

Ruhr Area – Strata Control under Challenging Conditions

Main achievements in strata control at German hard coal mines of RAG Aktiengesellschaft, Essen/Germany, are described in this report. Exemplarily it is figured out for the Ruhr area – one of the great hard coal deposits in Europe. After a short review on geological orogenesis the challenges of the deposit will be explained regarding matters of strata control in roadways. From the last

50 years of development, only some fundamental results are highlighted. There are additional attainments of strata control in longwall faces, which are included to the report of technical development in longwall mining. An important restriction of this report is a focus on the last 50 years – so this is not a complete summary of historical retrospection.

Das Ruhrgebiet – Gebirgsbeherrschung unter herausfordernden Bedingungen

Dieser Artikel beschreibt die wesentlichen Errungenschaften in der Gebirgsbeherrschung im deutschen Steinkohlenbergbau der RAG Aktiengesellschaft, Essen. Beispielhaft wird das Ruhrgebiet, eines der großen Kohleabbaugebiete in Europa, herangeführt. Nach einem kurzen geologischen Einstieg in das Thema werden die Herausforderungen der Gebirgsbeherrschung in Strecken für diese Lagerstätte beschrieben. Dabei können im Rahmen dieses Artikels aber nur die bedeutsamsten Entwicklungen hervorgeho-

ben werden, und dies nur bezogen auf die letzten 50 Jahre der Einwicklung bei der RAG Aktiengesellschaft. Daher kann der vorliegende Inhalt nicht als vollständiger geschichtlicher Abriss angesehen werden. Neben den Entwicklungen der Ausbautechnologie in Strecken wurden natürlich auch Fortschritte im Strebausbau erreicht. Hierzu sei auf den entsprechenden Bericht zum Thema Technikentwicklung im Strebbau verwiesen.

1 Introduction

Main aspects of the report are:

- planning work and support design methods;
- support systems:
 - standing support elements;
 - rockbolting;
 - combined support systems;
- monitoring systems.

2 Geological background of the deposit

The background of strata control starts 360 to 300 million years ago – at the geologic age of Carbon. Carbo – the Latin translation of coal – is the basic of the name. In these days a lot of plants in the Ruhr region became to coal seams by sedimentation. Up to 50 coal seams are accounted as minable part of the deposit. Seams of coal were formed flat like a carpet in a large area of Europe at that time.

However, within the last 300 million years some more sedimentation occurs and there were several tectonical influences. So the deposit today is covered by younger stratification and is dipping to the north. It is faulted and cracked by Variscian and Alpidic orogenesis (Figure 1).

1 Einleitung

Zu den wesentlichen Inhalten dieses Berichts zählen:

- Planung und Design von Ausbau,
- Ausbausysteme:
 - Unterstützungsausbau,
 - Ankerausbau,
 - Kombinationsausbau,
- Überwachungssysteme.

2 Geologie des Kohlreviers an der Ruhr

Die Zeit der Kohle im Ruhrgebiet begann im Karbon vor 360 bis 300 Mio. Jahren. Der Name der geologischen Periode leitet sich dabei von lateinisch carbo für Kohle ab. In der genannten Zeit bildeten sich aus Pflanzenresten zahlreiche Sedimente, die in flacher Lagerung in den folgenden Jahrmillionen von weiteren Sedimenten überdeckt wurden. Durch tektonische Einflüsse fallen die Flöze heute nach Norden ein und sind durch die variskische und alpidische Orogenese mehrfach gestört (Bild 1).

Im südlichen Teil des Ruhrgebiets beißen die Kohleflöze an der Tagesoberfläche aus. Hier begannen erste bergbauliche Aktivitäten vor bereits rd. 1.000 Jahren. Ein Abbau im industriellen Sinne begann vor rd. 250 Jahren.

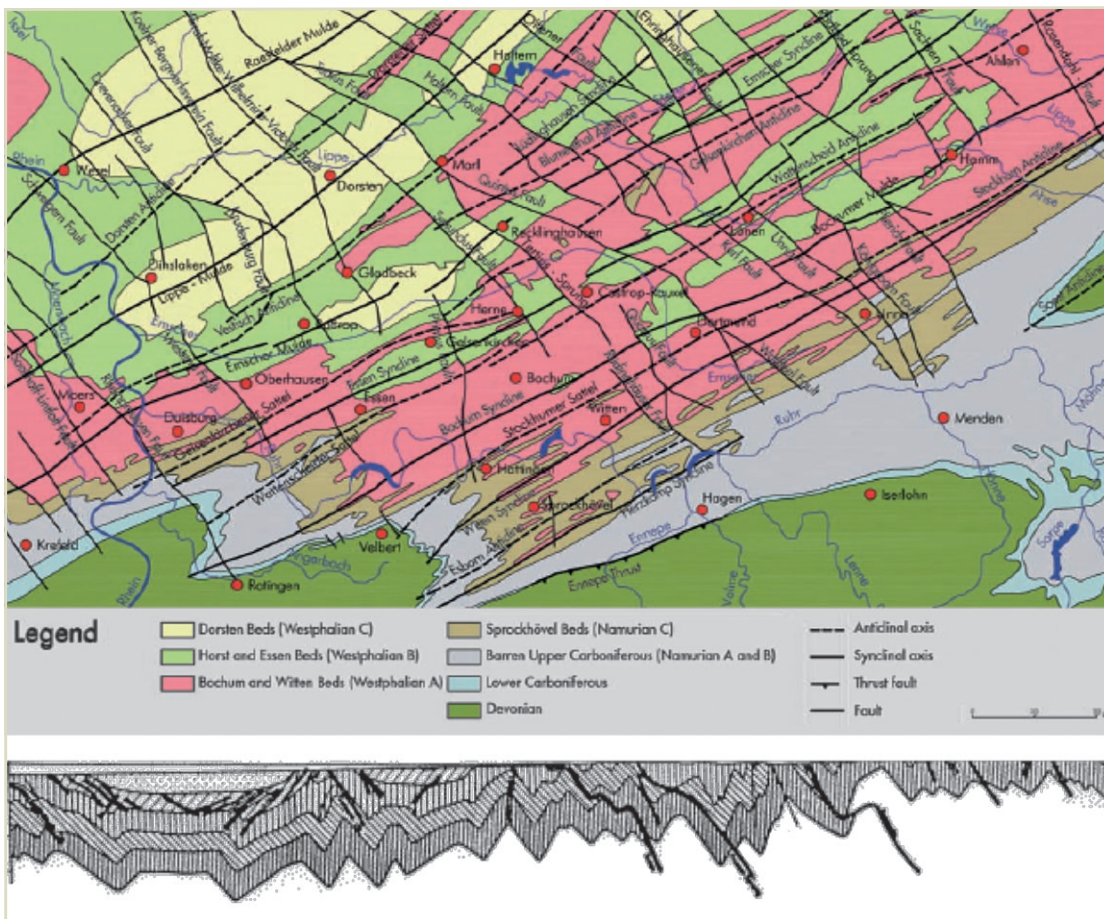


Fig. 1. Map view with geological formations and fault system (above) and exemplary shape view NE to SW (below).
 Bild 1. Geologische Karte mit eingezeichneten Störungen (oben) und geologisches Profil von NO nach SW als Beispiel (unten).

