

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

RECUEILS DE RECHERCHES CHARBON

**Recherches sur les pressions des terrains :
Rapport de synthèse I
Steinkohlenbergbauverein**

Technique minière

Recueil
N°
22

LUXEMBOURG 1969

Aux termes de l'article 55, alinéa 2, c, du traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, la Commission encourage la recherche intéressant le charbon et l'acier, notamment en accordant des aides financières. La présente brochure rend compte de l'exécution et des résultats de l'un de ces projets de recherche.

En conséquence du traité de fusion du 8 avril 1965, la Commission unique des Communautés européennes exerce les pouvoirs et les compétences dévolus à l'ex-Haute Autorité.

RECHERCHES SUR LES PRESSIONS DE TERRAINS
DANS LES GALERIES EN COUCHE ET AU ROCHER

Steinkohlenbergbauverein, Essen

RECHERCHES SUR LES PRESSIONS DE TERRAINS DANS LES
GALERIES EN COUCHE ET AU ROCHER

Steinkohlenbergbauverein, Essen

	<u>Page</u>
1. <u>Les objets du projet de recherche</u>	5
2. <u>Incidence de la résistance du soutènement sur la réduction de section des galeries</u>	6
2.1 Considérations et mises au point préliminaires	6
2.11 Calcul de la réduction de section	6
2.12 Procédé de mesure et de réglage de la résistance du soutènement	8
2.13 Recherches fondamentales sur l'apparition de fortes et de faibles pressions de terrains	9
2.14 Autres mises au point à des fins de mesure et de recherche	11
2.2 Recherches dans des galeries pourvues d'un soutènement hydraulique	13
2.21 Galerie de mesure 1	13
2.22 Galerie de mesure 2	17
2.23 Galerie de mesure 3	23
2.24 Galerie de mesure 4	25
2.25 Galerie de mesure 5	28
2.26 Galerie de mesure 6	29
2.27 Galerie de mesure 7	36
2.28 Galerie de mesure 8	38
3. <u>La convergence dans les galeries d'abattage</u>	39
3.1 Nature des recherches	39
3.2 Résultats des observations et calculs comparatifs	42
3.3 Appréciation des résultats	45
4. <u>Résistance des piliers et tension des couronnes dans l'exploitation par piliers longs abandonnés</u>	48
4.1 Définition de la tâche à accomplir	48
4.2 Procédé de calcul de la résistance à la compression	49
4.3 Calcul de la résistance à la compression du minerai de fer de la mine Nammen-Wohlverwahrt	52
5. <u>Exposé sommaire des résultats</u>	54

1. Les objets du projet de recherche

=====

Au titre de l'article 2 de la convention des 18 et 22 décembre 1961 entre la Haute Autorité de la C.E.C.A. et le Steinkohlenbergbauverein, les objets de la recherche sont : "nature, direction et importance des mouvements et tensions des terrains entourant des galeries d'abattage et autres chantiers de mines".

Les recherches effectuées jusqu'à présent portent sur les mouvements des terrains entourant les galeries en couche et sur les tensions des terrains dans l'exploitation par piliers longs abandonnés. Dans l'ensemble, il s'agit de trois groupes de tâches : Les recherches les plus détaillées concernent l'incidence de la résistance du soutènement sur la réduction de section des galeries, en particulier sur la convergence. Ce problème a été et est encore étudié au moyen de mesures directes au fond : dans des charbonnages appropriés de l'Allemagne de l'Ouest, 8 galeries en couche au total, présentant des conditions d'exploitation et des caractéristiques géologiques diverses, ont été pourvues sur 10 m environ d'un soutènement réglable, notamment là où la pression des terrains était élevée. Ce soutènement permet d'opposer, sur tout le périmètre de la galerie, aux mouvements des parois dirigés vers la cavité constituée par cette dernière, une résistance dont la force est 10 fois supérieure à celle d'un soutènement normal et peut être maintenue constamment à cette valeur ou à une valeur inférieure. En mesurant la réduction de section pour des résistances du soutènement de forces diverses les chercheurs doivent déterminer l'influence des contrepressions exercées. La réduction de section est observée dans des sections de mesure consistant en 10 à 15 points répartis sur le périmètre de la galerie et marqués sur le rocher. L'objet de cette recherche est de laisser ouvertes, de la manière la plus économique possible, des galeries soumises à une forte pression de terrains.

Le 2e objet de la recherche est la convergence dans des galeries d'abattage, en fonction de l'avancement de la taille. Il s'agit de rechercher en l'espèce si la convergence obéit à certaines normes générales et, le cas échéant, de quelle nature sont ces normes. Jusqu'à présent, des mesures relatives à ce problème ont été effectuées dans 8 galeries de divers charbonnages; comme solution de rechange pour mesurer

la convergence, on a également utilisé le procédé de mesure des sections photographiques.

Le 3e objet de la recherche est la force portante des piliers et l'état de tension à la couronne lors de l'exploitation par piliers longs abandonnés. La force portante des piliers est expérimentée à l'aide de mesures en laboratoire et d'essais effectués au fond dans une mine métallique, à l'aide de dispositifs de compression spécialement mis au point. Les réactions des terrains environnants sont mesurées à l'aide d'extensomètres. L'objet du projet est, d'une part, d'élaborer des directives relatives aux dimensions et à l'agencement des piliers compte tenu de la sécurité et, d'autre part, de limiter autant que possible les pertes à l'abattage.

2. Incidence de la résistance du soutènement sur la réduction de section des galeries

2.1 Considérations et mises au point préliminaires

2.11 Calcul de la réduction de section

En ce qui concerne la section d'une galerie, nous faisons une distinction entre la section de percement, délimitée par les terrains et la section interne, limitée par l'abattage. En l'espèce, il est plus opportun de faire porter les recherches sur la section de percement, car celle-ci peut être influencée d'une manière plus sensible que la section interne par la résistance du soutènement.

La diminution de la section de percement est mesurée par le rapprochement de broches ancrées par paires dans le rocher. Dans le cas d'une section de galerie presque rectangulaire, on imagine tout d'abord que la totalité de la convergence, comme le montre la figure 1, est due au soulèvement du mur. Ayant mesuré la convergence aux 5 paires de points ainsi que la distance entre les différentes paires de points d'une part, les paires de points et les parois d'autre part - opération effectuée également lors de chaque calcul de convergence -, on calcule la superficie des 4 trapèzes et des deux triangles représentés en hachuré à la figure 1. La surface totale F est alors divisée par la largeur de la galerie b (laquelle diminue également à la longue !), et on obtient la convergence moyenne C :

$$C = \frac{\sum F}{b}$$

De la même manière, à partir du rapprochement des parois parallèlement aux épontes observées aux 3 paires de points représentées à la figure 1, on calcule la convergence moyenne D. Les valeurs moyennes C et D sont les hauteurs des rectangles dont la surface est égale aux 2 polygones représentés à la figure 1. Si le mur s'était soulevé régulièrement de la valeur C perpendiculairement aux épontes, et si l'une des deux parois s'était déplacée régulièrement de la valeur D, parallèlement aux épontes, la diminution de la section de percement aurait été égale à celle due au soulèvement et au glissement, représentés par les polygones. La réduction de section Q peut donc être calculée à l'aide des 2 rectangles de la figure 2 selon la formule :

$$Q = b.C + (a - C).D.$$

Il s'agit de la valeur absolue; la division par les surfaces de section initiales donne la réduction de section relative.

Pour les sections circulaires de galeries, on procède de la manière suivante : la convergence moyenne C et le rétrécissement moyen D se calculent, comme le montre la figure 3, à partir des aires de 2 trapèzes, correspondant à ceux de la figure 1; divisées respectivement par la longueur des arcs l_1 et l_2 . Les deux mesures sont radiales et ne sont plus perpendiculaires ou parallèles aux épontes. Le diamètre initial de la section dans le champ de l'arc l_1 diminue donc de la convergence C. Le diamètre dans le champ de l'arc l_2 diminue du rétrécissement D. La valeur moyenne pondérée f de la diminution de diamètre est donc :

$$F = \frac{Cl_1 + Dl_2}{l_1 + l_2},$$

et le rayon initial r a diminué en moyenne de la valeur $\frac{1}{2} f$. Conformément à la figure 4, la réduction de section Q est donc égale à

$$r^2 \pi - \left(r - \frac{1}{2} f\right)^2 \quad \text{ou}$$

$$Q = \pi f \left(r - \frac{1}{4} f\right) \quad \text{ou}$$

$$Q = \frac{Cl_1 + Dl_2}{l_1 + l_2} \left(r - \frac{Cl_1 + Dl_2}{4(l_1 + l_2)}\right).$$

Il va de soi que les distances tangentiels entre les broches sont également mesurées lors de chaque mesure de convergence, car elles diminuent elles aussi.

