

0. EINLEITUNG UND ÜBERSICHT

Die Kaledoniden sind für die Erkundung eines Orogens ein faszinierendes Forschungsgebiet. Insgesamt existieren in diesem Gebirge beste Voraussetzungen für die modellhafte Untersuchung von Mechanismen in der Entwicklung von Orogenen. Das tiefe Erosionsniveau gewährt einen Einblick in die unteren Teile des Orogens, der strukturelle Bau ist regelmäßig und die Gesteine bieten eine Fülle von Kriterien für ihre lithostratigraphische und strukturgeologische Klassifizierung. Das mittlere Stockwerk auf der Ostseite am Rand des Orogens (Mittleres Allochthon, Abb. 0.1) hat im Rahmen des derzeitigen geologischen Wissensstandes als Deckeneinheit eine Schlüsselstellung. Die auftretenden Gesteinseigenschaften und Verformungs- bzw. Überprägungsarten lassen sowohl zum unteren als auch zum oberen Stockwerk tektonische Schlußfolgerungen zu. So entsteht die Möglichkeit festzustellen, wie sich einerseits Deformation an der Basis des orogenen Keils in die überlagernden Deckeneinheiten durchprägt, und andererseits vorhandene ältere, den Deckeneinheiten jeweils eigene Deformationen überprägt werden.

Die vorliegende Arbeit versteht sich als Schritt auf dem Weg zu einer systematischen Aufarbeitung dieser mittleren Deckeneinheit. Dabei ist systematisch im Sinne der systematischen Methode, also nicht als Aufarbeitung möglichst vieler Gesichtspunkte, sondern als Bearbeitung unter Berücksichtigung eines möglichst großen Zusammenhangs zu verstehen (Kapitel 0.3.1).

In diesem Sinne beschäftigt sich die vorliegende Arbeit im mittleren Stockwerk mit folgenden Punkten:

1. Interpretation der Lithologie: Becken/passiver Kontinentalrand.
2. Erfassung der Struktur und ihre Entwicklung.
3. Interpretation der Strukturen: Deckenbau/Kompression.

Die Klärung dieser Punkte soll zu einer Darstellung der regionalen Entwicklung ausgearbeitet werden, und zwar zusammen mit bisherigen Arbeiten zum Mittleren Allochthon (z.B. Greiling 1985, Greiling 1989), zu angrenzenden Deckeneinheiten (z.B. Zachrisson 1969,

Kumpulainen & Nystuen 1985, Hossack & Cooper 1986, Stephens & Gee 1985), im Vergleich zu ähnlichen Fragestellungen in anderen Teilen der Kaledoniden (z.B. Brynhi & Sturt 1985, Schmid et al. 1998) sowie mit der Suche nach sedimentären und tektonischen Verknüpfungen zu ähnlichen Gesteinsarten angrenzender und weiter entfernter Deckeneinheiten (z.B. Risbäck-Gruppe, Jotun-Decke: Kruse 1998, Trondheim: Tietsch-Tyler, 1989).

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten geologischen Kartierungen eines Gebietes von etwa 80 km Breite und 130 km Länge bilden die Basis für die Erstellung einer aktuellen geologischen Karte zum Mittleren Allochthon im Maßstab 1:20 000. Bei der Geländeaufnahme wurden alle Teile des orogenen Keils erfaßt, vom Baltischen Schild und seiner autochthonen Sedimentauflage bis ins Obere Allochthon, der höchst metamorphen Deckeneinheit im orogenen Keil. Der Bereich, aus dem Daten zum Mittleren Allochthon zusammengetragen wurden, umfaßt dabei ein Gebiet von 100 km Länge und 20-50 km Breite. Insgesamt wurden etwa 2 000 Aufschlüsse bearbeitet. Die als Resultat der Geländeaufnahme für die vorliegende Arbeit erstellte Karte zeigt das Kerngebiet, in dem eine flächendeckende Bearbeitung erfolgte (Abb. 0.4). Die verwendete Datenmenge stammt – außer Vergleichsdaten aus internen tektonischen Fenstern – aus einem etwas nach Norden und Süden ausgedehnterem Gebiet (Abb. 0.1, 0.2 & 5.1). Für den lokalen Überblick über den orogenen Keil wurden in Abb. 0.2 die Übersichtskarten aus den offiziellen geologischen Karten (Maßstab 1: 50 000) zusammengestellt. Die geologischen Karten bestehen aus fünf Einzelkarten, welche bis auf das Kartenblatt Sipmeke in jeweils vier Teil-Kartenblättern veröffentlicht wurden. Die Namen der Kartenblätter sind Sipmeke (Zachrisson 1991), Fatmomakke (Zachrisson 1993, Zachrisson & Greiling 1993), Dikanäs (Greiling & Zachrisson 1999a & b, Greiling et al. 1999a & b), Risbäck (Zachrisson 1997) und Vilhelmina (Zachrisson 1996, Zachrisson & Greiling 1996, Greiling et al. 1996). Das Mittlere Allochthon ist in den für die Abb. 0.2 verwendeten Übersichten der zugehörigen Kartenblätter vereinheitlicht, in den geologischen Karten selbst weiter differenziert nach Arkosen, Arkosen mit Konglomeraten, Myloniten sowie in basische und inermediäre bis saure Gneise. Die heute allgemein angenommenen Differenzierungen zum Mittleren Allochthon werden durch einen Profilschnitt in

