

Angewandte Geologie:
Beiträge zu Wissenschaft und Technik
sowie wissenschaftliche Kooperation mit
der Polnischen Akademie der Wissenschaften –
ein persönlicher Erfahrungsbericht¹

Die Geologie umgibt uns überall,
sie ist als Bereitstellerin vieler Ressourcen
eine der Grundlagen unseres Lebens,
was aber versteht man unter “Angewandter Geologie”?

Die klassische Geologie, auch als Erdwissenschaft bezeichnet, befasst sich hauptsächlich mit der Klassifizierung von Gesteinen, aus denen sich die Erdkruste unseres Planeten zusammensetzt. Im Fokus der wissenschaftlichen Arbeiten stehen ihre Entstehung, Zusammensetzung, räumliche Verbreitung, zeitliches Vorkommen und ihre späteren Verformungen und Umwandlungen, z.B. durch tektonische Beanspruchung oder Metamorphose.

Noch während des Universitätsstudiums Anfang der 1970er Jahre wurden außer den Hauptfächern Mineralogie und Petrographie, Paläontologie, Allgemeine, Regionale und Historische Geologie die angewandten Bereiche wie Erdölgeologie, Ingenieurgeologie und Hydrogeologie in den Studienplänen als für die „reine“ Wissenschaft (Grundlagenforschung) unbedeutende Nebenschauplätze behandelt. Die „Angewandte Geologie“ ist jedoch für das tägliche Leben essenziell und beschäftigt sich mit der Suche nach Rohstoffen (Minerale, Erze,

¹ Dieser Beitrag beruht auf einem Vortrag, den der Verfasser im Rahmen einer Veranstaltung der Polnischen Akademie der Wissenschaften, der Polnischen Geologischen Gesellschaft und des Vereins der Polnischen Ingenieurinnen & Ingenieure in Österreich im Wissenschaftlichen Zentrum der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Wien am 28. März 2023 gehalten hat.

Sedimente und Gesteine als Baustoffe, Kohle, Erdöl & Erdgas, Trinkwasser), Problemen der Geotechnik (Tief- & Tunnelbau, Bohrungen, Fundamentierungen), Interpretation von geophysikalischen und geochemischen Daten sowie der Gefährdung und der notwendigen Sicherung des menschlichen Lebensraumes (Umweltschutz, Naturgefahren und deren Abwehr sowie deren Auswirkungen auf bereits mit höherem Risiko verknüpften technologische Einrichtungen).

Es war zunächst der Bergbau, welcher der geologischen Wissenschaft entscheidende Impulse zur Klärung wichtiger wissenschaftlicher Fragen brachte. Die Suche nach Rohstoffen förderte ernsthafte Überlegungen über das Alter der Erde und der Gesteinsformationen, weiters die Aufnahme von ersten geologischen Karten im Gelände, die Beschäftigung mit der räumlichen und zeitlichen Beanspruchung von Gesteinskörpern und ihren tektonischen Bewegungen sowie die Verbesserung von Stollen- und Tunnelbau durch Anpassung an die Gebirgsverhältnisse (Gebirgsdruck, Grundwasser). Der ober- und unterirdische Abbau von verschiedenen Gesteinen, Salz, Erz, Kohle, die Förderung von Kohlenwasserstoffen und die Suche nach ausreichenden Wasservorräten beeinflussten die Entwicklung des industriellen Zeitalters, befruchteten den wissenschaftlichen Fortschritt und ermöglichten bessere Lebensbedingungen. Der enorme Zuwachs an geowissenschaftlichen Erkenntnissen im 19. und 20. Jahrhundert ist somit zu einem großen Teil der angewandten Forschung & Praxis zu verdanken. Dabei sind die Pionierleistungen bei der Erdöl- und Erdgasexploration in den Karpaten, im Königreich Galizien der k.u.k. Monarchie, besonders hervorzuheben. Schon im frühen 19. Jahrhundert wurden in der Umgebung von Drohobycz Erdöl und Erdwachs (Ozokerit), das sich in Geländemulden gesammelt hatte, abgeschöpft und geschürft. Diese Naturprodukte wurden zum Einlassen von Lederwaren, als Wagenschmiere oder als Leuchtöl verwendet. Dem Lemberger Chemiker und Pharmazeuten Ignacy Łukasiewicz, der sein Pharmaziestudium an der Universität Wien abgeschlossen hatte, gelang es, Petroleum aus Erdöl zu destillieren. 1856 errichtete er die erste Ölraffinerie der Welt. Er entwickelte auch die ersten Petroleumlampen, die nicht nur die Apotheke seines Förderers und Geschäftspartners, sondern erstmals am 31. Juli 1853 einen Operationssaal in einem Lemberger Spital beleuchteten. 1857 wurde als erstes öffentliches Gebäude in Wien der Wiener Nordbahnhof mit Petroleum aus Drohobycz, genannt Naphta, erhellt. Damit erfuhr die Erdölindustrie einen rasanten Aufschwung, 1862 erlaubte die von den Ölfeldern

in Pennsylvanien übernommene Bohrstangententechnik bereits das Erreichen einer Tiefe von 250 Metern. 1877 organisierte Łukasiewicz den ersten Ölindustrie-Kongress und gründete den Verein der Nationalen Erdöl-Gesellschaft. 1881 waren in Boryslaw 1200 Bohrtürme in Betrieb und weitere 550 im Bau. Die galizischen Ölfelder machten Österreich-Ungarn nach den USA und Russland zum drittgrößten Ölproduzenten vor dem Ersten Weltkrieg. Im 20. Jahrhundert entwickelte sich die Erdölgeologie zum wirtschaftlich dominierenden Bereich der Angewandten Geologie, wobei die Mikropaläontologie, die Sedimentologie und die Geophysik wesentlich dazu beitrugen. Wurden zunächst nur seichte Lagerstätten in wenigen hundert Metern erschlossen, kam es bald mit der Weiterentwicklung der Bohrtechnik und der Verbesserung der Prospektion zum Vordringen in Tiefen von mehreren tausend Metern und zur Förderung nicht nur auf dem Festland, sondern auch im küstenfernen Schelfbereich und in größeren Meerestiefen. Ein großer Anteil des heute weltweit geförderten Erdgases wird nicht nur aus den klassischen sandigen Speichergesteinen gefördert, sondern durch Aufbrechen kleinster Spalten ("fracking") aus sonst wenig porösen Mergeln ("Schiefergas"). Erwähnenswerte Fortschritte im 21. Jahrhundert gelingen mit der Weiterentwicklung geophysikalischer Methoden und in der Energiegewinnung aus der Geothermie, nicht nur durch die Nutzung der Wärme zirkulierender Tiefenwässer und über Erdwärmesonden, sondern auch durch künftige Wiederverwendung stillgelegter Erdöl- & Erdgasbohrungen.