In the southern region around the river Ruhr the carbon lies at the surface and the first mining activities started there approximately 1,000 years ago. Mining in an industrial scale began 250 years ago.

Modern mining methods had to face different challenges of the Ruhr coalfield:

- A depth of up to 1,500 m below surface, high vertical stress by overburden of up to 38 MPa, high rock temperature of up to > 60 °C.
- Local high gas content in coal and accompanying strata leads to risk of methane outburst and sufficient ventilation.
- Different strength of rock – between 10 MPa (rooted mudstone) and 250 MPa (sandstone).
- Local high capacity of strata for accumulation and sudden discharge of mechanical energy lead to risks of rockbursts and seismic activity.
- Due to regional mining over centuries also the amount of mine water in total is very high. 70 M m³/a have to be managed in an urban area. The subsidence caused by 250 years of mining amounts up to 25 m and induces special additional challenges of water management.

The standards of rock mechanics in hard coal mining had to face the challenges of this property and have to aim on safe and efficient workings.

Der moderne Bergbau sah sich dabei mit den folgenden Herausforderungen konfrontiert:

- Teufen bis zu 1.500 m, dadurch hohe Gebirgsspannungen aus dem Deckgebirge (bis 38 MPa) und Gebirgstemperaturen bis über 60 °C.
- Teilweise hoher Methangasgehalt in den Flözen und das damit verbundene Risiko einer verstärkten Ausgasung erfordern intensive Bewetterung.
- Stark wechselnde Festigkeiten des Gebirges – von 10 MPa (Wurzelboden) bis hin zu 250 MPa (Sandstein).
- Lokal wechselnde Festigkeiten des Gebirges können zum plötzlichen Versagen mit Gebirgsschlägen und seismischen Aktivitäten führen.
- Aufgrund des jahrhundertelangen Abbaus ist auch die Menge an Grubenwasser enorm. Rd. 70 Mio. m³/a müssen in einer derart dicht besiedelten Region kontrolliert werden. Zudem stellen Tagessenkungen von bis zu 25 m eine weitere Herausforderung bei der Wasserhaltung dar.

Die Standards der Gebirgsmechanik mussten für diese Voraussetzungen entwickelt werden, um einen sicheren und effizienten Bergbau zu ermöglichen.

3 Herausforderungen

Die Herausforderungen waren im Ganzen betrachtet deutlich vielseitiger, als nur geologischer Natur. Seit der Gründung der

Deposit	Economics	Science and technique	Practical realisation
Depth / high vertical stress	Costs of roadway development	Planning methods	Statutory acceptance of the methods
Different strength of layers	Costs of longwall production	Technical equipment	Education of staff
Rock temperature	Costs of ventilation	Safety measures	Standard of documentation
Local high gas content	Return on invest	Analytical methods	Reaction on monitoring and sudden measures
Local high capacity of strata for accumulation and sudden discharge of mechanical energy	Maximum production rate	Monitoring devices	Knowledge management data base
Mine water management
Subsidence by mining			

Fig. 2. Challenges. // Bild 2. Herausforderungen im deutschen Steinkohlenbergbau.

3 Challenges

A look into the mirror, as it is done in this report, considers a view more parts of challenge than the deposit itself. Starting of RAG was in the year 1969. The time in between also was influenced by economics, development of science and measures of practical realisation.

Figure 2 is listing up some main aspects of the different elements of development. Economic pressure to reduce costs and maximise excavation, scientific development, especially IT solutions and high performance machinery and a very important part is the practical realisation, which includes statutory acceptance, education and documentation.

4 Achievements

The historical development of strata control at RAG hard coal mines can be divided in four phases (Figure 3).

In the following some highlights are explained, focussing on the system elements of planning systems, support systems and underground monitoring. Looking at support systems, we divide between standing support, rock bolting, backfilling and combined support.

5 Planning work and support design

50 years ago most of the planning work was done by a responsible support engineer at each mine. The design was based on experience in support systems and a calculation model for estimating local stress levels. The so called GEDRU modelling was de-

RAG im Jahr 1969 haben auch die Änderungen aus den Bereichen Wirtschaft, Technik und Bergbaupraxis zu neuen und veränderten Herausforderungen geführt. Bild 2 gibt eine Übersicht über die vier Kategorien und führt einige ihrer wichtigsten Unterpunkte auf.

Beispielhaft seien aufgeführt: Erhöhter wirtschaftlicher Druck zur Kostenreduzierung bei Erhöhung der Förderung, wissenschaftliche Entwicklungen, leistungsfähigere Maschinen und IT-Lösungen und zuletzt auf der Seite der Umsetzung die Punkte Akzeptanz, Ausbildung und Dokumentation.

4 Errungenschaften

Die Entwicklung der Gebirgsbeherrschung in den Steinkohlenbergwerken der RAG kann in vier Phasen unterteilt werden (Bild 3).

Nach diesem knappen Überblick soll im nächsten Kapitel im Einzelnen auf die Themen Planung, Ausbausysteme und Überwachungssysteme eingegangen werden. Im Abschnitt über Ausbausysteme wird näher auf Unterstützungsausbau, Ankertechnik, Hinterfüllung und Kombinationsausbau eingegangen.

5 Planung und Design

Vor 50 Jahren lag die Planung des Ausbaus eines jeden Bergwerks hauptsächlich in der Verantwortung eines Ausbauingenieurs. Die Ausführung richtete sich nach Erfahrungswerten und dem vom Steinkohlenbergbauverein bzw. der Bergbauforschung entwickelten Rechenmodell „GEDRU“, welches zur Berechnung lokaler Gebirgsspannungen geeignet ist. Gerade für den intensiven

