

GTP-M – Die Maschinentechnische Planung als Teil der Bauhöhenplanung der DSK

Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Leiter der Fachabteilung Betriebsorganisation/Betriebsanalyse/Technische Systeme bei der DSK, Herne, Dipl.-Ing. Rainer Guder, Leiter der Gruppe IV-Systeme/Betriebsorganisation bei der DSK, Herne, und Dipl.-Ing. Gunter Heim, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen

Die technische Planung von Bauhöhen wird insbesondere durch die Vorgaben der bergmännischen Planung hinsichtlich Fördermengen, Termine und Abbauführungsarten bestimmt. Technisch zulässige Varianten einer Umsetzung hingegen werden maßgeblich durch die maschinentechnische Planung generiert.

Zur Umsetzung dieser Vorgaben spielen jedoch nicht nur berechnungstechnische Aspekte wie beispielsweise Maschinenleistungen, Sicherheiten und hydraulische Drücke eine Rolle, sondern auch nicht-berechenbare Randbedingungen wie etwa die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln, unternehmensweite Standardisierungsvorgaben, Ergonomie und Vorgaben aus dem Betriebsplanverfahren.

Die maschinentechnische Planung der Deutschen Steinkohle AG (DSK) und ihre Abbildung im GTP-System (Geometrisch Technische Planung) mit den Teilmodulen:

- ⇨ Gurtfördererberechnung,
- ⇨ Gewinnungsberechnung,
- ⇨ Förderstromanalyse und
- ⇨ Rohrleitungsberechnung

Die Maschinentechnische Planung ist der erste Teil, der in dieser Veröffentlichungsreihe vorgestellten Bauhöhenplanung. Die maschinentechnische Abbildung im GTP-System erfolgt über die Module Gurtfördererberechnung, Gewinnungsrechnung, Förderstromanalyse und Rohrleitungsberechnung. Beschrieben werden die neuesten Entwicklungen sowie der Stand der Anwendungstechnik. Darüber hinaus werden in diesem Zusammenhang kommunikative Funktionalitäten angesprochen.

erhebt nicht nur den Anspruch, berechnungstechnische Aspekte zu unterstützen, sondern berücksichtigt auch kommunikative Gesichtspunkte. Die Eingliederung des maschinentechnischen Moduls in das GTP-Gesamtkonzept zeigt Bild 1.

Gurtfördererberechnung

Die Berechnung von Gurtförderanlagen wurde bereits Mitte der 90er Jahre auf den Schachtanla-

