

# Backward lagrangian particle dispersion modeling

## Applications for a high alpine measurement site

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Ubl, Sandy

**Publication date:**

2005

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005164765>

**Rights / license:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Doctoral Thesis ETH No. 16282

Backward Lagrangian Particle Dispersion Modeling:  
Applications for a High Alpine Measurement Site

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
SANDY UBL  
Dipl. Meteorologin, Christian-Albrechts-University to Kiel  
born 6.11.1975  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Thomas Peter, examiner  
Dr. Andrea Kaiser-Weiss, co-examiner  
Dr. Pirmin Kaufmann, co-examiner  
Dr. Andreas Stohl, co-examiner

2005

---

## Abstract

---

Air pollution transport to the Swiss high-Alpine measurement site Jungfrauoch (JFJ), located at an altitude of 3580 m asl, is investigated employing a time inverted Lagrangian particle dispersion model (LPDM).

Most atmospheric pollutants are emitted into the atmospheric boundary layer (ABL). Due to vertical transport processes on local and synoptic scales, air pollutants escape from the ABL and reach higher levels in the troposphere. There, they are transported over large distances. Depending on their lifetime, they can reach remote areas on the globe far away from their emission source. Remote stations are used to monitor the background concentrations in the atmosphere. JFJ in the Swiss Alps is such a measurement site. However, it is known that in mountainous terrain, local processes such as thermally driven valley winds can enhance the vertical atmospheric flow. Therefore, polluted ABL air can reach JFJ under certain meteorological conditions. JFJ is, therefore, able to monitor both clean background air and pollution from heavily industrialized and populated central Europe.

To interpret the measurement data and to use it for European emission estimates, it is crucial to know the representativeness of the measurement site JFJ. Within the frame of this work, the representativeness of JFJ is determined by using a backward LPDM. Every three hours from June 2002 to December 2004, model particles were released at JFJ and traced three days backward in time. The time period they spend in each discrete model grid box is called residence time. Footprints are derived from residence times and indicate, where and how long air parcels reside in a layer 500 m above ground level (agl) before arriving at JFJ. They can be used to detect the regions which influence JFJ and, therefore, contribute to measured pollutants at the station.

Individual footprints show strong variability in location and shape indicating that the regions influencing JFJ depend on the weather situation. However, the large number (6912) of computed footprints allowed to determine the main regions affecting the JFJ. This is achieved by summing up single footprints yielding the so-called total footprint. The total footprint indicates those regions within a range of 300 km having the strongest influence on JFJ. 65 % of the residence time is located in this area. The total footprint for each month shows that during summer, footprints are primarily located in the sector NW of JFJ. In winter, footprints are rather located in the SE sector of JFJ. Monitoring capabilities for the JFJ, therefore, vary with seasons. The sum of the residence times in

a single footprint is called the total residence time. The latter is used to detect polluted and non-polluted air at the JFJ. A total residence time of less than three hours is used to indicate non-pollutant events at JFJ. Using this criterion, the total residence time indicated that only in 20% of the time JFJ is dominated by clean background air. The total residence time shows diurnal variations in summer with maxima between 15 UTC and 18 UTC. Aerosol measurements show a maximum at the same time and the increased aerosol levels are linked to thermally induced vertical transport. This was taken as an indication that the model is able to reproduce these processes and, thus, can cope with the complex topography.

To further evaluate the quality and reliability of the modeled residence times, a synthetic time series of CO has been calculated and compared to measured CO concentrations at JFJ. The footprints are combined with EMEP emission inventory data of CO resulting in a modeled CO time series from June 2002 to December 2004. The correlation coefficient between modeled and measured CO is 0.4 for the whole period. In summer, correlations are frequently below 0.3, whereas in winter, values up to 0.7 are achieved. Absolute values of modeled and measured CO agree within a factor of 2 in 53% of all cases. Although correlation coefficients were smaller in summer than in winter, absolute values were in better agreement in summer. The modeled CO values are sensitive to the sampling layer height above the ground used to determine the footprints. To further investigate the sensitivity of the modeled CO, a variable sampling height is introduced and a second CO time series is modeled. The modeled time series is again compared with the CO measurements and a better agreement is found. The correlation coefficient increased to 0.7 and the absolute values agree up to a factor of two in 71% of all cases. However, major improvements only occur in summer, whereas in winter, the modeled CO is not sensitive to the sampling height.