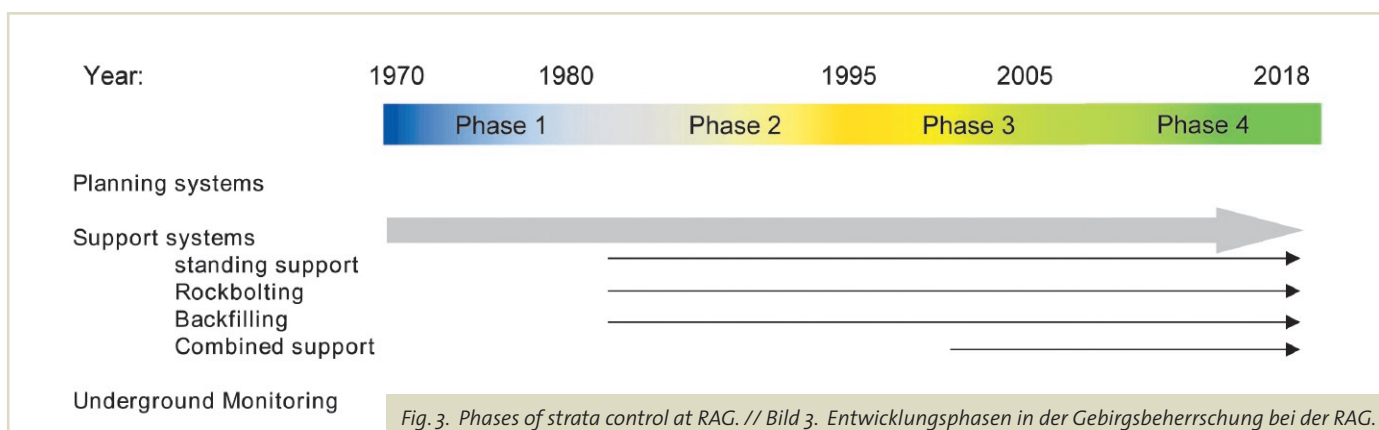


Fig. 3. Phases of strata control at RAG. // Bild 3. Entwicklungsphasen in der Gebirgsbeherrschung bei der RAG.

signed by a scientific institute (Steinkohlenbergbauverein/Bergbauforschung) within the frame of research projects. Because intensive mining in several seam levels it was very helpful for the definition of high stress areas caused by previous longwall mining (Figure 4).

A data base with the results of measurement in more than 1,500 roadways, that was collected up to the end of the 1970s, was used to find some empirical approach for the combination of stress determination and resulting roadway deformation. This support design method not only allowed a static determination of support forces and required load resistance, the estimation of deformation also covered a design regarding required support yielding capacity. In the next step of examination, two elements were added to strata control methodology quite at the same time: the introduction of a new design method for rock bolting and improved data collection of geotechnical parameters.

The background for rock bolting application was, that serious accidents until the end of the 1950s did more or less prohibit rock bolted roadways in Germany – while other nations worldwide made excellent experiences with this cheap and efficient kind of support.

By estimation of maximal loads caused by the surrounding loosened rock a modern approach was founded on the work of Prof. Götze from the Institute of Mining Research (Bergbauforschung). With the basement of analysing excavations in roadways, this method was proofed and finally accepted by the mining administration. In the following time rock bolting support in roadways was applied safely (Figure 5).

The intensive collection of additional geotechnical parameters was very complex in the first step. Geological experts were needed for the collection and analysis. This was a time, when approximately 100 km of roadways have been developed every year on some dozens of mines.

But the analysis did proof an important fact: It was possible to include geotechnical influence to the support design. Not only stress and support elements are dominating the deformation and excavation – the main element is the strata competence itself – and the estimation of the material competence is only sufficient by the description of strength and separation (Figure 6).

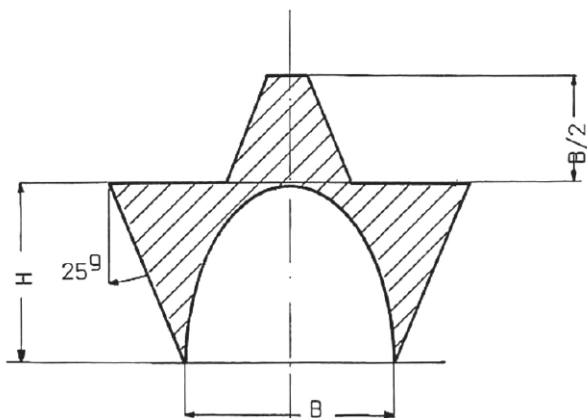


Fig. 5. Example of maximum load assumption for a rock bolted roadway. // Bild 5. Beispiel der Abschätzung der maximal auftretenden Spannungen für eine Strecke mit Ankerausbau.

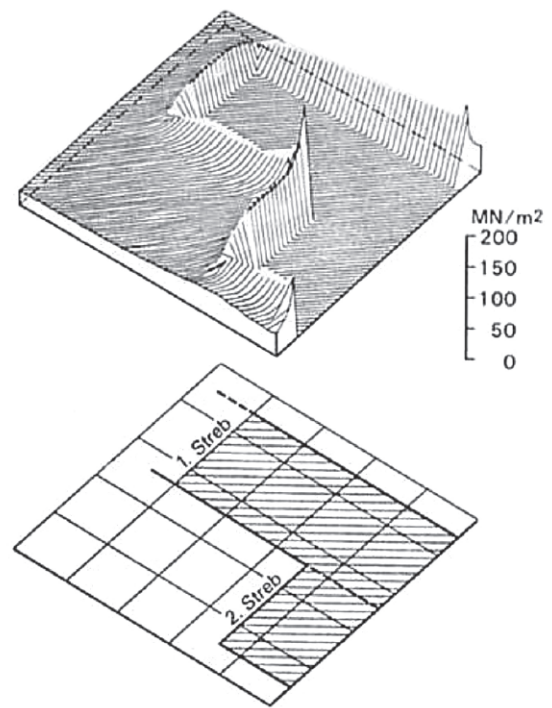


Fig. 4. Example GEDRU – stress model. Bild 4. Beispiel eines Spannungsmodells in GEDRU.

Bergbau an der Ruhr war es auch von Bedeutung, Einflüsse aus anderen Abbauen und Alten Männern mit einbeziehen zu können (Bild 4).

Bis Ende der 1970er Jahre wurde eine Datenbasis mit Messergebnissen zu Verformungen aus über 1.500 Strecken geschaffen, die schließlich der empirischen Erkundung der Zusammenhänge zwischen Gebirgsspannung und Verformung in den Strecken diente. Daraus konnten nicht nur die notwendigen Tragfähigkeiten des Ausbaus, sondern auch die notwendige Verformbarkeit der Ausbauelemente ermittelt werden. Später wurden beinahe zeitgleich neue Ankertechniken und verbessertes geotechnisches Monitoring dem Modell hinzugefügt.

Während in zahlreichen anderen Ländern die Ankertechnik als günstige und sichere Methode sehr erfolgreich getestet worden war, war sie in Deutschland aufgrund schwerer Unfälle bis Ende der 1950er Jahre quasi kaum angewendet worden. Einen Ansatz zur Berechnung des Ankerbaus lieferte Prof. Götze von der Bergbauforschung. Bei seinen Betrachtungen wurden insbesondere Klufkörper berücksichtigt. Schließlich wurde diese Methode von den Bergbehörden zugelassen und seither angewendet (Bild 5).

Zu einer Zeit, als in verschiedenen Bergwerken bereits jeweils einige 100 km/a an Strecken aufgeföhren wurden, waren geologische Experten erforderlich, um Daten zu sammeln und auszuwerten, die für eine Analyse eines geeigneten Ausbaus relevant sind.

Hierbei zeigte sich eine wichtige Erkenntnis. Es ist grundsätzlich möglich, geotechnische Parameter in das Design eines Ausbaus einfließen zu lassen. Nicht allein der Ausbau selbst und die auftretenden Gebirgsspannungen beeinflussen die auftretenden Deformationen, sondern auch die Gebirgsfestigkeit die nur hinreichend unter Berücksichtigung der Gesteinsfestigkeit und Zertrennung beurteilt werden kann. (Bild 6).

