versant ouest desquelles ces masses d'air précipitent, et qui ne sont donc plus aussi efficaces.

Citations

1. Les valeurs indiquées dans le tableau proviennent des sources suivantes et ont été partiellement calculées à partir de données brutes :
   - pour les stations françaises : données officielles de Météo France
   - pour les stations allemandes : données 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
2. Météo France, Portail ClimatHD, URL : www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd [18.07.2019]
3. Weather Online Ltd. Meteorological Services, URL : https://www.weatheronline.de/ [18.07.2019]

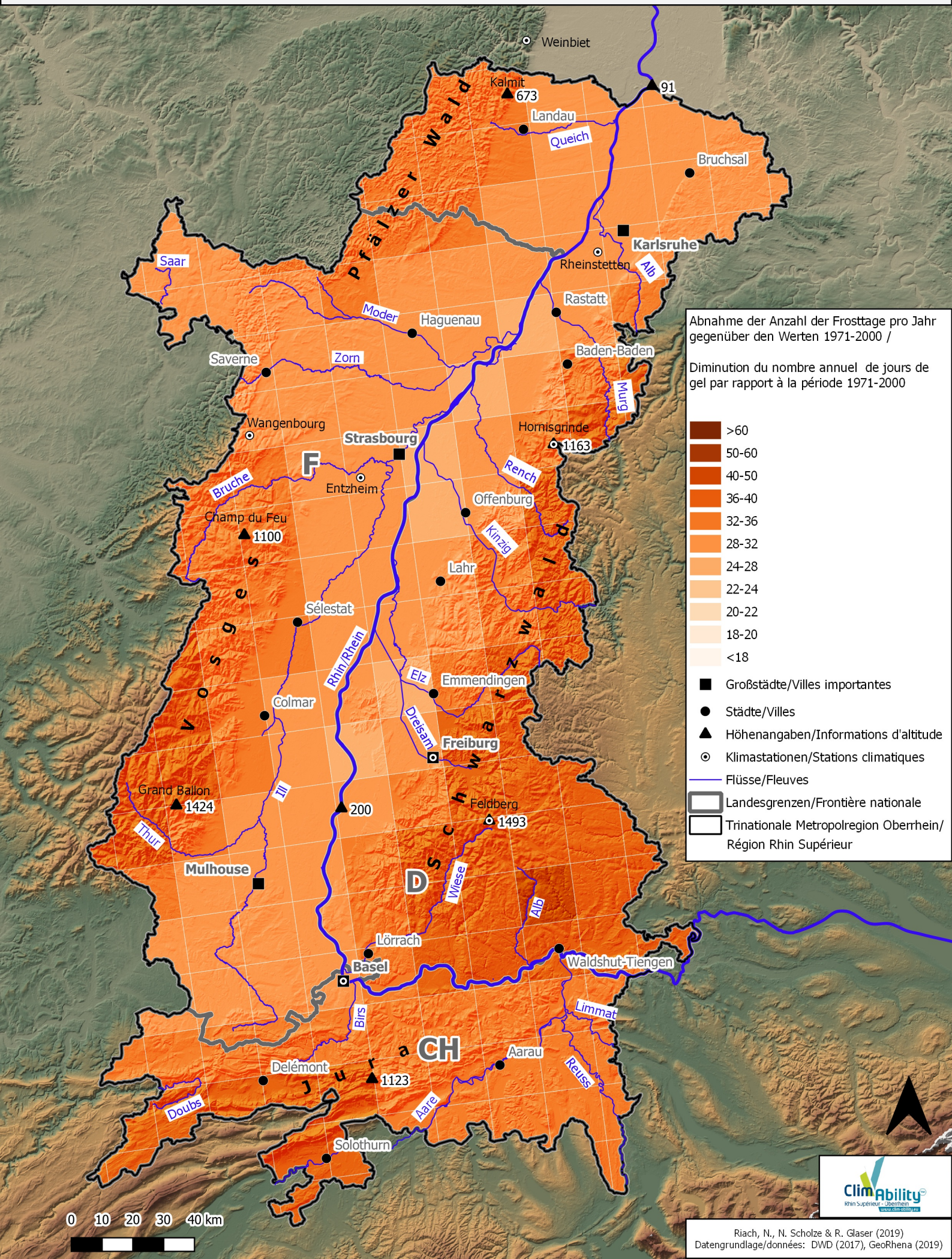
Fonds européen de développement régional (FEDER)
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

