

# Kanonische Kohärenzen - Indikator für kohärenten Noise

Juliane Hüberr\*,\*\* und Oliver Ritter\*

\*GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegraphenberg D-14473 Potsdam,

\*\*Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften Karl-Liebknecht-Str. 24/25 D-14476 Golm

contact: [jhuebert@gfz-potsdam.de](mailto:jhuebert@gfz-potsdam.de)

## 1 Einleitung

Die Magnetotellurische Tiefensonrierung ist wegen ihrer Eigenschaften als elektromagnetisches Verfahren über ein breites Frequenzspektrum anfällig für Störsignale z.B. von Stromleitungen und vom Verkehrswesen. Um die Kontamination mit Störsignalen zu verringern, kommen vielfältige Verfahren aus der Statistik und die Methode des *remote-reference* zum Zuge. Für letzteres benötigt man die möglichst wenig veräuschten Daten einer Referenzstation. Die Diagnose einer solchen gestaltet sich manchmal schwierig, da eine Kontamination mit kohärentem Rauschen sehr subtil sein kann, aber ausgeschlossen werden sollte.

Nach [Egbert, 1997] kann man einen Ansatz aus der Multivariaten Statistik zu Hilfe nehmen, die *Kanonische Korrelationsanalyse* [Morrison, 1967], um die Korrelationsstruktur zwischen zwei Zufallsvektoren (hier zwischen den Fourierkoeffizienten der Zeitreihen von synchron aufzeichnenden MT-Stationen) zu bestimmen. Die *kanonischen Kohärenzen* beschreiben die Kohärenzdimension zwischen einer lokalen Station und mehreren anderen. Im Idealfall sollte diese zwei betragen, nach der Anzahl der Richtungen des Anregungssignals der Magnetotellurik. Gibt es nun Störquellen, die das Signal an mehreren Stationen beeinflussen, wird die Kohärenzdimension im gestörten Frequenzbereich größer.

Die kanonischen Kohärenzen helfen also zu identifizieren, ob Noise lokal oder auch weiträumiger auftritt.

## 2 Kohärenzen

Als Indikator für die Datenqualität wird häufig die bivariate Kohärenz verwendet, die das Verhältnis von vorhergesagtem Signal mit tatsächlich gemessenem, unter der Annahme eines linearen Zusammenhangs (Übertragungsfunktionen  $Z$ ) zwischen Eingangs- ( $Y$ ) und Ausgangskanälen ( $X$ , wobei  $*$  das komplex konjugierte beschreibt) beschreibt:

$$X = Z_1 \cdot Y_1 + Z_2 \cdot Y_2 \quad (1)$$

$$r_b^2 = \frac{Z_1 \cdot [Y_1 \cdot X^*] + Z_2 \cdot [Y_2 \cdot X^*]}{X \cdot X^*} \quad (2)$$

Die bivariate Kohärenz ist eine genormte Größe, deren Werte zwischen  $[0,1]$  liegen. Bivariate Kohärenzen nahe 1 versprechen normalerweise gute Datenqualität, niedrige Kohärenzen können aus der Kontamination der Daten mit Noise resultieren.

## 3 Kanonische Kohärenzen

Die Kanonische Kohärenzen beschreiben die Korrelationsstruktur zwischen zwei multidimensionalen Vektoren  $X$  und  $Y$ , hier in der Anwendung zwischen drei synchron messenden MT-Stationen:  $X$  ist der frequenzabhängige Vektor der komplexen Fourierkoeffizienten der Zeitreihen (also  $Bx, By, Bz, Ex, Ey$ ) für eine der fünfkanaligen MT-Stationen (hier immer als die *lokale* Station bezeichnet), der Vektor  $Y$  besteht aus den Komponenten der zwei verbliebenen Stationen und  $i$  ist der Index der Zeitsegmente. Mit den Spektralmatrizen:

$$S_{11} = \sum X_i X_i^* \quad (3)$$

$$S_{12} = \sum X_i Y_i^* \quad (4)$$

$$S_{21} = \sum Y_i X_i^* \quad (5)$$

$$S_{22} = \sum Y_i Y_i^* \quad (6)$$

(\* für komplex konjugiert) berechnen sich die Kanonischen Kohärenzen (ccs) als Eigenwerte von:

$$U(\omega) = S_{11}(\omega)^{-1} \cdot S_{12}(\omega) \cdot S_{22}(\omega)^{-1} \cdot S_{21}(\omega) \quad (7)$$

$$V(\omega) = S_{11}(\omega)^{-1} \cdot S_{21}(\omega) \cdot S_{22}(\omega)^{-1} \cdot S_{12}(\omega) \quad (8)$$

Von den fünf (nach der Anzahl der Kanäle) positiven, reellen Eigenwerten (alle im Intervall  $[0,1]$ ) sind im Idealfall ohne die Kontamination mit kohärentem Noise und unter Annahme von homogenen Quellen nur zwei größer als Null. Die Kohärenzdimension beträgt also zwei nach der Anzahl der Anregungsrichtungen des MT-Signals.