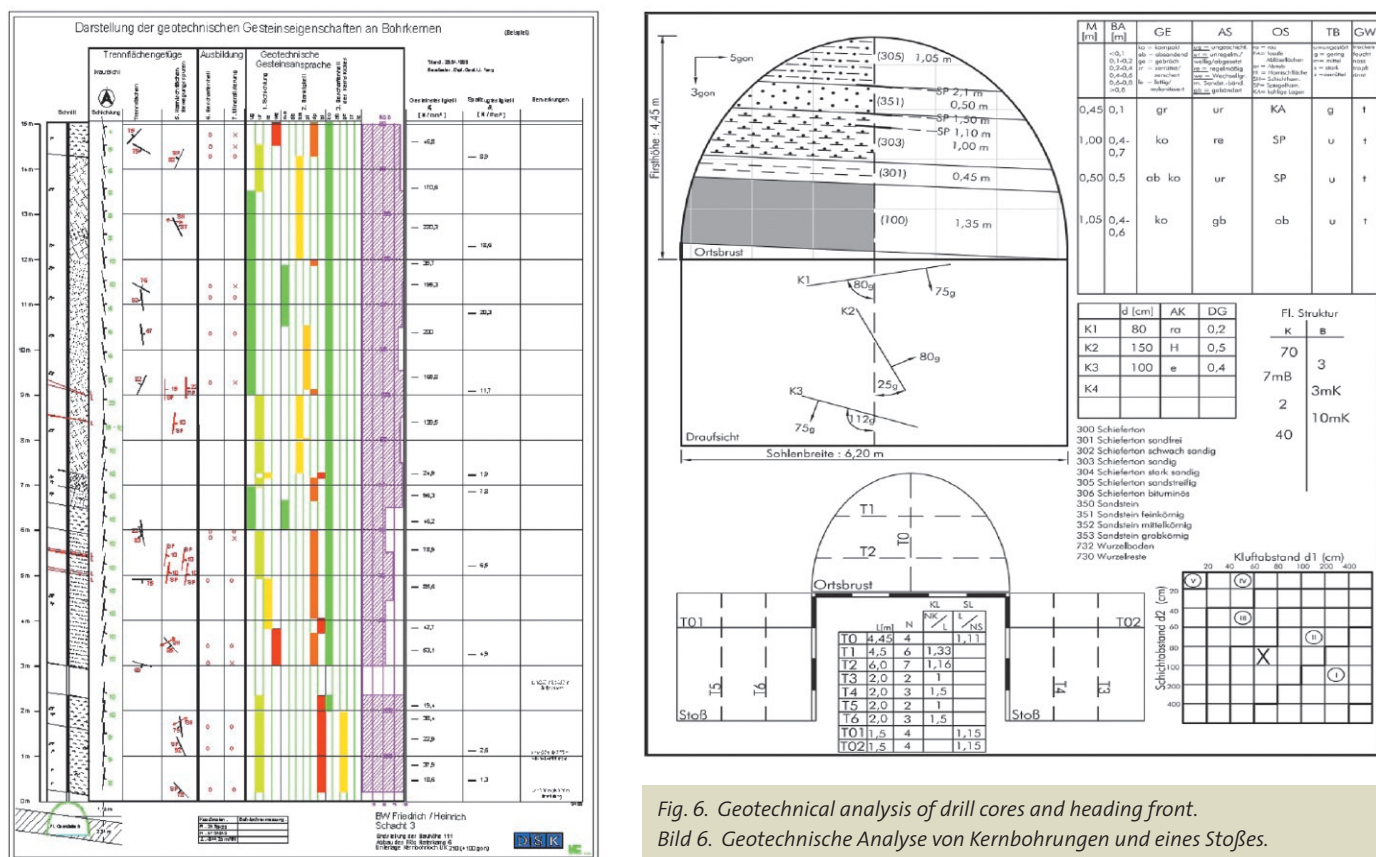


Fig. 6. Geotechnical analysis of drill cores and heading front.
Bild 6. Geotechnische Analyse von Kernbohrungen und eines Stoßes.

The innovative elements of planning work by maximum load assumption and geotechnical documentation did allow the next step of development: An implementation of a specific rock mass classification process for deep coal mines. The classification includes the strata strength, geotechnical separation, stress caused by overburden and influence of former mining panels. The classification was used for sections of roadway length separately and was a basic parameter for choosing support variants. Of course an individual support calculation was still necessary for designing a safe support arrangement in detail.

The final step of planning evolution in German hard coal mines was a knowledge management system. Incorporation of this system to planning work required a development of an IT-data base that had to include data from literature and former project documentation. The process of actual planning can now be founded on every documented experience by this system. Due to implementation of the project into the system after its realization the data base is expanding. The result is a self learning planning system to avoid any documented mistake or failure, that was mentioned in the past (Figure 7). The planning work for all RAG mines was done by the competence center – an internal central department.

6 Support systems

6.1 Standing support

Standing support is a basic of mining activities in underground mines for centuries. To determine the highlights of the development within the last 50 years, it is necessary to describe the basic situation at the 1970s.

Commonly yielding support was used as standing support since the end of the 1950s. Rectangular roadways were partly

Dieser innovative Prozess führte zum nächsten Schritt in der Entwicklung der Ausbauplanung. Aus den gewonnenen Erfahrungen wurde speziell für die Anwendung in tiefen Kohlebergwerken ein Modell entwickelt, nach welchem das Gebirge unter geotechnischen Parametern gezielt klassifiziert werden konnte. Im Modell wurden die Parameter Gebirgsfestigkeit, Lagerung und Gebirgsspannungen aufgrund der überlagernden Schichten und durch Abbaueinfluss berücksichtigt. Das Modell wurde abschnittsweise für Strecken eingesetzt und erlaubte die Auswahl einer geeigneten Ausbauvариante. Weiterhin war es natürlich notwendig, zusätzliche Betrachtungen für die Detailauslegung des Ausbaus durchzuführen.

Als abschließender Schritt in der Ausbauplanung in deutschen Steinkohlenbergwerken sei die Dokumentation als ebenfalls wichtiger Baustein herausgestellt. Dazu gehörte neben der Aufnahme von Erfahrungswerten von abgeschlossenen Ausbauprojekten auch die Bereitstellung von Informationen aus der Literatur allgemein. Für ein neues Projekt stand damit eine Datenbasis aus abgeschlossenen Projekten und theoretischen Grundlagen zur Verfügung. Durch das Einpflegen immer weiterer durchgeführter Projekte wächst die Basis an Informationen stets an – das System lernt sozusagen dazu. Fehler aus vergangenen Projekten können so in der Gegenwart und Zukunft vermieden werden. Bild 7 zeigt beispielhaft einige Ausschnitte des Programms. Die Planung selbst wurde vom RAG-internen Kompetenzzentrum durchgeführt.