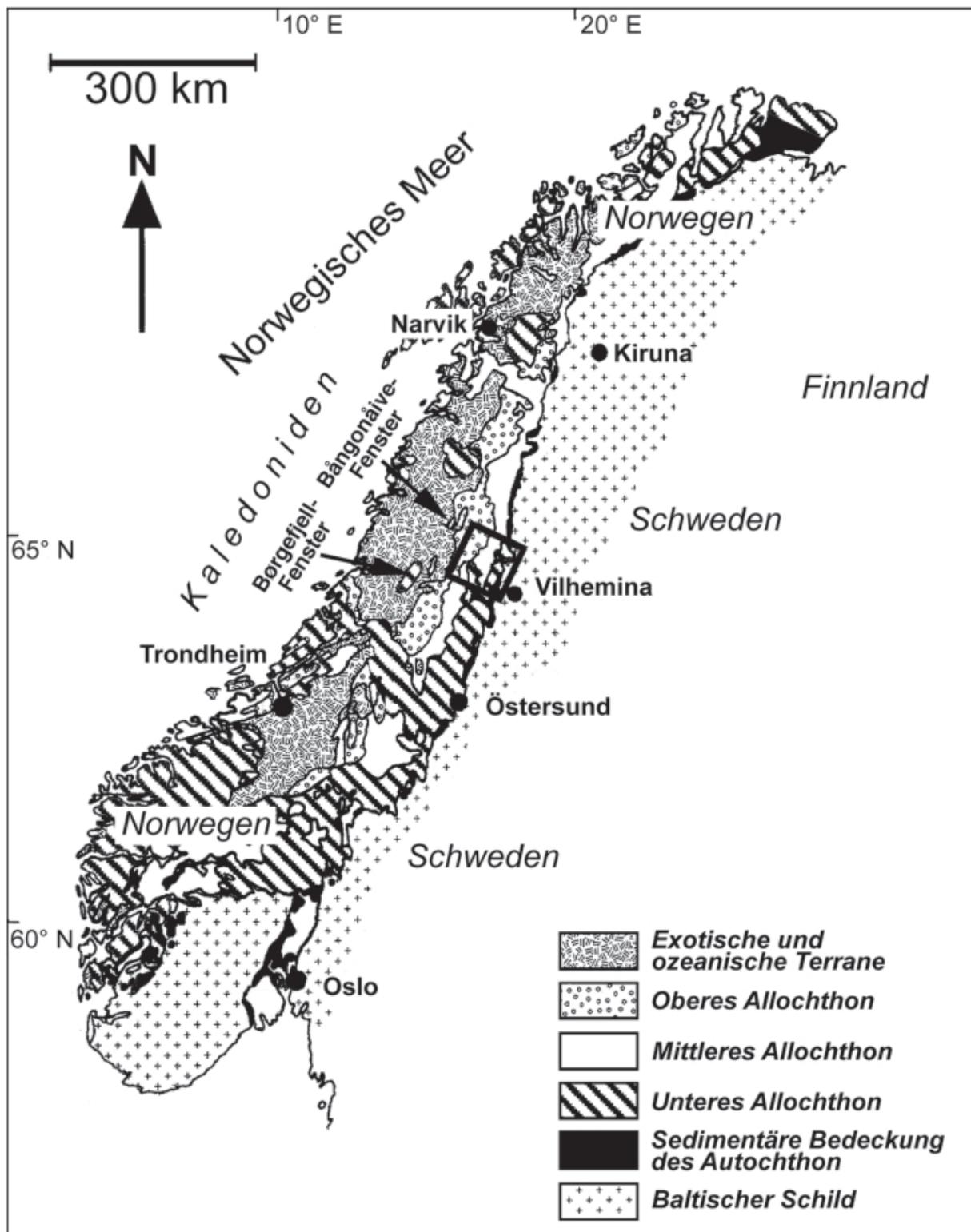


Abb. 0.1: Die Skandinavischen Kaledoniden als Übersicht (kombiniert aus Bierlein 1993 und Warr et al. 1996, überarbeitet nach Soper et al. 1992). Das Arbeitsgebiet in Västerbotten, Schweden, liegt auf der Ostseite des zentralen Teils der Skandinavischen Kaledoniden nordwestlich von Vilhemina. Die für die vorliegende Arbeit verwendete Datenbasis stammt – bis auf die Daten aus den beiden tektonischen Fenstern auf dem Borgefjell und dem Bångonåive – aus dem Bereich der quadratischen Markierung (vgl. Abb. 5.1).

Abb. 0.3 vorgestellt. Eine noch stärkere Differenzierung der Gesteine wird in Bartusch (1995) versucht. Die dort erarbeiteten Ergebnisse fließen in die vorliegende Arbeit mit ein (Kapitel 0.3.2). Die nach jüngeren Ergebnissen modifizierte kompilierte Gesteinsabfolge zum Deckgebirge des Mittleren Allochthons vom nordwestlichen Ende des Vojmsjön aus Bartusch (1995) ist in Abb. 0.5 zu sehen.

0.1 DIE KALEDONIDEN – STAND DER FORSCHUNG

Die Skandinavischen Kaledoniden sind ein etwa 1800 km langer orogener Gürtel mit einfachem tektonischem Bau (Abb. 0.1). Das Orogen entstand bei der Schließung des Iapetus und wurde bei der Öffnung des Nordatlantiks getrennt, so daß das Gegenstück zum skandinavischen Teil neben einigen Fragmenten im Nordatlantik auf der Nordamerikanischen Platte zu finden ist. Allgemein werden in den Skandinavischen Kaledoniden fünf tektonische Einheiten unterschieden (z.B. Kulling 1972). Diese wurden nacheinander aufgestapelt und anschließend nach Südosten auf den Baltischen Schild bewegt. Ihre Abgrenzung gegeneinander erfolgt hauptsächlich über den Grad der Metamorphose der Gesteine.

Im Westen des europäischen (skandinavischen) Teils des Orogens ist die Deformation deutlich stärker entwickelt als auf der Ostseite, wo die Zerschering auf einzelne Überschiebungsbahnen begrenzt und die allgemeine Deformation durch Falten von wenigen Zehner Metern bis einigen Kilometern gekennzeichnet ist.

0.1.1 TEKTONOSTRATIGRAPHISCHER AUFBAU

Die östlich der Kaledoniden ausstreichende, wenig bis gar nicht durch die Kaledonische Orogenese überprägte Basis bildet das Autochthon/Parautochthon aus archaisch bis meso-proterozoischem Baltischem Schild (ein-

schließlich Grenville'scher und Sveco-Norwegischer Orogenese, Romer 1996) und neoproterozoischer bis ordovizischer Sedimentauflage. Der mittel- bis oberkambrische Teil dieser Sedimentauflage ist beinahe durchgängig am Ostrand des orogenen Keils aufgeschlossen, schwankt aber stark in seiner Mächtigkeit (sedimentäre Auflagen des Autochthon in Abb. 0.1).

Das hauptsächlich aus anchimetamorphen neoproterozoischen bis oberordovizischen Sedimenten und vereinzelten Grundgebirgsspänen bestehende Untere Allochthon zeigt einen Duplexbau^{0.1)}. Dieser ist mit Hilfe der gründlich untersuchten lithostratigraphischen Gliederung (z.B. Gee et al. 1974, 1978, Gee & Zachrisson 1979, Gee & Zachrisson 1986, Gayer & Greiling 1989) belegt. Anhand der Modellvorstellung von aus Duplexen aufgebauten Deckeneinheiten entstand für dieses Stockwerk des orogenen Keils eine grundlegend neue Interpretation und damit auch ein völlig neuer Ansatz für das Verständnis der für die Bildung der Deckeneinheit verantwortlichen Entstehungsmechanismen. Die Gesteine stehen, gerade aufgrund ihres anchimetamorphen Zustandes, seit langem im Zentrum sedimentpetrographischer Überlegungen. Das Untere Allochthon kann über die gesamte Ausdehnung der Skandinavischen Kaledoniden verfolgt werden (Abb. 0.1).

Das Mittlere Allochthon ist aus deformierten Gesteinen des präkambrischen Grundgebirges und fossillosen, hauptsächlich psammitischen bis pelitischen Abfolgen aus dem Proterozoikum und Altpaläozoikum (Gee & Zachrisson 1979, Kulling 1942, Kulling 1955, Greiling 1985, Greiling 1989, Bierlein 1990) aufgebaut. Diese Deckeneinheit kann über mehrere hundert Kilometer verfolgt werden. Die niedrig metamorphen Sedimente werden dem baltischen Kontinentalrand zugeordnet. Innerhalb der Deckeneinheit variieren die Metamorphosegrade stark, liegen aber im allgemeinen im Bereich der Grünschieferfazies. Die regionale Verformung der Sedimentauflage zeigt deutliche Parallelen zum Unteren Allochthon. Dagegen zeigen grundgebirgsassoziierte Lithologien mit lokal stark penetrativ ausgebildeter mikrotektonischer Deformation sehr viel mehr Ähnlichkeit mit der Seve-Einheit des angrenzenden bzw. überlagernden Oberen Allochthons.