Die wenigsten Absolventen eines Geologiestudiums bleiben im Wissenschaftsbetrieb an den Universitäten und Forschungsanstalten. Die weltweite Mehrheit der Absolventen verbrachte bisher ihre berufliche Laufbahn in der Erdöl- und Erdgasförderung (Exploration und Produktion). Eine kleinere Anzahl von Geologen ist in der übrigen Rohstoff-Exploration und in der Qualitätskontrolle bei Abbau und Förderung tätig. Abhängig von der jeweiligen Baukonjunktur in verschiedenen Ländern gibt es dann noch weitere berufliche Chancen im Verkehrswegebau, Tunnelbau, Bau von Kavernen und Staudämmen sowie beim Ausbau der Wasserversorgung. Viele Geologen arbeiten in den staatlichen Administrationen (Geologische Bundes- & Landesanstalten, Abteilungen bei Landesregierungen), sowohl in der Grundlagenforschung als auch in Arbeitsbereichen der Angewandten Geologie (Landesaufnahme, Rohstoffsuche und -beurteilung, Wasserversorgung und Naturgefahren). Grundlagenforschung und Arbeitsaufgaben der Angewandten Geologie ergänzen sich dabei gegenseitig.

Tektonik, gravitative Massenbewegungen und Gebirgsmechanik

Der Verfasser dieses Beitrages hatte das Glück, noch während des Studiums an der Universität am gerade gegründeten Geophysikalischen Institut der Technischen Universität Wien unter Professor Adrian Eugen Scheidegger im Rahmen von Forschungsprojekten (Internationales Geodynamik-Projekt, Lithosphärenprojekt) mitzuarbeiten, woraus sich dann auch die interne Diplomarbeit über die Bruchtektonik und den Vergleich mit jurassischen Rotkalk-Spaltenfüllungen im Hochkönig-Massiv und im Steinernen Meer ergab. Was ihn damals besonders motivierte und wovon seine Ausbildung sehr profitierte, war die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Geophysik, Geodäsie und Geologie, aber auch die interessanten Vorlesungen und Exkursionen mit Professor Eberhard Clar, der den Geologenkompass entscheidend verbessert hatte. Ein wesentlicher Arbeitsbereich betraf die Untersuchung von Großhangbewegungen, von den frühen Ingenieurgeologen Otto Ampferer und Josef Stiny „Bergzerreißung“ und „Talzuschub“ genannt, in verschiedenen kalkalpinen und zentralalpinen Gesteinsformationen (Hallstatt, Wörschach, Bad Goisern, Lesach, Irschen, Bad Gastein). Durch die spätere Teilnahme an einem Projekt der Impaktforscher Charles Officer & John Lyons von der amerikanischen Universität Dartmouth konnte der Autor auch an der Erforschung der Ursachen für den riesigen Bergsturz im Ötztal (Köfels) mitarbeiten. Weder Vulkanismus noch Meteoriteneinschlag, sondern ein Erdbeben hatte den Bergsturz vor ca. 9000 Jahren ausgelöst, die einem Bimsstein ähnliche Reibungsschmelze und verglaste Gesteinsflächen erzeugt und das breite Tal mit einem Riegel aus zerrüttetem Gestein und noch kompakt verbliebenen riesigen Gesteinsblöcken blockiert. Für den Ort Umhausen, der auf den über zerrütteten Bergsturzmassen abgelagerten Flusssedimenten liegt, ergab sich ein erst spät erkanntes Gesundheitsproblem durch eine stellenweise hohe Radonbelastung.

Ein zweites Arbeitsgebiet bestand aus geotechnischen Gebirgsspannungs-Messungen und deren tektonischer Interpretation. Die dabei angewandten Verfahren waren für den Bergbau in Schweden erfunden und später in Südafrika und Australien weiterentwickelt worden. Aus dem Bedarf der montanistischen Praxis, die Veränderung der Spannungszustände im Gebirge untertage vor und während des Abbaus zu kennen, besonders in den von gefährlichen Bergschlägen betroffenen Bereichen, erfolgte die Anwendung dieser Verfahren in der tektonischen Forschung.