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



Riach, N., N. Scholze & R. Glaser (2019)
Datengrundlage/données: DWD (2017), GeoRhena (2019)

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



Abnahme der Anzahl der Frosttage pro Jahr gegenüber den Werten 1971-2000 /

Diminution du nombre annuel de jours de gel par rapport à la période 1971-2000

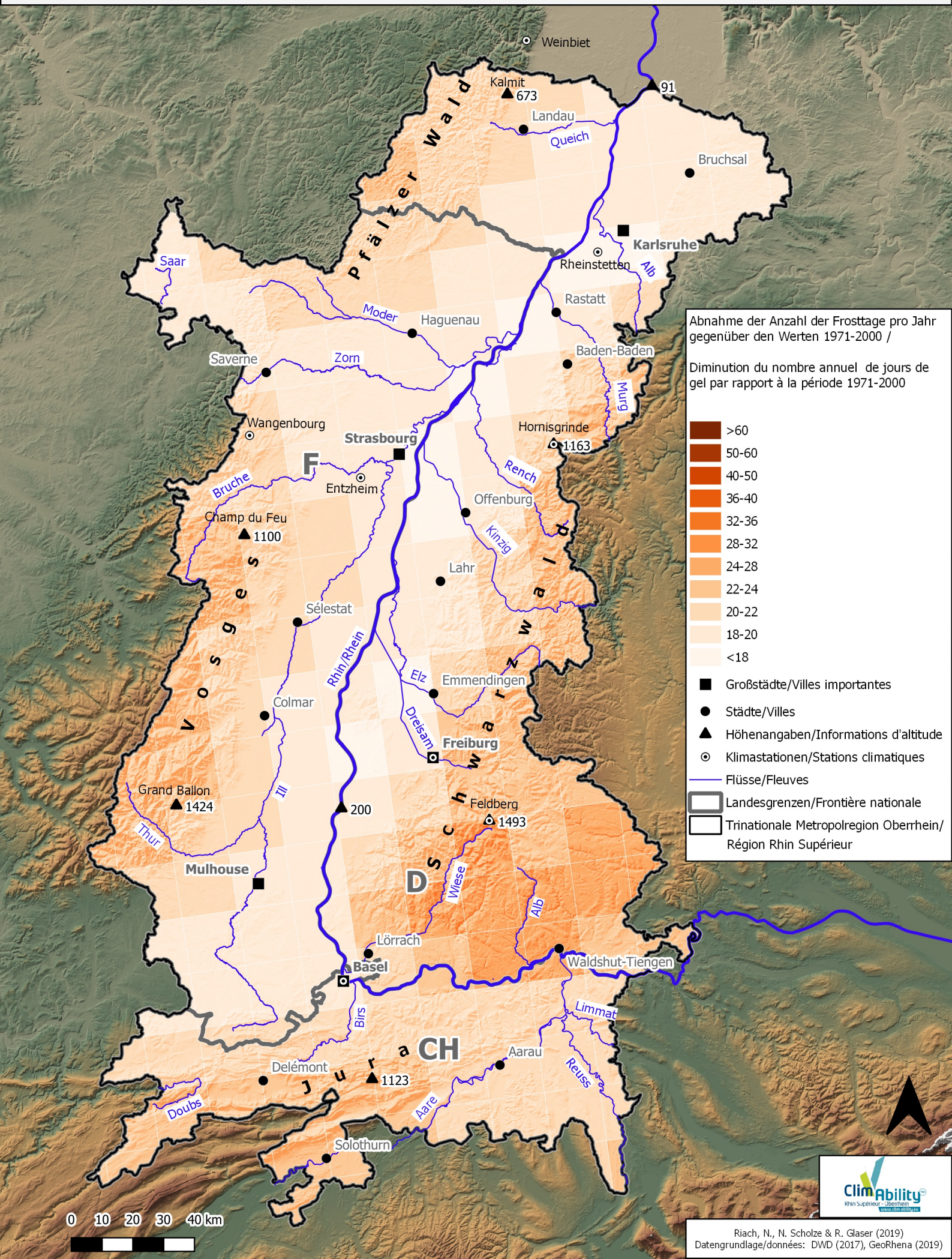
- >60
- 50-60
- 40-50
- 36-40
- 32-36
- 28-32
- 24-28
- 22-24
- 20-22
- 18-20
- <18

- Großstädte/Villes importantes
- Städte/Villes
- Höhenangaben/Informations d'altitude
- Klimastationen/Stations climatiques
- Flüsse/Fleuves
- Landesgrenzen/Frontière nationale
- Trinationale Metropolregion Oberrhein/ Région Rhin Supérieur

