

Lehrer fragen, ob *ich* fähig bin, mit anderen ins Gespräch zu kommen, Offenheit zu zeigen, mit Konflikten umzugehen.

Diese Möglichkeit zur Selbsterfahrung, die viel mehr ist, als blosses Kopfwissen, sollte m.E. in der Lehrerbildung einen viel grösseren Raum einnehmen. Wir Lehrer müssen uns die Erlaubnis geben, uns selber als Fragende und Suchende zu begreifen und darzustellen, selber unterwegs, selber in Bewegung zu sein. Ich bin der festen Überzeugung, dass nur Menschen, die selbst noch unterwegs sind, die sich nicht als abgeschlossen und aus-gebildet betrachten, andere wirklich bewegen können. Bemerkenswert ist, dass nicht nur der Erzieher bewegt, sondern dass diese Erziehung auf ihn zurückwirkt, d.h. er gerät selbst wieder in Bewegung. Wenn wir unseren Beruf aus dieser Sicht betrachten, erkennen wir, dass wir in einer äusserst glücklichen Situation sind!

Menschliche Entwicklung kann sich nur in der Begegnung, in der Wechselwirkung mit einem DU vollziehen. So wie ich Unterricht begreife, ist es erstrebenswert, dass der Lehrer dem Schüler und der Schüler dem Lehrer begegnet. Solche Begegnungen sind nur dann möglich, wenn wir aus unseren definierten Rollen heraustreten, wenn wir aufhören, im hergebrachten Sinne Lehrer zu sein. – Das ist äusserst anspruchsvoll und entsprechend mit Angst verbunden, denn das verlangt, dass wir zeigen, wer sich hinter der Lehrermaske versteckt hält. Vielleicht hält uns die Befürchtung, die Schüler könnten zum gleichen Schluss kommen wie der Petit Prince, davon ab, diesen Schritt zur Nähe zu wagen. Er sagt: «Ich bin mit vielen Erwachsenen umgegangen und habe Gelegenheit gehabt, sie ganz aus der Nähe zu betrachten. Das hat meiner Meinung über sie nicht gut getan.» (Antoine de Saint-Exupéry, S. 9). Hat er sie wirklich aus der Nähe betrachtet? Hat er nicht vielmehr die Maske aus der Nähe gesehen? Diese Fragen drängen sich unweigerlich auf, denn Nähe erleben bedeutet für mich auch ein Stück Lebendigkeit erfahren, und das kann nur positiv sein. Nähe und Offenheit sind für mich miteinander verbunden. Sie sind Voraussetzungen für Wachstum und Entwicklung. In Kontakt kommen heisst auch zuhören, hinhören, gehört werden. Wenn man einem Menschen wirklich zuhört, hat er die Chance, verstanden zu werden

und sich selbst zu verstehen. Sich verstanden fühlen heisst, sich akzeptiert fühlen. Nur wenn wir uns angenommen fühlen, können wir echt, real, kongruent oder mit uns selber in Übereinstimmung sein. Wir dürfen dann das *sein*, was wir sind, wir müssen nicht *scheinen*. Jedermann weiss, dass es die schönste Erfahrung ist, sich selbst sein zu dürfen.

Sind das nicht Hilfen zur Persönlichkeitsentwicklung? Und genau dieses Ziel verfolgt die Erziehung. Wenn wir «ja» sagen zur Erziehung durch Sport, müssen wir diesen Aspekt der Erziehung, der Lehrerpersönlichkeit letztlich, grössere Beachtung schenken. Es gilt dann,

nicht in erster Linie den eigenen Körper in der Bewegung zu erfahren, sondern auch am eigenen Leib zu erfahren, was Erziehung sein kann. Das ist wahrscheinlich die schwierigste, letztlich aber auch die befriedigendste Aufgabe, da sie Bewegung, Veränderung bedeutet, was identisch ist mit Leben.

