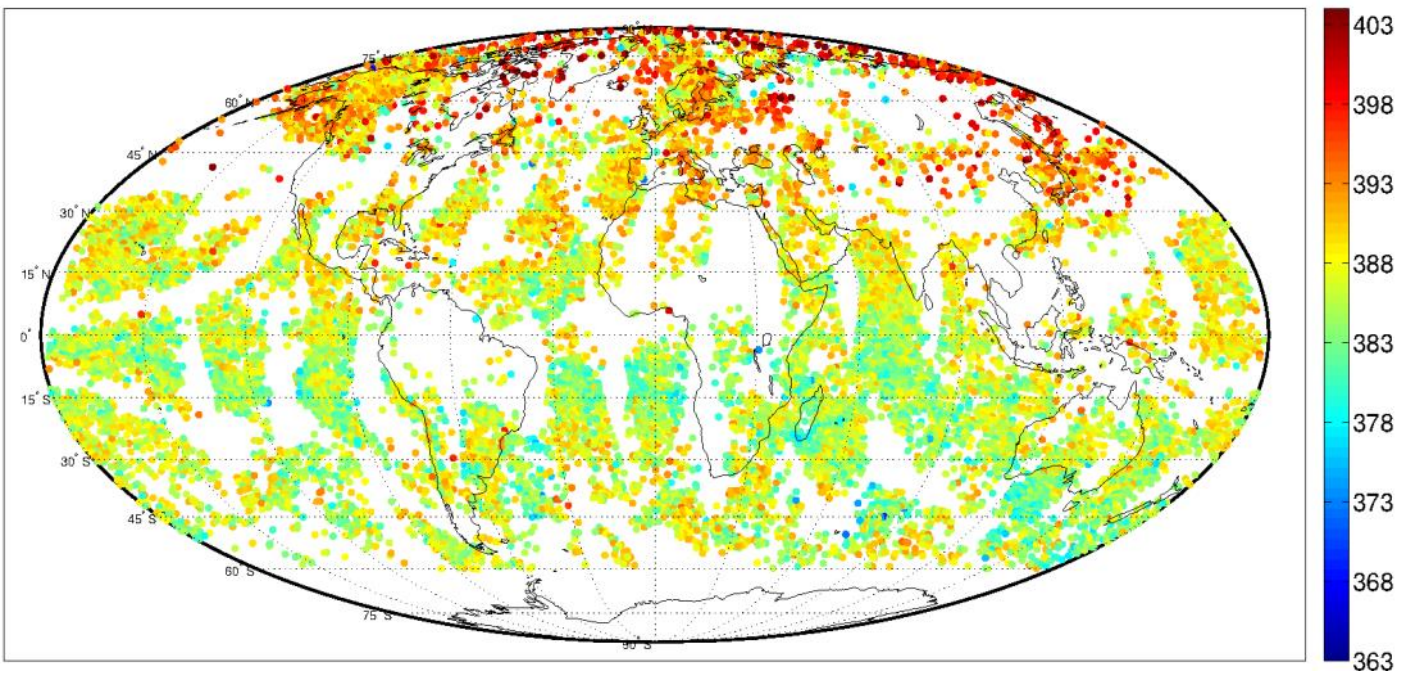




## RAUM-ZEIT-ANALYSE VON CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN

### PROJEKTZIEL

Im Rahmen der Verhandlungen zum globalen Klimawandel spielt das Monitoring und Reporting der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine entscheidende Rolle. Das aktuelle System bezieht sich jedoch auf nichtstandardisierte und nur auf Industriestatistiken basierende, nationale Berichte. Dies hat nicht validierbare Schätzungen der nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge. Ziel dieses Projekts war es daher, alternative Methoden zu identifizieren, die globale CO<sub>2</sub>-Emissionen quantifizierbar und objektiv validierbar machen.