0.1) *Der Begriff Duplex wird in dieser Arbeit im deckentektonischen Zusammenhang verwendet. Durch die Ausrichtung der maximalen und minimalen Last im Gestein in einer vertikalen Ebene ergibt sich daher kein Bau im Sinne einer positiven oder negativen Blumenstruktur sondern ein Deckenstapel (Dahlstrom 1970, Boyer 1976, Twiss & Moores 1992) wie in Abb. 0.3.*

Die Gesteine im Oberen Allochthon bestehen aus unterschiedlichen, allgemein aber mittel- bis hochgradig metamorphen Einheiten. Das Obere Allochthon wird in die Seve-Einheit und Köli-Einheit unterteilt. Angrenzend an das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet besteht das Obere Allochthon aus Glimmerschiefern, Gneisen, Amphibolit und geringen Anteilen von Marmor, Quarzit und Ultramafiten aus der Seve-Einheit. In diesen weit transportierten Decken nimmt die Verformung allgemein nach Westen zu. Daneben treten einzelne granulitfazielle Gesteine, wahrscheinlich präkambrischen Alters (vanRoermund 1985, Cuthbert & Carswell 1990, Paquin et al. 1998), sowie kaledonische Eklogite und Granatperidotite auf. Die darauf lagernden niedriger metamorphen Sedimente sowie die inselbogenbezogenen vulkanischen und plutonischen Gesteine der Köli-Einheit sind ordovizischen Alters (Stephens & Gee 1989). In dieser Deckeneinheit treten auch ophiolitische Fragmente auf.

Im Obersten Allochthon findet man Schiefer, Marmore, Gneisse und Granite, die dem östlichen Laurentia zugeordnet werden (Kulling 1972, Gee et al. 1985, Dallmeyer & Gee 1986, Stehpen & Gee 1989). In diese sind verschiedene synorogene Gabbros und Granite intrudiert.

0.2.2 DIE TEKTONISCHE ENTWICKLUNG

Die tektonische Entwicklung, wie sie z.B. von Dallmeyer & Gee (1986) und Andersen et al. (1991) vorgeschlagen wird, begann mit der Subduktion des passiven Kontinentalrandes unter einen Inselbogen nach Westen. Im unteren Ordovizium entwickelte sich ein Akkretionskeil durch Scherung und Stapelung des äußeren Randes von Baltica.

Die Bildung von ozeanischer Kruste und marinen Sedimenten im Iapetus blieb bis ins untere Silur bestehen (Milnes et al. 1997). Die kaledonische Einengung und der damit verbundene Deckentransport zum Vorland dauerte über das gesamte Silur an (Bockelie & Nystuen 1985). Außer der obersilurischen bis unterdevonischen Molasse im Oslograben bestehen allerdings nur begrenzte Anzeichen eines Vorlandbeckens (Jämtland). Vielmehr liegt der orogene Keil an der gesamten Gebirgsfront hauptsächlich auf frühen paläozoischen Sedimenten, die den präkambrischen Sockel überdecken (z.B. Roberts & Gee 1985).

In den achtziger Jahren mehrten sich Anhaltspunkte, die kaledonische Orogenese als „multiple“ Orogenese aufzufassen. So wurden vor der tektonischen Hauptphase im Llandlow (ca. 430 Ma, Gee 1975, Roberts & Sturt 1980) die Finnmarkische Orogenese zwischen 530 Ma und 490 Ma (Sturt 1978, Gee & Roberts 1983, Ramsay & Sturt 1976) und eine kleinere Orogenese in Südwest-Norwegen zwischen 535 Ma und 468 Ma ausgegliedert. Die Verschuppung der Ophiolithe in den norwegischen Kaledoniden soll jedoch schon vor der Arenig Sedimentation entstanden sein (ca. 480 Ma, also während und direkt nach der Ablagerung der Schwarzschiefer, Gale & Roberts 1974, Ryan et al. 1980).

An verschiedenen Stellen des Orogens ist eine dieser Kompression folgende Dehnungstektonik bekannt (Lofoten, Südwest-Norwegen, Fossen 1992, Møre-Trøndelag-Zone, Gilotti & Hull 1993). Die größte Zone in der diese tektonische Entwicklung nachvollzogen werden kann, stellt das Süd- und Südwestende der Kaledoniden in Norwegen dar. Diese Dehnungstektonik wird als orogener Kollaps verstanden. Jüngere Ansätze sehen in Südwestnorwegen den Antrieb dieses „Kollapses“ in Verbindung mit einer aktiven Dehnung, die schon durch frühe variszische Konvergenz im Süden des laurentisch-baltischen Kontinentalrandes erzeugt wird (Andersen et al. 1991, Dewey et al. 1993, Séranne et al. 1991, Soper et al. 1992, Fossen 1992, Rey 1993, Chauvert & Séranne 1994, Wilks & Cuthbert 1994, Milnes et al. 1997, Rey et al. 1997, Schmid et al. 1998) und Dehnung/Hebung in Zentralnorwegen (Braathen et al. 2000). Die stärkste Begründung für diese Entwicklung ist das extrem rasche und starke Auftreten dieser Tektonik nach dem Maximum der Hochdruckmetamorphose (etwa 10-20 Ma). Die zugehörige Argumentation umfaßt Hinweise aus Datierungen, das Fehlen von synextensiven anatektischen Domen, den hohen Erhaltungsgrad frühkaledonischer Kompressionsstrukturen, die relativ gute Erhaltung präkambrischer Strukturen, die starke Exhumierung tiefer Bereiche in den zentralen Kaledoniden, die fehlende thermische Äquilibration in der Kruste, das Fehlen einer lang anhaltenden thermischen Subsidenz, den horizontalen Lastenausgleich in der Lithosphäre sowie die Entwicklung von devonischen Sedimentbecken im Bereich einfacher Abschiebungen bzw. Transtensionen (Südwest-Norwegen, Møre-Trøndelag-Zone).

0.2 GEOLOGISCHE INHALTE UND ZIELSETZUNG

Um einen systematischen Beitrag zur Entwicklung in diesem Orogen leisten zu können, muß die Vernetzung und das Zusammenspiel der geologischen Merkmale der verschiedenen Deckeneinheiten in bezug auf das Mittlere Allochthon analysiert werden. Einerseits entsteht die zentrale Rolle des Mittleren Allochthons durch eine Überschneidung von Merkmalen der darunter liegenden und der auflagernden Deckeneinheit über die jeweilige Deckengrenze hinweg. Andererseits beruht die bisher nur allgemein gefaßte litho- und tektonostratigraphische Interpretation dieses mittleren Stockwerkes auf eben dieser Überschneidung. Daher bildet diese Deckeneinheit vom Rand des Baltischen Schildes aus, nicht nur wegen der gestiegenen Metamorphose, sondern auch lithostratigraphisch und strukturgeologisch, für Vergleiche und Korrelationen eine Art Barriere nach Westen.

Die Auflösung des Deckenbaus bis hin zur Darstellung des Duplexcharakters nach der Art des Unteren Allochthons war in der Vergangenheit auf der Grundlage der bisher vorausgesetzten lithologischen Abfolge praktisch unmöglich (Abb. 0.3). So konnte bisher nur dort ein Deckenbau ansatzweise ausgearbeitet werden, wo abwechselnd Sedimentgesteine und mit dem kristallinen Grundgebirge assoziierte Gesteine auftreten (Greiling 1989).