2.12 Procédé de mesure et de réglage de la résistance du soutènement

Pour déterminer si la résistance du soutènement exerce une influence sur la réduction de la section, et, le cas échéant, de quelle manière, il est indispensable de maintenir cette résistance du soutènement constante pendant une longue période. Comme les types courants de soutènement de galeries n'offrent pas cette possibilité, un soutènement particulier a dû être spécialement mis au point pour ces recherches. Les étançons hydrauliques présentant les meilleures spécifications comme soutènements à réglage constant, deux installations semblant offrir les qualités requises ont été mises au point à l'aide de ces derniers, à savoir :

- a) un cadre formé d'éтанçons hydrauliques soutenant la sole, la couronne et les deux parois au moyen de chapeaux en acier ou en métal léger et
- b) un cadre de soutènement articulé consistant initialement en 6 pièces cintrées dont deux sont remplacées à la verticale par des étançons hydrauliques.

Le dernier type offre l'avantage d'une bonne adaptation à la forme courante des sections de galeries et aux grandes sections libres, mais il est toutefois loin d'offrir des résistances aussi élevées que le premier, qui permet d'exercer sur le périmètre de la galerie des pressions de plus de 100 Mgf/m^2 . Eu égard à sa plus grande amplitude de variation, seul le type de cadre a) a été utilisé pour les recherches. Sa composition est fonction dans chaque cas de la section de la galerie et des conditions d'exploitation; les données techniques uniformes sont les suivantes :

- Etançons : Etançons hydrauliques Kronprinz transformés en fonction des besoins, pression maximale du liquide : 400 kg/cm^2 eff. correspondant à une force portante de 38 Mgf.
- Rallonges de l'éтанçon : Pièces tubulaires démontables de 25, 50 et 100 cm de longueur.

Chapeaux	: Profilés spéciaux en métal léger, emboutis et trempés, résistance à la flexion et à la traction : environ 3 000 kgf/cm ² .
Flexibles	: Conduites à haute pression, d'une pression d'éclatement de 1 300 kg/cm ² eff., équipées de raccords à bagues.
Pompe	: Pompe à haute pression commandée à l'air comprimé avec maximum de 500 kg/cm ² eff.
Manomètres	: Manomètres à haute pression d'une sensibilité de 0 à 600 kg/cm ² eff. et manomètres de précision de sensibilité de 0 à 50 kg/cm ² eff.
Liquide hydraulique	: Emulsion d'huile (75 % d'eau, 25 % d'huile hydraulique.)

On trouvera des indications plus précises sur le fonctionnement des cadres hydrauliques et sur les figures correspondantes lors de la description des diverses galeries de mesure (2.21 à 2.28) ainsi que dans un rapport qui a déjà été publié (1)¹⁾.

2.13 Recherches fondamentales sur l'apparition de fortes et de faibles pressions de terrains

Dans une galerie en couche, la convergence peut en principe être due à deux processus différents, à savoir :

- a) une extension élastique des terrains environnants, provoquée habituellement par un accroissement de volume de la zone de terrains devenus plastiques (déformation et ameublissement des terrains) et
- b) un affaissement des couches susjacentes lors d'une exploitation simultanée de la veine (translation des terrains).

On peut admettre avec certitude que la résistance du soutènement n'a pas la même influence sur les deux composantes de la convergence. Pour le choix de galeries de recherches appropriées, il est

1) Les chiffres entre parenthèses renvoient à la liste des publications relatives aux travaux de recherche, reproduite à la fin du présent rapport.

donc important que la participation à la convergence de la déformation mentionnée sub a) soit suffisamment grande pour pouvoir être influencée dans une proportion mesurable.

Outre les caractéristiques pétrographiques, c'est la pression des terrains qui détermine la grandeur de cette déformation. Mais cette pression, qui est exercée à un certain niveau, est influencée d'une manière décisive, dans l'exploitation en plusieurs couches des houillères de la Ruhr, par la forme des anciens chantiers d'abattage se trouvant à un niveau supérieur. La répercussion sur l'accroissement de la pression de certains bords de massifs et de piliers résiduels susjacentes est connue depuis longtemps. Un aperçu synoptique de toutes les observations faites jusqu'à ce jour dans un but de recherche théorique a donné lieu aux constatations suivantes en ce qui concerne l'influence de l'exploitation de couches susjacentes sur les mouvements de terrains en galeries (2) :

- 1) La pression des terrains est diminuée au-dessous du panneau (détente), accrue au-dessous des bords de la veine (pression additionnelle).
- 2) En ce qui concerne les mouvements de terrains, cette situation se traduit :
 - a) sous le champ d'abattage, par le soulèvement de la totalité de la galerie, la convergence étant très faible ou faisant totalement défaut et
 - b) sous les bords de la couche, par un renforcement de la convergence.
- 3) L'étendue et la portée des modifications de la tension sont notamment fonction de l'importance et de la profondeur de la surface exploitée. L'accroissement de la pression supplémentaire comme celui de la détente peuvent être calculés en fonction de ces grandeurs.
- 4) C'est quelques mois après les opérations d'abattage dans les terrains surplombants que la décharge est la plus forte. Dans les zones au-dessus desquelles toutes les couches s'affaissent complètement jusqu'à la surface du sol, elle disparaît à nouveau; sinon elle persiste. Ses répercussions ont été décelées jusqu'à 170 m

au-dessous du chantier mais elles peuvent atteindre des profondeurs plus grandes. Pour le calcul des soulèvements, un procédé de calcul approximatif a été mis au point, sur la base de la théorie de l'élasticité.

- 5) La pression supplémentaire persiste indéfiniment. Sa portée vers le bas varie fortement. Il est arrivé dans un certain cas que l'on observe encore des dérangements importants d'une galerie à 220 m au-dessous d'un pilier résiduel. Selon des calculs effectués d'après la théorie de l'élasticité, les répercussions néfastes peuvent se manifester à une profondeur tout au plus égale à 2,5 fois la largeur du pilier.

Ces résultats ne sont valables que pour les plateures. La recherche n'a pas été étendue aux gisements pentés car le matériel d'observation approprié fait encore défaut.

2.14 Autres mises au point à des fins de mesure et de recherche

Pour faire le relevé des crevasses et fissures dans les terrains, les carottages sont d'une grande utilité. Toutefois, les carottes recueillies selon le procédé traditionnel sont détruites dans une certaine mesure au cours même de la foration de telle sorte qu'elles présentent également des fissures qui ne sont pas d'origine tectonique ni imputables à la mécanique des sols. Mais les fissures ne peuvent guère donner d'indications à cet égard. En outre, il arrive fréquemment qu'il ne soit plus possible de déterminer la situation occupée initialement par ces carottes dans les terrains, ni par conséquent la direction et l'inclinaison des joints.

Aussi les spécialistes ont-ils tenté de mettre au point un procédé permettant d'extraire des carottes non détruites et orientées. Ils y sont parvenus, en principe, grâce à un instrument de carottage dont le tube externe abrite un autre tube pouvant tourner à l'intérieur mais n'étant pas entraîné par le mouvement relatif du tube externe. Pour l'extraction de la carotte, on extrait non pas le tube de carottage proprement dit mais seulement le tube interne contenant la carotte, à l'aide de tiges spéciales. La carotte est orientée par le fait que, lors de son entrée dans le tube interne, elle est rayée par un bec monté sur ressort, et marquée ainsi d'un sillon longitudinal à sa périphérie.

En 1961 des forages d'essai ont eu lieu aux charbonnages Friedrich der Grosse et Scharnhorst en vue d'expérimenter le procédé nouvellement mis au point. On a utilisé une machine de forage Craelius du type XFHa 90, qui nécessite au fond une cavité de 4,50 m de hauteur et 3 m de largeur. Les forages ont été effectués avec succès, sous diverses inclinaisons - perpendiculairement aux épontes et à angle aigu de 45° dans le toit, à angle aigu de 45° dans le mur - jusqu'à 30 m de longueur. Le soufflage d'air et l'injection d'eau ont tous deux donné de bons résultats. La dimension et l'encombrement de la machine de foration n'ont pas permis de nouvelles utilisations au fond, mais le procédé de foration est fréquemment utilisé pour des recherches relatives aux terrains de fondation, donc pour des forations à partir du sol, et il a fait ses preuves.

En outre, une méthode a été mise au point pour mesurer le desserrement des terrains dans les trous de sonde. Elle consiste à tendre des ressorts en acier tels que ceux reproduits à la figure 5 à l'aide d'un dispositif spécial d'introduction, à différents niveaux du trou de sonde. Chaque ressort est muni d'un fil de mesure guidé à l'embouchure du trou sur un galet et pourvu d'une marque dont on mesure le glissement par rapport au galet, ou tout autre point de référence. La figure 6 représente à titre d'exemple le mesurage du desserrement dans un trou de sonde long de 20 m, pratiqué perpendiculairement dans le toit, et dans lequel 6 ressorts en acier ont été introduits à des distances régulières.

2.2 Recherches dans des galeries pourvues d'un soutènement hydraulique

2.21 Galerie de mesure 1

La première occasion d'utiliser pour des mesures au fond les éléments de soutènement hydraulique décrits sub. 2.12 s'est offerte dans une galerie d'abattage de la veine R_1 au charbonnage Lohberg, 4e étage, deuxième quartier est vers le nord. Une section de cette galerie a été soutenue au moyen de cadres hydrauliques. Sa situation est représentée aux figures 7 et 8. A noter les données suivantes :

Profondeur : 785 m = 750 m sous le niveau de la mer

Pendage : 5 - 10^g

Puissance de la couche : 125 cm

Abattage avec foudroyage et épi de remblai

Soutènement normal en cuitres TH à deux éléments (profil en cloche, poids 32 kg/m)

Longueur de la section de galerie soutenue hydrauliquement : 7 m

Durée de mesures : avril 1960 à avril 1961

Terrains encaissants : schiste en banc mince au toit et au mur.