6 Ausbausysteme

6.1 Unterstützungsausbau

Der sogenannte Unterstützungsausbau ist bereits seit Jahrhunderten im Bergbau gebräuchlich. Um im Folgenden die Entwick-

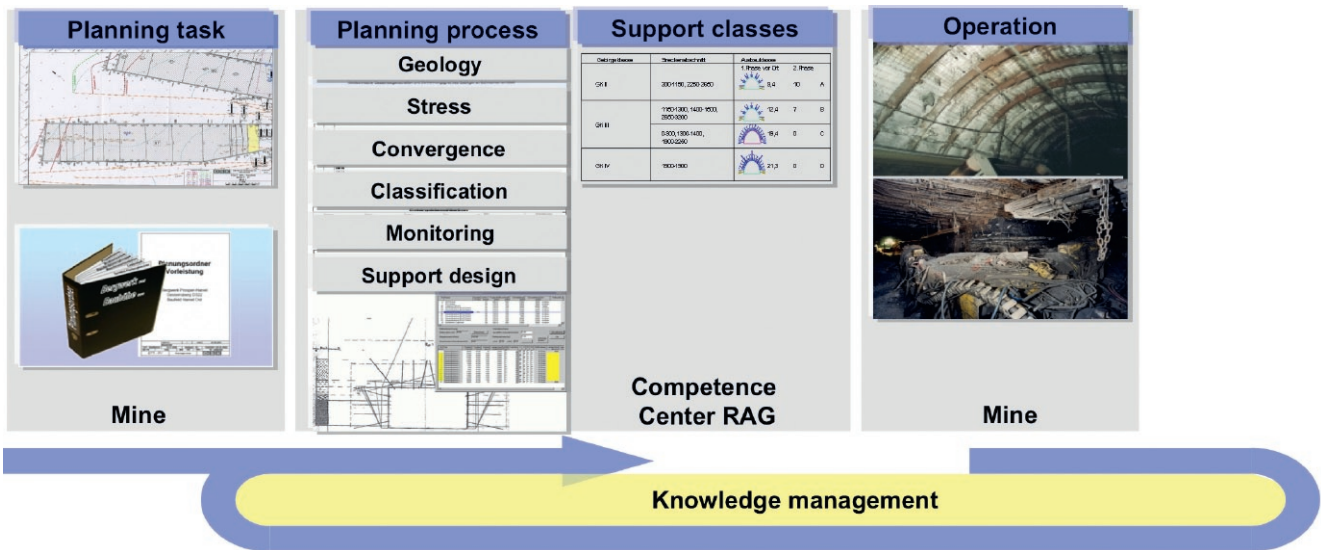


Fig. 7. Basics of the knowledge management system at RAG. // Bild 7. Ansichten des Wissensmanagementsystems der RAG.

used as starting rooms and recovery areas of longwalls, so most of the applications took place with steel arches.

In the 1970s a great variance of arched roadway shapes in different mines and applications is to mention – due to individual experience in success. The roadway development was done by drilling and blasting or upcoming technical development of road-heading machines. The size of roadway shape had a dimension of 14 to 24 m². Due to manual handling of the parts, the specific weight of steel arches was limited to 29 kg/m.

The application of steel arches was done in combination with simple lagging systems and manual package of waste rock between support and surrounding strata. In the average depth of mining of 800 m, this system worked sufficiently (Figure 8).

Efficiency of a higher specific weight of steel arches was analysed by scientific analysis. The result was, that a higher weight of profiles is withstanding a higher level of convergence without damage.

The development up to the year 1985 was connected with an increasing depth up to 900 m. Roadway deformation did increase by the higher stress level. An intensive application of steel arches with a higher specific weight was the logic assumption. Due to the matters of handling, a maximum of 34 kg/m was usual for manual work.

lung dieser Ausbauart in den letzten 50 Jahren hervorzuheben, wird zunächst der Status Quo der 1970er Jahre betrachtet.

Seit den 1950er Jahren war es überwiegend der Gleitbogen-ausbau, der zum Einsatz kam. Rechteckige Querschnittsprofile wurden nur noch selten an den Enden eines Strebs hergestellt.

In den 1970er Jahren fand sich eine Vielzahl an verschiedenen bogenförmigen Querschnitten in den einzelnen Bergwerken und je nach Nutzung der Strecke – auch in Abhängigkeit von der entsprechenden Erfahrung vor Ort. Die Auffahrung erfolgte in der Regel konventionell, in zunehmendem Maß aber auch mit den gerade eingeführten Teilschnittmaschinen. Der Querschnitt der Strecken lag zwischen 14 und 24 m². Da die Ausbauelemente stets von Hand bewegt werden mussten, waren die Stahlbogensegmente im Gewicht auf 29 kg/m begrenzt.

Der bogenförmige Ausbau wurde schließlich mit einfachstem Verzug und einer Hinterfüllung aus Bergen komplettiert. In den Strecken bis zu einer Teufe von 800 m hat sich dieses Ausbausystem bewährt (Bild 8).

Bezüglich der spezifischen Gewichte der Segmente wurde wissenschaftlich untersucht, ob ein schwererer Ausbau einen Einfluss auf seine Effizienz haben würde. Die Ergebnisse zeigten, dass ein höherer Widerstand gegen Konvergenz durch schwerere Segmente erzielt werden kann.



Fig. 8. Yielding standing support with TH-profile. // Bild 8. Nachgiebiger Ausbau aus TH-Profilträgern.



Fig. 9. Yielding arches with segmental backfilling (left) and ring support (right).
Bild 9. Gleitbogenausbau mit segmentartiger Hinterfüllung (links) und kreisförmiger Ausbau (rechts).

In combination with backfilling, steel arches were applied successfully up to a depth level of 1,000 m and more. In the beginning of phase 3 pumpable tubes (Figure 9, left) were installed as partial backfilling. Later a full backfilling of the sides and roof between the arches was realized. As shown in figure 9 on the right side, phase 3 was also the area of ring support as optimal support for roadheading with TBM-technology.

6.2 Rock bolting

In the first phase of rock bolting development only a few mines applied rock bolting support in the beginning of the 1970s. By enhanced planning methods up to the 1980s a wider range of use achieved. In this period grouted bolts with a load capacity of 250 kN were commonly applied in combination with resin capsules.

In the next phase, various different kinds of bolts were tested, examples of flexible bolts are shown in figure 10 as stranded bolts and cable bolts. While rigid bolts normally only could be installed in a length of up to 2.5 m, flexible bolts with 4.0 up to 8.0 m length could be installed.

In the final phase 4 of rock bolting development, a standardised bolt type was chosen. Figure 11 shows the standard GW-bolt with a load capacity of 340 kN and a shear pin construction, which allowed pretensioning of the bolt within the installation process with resin capsules.

Under friable and squeezing strata conditions, e.g., in the area of tectonical faults, standard bolt installation failed. For this situation a special one step bolt was developed by the HILTI company.

