

Einflüsse geometrischer Radar-
Aufnahmekonstellationen auf die Qualität der
kombinativ berechneten
Bodenbewegungskomponenten

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades
der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von
Xiaoxuan Yin
aus Peking, Volksrepublik China

genehmigt durch die Fakultät für
Energie- und Wirtschaftswissenschaften
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung
13.05.2020

Inhaltverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Abstract.....	iii
Inhaltverzeichnis	v
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung.....	1
1.2 Motivation und Zielsetzung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Grundlagen zur Bodenbewegung.....	8
2.1 Boden, Bodenbewegung.....	8
2.2 Bodenbewegungsmessung und -analyse.....	13
3 Grundlagen der Radarinterferometrie.....	18
3.1 Radar mit synthetischer Apertur	18
3.1.1 Allgemeines	18
3.1.2 Aufnahmegeometrie des SAR-Systems	19
3.2 Radarinterferometrie als Messverfahren für die Erfassung von Bodenbewegungen	26
3.2.1 DInSAR	26
3.2.2 PSI.....	30
3.2.3 Fehlereinflüsse bei der PSI-Auswertung.....	32
3.3 Geometrische Bedeutung der LoS-Bewegung.....	35
3.3.1 Azimut der Blickrichtung.....	37
3.3.2 Einfallswinkel der Blickrichtung.....	40
3.3.3 Projektion einer dreidimensionalen Bewegung auf die Blicklinie	42
3.3.4 Bewegungsrichtungsabhängige Empfindlichkeit der LoS-Messung.....	45
4 Theorie zur Bestimmung von Bodenbewegungskomponenten mittels LoS-Messungen.....	48
4.1 Bekannte Verfahren zur Bestimmung der Bodenbewegungskomponenten	49
4.1.1 Einzelaufnahmegeometrie	50
4.1.2 Zweiaufnahmegeometrie	52
4.1.3 Drei oder mehr Aufnahmegeometrie.....	54
4.1.4 Einsatzmöglichkeit für „den allgemeinen Fall“.....	56
4.2 Bestimmung von Bodenbewegungen mittels einer einzelnen Aufnahmegeometrie.....	63
4.2.1 Funktionaler Zusammenhang	63
4.2.2 Systematische Abweichungen infolge der Modellannahme	65
4.3 Bestimmung von Bodenbewegungen mittels der kombinativen Berechnung mit zwei sich kreuzenden Tracks	71
4.3.1 Funktionaler Zusammenhang	72
4.3.2 Systematische Abweichung infolge der Modellannahme.....	75
4.3.3 Statistische Unsicherheit	100
4.4 Bestimmung von Bodenbewegungen mittels der kombinativen Berechnung mit zwei parallelen Tracks.....	104
4.4.1 Funktionaler Zusammenhang	105
4.4.2 Systematische Abweichungen infolge der Modellannahme	107
4.4.3 Statistische Unsicherheit	112
5 Durchführung und Analyse von kombinativen Berechnungen mit unterschiedlichen, realen Aufnahmegeometrien zur Ableitung von Bodenbewegungskomponenten.....	114
5.1 Beschreibung der verwendeten Datensätze.....	115
5.1.1 Radardaten	115
5.1.2 Digitales Höhenmodell.....	119
5.1.3 Radarkonstellation	119
5.2 Prozessablauf der kombinativen Berechnungen	121
5.2.1 PSI-Ergebnisse als Eingangsdaten	124

5.2.2	Bereinigung der PSI-Ergebnisse.....	129
5.3	Ergebnisse der kombinativen Berechnungen	135
5.3.1	Kombinativ berechnete Höhenänderungen	137
5.3.2	Kombinativ berechnete Ost-West-Bewegungskomponente	142
5.4	Raumzeitliche Analysen der kombinativ berechneten Bewegungskomponenten	147
5.4.1	Jahresscheiben der Höhenänderung und Ost-West-Bewegungskomponente	147
5.4.2	Linien gleicher Höhenänderung und Ost-West-Bewegungskomponente	152
5.4.3	Zeitliche Profile der Höhenänderungen und Ost-West-Bewegungen	156
6	Qualität der kombinativen Berechnungen	162
6.1	Statistische Qualität der Ergebnisse	163
6.1.1	Statistische Unsicherheit der kombinativ berechneten Höhenänderungen	164
6.1.2	Statistische Unsicherheit der kombinativ berechneten Bewegungskomponente in der Ost-West-Richtung	172
6.2	Abschätzung der systematischen Abweichungen mittels der ortsabhängigen ϵ -Faktoren	177
6.3	Abschätzung der systematischen Abweichungen mittels der Nord-Süd-Bewegungs- komponente basierend auf geometrischen Annahmen	182
6.3.1	Charakteristiken der grundlegenden Modellvorstellung	183
6.3.2	Abschätzung der maximalen systematischen Abweichungen des Fallbeispiels	184
6.3.3	Ermittlung der Nord-Süd-Bewegungskomponente mittels der grundlegenden Modellvorstellung	185
7	Zusammenfassung und Empfehlungen	203
7.1	Zusammenfassung	203
7.2	Empfehlung zur Reduktion der statistischen Unsicherheiten	208
7.3	Empfehlung zur Reduktion der systematischen Abweichungen	209
8	Literaturverzeichnis	211
Anhang I: Bodenbewegungsmodell der simulierten Senkungsmulde		216
Anhang II: Basisliniendiagramme		219
Abbildungsverzeichnis.....		221
Tabellenverzeichnis.....		226
Symbolverzeichnis.....		227
Danksagung		229