Les conditions d'exploitation ressortent de la figure 7. La galerie de mesure n'est qu'à 25 m à l'est et immédiatement au sud de l'ancien chantier, c'est-à-dire dans une zone dans laquelle on pourrait s'attendre à une pression accrue des terrains. D'autre part, elle est surplombée par des chantiers d'exploitation dans la veine S_1 , qui se trouve seulement 30 m plus haut, et elle surplombe à son tour des chantiers situés dans la veine P, 88 m plus bas, ce qui entraîne une décharge conformément aux constatations faites au point 2.13. Le pilier résiduel abandonné dans la veine S_1 est trop éloigné pour exercer une influence dans le sens d'un accroissement de la pression.

La galerie était dans un état d'avancement tel que les cadres hydrauliques ont pu être placés dès avant le passage de la taille. La situation de la tranche soutenue hydrauliquement et des 8 sections de mesure destinées à l'observation de la convergence (le rétrécissement n'était pas mesurable) ainsi que l'agencement des 5 paires de points dans chaque section de mesure sont représentés à la figure 8. La construction et le fonctionnement du soutènement hydraulique sont illustrés par la section de la figure 9, le schéma de montage de la figure 11 et la photographie de la figure 10. Les cadres de soutien

perpendiculaires aux épontes sont constitués par deux chapeaux de métal léger posant sur le mur, l'un à côté de l'autre, transversalement par rapport à la direction de la galerie, et deux chapeaux semblables à la couronne, sur lesquels pressent au total 8 étançons hydrauliques. Ces cadres alternent avec d'autres destinés à soutenir les parois, constitués de 6 étançons hydrauliques disposés obliquement et de rallonges courtes à la couronne, à la sole et aux parements. Au total, 10 paires de cadres semblables ont été installées, à 75 cm l'une de l'autre. Les étançons sont raccordés par des flexibles à haute pression à des conduites de distribution qui à leur tour sont reliées par une conduite principale à la pompe haute pression. Des dispositifs de réglage qui se trouvent aux embranchements permettent de régler et maintenir à la valeur désirée la pression du liquide dans les différents étançons. Lors d'un accroissement de la pression fixée, des soupapes de sécurité permettent automatiquement un certain écoulement du liquide des conduites distributrices et maintiennent donc la pression à un niveau pratiquement constant.

Le soutènement traditionnel de la galerie offrait à l'affaissement du toit une résistance d'environ 10 Mgf/m^2 , mais en revanche, il n'opposait aucune résistance au gonflement du mur. La résistance du soutènement hydraulique était mise au point à des valeurs différentes; elle est représentée à la figure 12, en fonction de la distance entre la taille et la section de mesure 5. Cette même figure montre en outre l'allure de la convergence mesurée à la paire de broches se trouvant du côté de la taille dans la section de mesure 5, c'est-à-dire de la paire $E - E_1$ de la figure 8. Au début des observations, le soutènement hydraulique n'offrait pas une résistance bien définie (stade de la pose); il a ensuite été mis au point à des valeurs allant jusqu'à 58 Mgf/m^2 et enfin, à 200 m environ après le passage de la taille, il a été enlevé et remplacé par un soutènement en bois.

Dans la section de galerie expérimentale, la convergence présente la caractéristique de n'être que peu différenciée à l'intérieur d'une même section; les 5 paires de points de chaque section de mesure convergent toutes d'une manière assez égale, la différence étant de 10 % au plus.

Notons que pour les sections de mesure situées dans la partie soutenue hydrauliquement, c'est-à-dire les sections 4, 5 et 6, ce sont les paires de points se trouvant le plus près de la paroi proche de la taille qui convergent le plus, alors que pour les autres sections, c'est chaque fois l'une des trois paires de points médians qui accuse la plus forte convergence. Une analyse plus approfondie de ce phénomène, dont il a été rendu compte en détail (1), a permis de l'expliquer par le fait que le soutènement hydraulique empêche le décollement des bancs au milieu de la galerie alors que le soutènement traditionnel ne le fait pas. Ce décollement constitue la participation à la convergence de la déformation évoquée au point 2.13 et il ne représente ici que 4 % environ de la convergence totale. Ce faible pourcentage, dans une galerie qui a pourtant progressé de 50 m, en marge d'anciens chantiers, et dont les parois sont constituées de schiste en couche mince, ne s'explique que par la décharge résultant de l'exploitation susmentionnée des veines voisines. Il est probable que cette déformation est constituée essentiellement par le gonflement du mur auquel le soutènement habituel n'oppose absolument aucune résistance. Le soutènement hydraulique en revanche exerce une pression égale sur le mur et le toit.

La fig. 13 donne un aperçu de la convergence de la paire de points proche de la taille, dans la section de mesure, laquelle ne diffère que légèrement (moins de 10 %) de la convergence moyenne de toutes les paires de points. Elle donne un certain nombre de coefficients de convergence entre divers états d'avancement de la taille, la distance mesurée lors de l'approche de la taille, c'est-à-dire avant le passage de celle-ci, étant exprimée négativement, la distance mesurée lors de l'éloignement de la taille, c'est-à-dire après le passage de celle-ci, étant exprimée positivement. C_{-20}^{+140} signifie donc la convergence survenue au cours de la période pendant laquelle la taille approchait de la paire de points considérés, à partir de 20 m de distance, et la dépassait de 140 m. Dans la section de mesure 7, la paire de points proche de la taille ayant donné des résultats insuffisants, elle n'a pas été mentionnée à la fig. 13. Dans l'ensemble, les coefficients ne semblent pas indiquer une influence de l'accroissement de la résistance du soutènement dans les sections de

mesure 4, 5 et 6. C'est ce qu'indique également l'observation que la convergence n'est nullement influencée par la diminution brutale de la résistance du soutènement (cf. fig. 12, 90 m après le passage de la taille). La convergence étant imputable pour 96 %, comme nous l'avons dit ci-dessus, à l'affaissement absolu du toit, il en résulte que ce type de convergence, la translation, ne peut être atténué par des forces de soutènement de l'ordre de grandeur utilisé. Mais il n'est guère possible, dans l'exploitation normale, de mettre en oeuvre des forces de soutènement plus élevées encore.

Les courbes de convergence en fonction de la distance de la taille, dont un exemple est donné à la fig. 12, obéissent à une fonction dont l'allure est caractérisée par les valeurs moyennes reproduites à l'avant-dernière ligne de la fig. 13. A titre de comparaison figurent à la dernière ligne les chiffres correspondants qui, à partir de la fonction normale (1) mise au point par le groupe de travail français se calculent mathématiquement de la manière suivante : nous posons d'une manière générale :

$$C_{d1}^{d2} = k [F(d_2) - F(d_1)]$$

(d = distance de la taille, F = fonction de convergence, k = constante), nous prenons pour F la fonction normale susmentionnée et choisissons la constante k de telle manière que $C_{+10}^{+140} = 420$, parce que c'est la valeur moyenne découlant de la plupart des résultats de mesure. On trouve alors k = 1 030 et on obtient pour les autres convergences les chiffres reproduits à la dernière ligne de la fig. 13. Selon ces chiffres, les convergences réelles, surtout avant le passage de la taille, sont inférieures aux convergences calculées et obéissent d'ailleurs à une fonction légèrement différente. Ce résultat était à prévoir car la fonction de convergence utilisée pour le calcul est établie pour l'opération d'abattage au cours de laquelle la relevée voisine est encore en place et n'a pas encore été exploitée comme tel est le cas ici.

L'expérience effectuée dans la galerie de mesure 1 se solde donc essentiellement par les deux résultats suivants :

(1) Etudes de mouvements de terrain, rapport général 1959-1963,
p. 15-16.

- 1) l'accroissement de la résistance du soutènement, qui peut être obtenu au cours de l'exploitation, ne peut atténuer la convergence résultant de l'affaissement du toit. Celle-ci est ici pratiquement égale à la convergence totale.
- 2) le desserrement du mur de la galerie, perpendiculairement aux épontes, lequel n'a pourtant pas dépassé en l'espèce 65 mm, peut être limité par un accroissement de la résistance du soutènement.

2.22 Galerie de mesure 2

La galerie de mesure 2 est une galerie creusée dans la veine H du charbonnage Graf Bismark 2/6/9, 9e étage, sans exploitation simultanée de la veine. Sa situation est illustrée par les fig. 14 et 15 et se caractérise ainsi :

Profondeur 920 m = 875 m sous le niveau de la mer

Pendage : 2°

Puissance : 180 à 195 cm

Soutènement normal : cadres TI - 130 (poids 12,7 kg/m)

Longueur de la section avec soutènement hydraulique : 11 m

Durée des mesures : décembre 1960 à octobre 1962

Terrains encaissants : schiste en banc mince au toit, également schiste en banc mince de 100 cm au mur et, au-dessous, la veine G de puissance 90 cm.