Die im Zuge dieser Projekte durchgeführten Messungen in tiefliegenden Tunnel und Stollen in Italien, Schweiz, Deutschland und Österreich (unter der Leitung von Dozent Franz Kohlbeck) ergaben für Mitteleuropa eine tektonische Hauptdruckspannungsrichtung von SO nach NW, übereinstimmend mit den Herdflächenlösungen von Erdbeben. Diese Forschungsergebnisse wurden in der Fachzeitschrift „Rock Mechanics“, Nachfolger der von Josef Stiny gegründeten Zeitschrift „Felsbau“, publiziert² und in der Weltkarte der tektonischen Spannungen (world stress map) aufgenommen. Die Ursache dieser Spannungen in der Erdkruste liegt in der Konvergenz der Plattenbewegungen: die Adriatische Mikroplatte bewegt sich bis zu 5 mm/Jahr gegen die Eurasische Platte im Norden. Als Folge des Nordschubs des Adriatischen Sporns („Adriatic indenter“) treten Seitenverschiebungen („strike slip faulting“) und Abschiebungen („normal faulting“) entlang von tektonischen Lineamenten auf. Durch das Eindringen der Adriatischen Mikroplatte in den Alpenkörper weicht der östlichste Abschnitt der Zentralalpen, begrenzt von der Mur-Mürz-Wiener Becken-Störung („Vienna Basin Transfer Fault“) und der Lavant Störung, mit bis zu 2,5 mm/Jahr gegen Osten aus („lateral extrusion“ der Ostalpen und des Pannonischen Blocks). Die Wiener-Becken-Störung streicht als linksseitige Seitenverschiebung in den Kleinen Karpaten weiter gegen Nordosten und geht in Südpolen in die Karpatenüberschiebung über. Erstaunlich ist die Tatsache, dass erst nach der Jahrtausendwende auch kleinere Lithosphärenplatten als solche aufgefasst wurden, vor allem im Bereich der jungen Faltengebirgszonen zwischen den großen Kontinentalplatten, z. B. Iberien, Adria, Anatolien und andere Mikroplatten in den Alpidischen Gebirgen zwischen Afrika, Arabien und Eurasien, während die kleineren Platten westlich Nordamerikas längst bekannt waren. Die neuen seismo-tektonischen Ergebnisse führten zur Einstufung von Faltengebirgen („fold & thrust belts“) wie Atlas, Apenninen, Pyrenäen, Alpen, Karpaten, Dinariden, Helleniden, Kaukasus, Zagros, Elburs und Tien Shan als „diffuse konvergierende Plattengrenzen“.

Die Satellitenbildtechnologie (remote sensing), besonders durch die Infrarot-Sensoren der US-Landsat-Satelliten, aber auch durch die französischen Spot-Image-Satelliten, brachte in der Mitte der 1970er Jahre einen gewaltigen Fortschritt in der Erdbeobachtung und im Vermessungswesen sowie eine völlig neue Sicht über unsere in Bewegung befindliche Erdkruste – die Plattentektonik.

² Adrian E. Scheidegger, Tectonic Stresses in the Alpine-Mediterranean Region. Rock Mechanics, Wien – New York 1980.

Kontinentale und ozeanische Lithosphärenplatten driften an mittelozeanischen Rücken auseinander ("sea floor spreading"), tauchen in Tiefseerinnen unter andere ab ("subduction") oder gleiten aneinander vorbei ("transform fault"). Das von Alfred Wegener (1915) angedachte Konzept einer mobilen Erdkruste und einer deren Antrieb erklärenden Wärmestromhypothese von Arthur Holmes (1928) fand erst ab 1960 nach Tiefseebohrungen und geomagnetischen Messungen die verdiente allgemeine Anerkennung. In Kombination mit Geochemie und Geophysik kommt die Wissenschaft dem Motor der Bewegungen auf die Spur, den Zuständen im Grenzbereich zwischen Erdkern und Erdmantel und den im Mantel zirkulierenden Konvektionsströmen.

Für angehende Geologen in der Mitte der 1970er Jahre bewirkte die Betrachtung der Satellitenbilder und die Analyse des Verlaufs und der Kinematik der über lange Strecken die Gebirge zerschneidenden tektonischen Störungszonen (faults) ein besonderes Aha-Erlebnis. Mit verschiedenen Methoden (Seismik, Gravimetrie, Geoelektrik) wurden am Institut für Geophysik unter den Professoren Adrian Eugen Scheidegger und Ewald Brückl einige dieser tektonischen Störungszonen und ihre sogar bis in jüngste Zeit anhaltenden Bewegungen untersucht. Die vom niederösterreichischen Alpenvorland quer durch die Böhmisches Masse streichende Diendorfer Störung, die Inntal-Störung, das Salzach-Ennstal-Lineament, die Mur-Mürz-Wiener Becken-Störung, die weiter östlich durch Ungarn und die Slowakei ziehende Vepor-Raab-Störung und die Periadriatische Naht seien hier als bedeutende Störungszonen genannt. Die an der Universität Wien von Kurt Decker & Mitarbeitern in den letzten drei Jahrzehnten durchgeführten paläoseismologischen Untersuchungen der aktiven Tektonik im Alpenraum brachten weitere neue Ergebnisse: das gewaltige Ausmaß der aktiven Bewegungen entlang der großen Seitenverschiebungen, belegt mit im Gelände gewonnenen Daten von historischen und prähistorischen Erdbeben. Das stärkste dieser prähistorischen Erdbeben führte zu einem Oberflächenversatz von 1,5 bis 1,9 m, der einer Magnitude von $M_w \sim 7.0$ entspricht! Dies ist die größte bisher dokumentierte Magnitude für ein Erdbeben nördlich der Alpen. Ein Starkbeben im Wiener Raum in dieser Größenordnung ist bislang weder im Bauwesen noch vom Zivil- und Katastrophenschutz berücksichtigt. Abbildung 1 zeigt den Paläoseismologie-Trench, der den Markgrafneusiedlbruch quert und dadurch die Geländevertiefung in den Schottern unterhalb der Bodenbedeckung sichtbar macht und die Untersuchung ermöglicht.



Abbildung 1: Paläoseismologie-Trench mit der Geländeverstellung durch ein prähistorisches Erdbeben der Magnitude 7 am Markgrafneusiedlbruch im Marchfeld, knapp östlich von Wien.
(Foto: Roman Lahodynsky).