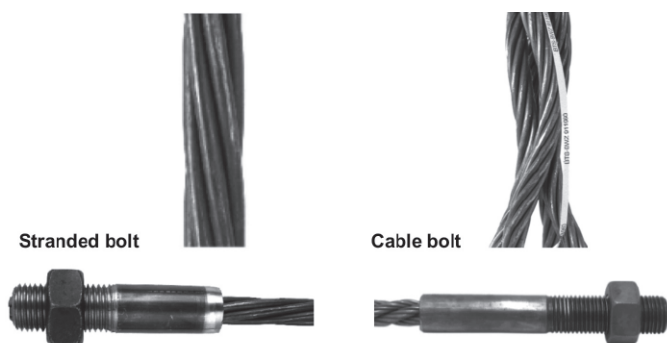


Fig. 10. Flexible bolts: stranded bolt and cable bolt.
Bild 10. Flexible Ankertypen: Bündel- und Seilanker.

Mit dem fortschreitenden Abbau in größere Teufen von bis zu 900 m um das Jahr 1985, traten wegen der höheren Gebirgsspannungen verstärkt Konvergenzen auf. Ein vermehrter Einsatz von schwererem Ausbau war die logische Konsequenz. Um die Elemente weiterhin handhabbar zu belassen, wurden 34 kg/m nicht überschritten.

Der Stahlbogenausbau wurde in seiner Kombination mit Verzug und Hinterfüllung bis in Teufen von über 1.000 m erfolgreich eingesetzt. Teilweise wurden zunächst (Phase 3) baustoffgefüllte Schläuche verwendet, um einen Anschluss von den Stahlbögen zum Gebirge zu gewährleisten (Bild 9 links). Später wurde der Bogenausbau dann vollständig mit Baustoff hinterfüllt. Wie rechts in Bild 9 zu erkennen ist, fällt auch der Einsatz von kreisförmigem Ausbau nach Auffahrung mit Tunnelbohrmaschinen in diese Zeit.

6.2 Ankerausbau

Zu Beginn der 1970er Jahre und vor der weiteren Entwicklung der Ankertechnologie setzten nur wenige Bergwerke diese Art des Ausbaus ein. Ein vermehrter Einsatz zeigte sich durch gezieltere Planung des Ausbaus aber im folgenden Jahrzehnt. Üblich war der Gebrauch von Klebeankern mit Klebstoffpatronen und eine Tragfähigkeit der Ankerstangen von 250 kN.

In der Folgezeit wurden diverse Ankertypen entwickelt und getestet. Hierzu gehörten auch flexible Ankertypen, wie Variationen der Seilanker oder Bündelanker (Bild 10), die für Ankerlängen von 4,0 bis 8,0 m eingesetzt wurden. Die starren Ankerformen erreichten hingegen in der Regel nur Längen von bis zu 2,5 m.

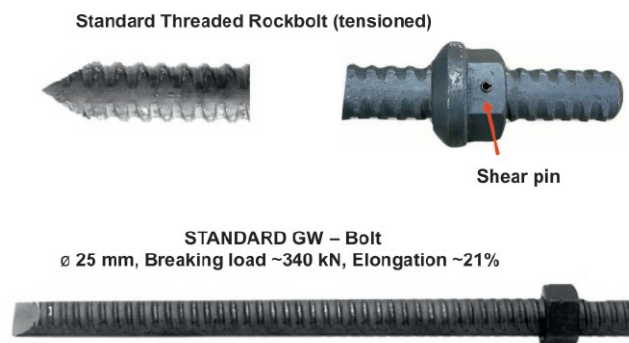


Fig. 11. Standard-bolt GW – 340 kN load capacity.
Bild 11. GW-Anker als Standardtyp mit 340 kN Tragkraft.

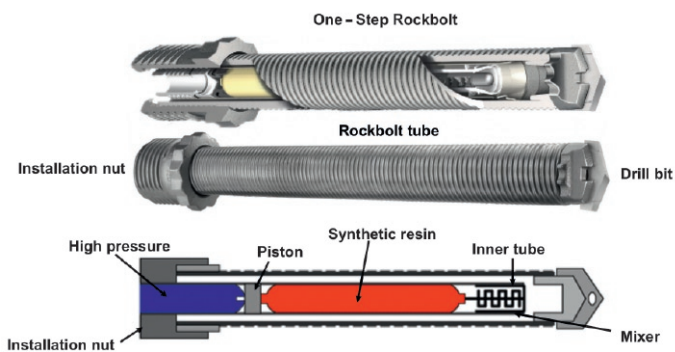


Fig. 12. One-Step bolt (HILTI company).

Bild 12. One-Step-Anker (HILTI).

Figure 12 shows this kind of self-drilling bolt, which contains the synthetic resin inside a tube construction. After drilling the hole, this bolt stays in the borehole and the resin is pressed out by high water pressure and allows a fully grouted length.

6.3 Backfilling

Backfilling methods are divided according to the technical processing of transport and installation. In phase 1 and 2 pneumatic transport of material via pipelines allowed a transport up to 1,000 m and more. Hydraulic transport systems were developed in phase 2. This system attained higher transport distances up to 3,000 m. In the final stage, a complete infrastructure with central pumping stations and intermediate pumps allowed logistical support at any place in the mine. As shown in figure 9 (left side) backfilling started as partial bedding of standing support. During the phases of application RAG got the experience that a complete backfilling between strata surface and lagging reduces the roadway deformation. The roadway convergence was reduced by 33%. Backfilled yielding steel arches had been a successful support up to an average mining depth of 1,000 m.

Within several research projects it was proofed in the 1980s and 1990s, that a minimum compressive strength of 20 N/mm² and a minimum thickness of 0.2 m are required parameters for success.

6.4 Combined support

RAG introduced combined support systems in phase 3 and 4. Combined support had been introduced at Ibbenbüren mine in the 1980s and in the beginning of this century it was applied in a wide range at RAG mines. Figure 13 shows the variant type B, which means to drive a roadway with backfilled arches and afterwards install a rock bolting pattern. The result in strata control was quite poor, because the bolts were installed in fissured rock and a part of bolt length was wasted.

Figure 14 shows the combined support type A. The heading of roadway was a rock bolted area and afterwards steel arches were installed and backfilled behind the heading. This type of support was the final solution for strata control up to an average depth of more than 1,300 m.

Combined support in rectangular roadways was used in starting rooms of longwalls additionally in phase 3 and 4. The combination allowed to substitute props by rock bolts to get a wider

In der finalen Phase (Phase 4) schloss die Entwicklung des Ankerbaus mit einem standardisierten Ankertyp ab. Dieser sogenannte GW-Anker (Bild 11) war mit einem Scherbolzen ausgestattet, der eine Vorspannung noch während des Verklebens mit Harz gestattete. Der Anker hatte eine Tragkraft von 340 kN.