La galerie est longue de 85 m environ et conduit à un champ non entamé. Sa situation par rapport aux autres chantiers ressort de la fig. 14. Il n'y a donc aucun chantier au-dessous ni au-dessus d'elle et elle ne peut être influencée que dans les premiers mètres par un effet de pression additionnelle provenant d'un ancien chantier de la veine H, situé au nord-ouest par rapport à elle. La fig. 15 donne une représentation plus détaillée. La première partie de la galerie de mesure, longue de 58 m, est soutenue par des cadres de boisa-ge et pourvue par surcroît, sur une longueur de 10 m, de boulons d'an- crage à la couronne. La section équipée de cadres de mesure hydrauliques a 11 m de longueur et les 17 derniers mètres sont à nouveau sou- tenus par des cadres.

Si on excepte un certain nombre de modifications de détail, le soutènement hydraulique est conçu selon les mêmes principes que

dans la galerie de mesure 1. Il est représenté aux fig. 16 et 17. La convergence et le rétrécissement ont été observés dans 21 sections de mesure. L'agencement des paires de points dans ces sections est illustré par la paire de la fig. 15. L'allure de la convergence et le réglage de la résistance du soutènement ressortent de la fig. 18 qui donne la convergence moyenne (cf. point 2.11) de la section de mesure n° 9 étançonnée hydrauliquement. En sus de la convergence, on y a également reproduit la résistance du soutènement dans le sens perpendiculaire aux épontes - laquelle s'oppose donc à la convergence - et la distance du front à la section de mesure 9 en fonction du temps. Le front de la galerie a encore progressé d'environ 23 m par rapport à la section de mesure et l'avancement a alors été interrompu. La résistance du soutènement était encore relativement faible au début et n'a pu être amenée à 29 Mgf/m^2 qu'après 39 jours. Un peu plus tard, elle a été portée à 47 Mgf/m^2 . Après 98 jours, elle a été ramenée brusquement à 5 Mgf/m^2 , changement qui se manifeste par un renforcement immédiat de la convergence. La résistance du soutènement a été maintenue constante à 5 Mgf/m^2 jusqu'au 507e jour, puis ramenée à 0. Comme on le voit, la convergence répond à cet "essai de décharge" par un second accroissement. Parallèlement aux épontes, c'est-à-dire contre les parois de la galerie, la résistance du soutènement hydraulique a varié au début des mesures entre 2 et 10 Mgf/m^2 . Lors du réglage à 47 Mgf/m^2 de la résistance du soutènement perpendiculaire aux épontes, la résistance du soutènement parallèle aux épontes a été portée à 16 Mgf/m^2 et maintenue jusqu'au moment de l'essai de décharge. Celui-ci consistait à réduire à 0 les deux composantes de la résistance du soutènement, seules les écailles décollées à la couronne de la galerie restent soutenues.

Par nivellement, on a constaté que la convergence de toutes les sections était imputable en moyenne pour 82 % au soulèvement du mur et pour 18 % à l'affaissement de la couronne. Le plissement de la sole de la galerie est illustré par la photo de la fig. 19, prise à l'issue des mesures, au cours de travaux ultérieurs de rebanchage de la sole. La photo montre la partie gauche de la section de la galerie. A gauche, on reconnaît le schiste plissé et à droite, la veine G, au centre du pli. Plus loin, vers la droite (non visible sur la photo),

vient à nouveau une couche de schiste entre la veine G et la veine H.

Le soutènement normal de la galerie n'offre aucune résistance au mur et il oppose à la couronne une résistance qui n'est pas connue; en raison du surpoids occasionné par le soulèvement de la sole, il est toutefois permis de dire d'une manière approximative que la résistance du soutènement normal à la convergence est égale à 0. Il est donc possible de comparer la convergence des sections pourvues d'étaçons normaux et d'étaçons hydrauliques, afin d'en tirer les conclusions quant à l'influence de la résistance du soutènement.

Cette recherche se heurte à trois difficultés, à savoir le retard dans le marquage des sections de mesure, les vitesses d'avancement différentes et l'effet de recouvrement résultant de l'interaction entre la section pourvue d'étaçons hydrauliques et les parties voisines de la galerie.

Pour des raisons inhérentes à l'exploitation, il est arrivé fréquemment que les sections de mesure ne soient marquées que quelques jours après le percement des sections de galerie en cause, retards au cours desquels le front de la galerie progressait évidemment de quelques mètres. Avant que les mesures ne commencent, un certain effet de convergence s'était donc déjà manifesté, dont l'ampleur était fonction du temps qui s'était écoulé et de l'avancement correspondant du front de la galerie. Pour pouvoir déterminer cette convergence, on devrait savoir dans quelle mesure elle dépend des deux variables que constituent le temps et l'éloignement du front. La vitesse de progression ayant varié entre 0,1 et 1 m par jour, il est malaisé de procéder à des comparaisons directes, car des temps égaux correspondent à des distances différentes du front et vice versa.

Enfin, la résistance du soutènement hydraulique a également des répercussions sur les zones voisines, non pourvues de soutènement hydraulique, tandis que ces dernières à leur tour atténuent également l'action dudit soutènement dans la section où ils sont utilisés, longue de 11 m seulement. Si toute la galerie était pourvue d'étaçons hydrauliques, la convergence serait aussi atténuée plus fortement dans cette dernière section. Des indications sur la portée de cet effet de recouvrement sont fournies par l'essai de décharge qui a eu

lieu 500 jours environ après la pose du soutènement hydraulique et qui a exercé à cet endroit une influence considérable sur la convergence, comme le montre l'exemple de la figure 18. Des impulsions de cette nature, plus faibles mais clairement reconnaissables, ont été produites par l'essai de décharge de chaque côté de la section étanchonnée hydrauliquement, jusqu'aux sections de mesure 4 et 17 (cf. figure 15). L'effet de recouvrement a donc une portée de 20 m au moins. A cette distance, son influence diminue progressivement.

En ce qui concerne la convergence dans la galerie de mesure 2, on calcule donc les facteurs temps, éloignement du front, résistance du soutènement et distance de la section soutenue hydrauliquement. La convergence est en substance une fonction de ces quatre variables. Afin de pouvoir déterminer d'une manière parfaite l'influence de la résistance du soutènement, il est nécessaire de formuler cette fonction d'une manière qualitative d'abord et de déterminer ensuite ses coefficients de telle manière que la convergence devant être calculée analytiquement, corresponde le plus exactement possible à la convergence réellement observée. La fonction recherchée n'est en tout cas pas linéaire, de telle sorte que le problème revient à l'étude d'une régression non linéaire. Les difficultés mathématiques formelles de ce problème sont si grandes qu'elles n'ont pas encore été résolues jusqu'à présent.

Cela étant, on ne peut comparer au sens strict que des coefficients de convergence obtenus pour des résistances différentes du soutènement mais sous des influences au demeurant identiques. Cette condition n'est remplie que pour un nombre si restreint de coefficients de convergence que les comparaisons ne fournissent guère de résultats valables. Pourtant, la comparaison des sections de mesure 6 et 10 donne au moins une indication :

Les deux sections de mesure ont été marquées et ont fait l'objet de mesures à 1 m du front, deux jours après leur mise à nu. La vitesse ultérieure d'avancement de la galerie a été pratiquement égale dans les deux cas au cours des 12 premiers jours d'observation. Dans la section de mesure 6, le soulèvement du mur n'a été soumis à aucune résistance, et dans la section immédiatement voisine, étayée hydrauliquement, la résistance du soutènement pendant les douze

premiers jours d'observation de la section de mesure n'a été que de 0 à $1,8 \text{ Mgf/m}^2$; pendant la même période, elle a été en revanche de $4,4$ à $5,3 \text{ Mgf/m}^2$ pour la section de mesure 10. Comme le montre la figure 20, la convergence dans la section de mesure 10 n'a atteint que le tiers environ de celle de la section de mesure 6 et il semble bien, puisque la résistance du soutènement est le seul facteur variable, que celle-ci en soit la cause. L'effet de la résistance du soutènement, qui n'est que de 4 Mgf/m^2 environ, est donc très important en l'espèce.

Nous considérons ensuite la réaction de la convergence lors de l'essai de décharge, qui consiste à réduire la force de soutènement de tous les cadres hydrauliques de 5 à 0 Mgf/m^2 . L'exemple de la section de mesure 9, fig. 18, révèle que la convergence est certainement plus élevée après 600 jours qu'elle ne l'eût été dans l'essai de décharge. Si on prolonge la courbe de convergence observée avant cet essai, on obtient en moyenne pour les sections de mesure 7 à 11 une convergence égale à 78 % seulement de la convergence réelle. La convergence aurait donc été contenue dans la proportion de 22 % si la résistance du soutènement de 5 Mgf/m^2 avait été maintenue. Mais en réalité, l'influence d'une résistance du soutènement de 5 Mgf/m^2 est plus élevée que ne l'indiquent ces 22 % car, tout d'abord, le fait que la convergence continue à s'accroître fortement, lorsque cessent les observations, montre que la part de convergence retenue n'a pas encore été compensée entièrement, et qu'ensuite il n'est pas prouvé qu'elle le sera jamais, c'est-à-dire sera aussi forte qu'elle ne l'eût été si la résistance du soutènement avait été nulle dès le début des observations. Enfin, la valeur de la comparaison est encore atténuée par le fait que les sections de mesure 7 à 11 ont fait l'objet de mesures un nombre différent de jours après leur mise à nu et à des distances variables du front et qu'elles ont été influencées par conséquent par certaines préconvergences, qui ne sont pas connues.

