

Technical Developments at RAG over the past 50 Years

The new series of publications under the generic title “Documentation of technical developments at RAG” aims to preserve the know-how that the German coal industry has built up over the last 50 years, to provide a knowledge platform for specialists in this area and to disseminate this information to an international audience. This initiative may well also inspire engineers to develop new technologies for the future. Of course it would not be within the scope of this series to cover all the individual themes

in full along with all the individual features and particularities involved. Nevertheless, the authors have attempted to collate and present all the key relationships that have marked the development of the technotope that is “RAG Mining”, as based on the framework conditions and parameters prevailing over the last 50 years. The following article gives a general overview of the technical development at RAG during the last 50 years.

Technische Entwicklung bei der RAG in den letzten 50 Jahren

Die Buchreihe „Dokumentation der technischen Entwicklung bei der RAG“ trägt dazu bei, das in den letzten 50 Jahren erlangte Know-how des deutschen Steinkohlenbergbaus nachhaltig zu sichern, dem fachkundigen Leser das Wissen zur Verfügung zu stellen, und dieses auch international zu verbreiten. Es soll dem Techniker darüber hinaus als Impulsgeber für zukünftige technische Entwicklungen dienen. Selbstverständlich konnten weder alle Themen vollumfänglich, mit allen entwickelten Spezifika, noch

alle Themen, die darzustellen wären, behandelt werden. Gleichwohl war es das Bemühen der Autoren, wesentliche Zusammenhänge in der Entwicklung des Technotops „RAG-Bergbau“, ausgehend von den Rahmenbedingungen über die 50 Jahre zu ordnen und darzustellen. Der nachfolgende Beitrag gibt einen allgemeinen Überblick über die technische Entwicklung bei der RAG während der letzten 50 Jahre.

1 Introduction

The new series of publications under the generic title “Documentation of technical developments at RAG” aims to preserve the know-how that the German coal industry has built up over the last 50 years, to provide a knowledge platform for specialists in this area and to disseminate this information to an international audience. This initiative may well also inspire engineers to develop new technologies for the future.

The entire compendium currently consists of the following individual volumes:

- Technical developments and research at RAG.
- Technical developments in coal winning.
- Technical developments in roadway drivages.
- Technical developments in logistics.
- Technical developments in mine safety.

There are also plans to publish a further two volumes on mine surveying.

1 Einleitung

Die Buchreihe „Dokumentation der technischen Entwicklung bei der RAG“ trägt dazu bei, das in den letzten 50 Jahren erlangte Know-how des deutschen Steinkohlenbergbaus nachhaltig zu sichern, dem fachkundigen Leser das Wissen zur Verfügung zu stellen, und dieses auch international zu verbreiten. Es soll dem Techniker darüber hinaus als Impulsgeber für zukünftige technische Entwicklungen dienen.

Das gesamte Compendium besteht bisher aus folgenden Büchern:

- Technikentwicklung und Forschung der RAG,
- Technikentwicklung im Abbau,
- Technikentwicklung in der Vorleistung,
- Technikentwicklung in der Logistik,
- Technikentwicklung in der Grubensicherheit (Band 1 und 2) und
- Management- und Bildungssysteme für technische Prozesse.

Zwei Bücher zum Thema Markscheidewesen werden voraussichtlich noch folgen.

2 Structure and content of the series

Of course it would not be within the scope of this series to cover all the individual themes in full along with all the individual features and particularities involved. Topics such as face equipping and salvage, machine maintenance, surface operations and electrical engineering, e.g., are only touched on selectively.

Nevertheless, the authors have attempted to collate and present all the key relationships that have marked the development of the technotope that is "RAG Mining", as based on the framework conditions and parameters prevailing over the last 50 years. Given the special circumstances obtaining over the period in question the RAG-managed coal industry developed beyond the "normal" boundaries of a commercial undertaking and was to become a key focus for the national economy. This came about – as will be shown – in full cooperation with other applications. This pushing-back of the boundaries took place on many levels and served as the basis for the successful application of solutions that were conceived in this technotope under different mining conditions. Only by this means was it possible, e.g., to achieve the kind of advances that were to be made not only in industrial health and safety but also in areas such as mineral winning, road-way development and logistics.

In spite of the ongoing process of restructuring and adaptation the industry managed not only to sustain the required operating environment and technical skills to the extent necessary but also to cope with a level of operating complexity that was growing exponentially in some areas.

This was a major success in the management of the adaptation process.

The preparation of this series of books has in many respects been a long journey through in some cases uncharted waters:

- The technical authors involved did not have access to a structuring of the engineering and/or mining engineering technology that would enable them to organise the development process on its different levels, beginning with the individual components and on through the entire machine/installation to the sub-process technology area in question.
- Another task was to categorise this structure over five decades of development.
- The next challenge was to generate this structure in such a way that the individual parts – both in terms of technology and content and with regard to the chronological development – could be superimposed on one another in a meaningful way.
- A further task was to draw on the subjective knowledge and experience of the individual authors and the available sources in order to present a representative record of RAG in general terms – which initially meant analysing the data available for each chapter or area of operation.
- The presentation of RAG in representative time slices could become the subject of further studies and reflections, e.g., in comparison with other mining sectors or branches of industry or for the categorisation of other mining applications.

3 Structure of technological development

The span of time from 1969 to 2018 describes the end-phase of

2 Struktur und Inhalte der Buchreihe

Selbstverständlich konnten weder alle einzelnen Themen vollumfänglich, mit allen entwickelten Spezifika, noch alle Themen, die darzustellen wären, behandelt werden. So konnten Themen, wie das Herrichten und Rauben, die Instandhaltung, der Tagesbetrieb und die Elektrotechnik, nur punktuell gestreift werden.

Gleichwohl war es das Bemühen der Autoren, wesentliche Zusammenhänge in der Entwicklung des Technotops „RAG-Bergbau“, ausgehend von den Rahmenbedingungen über die 50 Jahre zu ordnen und darzustellen. Unter den besonderen Bedingungen entwickelte sich der Steinkohlenbergbau der RAG über „normale“, betriebswirtschaftlich darstellbare Grenzen hinweg als eher volkswirtschaftlich getriebene Aufgabe. Dies geschah durchaus im Austausch mit anderen Anwendungen. Dieses Verschieben der Grenzen gilt in vielerlei Hinsicht und war die Grundlage für die erfolgreiche Anwendung von in diesem Technotop gefundenen Lösungen unter anderen bergbaulichen Gegebenheiten. Nur dadurch konnten z.B. im Arbeits- und Gesundheitsschutz, aber auch in Abbau, Vorleistung und Logistik derartige Fortschritte erzielt werden.

Das gesamte dazu nötige Umfeld und die erforderlichen Kompetenzen konnten – trotz des stetigen Anpassungsprozesses – im notwendigen Umfang nicht nur erhalten werden, sondern es wurde auch die z.T. exponentiell zunehmende Komplexität beherrscht.

Dies ist ein wesentlicher Erfolg im Management des Anpassungsprozesses.

Das Schreiben dieser Buchreihe glich in mehrfacher Hinsicht einer mehrjährigen Reise in zumindest z. T. unbekannte Gewässer:

- Eine Strukturierung von Technik bzw. Bergbautechnik, die es erlaubt, die Entwicklung auf den unterschiedlichen Niveaus von der Einzelkomponente über die gesamte Maschine bis zum Teilprozess verschiedener Technikbereiche zu ordnen, lag zumindest den Autoren nicht vor.
- Diese über fünf Dekaden in ihrer Entwicklung einzuteilen, war eine weitere Aufgabe.
- Die Struktur so zu generieren, dass die einzelnen Teile sowohl, was die Technik und Inhalte betrifft, als auch, was die zeitliche Entwicklung betrifft, sinnhaft übergeordnet zusammengeführt werden konnten, war die nächste Herausforderung.
- Eine weitere Aufgabe bestand darin, aus der subjektiven Kenntnis und Erfahrung der einzelnen Autoren und den vorliegenden Quellen heraus die RAG im Generellen, repräsentativ zu erfassen. Daher wird z.B. zu jedem Bereich bzw. Kapitel zunächst das verfügbare Zahlenwerk ausgewertet.
- Die Darstellung der RAG in den repräsentativen Zeitschnitten kann Gegenstand weiterer Untersuchungen und Betrachtungen sein, z.B. im Vergleich mit anderen Bergbau- oder Industriezweigen oder zur Einordnung anderer Bergbauanwendungen.

3 Struktur der Technikentwicklung

Die Zeitspanne von 1969 bis 2018 beschreibt einschließlich der dargestellten Historie die Endphase der zweiten industriellen Revolution über nahezu die gesamte dritte industrielle Entwicklung bis hin zu den Anfängen von Bergbau 4.0. Dabei ist zu beobachten,

the second industrial revolution and also includes the entire third period of industrial development through to the introduction of Mining 4.0. In all this it is possible to observe the transition from one technical level to the next, e.g., the way in which the coal industry developed from the first stage of mechanisation with hand-held tools and individual props to chock-type, frame-type and shield supports with mechanised winning machines:

- The degree of human physical effort was reduced and dramatically changed, while at the same time there was a significant transition in competence requirements in terms of training and soft skills.
- Natural hazards such as falls of coal and stone were reduced, especially as men were no longer working directly in danger areas.
- The new technology presented a fresh set of hazards that were soon recognised and dealt with in turn. Unfortunately this was often only done as a response to specific accidents or incidents, with new regulations being introduced as a result.
- This relationship was then almost completely eliminated through the ongoing development and standardisation of technology and procedures in interaction with systematically designed planning and management systems. And factors such as worker participation, competence and awareness were also refined at the same time. Another issue to be considered is the elimination of processes involving a high hazard factor that cannot readily be mechanised. No fundamentally new technical systems were introduced into the coal industry since the end of the 1990s. Technical launches of this kind usually involve introducing special rules of a corrective nature as operating experience first has to be acquired with the new system.

4 Influencing factors for technical development

Since 1969 technical developments at RAG have been driven by all kinds of factors. Technology was being influenced not only by corporate and colliery development and performance, and by the geology of the deposits, but also by rules and guidelines. And the success of this development was additionally, and significantly, being determined by the successful and safe manner in which new technology was applied and also accepted by the workforce.

Moreover, technical development was affected by the disposition of the existing collieries, the installed technology and the processes already in use, as well as by the development potentialities. And these technology developments also took place in interaction with sub-processes such as coal winning, pre-production work and logistics.

The main factors that have influenced technical development are presented in figure 1, though this is not an exhaustive list.

4.1 Company level

Technical development was influenced by the evolution in subsidised production and by the way in which coal production was distributed between the Ruhr and Saar coalfields and over the individual collieries. The way in which technology developed was also affected on many levels by the reduction in the number of active collieries as part of the concentration programme and by

wie sich der Übergang von einem technischen Niveau zum nächsten, z.B. der ersten Stufe der Mechanisierung mit handgeführten Geräten und einzelnen Stempeln zum Bock-, Rahmen- oder Schildausbau mit mechanisierten Gewinnungsgeräten, entwickelte:

- Die körperliche Beanspruchung des Menschen reduzierte und veränderte sich. Gleichzeitig veränderten sich die Kompetenzanforderungen u.a. im Hinblick auf Bildung und Softskills.
- Die natürlichen Gefahren, wie z.B. Stein- und Kohlenfall, wurden reduziert, auch indem der Mensch nicht mehr im direkten Gefahrenbereich arbeitete.
- Die neue Technik induzierte neue Gefährdungen, die erkannt und ihrerseits wieder beseitigt wurden. Dies geschah häufig infolge von Unfällen oder Ereignissen. Daraus erwuchsen dann auch neue Regelwerke.
- Dieser Zusammenhang wurde durch die Weiterentwicklung und Standardisierung von Technik und Verfahren im Zusammenwirken mit systemisch ausgelegter Planung und Managementsystemen annähernd vollständig beseitigt. Gleichzeitig wurden Mitarbeiterpartizipation, -kompetenz und -awareness weiterentwickelt. Zu berücksichtigen ist auch die Abschaffung nicht derart technisierbarer Verfahren mit hoher Gefahrengeneignetheit. Grundsätzlich neue technische Systeme wurden in dieser Zeit seit Ende der 1990er Jahre nicht mehr eingeführt. Bei derartigen Einführungen ist das dabei zu erstellende spezielle Regelwerk grundsätzlich von korrekivem Charakter, da dafür auch Erfahrung mit dem System vorliegen muss.