Dr. Gerda Eberle
(Im Auftrag der Turn- und Sportlehrerausbildung)

Literatur:
Brezinka W., Grenzen der Erziehung, Päd. Rundschau 5/1981/35. Jhg.
Antoine de Saint-Exupéry, Der kleine Prinz, Arche Verlag
Rogers, C., Entwicklung der Persönlichkeit, Klett Verlag, 1961

FORSCHUNG

Verformbarkeit von Gesteinen: Labordaten und Geologie

Zusammenfassung der Antrittsvorlesung von PD Dr. Stefan Schmid, gehalten am 26. Mai 1983 an der ETH Zürich.

Gestein ist in den Augen der meisten Nichtgeologen eigentlich ein grundsolides Material, der Baustoff unserer Berge, die wir als unvergänglich und ewig betrachten. Unter dem Hammerschlag des Geologen brechen Gesteine; wir können sie als spröde bezeichnen, nicht aber als verformbar im Sinne einer plastischen Knetmasse, die ihre Form ändert ohne Verlust der Kohäsion an Bruchflächen. Solches Fließen von Gesteinen im Festkörperzustand ist dem Geologen wohlbekannt und wird als duktile Verformung bezeichnet. Brüche sind Manifestationen spröden Verhaltens, Falten in gebänderten Formationen zeugen von duktilem Fließen. Oft sind dieselben Gesteine an demselben Ort einmal gebrochen, dann wieder geflossen.

Ein wichtiger Parameter, welcher die Verformbarkeit der Gesteine beeinflusst, ist die Zeit. Es ist zugleich auch der problematischste Parameter, da unsere Vergänglichkeit ein Experimentieren mit geologischen Zeiträumen, Millionen von Jahren, zum vornherein ausschliesst. Je langsamer ein Gestein aber verformt wird, umso weniger Spannung muss aufgebracht werden, es duktil zu verformen, Gesteine zeigen also viskose Fließeigenschaften. Gegenüber einer kurzzeitigen Beanspruchung aber sind sie elastisch oder sie brechen gar.

Albert Heim, der Vater der Schweizer Geologie, wies auf einen anderen wichtigen Faktor hin, der Gesteine fliessfähig macht, nämlich den «Gebirgsdruck» (moderner: der lithostatische Druck), der infolge der Gesteinsüberlast mit der Tiefe zunimmt. Heim hatte damals anzukämpfen gegen die verbreitete Lehrmeinung, dass Kataklyse (Zerbrechen mit Kohäsionsverlust), Ummineralisation und das Fließen unkonsolidierter Sedimentablagerungen die einzigen Verformungsmechanismen sind.

Diesen sicher auch wichtigen Mechanismen

SCHWEIZERISCHER SCHULRAT

Sitzung vom 1. Juni 1983

Neue Namen, neue Institute

An der ETH Zürich wird auf den 1. Oktober 1983 in Ablösung der zwei auf diesen Zeitpunkt aufzuhebenden Institute für Thermodynamik und Verbrennungsmotoren sowie für thermische Turbomaschinen neu ein *Institut für Energietechnik* geschaffen. Vorerst werden die Professoren Eberle, Gyarmathy und Suter gemeinsam dem neuen Institut angehören. Ferner ist der Beitritt von Prof. Yadigaroglu zu einem späteren Zeitpunkt vorgesehen.

Auf den 1. Juli 1983 wird ein *Institut für Polymere* errichtet. Es soll bewusst interdisziplinär aufgebaut werden und umfasst die Gruppen Pino, Meissner und Luisi.

Der Schulrat hat folgenden Institutsumbenennungen zugestimmt:

Laboratorium für Kernphysik in *Institut für Hochenergiephysik* (IHP), Laboratorium für Hochenergiephysik in *Institut für Mittlere Energiephysik* (IMP).

R.G.



Fig. 1: Blick auf die Tschingelhörner, von der Segneshütte aus. Der scharfe subhorizontale Schnitt unmittelbar am Fusse der Felspyramiden der Tschingelhörner bildet die Überschiebungsfläche der Glarner Hauptüberschiebung ab. Diese «Überschiebungsfläche» ist eigentlich eine ca. 1 Meter mächtige Scherzone extrem fliessfähigen Kalkes (bekannt als «Lochseitenkalk»).

fügte er die *Kristallplastizität* hinzu, «keine innerliche Verschiebung ohne Zerschneiden, ohne Zerstören der Festigkeit». 1878 schreibt er in seinem «*Mechanismus der Gebirgsbildung*»: «Wird die umformende Kraft endlich so gross, dass sie anstatt an ein paar tausend Stellen die Festigkeit durch Bruch aufheben zu können, dieselbe an jedem einzelnen Punkte überwindet, so wird das Spaltennetz unendlich fein und das Gesteinskorn zur Kleinheit des Moleküls reduziert, d.h. die mechanische Bewegungseinheit ist nicht mehr ein Gesteinsbrocken sondern unendlich klein, so dass die Bewegung eine kontinuierliche Umformung ohne Bruch wird.»