Un essai pour éliminer, au moins approximativement, ce dernier facteur d'incertitude a été effectué au cours d'une recherche antérieure qui a déjà été publiée (1). Il consiste à ne pas tenir compte de l'éloignement du front et à considérer que la convergence survenue entre la mise à nu et la première mesure est égale à la convergence mesurée au cours de la même période dans les sections qui ont fait

l'objet d'observations dès leur mise à nu. Toute courbe de convergence fondée sur des mesures effectuées avec un certain retard est donc prolongée jusqu'à son point d'origine probable (le moment de la mise à nu de la section). Compte tenu de cette amélioration, la comparaison de la section pourvue d'un soutènement hydraulique avec les autres sections offre l'aspect représenté à la figure 21 : il ressort de (1) que 5 Mgf/m^2 empêchent au moins 40 % de la convergence pouvant être attendue pour 0 Mgf/m^2 , et 47 Mgf/m^2 au moins 58 %.

Enfin, il reste encore la possibilité de mettre les coefficients de convergence à comparer en relation non pas avec le temps, mais avec l'éloignement du front. Pour éviter le problème des préconvergences inconnues, nous ne considérons que les convergences observées à 5 m du front. Evidemment, l'erreur réside dans le fait que pour ces 5 premiers mètres, dont l'abattage a duré entre 3 et 20 jours, divers phénomènes de préconvergence se sont produits, qui correspondent aux différences de temps précitées. Il semble toutefois que cette erreur soit plus susceptible d'être tolérée, d'autant plus qu'elle peut être compensée, partiellement du moins, par le fait que l'avancement ultérieur a eu lieu également à des vitesses diverses et que les différences de temps se répercutent donc sur la convergence ultérieure. La figure 22 permet de comparer les différentes convergences. Elle indique que la convergence dans les sections 7 à 11, pourvues d'un soutènement hydraulique, est égale à 35 % environ des autres valeurs. Pour les sections 4 à 6 et 12 à 15, la convergence est encore atténuée en outre par l'effet de recouvrement de la section pourvue d'étaçons hydrauliques, lesquels exerçaient, lors de l'interruption de l'avancement, une contre-pression de 47 Mgf/m^2 .

Les quatre approximations qui ont été établies ici ne donnent donc pas une image uniforme de l'influence numérique de la résistance du soutènement. Le seul élément certain est que la résistance du soutènement, modifiée à plusieurs reprises entre 0 et 47 Mgf/m^2 , exerce une influence manifeste sur la convergence. Il est fort vraisemblable que la résistance du soutènement qui, au cours des 100 premiers jours postérieurs à la pose des cadres hydrauliques, a été portée progressivement à 47 Mgf/m^2 , ne permet tout au plus que 35 % de la convergence qui se serait produite si la sole n'avait pas été pourvue de soutènement, c'est-à-dire pratiquement pour 0 Mgf/m^2 .

L'influence de la résistance du soutènement de 5 Mgf/m^2 , maintenue pendant une longue période, ne peut pas être définie d'une manière aussi certaine. Il est probable que la convergence qu'elle autorise est égale à 50 à 78 % de celle qui se produirait pour une résistance du soutènement égale à 0 Mgf/m^2 .

La réduction de section qui résulte, comme nous l'avons exposé au point 2.11, de la convergence et du rapprochement des parois parallèlement aux épontes, présente également une nette relation avec la résistance du soutènement. Mais ici, les données numériques sont tout aussi incertaines. Les chiffres les plus sûrs sont fournis par la comparaison des réductions de section en fonction de la distance du front, qui peut être effectuée à l'aide de la figure 23, analogue à la figure 22. Elle révèle que le soutènement hydraulique a freiné la réduction de section de moitié environ. A la fin des mesures qui ont servi de base aux tableaux susmentionnés, la résistance du soutènement était de 47 Mgf/m^2 perpendiculairement aux épontes et 16 Mgf/m^2 parallèlement aux épontes.

La diminution totale de section atteignait jusqu'à 35 % de la section de percement. Compte tenu de la réduction de section entre 5 et 15 - 28 m de distance du front, représentée à la figure 23, il est probable que la résistance du soutènement hydraulique ne permet qu'une diminution de section égale à la moitié environ du pourcentage susmentionné, c'est-à-dire à 17,5 %.

2.23 Galerie de mesure 3

Dans la galerie de mesure 3, la tâche consistait à rechercher la pression du remblai sur la couronne d'une voie de base à fort pendage. Il s'agissait d'une voie de base dans la veine Mausegatt au 6e étage de la mine Oespel, fermée en 1962. Les données techniques peuvent se résumer ainsi :

Profondeur : 570 m = 400 m au-dessous du niveau de la mer

Pendage : 78 ‰

Puissance : 240 cm

Exploitation des dressants par tailles obliques, le talus de remblai étant inférieur à 39 ‰

Soutènement normal : cadres GI - 130

Longueur de la section de galerie pourvue d'étauçons hydrauliques
à la couronne : 7 m

Durée des mesures : novembre 1960 à juillet, 1962

Roche encaissante schisteuse, avec au mur 60 cm de terrain à stigmaries.

La figure 24 illustre l'agencement de la galerie de mesure. Le remblai est soutenu par trois plaques de 2,25 m de longueur, reposant chacune sur six étauçons hydrauliques. La section de cette galerie est représentée schématiquement à la figure 24 et illustrée par une photographie à la figure 25. La figure 26 montre une partie de la couronne avec les étauçons hydrauliques et les plaques de mesure constituées de madriers.

Outre l'influence du remblai, on a également enregistré la convergence l'aide de 7 paires de points (cf. fig. 24) et le mouvement d'évitement des plaques de mesure vers le centre de la galerie, c'est-à-dire le relâchement sous la pression du remblai. Les valeurs moyennes des résultats des mesures - la dispersion n'est que de 5 % - sont reproduites à la figure 27. Au début des mesures, on s'est efforcé d'avoir un cé dage aussi faible que possible, la pression du remblai passant progressivement à 14 Mgf/m^2 et les plaques de mesure constituant un flot de pression entre les sections de toit voisines, soutenues selon le procédé traditionnel. On a ensuite essayé de faire baisser la pression des remblais par un léger retrait des cadres hydrauliques (janvier 1961). Pour un retrait de 8 mm seulement, on a enregistré une baisse de pression étonnamment forte de 9 à $1,3 \text{ Mgf/m}^2$. On a alors réglé les soupapes de sécurité à 13 Mgf/m^2 et observé les développements ultérieurs. Ensuite, on a opéré de nouvelles décharges et réglé la résistance à des valeurs inférieures ou moyennes pendant des périodes de plusieurs mois. Les observations montrent clairement que si l'on guide correctement le mouvement d'évitement, il est possible de maintenir constante la pression des remblais, à des valeurs relativement faibles. Au terme des mesures, après deux ans environ, les étauçons hydrauliques s'étaient comprimés de 28 cm et constituaient, pour une compression journalière de 0,5 mm et une contre-pression de 2 Mgf/m^2 , une installation sûre de soutien du remblai.

Une autre mesure de cette nature a été entreprise dans l'aile orientale du même chantier, mais avec une seule plaque de mesure. La puissance de la couche y était de 189 cm et le pendage de 78^g également. Ces observations ne se sont étendues que sur une période de 5 mois environ et ont révélé que la pression des étançons hydrauliques pouvait être réduite de 1,4 Mgf/m². Le mouvement d'évitement pendant la période des observations a été de 6 cm et la convergence de 18 cm. Ces mesures montrent la supériorité, au plan de la sécurité et de l'économie, d'éléments de soutien déformables, comparativement aux éléments rigides, et donnent une indication quant à la grandeur appropriée de la résistance à la compression.

2.24 Galerie de mesure 4

La galerie de mesure 4 a été installée dans une voie d'abatage (voie de base) de la veine en dressant Röttgersbank 2^h au 5e étage du charbonnage Scharnhorst. La situation de cette galerie est représentée en plan et en coupe à la figure 28. Notons en outre les caractéristiques suivantes :

Profondeur : 420 m = 350 m au-dessous du niveau de la mer

Pendage 69^g

Puissance : 105 à 115 cm

Exploitation avec remblayage complet (déversement)

Soutènement normal : cadres GI - 130

Longueur de la section de galerie avec soutènement hydraulique : 7 m

Durée des mesures : septembre 1961 à juillet 1963

Roches encaissantes : au toit, schiste compact, au mur, schiste friable, légèrement sablonneux, traversé de filets de charbon.

