

Freie Universität Berlin  
Institut für Geologische Wissenschaften

# **Diplomkartierung und -arbeit**

## **Einfluss des Lockne Impaktkraters auf das lokale und regionale Deformationsfeld während der Kaledonischen Orogenese**

**Teil A: Strukturgeologische Kartierung im Westteil des Lockne Impaktkraters, Mittelschweden**

**Teil B: Einfluss kleinskaliger Reibungsheterogenitäten auf die Entwicklung von Vorlandüberschiebungsgürteln**

vorgelegt von: Franziska Kiebach  
Erstgutachter: PD Dr. Thomas Kenkmann, Humboldt Universität  
Zweitgutachterin: Dr. Nina Kukowski, GeoForschungsZentrum Potsdam  
vorgelegt am: 06.01.2009

# **Inhaltsverzeichnis**

**Eidesstattliche Erklärung**

**Abbildungsverzeichnis**

**Tabellenverzeichnis**

**Filmverzeichnis (CD)**

**CD-Verzeichnis**

## **I Einleitung**

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **II Teil A: Strukturgeologische Kartierung im Westteil des Lockne Impaktkraters, Mittelschweden**

<b>2. Zielsetzung der strukturgeologischen Kartierung.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Lage des Impaktkraters und Arbeitsmethoden.....</b>	<b>3</b>
3.1. Lage und Geographie.....	3
3.2. Arbeitsmethoden.....	6
<b>4. Impaktgeologie.....</b>	<b>7</b>
4.1. Kontakt-und Kompressionsphase.....	9
4.2. Exkavationsphase.....	10
4.3. Modifikationsphase.....	12
<b>5. Geologie Schwedens.....</b>	<b>14</b>
<b>6. Kaledonische Orogenese.....</b>	<b>16</b>
<b>7. Geologie des Lockne Kraters.....</b>	<b>21</b>
<b>8. Gesteinseinheiten.....</b>	<b>25</b>
8.1. Präimpaktgesteine.....	27
8.1.1. Revsundgranit.....	27
8.1.2. Dolerit.....	28
8.1.3. Alaunschiefer.....	29
8.1.4. Töyen Schiefer.....	30
8.1.5. Orthoceratitenkalkstein.....	32
8.2. Impaktgesteine.....	35
8.2.1. Tandsbyn Brekzie.....	35

8.2.2. Lockne Brekzie.....	37
8.2.3. Loftarsten.....	39
8.3. Postimpaktgesteine.....	41
8.3.1. Dalby Kalkstein.....	41
8.4. Quartärgeologie.....	43
<b>9. Tektonik.....</b>	<b>44</b>

### **III Teil B: Einfluss kleinskaliger Reibungsheterogenitäten auf die Entwicklung von Vorlandüberschiebungsgürteln**

<b>10. Zielsetzung der Diplomarbeit.....</b>	<b>49</b>
<b>11. Mechanisches Konzept.....</b>	<b>50</b>
11.1. Elasto-plastische Deformation und das Mohr-Coulomb'sche Bruchkriterium.....	51
11.2. Die Theorie kritischer Keile.....	53
<b>12. Anlogsimulation.....</b>	<b>56</b>
12.1. Skalierung von Analogexperimenten.....	57
12.2. Grenzen der Anlogsimulation.....	58
12.3. Materialeigenschaften.....	59
12.4. Prinzipieller Experimentaufbau.....	61
12.4.1. Versuchsaufbau – 2D-Serie.....	61
12.4.2. Versuchsaufbau – 3D-Serie.....	64
<b>13. Analysemethoden.....</b>	<b>67</b>
13.1. Deformationsanalyse mittels digitaler Bildsequenzen.....	67
13.2. Deformationsanalyse mittels Particle Imaging Velocimetry (PIV).....	69
<b>14. Versuchsbeobachtung (2D-Serie).....</b>	<b>70</b>
14.1. Referenzversuch mit schwachem Abscherhorizont.....	70
14.2. Referenzversuch mit starkem Abscherhorizont.....	76
14.3. Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität.....	82
14.4. Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität.....	89
<b>15. Versuchsbeobachtung (3D-Serie).....</b>	<b>96</b>
15.1. Versuch 3D_18-06.....	96
15.2. Versuch 3D_18-09.....	99
<b>16. Zusammenfassung, Vergleich und geodynamische Interpretation der Experimente.....</b>	<b>102</b>