Auf der Grundlage der für die vorliegende Arbeit erarbeiteten Datenverteilung soll nun auch im mittleren Stockwerk ein Gesamtmodell entwickelt werden. Ähnlich wie zwischen unterem Stockwerk und autochthoner Sedimentauflage soll dabei eine Anbindung des mittleren Stockwerkes an das untere Stockwerk entstehen sowie mögliche Grundlagen für die Anbindung (Gee & Zachrisson 1986) des Hangenden gezeigt werden. Diese Strukturierung und Gliederung der mittleren Deckeneinheit wird in der vorliegenden Arbeit mit den folgenden Mitteln untersucht:

1. Untersuchung der Gesteinsabfolgen mit Erstellung eines kompilierten Säulenprofils zum Deckgebirge als Generalisierungsvorschlag.
2. Strukturgeologische quantitative Bearbeitung der Deckeneinheiten und exemplarisch qualitative Untersuchung von Aufschlußzonen.
3. Fallstudie zur Trennung des tektonischen Datensatzes aus der mehrphasigen Deckenentwicklung mit Vorschlag zur chronologischen Gliederung der Strukturdaten bzw. der tektonischen Entwicklung.
4. Untersuchung der Struktur der Deckeneinheiten aufgrund felsmechanischer Zusammenhänge im orogenen Keil und Modellierung des orogenen Keils mit Hilfe mechanischer Eckdaten der vorgefundenen Gesteinsarten.

Die Untersuchung der Gesteinsabfolgen anhand von Bereichen mit größerer Aufschlußdichte mit einem abschließenden Generalisierungsvorschlag soll die tektonische Orientierung in der Deckeneinheit verbessern. Bisher war eine tektonische Orientierung lediglich bei gegebenenfalls auftretenden Abfolgen von grundgebirgsassoziierten Gesteinen und offensichtlichen Sedimentgesteinen machbar. Tektonische Gliederungen waren daher nur sehr lokal möglich. Die Einführung einer Gesteinsabfolge ermöglicht die tektonische Gliederung auch außerhalb dieser engen lokalen Grenzen und läßt darüber hinaus Rückschlüsse auf den Deckenbau und die tektonische Entwicklung zu. Die Konsistenz des tektonischen Modells in sich bzw. die systematische Geschlossenheit seiner konzeptionellen Anlage, gemessen an den Erkenntnissen aus lokal gut aufgeschlossenen Bereichen im mittleren Stockwerk sowie am bereits für das untere Stockwerk bestehenden tektonischen Modell, ergibt wiederum Hinweise auf mögliche systematische Lücken im Modell zur Gesteinsabfolge. Diese Art der Vernetzung der Information bietet den Vorteil, daß positive Veränderungen in dem einen Modell nur dann als positiv gelten können, wenn sie sich im anderen Modell als positiv erweisen, wodurch eine Art indirekte Selbstkontrolle zwischen den Modellen entsteht. Mit diesem Vorgehen sollen darüber hinaus die inhomogenen Aufschlußverhältnisse in der Fläche und die deutlich erhöhte Komplexität durch die sich durchprägenden strukturellen Anlagen aus dem unteren Stockwerk kompensiert werden. Der Umgang mit dieser erhöhten Komplexität soll anhand einer Fallstudie mit neuem Lösungsansatz vorgeführt werden. Abschließend sollen felsmechanische Überlegungen bzw. die daraus zu folgernden Organisationsprinzipien für das tektonische Modell den

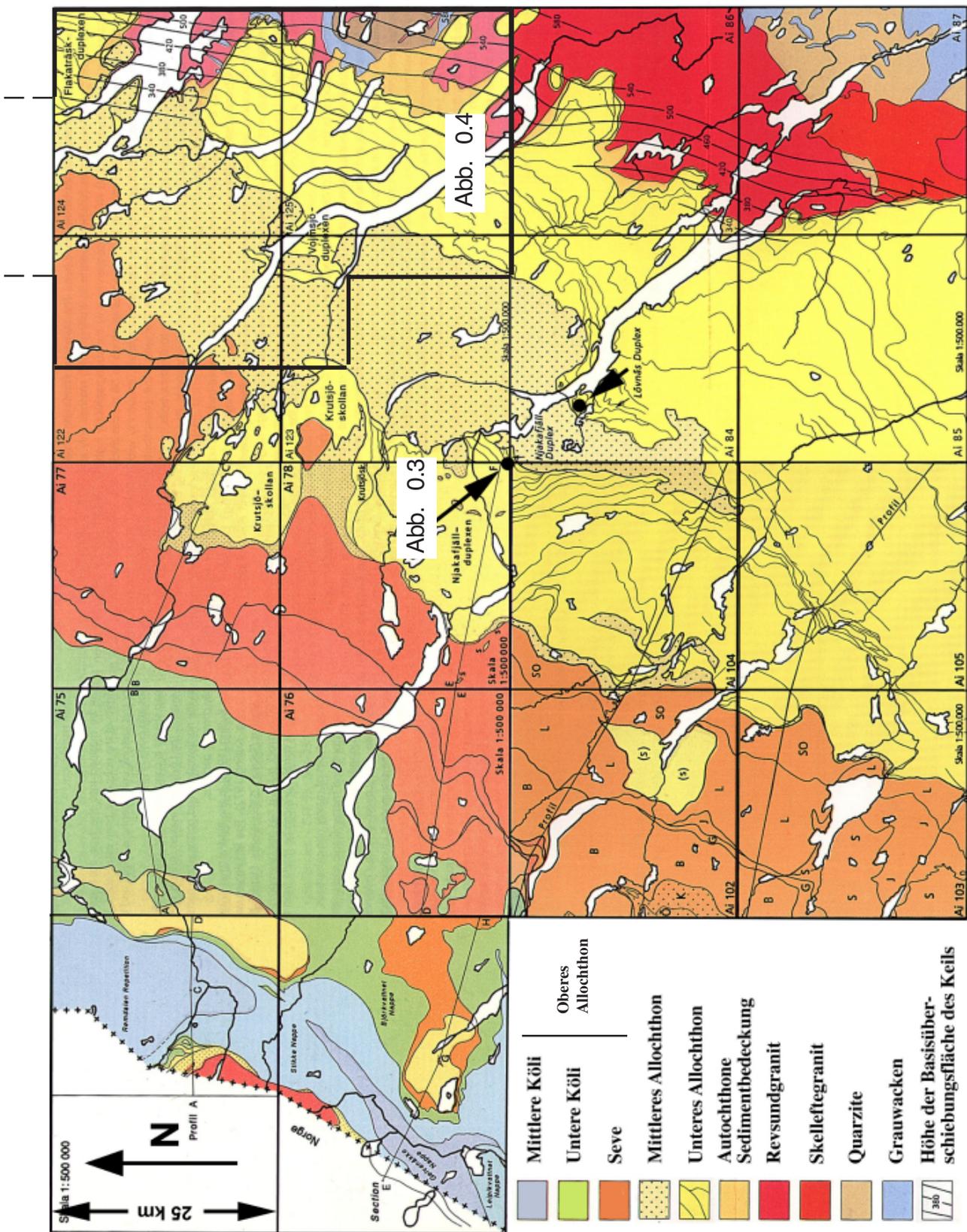


Abb. 0.2: Zusammenstellung aller Übersichtskarten aus den offiziellen Karten der Region. Die Farben variieren von Kartenblatt zu Kartenblatt entsprechend der Qualität der Originaldrucke. Es handelt sich um die Kartenblätter Sipmeke, Fatmomakke, Dikanäs, Risbäck und Vilhelmina.