Der GW-Anker eignete sich jedoch nicht für die besonders schwierigen Verhältnisse in Bereichen tektonischer Störungen oder brüchigem Gebirge. Für diese Bereiche kam ein speziell hierfür von der Firma HILTI entwickelter One-Step-Anker zum Einsatz (Bild 12). Dieser Ankertyp war selbstbohrend und enthielt eine integrierte Patrone mit Kunstharz, die nach dem Bohren unter hohem Wasserdruck aktiviert wurde. Dabei wurde ein Verkleben auf der gesamten Länge des Ankers erreicht.

6.3 Hinterfüllung

Die Hinterfüllung als Teil des Ausbaus wird eingeteilt nach der Art der Installation sowie des Transports. In den Phasen 1 und 2 wurden mit pneumatischer Rohrförderung Strecken bis über 1.000 m zurückgelegt. In Phase 2 wurde die hydraulische Förderung entwickelt, womit Weglängen bis zu 3.000 m überwunden werden konnten. Zum Ende hin konnte dank der Kombination einer Hauptpumpe mit zahlreichen Zwischenstationen jeder beliebige Punkt im Bergwerk fördertechnisch erreicht werden.

Wie links in Bild 9 am Beispiel der Schläuche erkennbar ist, wurde zunächst nur ein segmentartiger Anschluss an das Gebirge hergestellt. Die Erfahrung hat schließlich aber gezeigt, dass eine vollständige Hinterfüllung des Streckenmantels die Konvergenzen um 33 % reduzierte. Der hinterfüllte Gleitbogenausbau hat sich bis in Teufen um 1.000 m bewährt.

Aus zahlreichen Forschungsprojekten in den 1980er und 1990er Jahren ging schließlich hervor, dass für einen Ausbauerfolg mindestens eine Druckfestigkeit von 20 N/mm² und eine Stärke der Hinterfüllung von 0,2 m eingehalten werden sollten.

6.4 Kombinationsausbau

In den Phasen 3 und 4 setzte die RAG erstmalig Kombinationsausbau ein. Dieser war in Ibbenbüren in den 1980er Jahren erprobt worden. Bis zum Anfang des neuen Jahrhunderts fand sich der Kombinationsausbau in zahlreichen Bergwerken der RAG.



Fig. 13. Combined support type B.

Bild 13. Kombinationsausbau vom Typ B.



Fig. 14. Combined support type A.
Bild 14. Kombinationsausbau vom Typ A.

open shape of the roadway for operation. The method was called "substitution method" due to this fact.

7 Underground Monitoring

The basement of underground monitoring was the standard of "operational roadway observation" in phase 1. This meant to measure height and width of the roadway and documentation of support deformation in addition.

Beside geotechnical monitoring of the heading front up to phase 4 many monitoring systems had been tested in German coal mines. Figure 15 gives some examples of modern elements. The upper line shows tell tale extensometer (left) and a resistance measurement bolt (right). Tell tales are simple instruments for observation of roof deformation and resistance measurement bolt uses electrical circuit for control of rock bolt failure. The lower line shows a borehole observation probe, which allows a photographic documentation of boreholes. The example on the right side shows refilled fissuring of the borehole wall.

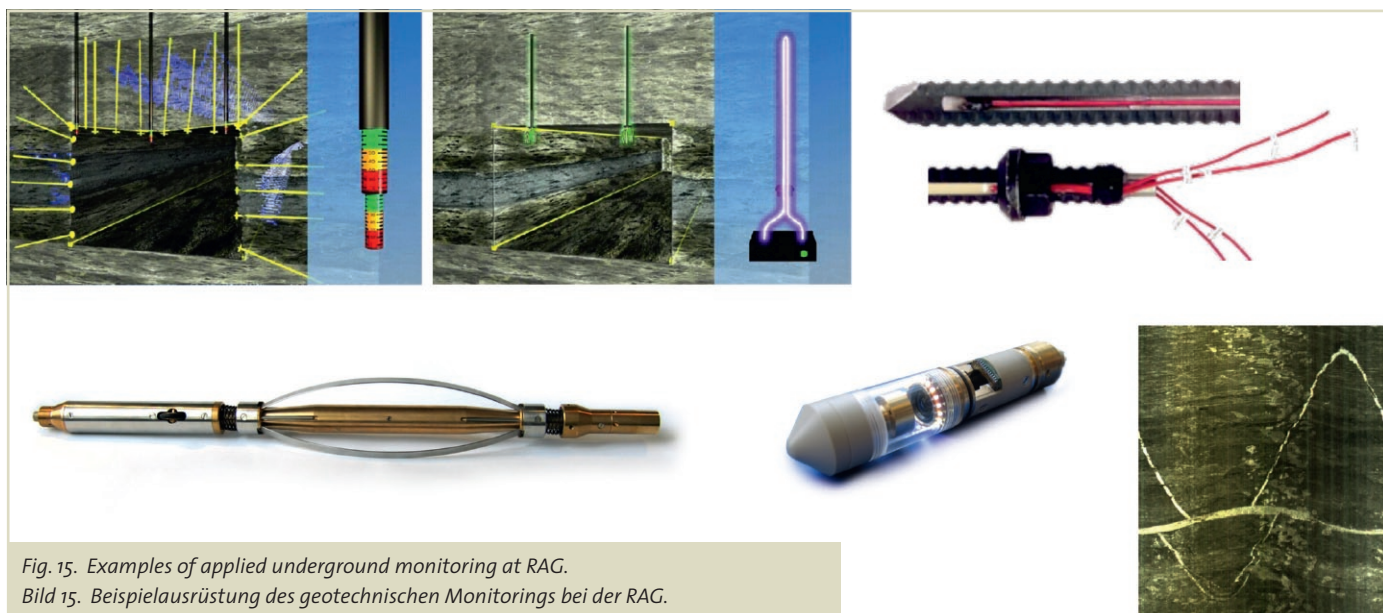


Fig. 15. Examples of applied underground monitoring at RAG.
Bild 15. Beispielausrüstung des geotechnischen Monitorings bei der RAG.

Bild 13 zeigt den Kombinationausbau Typ B, welcher im ersten Ausbauschritt den Gleitbogen mit Verzug und Hinterfüllung mit einem anschließend eingebrachten Anker ausbau kombiniert. Hierbei befand sich jedoch eine Teillänge des eingebauten Ankers nicht im anstehenden Gebirge und war damit nicht effektiv genutzt. Die Beherrschung der Stoßbewegungen war daher nicht optimal.

Bild 14 zeigt den Kombinationsausbau vom Typ A. Hierbei wurden nach der Auffahrung der Strecken zunächst die Anker und danach ein Ausbau mit Stahlbögen, Verzug und Hinterfüllung eingebracht. Diese Variante war schließlich die Lösung zur Gebirgsbeherrschung in Strecken bis in eine Teufe von 1.300 m.

Der Kombinationsausbau wurde auch in den Rechteckprofilen an Strebstartstrecken und Raubgassen ab den Phasen 3 und 4 eingesetzt. Der Ausbau konnte so den Einsatz von Stahlstempeln ersetzen, was einen erheblichen Platzgewinn bedeutete. Daher wurde diese Methode auch als „Substitutionsausbau“ bezeichnet.