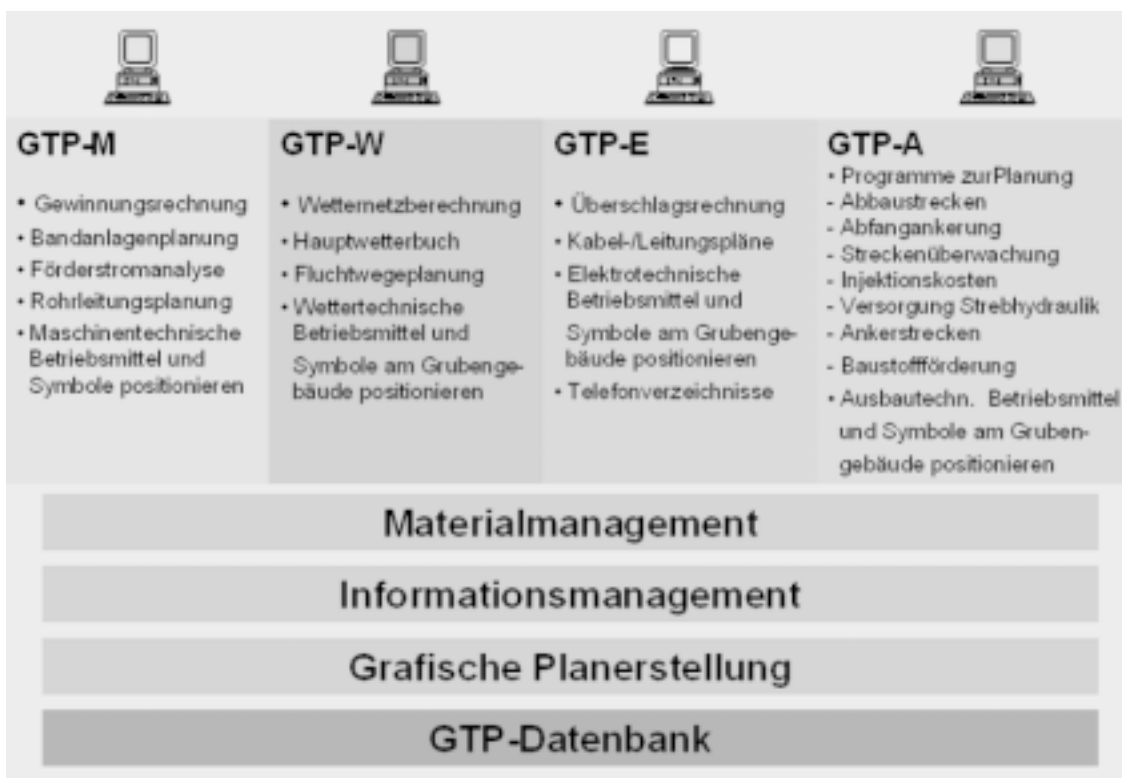


Bild 1. GTP-M im Rahmen des Gesamtkonzepts.



Bild 2. Gurtfördererberechnung, Definition der Förderergeometrie.

gen der DSK eingeführt (1, 2, 3). Grundlage ist die DIN 22 101. Ein Gurtförderer wird als Folge von maximal zwanzig Teilabschnitten modelliert. Horizontale Abwinkelungen werden nicht berücksichtigt. Die Teilabschnitte unterscheiden sich im wesentlichen nach Gefälle, Beladungsmenge, Aufgaben und TT-Antrieben (Bild 2). Es können insgesamt elf standardisierte Antriebskonfigurationen wie etwa „Viertrommel Kopfantrieb“ oder „Doppeltrommelantrieb versetzt“ ausgewählt werden. Des weiteren werden vom Algorithmus verschiedene Abspannungsarten berücksichtigt. Die Berechnung wird für die Betriebszustände Anfahren, Betrieb und Bremsen durchgeführt. Wesentliche Berechnungsergebnisse sind Gurtzugkräfte, Sicherheiten sowie Anfahr- und Bremszeiten. Ist eine Gurtförderanlage algorithmisch berechenbar, aber technisch nicht sinnvoll realisierbar, erhält der Anwender hierüber spezifische Warnmeldungen.

Gewinnungsrechnung

Die hier vorgestellte Berechnung von Strebbetrieben zeichnet sich durch die integrierte Betrachtung der Gewinnungsmaschine mit dem Strebförderer aus. Ausschlaggebend für eine Abschätzung der Aussagekraft des Berechnungsprogramms ist das zugrundeliegende Modell des Gewinnungssystems, welches nachfolgend in seinen wesentlichen Aspekten beschrieben wird (3).

Geometrie und Geologie des Strebs werden in 1 bis maximal 100 unterschiedlichen Teilabschnitten abgebildet. Jedem Teilabschnitt können unterschiedliche Strebmächtigkeiten und Bergan-

teile zugeordnet werden. Die Dichte von Kohle und Bergen sowie die Schüttungszahl werden für die gesamte Bauhöhe als konstant angenommen. Die Teilabschnitte können sowohl horizontal als auch vertikal voneinander abweichen. Hierdurch lassen sich Sättel, Mulden aber auch anwenderdefinierte Strebvorlagen abbilden. Dieser Aspekt ist insbesondere für die Berechnung von Kettenzugkräften von großer Bedeutung. Die übertragbaren Kettenzugkräfte und der verfügbare Füllquerschnitt begrenzen die Kapazität des Strebförderers (Bild 3).