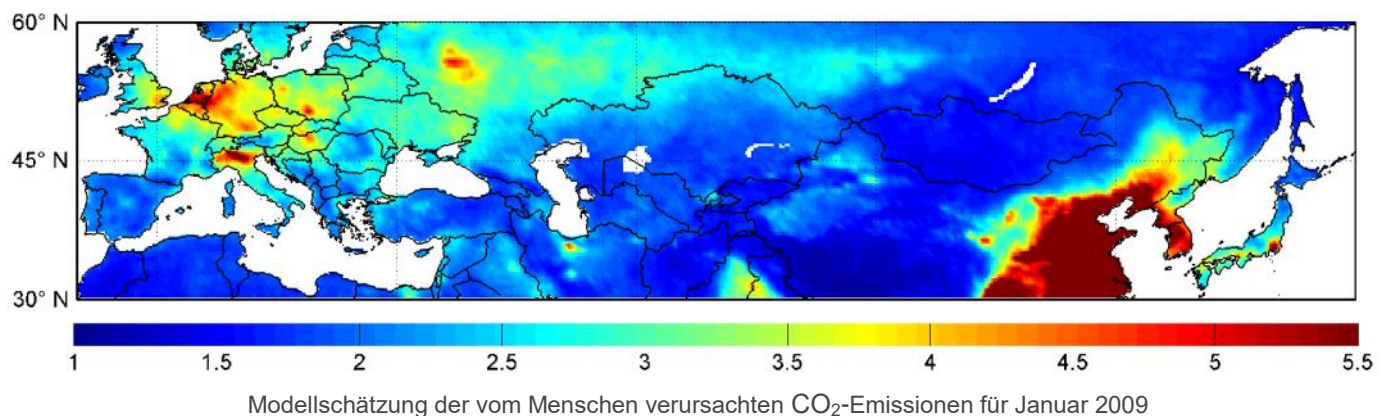
### DATENAUSWAHL

Der verwendete Hauptdatensatz beinhaltet die Messungen der CO<sub>2</sub>-Oberflächenkonzentrationen, die durch den Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT) gewonnen wurden. Die Daten wurden als 90 km<sup>2</sup> Fußabdruck-Messungen zwischen 2009 und 2012 in zweiwöchigen Intervallen gesammelt. Die räumliche Dimension des Studienbereichs umfasste die überwiegende Landmasse von Europa und Asien.

## HERAUSFORDERUNGEN

Die erste Herausforderung war ein verbreitetes Problem in der Raum-Zeit-Modellierung: Datenkomplexität. Eine hohe Dimensionalität in Raum und Zeit führt schnell zu Engpässen bei der Rechenleistung. Deshalb wurden passende Approximationsansätze für die Raum-Zeit-Kovarianz-Funktion benötigt.

Die zweite Aufgabe war die Erstellung eines Modell-Frameworks für die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, das eine Raum-Zeit-Vorhersage des Datensatzes mit sehr niedriger Datendichte erlaubt und die Raum-Zeit-Autokorrelationsstruktur innerhalb der Daten verwendet. Die zu lösende Hauptherausforderung in der Praxis ist die Ableitung der CO<sub>2</sub>-Quellen und -Senken aus den Konzentrationsdaten. Das Modell sollte daher in der Lage sein zu quantifizieren, wieviel CO<sub>2</sub> durch die Menschheit ausgestoßen wurde und wie hoch die Variation in der CO<sub>2</sub>-Oberflächenkonzentration aufgrund der terrestrischen Vegetation ist. Das erfordert eine gründliche Modellierung des globalen Kohlenstoffkreislaufs.



## MODELL-RAHMEN

### APPROXIMATIONSANSÄTZE

Um sich mit dem Problem der hohen Dimensionalität zu beschäftigen, wurde eine Vergleichsstudie durchgeführt. Diese analysierte die Ansätze zur Approximation der Raum-Kovarianz-Funktion hinsichtlich des Trade-Offs zwischen Vorhersageleistung und Rechenanforderung. Der effizienteste Ansatz war die Kombination aus Covariance Tapering und der Fixed-Rank Kriging Approximierung. Für die Raum-Zeit-Interpolation der CO<sub>2</sub>-Konzentrationsdaten wurde ein Linear Mixed Effects Modell mit räumlich-zeitlich variierenden Koeffizienten verwendet, denn es erfasst Raum-Zeit-Dynamiken des Prozesses durch das Modellieren der Raum-Zeit-Kovarianz-Funktion. Durch sich in der Zeit bewegende räumliche Zufallsfelder kann die Abhängigkeit ebenfalls als räumlich-zeitlich variierend modelliert werden.

### INTERFERENZ VON CO<sub>2</sub>-QUELLEN UND -SENKEN

In dieses Modell wurde der gesamte Kohlenstoffzyklus integriert: Es umfasst den saisonal variierenden Vegetationsprozess sowie die sich saisonal ändernde Abhängigkeitsstruktur zwischen der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Vegetation mit einem negativen Kohlenstoffhaushalt in den Sommermonaten und CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Wintermonaten. Mit dem Modell-Framework und der entsprechenden Raum-Zeit-Korrelationsstruktur der Kovariaten wurden die menschlich verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen quantifiziert. Die Abbildung oben veranschaulicht die Hotspots der CO<sub>2</sub>-Emission in urbanen Industriegebieten, insbesondere in China und Korea.

## PROJEKTERGEBNIS

Es wurde ein alternativer Ansatz zum bestehenden Monitoring- und Reporting-System der CO<sub>2</sub>-Emissionen vorgeschlagen. Dieser ist in der Lage, den CO<sub>2</sub>-Konzentrationsprozess effizient global abzubilden und den gesamten terrestrischen Kohlenstoffzyklus und die auf objektiven Satellitenmessungen basierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erfassen. Eine Vergleichsstudie zeigte, dass die Modellergebnisse größtenteils mit den gemeldeten Emissionen (UNFCCC) der europäischen Staaten übereinstimmten, aber für Länder wie China und Korea stark abwichen. Das deutet auf einen (absichtlichen oder nicht) Fehler des entsprechenden Reporting-Systems hin.