4 Einflussfaktoren der technischen Entwicklung

Die Entwicklung der Technik bei der RAG ist seit dem Jahr 1969 von unterschiedlichsten Faktoren getrieben worden. Neben der Unternehmens- und Bergwerksentwicklung und der Lagerstätte beeinflussten Regelwerke die Technik. Die Entwicklung wurde wesentlich durch den erfolgreichen und sicheren Einsatz durch und die Akzeptanz der Mitarbeiter bestimmt.

Zudem wurde die Technikentwicklung durch die Verfasstheit der bestehenden Bergwerke, die dort eingesetzte Technik und genutzten Verfahren, sowie deren Entwicklungsmöglichkeiten bestimmt. Im Zusammenwirken der Teilprozesse, wie beispielsweise Abbau, Vorleistung und Logistik, wurde die Technikentwicklung ebenfalls beeinflusst.

In Bild 1 sind wesentliche Einflussfaktoren der technischen Entwicklung genannt.

4.1 Unternehmen

Die Entwicklung der subventionierten Förderung und auch die Verteilung der Förderung auf die Reviere Ruhr und Saar sowie auf die einzelnen Bergwerke beeinflusste die Technikentwicklung. Die Reduzierung der Bergwerksanzahl im Rahmen der Betriebskonzentration und die Höhe der Bergwerksförderung bestimmten darüber hinaus vielschichtig die Technikentwicklung. Im Bereich der Forschung waren öffentliche Forschungsprogramme von entscheidender Bedeutung. Nur durch das Zusammenwirken vieler Beteiligter, z.B. Zulieferindustrie, bergmännische Unternehmer, Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie Bergbehörden, wurde diese Entwicklung ermöglicht.

Die Entwicklung des Abbaus in die Teufe, die Verlagerung des Abbaus in Anschlussfelder und die Bildung von Verbundbergwer-

	Category	Factor
1	Company	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coal production and its distribution over the coalfield areas 2. Geology and seam selection 3. Concentration of production areas, colliery output 4. Management systems 5. Organisation of the company and technical departments
2	Colliery	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mine plan; existing layout of workings 2. Face concentration and panel layout 3. Optimisation of the overall system and sub-processes
3	Rulebook	<ol style="list-style-type: none"> 1. General regulations 2. Mining regulations 3. RAG rules and regulations
4	Technical	<ol style="list-style-type: none"> 1. General technical developments 2. Technical management and competence; range of technology and methods used and level of standardisation 3. Process suitability/pitworthiness of technical systems; integration potential 4. Mechanisation/automation; state-of-the-art development in terms of performance increase, size/weight trends 5. Colliery automation, management of sub-processes and company digitisation
5	Human	<ol style="list-style-type: none"> 1. Technology creators and promoters 2. Safety and ergonomics 3. Derived benefits and acceptance 4. Industrial training and personnel development 5. Leadership and participation

Fig. 1. Factors influencing technical development. // Bild 1. Einflussfaktoren der technischen Entwicklung.

the individual colliery production figures. Public research programmes also played a key role for R&D work and these developments were only possible thanks to the joint endeavours of many participants, such as the supplier industry, mining companies, universities, research establishments and mining authorities.

The increase in working depth, the expansion into new connecting panels and the formation of combined mines with their much longer transport and travelling distances also brought much change to the industry. One of the main problems was to counteract naturally occurring hazards such as gas emissions and rockbursts. The process of colliery selection and panel allocation adopted as part of the overall corporate strategy also led to a choice of working deposits that predefined multi-seam winning, seam thickness, panel length and seam dip as framework conditions for the production process. Increasing working depths, greater travelling distances, strata control problems, mine climate conditions and gas make were all performance-shaping factors that could not be changed but merely controlled. The technology employed for coal winning, pre-development drivages and product transport was very much determined by the choice of seams with a high proportion below 2 m in height and a relatively high content of associated rock. The increase in the power rating of the winning equipment inevitably led to larger sized machines and this in turn resulted in larger roadway profiles. However, this did not bring about a significant increase in the utilisation rate of the coal winning equipment. Moreover, some procedures and operations were still not fully mechanised or consistently automated, with shotfired drivages being a case in point.

From the 1990s on, company strategy also ultimately contributed to the fact that colliery production capacity was not being used to its fullest extent. Organisational and management development, along with technology such as automation and company digitisation, helped to realise significant improvements that were eventually to bring changes right across the industry as the entire system was fully optimised. Introducing centralisation and standardisation to many areas proved to be the only way in

ken mit erheblichen Entfernungen führten ebenfalls zu Veränderungen. Dabei stand die Beherrschung der naturgegebenen Gefahren, beispielsweise der Gas- oder Gebirgsschlagbeherrschung, zunächst im Vordergrund. Ebenso erfolgte durch die im Rahmen der Unternehmensstrategie getroffene Bergwerksauswahl und Baufeldzuordnung eine Lagerstättenauswahl, die Mehrflözbergbau, die Flözmächtigkeit, die Baulänge und das Einfallen der Lagerstätte als Rahmenbedingungen für den Abbau vorgab. Zunehmende Teufe, größere Distanzen, Gebirgsbeherrschung, Klima- und Gasanfall waren leistungsbeeinflussende Faktoren, die nicht geändert, sondern nur beherrscht werden konnten. Die Flözauswahl mit einem hohen Anteil unter 2 m Mächtigkeit und einem vergleichsweise hohen Nebengesteinsanteil bestimmte die Technik in Abbau, Vorleistung und Produktenförderung. Die Steigerung der installierten Leistung der Gewinnungsanlagen führte zwangsläufig zu größerer bauender Technik, was wiederum zu immer größeren Streckenquerschnitten führte. Der Ausnutzungsgrad der Gewinnungsanlagen wurde demgegenüber nicht wesentlich gesteigert. Des Weiteren waren, wie beispielsweise im Sprengvortrieb, nicht alle Vorgänge und Abläufe vollständig mechanisiert und folgerichtig automatisiert.

Letztlich trug auch die Unternehmensstrategie ab den 1990er Jahren dazu bei, dass die Förderkapazität der Bergwerke nicht voll genutzt wurde. Durch Organisations- und Managemententwicklung und beispielsweise die Automatisierung und Unternehmensdigitalisierung wurden bedeutende Verbesserungen erreicht, die letztlich auch bergwerksübergreifend durch die Optimierung des Gesamtsystems Veränderungen erfuhren. Nur mit Zentralisierung und Standardisierung in vielen Bereichen konnten die vielfältigen Aufgaben bei komplexer werdender Technik sichergestellt werden. Im sich verkleinernden Steinkohlenbergbau wurden Technik und Sicherheit nur durch ganzheitliche Organisation und systemisches Management sichergestellt. Das integrierte Technikmanagementsystem ermöglichte die Standardisierung von Prozessen im Grubenbetrieb und im Technikmanagement. Die eingesetzten Aus-

which the large number of diverse tasks could be effectively managed as the operating technology became increasingly complex. In a coal industry that was continuously contracting technical progress and improved safety and security could only be ensured through integrated organisation and systemic management. The integrated technology management system paved the way for the standardisation of processes at colliery operating level and in the technical management department. The deployed equipment, along with its procurement and maintenance, was managed holistically and the operating conditions for the different procedures and items of plant and equipment were formalised as part of a technology strategy. The qualification of the deployment conditions and the assignment of suitable technology created the basic requirements for technical standardisation, lean processing and the AGU management system. These management systems were consistently developed and became part of daily working practice.

4.2 Colliery level

The collieries, with their existing layout and working panels, provided the starting point for further development. One of the first actions here was to discontinue all the inefficient operations that had proved difficult to mechanise and involved a high degree of hazardousness, such as working in steep and semi-steep seams and the driving of roadways in line with the coal face.

The high outlay on pre-development operations up to and through the 1990s then led to the increased use of mechanised roadheading systems. New roadway support techniques, ventilation and air-conditioning concepts and adapted product conveying and transport equipment were needed in order to cope with increasing strata pressures and temperature levels and ever longer transport routes.

Improved management systems and centralised or decentralised organisational structures also had their impact on technical development. The choice of mine layout and the concentration of production units, which were one aspect of colliery strategy that was to result in an increase in face output, had a significant impact on the type of equipment and technology being deployed. The method of attack generally switched from advancing long-wall working to retreat working and the driving of gate roads in conjunction with the coal face was finally discontinued in the 1990s. The increase in face length called for higher-performance face conveyors. The improvement in face output was made possible by the increase in the return-air flow and in the installed refrigeration capacity and this in turn led to a reduction in the number of production units needed per colliery. The excavated cross-section of the gate roads increased to accommodate the greater power and size of the drives powering the coal winning equipment. Hand-packed roadway arches were replaced by arch supports with full backfilling, this giving way to the combination support system from 2000 on. The transport capacity of the belt conveyor installations was gradually increased to keep pace with the improvements in face output. Longer transport distances to the coal winding shaft generally resulted in an increase in the overall length of the belt conveyor systems. The transport equipment was being called on to move heavy pieces of coal winning and roadheading equipment while the number of transport units

rüstungen und deren Instandsetzung sowie ihre Beschaffung wurden ganzheitlich gemanagt. Die Einsatzbedingungen für die jeweilige Technik und die Verfahren wurden im Rahmen der Technikstrategie festgeschrieben. Das Beschreiben der Einsatzbedingungen und die Zuordnung geeigneter Technik waren die Grundvoraussetzungen für die technische Standardisierung, Lean-Processing und das Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz (AGU)-Managementsystem. Diese Managementsysteme wurden konsequent entwickelt und waren Teil des täglichen, operativen Handelns.

4.2 Bergwerk

Die Bergwerke mit ihrer bestehenden Auslegung und ihren ausgerichteten Feldern waren zunächst Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung. Die Einstellung ineffizienter, schwer mechanisierbarer Verfahren mit hoher Gefahreneigenschaft, wie der Abbau in halbsteiler und steiler Lagerung oder die abbaubegleitende Streckenauffahrung waren ein weiterer Schritt.

Der bis in die 1990er Jahre hohe Vorleistungsaufwand führte in der Streckenauffahrung zum verstärkten Einsatz des Maschinenvortriebs. Neue Streckenausbausysteme, Bewetterungs- und Klimatisierungskonzepte und angepasste Produktförder- und Transporteinrichtungen wurden notwendig, um dem steigenden Gebirgsdruck, der zunehmenden Temperatur und den längeren Transportwegen zu begegnen.

Die Entwicklung der Managementsysteme und zentrale oder dezentrale Organisationsformen bestimmten ebenso die Technik-

per production face increased as face advance rates improved and greater volumes of roadheading material were being produced.

4.3 Rules and regulations

In the main the industry regulations were gradually subject to greater diversity and differentiation while at the same time encompassing an increasing level of corporate responsibility. This resulted in the need for differentiated company regulations operating in conjunction with management systems.

Technology was also influenced by the way in which the regulations developed, especially from a mine safety viewpoint. Technical development could only be achieved by way of a set of regulations that facilitated technical progress and was able to adapt against a background of continuing improvements in industrial safety performance.

4.4 Technology

Technical progress was initially influenced by the development and transfer of the best available technology. Examples of this include special programmable control systems and fibre-optic transmission technology, as well as new materials and treatment methods for mining chains.

The successful introduction of new technology also depended to a large degree on process capability and industry suitability. Machines that were deemed to be appropriate when taken individually sometimes proved unsuited to the task when they were introduced into the underground working cycle, while some of the equipment failed because it was insufficiently robust, durable or practicable.

The mechanisation, standardisation and automation of the working processes determined the level of technology and advancements in this area were additionally driven by the efforts made to improve performance in all sectors. As already explained, this was also usually associated with an increase in the size and weight of the plant and equipment. The improved performance of the winning machines additionally and inevitably led to an increase in the weight and size of the roadheading machines and transport and conveying installations.