Das weiter östlich gelegene Lasee-Segment der Wiener Becken-Störung wurde als Verursacher von schweren Bebenshäden in der Römerstadt Carnuntum im 4. Jahrhundert erkannt. Brüche und tektonische Störungen erlangten dann auch bei der Beurteilung von Grundwasser-Vorkommen und deren Wegigkeiten sowie bei der Abschätzung der Erdbebengefährdung von Bauwerken und Kraftwerks-Standorten eine besondere praxisnahe Bedeutung. In den Projektunterlagen (und in den Diskussionen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung) für einen geplanten 10 km langen Autobahntunnel in dieser Region wurden von den Gutachtern weder dieses in weniger als 4 km Entfernung von der Geländeverstellung nachgewiesene Starkbeben ($M=7$), noch die schwächeren Beben im 20. Jahrhundert berücksichtigt (Schwadorf 1927, $M=5,2$, Intensität 8). Für die Einschätzung der Erdbebengefährdung wurde lediglich die für Hochbauten geltende Baunorm herangezogen. Sie basiert auf einer seismischen Zonierung, bei der die Grenze zwischen den von Erdbeben

stärker oder schwächer erschütterten Geländeabschnitten keine geologischen Unterschiede im Untergrund berücksichtigt. Diese Zonengrenze quert alle tektonischen Störungen des Untergrundes und folgt dem im 19. Jahrhundert ausgebaggerten geradlinigen Verlauf der regulierten Donau. Hätte der Geologe Eduard Suess nicht die Donauregulierung durchgesetzt, würde diese seismologische Zonengrenze heute vielleicht irgendwelchen Donaumäandern in den Alluvionen folgen. Hier zeigt es sich, dass die Ergebnisse der Grundlagenforschung manchmal extrem langsam und nur gegen große Widerstände ihre Berücksichtigung in den angewandten Bereichen wie dem Ingenieurwesen und der Bautechnik finden. Von einem Verwaltungsjuristen wurde noch dazu entgegengehalten, dass der "Stand der Wissenschaft" deswegen nicht berücksichtigt werden könne, weil wissenschaftliche Erkenntnisse sich ständig ändern und keine endgültigen Aussagen liefern!

Sedimentologie und Stratigraphie, Kooperation mit der Polnischen Akademie der Wissenschaften

Die Exploration nach Kohlenwasserstoffen (Erdölgeologie) hat eine enorme Weiterentwicklung in den Arbeitsgebieten der Geophysik, Tektonik, Stratigraphie und Sedimentologie ausgelöst. Die Fortschritte in der Mikro- und Nanopaläontologie ermöglichten genaueste Zeiteinstufungen verschiedenster Sedimente, eine bessere Korrelation von Bohrungsaufnahmen (logs) und begründeten auch die "Event – Stratigraphie", also die extrem genaue Analyse seltener geologischer Ereignisse. Was die „Angewandte Mikropaläontologie“ betrifft, muss hier die von Józef Grzybowski am Beginn des 20. Jahrhunderts an der Jagiellonen Universität entwickelte Methode der geologischen Korrelation mit Hilfe fossiler Foraminiferen-Gemeinschaften erwähnt werden. Etwas später begründete dort Professor Marian Książkiewicz die polnische Schule der Sedimentologie, indem er sedimentäre Strukturen in Turbiditen der Tiefsee erforschte und paläogeographische Rekonstruktionen von Flyschbecken durchführte. Seine Arbeiten über Spurenfossilien im Flysch sind Pionierarbeiten in der Ichnologie.

Die genauen Kenntnisse über die verschiedenen Ablagerungsmilieus von sedimentären Gesteinsabfolgen, die rezent oder in vergangenen geologischen Zeiten abgelagert wurden, verdanken wir den mit hohem wissenschaftlichem und technischem Aufwand errungenen Erfolgen einer weltweiten Kohlen-

wasserstoff-Exploration. Der Verfasser dieses Beitrags hatte im Rahmen seiner Dissertation die Aufgabe, die von einem einstigen Kontinentalhang in submarinen Canyons bis in die Tiefsee geflossenen und dort in Form von Tiefseefächern abgelagerten Trübeströmen (Turbidite) und andere Rutschungen von Meeressedimenten zu untersuchen, welche die Formationen der flyschartigen Gosau-Sedimentgesteine (Alter: Oberkreide – Paläogen) aufbauen. Die Klassifizierung der unterschiedlichen Gesteinsserien in den Flyschzonen der Alpen, Karpaten, Pyrenäen, Apennin und in anderen Gebirgszonen ermöglichten ein besseres Verständnis der Ablagerungsmechanismen und damit die Erdölexploration in vielen Regionen. Abbildung 2 zeigt die grauen und roten Mergelserien der Nierntaler Formation (Maastricht), welche in der Rotwand beim Vorderen Gosausee (Salzkammergut) von paleozänen Sandsteinen und Mergeln der Zwieselalm-Formation überlagert werden.



Abbildung 2. Graue und rote Mergelserien der Nierntaler Formation (Maastricht) unter der Sandstein-Tonmergel Wechsellagerung der Zwieselalm Formation (Paleozän), Rotwand, Oberösterreich
(Foto: Roman Lahodynsky).

Die Arbeiten von Stanisław Dzuliński, den der Autor im Dezember 1984 kennenlernen durfte, waren eine wertvolle Hilfe bei der Beurteilung der Fließrichtung von Flysch- Sedimenten und der Paläo-Strömungsanalyse in den verschiedenen Sedimentbecken.



Abbildung 3. Aufschluss im Elendgraben mit der K/Pg-Grenze
(Gosauschichten, Salzkammergut)
(Foto: Roman Lahodynsky).

Im “Gosau-Becken” von Gosau (Oberösterreich / Salzburg) fand der Verfasser dieses Beitrags im Mai 1984 jene, die Grenze von Erdmittelalter und Erdneuzeit definierende iridiumhaltige Tonschicht, genauer als K/Pg (Kreide-Paläogen-Grenze) bezeichnet, welche vom Einschlag eines Asteroiden nördlich von Yucatan vor 66 Millionen Jahren stammte. Die an dieser Zeitenwende erfolgten weltweiten Veränderungen der Faunen waren den Paläontologen seit langem bekannt. Aber erst zu Beginn der 1980er Jahre erfolgten die ersten Entdeckungen dieser Tonschicht und der Nachweis eines Massenaussterbens von 70 % aller Tierarten als Folge des Asteroideneinschlages, auf den die Anreicherung von Platinmetallen zurückgeführt wird. Die ersten Entdeckungen und Analysen gelangen dem Geologen Walter Alvarez und seinem Vater Luis Alvarez, Erfinder und Nobelpreis-

träger für Physik, in Gubbio (Umbrien, Italien) und Stevns Klint (Dänemark). Abbildung 3 zeigt den Aufschluss im Elendgraben (südlich von Russbach) mit der K/Pg-Grenze: Die Messlatte steht auf der jüngsten Kalkmergelbank der Kreidezeit, darauf wurde der Grenzton abgelagert und darüber folgt die turbiditische Sandstein-Tonmergel-Wechselagerung des Paläozäns. Die kleinen Bohrlöcher wurden zum Zweck der paläomagnetischen Analysen ausgeführt, welche mit dem Muster der Magnetfeld-Umpolungen einen geologischen Altershinweis liefern.