## **IV Diskussion und Schlussfolgerung**

<b>17. Diskussion und Schlussfolgerung</b> .....	105
17.1. Radiale Rückspülrinnen oder spätere Verstellung der Schichten?.....	105
17.2. Einfluss der Kaledoniden auf den Lockne Krater.....	107
17.3. Strukturelle Entwicklung in Folge des Lockne Impaktkraters.....	109
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	110

### **Anhang**

Aufschlusspunktetabelle

Messwerttabelle

Tektonische Karte mit Aufschlüsse

Geologische Karte

Übersicht zu den gemachten Versuchen

CD

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 3.1:</b> Übersichtskarte.....	3
<b>Abb. 3.2:</b> Einteilung der Gebiete und geologische Karte.....	5
<b>Abb. 4.1:</b> Kompressionsphase und Exkavationsphase eines modellierten Impakts.....	7
<b>Abb. 4.2:</b> Ausbreitung der Schockwellen während des Kontakt- und Kompressionsstadiums.....	9
<b>Abb. 4.3:</b> Wachstum eines Impakts.....	10
<b>Abb. 4.4:</b> "overtuned flap" .....	10
<b>Abb. 4.5:</b> Kraterformen.....	12
<b>Abb. 5.1:</b> Das Baltische Schild und deren Gesteine.....	14
<b>Abb. 6.1:</b> Paleogeographische Karte des Silur.....	16
<b>Abb. 6.2:</b> Plattentektonik der Kaledoniden.....	17
<b>Abb. 6.3:</b> Tektonisch-stratigraphische Karte der skandinavischen Kaledoniden.....	18
<b>Abb. 7.1:</b> Geologische Karte des Lockne Kraters.....	22
<b>Abb. 7.2:</b> Topographie des Lockne Kraters.....	23
<b>Abb. 8.1:</b> Präimpaktäre, impaktäre und postimpaktären Gesteine im Kartiergebiet.....	26
<b>Abb. 8.2:</b> Revsundgranit.....	28
<b>Abb. 8.3:</b> Dünnschliff Dolerit.....	29
<b>Abb. 8.4:</b> Alaunschiefer mit Pyritknolle.....	30
<b>Abb. 8.5:</b> Graptolith im Töyen Schiefer.....	31
<b>Abb. 8.6:</b> Tektonisch beanspruchter Orthoceratitenkalksteinaufschluss.....	32
<b>Abb. 8.7:</b> Stratigraphische Einteilung der Präimpakt-Sedimentation.....	33
<b>Abb. 8.8:</b> Hohen Kalkstein mit Orthoceratiten.....	34
<b>Abb. 8.9:</b> Dünnschliff Orthoceratitenkalkstein.....	34
<b>Abb. 8.10:</b> Dolerit in Alaunschiefer „gebettet“.....	35
<b>Abb. 8.11:</b> Tandsbyn Brekzie mit "fitting" Gefüge.....	35
<b>Abb. 8.12:</b> Monomikte Tandsbyn Brekzie.....	36
<b>Abb. 8.13:</b> Dünnschliff Tandsbyn Brekzie.....	36
<b>Abb. 8.14:</b> Stark verwitterter Lockne Brekzie.....	37
<b>Abb. 8.15:</b> komponentengestützte Lockne Brekzie.....	37
<b>Abb. 8.16:</b> Graduierung in der Lockne Brekzie.....	38
<b>Abb. 8.17:</b> Dünnschliff einer komponentengestützten Brekzie.....	38
<b>Abb. 8.18:</b> Loftarsten.....	39
<b>Abb. 8.19:</b> Loftarsten mit Granit.....	39
<b>Abb. 8.20:</b> Dünnschliff Loftarsten mit Fließgefüge.....	40