The mine control room was the central switchpoint for the entire colliery. As well as providing coordination and alarm-raising functions the control room also played a supporting role to information, reporting and management activities and an increasing number of switching and control functions were gradually included. There soon developed a number of sub-routine control stations that for the winning zone were initially focused on the face conveyor, some being installed close to the face, then nearer to the pit-bottom area and finally at the colliery surface. Control stations were also established for development operations and for logistics functions. The introduction of new technologies and the associated increase in the level of coal-face mechanisation meant a continuous expansion in the demands being placed on the relevant control systems. The surface process computer systems were replaced by standardised PC systems with visualisation and archiving interfaces. The underground control systems were replaced in parallel with the extension of the surface control and management systems. The control concept being introduced at this time called for the use of automation devices based on

entwicklung. Innerhalb der Bergwerksstrategie veränderten der Bergwerkszuschnitt und die Betriebspunktkonzentration, die zu einer steigenden Betriebspunktförderung führte, maßgeblich die eingesetzte Technik. Die Abbauführung wechselte mehrheitlich von Vor- auf Rückbau und die abbauabhängige Auffahrung wurde in den 1990er Jahren eingestellt. Die Erhöhung der Streblänge erforderte leistungsstärkere Strebförderer. Die Steigerung der Betriebspunktförderung wurde durch die Steigerung des Gesamtabwetterstroms und der Gesamtkälteleistung ermöglicht und führte letztlich zu einer Reduzierung der Anzahl der notwendigen Abbaubetriebspunkte je Bergwerk. Der Ausbruchquerschnitt in den Abbaustrecken wuchs mit der Leistungs- und Größenzunahme der Antriebe der Gewinnungsanlagen. Der handsteinverzogene Bogenausbau wurde zunächst durch Bogenausbau mit Vollhinterfüllung und ab dem Jahr 2000 durch den Kombiausbau ersetzt. Die Förderkapazität der Gurtförderanlagen wurde der Leistungssteigerung im Abbau folgend schrittweise erhöht. Die Entfernung zum Förderschacht nahm in der Regel zu, sodass die Gesamtlänge der Gurtförderanlagen anstieg. Mit den Transportanlagen mussten schwerere Gewinnungs- und Vortriebsanlagen transportiert werden. Die Anzahl der Transporteinheiten je Betriebspunkt wuchs mit gestiegenem Abbaufortschritt und Ausbruchvolumen.

4.3 Regelwerke

Im Allgemeinen entwickelten sich die Regelwerke einerseits zu immer größerer Differenziertheit, andererseits aber auch zu immer mehr Unternehmerverantwortung. Dadurch ergab sich die Erfordernis ausdifferenzierter Unternehmensregelwerke in Verbindung mit Managementsystemen.

Die Technik wurde dabei auch von der Entwicklung der Regelwerke insbesondere aus Sicht der Grubensicherheit beeinflusst. Nur durch ein den technischen Fortschritt ermöglichendes und unter stetiger Verbesserung der Grubensicherheit sich wandelndes Regelwerk war die Technikentwicklung möglich.

4.4 Technik

Zunächst wurde die Technikentwicklung durch die Entwicklung und Übertragung des allgemeinen Stands der Technik beeinflusst. Beispiele sind hier spezielle programmierbare Steuerungen und die Lichtwellenleitertechnik sowie Werkstoffe für Ketten und ihre Bearbeitung.

Der erfolgreiche Einsatz der Technik hing auch von deren Prozess- und Bergbautauglichkeit ab. Maschinen, die einzeln betrachtet geeignet waren, stellten sich nach Einbindung in den untertägigen Ablauf als ungeeignet dar. Ebenso fehlte einigen eingesetzten Maschinen die Bergbautauglichkeit im Sinne der dafür erforderlichen Robustheit oder Praktikabilität.

Die Mechanisierung, Standardisierung und Automatisierung von Arbeitsabläufen bestimmten den Stand der Technik, deren Weiterentwicklung auch durch das Streben nach Leistungssteigerung in allen Bereichen des Grubenbetriebs getrieben wurde. Die Leistungssteigerung der Gewinnungsanlagen führte zwangsläufig auch zu einer Größen- und Gewichtszunahme der Vortriebsmaschinen, Förder- und Transportanlagen.

Die Grubenwarte war die zentrale Schaltstelle des Bergwerks. Die Warten erfüllten schon früh neben Koordinierungs- und

Level	Development stage	Details
Company	Coal production	Production falls from 85 to 49 Mt saleable/a between 1969 and 1990.
	Colliery output	Daily output per colliery increases from 6,400 to 11,100 t saleable/d between 1970 and 1990.
	Management of technical processes	Application and intensification of works suggestion scheme and working-group system. Implementation of a cooperative management style and worker participation. Elementary rules and guidelines introduced along with a system of official representatives. Measures introduced to combat typical occupational illnesses.
Colliery	Accident trends	From 1976 to 1990 the number of fatal accidents fell sharply from 0.37 to 0.14. By 1990 accidents resulting in > 3 d off work had fallen to 120 – 130. The figure for those requiring > 4 weeks off work, which prior to 1984 had remained fairly constant at 36, subsequently fell to 32 by 1990. Prior to 1984 the most common accident cause was “falling coal and rock”, after this it was “falling and sliding objects”. About 60% of all accidents occurred either at the coal face, in development drivages or in conjunction with materials transport duties.

Fig. 2. Development of the technique during phase 1: 1969 to 1990. // Bild 2. Entwicklung der Technik in Phase 1: 1969 bis 1990.

high-performance industrial PC technology. This laid the foundations for the creation of a sub process-oriented management and production system fit for an integrally digitised mining business.

4.5 The human factor

The key influence on technical development was man, as the actual creator and promoter of technology.

A decisive factor for the successful application of new technology was its acceptance by the workforce and the effective benefits to the user as perceived by the mineworker in terms of occupational safety and ergonomics. From a worker perspective the management approach developed from compliance with the instruction through participation and codetermination to working independently as part of a team. The mastery of complex technology required active participation in the application process and in the approach to workplace safety. Lean processing and integrated work-safety, health and environmental management systems were to contribute hugely to the successes achieved under difficult geological conditions.

Training systems were also very much technology driven, this applying to education, professional training, know-how safeguarding and employee development.

Finally, a practical example is used to show how technology was developed and employed and how the workforce and the company too had to adapt in order to keep pace with technical progress.

5 Technical development phases

5.1 Phase 1: 1969 to 1990

The development of the technique during the first phase from 1969 to 1990 is summarized in figure 2.

During this phase colliery production almost doubled from some 6,200 t saleable/d to 11,100 t saleable/d. The works suggestion scheme was also implemented and strengthened and the working-group system introduced. A cooperative management style was implemented and worker participation was intensified. Elementary rules and guidelines were introduced along with a system of official representatives. A high priority was given to combating typical occupational diseases.

By 1990 the fatal accident rate had fallen dramatically from 0.37 to 0.14 and the number of accidents resulting in > 3 days off work had been reduced to between 120 and 130, while the figure for accidents requiring > 4 weeks off work, which prior to

Alarmfunktionen auch Informations-, Berichts- und das Management unterstützende Funktionen. Hinzu traten immer mehr Schalt- und Steuerungsfunktionen. Sehr früh entwickelten sich teilprozessbezogene Warten, die sich für den Abbau zunächst z.T. auf den Strebförderern, z.T. abbaunah, dann schachtnah und später über Tage befanden. Es entstanden auch Vorleistungswarten und Warten für Logistikfunktionen. Mit der Einführung neuer Technologien und der damit verbundenen zunehmenden Mechanisierung der Kohलगewinnung wuchsen die Anforderungen an die eingesetzten Leit- und Steuerungssysteme kontinuierlich. Die übermäßigen Prozessrechnersysteme wurden durch standardisierte PC-Rechnersysteme mit Visualisierungs- und Archivierungsoberfläche abgelöst. Parallel zum Ausbau der übermäßigen Leitsysteme wurden die untermäßigen Steuerungssysteme erneuert. Das dabei angewendete Steuerungskonzept erforderte den Einsatz von Automatisierungsgeräten auf Basis der leistungsstarken Industrie-PC-Technologie. Damit waren die Grundlagen für ein teilprozessorientiertes Management- und Produktionssystem im Sinne eines ganzheitlich digitalisierten Bergbauunternehmens geschaffen.

4.5 Mensch

Den wesentlichen Einfluss auf die Technikentwicklung hatte der Mensch als Technikgestalter und Technikpromoter.

Ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Anwendung entwickelter Technik war deren Akzeptanz durch die Belegschaft und der wirksame Nutzungsvorteil für den Bergmann bei guter Arbeitssicherheit und Ergonomie. Der Managementansatz entwickelte sich bezogen auf die Mitarbeiter von der Ordererfüllung über die Mitwirkung und Mitgestaltung zu eigenverantwortlichem Arbeiten in Teams. Die Beherrschung komplexer Technik erforderte zwingend die Mitgestaltung bei der Technikanwendung und bei der Arbeitssicherheit. Lean Processing und das integrierte AGU-Managementsystem trugen erheblich zum Erfolg in der schwierigen Lagerstätte bei.

Auch die Bildungssysteme, z.B. in der Ausbildung und der beruflichen Fortbildung, dem Know-how-Sicherungssystem und der Personalentwicklung, wurden technikgetrieben entwickelt.

Letztlich wurde hier am Praxisbeispiel dargestellt, wie der Mensch Technik entwickelt, einsetzt und anschließend sich selbst und das Unternehmen anpasst, um dieser Technik gerecht zu werden.

1984 had remained fairly constant at 36, subsequently fell to 32 by 1990. The most common cause of accidents prior to 1984 was "falling coal and rock", this being followed by "falling and sliding objects". About 60% of all accidents occurred either at the coal face, in development drivages or in conjunction with materials transport duties.

Coal winning and roof support operations were soon fully mechanised and this period also saw an increase in the variety and specifications of coal ploughs and drum shearers available to the industry. Alternative winning methods were tried out. The basic aim of research and development projects in the field of coal production was to consolidate the technology in use at the time and to improve its operating performance. As well as improving the mechanical aspects of the winning installations the industry also developed memory-programmable controls that from 1985 on were employed on drum shearers and powered supports, and for the control of coal plough installations too after 1990. The first individual automatic systems came into use. During this period a number of traditional working practices became increasingly irrelevant, such as winning in steep and semi-steep seams, winning with stowing and the driving of gate roads in line with the face. As far as coal face safety was concerned this phase also saw the laying down of basic rules, the development of regulations and the commissioning of suitable technical equipment for air conditioning, gas control and dust suppression actions that would enable face output to be improved as working depths increased. Specific ventilation layouts were devised that were designed to increase the total return-air flow inbye. Infusion measures were applied from the face cavity and gate roads for dust suppression purposes.

During this period the main focus of industrial training was on coal plough and conveyor installations, drum shearers, shield supports and support control systems.

In the field of shotfired drivages mechanised systems were introduced for shothole drilling and loading and for support setting. At this time the industry had access to a wide range of different roadheading machines whose various functions and performance capabilities had been fully developed by the mid-1980s. This period also witnessed a rapid increase in the use of mechanised systems for roadway drive operations, with full-face machines, selective-cut roadheading machines - which replaced the continuous miners -, impact rippers and shortwall rectangular-profile machines all coming into their own. Another major development step in terms of the functionality and performance capacity of roadheaders was taken in the period leading to the mid-1980s with the commissioning of heavy-duty selective-cut heading machines in the early years of that decade and the mechanisation of support operations based on the use of integral work platforms and arch bolting and setting equipment. This phase witnessed the one and only increase in overall development drivages along with a continuous increase in roadheading rates and in the volume of material excavated from gate-road drivages and stone drifts. These operations generally involved the use of arch supports with hand-placed stone backfill. A hydromechanical system for processing building material was then developed for backfilling the roadway supports. Research and development projects in this area were aimed at consolidating the technology in place and improving its operational performance. Projects were also undertaken in

5 Phasen der Technikentwicklung

5.1 Phase 1: 1969 bis 1990

Die Entwicklung der Technik während der ersten Phase von 1969 bis 1990 ist zusammengefasst in Bild 2 dargestellt.

Die Bergwerksförderung verdoppelte sich in dieser Phase von etwa 6.200 t vF/d auf 11.100 t vF/d. Es erfolgte die Nutzung und Intensivierung des betrieblichen Vorschlagwesens und die Einführung der Zirkelarbeit. Die Implementierung eines kooperativen Führungsstils begann und die Mitarbeiterbeteiligung wurde verstärkt. Grundlegende Regelwerke und das Beauftragtenwesen wurden eingeführt. Die Bekämpfung typischer bergmännischer Berufskrankheiten stand im Vordergrund.