Die Analysen der gelben bis rostbraunen Tonlage („rusty layer“) ergaben einen erhöhten Iridiumgehalt von 13,5 ppb. Einen wesentlichen Anteil an der erfolgreichen Suche hatten die mikropaläontologischen Bestimmungen durch Herbert Stradner, des Plankton-Spezialisten an der Geologischen Bundesanstalt, in dessen Abteilung der Autor seit 1982 mitarbeiten durfte.

Dieser erste Fund in Österreich und die weiteren Funde einer vom Impakt eines ca. 8 km großen Asteroiden herrührenden ehemaligen Staubschicht, gelangen der Arbeitsgruppe in den Gesteinen der damaligen Meeresgebiete am Ende der Kreidezeit (Tethys-Ozean, Penninischer Ozean), weitab vom Einschlagsereignis im Golf von Mexico. Die nach dem Impakt bis in die Stratosphäre hochgeschleuderten Partikel wurden als feinkörniger Niederschlag („fallout“) weltweit verbreitet und u.a. in den Tiefsee-Sedimenten der Oberkreide abgelagert. Durch viel später erfolgte tektonische Bewegungen und Erosion großer Gesteinsmassen sind manche Gesteinsabfolgen nicht mehr vorhanden. In den Gosaubecken von Gosau-Russbach und Gams bei Hieflau waren jedoch mehrere Abschnitte dieser Gesteinsserien im Übergang Oberkreide / Paläogen erhalten geblieben und sind von den Bächen aufgeschlossen worden. Das weltweite Interesse an diesem seltenen geologischen Ereignis gab den Anlass für ein wissenschaftliches Projekt der Österreichischen Akademie der Wissenschaften („Event-Stratigraphie“), bei dem die Geologische Bundesanstalt und mehrere geologische und mineralogische Institute verschiedener Universitäten zusammenarbeiteten. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden in verschiedenen Fachzeitschriften publiziert, u.a. im renommierten Wissenschaftsjournal Nature:

Anton Preisinger / E. Zobetz / A. J. Gratz / Roman Lahodynsky / Max Becke
/ Hermann J. Mauritsch / G. Eder / F. Grass / Fred Rögl / Herbert Stradner
/ Rouben Surean, *The Cretaceous/Tertiary boundary in the Gosau Basin, Austria*, in: Nature 322 (6082), 1986, S. 794-799.

Professor Andrzej Ślącza und Dozent Stanisław Leszczyński von der Krakauer Jagiellonen-Universität luden Herbert Stradner und den Verfasser dieses Beitrags zur Regionalen Sedimentologenkonzferenz der International Association of Sedimentologists im Frühling 1986 nach Kraków ein, um die in der Gosau-Formationsgruppe gewonnenen Forschungsergebnisse vorzustellen. Stan Leszczyński verdankte der Autor bereits 1984 und 1985 die Teilnahme an vergleichenden Exkursionen im Flysch der Karpaten und mehrere Treffen mit den Krakauer Professoren Stanisław Geroch, Stanisław Dzułiński und Andrzej Ślącza.

Von Professor Otto Walliser, Generalsekretär der International Paleontological Association und Leiter des Projekts 2016 des International Geoscience Programme “Global Biological Events in Earth History” wurde der Verfasser dieses Berichts im Oktober 1987 zur Konferenz der Spanischen Paläontologischen Gesellschaft nach Bilbao eingeladen, um die Untersuchungen an der K/Pg-Grenze in der Gosauformation zu präsentieren. Dort konnte er im Rahmen der Exkursionen der “Journadas de la Paleontologia” auch die berühmten Fundstellen der K/Pg-Grenze im Baskenland in Sopelana, Plentzia und besonders in Zumaia besichtigen – jetzt ein sehenswerter Geopark an der Baskischen Atlantikküste. Auf dieser Konferenz traf der Autor Frau Danuta Peryt aus Warszawa, Mitarbeiterin der Polnischen Akademie der Wissenschaften, Abteilung Paläobiologie. Gemeinsam mit Prof. Robert Rocchia vom französischen Forschungsinstitut Commissariat à l’énergie atomique et aux énergies alternatives / Paris-Saclay (CEA) wurde eine Kooperation zur Bearbeitung der Kreide-Paläogen-Grenze an der Rotwand beim Vorderen Gosausee in Oberösterreich vereinbart. Es fanden mehrere Begehungen und Probenahmen im Gelände mit Danuta Peryt und auch eine gemeinsame geologische Exkursion mit Tadeusz Marek Peryt, dem späteren Direktor des Polnischen Geologischen Instituts, statt. Die gemeinsamen Untersuchungsergebnisse wurden in internationalen Journalen publiziert. Die Beachtung von Aussterbeereignissen in der geologischen Vergangenheit bewirkte eine Sensibilisierung der Gesellschaft in den Themenbereichen der nuklearen Abrüstung in den 1980-90er Jahren und hat heute einen Einfluss auf den Diskurs über die dramatischen Änderungen unseres Klimas, die anthropogene globale Erwärmung.

Danuta Peryt / Roman Lahodynsky / Robert Rocchia / Daniel Boclet, *The Cretaceous/Paleogene boundary and planktonic foraminifera in the Flysch Gosau (Eastern Alps, Austria)*, in: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 104, Issues 1–4, 1993, S. 239-252.