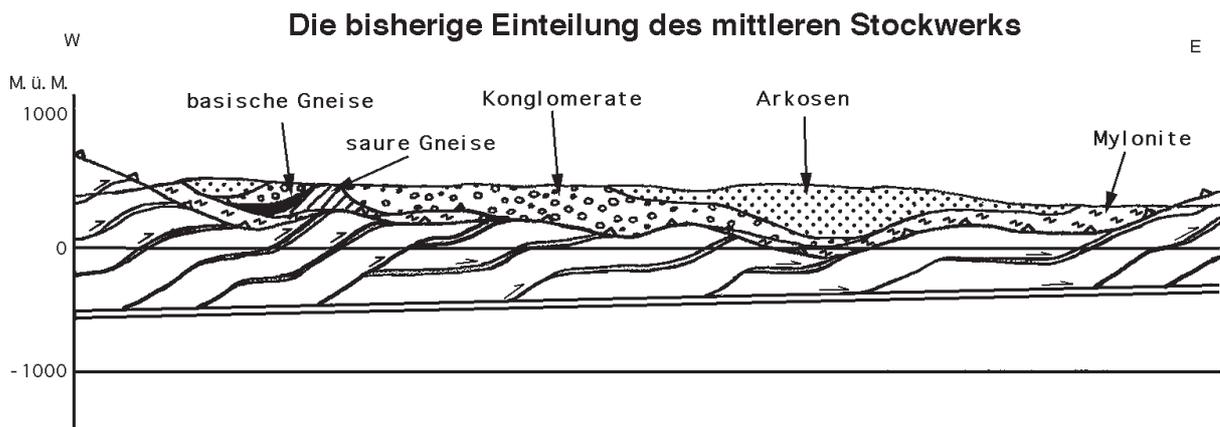


Abb. 0.3: Der Ausschnitt aus dem Profil zur Karte 22G, Vilhelmina Zachrisson (1996), zeigt die bisherige Auffassung zum Aufbau des mittleren Stockwerks der Kaledoniden (vgl. Abb. 0.2). Danach liegen auf Myloniten und Kristallin Konglomerate und Sparagmite. Der horizontale Maßstab entspricht dem vertikalen.

Geltungsbereich bzw. die Qualität der tektonischen Aussagen abstecken. Als Ausblick für die potentielle Tragweite des Modells schließen sich Überlegungen für die Anbindung an das obere Stockwerk und an weiterführende, bereits vorhandene Aspekte aus der regionalen Geologie an.

jedoch genau diese Modelle als unvollständig und nur bedingt tragfähig. Daher erfolgt eine erneute Aufarbeitung im systematischen Sinne mit dem Hinweis auf den zuallererst beschreibenden Charakter der Geologie, als Grundlage für jedwede Entwicklung von Modellen.

0.3 VORGEHEN UND BEARBEITUNG

Die Herangehensweise an die Aufgabenstellung macht sich einige unkonventionelle Bearbeitungsverfahren zu eigen. Anstelle der analytischen Methode mit ihrem Schema Messung-Lösung-Modell wird auf die systematische Methode zurück gegriffen. Das vergleichende Abwägen von „Für“ und „Wider“ der systematischen Methode (Kapitel 0.3.1) beinhaltet eine Verlagerung des Schwerpunkts der Vorgehensweise auf Verfahrensweisen, welche vom analytischen Standpunkt aus als allgemeingültige Voraussetzungen gelten, weswegen deren Diskussion vom analytischen Standpunkt aus betrachtet auf den ersten Blick in ein Licht mangelnder Fachkundigkeit rücken könnte. Dennoch entstehen bei dieser Diskussion die Grundlagen bzw. ein Rahmen in welchem analytisch gewonnene Meßwerte, Daten und Relationen als Fakten interpretiert zu analytischen Modellen integriert werden können. Im vorliegenden Fall erwiesen sich aus Sicht der vorliegenden Arbeit

0.3.1 METHODIK

Unzusammenhängende beobachtete Einzelaspekte erlauben ohne den richtigen Interpretationsrahmen ja bekanntlich keinerlei wissenschaftlich verwertbare Aussagen. Daher orientiert sich die folgende Interpretation der beobachteten Einzelaspekte an denjenigen inhaltlichen Bereichen, deren wissenschaftliche Stichhaltigkeit bereits anerkannt ist und versucht von da ausgehend auf der Grundlage eines Theoriemodells zu einem alternativen wissenschaftlichen Ansatz mit höherer Komplexitätsauflösungskapazität vorzudringen. Mit anderen Worten: es wird ein Modell vorgestellt, das Lösungen an solchen Stellen anzubieten versucht, an denen mit den bisherigen Methoden noch etliche wissenschaftliche Fragen unbeantwortet bleiben mußten. Zu den bislang noch offenen Fragen zählen beispielsweise die folgenden:

1. Einheit und Differenz zwischen den Lithologien des Unteren und Mittleren Allochthons, speziell: Wordurch läßt sich die Deckengrenze festlegen, ob-