Les conditions d'exploitation sont très compliquées. La galerie avait avancé en moyenne de 80 m sur la taille dans la veine Röttgersbank et conduisait à une contre-galerie. La coupe de la figure 28 montre que des travaux d'exploitation ont déjà été effectués à plusieurs reprises sous la galerie de mesure, notamment dans la veine Johann en 1956 et 1960, à une distance de 50 m perpendiculairement aux épontes, la veine Präsident en 1959 et la veine Luise en 1956, à une distance de 75 et 90 m perpendiculairement aux épontes. En outre, pendant la durée des observations, la veine Ernestine, située

28 m au-dessus de Röttgersbank 2, perpendiculairement aux épontes, et la veine Luise à l'étage inférieur ont également été exploitées.

Pendant l'avancement en direction de la contre-galerie, une section de galerie longue de 7 m a été pourvue de cadres hydrauliques exerçant une action à la fois contre le rapprochement des épontes et contre le mouvement de la couronne et de la sole. La situation de cette partie de galerie et des 16 sections de mesure dans lesquelles ces mouvements ont été observés, ressort de la figure 29. La rencontre avec la contre-galerie a eu lieu immédiatement à l'est de la section de mesure 13. Au-delà, sur 9 m à l'est des cadres hydrauliques, les cadres ont été pourvus, au lieu et place des rallonges rigides utilisées normalement, de rallonges télescopiques de la firme Langebein présentant une résistance constante de "coulissement" de 15 Mgf. Comme le montre la figure 29, la déformation de la section de galerie dans le sens perpendiculaire aux épontes a été observée à l'aide de trois paires de points et, à la verticale, à l'aide d'une paire de points. Les broches qui se font face, perpendiculairement aux épontes, donnent dans chaque cas trois valeurs de convergence dont on a tiré la convergence moyenne, d'une manière analogue à celle décrite au point 2.11.

La conception du soutènement hydraulique est illustrée à la fig. 30. Une photo des cadres installés est reproduite à la fig. 31, tandis que la fig. 32 en offre un gros plan montrant clairement le front avec la veine et le mur de cette dernière barré de charbon. En raison des conditions difficiles d'exploitation, la résistance du soutènement hydraulique n'a pu être maintenue constante. En gros, toutefois, on peut distinguer 4 phases qui sont reproduites à la fig. 33 en même temps que la convergence moyenne, type de la section de mesure 5, soutenue hydrauliquement. Les résistances du soutènement sont indiquées pour la direction perpendiculaire aux épontes, à titre de valeurs moyennes. Les valeurs réelles varient à très court terme, de 30 % vers le bas et vers le haut. Pendant les 50 premiers jours, le soutènement hydraulique a été installé et les terrains encaissants ont été étançonnés d'une manière provisoire; la résistance du soutènement est donc inconnue. Suivent alors 4 phases au cours desquelles ont été appliquées, perpendiculairement aux épontes, les valeurs

moyennes de résistance du soutènement reproduites ci-dessous (les valeurs moyennes de résistance du soutènement dans le sens vertical figurent entre parenthèses) :

Novembre 1961 à février 1962	:	29	Mgf/m ²	(14	Mgf/m ²)
Février 1962 à juin 1962	:	13	"	(7	")
Juin 1962 à mai 1963	:	25	"	(15	")
Mai 1963 à juillet 1963	:	2-4	"	(3	")

Les observations ont ensuite été interrompues. Pendant cette période, des travaux d'exploitation ont été effectués au-dessus de la galerie de mesure, dans la taille de la veine Ernestine, à sa hauteur, dans la veine Röttgersbank 2 elle-même, et enfin au-dessous, dans la veine Luise. La distance en direction entre ces travaux et la section de mesure 5 est représentée à la figure 33 par des lignes en V, dont la partie gauche représente la distance mesurée lors de l'approche de la taille, la partie droite, la distance mesurée lors de l'éloignement de la taille après passage au même niveau, par-dessous ou par-dessus. Vingt jours après l'exploitation susjacente, dans la veine Ernestine, la convergence de toutes les sections de mesure accuse une impulsion qui est probablement imputable à ce facteur. La réduction de la résistance du soutènement de 29 à 13 Mgf/m² n'a exercé aucune influence visible, pas plus que l'exploitation sousjacente ultérieure dans la veine Luise. La diminution de la résistance du soutènement de 25 à 4 et enfin à 2 Mgf/m² obtenue vers la fin des observations à la suite du remplacement du soutènement hydraulique par des étaçons à frottement exerce en revanche, dans les sections de mesure soutenues hydrauliquement, un effet manifeste dans le sens d'un renforcement de la convergence, comme le montre également la figure 33.

Ce renforcement de la convergence donne une première indication quant à l'influence de la résistance du soutènement : elle permet de conclure que, comparativement à 2 - 4 Mgf/m², les 25 Mgf/m² ont empêché 10 % au moins de la convergence totale. Au demeurant on se heurte pour une exploitation systématique de ces données aux mêmes difficultés que pour la galerie de mesure 2, mais un certain nombre de complications s'y ajoutent en raison des influences suivantes : distance du contre-front lors de l'avancement, exploitation susjacente, exploitation sousjacente, traversée de la taille et résistance

inconnue du soutènement dans les sections n'étant pas soutenues hydrauliquement. Qualitativement, on constate que la convergence a endommagé ces sections beaucoup plus fortement que les sections soutenues hydrauliquement - comparons les figures 34 et 35 -, toutefois ce phénomène semble essentiellement imputable au fléchissement pratiquement illimité du soutènement hydraulique. La figure 36 donne sous forme de tableau un certain nombre de coefficients de convergence en fonction de l'éloignement de la taille (les mesures faites dans la section 0 n'y figurent pas en raison de leur trop courte durée). Pour les sections 3 à 8, soutenues hydrauliquement, les trois coefficients sont un peu plus faibles que pour les sections 9 à 15 et, comme les sections 1 à 2 présentent également des convergences plus élevées, il est probable que ces différences soient imputables à l'influence du soutènement hydraulique. Bien entendu, cette influence apparaît plus clairement dans la convergence antérieure au passage de la taille, laquelle n'est pourtant que de 4 à 6 cm. Mais, en tout cas, la convergence totale, qui a été de 37 cm environ pendant la période au cours de laquelle la taille s'est approchée de la galerie de 50 m et s'en est éloignée de 135 m, a été empêchée à concurrence de 10 % par le soutènement hydraulique dont la résistance au cours de cette période a été en moyenne de 13 à 25 Mgf/m^2 (phases 2 et 3, cf. ci-dessus). Cela correspond également au résultat susmentionné de la détente résultant du passage de 25 à 2 - 4 Mgf/m^2 . En revanche, on ne remarque aucune influence des rallonges télescopiques (sections 9-12). Des recherches plus approfondies sont actuellement impossibles en raison des influences extrêmement nombreuses qui s'exercent et qui sont partiellement inconnues du point de vue quantitatif.

2.25 Galerie de mesure 5

Dans le charbonnage Emil Mayrisch, une grande partie des galeries rencontre des terrains tellement boursoufflés que l'utilisation de soutènements en anneaux y est relativement répandue. En avril 1962, on a essayé d'installer une section de mesure hydraulique dans une galerie d'abattage de la veine 3 soutenue par des anneaux fermés. La veine était à faible pendage, puissante de 130 cm, se trouvait à 710 m de profondeur et était exploitée par foudroyage. Une section

expérimentale de 2 m de longueur a été étançonnée à l'aide de trois cadres hydrauliques, lesquels sont représentés à la figure 37. Pour obtenir des indications sur l'ordre de grandeur de la réduction de section, trois sections de mesure ont été tracées, la section médiane se trouvant dans la section étançonnée hydrauliquement. La résistance du soutènement pouvait y être portée temporairement à 103 Mg/m^2 ; toutefois, ce type de soutènement était tellement sensible qu'il nécessitait des réparations et modifications très fréquentes. Les observations ont donc été interrompues en novembre 1962 et le projet de soutenir hydrauliquement une section de galerie plus longue a été abandonné. Les mesures de la diminution de section ne permettent pas, en raison du nombre réduit des sections de mesure, de tirer des conclusions quant à l'effet du soutènement hydraulique. La convergence à partir de 85 m avant jusqu'à 100 m après le passage de la taille a été de 1 000 m environ et la réduction de section de $9,2 \text{ m}^2$, soit 65 % de la section initiale.

2.26 Galerie de mesure 6

Les expériences effectuées dans la galerie de mesure 2 montrent que les terrains entourant la veine H se gonflent fortement et se prêtent donc particulièrement à des recherches au moyen de cadres hydrauliques. C'est pour cette raison que la galerie de mesure 6 a également été installée dans la veine H au charbonnage Graf Bismark 2/6/9, 9e étage; elle présente les caractéristiques suivantes :

Profondeur : 880 m = 835 m au-dessous du niveau de la mer

Pendage : 2°

Puissance : 190 à 200 cm

Soutènement normal : cintres TH à trois éléments (profil en cloche, poids 32 kg/m)

Longueur de la section soutenue hydrauliquement : 5 m

Durée des mesures : février 1962 à avril 1964

Roches encaissantes : au toit, schiste en faible couche; au mur, schiste en faible couche sur 80 - 120 cm, puis la veine G de 90 cm de puissance, puis à nouveau du schiste en couche mince.