Für die Kapazitätsberechnung von Walzen- und Hobelstreben ermittelt der Algorithmus zunächst eigenständig den ungünstigsten Beladungszustand des Förderers. Dazu berücksichtigt das Modell die folgenden Gewinnungsverfahren: konventionelles Hobeln, Hobeln im Überholverfahren, Hobeln im Kombinationsverfahren sowie für Walzenlader das Teilschritt- und das Vollschriftverfahren. In Abhängigkeit der gewählten Geschwindigkeiten von Förderer und Gewinnungsgerät ergeben sich verschiedene Beladungszustände über einen gesamten Gewinnungszyklus.

Die Berechnung der Kettenzugkräfte, sowohl des Förderers als auch des Hobels, stellt den algorithmisch aufwendigsten Teil der Gewinnungsrechnung dar. Grund hierfür ist die Berücksichtigung verschiedener Teilabschnitte und die Möglichkeit von Kraftsprüngen in der Kette an abgewinkelten Übergängen. Eine geschlossene Formellösung kann hierfür nicht angegeben werden, der Algorithmus arbeitet iterativ. Die wichtigsten Einflußparameter sollen knapp erläutert werden.

Für das Ober- und Untertrum werden unterschiedliche Widerstandsbeiwerte zur Abschätzung der Reibungsverluste zwischen der Kette und der Führung vom Anwender definiert. Auf eine Differenzierung von Reibbeiwerten für die Bewegung eines beladenen und eines unbeladenen Förderers wurde bewußt verzichtet. In Praxistests wurde festgestellt, daß sich erst nach mehreren Gesamtrundläufen der Kette nach Beendigung der Beladung durch das Gewinnungsgerät nennenswerte Veränderungen des Widerstandsbeiwerts ergeben (4).

Der Reibungswert bei Abwinkelung ist ein Maß für den Kraftsprung, welcher bei einem abgewinkelten Kettenverlauf auftritt. Dieser Wert wird durch den Anwender vorgegeben und kann nur in Versuchen ermittelt werden (5). Vielfach wird in der technischen Planung der Streb als eine durchgehende Gerade modelliert. Jedoch zeigt die betriebliche Praxis, daß Abwinkelungen im Strebverlauf einen erheblichen Einfluß auf die Kettenzugkräfte ausüben. Die Gewinnungsrechnung in ihrer jetzigen Form soll unter anderem ein Anreiz zur Beschäftigung mit dieser Thematik sein.

Die Längung des Kettenbands aufgrund der Elastizität des Stahls bedingt eine Vorspannung des Bands zur Vermeidung sogenannter „Hängeketten“. Das Maß der Kettenlängung hängt sowohl von den Materialeigenschaften des verwendeten Kettenstahls als auch von der Form der Kettenglieder selbst ab. Aus diesem Grund ist die bloße Verwendung des Elastizitätsmoduls als reine

Materialkenngröße nicht ausreichend. Vielmehr muß für jede Kette ein Längungsfaktor, der sogenannte $E_k A_k$ -Wert, als kettenspezifische Größe vom Anwender definiert beziehungsweise als hinterlegte Materialeigenschaft aus der Betriebsmitteldatenbank übernommen werden.

Auf Grundlage der hier beschriebenen Parameter kann das Berechnungsprogramm sowohl die Kräfteverhältnisse in der Hobel- sowie der Förderkette für den ungünstigsten Fall ermitteln. Hierauf aufbauend kann der Anwender die Antriebsleistungen nach Leistungen, Drehzahl und Übersetzungsverhältnissen von Getrieben dimensionieren.