Bis zum Jahr 1990 erfolgte ein starker Rückgang der tödlichen Arbeitsunfälle von 0,37 auf 0,14, eine Reduzierung der Unfallkennziffer (UKZ) > 3 d auf 120 bis 130 und eine Stagnation der UKZ > 4 Wochen bis zum Jahr 1984 bei 36 und anschließender Reduzierung bis zum Jahr 1990 auf 32. Häufigste Unfallursache bis zum Jahr 1984 war „Stein- und Kohlenfall“, danach waren es „Fallende, abgleitende Gegenstände“. In Abbau, Vorleistung und Materialtransport ereigneten sich rd. 60% der Unfälle.

Im Abbau erfolgte die vollständige Mechanisierung der Gewinnung und Ausbaurarbeit. Gleichzeitig stieg die Typenvielfalt der eingesetzten Hobel und Walzenlader. Alternative Gewinnungstechniken wurden erprobt. Die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Abbau hatten die Zielrichtung, die eingesetzte Technik zu stabilisieren und deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Neben den mechanischen Verbesserungen an den Gewinnungsanlagen wurden speicherprogrammierbare Steuerungen entwickelt, die ab dem Jahr 1985 auf den Walzenladern, im Schreitausbau und ab 1990 an den Hobelanlagen zu deren Steuerung eingesetzt wurden. Erste Einzelautomatiken kamen zum Einsatz. Der Abbau in der halbsteilen und steilen Lagerung, der Versatzbau und die abbaubegleitende Auffahrung der Abbaustrecken verloren in dieser Phase zunehmend an Bedeutung. Für die Grubensicherheit im Abbau erfolgte in dieser Phase die Erarbeitung der Grundlagen, die Entwicklung von Regelwerken und die Inbetriebnahme geeigneter technischer Einrichtungen in der Klimatisierung, Gasbeherrschung und Staubbekämpfung, um den Anstieg der Betriebspunktförderung bei zunehmender Teufe zu ermöglichen. Zur Erhöhung des Gesamtabwetterstroms im Abbau wurden wettertechnische Zuschnittsformen festgelegt. Zur Staubbekämpfung wurde Tränken aus dem Strebraum und aus den Abbaubegleitstrecken angewendet.

Die Themen der beruflichen Fortbildung waren in dieser Phase die Hobel- und Fördereranlagen, Walzenlader, Schildausbau und Ausbausteuerungen.

Im Sprengvortrieb erfolgte die Mechanisierung der Bohr-, Lade- und Ausbaurarbeit. Es gab eine große Typenvielfalt der eingesetzten Vortriebsgeräte, deren grundsätzliche Entwicklung hinsichtlich ihrer Funktionsvielfalt und Leistungsfähigkeit Mitte der 1980er Jahre abgeschlossen war. Im maschinellen Vortrieb, dessen Anteil an der Gesamtaufahrung in diesem Zeitraum rasant anstieg, wurden Vollschnittmaschinen, Teilschnittmaschinen (TSM) anstelle der Continuous Miner sowie Schlagkopfmäschinen und Kurzfront-Rechteckmaschinen eingesetzt. Mit der Inbetriebnahme der schweren TSM Anfang der 1980er Jahre und der Mechanisierung der Ausbaurarbeit durch integrierte Bühnen-

Level	Development stage	Details
Company	Coal production	Production fell from 46 to 33 Mt saleable/a between 1991 and 2000.
	Colliery output	Output initially rose to over 12,000 t saleable/d, but by 2000 had fallen back to 8,900 t saleable/d.
	Management of technical processes	The corporate philosophy of 1991 changed the management approach to one of a holistic understanding of the operating processes. Employee participation was intensified, production and work safety were accorded equal status and the focus was on prevention rather than cure.
Colliery	Accident trends	Further reduction in fatal accidents to 0.12, sharp fall in off-work accidents of > 3 d to 33 and > 4 week accidents to 15. Most frequent causes were “falling, slipping and stumbling” and “falling and sliding objects”. About 50 % of accidents occurred on the coal face, in drivages and in association with materials transport.

Fig. 3. Development of the technique during phase 2: 1991 to 2000. // Bild 3. Entwicklung der Technik in Phase 2: 1991 bis 2000.

the field of rock mechanics and roadway supports. Mine safety in pre-production work also saw the introduction of more powerful booster fans and larger-profile air ducting for better ventilation, as well as the development of both wet and dry dedusting systems for dust suppression. Industrial training at this time focused on providing basic courses on roadheading equipment.

5.2 Phase 2: 1991 to 2000

The development of the technique during the second phase from 1991 to 2000 is summarized in figure 3.

This second phase saw some of the coal industry's most significant and most rapid developments. All the requirements of the overall system had been developed and increasingly and successfully deployed to the extent that a positive step forward could be recorded across the entire industry. During this second phase colliery production fell from nearly 12,000 t/d to around 8,900 t/d. The corporate philosophy of 1991 changed the management approach to one of a holistic understanding of the operating processes. The works suggestion scheme and employee participation system were further intensified. Production and work safety were accorded equal status and the principal approach was based on prevention rather than cure.

By 2000 the number of fatal accidents recorded had declined further to a figure of 0.12. There was also a significant improvement in the injury figures, with accidents requiring > 3 days sickness leave falling to 33 and those requiring > 4 weeks off work dropping to 15. The two most frequent causes of accidents in the mining industry were listed as “falling, slipping and stumbling” and “falling and sliding objects”. About 50 % of all accidents occurred either at the coal face, in development drivages or in conjunction with materials transport and handling.

Developments in coal winning constituted efforts to introduce standardised production units and a sharp increase in performance parameters. Most coal production was now fully mechanised and focused on level or moderately inclined seams with faces adopting the ideal layout. This phase saw the greatest improvement in the industry's performance figures. There was also a huge reduction in the different types of coal plough and drum shearer being used, with essentially only the gleithobel plough and the double-drum shearer remaining in operation. Automatic coal production was achieved on plough faces, while R&D at this time concentrated on stripping winning and cutting winning technology and on process control engineering and

technik und Ankerbohr- und Setzeinrichtungen wurde der wesentliche Entwicklungsschritt im Teilschnittmaschinenantrieb hinsichtlich der Funktionsvielfalt und Leistungsfähigkeit der TSM ebenfalls bis Mitte der 1980er Jahre erreicht. In dieser Phase erfolgte ein Anstieg in der Gesamtauffahrung sowie ein steter Anstieg der Auffahrgeschwindigkeit und des Ausbruchvolumens in der Abbau- und Gesteinsstreckenauffahrung. Der Bogenausbau mit Handsteinverzug wurde hauptsächlich angewendet. Die hydromechanische Baustoffverarbeitung zum Hinterfüllen des Streckenausbaus wurde entwickelt. Die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in der Vorleistung hatten die Zielrichtung, die eingesetzte Technik zu stabilisieren und deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Des Weiteren wurden Vorhaben zur Gebirgsmechanik und zum Streckenausbau durchgeführt. Für die Grubensicherheit in der Vorleistung erfolgte in dieser Phase die Inbetriebnahme leistungsstärkerer Luttenventilatoren und größerer Lutten für die Bewetterung sowie die Entwicklung von Nass- und Trockenentstaubern für die Staubbekämpfung. Grundlehrgänge zum Streckenvortrieb waren der Schwerpunkt in der beruflichen Fortbildung.

5.2 Phase 2: 1991 bis 2000

Die Technikentwicklung während der Phase 2 zwischen den Jahren 1991 und 2000 fasst das Bild 3 zusammen.

Diese zweite Phase repräsentiert die deutlichsten und schnellsten Entwicklungen. Die Bergwerksförderung reduzierte sich von fast 12.000 t/d auf etwa 8.900 t/d. Das Unternehmensleitbild 1991 veränderte den Managementansatz hin zu einem ganzheitlichen Verständnis von Prozessen. Das Betriebliche Vorschlagswesen (BVW) und die Mitarbeiterbeteiligung wurden weiter intensiviert. Es galt die Gleichrangigkeit von Produktion und Arbeitssicherheit und das prinzipielle Vorgehen entwickelte sich von der Nachsorge zur Vorsorge.

Bis zum Jahr 2000 reduzierten sich die tödlichen Unfälle weiter auf 0,12. Eine starke Reduzierung der UKZ > 3 d auf 33 und der UKZ > 4 Wochen auf 15 wurde erreicht. Die häufigsten Unfallursachen waren „Absturz, Fallen, Ausgleiten, Stolpern“ und „Fallende, abgleitende Gegenstände“. Rd. 50 % der Unfälle ereigneten sich in Abbau, Vorleistung und Materialtransport.

Die Entwicklung im Abbau war geprägt durch die Standardisierung der Abbaubetriebe und eine starke Steigerung der Leistungsparameter. Der Abbau erfolgte vollmechanisiert hauptsächlich in flacher oder mäßig geneigter Lagerung mit idealem

Level	Development stage	Details
Company	Colliery output	From 2000 to 2007 the average colliery output was 10,500 t/d. After 2007 this figure fluctuated between 8,700 and 10,200 t/d.
	Management of technical processes	Introduction and refinement of management systems. Lean processing initially introduced only to operational areas then later extended to include administrative processes above and below ground. Further development and then integration of AGU management systems, independent working as part of a team, centralisation of technical operations and logistics, standardisation of technical operations and processes, centralised management of mine automation and company digitisation.
Colliery	Accident trends	Fatal accidents fell to 0 after 2012, off-work accidents of > 3 d declined to 6.4 by 2015 and those requiring > 4 weeks fell to 4 by 2013. The most frequent causes were "falling, slipping and stumbling" and "impact, trapping and crushing". By 2014 the number of accidents on coal faces and in drivages had fallen to zero. In 2015 about 90% of all accidents occurred in "other areas" with the remaining 10% being associated with materials transport.

Fig. 4. Development of the technique during phase 3: from 2001 on. // Bild 4. Entwicklung der Technik in Phase 3: ab 2001.

automation. Inbye developments called for increasingly powerful air-conditioning systems and these were also developed during this particular phase. The introduction of the Y-layout below ground greatly improved the total return-air flow from the production faces. The most commonly used method of dust control was longwall infusion and those workings that did not practice infusion required programmable control systems that could optimise the performance of on-face spray jets.

R&D efforts in the area of mine safety targeted the development of suitable planning tools and measurement technology aimed at improving the mine ventilation, air conditioning, gas control and dust suppression systems and mitigating the impact of mine dust and high working temperatures. Industrial training focused on shield supports, support control systems and strata consolidation and reinforcement.

In the area of pre-production work the industry recorded the sharpest decline in total drivage figures and the largest drop in stone drifting results. In-seam drivage operations almost ceased entirely. Roadway cross sections became much larger and arch-section roofbolted roadways and rectangular-profile roofbolted roadways were driven in selected cases. Most roadways featured arch supports with full backfilling, while combination support systems were beginning to gain ground. Shotfired drivages were becoming increasingly mechanised. A wide range of different drilling machines and platform systems were also in use. Most loading work was now being done by side-tipping loaders. Mechanised drivages were still highly diversified right up to the beginning of the 1990s and it was during this period that this technology reached its peak in terms of share of total drivage operations. Record performance figures for both mechanised and shotfired drivages were also recorded at the beginning of the 1990s, while the years leading up to the end of this decade witnessed the sharpest decline in mechanised drivage operations. Impact rippers were phased out entirely and full-face roadheading machines were only being deployed in a small number of cases. Bolter miners and the Alternative Cutting and Roofbolting System (AVSA) were still being used in a few projects. R&D efforts at this time focused on roadheading technology, roadway supports, rock mechanics and the automation of mechanised drivages. This included, e.g., the development of the slow-drive system, roofbolting platforms and profile steering for selective roadheading machines, as well as the refine-

Zuschnitt. Die betrieblichen Kennzahlen stiegen in dieser Phase am stärksten an. Die Typenvielfalt der Hobel und Walzenlader reduzierte sich deutlich. Es verblieben die Gleithobelanlage und der Doppelwalzenlader. Der automatische Gewinnungsablauf wurde im Hobelbetrieb realisiert. Forschung und Entwicklung wurde in dieser Phase mit den Schwerpunkten Hobel- und Walzentechnik sowie Prozessleittechnik und Automatisierung betrieben. Die Entwicklung im Abbau erforderte leistungsstärkere Klimatisierungsanlagen, die in dieser Phase entwickelt wurden. Eine deutliche Erhöhung des Gesamtabwetterstroms im Abbau konnte durch den Y-Zuschnitt erreicht werden. Das hauptsächlich angewandte Verfahren zur Staubbekämpfung war das Langfronttränken. Der Tränkverzicht in einzelnen Betrieben erforderte die Optimierung der Bedüsung im Streb durch speicherprogrammierbare Steuerungen.