In gestörten Frequenzbereichen dagegen können auch die restlichen Eigenwerte anwachsen. Benutzt man nun reihum jede Station als *lokale* Station, ist es möglich, den interstationären Noise zu charakterisieren, d.h. die Station zu identifizieren, die am wenigsten kohärentes Rauschen mit den anderen teilt.

Bei diesem Verfahren werden alle Kanäle gleichberechtigt betrachtet, d.h. die Kreuz- und Autospektren werden nicht in Ein- und Ausgangskanäle unterschieden.

## 4 Beispiele Parkfield 2005

Im Frühjahr 2005 wurden über der San Andreas Verwerfung nahe Parkfield/Kalifornien im DFG-Projekt DeepRoot 2005 vom GFZ ein MT-Profil mit Breitbandstationen sowie ein Array mit LMT-Stationen installiert (siehe hierzu die Beiträge von W. Wilhelms und M. Becken in diesem Band). An allen LMT-Stationen wurden für drei Tage während der Messkampagne auch Breitbanddaten registriert. Solche, bei denen dies gleichzeitig geschah, konnten zur Berechnung von kanonischen Kohärenzen herangezogen werden. Ziel dessen ist die Charakterisierung des interstationären Rauschens, sowie das Finden einer geeigneten Referenzstation für das *remote-reference*-Verfahren bei gestörten Stationen.

Im hier diskutierten Beispiel wurden die Zeitreihen dreier Stationen synchronisiert, schmalbandig gefiltert, in gleichlange Segmente (events) unterteilt und fouriertransformiert. Die Fourierkoeffizienten wurden in Unterbänder so unterteilt, dass die Zielfrequenzen auf einer logarithmischen Skala gleichverteilt sind. Anschließend wurden für jedes Unterband die Eigenwerte von Gleichung 7 berechnet, so erhält man für jede Zielfrequenz fünf ccs.