<b>Abb. 8.21:</b> Dalby Kalkstein im kleinen Steinbruch am Ynntjärnen.....	41
<b>Abb. 8.22:</b> Cystoidea im Dalby Kalkstein.....	41
<b>Abb. 8.23:</b> Dalby verfaltet.....	42
<b>Abb. 8.22:</b> Geschiebe südlich von Tand.....	43
<b>Abb. 9.1:</b> Profil C-D.....	44
<b>Abb. 9.2:</b> Bahnprofil (Profil A-B) südlich des Yntjärnen.....	45
<b>Abb. 9.3:</b> Schichteinfallen der Lockne Brekzie.....	46
<b>Abb. 9.4:</b> Lagerung des Orthoceratitenkalksteins.....	46
<b>Abb. 9.5:</b> Orientierung des Dalby Kalksteins.....	47
<b>Abb. 9.6:</b> Tektonische Karte mit Lage der Profile.....	48
<b>Abb. 11.1:</b> Das Mohr-Coulomb'sche Bruchkriterium.....	51
<b>Abb. 11.2:</b> Spannungs- Deformationskurve verschiedener Materialien.....	52
<b>Abb. 11.3:</b> Bulldozermodell eines konvergenten Keils.....	53
<b>Abb. 11.4:</b> Stabilitäts-Diagramm eines konvergenten Keils.....	54
<b>Abb. 12.1:</b> Prinzip des Ringschergerätes.....	59
<b>Abb. 12.2:</b> Schematisierte Darstellung des Experimentaufbaus (2D-Serie).....	62
<b>Abb. 12.3:</b> Experimentbezeichnung und schematisierter Versuchsaufbau der 2D-Serie.....	63
<b>Abb. 12.4:</b> Schematisierte Darstellung des Experimentaufbaus (3D-Serie).....	64
<b>Abb. 12.5:</b> Experimentbezeichnung und schematisierter Versuchsaufbau der 3D-Serie.....	65
<b>Abb. 13.1:</b> Messung der Spacings.....	67
<b>Abb. 13.2:</b> Messung der Überschiebungsfront im Abstand zur Rückwand.....	68
<b>Abb. 13.3:</b> Messung des Hangwinkels.....	68
<b>Abb. 14.1:</b> Schematischer Versuchsaufbau des Referenzversuchs mit schwachem Abscherhorizont (2D-Serie).....	70
<b>Abb. 14.2:</b> Überschiebungen des Akkretionskeils im Referenzversuch mit schwachem Abscherhorizont (2D-Serie).....	70
<b>Abb. 14.3:</b> Überschiebungsaktivitäten im Referenzversuch mit schwachem Abscherhorizont.....	71
<b>Abb. 14.4:</b> Histogramme der Überschiebungsaktivität und des spacing.....	72
<b>Abb. 14.5:</b> Öffnungswinkel der Referenzversuche mit schwachem Abscherhorizont.....	73
<b>Abb. 14.6:</b> Lage der Überschiebungsfront im Referenzversuch mit schwachem Abscherhorizont..	73
<b>Abb. 14.7:</b> Raum-Zeit-Diagramme im Referenzversuch mit schwachem Abscherhorizont.....	74
<b>Abb. 14.8:</b> Strukturevolution des Versuchs 2D_18-13.....	75
<b>Abb. 14.9:</b> Schematischer Versuchsaufbau des Referenzversuchs mit starkem Abscherhorizont (2D- Serie).....	76
<b>Abb. 14.10:</b> Überschiebungen des Akkretionskeils im Referenzversuch mit starkem	