Danuta Peryt / Roman Lahodynsky / Tomasz Durakiewicz, *Deep-water agglutinated foraminiferal changes and stable isotope profiles across the Cretaceous–Paleogene boundary in the Rotwandgraben section, Eastern Alps (Austria)*, in: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132. Jg., Nr. 1-4, 1997, S. 287-307.

Ingenieurgeologie und Hydrogeologie (kommerzielle Anwendung geologischer Methoden in der Praxis des Bauwesens und der Wasserversorgung)

In den Jahren 1990 bis 1997 arbeitete der Autor dieses Beitrags als einer von fünf Geologen im Geologischen Büro Traunkirchen im Bundesland Oberösterreich. Ein privates Technisches Büro ist Auftragnehmer von Privatpersonen (meist Hausbesitzern), von Architekten, Gemeindeverwaltungen, Wasserverbänden bis hin zur Landesregierung und muss ein breites Spektrum an Untersuchungsmethoden anbieten können. Im Zuge der Anfertigung spezieller geologischer Gutachten sind geologische Kartenaufnahmen, Bohrungsbetreuungen, Rammsondierungen, Tunnelaufnahmen, die Beurteilung von Baustellen in Hanglagen, von kontaminierten Flächen und Altlasten, die Suche nach Grundwasservorkommen, Pumpversuche und Pegelstandskontrollen vor und während der Bohrungen oder Bauarbeiten und die Ausweisung von Schutzzonen für Quellen und Brunnen erforderlich. In der Angewandten Geologie tätige Erdwissenschaftler sind häufig nur mit routinemäßigen geologischen und geotechnischen Arbeiten beschäftigt. Es hat sich jedoch immer wieder herausgestellt, dass ein Auftrag deshalb erfolgreich erledigt werden konnte, weil sich die involvierten Geologen über die technische Routine hinaus auch mit grundlegenden Fragen und der geologischen Besonderheit eines Gebietes auseinandergesetzt haben.

Beurteilung von Gefährdungen und Risiken (hazard & risk assessment)

Von 1998 bis 2006 und von 2010 bis 2016 arbeitete der Verfasser dieses Beitrags als Universitätsassistent am Institut für Risikoforschung der Universität Wien (IRF), welches 2009 als Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften an die Universität für Bodenkultur transferiert wurde. Die Hauptaufgabe des Institutes

war die Beratungstätigkeit für das Umweltministerium bei der Risikobeurteilung geplanter oder schon errichteter Kernkraftwerke, nuklearer Zwischenlager oder geplanter radioaktiver Endlager in den Nachbarländern und die Teilnahme an bilateralen Verhandlungen und Fachgesprächen. Die Aufgabe für den Geologen des Teams bestand in der Beurteilung der Erdbebengefährdung und der dadurch bedingten, von den nuklearen Anlagen ausgehenden erhöhten Risiken. Die paläoseismologischen Untersuchungen von historischen Starkbeben ergaben, dass das Risiko seltener großer Ereignisse bisher immer unterschätzt wurde. Das stärkste historische Beben im Wiener Raum war das "Neulengbacher Beben" vom 15.09.1590 mit der geschätzten Bebenstärke (Magnitude) 6 und einer Intensität von 9. Die Neubeurteilung historischer Schadensberichte bewirkte eine Verlegung des angenommenen Epizentrums von Neulengbach nach Ried am Riederberg, weshalb dieses Starkbeben in "Riederberg 1590" umbenannt wurde. Diese Erkenntnis stimmt auch besser mit der Überschiebung der Flyschzone der Alpen auf die Molassezone des Alpenvorlandes überein. Aufgrund der Intensitäten von 8 bis 9 hatte es im Tullner Becken große Zerstörungen verursacht. Abbildung 4 zeigt Risse an einem 1540 errichteten Turm der Tullner Stadtmauer. Die schräg nach außen gekippte Mauer des nördlichen Seitenschiffs der Tullner Stephanskirche drohte einzustürzen, weshalb eine zweite Mauer als Stütze errichtet werden musste.

Noch in größerer Entfernung (in Südböhmen und Wien) bewirkten die Intensitäten 6 und 7 große Gebäudeschäden. Die Magnitude 6 ($M_w=6,3$) und die Intensität 9 der Bodenerschütterungen im mit quartären Alluvionen bedeckten Tullner Becken des Alpenvorlandes nahe dem Epizentrum fand keine Berücksichtigung in der Planung des von 1972 bis 1976 errichteten, jedoch nach einer Volksabstimmung 1978 nicht in Betrieb genommenen Kernkraftwerkes Zwentendorf bei Tulln an der Donau, das ca. 17 km vom Epizentrum entfernt liegt.



Abbildung 4. Risse vom Starkbeben 1590 an einem Turm der Tullner Stadtmauer
(Foto: Roman Lahodynsky).

Auch der Karner mit seinen spätgotischen Wandmalereien wurde schwer beschädigt (Abbildung 5).



Abbildung 5. Der beschädigte Karner in Tulln an der Donau
(Foto: Roman Lahodynsky).