Die Entwicklung geeigneter Planungssysteme und Messtechnik zur Bewetterung, Klimatisierung, Gasbeherrschung und Staubbekämpfung sowie die Auswirkungen der Staub- und Klimabelastung waren abbaurelevante Schwerpunkte von Forschung und Entwicklung in der Grubensicherheit. In der beruflichen Fortbildung wurde zu Schildausbau, Ausbausteuerung und Gebirgsverfestigung geschult.

Die Vorleistung war geprägt durch den stärksten Rückgang der Gesamtauffahrung und den stärksten Rückgang der Gesteinsstreckenauffahrung. Die abbaubehängige Flözstreckenauffahrung wurde bedeutungslos. Die Streckenquerschnitte stiegen stark an. Punktuell wurden bogenförmige Ankerstrecken und Ankerrechteckstrecken aufgefahren. Die Strecken wurden vorrangig mit Bogenausbau und Vollhinterfüllung aufgefahren. Die Auffahrung mit Kombiausbau gewann zunehmend an Bedeutung. Die Sprengvortriebe wurden zunehmend mechanisiert. Die Typenvielfalt der Bohrgeräte und der Bühnentechnik war weiterhin groß. Bei den Ladegeräten hat sich der Seitenkipplader durchgesetzt. Der Maschinenvortrieb war noch bis Anfang der 1990er Jahre breit gefächert und erreichte zu diesem Zeitpunkt den höchsten Anteil an der Gesamtauffahrung. Anfang der 1990er Jahre wurden ebenfalls Spitzenwerte der Auffahrungsgeschwindigkeiten in den Maschinen- und Sprengvortrieben erreicht. Bis Ende der 1990er Jahre erfolgte der stärkste Rückgang des Maschinenvortriebs. Die Schlagkopfmachines liefen aus und die Vollschnittmaschinen waren noch in wenigen Auffahrungen eingesetzt. Bolter Miner und das Alternative Vertriebssystem Schneiden und Ankern

ment of the AVSA system. The increase in roadway cross section called for higher-performance booster fans, roadway coolers and dust extraction systems, all of which were developed during this particular phase. Industrial training themes at this time included quality control and the use of individual machines in shotfired drivages.

5.3 Phase 3: from 2001 on

The third phase of technique development from 2001 on is summarized in Figure 4.

During the third phase colliery output fluctuated between 8,700 and 10,500 t/d. Management systems were still being introduced and refined. Lean processing was also introduced, initially only in operational areas, though this was subsequently extended to include administrative processes above and below ground. Within the management systems working autonomously as part of a team became standard practice. Other factors of note included the ongoing development and subsequent integration of the AGU management systems, the centralisation of technical operations and logistics, the standardisation of technology and procedures and the centralised management of colliery automation and company digitisation.

After 2012 the number of fatal accidents fell to zero. Lost-work accidents involving > 3 days were reduced to 6.4 by 2015 and those requiring > 4 weeks fell to just 4 by the year 2013. The most common causes of accidents were “falling, slipping and stumbling” and “impact, trapping and crushing”. After 2012 zero accidents were recorded by coal face and roadway drivage workers. About 90% of all accidents occurred in “other areas” with the remaining 10% being the result of materials handling and transport operations.

The coal production sector underwent a further standardisation drive along with a consolidation of performance figures.

(AVSA) wurden in wenigen Projekten eingesetzt. Forschung und Entwicklung wurde in dieser Phase in den Themen Vortriebstechnik, Streckenausbau, Gebirgsmechanik und auch zur Automatisierung im maschinellen Vortrieb betrieben. Die Entwicklung des Langsamantriebs, der Ankerplattform und der Profilsteuerung für die TSM, oder auch die Entwicklung der AVSA gehörten beispielhaft dazu. Die Steigerung der Streckenquerschnitte erforderte leistungsstärkere Luttventilatoren, Streckenkühler und Entstauber, die in dieser Phase entwickelt wurden. Schulungen zur Qualitätssicherung und zu einzelnen Vortriebsgeräten im Sprengvortrieb wurden innerhalb der beruflichen Fortbildung durchgeführt.

5.3 Phase 3: ab 2001

Die dritte Phase ab dem Jahr 2001 fasst Bild 4 zusammen.

In der dritten Phase schwankte die Bergwerksförderung zwischen 8.700 t/d und 10.500 t/d. Die Einführung und Weiterentwicklung von Managementsystemen wurde betrieben. Lean Processing wurde zunächst in den operativen und später auch in den administrativen Prozessen unter und über Tage eingeführt. Das eigenverantwortliche Arbeiten in Teams innerhalb der Managementsysteme wurde Standard. Es erfolgte die Weiterentwicklung und anschließende Integration der AGU-Managementsysteme, die Zentralisierung der Technik- und Logistikbereiche, die Standardisierung von Technik und Verfahren und die zentrale Steuerung der Bergwerksautomatisierung und Unternehmensdigitalisierung

Die tödlichen Unfälle gingen ab dem Jahr 2012 auf null zurück. Die Reduzierung der UKZ > 3 d auf 6,4 erfolgte bis zum Jahr 2015 und die der UKZ > 4 Wochen auf 4 bis zum Jahr 2013. Die häufigsten Unfallursachen waren „Absturz, Fallen, Ausgleiten, Stolpern“ und „Stoßen, Klemmen, Quetschen“. Die Unfälle in Ab-

Company

- Digitisation and Mining 4.0
- Application and refinement of the lean management and AGU management systems
- Technical management system and centralised technical control

Colliery

- Optimisation of colliery capacity
- Optimisation of production-face concentration and the “colliery total system”
- Mine automation makes for transparent and secure operational control and serves as a basis for the management systems

Personnel

- Competent, self-responsible personnel work in a team using the lean management and AGU management systems
- Further development of the know-how and personnel development systems
- Training systems as basis and support for technical development

Technical

- Integrated planning systems based on standards for both planning and planning content
- Standardised procedures and technology introduced
- A single layout to be considered for the working panels, possibly with a multiple-use roadway system; coal winning with first-use gate roads is to be preferred
- Winning with programmed, runtime-optimised machines with in-seam steering and control
- Coal clearance using fully-automatic belt conveyor installations, possibly with bunker systems and a conveyor drift if necessary, sub process-based management and control
- Material transport to be as seamless as possible from the colliery surface or shaft zone to the end user; sub-process mapping to be used to ensure control and transparency from the stock management centre to the customer
- Roadway drivages to be in-seam as much as possible using mechanised equipment with parallel cutting, loading and support cycles
- The mine safety system makes for a safe workplace and allows natural and technology-related hazards to be kept under control
- Ongoing development of lean maintenance management

Fig. 5. Development potential under the conditions of the German coal industry.

Bild 5. Entwicklungspotentiale unter den Bedingungen des deutschen Steinkohlenbergbaus.

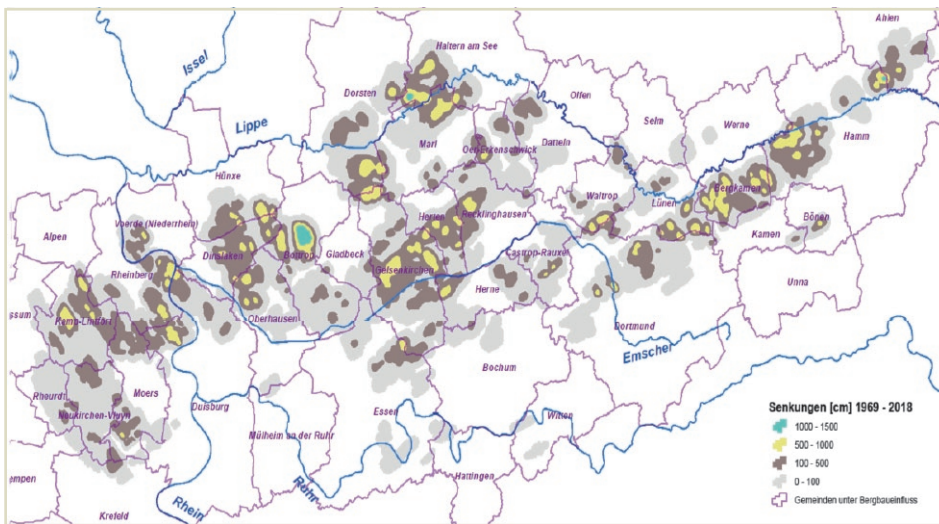


Fig. 6. The Ruhr district and the mining of the RAG produced subsidence.
Bild 6. Das Ruhrrevier und durch den Bergbau der RAG erzeugte Senkungen.

While plough technology had essentially been taken as far as it could in development terms, efforts still continued to improve the performance of cutting winning installations and to introduce a programmed winning cycle and R&D efforts during this period were targeted exclusively in this direction. In the mine safety department some standardisation and detail improvements were additionally applied to technical equipment such as central refrigeration units, face and roadway coolers, water spray systems and gas drilling machines. The planning processes used for mine ventilation, air conditioning, gas control and dust suppression were also standardised.

The aforementioned R&D work in the area of mine safety was continued until 2011 and then terminated.

6 Further development potential under the conditions prevailing in the German coal industry

The starting points for further development potential in the deep-mined coal industry, even under the conditions pertaining in the German mining sector, are derived from the determinants of wider technical development. This potential can only be

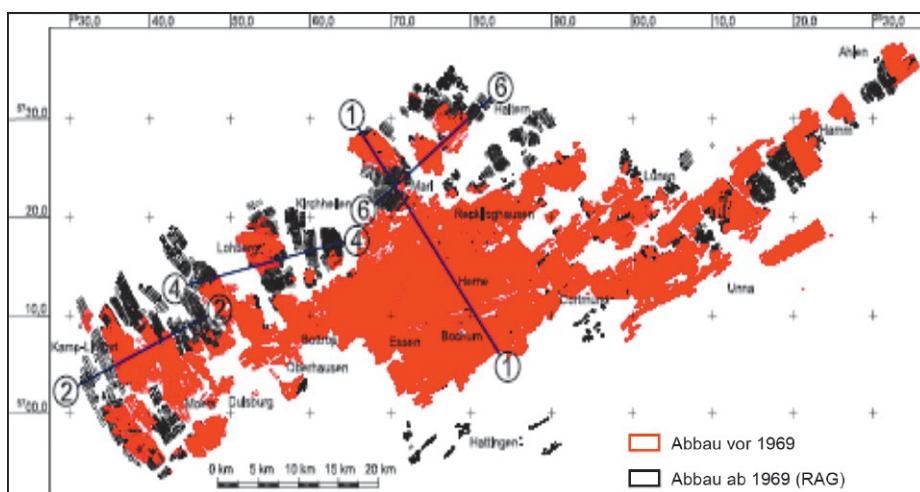


Fig. 7. The Ruhr area with the areas built before and after 1969.
Bild 7. Das Ruhrrevier mit den vor und nach 1969 gebauten Bereichen.

bau und Vorleistung gingen nach dem Jahr 2012 auf null zurück. Rd. 90% der Unfälle ereigneten sich in den „übrigen Bereichen“ und rd. 10% im Materialtransport.

Im Abbau erfolgten die weitere Umsetzung der Standardisierung und die Stabilisierung der betrieblichen Kennzahlen. Während die Entwicklung der Hobeltechnik weitgehend abgeschlossen war, wurden für die schneidende Gewinnung eine weitere Leistungserhöhung und die Einführung der programmierten Gewinnung betrieben, mit der sich die Forschung und Entwicklung in dieser Phase ausschließlich befasste. In der Grubensicherheit erfolgte ebenfalls eine Standardisierung und Detailverbesserung der technischen Einrichtungen,

beispielsweise der zentralen Kälteanlagen, Streb- und Streckenkühler, Bedüsungseinrichtungen und Gasbohranlagen. Ebenso wurden die Planungsprozesse der Bewetterung, Klimatisierung, Gasbeherrschung und Staubbekämpfung standardisiert.

Die genannten Themen von Forschung und Entwicklung in der Grubensicherheit wurden fortgeführt und bis zum Jahr 2011 beendet.