The synthetic CO data can also be used to determine the relative contributions from various regions to the CO measurements at JFJ. On average, 25% of the measured CO originates in the Po-Valley, 15% in southern France, 18% in Germany and eastern neighboring countries, and 13% in Northern France and Benelux. Regions with strong CO emissions, like Paris, London, and even Madrid contribute large parts to the measured CO, although they are far away from JFJ. The source strength together with the footprints yields the information to evaluate the representativeness of a measurement station.

The model can cope reasonably well with the complex topography and real conditions are quite well reproduced by the model. Therefore, the backward LPDM can be used to simulate the transport of air pollution in the complex terrain of the Alps. In addition, the representativeness of a high-alpine measurement site located in this terrain can be determined. The model results show that JFJ is suitable to monitor large parts of the most industrialized and most densely populated regions of central Europe.

---

## Zusammenfassung

---

Der Transport von Luftschadstoffen zur hochalpinen Messstation Jungfraujoch (JFJ) wird mit Hilfe eines zeitinvertierten Lagrangeschen-Partikel-Dispersions-Modells (LPDM) untersucht. Das Jungfraujoch liegt auf einer Höhe von 3580 m über dem Meeresspiegel.

Die meisten Luftschadstoffe werden in der atmosphärischen Grenzschicht emittiert. Vertikale Transportprozesse auf synoptischen wie auch auf lokalen Skalen sorgen dafür, dass die Schadstoffe die atmosphärische Grenzschicht verlassen. Sie gelangen so in höhere Schichten in der Atmosphäre, wo sie über grosse Distanzen transportiert werden können. Je nach ihrer Lebenszeit erreichen sie ferne Gebiete auf der Erde. Die Hintergrundbelastung der Atmosphäre wird von Hintergrund-Messstationen gemessen. JFJ ist eine solche Messstation. Es ist jedoch bekannt, dass lokale Prozesse in den Bergen den vertikalen Austausch erhöhen können. Dadurch gelangen Schadstoffe aus der atmosphärischen Grenzschicht zur Station. JFJ kann daher die Hintergrundbelastung, aber auch die Emissionen aus den stark industrialisierten Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte Zentraleuropas messen.

Um die Messungen einer solchen Station zu interpretieren und sie für europäische Emissionsabschätzungen zu verwenden, ist es wichtig, die räumliche Repräsentativität der Station zu kennen. Die Repräsentativität der Station JFJ wurde im Rahmen dieser Arbeit mit einem Rückwärts-LPDM bestimmt. Am JFJ wurden alle drei Stunden, für die Zeit von Juni 2002 bis Dezember 2004, Modellpartikel emittiert und drei Tage rückwärts in der Zeit verfolgt. Die Zeit, welche die Partikel in den jeweiligen Modellgitterboxen verbringen, bevor sie das JFJ erreichen, wird als Aufenthaltszeit bezeichnet. Die sogenannten 'Footprints' geben an, wo und wie lang sich die Luft in einer Schicht 500 m über dem Boden aufgehalten hat. Die footprints bestimmen von welchen Regionen das JFJ beeinflusst wird und damit, welche Regionen zu den Messungen beitragen.