ClimAbility Rhin Supérieur - Oberrhein www.clim-ability.eu

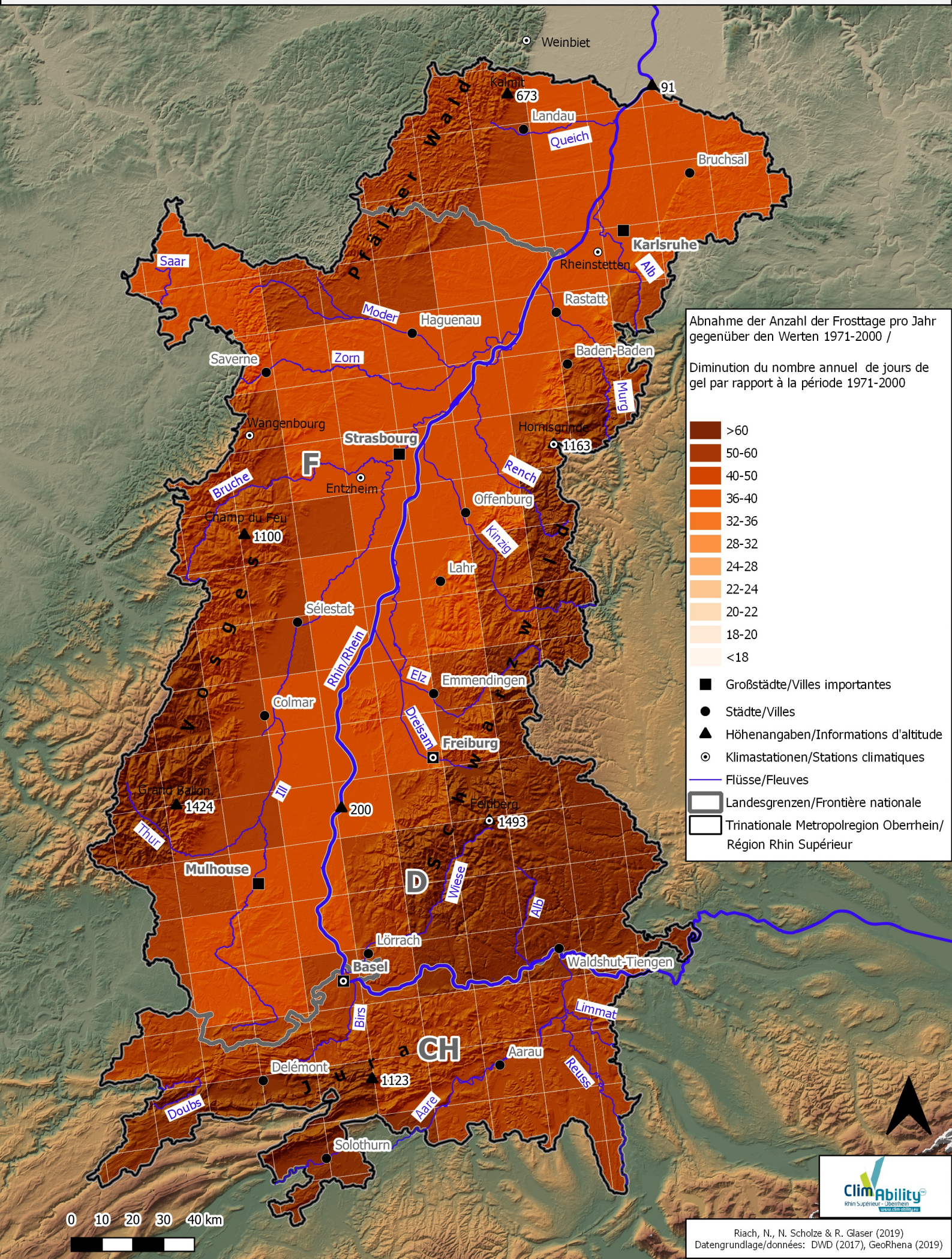
Riach, N., N. Scholze & R. Glaser (2019)
Datengrundlage/données: DWD (2017), GeoRhena (2019)

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



Riach, N., N. Scholze & R. Glaser (2019)
Datengrundlage/données: DWD (2017), GeoRhena (2019)

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



Riach, N., N. Scholze & R. Glaser (2019)
Datengrundlage/données: DWD (2017), GeoRhena (2019)