Wollen wir also mehr über die Physik kristallplastischer Verformung lernen, so müssen wir in die Kleindomäne des Kristallgitters vordringen, uns also damit beschäftigen, welche Vorgänge in den einzelnen Mineralkörnern des Gesteins ablaufen. Heute ist Heims «*mechanische Bewegungseinheit*» als *wandernder Kristalldefekt* bekannt, als *Versetzung* also. Müssten alle Bindungen an einer intrakristallinen Gleitebene gleichzeitig gebrochen werden, hätten kristalline Substanzen, wie Metalle oder Gesteine, eine theoretische Festigkeit, welche das tausendfache der beobachteten Festigkeit darstellt. Tatsächlich wird aber nur eine Bindung zur gleichen Zeit gebrochen, indem die Versetzung durch den Kristall propagiert.

Die *Spannung*, also der *gerichtete Druck* – im Gegensatz zum bereits erwähnten lithostatischen Druck –, welche angelegt werden muss, eine Versetzung zu bewegen, ist abhängig von der *Verformungsgeschwindigkeit* (solches Verhalten wurde oben als viskos bezeichnet) und von einer weiteren, bisher nicht erwähnten Grösse, der *Temperatur*, welche mit der Erdtiefe zunimmt. Diese Abhängigkeit von Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass Kristallgleiten ein thermisch aktivierter Prozess ist, etwa analog einer chemischen Reaktion.

Aufgabe der experimentellen Gesteinsdeformation im Labor ist es nun, den Einfluss verschiedener Variablen (wie lithostatischer Druck, Spannung, Verformungsgeschwindigkeit, Temperatur und andere mehr) abzuklären. Dieses Experimentieren stellt recht hohe Anforderungen an die Apparatur, da die Gesteinsprobe nicht nur hohen Drucken und Temperatur ausgesetzt werden muss, sondern da gleichzeitig von aussen her ein beweglicher Stempel an die Probe herangeführt werden muss. Es gibt also Probleme mit der Dichtung beweglicher Teile. Dr. Briegel am Geologischen Institut der ETHZ richtete ein Labor für experimentelle Gesteinsdeformation ein, das sich übrigens nicht nur mit «reiner Wissenschaft», sondern auch mit Problemen der Flieseigenschaften möglicher Wirtgesteine für die atomare Endlagerung befasst hat.

An vier Themenkomplexen soll nun kurz die Bedeutung des Experimentierens für die Lösung eigentlich geologischer Probleme illustriert werden:

1. Das Modell der Plattentektonik

Es war eben von *Scherzonen* in Kristallen, also Schwächezonen in der Kristalldomäne, die Rede. Bewegungen der Erdkruste konzentrieren sich auch auf Schwächezonen, die wie ein Netz den Erdball durchweben. Zwischen diesen Schwächezonen, durch eine Häufung von Erdbeben und magmatisch-vulkanischer Aktivität charakterisiert, liegen relativ ruhige starre

Blöcke, *Platten* genannt, welche sich langsam verschieben.

Über die Geometrie und Kinematik dieser Plattenbewegungen wissen wir heute recht viel, über die Dynamik eigentlich fast nichts. Es gibt, im Querschnitt gesehen, eine in erster Annäherung undeformierbare äussere Schicht, *Lithosphäre* genannt, welche sich mit einigen cm pro Jahr über eine deformierbare, fließfähige Schicht bewegt, die *Asthenosphäre*. Die Fließeigenschaften dieser Asthenosphäre zu kennen, ist eine wichtige Grundvoraussetzung für ein besseres Verständnis der Dynamik dieser Vorgänge.