6 Weitere Entwicklungspotentiale unter den Bedingungen des deutschen Steinkohlenbergbaus

Die Ansatzpunkte für weitere Entwicklungspotentiale des Steinkohlentiefbaus, auch unter den Bedingungen des deutschen Steinkohlenbergbaus, leiten sich aus den Einflussfaktoren der Technikentwicklung ab. Diese Potentiale werden hier nur kurz zusammengefasst dargestellt (Bild 5), da die Frage der Übertragbarkeit stets im Einzelfall, insbesondere für die einzelne Techniklösung, zu prüfen ist. Das ist die Erfahrung aus langjähriger internationaler Beratertätigkeit.

7 Lagerstätte

Im Ruhrrevier wurden von etwa 1850 bis 2018 gemäß den hier vorliegenden Zahlen rd. 8,6 Mrd. t Steinkohle gefördert, davon bis zum Jahr 1900 etwa 600 Mio. t, von 1901 bis 1968 ca. 6 Mrd. t und ab dem Jahr 1969 rd. 2 Mrd. t. Bild 6 zeigt die geografische Lage des Ruhrreviers mit den durch die RAG beeinflussten Bereichen unterschiedlicher Senkungen.

Bild 7 zeigt diesen Überblick des Ruhrreviers mit den vor und nach dem Jahr 1969 gebauten Bereichen und mit den eingezeichneten Schnittachsen 1-1, 2-2, 4-4 und 6-6.

Bild 8 zeigt beispielhaft einen Schnitt durch die Emscher-Mulde mit den vor dem Jahr 1969 und danach gebauten Bauhöhen. Die Entwicklung zur Teufe ist gut

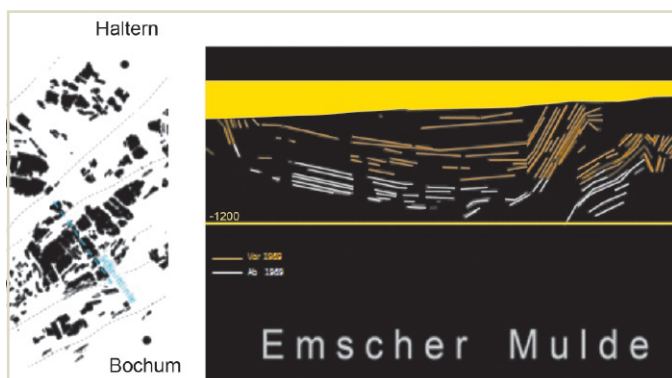


Fig. 8. Cut through the Emscher-Mulde.
Bild 8. Schnitt durch die Emscher-Mulde.

summarised briefly at this juncture (Figure 5) as the question of transferability always has to be examined on a case-by-case basis, especially as far as individual technical solutions are concerned. This is the experience obtained from long years of international consultancy work.

7 Geology

According to the available figures the Ruhr Basin produced some 8.6 bn t of coal from about 1850 to 2018. This comprised around 600 Mt extracted prior to 1900, some 6 bn t produced between 1901 and 1968 and finally about 2 bn t from 1969 to the present day. Figure 6 shows the geography of the Ruhr coalfield along with the various subsidence zones that owe their origins to RAG operations.

Figure 7 shows the same overview of the Ruhr coalfield with the areas in which coal was extracted before and after 1969 and with the section axes 1-1, 2-2, 4-4 and 6-6 drawn in.

Figure 8 shows by way of example a section through the Emscher syncline with the coal panels that were worked prior to and after the year 1969. The transition to ever deeper workings is clearly apparent. More than ten individual seams were worked directly one below the other. The layout of the steep and semi-steep seams is also easily discernible.

The long duration of the coal mining industry and the increasing depth of the Ruhr deposits as the industry moved its operations further north also inevitably led to an increase in the average working depth. In 1970 the average depth of the working faces was about 800 m. Between 1970 and 2000 winning depths rose from some 780 m to around 1,000 m (Figure 9). Then during the period 2001 to 2009 there was a further significant increase to 1,200 m, with a figure of around 1,300 m being recorded in 2015.

The deepest coal faces were located in the Wilhelm seam at Ost colliery (1,560 m below ground), in 78s seam (EB I 1/2) at Ibbenbüren colliery (also 1,560 m) and in the Schwalbach seam at Ensdorf colliery in the Saar coalfield, where the workings reached a depth of around 1,600 m. In terms of zero-level elevation the deepest faces were in the Wilhelm seam at Ost colliery, some 1,500 m below sea level.

An examination of the statistics held by RAG for the Ruhr coalfield (Figure 10) reveals that even in the 1970s and 1980s quite a few coal panels were still being worked at depths of below 1,000 m. After the mid-1990s, however, panels being extracted below 900 m were the exception rather than the rule.

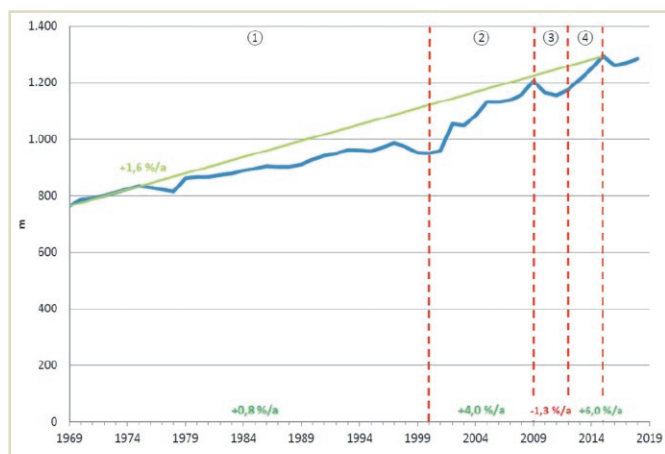


Fig. 9. Development of the extraction level.
Bild 9. Entwicklung der Gewinnungsteufe.

zu erkennen. Bis zu mehr als zehn Flöze wurden untereinander liegend abgebaut. Auch die halbsteile und steile Lagerung ist gut zu erkennen.

Die Dauer des Steinkohlenbergbaus und die steigende Teufe im Ruhrrevier nach Norden führten zu einer Zunahme der mittleren Gewinnungsteufe. Diese lag im Jahr 1970 bei etwa 800 m. Von 1970 bis 2000 stieg sie von 780 m auf etwa 1.000 m an (Bild 9). In den Jahren 2001 bis 2009 stieg sie mit etwa 4 % stark auf 1.200 m an, um dann im Jahr 2015 rd. 1.300 m zu erreichen.

Die tiefsten Streben wurden in einer Teufe von 1.560 m auf dem Bergwerk Ost im Flöz Wilhelm, auf dem Bergwerk Ibbenbüren in einer Teufe von ebenfalls 1.560 m im Flöz 78 (EB I 1/2) sowie an der Saar auf dem Bergwerk Ensdorf im Flöz Schwalbach in einer Teufe von etwa 1.600 m betrieben. In Bezug auf das Normalhöhennull (NHM) befand sich der tiefste Abbau auf dem Bergwerk Ost in Flöz Wilhelm bei -1.500 m.

Betrachtet man die in der Bauhöhenstatistik für das Ruhrrevier bei der RAG hinterlegten Bauhöhen (Bild 10), so zeigt sich, dass auch in den 1970er und 1980er Jahren eine ganz erhebliche Anzahl von Bauhöhen unterhalb 1.000 m gebaut wurde. Ab Mitte der 1990er Jahre waren Bauhöhen oberhalb von 900 m Teufe die Ausnahme.

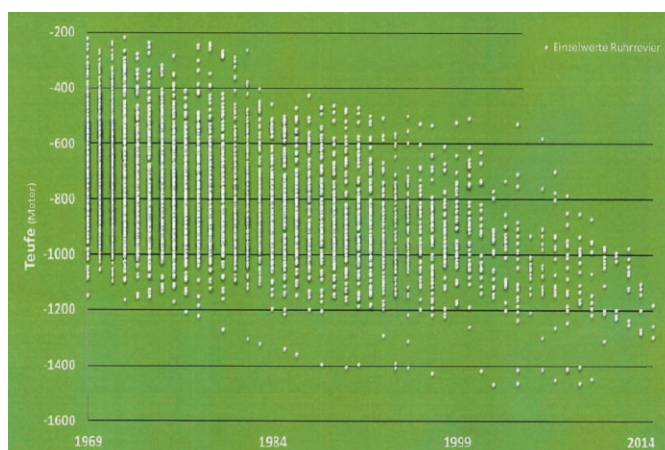


Fig. 10. Development of the depth in relation to built construction heights. // Bild 10. Entwicklung der Teufe bezogen auf gebaute Bauhöhen.

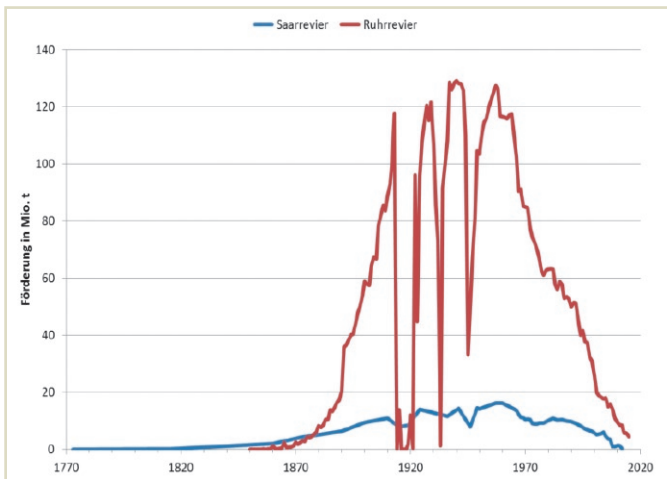


Fig. 11. Funding in the Ruhr and Saar areas.
Bild 11. Förderung im Ruhr- und Saarrevier.

Figure 11 shows how coal production developed in the Ruhr Basin after 1850 and in the Saar coalfield in the years since 1773. In developing the deposits after 1969 the planners focused on maintaining access to as many viably mineable areas as possible. Ongoing advances in mechanisation and mining technology meant that the industry gradually became more selective in terms of mining method and equipment when it came to choosing its target panels.

The Saar coalfield has produced about 1.4 Bn t of coal since 1750. Figure 12 shows the coal panels that were worked by RAG in the Saar area prior to 1969, between 1969 to the end of 1997 and then in the years after 1998. The section axes 1-1 and 2-2 are also drawn in.

8 Pre-production work

Developments in pre-production operations have been summarised into three phases:

- Phase 1: 1969 to 1985
- Phase 2: 1986 to 2000
- Phase 3: from 2001 on

8.1 Phase 1: 1969 to 1985

Figure 13 gives an overview of the major phases of development in pre-production operations between the years 1969 and 1985.

In the field of shotfired drivages mechanised systems were introduced for shothole drilling and loading and for support setting. At this time the industry had access to a wide range of different roadheading machines whose various functions and performance capabilities had been fully developed by the mid-1980s. Mechanised roadheading was now enjoying a rapid period of growth as the preferred roadway development method, with full-face machines, selective-cut roadheading machines, which replaced the continuous miners, impact rippers and shortwall rectangular-profile machines all coming into their own. Another major development step in terms of the functionality and performance capacity of roadheaders was taken

Bild 11 zeigt die Förderung im Ruhrrevier seit dem Jahr 1850 und die Förderung im Saarrevier seit dem Jahr 1773. Bei der Entwicklung in der Lagerstätte nach 1969 stand viele Jahre die Erhaltung des Zugangs zu möglichst vielen und zukunftsfähigen Lagerstättenteilen im Vordergrund. Mit zunehmender Technisierung wurde die Lagerstättenauswahl hinsichtlich Verfahren und eingesetzter Technik selektiver.

Im Saarrevier wurden ab dem Jahr 1750 etwa 1.4 Mrd. t gefördert. Bild 12 zeigt den Abbau im Saarrevier vor dem Jahr 1969, von 1969 bis Ende 1997 und die ab dem Jahr 1998 durch die RAG abgebauten Bauhöhen, sowie die Schnittrspuren 1-1 und 2-2.

8 Vorleistung

Die Entwicklung in der Vorleistung erfolgte zusammengefasst in drei Phasen:

- Phase 1: 1969 bis 1985
- Phase 2: 1986 bis 2000
- Phase 3: ab 2001

8.1 Phase 1: 1969 bis 1985

Bild 13 gibt einen Überblick über die wesentlichen Entwicklungsphasen in der Vorleistung zwischen den Jahren 1969 und 1985.

