

Bachelor-Thesis 2017

Zeit-Frequenzanalyse zur Untersuchung von geodätischen Zeitreihen

```
# Berechnung des Mittelwertes jedes n-ten Messwertes, N ist die Anzahl Messwerte pro Jahr
jahresperiode <- aggregate(list(mean = trendb_ts), list(t = t50:(floor(takt_gewaehlt)+1), mean)
# Wdhlen wie viele Messwerte für jedes Mittel verwendet wurden
wochenr <- list(t = t1:round(takt_gewaehlt))
anz_werte_pro_mittelwert <- hist(wochenr$t, breaks = seq(min(wochenr$t)-1, max(wochenr$t)), plot = F)
# Berechnung der Standardabweichung jedes Mittelwertes
jahresperiode_sd <- aggregate(list(sd = trendb_ts), list(t = t1:round(takt_gewaehlt)), sd)
jahresperiode_sd_mean <- jahresperiode_sd$id / sort(anz_werte_pro_mittelwert$count)
# Wiederholung der Jahresperiode über die Länge der Zeitreihe wiederholen
mehr_jahresperiode <- rep(jahresperiode$mean, length.out = length(t))
mehr_jahresperiode_sd <- rep(jahresperiode_sd$mean, length.out = length(t))
# Falls gewünschte Glättung der Jahresperiode und der Standardabweichung des Mittelwertes
# führt zu nach Glättung zu ganz anderen Resultaten
if(glaettung == 'keine'){
  mehr_jahresperiode_smooth <- smooth.spline(mehr_jahresperiode, spar = glaettung)
  mehr_jahresperiode_sd_smooth <- smooth.spline(mehr_jahresperiode_sd, spar = glaettung)
} else {
  mehr_jahresperiode <- mehr_jahresperiode_smoothly
  mehr_jahresperiode_sd <- mehr_jahresperiode_sd_smoothly
}
# Umwandeln der Jahresperiode in die Class ts
mehr_jahresperiode_ts <- ts(mehr_jahresperiode, frequency = takt_gewaehlt, start = berechnung_eckpunkte(datenid)
# Signifikanzgrenze der Jahresperiode berechnen (2*sigma) und Umwandlung in Class ts
sigma_up <- ts(mehr_jahresperiode_sd*2, frequency = takt_gewaehlt, start = berechnung_eckpunkte(datenid))
sigma_down <- ts(-1*mehr_jahresperiode_sd*2, frequency = takt_gewaehlt, start = berechnung_eckpunkte(datenid))
# Darstellung der berechneten Jahresperiode mit den Genauigkeit und am Ende des Exportieren
pdf(paste('Zeitfrequenzanalyse', datenid, 'ts', 'sigma', 'pdf', sep = ''), width =
plot.ts(mehr_jahresperiode_ts, ylab = c('meh_jahresperiode', 'sigma_up', 'sigma_down', 'max'),
lines(sigma_up, col = 'red', lwd = 2),
lines(sigma_down, col = 'red', lwd = 2),
legend('topleft', c('jahresperiodicitat_geschätzt', 'signifikanzgrenzen (2.5 sigma)'), col=c('blue', 'red'), t
dev.off())
# Output: ts der Jahresperiode ohne Genauigkeit
return(mehr_jahresperiode_ts)
}
```

Autor: Samuel Järman

Examinator: Prof. Dr. Denis Jordan

Experte: Prof. Dr. Marcel Steiner

Zeit-Frequenzanalyse zur Untersuchung von geodätischen Zeitreihen

Der Bau des Gotthardbasistunnels hat die umliegende Landschaft hinsichtlich ihrer Lage beeinflusst. Die Untersuchung von geodätischen Zeitreihen, die aus der Überwachung der Talsperre Nalps gewonnen wurden, zeigte Fluktuationen der Messpunkte an den Talflanken. In dieser Arbeit wurden diese aufgegriffen und aus dem Blickwinkel des Schwingungsverhaltens mit Hilfe der Fourieranalyse explorativ untersucht.