Die benötigte Löseleistung des Gewinnungsgeräts wird in der gegenwärtigen Version lediglich für Hobelbetriebe durchgeführt. Das Berechnungsprogramm greift aufgrund der am Hobel zur Verfügung stehenden Kräfte und der definierten Flözeigenschaften auf hinterlegte Versuchsergebnisse der Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT) zu (6). Dabei ist zu beachten, daß sich diese Erfahrungswerte ausschließlich auf Kohle ohne Bergemittel beziehen. Der Anwender kann diese Empfehlungswerte manuell abändern. Eine analoge Hinterlegung der benötigten Löseleistungen soll zukünftig auch für Walzenlader angeboten werden, jedoch müssen hierzu erst ausreichend gesicherte empirische Daten vorliegen (7).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß der besondere Anspruch der hier vorgestellten Gewinnungsrechnung in der Modellierung nicht-gerader Streben liegt.

Grundlagen der Förderstromanalyse

In der Förderstromanalyse werden anlagenübergreifende Plausibilitäten bezüglich der Bewältigung der Massenströme überprüft. Anhand einer dreidimensionalen Darstellung der Bauhöhe müssen zuvor geplante Anlagen zu einem Netz verschaltet werden. Die einzelnen Komponenten sind: Bandanlagen, Streckenförderer, Strebförderer, Brecher und Bunker (3).

Bandanlagen, Streckenförderer und die Gewinnungseinrichtung von Streben sind logisch mit zuvor durchgeführten Gurtförderer- und Gewinnungsrechnungen verknüpft. Brecher werden über die erlaubte Korngröße sowie ihre Leistung modelliert. Bunker sind über Kapazität, Abzug und einen Mindest- oder Höchstfüllstand beschrieben.

Nach der Definition der Komponenten überprüft der Algorithmus dann die prozentuale Auslastung der einzelnen Anlagen und stellt diese graphisch anhand des dreidimensionalen Anlagenplans dar. Für Bunker wird zusätzlich die Zeit bis zum Erreichen der Höchst- oder Mindestfüllmenge errechnet und angezeigt.

Rohrleitungsberechnung

Das maschinentechnische Teilmodul „Rohrleitungsplanung“ dient der Berechnung von Rohrleitungsnetzen für gasförmige und flüssige Me-

dien. Der Anwender kann zwischen einer Bearbeitung des Netzes über tabellarisch strukturierte Eingabemasken oder einer Bearbeitung am 3-D-Grubengebäudemodell wählen.

Über eine auf AutoCAD basierende Bedienoberfläche kann das Rohrleitungsnetz unmittelbar auf dem Grubengebäude definiert werden. Hierzu stehen dem Anwender zahlreiche Funktionalitäten zur Verfügung wie zum Beispiel die automatische Definition von Zweigen, welche die Geometrie des Grubengebäudes verfolgen, Erzeugung von Rückläufen, Auftrennen, Verbinden oder Kopieren von Zweigen.

Kern der Berechnung ist das iterative Verfahren zur Berechnung von Strömungsnetzen von Hardy-Cross (8). Diese Methode basiert auf der Erfüllung zweier Bedingungen: Die Summe der Druckverluste in jeder Masche des Netzwerks muß Null sein (Maschenbedingung), und die Summe der an einem Netzknoten ankommenden Volumenströme ist gleich der Summe der abfließenden Volumenströme (Knotenbedingung). Im ersten Schritt der Berechnung wird nach einer ersten Schätzung der Volumenströme und unter Berücksichtigung der Widerstände der einzelnen Zweige die Iteration durchgeführt, bis das Netz beide Bedingungen erfüllt. Die Genauigkeit dieses Approximationsverfahrens hängt lediglich von der Anzahl der Iterationsschritte ab. In einem zweiten Schritt werden dann weitere Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Reynoldszahl und lokale Drücke bestimmt.

Das Berechnungsprogramm ist ein eigenständiges Modul im Bereich der GTP-M. Die graphisch definierten Netzdaten werden vom Programm eingelesen und nach Durchführung der Berechnung die Ergebnisse an die graphische Applikation zurückgegeben. In dieser können die Berechnungsergebnisse direkt am Grubengebäude dargestellt werden. Daraus lassen sich Pläne zu unterschiedlichen Zwecken ableiten, wozu die vollen AutoCAD-Funktionalitäten zur Verfügung stehen.