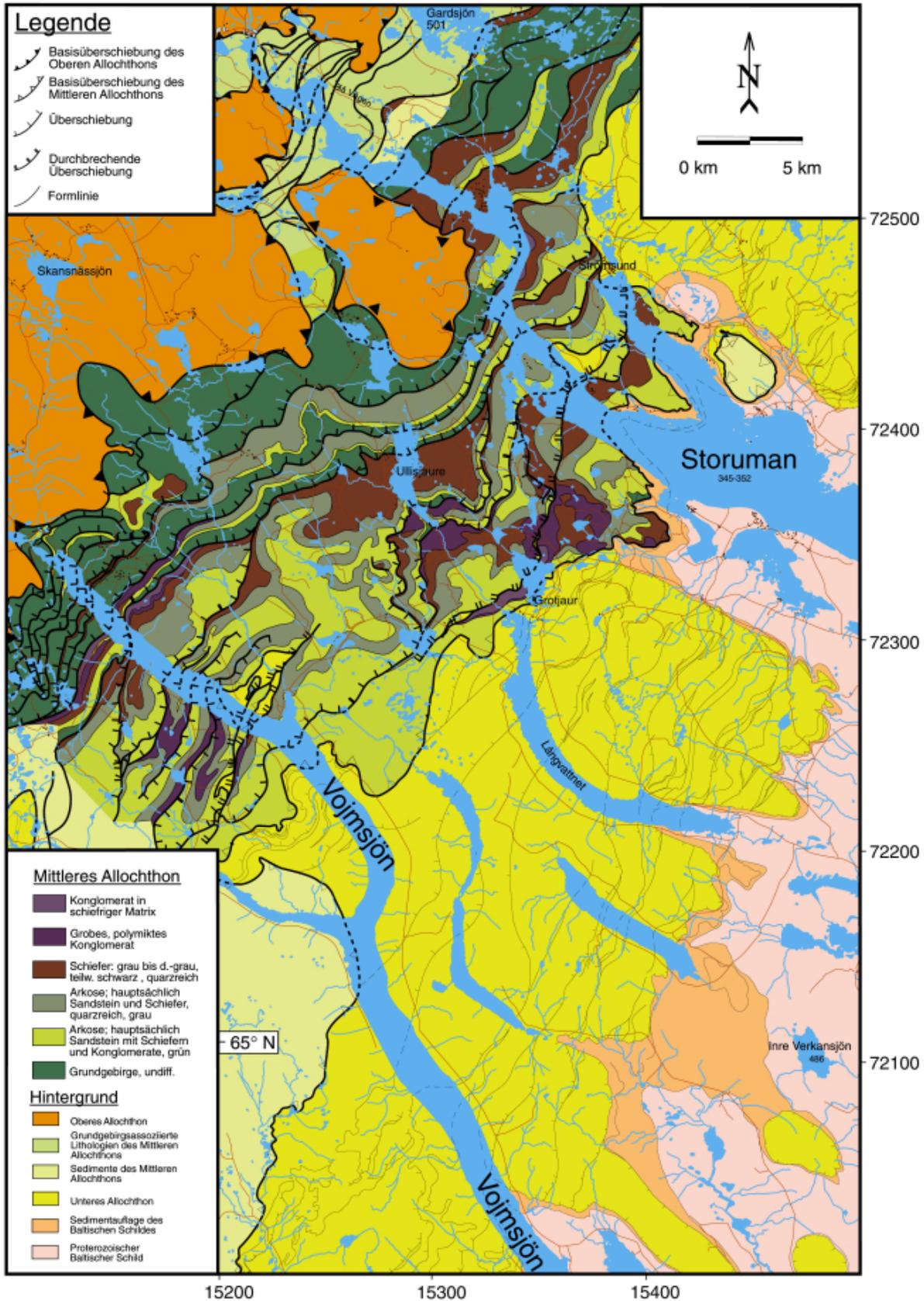


Abb. 0.4: Zusammenstellung der Ergebnisse dieser Arbeit zur geologischen Karte. Die Konstruktion der Decken wurde über die einfachen lithologischen und strukturellen Informationen hinaus mithilfe von Formlinien entwickelt (Abb. 4.1). Das Obere Allochthon ist undifferenziert dargestellt, das Untere Allochthon ist bis auf eine kleinere Veränderung am Deckenrand zum Mittleren Allochthon am Vojmsjön aus Greiling et al. (1999a & b) übernommen.

wohl sie sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch ähnliche Sedimentgesteine trennt?

2. Einheit und Differenz der Gesteine des Mittleren und Oberen Allochthons, speziell: Inwiefern muß bzw. kann die allgemeine Verfahrensweise die Deckengrenze anhand auftretender Granate mithilfe von Lithologien oder tektonischen Mitteln ergänzt werden?
3. Inwieweit führt eine zu strikte Anwendung der grundsätzlichen Annahme einer nach oben feinkörniger werdenden Sedimentabfolge im Deckgebirge (Kulling 1942) zu konzeptionellen Fehlern?
4. Welche sinnvollen konzeptionellen Anlagen für Modelle ergeben sich unter der Annahme, Sedimentgesteine des Mittleren Allochthons mit denen des Unteren zu vergleichen, welche werden unterbunden?

Diese Liste ließe sich fortführen, würde jedoch sehr schnell einen Umfang divergierender Themenfelder erreichen, welche auf der Basis der bereits vorhandenen Erkenntnisse nur unter sehr großem Vorbehalt zusammenzuführen wären. Das dadurch entstehende, vielfach unübersichtliche „sowohl als auch“, würde die Transparenz der vorliegenden Arbeit auf eine Art und Weise verschleiern, die eine nötige Anknüpfung an die analytische Methode späterer Arbeiten für die Verifikation und Fortführung der hier dargestellten Grundlinien aus analytischer Sicht nur sehr bedingt ermöglichen würde.

Die bisherige Vorgehensweise mit mikrotektonischen und petrologischen Aspekten „bessere“ von „schlechteren“ Informationen zu trennen, um auf diese Weise zu „gültigen“, tragfähigen Ergebnissen zu gelangen, baute im makrotektonischen Bereich meist auf die Selektion bestimmter Einzelaspekte und Verwerfung anderer, augenscheinlich nicht ins Bild passender Einzelaspekte auf. Bei Laborexperimenten ist dieses Vorgehen als Verwerfung sogenannter „Dreckeffekte“ bzw. Fehlmessungen als mehr oder weniger fester Bestandteil der experimentellen Untersuchung bekannt. Unumgängliche Bedingung für diese Praxis ist ein verschwindend geringer Anteil dieser Fehlmessungen gemessen an der Gesamtzahl der Messungen und ein praktischer

Ausschluß der Ergebnisse durch die zugrunde liegende Theorie, so daß Apparatefehler u.ä. unterstellt werden können.

Dieses Vorgehen stößt jedoch immer dann an Grenzen, wenn Modelle oder Theorien nur sehr unklar gegeben sind und neue, unvorhergesehene Aspekte auftauchen, die der jeweiligen, bis dahin angewendeten Selektion widersprechen, also nicht „ins Bild“ passen und daher als offene Fragen übrigbleiben müssen. Diese Situation entsteht vor allem in denjenigen wissenschaftlichen Bereichen, in denen Maßstab, Meßgröße und das zu messende Objekt in ihrer Größenordnung nur vage übereinstimmen bzw. sich nur sehr schwer in Übereinstimmung bringen lassen. Dies gilt in besonderem Maße für die beschreibenden Wissenschaften. Daher soll in der vorliegenden Arbeit, deren allererste Grundlage ja Geländebeobachtungen, also Beschreibungen sind ein Modell in Form einer Arbeitshypothese vorgestellt werden, das im Laufe von späteren Untersuchungen erweitert oder modifiziert werden kann. Um einer Modell-Aussage im gegebenen Zusammenhang die nötige Dynamik zu verleihen, ist es nötig, möglichst viele Überlegungsstränge und empirische Untersuchungsergebnisse einzubeziehen, d.h. auf eine Vorabselektion weitestgehend zu verzichten. Um dies zu erreichen, wird auf frühe Arbeiten (Kulling 1942) rekurriert, da dort noch keine Vorabselektion vorgenommen wurde bzw. nur eine sehr geringe Vorabselektion unterstellt werden kann und sich diese frühen Arbeiten daher als Ausgangshypothese besonders gut eignen. Wenn man nun diese frühen Beobachtungen in ihren Aussagen bezüglich Reihenfolge und Bezugsgröße variiert, so kommt man zu verblüffenden neuen Ergebnissen, die nicht auf überprüfbareren Einzelmessungen basieren, sondern umgekehrt durch diese bestätigt werden. Dadurch entsteht ein alternatives Modell mit Antworten, die in den bisherigen Modellen, die auf dem Mittelwert einer möglichst großen Anzahl von Messungen beruhen, so nicht gegeben werden konnten.