Die *Asthenosphäre* besteht weitgehend aus dem Mineral *Olivin*, dessen Flieseigenschaften im Labor eingehend getestet wurden. Für ein quantitatives dynamisches Modell entscheidend ist die Bestimmung der Viskosität des Mantels. Die Temperaturen im Mantel zu simulieren, ist relativ einfach, der lithostatische Druck ist nicht allzu kritisch für die Flieseigenschaften. Die grössten Schwierigkeiten schafft aber der Faktor Zeit: die Verformungsgeschwindigkeit im Mantel ist 6–8 Grössenordnungen langsamer als die dem geduldigsten Experimentator zugänglichen Verformungsgeschwindigkeiten. Nun ist es leider so, dass es nicht ein einziges Fliessgesetz (oder eine Viskosität als Kennziffer) gibt, die man im Labor bestimmt und einfach extrapoliert.

Es waren vorerst Metallurgen und Materialwissenschaftler, welche auf Grund von Labordaten und mikrodynamischer Modelle sogenannte «*deformation mechanism maps*» entwickelten, die für das Extrapolieren hilfreich sind. In solchen Darstellungen werden verschiedene Fliessgesetze dargestellt, die nur für bestimmte Intervalle in Spannung und Temperatur gültig sind. Assoziiert mit jedem Fliessgesetz ist ein bestimmter Deformationsmechanismus: das Gleiten an intrakristallinen Kristallebenen wurde bereits erwähnt, es gibt aber auch andere Mechanismen (Diffusion zum Beispiel). Jeder dieser Mechanismen hinterlässt gewisse Spuren im Gestein, in der Form diagnostischer Mikrostrukturen, welche zum Beispiel unter dem Lichtmikroskop beobachtet werden können.

2. Die Glarner Hauptüberschiebung und die Fließfähigkeit von Kalken

Meine eigene Forschung in experimenteller Gesteinsdeformation wurde nicht durch die grossräumigen Probleme der Plattentektonik angeregt, sondern sie ergab sich aus einem handfesten Problem der Geologie der Glarneralpen: über eine Distanz von 35 Kilometern überfahren permische (also relativ ältere) Konglomerate des Verrucano die Sandsteine und Schiefer des Tertiär (also jüngere Ablagerungen) *Abb. 1*. Durch Prof. K.J. Hsü (ETH) angeregte feldgeologische Untersuchungen machten es offensichtlich, dass diese Überschiebung sich nicht an einer kohäsionslosen Reibungsfläche abspielte, sondern dass die Translation der permischen Ablagerungen über jüngere Sedimente dadurch bewerkstelligt wurde, dass ein ca. 1 m mächtiger «*Schmierhorizont*» extrem deformierbaren Kalkes (der «*Lochseitenkalk*») ein «*Gleitkissen*» bildet. Dies bedeutet, dass dieser Kalk extrem deformierbar ist unter niedrigen Spannungen.

Die damals vorhandenen Labordaten über Kalkdeformation waren aber unvereinbar mit einer derart niedrigen Viskosität. Dr. M.S. Paterson,

ursprünglich ein Metallurge, der an der Australian National University tätig ist, machte mir sehr bald klar, dass meine Extrapolation auf das geologische Geschehen daran scheiterte, dass ich den Faktor Zeit nicht gebührend berücksichtigte. Es sei durchaus zu erwarten, so belehrte er mich, dass Kalk bei langsamer Verformungsgeschwindigkeit einem anderen Deformationsmechanismus gehorchen (er war mit dem Konzept der vorher erwähnten «*deformation mechanism maps*» vertraut). Dies regte dann eine Serie von Experimenten am *Solnhofener Kalk* an, der im Labor unter erhöhten Temperaturen (über 600°C) tatsächlich eine phantastisch niedrige Viskosität zeigte. Da Festkörper fließen ein thermisch aktivierter Prozess ist, sind die Parameter Zeit und Deformationsgeschwindigkeit auswechselbar: die Hochtemperaturexperimente sind also aufschlussreich für viel langsamere Deformationen unter niedrigeren Temperaturen.