Kommunikative Funktionalitäten – Einheitliche Datengrundlagen

Als Kommunikation sei hier jeglicher Informations- oder Datenaustausch zwischen Personen oder verschiedenen Anwendungen verstanden.

Eine wesentliche Zielsetzung von GTP ist die Nutzung eines einheitlichen, verbindlichen Datenbestands über Fachgrenzen hinweg. Die maschinentechnischen Anwendungen tragen diesem Anspruch in folgender Weise Rechnung:

⇒ Sämtliche Betriebsmittelinformationen sind konform mit dem jeweils aktuellen SAP-Betriebsmittelbestand. Insbesondere wird die siebenstellige SAP-Materialnummer als datenbanktechnischer Schlüssel verwendet. Dies garantiert eine eindeutige Übertragbarkeit von technisch geplanten Betriebsmitteln in das betriebswirtschaftlich orientierte SAP-System. Wesentlich ist hierbei eine „redaktionelle Überarbeitung“ von Betriebsmitteldaten durch die entsprechende Fachabteilung der DSK in Herne, damit der technischen Planung ausschließlich Betriebsmittel angeboten werden,

Bild 3. Gewinnungsrechnung, Visualisierung verschiedener Belastungszustände in einem Hobelstreb.



die den Kriterien der standardisierten Betriebsmittelplanung genügen.

⇒ Grubengebäude- und Lagerstättendaten werden zukünftig unmittelbar aus dem Markscheiderrischen Informationssystem (DUDE) übernommen. Die Planung von Gurtförderanlagen, Rohrleitungsnetzen sowie der Gewinnungsmaschine und dem Kettenkratzerförderer, aber auch von wettertechnischen Berechnungen sowie die Durchführung von Förderstromanalysen, setzt unmittelbar auf automatisiert importierte, gemeinsame Daten auf. Dies erlaubt es vor allem, Grubengebäudeelemente als Grundlage einer Navigation über einen fachübergreifenden Datenbestand zu nutzen.

⇒ In den umfangreichen Online-Hilfen zu den Berechnungsprogrammen der GTP-Module wird fachspezifisches Wissen in strukturierter Form konserviert und angeboten. Empfehlungen zur richtigen Wahl von Reibungsbeiwerten oder zum Beispiel erreichbaren Schnittiefen von Hobeln finden sich dort ebenso wie die formelmäßige Beschreibung algorithmischer Grundlagen beziehungsweise „anklickbarer“ DSK-Normen.

⇒ Ein automatisierter Export von Betriebsmitteldaten aus den Berechnungsprogrammen in ein eigenständiges Modul „Materialmanagement“ garantiert einen Mindeststandard an Einheitlichkeit hinsichtlich zu erstellender Stücklisten und vermeidet gefährliche Fehler einer manuellen Übertragung von Materialien.

Kernstück der technischen Realisierung dieses Konzepts ist die bergwerksspezifische GTP-Datenbank in Verbindung mit einer konsequenten Nutzung des bereits bestehenden DSK-Netzwerks.

Kommunikative Funktionalitäten – Von Mensch zu Mensch

Kein EDV-basiertes Planungssystem kann die Kommunikation von Mensch zu Mensch ersetzen.

Um so wichtiger ist es, daß diese Verständigung durch die eingesetzte Software unterstützt wird. Hierzu bieten die GTP-Berechnungsprogramme die Möglichkeit zur unmittelbaren Verknüpfung von Dateien, Inter- und Intranetseiten mit einzelnen Berechnungen. Benutzte Normen, relevanter Schriftwechsel, technische Zeichnungen, Handskizzen und Herstellerangaben können in wenigen Mausklicks mit einer beliebigen Berechnung dauerhaft verbunden werden und stehen bergwerksweit jedem anderen Benutzer zur Verfügung.

Darüber hinaus ist mit jeder Berechnung eine Kommentardatei verknüpft. In dieser Kommentardatei soll die Historie der Berechnung dokumentiert werden. Typische Inhalte dieser Kommentare sind Grundannahmen zu bestimmten Auslegungsvarianten, Begründungen einer bestimmten Betriebsmittelwahl, Absprachen mit anderen Abteilungen oder Übergabeinformationen zur Unterstützung von Teamarbeit.