Generell wird also im Sinne der soeben genannten Ausführungen der Aussagekraft oder auch dem Aussagepotential der einzelnen Gesichtspunkte in bezug auf einen größeren Zusammenhang mehr Bedeutung zugemessen, als der Aufarbeitung dieser Gesichtspunkte mithilfe möglichst vieler Datensätze. Ein Versuch, die bisherigen, eher allgemein gehaltenen Vorstellungen speziell zur mittleren Deckeneinheit in jedem Detail durch eine hohe Quantität an Daten zu bestätigen oder zu widerlegen, kann schon deshalb nicht gewagt werden, da allgemeinen Vorstellungen nur grobe Normen eigen sind, auf die sich die Auswertungen erhobener Daten beziehen könnten. Es steht also aus diesem Grund die Tragweite des entstehenden Modells und sei-

ne Anbindung an weiterführende Zusammenhänge im Vordergrund. Die im Gelände vorgefundenen Verhältnisse im Detail und die über die große Fläche verteilte, in ihrer Summe erhebliche Datenmenge reicht in der Sichtweise der vorliegenden Arbeit dennoch aus, das bisherige Modell im Rahmen der beschriebenen Methodik in sehr viel höherer Ausflösung zu beleuchten (Kapitel 0.3.3).

0.3.2 AUSGANGSPUNKT

Der Grundstock zur vorliegenden Bearbeitung bzw. Gliederung des Mittleren Allochthons entstand durch den Versuch, im Verlauf einer Diplomkartierung auf der Nordseite des Vojmsjön (Bartusch 1995) die Gesteine des Mittleren Allochthons vom Unteren Allochthon zu unterscheiden (Abb. 0.5). Daher ist die Diplomkartierung als einer der Ausgangspunkte für diese Arbeit zu betrachten. Eine Zuordnung der vorhandenen Sedimente mit Hilfe der Vorgaben, die für das Mittlere Allochthon grünschiefermetamorphe Arkosen im Unterschied zu anchimetamorphen Arkosen und Quarziten im Unteren Allochthon annimmt, erwies sich als schwierig. Selbst im Dünnschliff konnten einige Arkosen und Tonschiefer nicht eindeutig dem Mittleren oder dem Unteren Allochthon zugeordnet werden, da Chlorit und Epidot in Gesteinen des Mittleren Allochthon vielfach nicht in ausreichender Menge für eine zweifelsfreie Zuordnung zur Grünschiefermetamorphose vorkommt. Für eine Zuordnung zum Mittleren Allochthon spricht in vielen Fällen dennoch die Deformation und der äußere Gesamteindruck der Gesteine. Die begriffliche Unterscheidung der Sedimentauflage auf dem Grundgebirge im Unteren Allochthon im Unterschied zu den Meta-Sedimenten im Mittleren Allochthon entbehrt also gerade an der Grenze zwischen den Deckeneinheiten häufig auf beiden Seiten ihrer metamorphen Grundlage. Daher wird im allgemeinen auf diese begriffliche Unterscheidung verzichtet, wohl wissend, daß insgesamt über die jeweiligen Deckeneinheiten generalisierend betrachtet dieser Unterschied sehr wohl besteht.

Ein erster Ansatz für die Lösung dieses Dilemmas bildet die Unterscheidung der Sedimente des Mittleren Allochthons nach makroskopischen Eigenschaften. Diese Unterscheidungen sollten zu Beginn vor allem bei der Geländearbeit von Nutzen sein. Wegen des wechselhaften Wetters ist es außerdem unerlässlich die Gesteine sowohl in nassem als auch trockenem Zustand unterscheiden zu können. Bei einigen Gesteinen ist die-

ser Unterschied auch im nassen Anschlag beträchtlich. Anfangs ging es daher um folgende Eigenschaften: Farbe im Anschlag in trockenem Zustand, Farbe im Anschlag in feuchtem Zustand, Farbe und Dicke der Verwitterungsoberfläche, vorhandene Korngrößen, allgemeiner und auffälliger Klasteninhalt sowie primäre (Schichtung und Schrägschichtung) und sekundäre textuelle Merkmale (Schieferung).

Die Unterscheidung der Gesteine wurde über ein iteratives Sortiersystem nach makroskopischen Gesichtspunkten im Vergleich zur relativen gegenseitigen Lage der Aufschlüsse auf der Karte eingeführt (Bartusch 1995). Daraus ergab sich die in Abb. 0.5 dargestellte kompilierte Gesteinsabfolge. Diese wurde im gesamten Arbeitsgebiet der vorliegenden Dissertation überprüft und im wesentlichen verifiziert. Bei der Anwendung ergaben sich neben einer allgemeinen Bestätigung des Grundmodells einige Erweiterungen. Die neuen Gesteine stellen in der Mehrzahl lokale faziesbedingte sedimentologische Wechsel dar. Die tektonischen Untersuchungen dieser Arbeit zeigen, daß diese lithologische Säule wie erhofft auch bei der strukturellen Gliederung der Deckeneinheit zu sinnvollen Ergebnissen führt.

0.3.3 FORMLINIENANALYSE

Die Profilschnitte zur Untersuchung der Abfolgen der Gesteine und die Zusammenstellung der geologischen Karte wurden anhand von Formlinien angefertigt. Diese wurden auf der Basis der lithologischen Vergleiche (Kapitel 0.3.2) im Zusammenhang mit dem erweiterten Beobachtungsstand bzw. Geländebefund aus dieser Arbeit erstellt. Aus Profilschnitten und Karten ergibt sich ein dreidimensionales Modell. Bei der Bearbeitung wird versucht die entstehenden Formlinien auf der Karte und in den Profilschnitten unter Einbeziehung der Informationslücken so in Einklang zu bringen, daß ein möglichst harmonisches Gesamtbild entsteht. Hinreichende Kriterien dafür sind, in Anlehnung an die Vorstellungen aus dem Unteren Allochthon, weitestgehend konstante lithologische Einheiten sowie in allen Bereichen eine unter ähnlichen physikalischen Bedingungen entwickelte Tektonik. Ausnahmen hinsichtlich konstanter lithologischer Mächtigkeiten bilden Grundgebirgsspäne sowie konglomeratische Körper. Tektonische Brüche werden nur dort angenommen, wo konkrete Hinweise bestehen. Diese Hinweise können allerdings auch indirekt aus der Annahme konstant mächtiger lithologischer Einheiten abgeleitet sein.

Notwendige Kriterien bilden die vermutete lithologische Abfolge und die in den Aufschlüssen gemessenen Fallwerte.

Die Verwendung und Umsetzung dieser Art von Formlinien kann als Anlehnung an die Darstellung von Potentialfeldern in der Physik verstanden werden. Ausgehend von den strukturellen Messungen werden erst in einer späteren Phase lithologische Informationen integriert. Ziel ist es, ein möglichst flächendeckendes dreidimensionales Modell zu schaffen, welches sowohl den strukturellen als auch den lithologischen Beobachtungen genügt. Die Anwendung erfolgte sowohl in Detailuntersuchungen für die Zusammenstellung lokaler, kompilierter Gesteinsabfolgen als auch für die Gesamtdarstellung der Karte. Die genaue Vorgehensweise ist in Anhang A beschrieben.