Wie sich zeigte, war diese extreme Verformbarkeit dadurch bedingt, dass feinkörniger Kalk (der «*Lochseitenkalk*») ist extrem feinkörnig) nicht etwa durch Kristallplastizität deformiert wird, sondern dass die Deformation durch ein Gleiten an Korngrenzen (auch in Metallen als «*Superplastizität*» bekannt) bewerkstelligt wird. Durch weitere Forschungen an der ETH Zürich (mikrostrukturelle und textuelle Untersuchungen) konnte die auf Grund der Extrapolation gewonnene Annahme superplastischen Fließens im Lochseitenkalk untermauert werden.

3. Scherung und kristallographische Einregelung

Deformation von Gesteinen konzentriert sich oft auf sogenannte Scherzonen, also Zonen relativ niedriger Viskosität, deren Bedeutung für die Deformation des kristallinen Grundgebirges durch Prof. Ramsay (ETH) erkannt wurde. Die Geometrie dieser Scherzone deutet darauf hin, dass die Viskosität des Gesteins sich im Laufe der progressiven Deformation erniedrigt. Für die Reduktion der Viskosität (plastische Instabilität) sind unter anderen folgende Erklärungen möglich:

(1) Progressive dynamische Rekristallisation im Gefolge kristallplastischer Deformation erniedrigt die Korngrösse, was dazu führt, dass Korngrenzgleiten einsetzt, was die Viskosität erheblich herabsetzt. Diese Erklärung gilt für die «*Scherzone*» der eben erwähnten Glarner Hauptüberschiebung.

(2) Untersuchungen der kristallographischen Einregelung in *Myloniten* (Bezeichnung für extrem gescherte Gesteine von der Art des Lochseitenkalkes) am Röntgertexturgoniometer des Geologischen Institutes der ETH deuten darauf hin, dass bei progressiver Scherung die Mineralkörner des Gesteins sich derart einregeln, dass die Gleitebenen im Kristall eine günstige Orientierung einnehmen in Bezug auf die wirksamen Spannungen. Dies bedeutet, dass das Gestein an Festigkeit verliert infolge der Einregelung.

Im Moment wird die Einregelung experimentell an gescherten Gesteinsproben (*Fig. 2*) analysiert, um dieses zweite Modell auch experimentell etwas abzusichern. Gleichzeitig entwickelt mein Kollege Dr. M. Casey numerische Simulationsmodelle mit Computermethoden.

4. Die insubrische Linie und ihre Mylonite

Die *Insubrische Linie* ist eine wichtige steilstehende Bewegungszone (also eigentlich auch