Ausblick

Die derzeitige Pilotphase auf einigen DSK-Bergwerken wird zum Jahreswechsel 2001 abgeschlossen sein. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse werden in den Programmen umgesetzt und das

gesamte maschinentechnische Modul der GTP im Jahr 2001 auf allen Bergwerken der DSK eingeführt.

Neben einer Anbindung der maschinentechnischen Applikationen an das System SAP sowie anderen fachspezifischen Anwendungen stehen für den einzelnen Anwender insbesondere berechnungstechnische Weiterentwicklungen im Vordergrund.

Für die Gurtfördererberechnung ist zu überprüfen, inwiefern die Neuüberarbeitung der vorhandenen DIN 22 101 hinsichtlich der Beachtung der dynamischen Vorgänge von Gurten bei der Berechnung wirksamer Spannungen zu berücksichtigen ist.

Für die Streberechnung sind vor allem zwei Weiterentwicklungen von Interesse: Die Abschätzung des Leistungsbedarfs von Walzenladern in Abhängigkeit von Flözeigenschaften sowie die Ermittlung steuerungstechnisch umsetzbarer maximaler Marschgeschwindigkeiten in verschiedenen Strebsektoren.

Vor dem Hintergrund der laufenden Anpassungsprozesse und damit verbundener personeller Konsequenzen bei der DSK gewinnen aber auch die Hinterlegung und Pflege von Fachwissen zunehmend an Bedeutung.

Die einzelnen Module der Geometrisch Technischen Planung (GTP) bieten hierzu bereits heute eine technisch anspruchsvolle Grundlage.

Quellennachweis

1. Guder, R.: *Der maschinentechnische Arbeitsplatz der Ruhrkohle AG*. In: Rechnergestützte Planung im Bergbau. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1990, S. 200-217.
2. Schumacher, Th.: *Konzeption und Entwicklung eines integrierten maschinentechnischen Planungs- und Informationssystems für Rohstoffgewinnungsbetriebe*, Verlag der Augustinus Buchhandlung, ISBN 3-86073-537-3, Aachen, 1997.
3. Schumacher, Thomas ; Reimers, Jörg ; Hünefeld, Rainer: Neue Funktionen für die rechnerunterstützte Planung auf den maschinentechnischen Arbeitsplätzen im Ruhrbergbau. In: *Glückauf 134 (1998)*, Nr. 4, S. 152-159.
4. Straubel, D.: *Optimierung von Kettenkratzerförderern, DSK FuE Projekt 0194, Untersuchungsbericht DSK/DMT 1038/00 – F/244*. Unveröffentlicht. Essen/Herne 1999.
5. Plum, D. ; Straubel, D.: *Studie zur Auslegung von Kettenkratzerförderern, Untersuchungsbericht DSK/DMT 746/97 – F/204*. Unveröffentlicht. Essen/Herne 1998.
6. Myszkowski, M.: *DMT Studie zur Hobeltechnik: Auslegung des optimalen Hobelverfahrens für Hochleistungsbetriebe mit Maximierung der Gewinnungs- und Förderleistung*, DSK-Auftrag. Unveröffentlicht. Essen/Herne 1996.
7. Dolipski, M. ; Jaszczuk, M. ; Sobota, P.: A new method for determining specific energy consumption of a shearer. Tagungsband: *28th Conference on Automation and Telecommunication in Mines and Processing Plants – Coal and Minerals, 14-17 Juni 2000*, Silesian University of Technology, Gliwice, Polen.
8. Reimers, J.: *Konzeption eines Rohrleitungsplanungssystems für den deutschen Steinkohlenbergbau*. Aachener Beiträge zur Angewandten Rechnertechnik, Band 36. Verlag Mainz GmbH, ISBN 3-86073-708-2, Aachen 1998.