Abscherhorizont (2D-Serie).....	76
<b>Abb. 14.11:</b> Überschiebungsaktivitäten im Referenzversuch mit starkem Abscherhorizont.....	77
<b>Abb. 14.12:</b> Histogramme der Überschiebungsaktivität und des spacing.....	78
<b>Abb. 14.13:</b> Öffnungswinkel der Referenzversuche mit starkem Abscherhorizont.....	79
<b>Abb. 14.14:</b> Lage der Überschiebungsfront im Referenzversuch mit starkem Abscherhorizont.....	79
<b>Abb. 14.15:</b> Raum-Zeit-Diagramme im Referenzversuch mit starkem Abscherhorizont.....	80
<b>Abb. 14.16:</b> Strukturevolution des Versuchs 2D_18-17.....	81
<b>Abb. 14.17:</b> Schematischer Versuchsaufbau der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität (2D-Serie).....	82
<b>Abb. 14.18:</b> Überschiebungen des Akkretionskeils in der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität (2D-Serie).....	82
<b>Abb. 14.19:</b> Überschiebungsaktivitäten in der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität.....	83
<b>Abb. 14.20:</b> Histogramme der Überschiebungsaktivität und des spacing.....	84
<b>Abb. 14.21:</b> Öffnungswinkel der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität.....	86
<b>Abb. 14.22:</b> Lage der Überschiebungsfront in der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität.....	86
<b>Abb. 14.23:</b> Raum-Zeit-Diagramme in der Anlogsimulation mit starker Reibungsheterogenität..	87
<b>Abb. 14.24:</b> Strukturevolution des Versuchs 2D_18-26.....	88
<b>Abb. 14.25:</b> Schematischer Versuchsaufbau der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität (2D-Serie).....	89
<b>Abb. 14.26:</b> Überschiebungen des Akkretionskeils in der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität (2D-Serie).....	89
<b>Abb. 14.27:</b> Überschiebungsaktivitäten in der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität.....	90
<b>Abb. 14.28:</b> Histogramme der Überschiebungsaktivität und des spacing.....	91
<b>Abb. 14.29:</b> Öffnungswinkel der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität.....	93
<b>Abb. 14.30:</b> Lage der Überschiebungsfront in der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität.....	93
<b>Abb. 14.31:</b> Raum-Zeit-Diagramme in der Anlogsimulation mit schwacher Reibungsheterogenität.....	94
<b>Abb. 14.31:</b> Strukturevolution des Versuchs 2D_18-21.....	95
<b>Abb. 15.1:</b> schematischer Versuchsaufbau des Versuchs 3D_18-06.....	96
<b>Abb. 15.2:</b> Schräge Aufsicht auf das Versuchsmodell.....	97
<b>Abb. 15.3:</b> abgeleitetes kinematisches Modell im Hangenden des Abscherhorizonts.....	97

<b>Abb. 15.4:</b> Strukturevolution des Versuchs 3D_18-06.....	98
<b>Abb. 15.5:</b> schematischer Versuchsaufbau des Versuchs 3D_18-09.....	99
<b>Abb. 15.6:</b> Schräge Aufsicht auf die Silikonschicht.....	100
<b>Abb. 15.7:</b> abgeleitetes kinematisches Modell im Liegenden des Abscherhorizonts.....	100
<b>Abb. 15.8:</b> Strukturevolution des Versuchs 3D_18-09.....	101
<b>Abb. 16.1:</b> Lage der Überschiebungsfrent im Vergleich Referenzversuch zu Anlogsimulationen mit Reibungsheterogenitäten.....	103
<b>Abb. 17.1:</b> Rückspülrinnen (resurge gullies).....	105
<b>Abb. 17.2:</b> Rosen- Diagramm.....	106
<b>Abb. 17.3:</b> Schichtanschnitt im Dalby Kalkstein.....	106
<b>Abb. 17.4:</b> Topographie der subkambrischen Peneplain und dem Alaunschiefer.....	107

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 12.1:</b> Physikalische Eigenschaften der verwendeten Materialien.....	60
<b>Tabelle 13.1:</b> In den Simulationen verwendete Bild- und Korrelationsparameter.....	69

## **Filmverzeichnis**

PIV-Film des Versuchs 2D\_18-15  
 PIV-Film des Versuchs 2D\_18-19  
 PIV-Film des Versuchs 2D\_18-22  
 PIV-Film des Versuchs 2D\_18-27

## **CD-Verzeichnis**

PIV-Filme

Messdaten:   1. Spacing  
                   2. Störungsaktivität  
                   3. Überschiebungsfronten  
                   4. Winkel