7 Geotechnische Überwachung der Grubenräume

Eine erste Grundlage der untertägigen Überwachung war das Vermessen von Stoßbreite und Firsthöhe sowie die Dokumentation von Verformungen des Ausbaus als Teil der betrieblichen Streckenbeobachtung. Dies war der Status Quo im Sinn eines Monitorings in Phase 1.

Abgesehen von der geotechnischen Überwachung der Ortsbrust bis in die Phase 4 wurden in den deutschen Steinkohlenbergwerken zahlreiche verschiedene Monitoring-Systeme erprobt. Bild 15 zeigt dazu einige Beispiele. Im oberen Bildabschnitt ist links das Verfahren eines Tell-Tale Extensometers und rechts jenes von Widerstandsmessankern dargestellt. Erstere Bauart dient der einfachen Bestimmung von Firstbewegungen über die mechanische Bewegung des Ankers, die zweite ermittelt den Verformungszustand eines Ankerstabs über die Änderung seines elektrischen Widerstands. In der unteren Bildreihe ist links eine Sonde zur fotografischen Bohrerkerkundung abgebildet. Das Beispiel rechts zeigt wiedergefüllte Risse in einem abgebohrten Stoß.

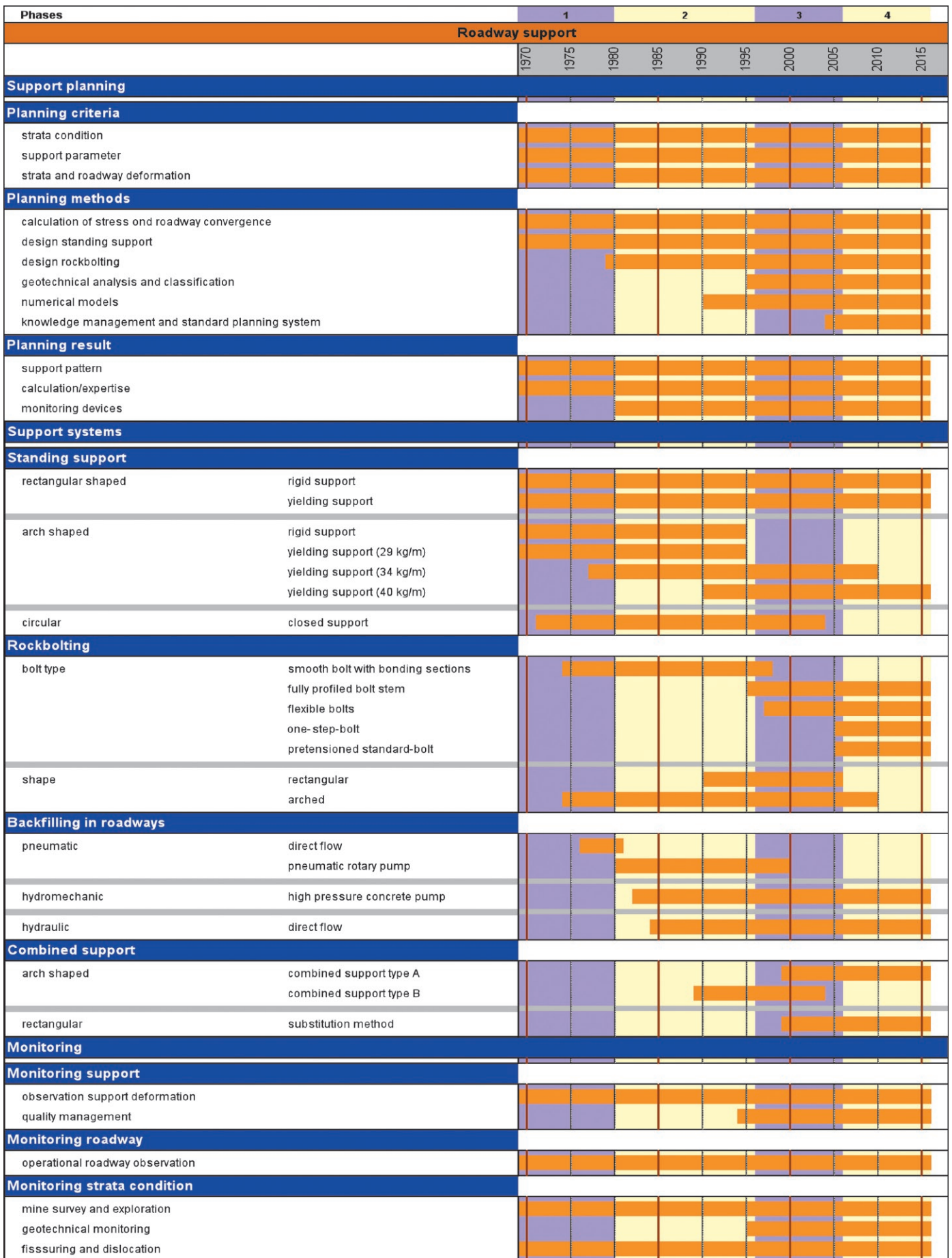


Fig. 16. Phases and elements of technical development for RAG strata control.

Bild 16. Phasen und Elemente der Technikentwicklung zur Gebirgsbeherrschung bei der RAG.

8 Conclusion

The development of strata control in German hard coal mines followed four different phases. As it was figured out in this report, planning methods, support systems and monitoring did achieve successful results following the demands of a continuous rising depth of mine production. In the final phase strata control systems allowed roadway use in a depth of more than 1,300 m. A concluding overview on details of development in a systematical scheme is given in figure 16. Phase 1 was the period between 1969 and 1980, followed by phase 2 (1980 to 1995), phase 3 (1995 to 2005) and finally phase 4 (2005 to 2016).

References / Quellenverzeichnis

- (1) Junker, M. et al.: Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken, Verlag Glückauf, Essen, 2006.
- (2) Jacobi, O: Praxis der Gebirgsbeherrschung, 2. Aufl., Verlag Glückauf, Essen, 1981.

8 Zusammenfassung

Die Entwicklung der Gebirgsbeherrschung in deutschen Steinkohlenbergwerken lässt sich in vier Phasen einteilen. Wie beschrieben, konnten in den Bereichen Planung, Ausbau- und Überwachungssysteme Lösungen implementiert werden, die einen sicheren Abbau in immer größeren Teufen ermöglichten. Zuletzt waren auch Gebirgsstrecken in Teufen über 1.300 m gebirgsmechanisch beherrschbar. Eine Gesamtübersicht gibt Bild 16. Die Phasen lassen sich den Jahreszahlen wie folgt zuordnen: Phase 1 von 1969 bis 1980, Phase 2 von 1980 bis 1995, Phase 3 von 1995 bis 2005, Phase 4 von 2005 bis 2016.

Author / Autor

Dr.-Ing. Holger Witthaus, RAG Aktiengesellschaft, Essen