Im Sprengvortrieb erfolgte die Mechanisierung der Bohr-, Lade- und Ausbauarbeit. Es gab eine große Typenvielfalt der eingesetzten Vortriebsgeräte, deren grundsätzliche Entwicklung hinsichtlich ihrer Funktionsvielfalt und Leistungsfähigkeit Mitte der 1980er Jahre abgeschlossen war. Im maschinellen Vortrieb, dessen Anteil an der Gesamtaufahrung in diesem Zeitraum rasant anstieg, wurden Vollschnittmaschinen, TSM anstelle der Continuous Miner sowie Schlagkopfmachines und Kurzfront-Rechteckmaschinen eingesetzt. Mit der Inbetriebnahme der schweren TSM Anfang der 1980er Jahre und der Mechanisierung der Ausbauarbeit durch integrierte Bühnentechnik und Ankerbohr- und -setzeinrichtungen (ABSE) wurde der wesentliche Ent-

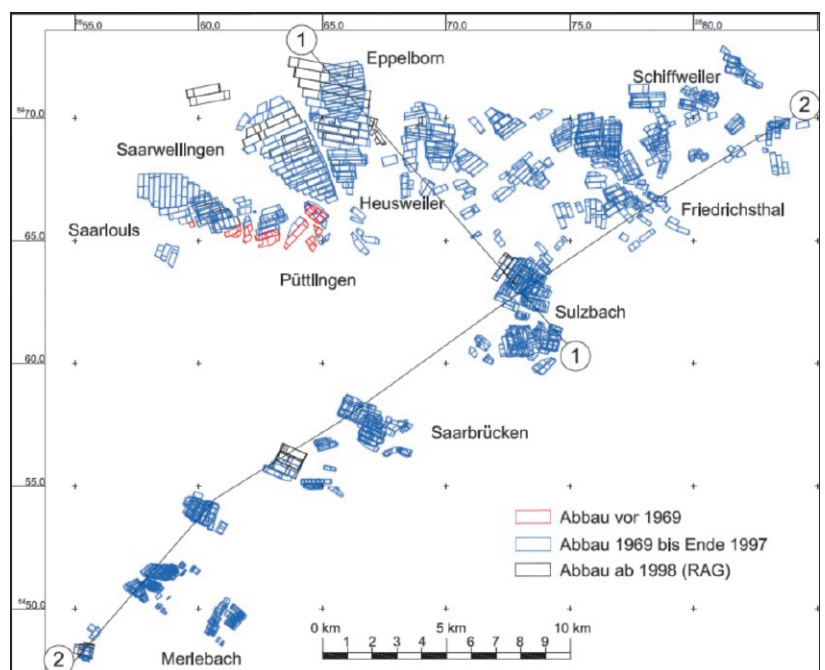


Fig. 12. Degradation in the Saar district before 1969, from 1969 to 1997 and from 1998.
Bild 12. Abbau im Saarrevier vor 1969, von 1969 bis 1997 und ab 1998.

Period	Development phase	Details
1969–1985	Processes	Phasing-out of continuous miners, introduction of full-section and selective-cut machines, mainly arch supports with hand-placed backfill, development of hydromechanical materials processing for arch backfilling.
	Performance	The only increase in total drivages was achieved 1979 to 1982, ongoing increase in heading rates and in the volume of material excavated from gate road drivages and stone drifts.
	Technical, machine type	Mechanisation of shotfired drivages. Wide range of roadheading machines in use. The mid-1980s saw the end of technical developments in shotfired drivages in respect of functionality and performance; full-face machines, selective-cut roadheaders, impact rippers and rectangular-profile shortwall machines all being used in drivage operations.
	Technical developments in mine safety	Commissioning of more powerful booster fans and larger air ducting for mine ventilation, development of wet and dry dedusters for dust suppression.
	Accident trends	Sharp drop in fatal accidents at work. Marked rise in accidents in the > 3 d category, increase in accidents in the > 4 week category. Sharp fall in number of accidents due to “falling coal and rock”, other accident figures showed a worsening trend. Strong rise in accidents due to “falling, slipping, stumbling”.
	R&D	R&D activities aimed at consolidating the technology in place and improving its performance. Projects in rock mechanics and roadway supports. Research into alternative drivage methods.
	Industrial training	Basic courses on roadheading technology.

Fig. 13. Overview of the major stages of development in pre-production operations between the years 1969 and 1985.

Bild 13. Überblick über die wesentlichen Entwicklungsphasen in der Vorleistung zwischen den Jahren 1969 und 1985.

in the period leading to the mid-1980s with the commissioning of heavy-duty selective-cut heading machines in the early years of that decade and the mechanisation of support operations based on the use of integral work platforms and arch bolting and setting equipment (ABSE). This phase witnessed the one and only increase in overall development drivages along with a continuous increase in roadheading rates and in the volume of material excavated from gate-road drivages and stone drifts. These operations generally used arch supports with hand-placed stone backfill. A hydromechanical system for processing building material was then developed for backfilling the roadway supports.

During this period mine safety in pre-production work also saw the introduction of more powerful booster fans and larger-profile air ducting for better ventilation, as well as the development of both wet and dry dedusting systems for dust suppression.

During this phase (1976 to 1990) the number of fatal accidents fell from seven to four, with the overall accident rate dropping from 0.06 to 0. In this period the number of accidents resulting in > 3 days off work increased markedly from 22 to 28 while the figure for accidents requiring > 4 weeks off also rose from 5.6 to 7.5.

While significant improvements were made to remedy the main cause of accidents, namely “falling coal and rock”, this was offset by a large rise in the number of accidents due to “falling, slipping and stumbling” and by an increase in those that were due to “impact, trapping and crushing” and by “falling and sliding objects”. More than 60 % of all accidents occurred in the “mining activities” category. Here damage to the “hand and wrist” constituted the most frequent type of injury and there was a 30 % increase in incidents of this type during this first phase.

Technical measures at this time were centred around two major areas of activity. The first involved various measures adopted in response to the increase in equipment technology, the second comprised the technical actions required to secure the roadhead and side-wall areas during support setting and to prevent accidents as a result of “falling coal and rock”.

wicklungsschritt im Teilschnittmaschinenvortrieb hinsichtlich der Funktionsvielfalt und Leistungsfähigkeit der TSM ebenfalls bis Mitte der 1980er Jahre erreicht. In dieser Phase erfolgte der einzige Anstieg in der Gesamtauffahrung und ein steter Anstieg der Auffahrgeschwindigkeit und des Ausbruchvolumens in der Abbau- und Gesteinsstreckenauffahrung. Der Bogenausausbau mit Handsteinverzug wurde hauptsächlich angewendet. Die hydromechanische Baustoffverarbeitung zum Hinterfüllen des Streckenausbaus wurde entwickelt.

Für die Grubensicherheit in der Vorleistung erfolgte in dieser Phase die Inbetriebnahme leistungsstärkerer Luttenventilatoren und größerer Lutten für die Bewetterung und die Entwicklung von Nass- und Trockenentstaubern für die Staubbekämpfung.

In der ersten Phase der Unfallentwicklung von 1976 bis 1990 verringerte sich die Anzahl der tödlichen Arbeitsunfälle von sieben auf vier, wodurch die UKZ von 0,06 auf null zurückging. Die UKZ > 3 d stieg in diesem Zeitraum in der Vorleistung von 22 auf 28 stark an, ebenso die UKZ > 4 Wochen, die sich von 5,6 auf 7,5 erhöhte.

Entgegen deutlicher Verbesserung bei der Hauptunfallursache „Stein- und Kohlenfall“ wirkten sich ein starker Anstieg der Unfälle durch „Absturz, Fallen, Ausgleiten, Stolpern“ und ein Anstieg der Unfallkennziffer bei „Stoßen, Klemmen, Quetschen“, sowie durch „fallende, abgleitende Gegenstände“ negativ aus. Bei den „Bergmännischen Tätigkeiten“ passierten über 60 % der Arbeitsunfälle und die Verletzungen an „Hand, Handgelenk“ waren nicht nur die häufigste Verletzungsart, sondern die Unfallkennziffer stieg hier in der ersten Phase um 30 %.

Es gab zwei große Schwerpunkte bei den technischen Maßnahmen. Zum einen waren es technische Maßnahmen im Umgang mit der zunehmend eingeführten Technik, zum anderen technische Maßnahmen zur sicheren Bearbeitung der Ortsbrust und der Streckenstöße beim Ausbauen und zur Vermeidung von Arbeitsunfällen durch „Stein- und Kohlenfall“.

Die Forschung,- und Entwicklungsvorhaben in der Vorleistung hatten die Zielrichtung, die eingesetzte Technik zu stabilisieren und

Period	Development phase	Details
1986–2000	Processes	Phasing-out of in-seam drivages in line with the face, mainly arch supports with full backfill, increased use of combination supports, arch-section roofbolted roadways and rectangular bolted roadways in selected cases. Impact rippers and full-section roadheaders are phased out, bolter miners and AVSA used in just a few projects. The late 1990s saw a sharp decline in mechanised drirage operations.
	Performance	Sharp rise in roadway cross sections while total drivages and stone drifting results declined faster than ever. Record rates of advance recorded for mechanised and shotfired drivages.
	Technical, machine type	Increasing mechanisation of shotfired drivages, wide range of drilling machines and service platforms in use. Side-tipping loaders dominate. Mechanised drivages highly diversified until the beginning of the 1990s.
	Technical developments in mine safety	More powerful booster fans, roadway coolers and dust extractors.
	Accident trends	One single fatality in 2000. Sharp decline in accidents in the > 3 d category. Very strong drop in accidents in the > 4 week category. Sharp decline in off-work accidents of > 3 d in all cause categories.
	R&D	Research and development focused on roadheading technology, roadway supports, rock mechanics and automation in mechanised drivages.
	Industrial training	Training focused on quality control and the use of individual roadheading machines.

Fig. 14. Overview of the major stages of development in pre-production operations between the years 1986 and 2000.
Bild 14. Überblick über die wesentlichen Entwicklungsphasen in der Vorleistung zwischen den Jahren 1986 und 2000.

Research and development projects in the pre-production area were aimed at consolidating the technology in place and improving its operational performance. Projects were also undertaken in the field of rock mechanics and roadway supports.

Industrial training at this time focused on providing basic courses on roadheading technology.

8.2 Phase 2: 1986 to 2000

The second phase (Figure 14) was marked by the sharpest decline in total drirage figures and the largest drop in stone drifting results. In-line in-seam drirage operations almost ceased entirely. Roadway cross sections became much larger and arch-section roofbolted roadways and rectangular-profile roofbolted roadways were driven in selected cases. Most roadways featured arch supports with full backfilling, while combination support systems were beginning to gain ground. Shotfired drivages were becoming increasingly mechanised. A wide range of different drilling machines and platform systems were also in use. Most loading work was now being done by side-tipping loaders. Mechanised drivages were still highly diversified right up to the beginning of the 1990s and it was during this period that this technology reached its peak in terms of share of total drirage operations. Record performance figures for both mechanised and shotfired drivages were also recorded at the beginning of the 1990s, while the years leading up to the end of this decade witnessed the sharpest decline in mechanised drirage operations. Impact rippers were phased out entirely and full-face roadheading machines were only being deployed in a small number of cases. Bolter miners and AVSA were still being used in a few projects.

The increase in roadway cross section called for higher-performance booster fans, roadway coolers and dust extraction systems, all of which were developed during this particular phase.

The period from 1991 to 2000 witnessed a marked improvement in accident performance in the pre-production sector. There was one fatality in the year 2000, which represented an accident rate of 0.02. There was a massive decline in off-work accidents in the > 3 d category down to 5.4, and serious accidents also showed

deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Des Weiteren wurden Vorhaben zur Gebirgsmechanik und zum Streckenausbau durchgeführt.

Grundlehrgänge zum Streckenvortrieb waren der Schwerpunkt in der beruflichen Fortbildung.