Les résultats des mesures de convergence dans cette galerie ont déjà été publiés (4).

La situation de la galerie est illustrée par la figure 38. La veine H a été creusée 6 m au nord de la partie de galerie soutenue hydrauliquement et exploitée en direction nord. La galerie de mesure est donc soumise à l'influence, variable dans le temps, de la pression supplémentaire provenant de ce chantier d'abattage. Elle subit en outre l'effet des augmentations de pression causées par un pilier résiduel abandonné, comme le montre la figure 38, 30 m plus haut dans la veine J₁, et peut-être également par une limite de massif dans la veine M, qui se trouve 70 m plus haut.

Plusieurs sections de mesure ont été installées, seules les 6 premières pouvant toutefois faire l'objet de mesures pendant une assez longue période. Leur situation est illustrée par la figure 39; les sections 5 et 6 sont soutenues hydrauliquement. La coupe de la figure 39 montre la disposition des broches dans la section et la section de galerie elle-même. Il apparaît également que l'on a fait coïncider la couronne et la sole de la galerie avec le toit et le mur de la veine G. Le soutènement hydraulique a ensuite été adapté à cette section. Cette opération présentait de telles difficultés techniques que seules des résistances du soutènement de 12 Mgf/m² perpendiculairement aux épontes et de 0,6 - 1,0 Mgf/m² parallèlement aux épontes, ont pu être obtenues. C'est pourquoi le soutènement hydraulique a été écarté, remplacé par un soutènement normal et réinstallé selon un nouveau schéma après trois mois environ, avec une force de portée accrue. Ce schéma est représenté à la figure 40 et il est reconnaissable également sur la photographie de la figure 41. La figure 42 représente la diminution de la section de mesure 5 et la résistance du soutènement en fonction du temps; la convergence a déjà fait l'objet d'une étude dans la publication susmentionnée (4). En ce qui concerne la résistance du soutènement, on peut distinguer 4 phases qui ressortent de la figure 42 :

- 1) Jusqu'au 100e jour, la contre-pression a été de + 12 Mgf/m² perpendiculairement aux épontes et 0,8 Mgf/m² environ parallèlement aux épontes.
- 2) Du 100e au 215e jour, la résistance du soutènement a été pratiquement nulle perpendiculairement aux épontes parce que le soutènement

normal installé pendant la reconstruction des cadres hydrauliques était ouvert à la sole et que celle-ci, comme l'ont montré les nivellements, est responsable en moyenne de 92 % de la convergence. La résistance du soutènement normal parallèlement aux épontes est inconnue.

- 3) Du 215^e au 805^e jour, le soutènement hydraulique renforcé a permis d'exercer, perpendiculairement aux épontes, les contre-pressions moyennes suivantes : 65 Mgf/m² jusqu'au 405^e jour et ensuite 38 Mgf/m². Parallèlement aux épontes, une contre-pression de 11 Mgf/m² a été maintenue du 252^e au 805^e jour.
- 4) Le 805^e jour, le soutènement hydraulique a été déchargé et remplacé ensuite par un soutènement normal. La situation était donc identique à celle de la phase 2. Les observations ont dû être interrompues le 840^e jour pour des raisons inhérentes à l'exploitation.

Conformément aux considérations du point 2.11 et contrairement à ce qui a été fait lors de la recherche de convergence susmentionnée (4), nous prendrons en considération dans les pages suivantes la diminution de la section de percement et non celle de la section interne. La section de percement, si l'on excepte quelques variations locales, est de 18 m². La réduction de section est relativement forte, comme on pouvait s'y attendre compte tenu de la forte pression des terrains et de la minceur des couches dans la roche encaissante. Elle s'établit ainsi après 200 et 800 jours :

dans la section de mesure 1 :	5,5 et 10,1 m ² ,
" " " " " 2 :	7,1 et 11,3 " ,
" " " " " 3 :	9,0 et 14,0 " ,
" " " " " 4 :	12,6 et 15,3 " ,
" " " " " 5 :	10,2 et 12,7 " ,
" " " " " 6 :	10,4 et 12,8 " .

Les broches de mesure ont partout été marquées et ont fait l'objet de mesures immédiatement après la mise à nu de la section considérée. Les chiffres sont donc comparables. La diminution de section après 200 jours, c'est-à-dire à un moment où les sections 5 et 6 étaient soutenues normalement, sans soutien de la sole, est d'une manière générale d'autant plus grande que la section considé-

rée est plus proche de la limite du massif de la veine H. Seule la section de mesure 4 fait exception. Après 800 jours, cette situation n'est plus guère reconnaissable; la diminution des sections 5 et 6 est plus faible comparativement aux autres et cette différence est manifestement imputable à la résistance élevée du soutènement qui est appliquée pendant cette période. L'accroissement de la diminution de section entre le 200e et le 800e jour est de ce fait atténué. Des comparaisons numériques entre les sections de mesure 5 et 6 d'une part et les autres sections, d'autre part, ne donnent toutefois pas une image claire de la situation car la distance entre la limite du massif et la veine H exerce des influences de forces diverses, dont on ne connaît pas l'ampleur.

Pour émettre une opinion sur l'influence de la résistance du soutènement, nous devons donc nous limiter aux deux sections 5 et 6, soutenues hydrauliquement. A cette fin, nous utilisons le même procédé de calcul que pour la recherche de convergence (4). Ce procédé est fondé sur deux règles fondamentales relatives aux mouvements par lesquels les terrains réagissent à une modification de la résistance du soutènement :

La première opération consiste en une diminution de la résistance du soutènement, laquelle a eu lieu en l'espèce le 100e jour. Les mouvements de terrains en direction de la cavité s'accroissent aussitôt. Il n'y a toutefois pas lieu de croire que ces mouvements - et par conséquent la diminution de section - soient plus considérables que si la résistance du soutènement avait été plus faible dès le début. Il est plutôt probable qu'ils restent plus faibles, et si on se fonde sur les conceptions théoriques admises jusqu'à ce jour, ils sont aussi importants - les terrains n'ont pas de "mémoire". Comme nous l'avons déjà fait lors de la recherche de convergence dans la galerie de mesure 2, il y aurait lieu de retenir cette dernière hypothèse selon laquelle le pourcentage empêché de réduction de section est ici utilisé, car elle offre un avantage : l'influence de la résistance supérieure du soutènement comparativement à la moins élevée peut toujours être sous-estimée, mais jamais surestimée. Du point de vue technique, une erreur éventuelle ne saurait donc compromettre la sécurité. La fig. 43 a illustré cette notion fondamentale : si la résistance inférieure A_2 avait été appliquée dès le début, la réduc-

tion de section aurait évolué selon la courbe en trait discontinu. Or, la résistance initiale plus forte A_1 a freiné cette réduction; toutefois, après le passage à la résistance plus faible A_2 , la différence précitée est atténuée progressivement et l'allure ultérieure de la courbe n'est pas influencée par les antécédents.

Nous nous trouvons donc devant l'alternative suivante : accroître ou ne pas accroître la résistance du soutènement. Il est clair que deux possibilités se présentent : ou bien la réduction de section est, au moment de l'accroissement, plus grande qu'elle ne le serait jamais devenue si une contre-pression supérieure avait été appliquée dès le début, ou bien qu'elle n'est pas encore aussi grande, mais elle l'aurait également obtenu, quoique plus tard, en cas de résistance plus élevée du soutènement. Dans le premier cas, les roches atteindront très tôt un état d'équilibre et seront peut-être même légèrement refoulées tandis que dans le second, la réduction de section se poursuivra à un rythme ralenti. L'allure de ce mouvement ralenti, indiquée par une accolade à la figure 43 b, est identique à l'allure de la courbe (en trait discontinu) qui eût été obtenue ultérieurement si la résistance supérieure A_2 avait été maintenue.

Les deux règles illustrées à la fig. 43 offrent un certain nombre d'indications quant à l'influence de la résistance de soutènement. En premier lieu, nous constatons, sur le plan purement phénoménologique, que la réduction moyenne des sections 5 et 6 peut être calculée approximativement, tranche par tranche, par des fonctions logarithmiques : selon la fig. 44, elle évolue d'une manière presque linéaire, en 3 tranches, comme fonction du logarithme $(1 + 0,015 t)$ ($t =$ temps en jours).