0.3.4 AUFBAU DER VORLIEGENDEN ARBEIT

Das eigentliche Anliegen der vorliegenden Arbeit ist es, die tektonische Gliederung der Stalon-Decke des Mittleren Allochthons in einzelne tektonische Decken sowie den daraus entstehenden Bau über die enthaltene Deformation zu charakterisieren. Dafür bildet die geologische Karte (Abb. 0.4), deren Entwicklung im Kapitel 0.3.3 und im Anhang A beschrieben wird, die allgemeine Grundlage. Aus ihr werden sowohl die lithostratigraphische Säule als auch der generelle tektonische Bau abgeleitet.

Bisher wurde der Aufbau des Deckgebirges als genereller „fining upward“-Abfolge interpretiert. Die Aufschlußverteilungen und die verschiedenen Aufschlußkonstellationen führen zu einer neuen Differenzierung der vorhandenen konglomeratischen Sedimente, weswegen ein alternatives kompiliertes Säulenprofil zum Deckgebirge entwickelt wurde. Zusätzlich wurden, ähnlich den Unterscheidungen von Kulling (1941, 1942), verschiedene Arkosen unterschieden, die in diesem neuen kompilierten Säulenprofil diskrete Positionen im vertikalen Aufbau besetzen. In neueren Arbeiten zu den Kartenblättern aus Abb. 0.2 werden die Arkosen generalisierend zusammengefaßt und nur das Auftreten von Konglomeraten mit einer Signatur angezeigt. Die Einführung der Unterscheidung dieser Lithologien, welche sich im nachhinein in bezug auf Kullings frühe Arbeiten als erneutes Aufgreifen der ursprünglichen Vorgehensweise herausgestellt hat,

bedeutet eine starke Erweiterung der jüngeren, eher generalisierenden Bearbeitungsweise. Daher wird zu Beginn der Arbeit auf die in der vorliegenden Arbeit unterschiedenen Lithologien des Deckgebirges näher eingegangen.

An vielen Stellen zeigt sich, daß die Sedimente des Deckgebirge im Mittleren Allochthon makroskopische und mikroskopische Ähnlichkeiten mit Sedimenten aus dem Unteren Allochthon haben. Einerseits ist dies erfreulich, da dadurch mögliche Parallelen gezogen werden können, andererseits müssen die Gesteine so weit differenzierbar sein, daß eine Deckengrenze zwischen diesen gezogen werden kann. Daher werden zu Beginn die wesentlichen im Arbeitsgebiet der vorliegenden Arbeit vorhandenen Gesteine des Unteren Allochthons besprochen, aus Konventionsgründen noch bevor auf die des Mittleren Allochthons eingegangen wird.

Nach den Ausführungen zu den Gesteinen des Grund- und Deckgebirge des Unteren und Mittleren Allochthons werden zunächst exemplarisch sechs lokale Aufschlußgruppen und die in ihnen enthaltenen Lithologien als Abfolge untersucht. Im Vordergrund steht dabei der in den Aufschlüssen erkennbare lithologische Bau sowie Erkenntnisse aus sehr nahe zueinander gelegenen Aufschlüssen. Eine Zusammenstellung dieser sechs und weiterer 24 solcher lokaler lithologischer Abfolgen wird in einem zweiten Schritt auf das gesamte Arbeitsgebiet bezogen und hinsichtlich allgemeiner Züge des möglichen Ablagerungsraumes interpretiert. Diese Darstellung des Ablagerungsraumes möchte zeigen, daß sich aus dem Vorgehen soweit ein sinnvolles Gesamtbild ergibt. Danach wird die Entwicklung der Karte des Arbeitsgebietes und dreier Profilschnitte durch das Mittlere Allochthon in dieser Karte anhand der in Kapitel 0.4 beschriebenen Formlinientechnik dargestellt. In diesem Fall stehen strukturelle Aspekte (Schichtung, Schieferung, Scherflächen). Am Ende der Auswertung stehen die anschließend vorgestellten bilanzierten Profilschnitte.

Erst jetzt, also nach der Betrachtung dieser Einzelheiten, wird versucht, die im Zuge der Bearbeitung der Karte erhaltenen Ergebnisse für Vergleiche zwischen dem Mittleren und dem Unteren Allochthon, eine Besprechung des Modells für die Sedimentationsfazies, einen regionalen Vergleich unterschiedlicher Säulenprofile des Mittleren Allochthons aus den skandinavischen Kaledoniden und die Darstellung möglicher Parallelen zum Oberen Allochthon auszuwerten.

Anschließend folgt die tektonische Bearbeitung. Wegen der unterschiedlichen Ausprägung der einzelnen Deformationsphasen der verschiedenen Gesteine und der unterschiedlichen Gesteine untereinander ist eine geordnete Differenzierung der Beobachtung im Gelände nicht möglich. Einzelauswertungen von Bewegungs- und Deformationsanalysen haben gezeigt, daß die Bearbeitung mit Paläo-Stress-Ellipsoiden an Geländedaten, dem Rf-Phi-Verfahren an Gesteinproben oder Aufschlußabbildungen oder der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität zwar in der Lage ist, eine große Zahl von Daten zu erzeugen, wegen der Untrennbarkeit der einzelnen Deformationsphasen, sowohl im Vergleich zwischen den Aufschlüssen, als auch in einer Zusammenstellung auf der Karte jedoch erfolglos bleibt oder zumindest nur ungenaue Ergebnisse erwarten läßt. Primär ist eine Vielzahl von Daten zwar eine gute Grundlage, ein „mehr desselben“ ohne geeignete Eckpunkte für die Interpretation dennoch sinnlos. Also ist in einem nächsten Schritt zu überlegen, wie solche Eckpunkte für die Interpretation der Daten gefunden werden können. Verschiedene Auswertungsansätze führen schließlich zu einer Interpretation anhand der Gesamtheit der Werte als statistische Auswertung. Die Ergebnisse dieser statistischen Auswertung werden daher nach einer kurzen Einführung zur Frage der Datentrennung und der Gesteinsbewertung anhand der Metamorphose ausführlich dargestellt.

Während der Bearbeitung der Deckeneinheit entstand eine Reihe weiterer Fragestellungen zu möglichen Entwicklungen des Deckenbaus. Die dabei anfallende Geometrie der Decken oder der dergestaltige Bau der Deckeneinheit wird im Rahmen der weiter gefaßten, mechanischen Sicht der Entwicklung des orogenen Keils erläutert. Nach einer Einführung zu den verwendeten mechanischen bzw. physikalisch-mathematischen Grundlagen und Annahmen werden diese Fragen beantwortet. Im Zuge der Auswertung wird im Rahmen von geometrischen Zusammenhängen aus den verwendeten Formeln aus der Statik und Felsmechanik die Möglichkeit einer quantitativen Überprüfung der anhand von Geländedaten konstruierten Deckenbaus der geologischen Karten und Schnitte aufgezeigt. Anschließend wird eine regionale Interpretation der tektonischen Entwicklung der skandinavischen Kaledoniden unter besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse der mechanischen Überlegungen sowie der tektonischen Auswertung versucht.

Um eine Konzentration der Kernaussagen zu erreichen, wird in der Arbeit selbst auf die Darstellung der Arbeitsweisen sowie die Vorstellung der verwendeten Lithologien im Detail weitgehend verzichtet. Diese sind im Anhang zu finden.