Schlagworte: Fouriertransformation, Frequenzraum, Geomonitoring, Ortsraum, Spektralanalyse, Zeit-Frequenzanalyse, Zeitreihen

1. Was ist die Fouriertransformation?

Die Fouriertransformation ist ein mächtiges Instrument zur Periodizitätsanalyse von Zeitreihen (zeitliche Abfolge beobachteter Messwerte), unter anderem von geodätischen Zeitreihen. Sie ermöglicht es, die Zeitreihe verlustfrei und umkehrbar vom Ortsraum in den Frequenzraum zu transformieren. Während im Ortsraum Verschiebungen auf einer Zeitachse dargestellt werden, lassen sich im Frequenzraum das Vorkommen und Verhalten von periodisch wiederkehrenden Verschiebungen untersuchen. Abbildung 1 zeigt die Darstellung einer geodätischen Zeitreihe im Orts- und Frequenzraum.

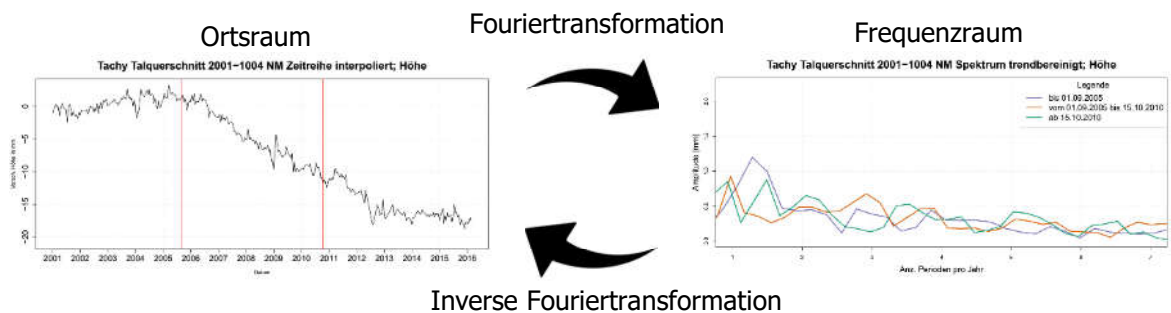


Abb. 1: Darstellung der Fouriertransformation mit inversen Fouriertransformation (verlustfrei falls Amplituden- und Phaseninformation einbezogen werden)

2. Programm 'Spektralanalyse'

Das neu entwickelte Programm 'Spektralanalyse' wurde mit Hilfe der Programmiersprache R (Version 3.4.0, R Foundation for Statistical Computing, Wien) geschrieben und baut auf dem Programm 'Zeitreihenanalyse' auf, das in vergangenen Bachelor Thesen (BTh16-05 IVGI, Hirsbrunner 2016) entwickelt wurde. Mit dem Programm 'Zeitreihenanalyse' wird die Zeitreihe von Ausreißern befreit und Datenlücken werden linear interpoliert. Diese bereinigte Zeitreihe wird exportiert und ins Programm 'Spektralanalyse' importiert. Da die Fouriertransformation eine feste Abtastrate voraussetzt, werden die Zeitreihen mit einem nicht streng regelmässigen Messintervall zunächst auf ein streng regelmässiges Messintervall gebracht. Zudem können diverse Parameter eingestellt werden.

Beispielsweise, ob eine Jahresperiode automatisch, manuell oder nicht modelliert werden soll. Ausserdem kann die Zeitreihe in bis zu drei Teile gespalten und die Spektren dann in einer Grafik verglichen werden.

3. Resultate der Spektralanalyse

Es wurden diverse Spektren von unterschiedlichen Zeitreihen des Geomonitorings der Talsperre Nalps vor dem Bau, während dem Bau und nach dem Hauptdurchstich des Gotthardbasistunnels dargestellt und visuell untersucht. Die Spektren in Abbildung 2 zeigen markante Veränderungen der Jahresperiodizität zwischen den Epochen vor dem Tunnelbau und nach dem Hauptdurchstich an und deuten auf eine Veränderung des Schwingungsverhaltens des Tals hin. Im Kontrast dazu liessen sich in den Höhenverschiebungen keine spektralen Unterschiede feststellen (Abb. 3). Diese Ergebnisse sind auf dem aktuellen Stand der explorativen Untersuchung und müssen in weiterführenden Arbeiten durch statistische Tests überprüft werden.