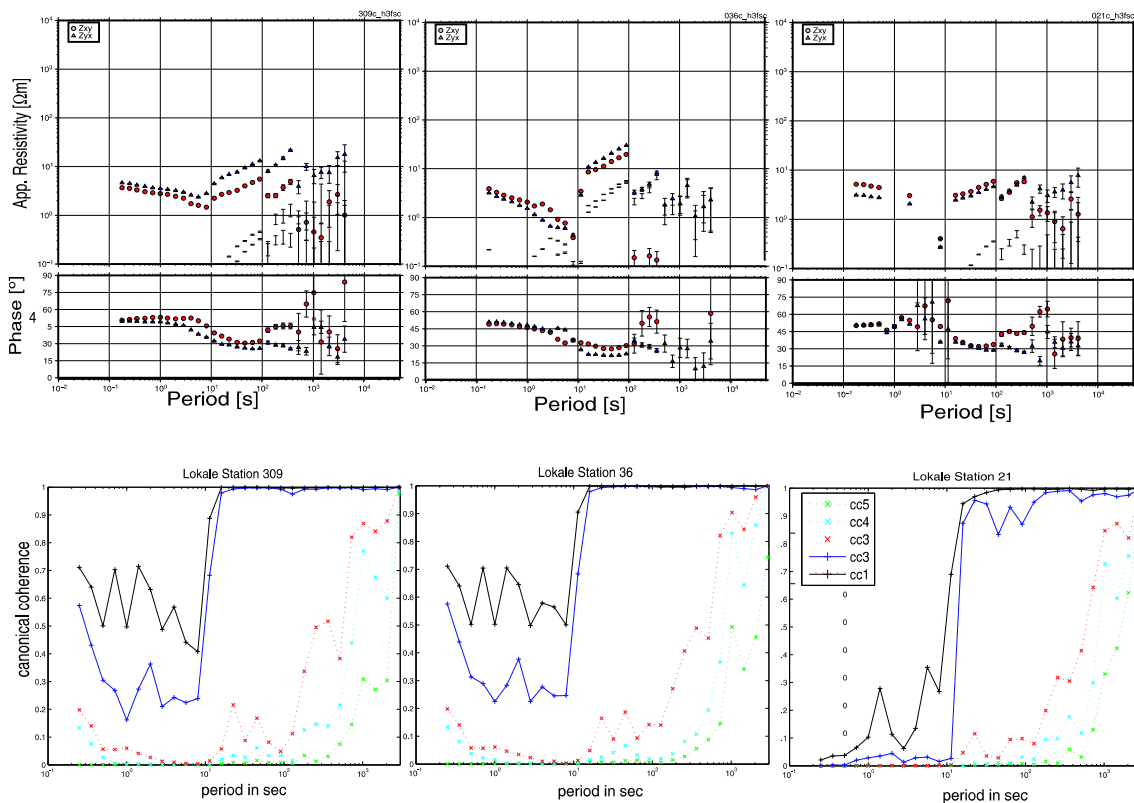


Abbildung 1: (oben) Single-Site-processing für Stationstripel 21 (links) 36 (mitte, beide im zentralen Teil des Profils) und 309 (rechts, ca. 20 km weiter nord-östlich). Übertragungsfunktion wurden bestimmt nach [Egbert, 1986]. Besonders die Stationen 21 und 36 sind im Bereich 1-10s gestört.

Abbildung 2: (unten) Kanonische Kohärenzen fürs Stationstrio 309, 36, 21. Bei Perioden  $> 1s$  tritt fast der Idealfall ein: nur zwei ccs sind signifikant größer als Null, die Kohärenzdimension ist also 2, alle kürzeren Perioden aber sind gestört. Besonders Station 21 ist zwischen 1-10s stark verrauscht. Das Ansteigen aller ccs bei langen Perioden ( $> 500s$ ) ist vermutlich auf die geringere Anzahl von Freiheitsgraden ( $< 10$  events) in diesen Frequenzbereichen zurückzuführen.

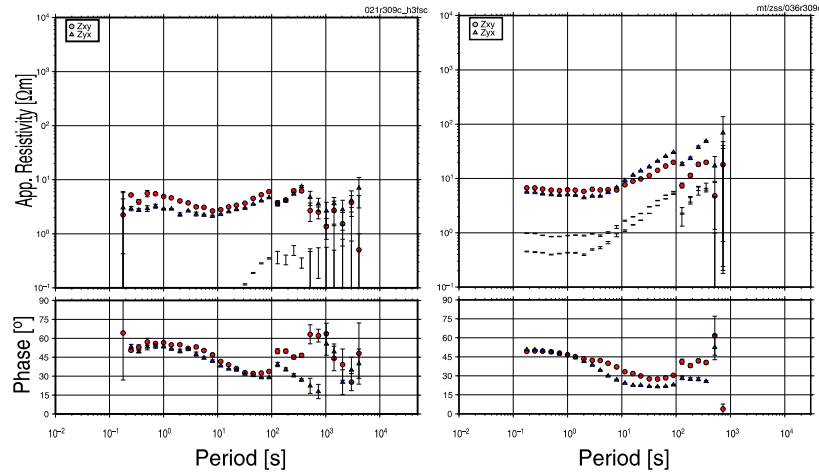


Abbildung 3: Ergebnis für remote-reference nach [Egbert, 1986] mit Referenzstation 309: deutliche Verbesserung im ehemals gestörten Frequenzbereich von Station 21 (links), auch bei Station 36 (rechts)

## 5 Offene Fragen und Ausblick

- ccs enthalten keine Informationen über die Amplitude des kohärenten Noise
- Berechnung der ccs für einzelne events ergibt keine sinnvollen Ergebnisse, Aufsummierung der Fourierkoeffizienten mehrerer Zeitsegmente ist nötig
- Verhalten bei langen Perioden unklar: Induktionsraum wird größer, also größere Kohärenzlänge, aber die Anzahl von events wird geringer, statistische Aussagen haben also weniger Gewicht
- Um die offenen Fragen zu beantworten sollen die ccs mit synthetischen Daten genauer untersucht werden: Test mit einzelnen verrauschten Kanälen, Bestimmung der Kohärenzlänge von Noise (örtliche Reichweite)...

## Literatur

[Egbert, 1986] Egbert, G. (1986). Robust estimation of geomagnetic transfer functions. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 87.

[Egbert, 1997] Egbert, G. (1997). Robust multiple-station magnetotelluric data processing. *GJI*, 130.

[Morrison, 1967] Morrison, D. (1967). *Multivariate Statistical Methods*. McGraw-Hill.