Die einzelnen Footprints zeigen eine starke zeitliche Variabilität in ihrer Form und ihrer Lage. Dies zeigt, dass die Einzugsregionen für das JFJ von der meteorologischen Situation abhängen. Da eine grosse Anzahl 'footprints' (6912) berechnet wurde, ist es möglich, ein generelles Einzugsgebiet für das JFJ zu bestimmen. Dies wird totaler Footprint genannt und ist die Summer aller Footprints. Der totale Footprint zeigt, dass Regionen innerhalb eines Radius von 300 km Entfernung vom JFJ den grössten Einfluss auf die Messungen haben. 65% der Aufenthaltszeit stammt aus diesem Gebiet. Im Sommer liegen die Footprints hauptsächlich in einem Sektor im Nordwesten vom

JFJ, während sie im Winter eher im Südosten vom JFJ liegen. Welche Regionen vom JFJ 'gut überwacht' werden, hängt daher von der Jahreszeit ab. Die totale Aufenthaltszeit, welche sich aus der Summe aller Aufenthaltszeiten in einem Footprint berechnet, wird verwendet, um zwischen verschmutzter Luft und atmosphärischem Hintergrund zu unterscheiden. Dabei nimmt man an, dass totale Aufenthaltszeiten kleiner als drei Stunden sauberer Luft entsprechen und damit atmosphärische Hintergrundkonzentrationen angeben. Verwendet man dieses Kriterium, so misst JFJ 20% der Zeit atmosphärischen Hintergrund. Die totale Aufenthaltsdauer zeigt einen Tagesgang, der sehr gut mit Aerosolmessungen übereinstimmt. Der Tagesgang der Aerosolkonzentrationen wurde mit thermisch induziertem Transport erklärt. Daraus wurde geschlossen, dass das Modell diese Prozesse wiedergibt, was darauf hindeutet, dass das Modell mit der komplexen Topographie zurecht kommt.

Um die Modellqualität besser beurteilen zu können, wurde eine synthetische Messreihe bestimmt, indem die Footprints mit einem *CO* Emissionsregister kombiniert wurden. Die synthetische *CO* Messreihe wurde mit der gemessenen verglichen. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0.4. Im Sommer sind die Korrelationen häufig kleiner als 0.3, während im Winter Werte bis 0.7 erreicht werden. Die Absolutwerte stimmen bis auf einen Faktor 2 in 53% aller Fälle überein. Die Absolutwerte stimmen im Sommer besser überein als im Winter, im Gegensatz zur Korrelation, wo die Werte im Winter höher sind als im Sommer. Die modellierten *CO* Werte hängen von der Schichtdicke über Grund ab, welche im Modell für das JFJ verwendet wird, um die Footprints zu bestimmen. Bisher wurde eine Höhe von 500 m über Grund verwendet. Im Folgendem wurde eine variierende Höhe verwendet und damit eine zweite modellierte Zeitserie bestimmt. Diese wurde wieder mit den gemessenen *CO* Werten verglichen. Die Übereinstimmung wurde verbessert. Der Korrelationskoeffizient ist 0.7 und die Absolutwerte stimmen bis auf einen Faktor 2 in 71% überein. Hauptsächlich wurde die Übereinstimmung im Sommer verbessert. In Winter hat die variierende Höhe kaum einen Einfluss auf die modellierten *CO* Werte.

Mithilfe von Aufenthaltsdauern und dem EMEP Emissionsregister lassen sich die Beiträge verschiedener Regionen zu den gemessenen Konzentrationen am JFJ bestimmen. 25% des *CO* am JFJ stammt aus der Po-Ebene, 18% aus Deutschland und den östlichen Nachbarländern und 13% aus Nordfrankreich sowie den Benelux Ländern. Regionen mit sehr hohen *CO* Emissionen wie Paris, London und sogar Madrid tragen grosse Teile zu den *CO* Messungen bei, obwohl sie sehr weit vom JFJ entfernt sind. Die Regionen, welche bestimmend sind für die gemessenen Konzentrationen, hängen von den jeweiligen Substanzen ab.

Die komplizierten Bedingungen im komplexen Terrain der Alpen werden von dem Modell gut erfasst. Das rückwärts betriebene LPDM kann daher verwendet werden, um den Transport von Schadstoffen im komplexen Terrain der Alpen zu modellieren und um die Repräsentativität von hochalpinen Messstationen in diesem Gelände zu bestimmen. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass JFJ tatsächlich eines der stärksten industrialisierten und am dichtesten bevölkerten Gebiete in Zentraleuropa überwachen kann.