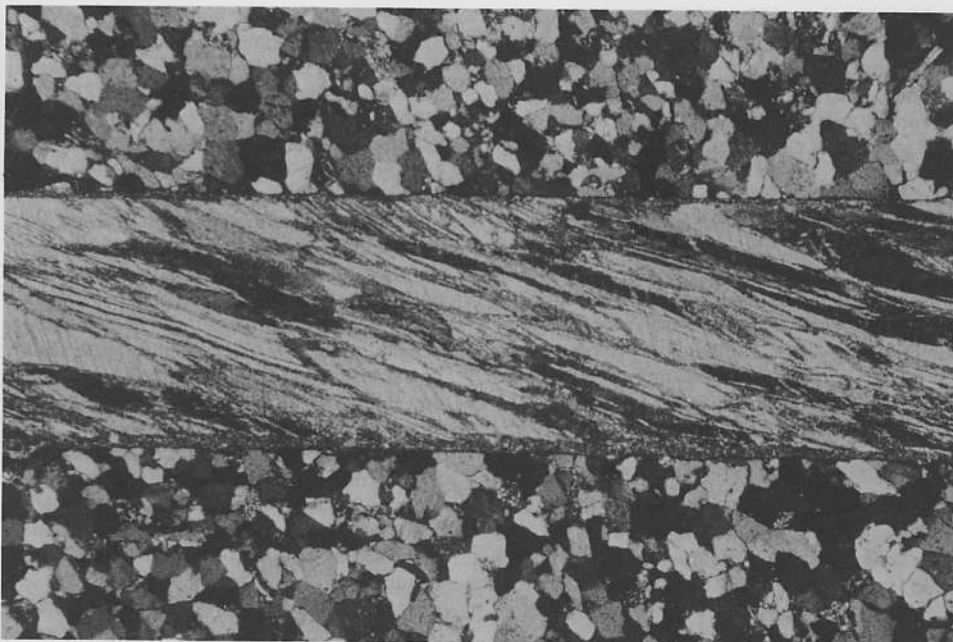


Fig. 2: Dünnschliffaufnahme einer experimentell erzeugten Scherzone in Carrara Marmor (umgewandelter Kalk). Die Mineralkörner des Marmors (mittlere Schicht, 1 mm mächtig) sind extrem gelängt und «dachziegelartig» angeordnet. Das Gestein oben und unten im Bild (Sandstein) ist fließresistent, die Mineralkörner sind nicht geplättet. Mit der Deformation im Marmor verbunden ist eine linkshändige Translation der oberen Sandsteinlage über die untere, die dünne Marmorschicht hat also die gleiche Funktion wie der «Lochseitenkalk» im Grossen (vgl. Fig. 1).

eine riesige Scherzone), die sich von der Gegend um Ivrea (Piemont) bis ins Veltlin erstreckt, und welche die Südalpen von den Zentralalpen trennt. Es ist umstritten, ob bei den Scherungen an dieser Bewegungszone eine horizontale Bewegungskomponente dominiert, oder ob es sich um eine Vertikalverstellung handelt. Die vorläufigen Untersuchungen an Myloniten der Insubrischen Linie (gemeinsames Forschungsprojekt mit meinen Kollegen Prof. H. Laubscher und Dr. A. Zingg, Basel) deuten darauf hin, dass

beide Bewegungskomponenten aktiv waren. Die Zeitabfolge ist noch unklar. Voraussetzung einer solchen kinematischen Analyse im Grossmassstab sind mikroskopische Untersuchungen an kleinsten Gesteinsproben und auch die Analyse der kristallographischen Einregelung. Die in Experimenten und am Studium von kleinmassstäblichen Scherzonen gewonnenen Erkenntnisse finden also eine Anwendung in grossräumigeren Betrachtungen.

Stefan Schmid

Szenarien künftiger Entwicklungen

(Quelle: Arbeitsbericht Nr. 31 des NFP 5 «Regionalprobleme»)

Aufgabe von Szenarien

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes Nr. 5 werden Probleme regionaler Disparitäten untersucht und verschiedene Massnahmen zu deren Abbau vorgeschlagen. Die meisten Projekte durchmessen dabei einen eigentlichen Planungsablauf. Sie beginnen mit der Analyse des IST-Zustandes bestimmter Sachverhalte oder Zustände; sie zeigen Konflikte auf, die gelöst werden müssen; und sie setzen Ziele, welche mit ausgewählten Massnahmen zu erreichen sind. Dabei nimmt man an, dass der zu planende Gegenstand variabel sei, wohingegen die anderen Grössen entweder fest oder dann eindeutig prognostizierbar wären. Diese Grössen werden somit zu (exogenen) Randbedingungen der Planung. Die Wirkungen der vorgesehenen Massnahmen dürften allerdings zum Teil weit ins nächste Jahrhundert reichen. Bis dahin sind starke Wandlungen oder gar Trendbrüche in gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, politischen und ökologischen Bereichen durchaus möglich. Entscheidend sind deshalb folgende Fragen:

Was geschieht, wenn sich die angenommenen Randbedingungen als falsch erweisen? Sind dann die analysierten Konflikte immer noch

vorhanden? Gelten dann beispielsweise o. gesetzten Ziele immer noch? Sind die vorgeschlagenen Massnahmen auch dann noch wirksam und – wenn ja – in der gewünschten Richtung?

Also kann sich eine verantwortungsbewusste Planung, auch wenn sie lediglich ein ausgewähltes Sachgebiet zum Gegenstand hat, nicht ausschliesslich auf feste Randbedingungen aufstützen, sie muss sich vielmehr innerhalb grundsätzlich verschiedener Zukunftsvorstellungen bewegen. Solche möglichen in sich geschlossenen Gruppen von Randbedingungen nennt man Szenarien. Diese eignen sich in hervorragender Weise, um auf den verschiedenen Stufen der Planung die festgestellten Konflikte, die gewählten Ziele, sowie die Massnahmen im Lichte anderer Entwicklungen zu überprüfen (vgl. Abb. 1).