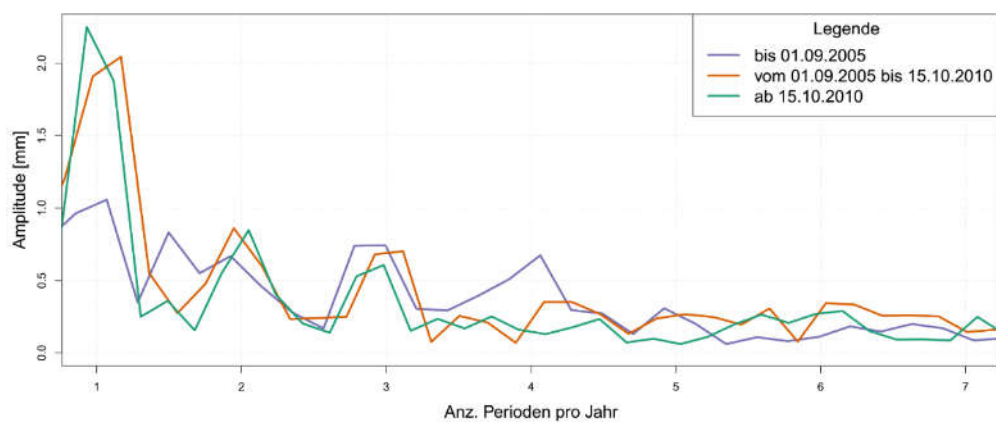


Abb. 2: Unterschied der Spektren vor dem Bau (blau), während dem Tunnelbau im Gebiet Nalps (rot) und nach dem Hauptdurchstich (grün) des tachymetrisch gemessenen Talquerschnittes 2001-1004 quer zur Talachse

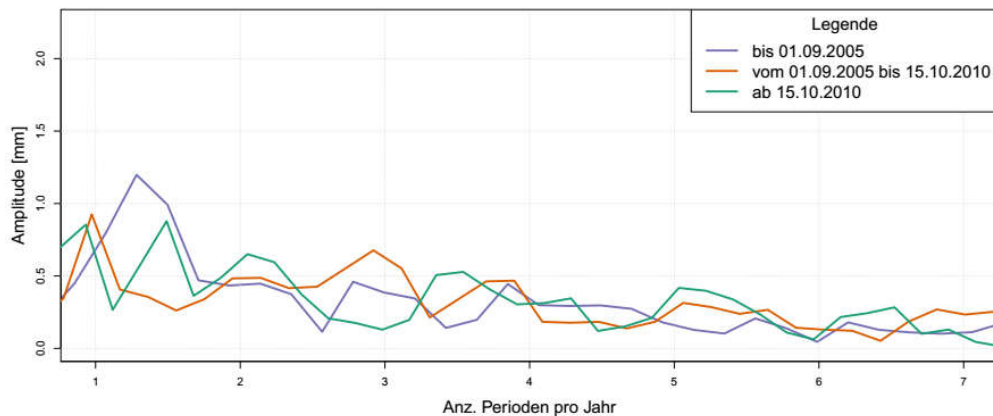


Abb. 3: Unterschied der Spektren vor dem Bau (blau), während dem Tunnelbau im Gebiet Nalps (rot) und nach dem Hauptdurchstich (grün) des tachymetrisch gemessenen Talquerschnittes 2001-1004 in der Höhe

4. Kontakt

Autor:	Samuel Järmann	samuel.jaermann@g2014.ch
Examinator:	Prof. Dr. Denis Jordan	denis.jordan@fhnw.ch
Experte:	Prof. Dr. Marcel Steiner	marcel.steiner@fhnw.ch