8.2 Phase 2: 1986 bis 2000

Die zweite Phase (Bild 14) war geprägt durch den stärksten Rückgang der Gesamtauffahrung und den stärksten Rückgang der Gesteinsstreckenauffahrung. Die abbaubehängige Flözstreckenauffahrung wurde bedeutungslos. Die Streckenquerschnitte stiegen stark an. Punktuell wurden bogenförmige Anker- und Ankerrechteckstrecken aufgeföhren. Die Strecken wurden vorrangig mit Bogenausbau und Völlhinterfüllung aufgeföhren. Die Auffahrung mit Kombiausbau gewann zunehmend an Bedeutung. Die Sprengvortriebe wurden zunehmend mechanisiert. Die Typenvielfalt der Bohrgeräte und der Bühnentechnik war weiterhin groß. Bei den Ladegeräten hat sich der Seitenkipplader durchgesetzt. Der Maschinenvortrieb war noch bis Anfang der 1990er Jahre breit gefächert und erreichte zu diesem Zeitpunkt den höchsten Anteil an der Gesamtauffahrung. Anfang der 1990er Jahre wurden ebenfalls Spitzenwerte der Auffahrungsgeschwindigkeiten in den Maschinen- und Sprengvortrieben erreicht. Bis Ende der 1990er Jahre erfolgte der stärkste Rückgang des Maschinenvortriebs. Die Schlagkopfmachines liefen aus und die Völlschnittmachines waren noch in wenigen Auffahrungen eingesetzt. Bolter Miner und die AVSA wurden in wenigen Projekten eingesetzt.

Die Vergrößerung der Streckenquerschnitte erforderte leistungsstärkere Luttenventilatoren, Streckenköhler und Entstauber, die in dieser Phase entwickelt wurden.

In der Phase von 1991 bis 2000 verbesserte sich das Unfallgeschehen in der Vorleistung sehr stark. Im Jahr 2000 kam es zu einem tödlichen Arbeitsunfall und damit zu einer UKZ von 0,02. Die UKZ > 3 d verringerte sich sehr stark auf 5,4. Auch bei den schweren Arbeitsunfällen kam es zu einer starken Verbesserung, die UKZ > 4 Wochen verringerte sich auf einen Wert von 2,9.

Im Zeitraum 1989 bis 1998 zeigte sich bei Stein- und Kohlenfall die stärkste Reduzierung um 84%. Insbesondere bei den

Period	Development phase	Details
from 2001	Processes	Combination supports predominate in gate roads, phasing-out of full-section roadheaders, bolter miners and medium-duty selective-cut roadheading machines, standardised roadheading methods.
	Performance	Further decline in total drivage results and total outlay in this sector, 90% of roadways driven in seam. Further increase in roadway cross section and in the volume of excavated material. Standardisation of shotfired and mechanised drivages. Reduction in type diversity in mechanised drivages.
	Technical, machine type	Heavy-duty selective-cut roadheaders with part-automated cutting.
	Technical developments in mine safety	Standardisation and detail improvement of roadway coolers, water spray equipment and dust extractors.
	Accident trends	Accident figures slowly fell and then stabilised at a low level. In 2015 all accident figures reached the zero mark. All the key indicators were reduced and stabilised at a very low level.
	R&D	Research and development focused on the part-automation of selective-cut roadheaders, support systems, roadway supports and rock mechanics.
	Industrial training	Training focused on roadway quality, rockbolting and building materials as well as on selective-cut machines and shotfired drivages.

Fig. 15. Overview of the major stages of development in pre-production operations from 2001.

Bild 15. Überblick über die wesentlichen Entwicklungsphasen in der Vorleistung ab dem Jahr 2001.

a marked improvement with those in the > 4 week category falling to a figure of 2.9.

During the period 1989 to 1998 the greatest improvement was recorded in the “falling coal and rock” category, with accidents here down 84%. This very positive trend was mostly focused on the “mining activities” sector of operations.

Roadway cross sections had by this time become sufficiently large to accommodate working platforms. The latter were capable of deploying mobile roadhead support systems. They were also fitted with fall arrester equipment and so provided a safe and secure working area. The machines used for shotfired and mechanised drivage work were provided with standing surfaces and were designed with optimum safety in mind. This resulted in significant improvements in the handling and operation of roadheading machines, which were now well established in the industry. The development of technical measures for pre-production work reached its peak at the beginning of this phase, this helping to support the positive trend in the accident figures.

R&D efforts at this time focused on roadheading technology, roadway supports, rock mechanics and the automation of mechanised drivages. This included, e.g., the development of the slow-drive system, roofbolting platforms and profile steering for selective roadheading machines, as well as the refinement of the AVSA system.

Industrial training themes at this time included quality control and the use of individual machines in shotfired drivages.

8.3 Phase 3: from 2001 on

The third phase (Figure 15) witnessed a further decline in total drivage results and total outlay in this sector fell to its lowest ever level. After 2005 some 90% of all development roads were being driven in-seam. Roadway cross sections continued to increase and by 2010 figures for the volume of excavated material had seen the sharpest ever increase in the gate road sector, where roadways were now primarily being driven with combination-type supports. Roadheading techniques for shotfired and mechanised drivages were standardised, this including adapta-

„Bergmännischen Tätigkeiten“ zeigte sich die sehr positive Entwicklung.

Die Streckenquerschnitte waren mittlerweile ausreichend groß, um Arbeitsbühnen einzusetzen. Diese konnten Ortsbrustsicherungen aufnehmen. Weiterhin wurden sie mit Absturzsicherungen ausgestattet und boten so eine sichere Arbeitsfläche. Die eingesetzten Maschinen im Spreng- und Maschinenvortrieb wurden mit Standflächen ausgestattet und sicherheitlich optimiert. Der Umgang mit den mittlerweile etablierten Vortriebsmaschinen konnte so entscheidend verbessert werden. Die Entwicklung der technischen Maßnahmen in der Vorleistung hatte zu Beginn dieser Phase einen Hochpunkt, wodurch die positive Unfallentwicklung unterstützt wurde.

Forschung und Entwicklung wurde in dieser Phase in den Themen Vortriebstechnik, Streckenausbau, Gebirgsmechanik und auch zur Automatisierung im maschinellen Vortrieb betrieben. Die Entwicklung des Langsamtriebs, der Ankerplattform und der Profilsteuerung für die TSM, oder auch die Entwicklung der AVSA gehörten beispielhaft dazu.

Schulungen zur Qualitätssicherung und zu einzelnen Vortriebsgeräten im Sprengvortrieb wurden innerhalb der beruflichen Fortbildung durchgeführt.

8.3 Phase 3: ab 2001

In der dritten Phase (Bild 15) fiel die Gesamtaufahrung weiter und der Gesamtaufwand erreichte den niedrigsten Wert. Nach dem Jahr 2005 wurden 90% der Strecken im Flöz aufgefahren. Die Streckenquerschnitte stiegen weiter und das Ausbruchvolumen erreichte bis zum Jahr 2010 den stärksten Anstieg in den Abbaustrecken, die nun vorrangig mit Kombiausbau aufgefahren wurden. Die Vortriebsverfahren im Spreng- und Maschinenvortrieb wurden einschließlich der Anpassung an die Ankertechnik standardisiert. Die Typenvielfalt im Maschinenvortrieb sank rapide. Nach Auslauf der Vollschnittmaschinen, Bolter Miner und mittelschweren TSM wurden nur noch schwere TSM eingesetzt, für deren Schneidvorgang ein teilautomatisierter Ablauf realisiert wurde.

tion to roofbolting technology. Type diversity in the mechanised drivage sector rapidly declined. The disappearance of the full-face machines, bolter miners and medium-duty selective-cut roadheaders just left the heavy-duty roadheading machines in service and a part-automated cycle was developed for their cutting operations.

In the mine safety department some standardisation and detail improvements were additionally applied to technical equipment such as roadway coolers, water spray systems and dust extraction units.

The third phase from 2000 to 2015 saw a somewhat slower improvement in the accident rates and figures then stabilised at a very low level. In 2015 accident figures for this category reached the zero mark with very few pre-production operations of this kind being carried out.

Technical activities focused on the use of remote control systems for the machines, which would allow personnel to stay even further from the danger zone. An important milestone was the development of technical measures to provide active roadhead support by means of rockbolting. The hazards presented by “falling coal and rock” were therefore further reduced and subsequently eliminated entirely.

The introduction of the part-automated cutting cycle on selective-cut roadheaders marked the end of research in the field of mechanised roadway drivages. Research into support technology, roadway supports and rock mechanics continued until 2011.

Industrial training in this sector of operations was focused primarily on roadway quality, rockbolt support systems and the processing of building materials, as well as on roadheading machines and shotfired drivage technology.

9 Closing remarks

Confucius once said that there are three pathways to acquire wisdom: first by reflection, which is the noblest; second by imitation, which is the easiest; and third by experience, which is the bitterest.

The series of books under the title “Documentation of technical developments at RAG” set out to preserve the expertise built up by RAG in several different volumes. This know-how also includes a significant body of empirical knowledge: knowledge that from the viewpoint of the authors has been worked out, acquired, endured, conceived, experienced and successfully advanced step by step by generations of mineworkers. For this reason the writers thought that as coal production comes to an end it would be appropriate that such a compendium of knowledge should be put into print in tribute to those who achieved all this. Perhaps by this means mineworkers will in future years be able to take the second of the Confucius pathways to acquiring wisdom rather than having to opt for the third as they tackle one project or another.

It is only reasonable to conclude that this series of books could only have been produced as part of a cooperative effort by many authors and experts and their support staff. At this point everyone should be thanked one and all for their labours. A special thanks go to the core team, namely Karsten Gutberlet, Detlef Imgenberg, Michael Lemke and Michael Schmidt.

In der Grubensicherheit erfolgte ebenfalls eine Standardisierung und Detailverbesserung der technischen Einrichtungen, beispielsweise der Streckenkühler, Bedüsungseinrichtungen und Entstauber.

In der dritten Phase von 2000 bis 2015 verbesserte sich das Unfallgeschehen etwas langsamer und stabilisierte sich auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Jahr 2015 erreichten alle Unfallkennziffern bei geringem Vorleistungsvolumen den Wert null.

Die technischen Maßnahmen hatten den Schwerpunkt „Fernbedienbarkeit“ von Maschinen, damit die Mitarbeiter sich weiter aus dem Gefahrenbereich entfernen konnten. Ein wichtiger Meilenstein war darüber hinaus die Entwicklung der technischen Maßnahmen zur aktiven Ortsbrustsicherung durch Ankertechnik. Die Gefährdung durch „Stein- und Kohlenfall“ konnte hierdurch weiter verringert und letztendlich eliminiert werden.

Die Einführung des teilautomatisierten Schneidablaufs an TSM war der Abschluss der Forschung zum maschinellen Vortrieb. Forschung zur Ausbautechnik, Streckenausbau und Gebirgsmechanik wurde bis zum Jahr 2011 durchgeführt.

Innerhalb der beruflichen Fortbildung wurden vorrangig Schulungen zur Streckenqualität, Anker Ausbau, Baustoffverarbeitung, zu TSM und zum Sprengvortrieb durchgeführt.

9 Schlussbemerkung

Nach Konfuzius gibt es bekanntlich drei Wege des klugen Handelns: Erstens durch Nachdenken – das ist der Edelste; zweitens durch Nachahmen – das ist der Leichteste; und drittens durch Erfahrung – das ist der Bitterste.

Es ist das Ziel der Buchreihe „Dokumentation der technischen Entwicklung bei der RAG“, das Know-how der RAG in einigen Teilen zu sichern. Know-how meint dabei eben auch einen erheblichen Anteil an Erfahrungswissen. Erfahrungswissen, das aus Sicht der Autoren, von Generationen von Bergleuten erarbeitet, erkämpft, erduldet, erdacht, erfahren und erfolgreich Schritt für Schritt vorangetrieben wurde. Daher glaubten die Autoren, es sei den Leistungen derjenigen, die dies taten, am Ende der Produktion angemessen, ein solches Compendium zu erstellen. Vielleicht können dadurch aber auch einige Bergleute zukünftig den zweiten Weg des konfuzianisch klugen Handelns beschreiten und müssen für das eine oder andere Vorhaben nicht den dritten wählen.

Es ist natürlich und folgerichtig, dass diese Buchreihe nur im Zusammenwirken vieler Autoren, Experten und Unterstützer erstellt werden konnte. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ein besonderer Dank gilt dem „Kernteam“ der Buchreihe, namentlich Karsten Gutberlet, Detlef Imgenberg, Michael Lemke und Michael Schmidt.

Author / Autor

Prof. Dr.-Ing. Martin Junker, RAG Aktiengesellschaft, Essen, et al.