Gegenstand und Streubreite von Szenarien

Der Begriff Szenario oder Szenarium stammt aus der Theaterwelt, wo er «Bühnenbild, Landschaft, Schauplatz», aber auch «Verzeichnis der zur Aufführung nötigen Requisiten» bedeutet, jedoch nichts über die handelnden Personen oder den Wortlaut ihrer Dialoge aussagt. Das Szenario bildet somit den äusseren Rahmen, in welchem sich das Drama abspielt. Analog bieten unsere Szenarien den heutigen und zukünftigen Akteuren verschiedene Bühnen und Rahmen an, innerhalb derer sie dereinst leben, sich bewegen, entscheiden und handeln können. Die Szenariotechnik erlaubt es, mittels Denkmodellen und «Wenn-Dann» – Ketten mögliche Entwicklungen zu beschreiben. Als Resultate steckt sie, mit einem Ausflösungsvermögen von 1 bis 2 Dekaden, denkbare Zustände bezüglich Gesellschaft, Wirtschaft, Staat und Umwelt ab. Wesentlich ist, dass die Szenariotechnik keine Aussagen macht über die Wahrscheinlichkeit, mit der ein bestimmtes Szenario in Zukunft eintreffen könnte; denn dies hängt von den laufenden Handlungen und Reaktionen auf der entsprechenden Ebene an und ist entscheidungsorientiert.

Szenarien geben also «mögliche, denkbare Entwicklungen» der Rahmenbedingungen an und beschreiben einen «momentanen» Zu-

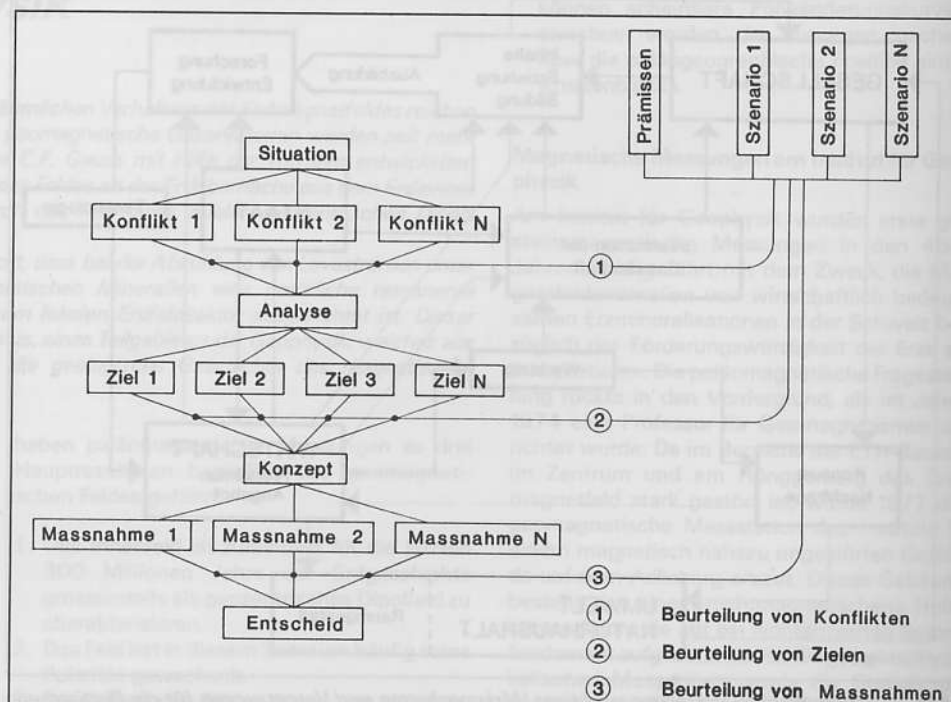


Abb. 1: Verwendung von Szenarien zur Überprüfung eines Planungsablaufes auf verschiedenen Stufen