Aber auch bei der Planung der Kernkraftwerke Dukovany und Temelín in Tschechien wurden die möglichen Bebenstärken an der Diendorfer und an der Hluboká-Jáchymov Störung unterschätzt. Im Zuge der Diskussionen um das Thema seismisches Risiko von nuklearen Einrichtungen wurden Fachleute aus Österreichs Nachbarstaaten, aber auch Gutachter aus anderen Ländern zu Fachgesprächen eingeladen. Experten für Seismologie, Seismotektonik und Paläoseismologie hielten Vorträge, darunter die Professoren Cinna Lomnitz von der Universidad Nacional Autónoma de México in Mexiko, Roger Musson vom British Geological Survey in Edinburgh, Mustapha Meghraoui von der École et observatoire des sciences de la terre der Universität Strasbourg (EOST), Peter Suhadolc, ehemaliger Generalsekretär der International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior von der Universität Trieste und Witold Zuchiewicz von der Jagiellonen-Universität Kraków als Experte für Neotektonik in den Karpaten. Von ihm und seinen Kollegen stammen auch wichtige Beiträge zur Geschichte der geologischen Wissenschaften in Polen und zu den nicht nur in den Karpaten tätigen polnischen Geologen und Paläontologen (<https://ing.uj.edu.pl/institut/historia>). Ein Dauerthema seit den 1990er Jahren war die wissenschaftliche Auseinandersetzung um die Beurteilung der Sicherheit des Kernkraftwerkes Krško in Slowenien, welches in einem Gebiet mit sehr hohem Erdbebenrisiko errichtet wurde. Während 2022 für das seit den 1980er Jahren bestehende Kraftwerk seitens der Aufsichtsbehörde eine Laufzeitverlängerung um 20 Jahre bewilligt wurde, ohne das seit vielen Jahren von italienischen, österreichischen und kroatischen Experten geforderte "Upgrading" auf höhere seismische Sicherheit durchzuführen, werden für ein geplantes zweites Kernkraftwerk am gleichen Ort die geforderten sehr hohen maximalen Bodenbeschleunigungswerte berücksichtigt, wodurch jetzt die Richtigkeit der Einsprüche nachträglich bestätigt wird. Neben diesen angewandten geologisch-geotechnischen Arbeiten waren Vorlesungen, Seminare und Exkursionen als frei wählbares Fach für interessierte Studenten abzuhalten. Der Autor erlebte einen besonderen Glücksfall, geologisches Wissen weiterzugeben, als mehrere hundert Studenten des Umweltmanagement-Studiums vor ihrem Bachelor-Abschluss noch eine (!) Exkursion zu absolvieren hatten und die für ihr Studium verantwortlichen Assistenten keine freien Kapazitäten mehr hatten. Dadurch ergab sich die seltene Gelegenheit, die geologische Wissenschaft und ihre Anwendungsmöglichkeiten an einem Tag in der Natur jeweils 10 bis 20 Studenten, die nie eine geologische Vorlesung besucht hatten, nahezubringen.

Von 2001 bis 2004 nahm das Institut für Risikoforschung als Kooperationspartner an einem EU-China-Projekt zur nachhaltigen Entwicklung von ländlichen Regionen (7 Dörfer) in China teil, wobei die lokale Bevölkerung in einer „bottom-up“-Herangehensweise einzubinden war, was der sonst üblichen „top-down“-Vorgehensweise zuwiderlief. Eine Aufgabe war die Beurteilung und mögliche Verbesserung der noch nicht nachhaltigen Nutzung von Ressourcen wie z.B. die sich rapide verschlechternde Grundwassersituation. Wo früher der Fuyang He, ein breiter Fluss durch die Ebene strömte und es noch in den 1960er Jahren Überschwemmungen gab, führte die neue Straße nur noch durch Maisfelder in einem trockenen Flussbett. Das Absinken des Grundwasserspiegels um 5 m/Jahr durch 1900 Tiefbrunnen in der Region schien kein Problem darzustellen, da man mit der baldigen Konstruktion von 7 riesigen Bewässerungskanälen rechnete, die das Wasser des Jangtse (Chang Jiang) über viele 100 Kilometer aus dem Süden heranbringen sollten.

2010 bis 2012 war das Institut für Risikoforschung ein Partner in einem EU-Vorausschau-Projekt der Sicherheitsforschung. Die Agenda bestanden in der Beantwortung zweier Hauptfragen: Welche Regionen und Gebiete inner- und außerhalb der Europäischen Union sind besonders vulnerabel? Welche Gefährdungen und Risiken können zu Sicherheitsproblemen und Bedrohungen für die EU führen? Eine unserer Aufgaben bestand in der Analyse von Gefährdungen in Zusammenhang mit dem Klimawandel. Ein anderes großes geplantes EU-Projekt zur Beurteilung von Erdbebengefährdung, Risiko und Vulnerabilität dreier Regionen (Ljubljana-Trieste / Wien-Bratislava / Budapest-Komarno), bei dem viele neue geowissenschaftliche Methoden angewendet werden sollten, war im Wettbewerb um die Forschungsförderung der Europäischen Kommission trotz intensivster Vorbereitung durch die verschiedenen Teams von Geophysikern und Geologen aus Italien, Kroatien, Österreich, Slowakei, Slowenien und Ungarn leider nicht erfolgreich. Ein weiteres Projekt zur Erforschung des indigenen Wissens in Peru, gemeinsam mit Kollegen aus Yunnan (China), Peru und Österreich, kam über eine erste Reise 2006/2007 zum Erkennen der Problemkreise nicht hinaus. Die auf den gemeinsamen interdisziplinären Geländebegehungen stattgefundenen Diskussionen betonten die Wichtigkeit des Erhalts „indigenen Wissens“ und der Pflege der natürlichen Verwandten unserer Kulturpflanzen durch indigene Völker. Dieser Ansatz wäre eine wichtige Ergänzung zum Tieffrieren der Samen unserer Kulturpflanzen und deren Aufbewahrung im „Weltweiten Saatgut-Tresor auf Svalbard / Spitzbergen“.

Tunnelbau, Kanalbau, Infrastruktur – Bauaufsicht, Beratungs- und Lehrtätigkeit

Von 2007 bis 2009 arbeitete der Autor für ein österreichisch-spanisch-pakistanisches Joint-Venture als Senior-Geologe beim Bau des 8,5 km langen Lowari-Tunnels im Norden Pakistans, Provinz Khyber-Pashtunkwa, Bezirke Chitral und Dir. Abgesehen vom Tunnelvortrieb des Lowari-Tunnels nach der neuen österreichischen Tunnelbauweise (NATM, traditioneller Bohr- und Sprengvortrieb, Abbildung 6) mussten auch Straßen, Brücken und Schutzwände errichtet werden.

Junge einheimische Geologen und Ingenieure wurden in ihrer ersten beruflichen Tätigkeit unterwiesen. Zusätzliche Tätigkeiten bestanden in der geologischen Beratung für den Atak-Bewässerungskanal auf 4200 m Seehöhe im Tirich Mir Gebiet, eine Gefährdungsbeurteilung von Fels- u. Gletschereis-Stürzen mit anschließendem Sturzstrom (Sonoghur/Chitral, Abbildung 7) und eine gutachterliche Stellungnahme zu einer geologischen Studie von Prof. Zulfiqar Ahmad, Quaid-i-Azam University, Islamabad, über mehrere Varianten einer geplanten Hochgeschwindigkeits-Bahnstrecke Lahore – Rawalpindi.



Abbildung 6. Lowari-Tunnel, Pakistan.
Tunnelvortrieb nach der neuen österreichischen Tunnelbauweise
(Foto: Roman Lahodynsky).



Abbildung 7. Sonoghur/Chitral, Gefährdungsbeurteilung
von Fels- u. Gletschereis-Stürzen
(Foto: Roman Lahodynsky).

2012 erfolgte ein Aufenthalt als Senior-Wissenschaftler am Mountain Societies Research Institute der University of Central Asia (UCA), einer in Kirgisistan und Tadschikistan neu gegründeten Universität (Aga Khan Foundation), wobei Forschungsvorschläge und Lehrpläne für Geo- und Umweltwissenschaften entworfen werden mussten. Auf ein im Zuge der Goldbergbautätigkeit seitens betroffener Gemeinden gestelltes Ansuchen um eine Expertise und Gefährdungsanalyse wurde leider nicht eingegangen. Darüber hinaus nahm der Verfasser dieses Beitrages an mehreren Tagungen und Geländeseminaren in Kirgisistan (Bischkek, Naryn, Yssykköl, Kyzyl-Oi) und Tadschikistan (Dushanbe, Kulob, Muminobod) teil, u.a. zu nachhaltiger Entwicklung ländlicher Gebiete und zu akuten geologischen Geländebewegungen, Bergstürzen und Murgängen, häufig als Folge von Erdbeben oder bei Nichtbeachtung geologischer Lagerungsverhältnisse ("Neue Seidenstraße", Abbildung 8).



Abbildung 8. Neue Seidenstraße, akute geologische Geländebewegungen
(Foto: Roman Lahodynsky).

Bei der Besichtigung der Baustellen und der fertigen Abschnitte dieser Großprojekte von Straßenbauten in Kirgisistan und Tadschikistan fielen die extrem hohen und steilen Geländeböschungen auf, die sehr hohe Folgekosten in der Erhaltung verursachen werden. 2015 erfolgte die Ernennung des Verfassers dieses Beitrags zum Honorarprofessor an der Kirgisischen Universität für Geologie, Bergbau und natürliche Ressourcen, jetzt wieder Teil der Technischen Universität in Bischkek, und eine Beteiligung an deren Lehrveranstaltungen.

Ausblick

Die Angewandte Geologie hat vielfältige Aufgaben, welche in viele Fachgebiete hineinreichen, die man natürlich nicht alle beherrschen kann, sodass man besser Kooperationen eingeht.

Der Einsatz verschiedenster moderner Methoden in der Untersuchung von Naturgefahren (Erdbeben, gravitative Hangbewegungen) ermöglicht das Verständnis für die treibenden Mechanismen und eine bessere Gefahreinschätzung. Eine Anpassung des gesellschaftlichen und ökonomischen Verhaltens

ist jedoch nicht zwingend damit verknüpft. Beispiele sind mitunter die Standortwahl von Staudämmen, Kernkraftwerken und Endlagern für Abfälle, von Industriestandorten und Tunnelbauten sowie die Entwicklung und Anwendung von Normen. Während die Vorausschau bei den gesellschaftlichen Aspekten der Sicherheit („security“), also Kriege und Flüchtlingsströme, versagt hat, ermöglicht eine genaue wissenschaftliche Bearbeitung der naturräumlichen Gegebenheiten durchaus Hinweise auf Gefährdungen und Sicherheitsprobleme („safety“), die aber oft seitens politisch Verantwortlicher nicht zur Kenntnis genommen werden. Das zeigt die zu geringe oder Nichtbeachtung seltener großer Gefahrenereignisse, und die Umgehung von Bauvorschriften, wie bei den jüngsten Erdbeben in Südostanatolien und im Atlasgebirge. Die Kosten der Schäden, die ein neuerliches Eintreten von seltenen, aber bekannten historischen Starkbeben in Europa (Raum Basel / Köln – Düren / Wien) verursachen würden, erreichen für diese Gebiete nach Schätzung der Münchner Rückversicherung 40 / 48 / 15-25 Milliarden €. Die Entscheidung, ob wir Geld für Prävention oder für Schadensbewältigung ausgeben, liegt bei uns.

Roman Lahodynsky, Dr., nach der Matura 1969 in Linz Ableistung des Militärdienstes an der Luftschutztruppendschule des Österreichischen Bundesheeres mit Ausbildung zum Strahlenschutztechniker im Reaktorzentrum Seibersdorf. Studium der Geologie, Paläontologie, Petrographie und Geophysik an der Universität Wien, Teilnahme an vielen Lehrveranstaltungen an der Technischen Universität, an der Universität für Bodenkultur und am Geotechnischen Institut im Arsenal. Projektmitarbeiter am Institut für Geophysik der Technischen Universität Wien (Gebirgsspannungsmessungen, Hangbewegungen) und an der Geologischen Bundesanstalt (Kartierungen, Event-Stratigraphie, Kooperation mit der Polnischen Akademie der Wissenschaften / Zakład Paleobiologii und dem französischen *Centre national de la recherche scientifique*). Trinkwasser-suche und Tunnelbau mit dem Geologischen Büro Traunkirchen, Assistent am Institut für Risikoforschung (Universität Wien & Universität für Bodenkultur: Erdbebensicherheit von Atomkraftwerken, Endlagerproblematik; EU-Projekte und Studien zur Nachhaltigkeit in China und Peru). Senior Geologe beim Bau des Lowari-Tunnels in Pakistan (2007-2009), Honorarprofessor an der Kirgisischen Universität für Geologie, Bergbau, und natürliche Ressourcen (seit 2015).