La première tranche dure jusqu'au 100e jour. De la pente des droites, on déduit que la réduction de section Q pendant cette période, c'est-à-dire pendant l'application d'une résistance du soutènement de 12 Mgf/m^2 perpendiculairement aux épontes et $0,8 \text{ Mgf/m}^2$ parallèlement aux épontes, obéit à l'équation :

$$Q = 16,5 \log. (1 + 0,015 t) \text{ m}^2$$

A partir du 100e jour, l'accroissement devient plus brutal et la résistance du soutènement plus faible, c'est-à-dire pratiquement

0 Mgf/m² perpendiculairement aux épointes et, en tout cas, pas plus qu'auparavant parallèlement aux épointes. Toutefois, cet accroissement plus marqué peut également être imputable au fait que l'abattage dans la veine H, qui n'avait été mené que très lentement jusqu'au 100e jour et ne s'était éloigné que de 15 mètres de la section 5, a progressé dès ce moment d'environ 1 m par jour. Il va de soi que cette circonstance intensifie les mouvements de terrains dans la galerie de mesure. Pendant les premiers temps, l'accroissement est particulièrement fort; manifestement, des déformations contenues antérieurement se manifestent alors, conformément au principe illustré à la fig. 43 a). En revanche, la dernière tranche (jusqu'au 215e jour) traversée d'une droite dans la fig. 44 semble illustrer plus clairement l'évolution de la réduction de section, qui est fonction de l'avancement des travaux et correspond à la courbe en trait interrompu de la fig. 43 a). Mathématiquement cela donne

$$Q = 18,0 \log. (1 + 0,015 t) \quad m^2.$$

En ce qui concerne la phase ultérieure, au cours de laquelle des forces de pression relativement élevées ont été appliquées, les conditions sont initialement trop compliquées pour donner une image claire : le mur a été rebanché d'environ 1 mètre, le soutènement parallèle aux épointes n'a été mis sous tension que plus tard et la force du soutènement perpendiculaire aux épointes a varié entre 57 et 73 Mgf/m² (moyenne 65 Mgf/m²). Ce n'est que pendant la dernière année, du 420e au 804e jour, que les forces de pression ont été en permanence de 38 Mgf/m² perpendiculairement aux épointes et 11 Mgf/m² parallèlement aux épointes, sans autres perturbations, exception faite évidemment de l'abattage dans la veine H. Celui-ci n'a été interrompu que le 585e jour, à environ 900 m de distance de la galerie de mesure soutenue hydrauliquement. Lorsque nous appliquons le principe illustré à la fig. 43 a) à la réduction de section entre le 420e et le 804e jour (cf. fig. 44), nous constatons que celle-ci se serait interrompue, mais beaucoup plus tard seulement, même si la résistance du soutènement avait été dès le début de 38 Mgf/m² perpendiculairement aux épointes et de 11 Mgf/m² parallèlement aux épointes. Mathématiquement, on obtient pour ce cas

$$Q = 8,8 \log. (1 + 0,015 t) \quad m^2.$$

Au cours de la 4^e phase, après la détente, les mouvements de terrain se renforcent à nouveau, ce qui ressort plus clairement de la représentation semi-logarithmique de la fig. 44 que de la représentation linéaire de la fig. 42. La durée d'observation (36 jours) est toutefois trop courte pour permettre des conclusions d'ordre quantitatif.

Pour trois situations diverses du soutènement, on possède donc l'équation de la réduction de section, dont la signification est toutefois atténuée par le fait que l'exploitation dans la veine H a exercé au cours des trois phases une influence différente, dont on ne connaît pas l'ampleur, sur cette diminution de section. Pour la 2^e phase surtout, il n'est pas possible de déterminer dans quelle mesure la réduction des forces du soutènement et le début de l'exploitation ont une incidence sur l'augmentation de la réduction de section. Pour tirer des conclusions aussi sûres que possible, il ne faudrait donc comparer que la 1^{ère} et la 3^e phases. Au cours de la 1^{ère} phase, la pression supplémentaire résultant des travaux d'exploitation ne peut pas encore avoir été très élevée, les travaux n'ayant avancé que de 15 m pendant ces 100 jours. Au cours de la 3^e phase, compte tenu de l'extension qu'avait prise entre-temps le champ d'abattage, elle a sans doute été plus forte. Si le champ d'abattage avait eu cette extension dès le début des mesures, la réduction de section initiale aurait certainement été plus forte. D'après la 1^{ère} équation, elle aurait été de 18 m^2 après 750 jours, c'est-à-dire que la galerie eût été complètement fermée. En cas d'extension complète du champ d'abattage, cette situation se serait encore présentée plus tôt. Selon la 3^e équation, il reste encore après 750 jours $8,5 \text{ m}^2$, soit 47 % de la section. Il en résulte donc que, pour une résistance du soutènement de 12 Mgf/m^2 perpendiculairement aux épontes et $0,8 \text{ Mgf/m}^2$ parallèlement aux épontes, la galerie se serait complètement rebouchée au plus tard après 750 jours, tandis que pour une résistance du soutènement de 38 Mgf/m^2 perpendiculairement aux épontes et 11 Mgf/m^2 parallèlement aux épontes, 47 % au moins de la section de percement auraient subsisté. Comme cette résistance du soutènement n'a été exercée que sur une distance de galerie de 5 m, son influence doit être plus forte encore dans la réalité. D'autre part, la résistance du soutènement

au cours de la lère phase est plus forte que celle du soutènement ouvert du type TH et semble se rapprocher de celle d'un soutènement en anneaux fermés.

La recherche relative à la convergence moyenne (4) effectuée dans cette galerie de mesure, et qui a déjà été publiée, offre une image semblable. A partir des observations, il est possible de déduire des fonctions convergence-temps selon le même procédé de calcul que celui qui vient d'être décrit. Pour la 3e phase, on obtient même deux fonctions, car il est possible d'établir une distinction, sur le plan de la convergence, entre la lère tranche au cours de laquelle une résistance du soutènement de 65 Mgf/m^2 a été appliquée perpendiculairement aux épontes et la 2e, où la contre-pression a été de 38 Mgf/m^2 . Les différentes fonctions sont représentées à la fig. 45. On ne reconnaît ici également l'incidence exclusive de la résistance du soutènement qu'en comparant la lère et la 3e phases (tranche de 38 Mgf/m^2). Pour la lère, la convergence après 750 jours est de 2 240 mm, pour la 3e de 1 600 mm, c'est-à-dire une diminution d'environ 30 % contre 47 % environ pour la réduction de section. La différence entre ces pourcentages correspond à la part du rapprochement des épontes dans la réduction de section.

Le résultat pratique de cette recherche peut donc se résumer ainsi : une galerie qui, pourvue d'un soutènement fermé de force moyenne, se serait entièrement rebouchée après environ 2 ans, ne serait réduite que de moitié après cette période si le soutènement était renforcé dans toutes les directions.

2.27 Galerie de mesure 7

La galerie de mesure 7 était destinée, comme la galerie de mesure 3, à observer les conditions de pression et de mouvement du remblai dans une galerie de base d'une veine en dressant. Le lieu de l'expérience est la veine Schöttelchen du siège Scharnhorst, 5e étage (voir également fig. 46).

Profondeur : 420 m = 350 m sous le niveau de la mer

Pendage : 75°

Puissance : 100 cm en moyenne, dans la zone de la galerie de mesure
65 cm

Exploitation par béliet avec remblai en porte-à-faux, renversement en moyenne 15g

Soutènement normal : cintres à 4 éléments (acier de mine, poids 32 kg/m)

Longueur de la section de galerie pourvue d'un soutènement hydraulique du toit : 8 m

Durée des mesures : février 1962 à janvier 1963.

Roches encaissantes : au toit, grès, au mur 30 cm de terrain à stigmaries, puis schiste.

La fig. 47 montre la section et la fig. 48 une photographie de la galerie de mesure. Le remblai est soutenu comme dans la galerie de mesure 3 au moyen de plaques d'appui et d'étauçons hydrauliques et, comme dans la galerie précitée, les mesures ont porté sur la pression du remblai, le fléchissement de la couronne et la convergence. Après deux mois seulement, il a été possible de maintenir la pression du remblai constante à environ 750 kgf/m^2 pour un fléchissement peu important de l'étauçon hydraulique. La charge et le fléchissement des trois plaques de mesure ne différaient que de 10 % au plus. La pression de 750 kgf/m^2 a été maintenue pendant 10 mois, jusqu'à la fin des observations, avec quelques variations peu importantes. Pendant la période d'observation de 12 mois au total, les plaques de mesure n'ont cédé que de 4 cm et la convergence, pour la même période, a été de 4 cm également. La fig. 49 montre les résultats des observations pour les 8 premiers mois.

On peut conclure de ces observations et de celles effectuées dans la galerie de mesure 3 que la couronne de remblai est soutenue d'une manière sûre lorsque les éléments du soutènement ne fléchissent que dans une faible mesure alors que les forces de soutènement sont relativement faibles. Le remblai exerce une double pression sur le soutènement :

- a) l'une provenant de son propre poids;
- b) l'autre résultant de la convergence qui le comprime perpendiculairement aux éponges.

Aussi, dès que son frottement interne est surmonté, le remblai est comprimé en direction de la galerie parallèlement aux éponges; il est en quelque sorte "laminé".

La première composante est d'autant moins forte que le pendage de la veine est plus faible et elle devient égale à 0 dès que le pendage est inférieur à l'angle de frottement entre le remblai et le mur. Elle fait donc défaut en cas de gisement en plateure; c'est pourquoi, dans ce cas, la deuxième composante est en règle générale plus importante, la convergence étant plus marquée qu'en cas de fort pendage.

Les observations effectuées dans les galeries de mesure 3 et 7 montrent qu'il est opportun de tolérer ce processus de "laminage". Dès qu'on essaie de le freîner, la pression s'accroît très fortement, comme le montrent les diagrammes des fig. 27 et 49 et elle finira par détruire le soutènement. Si le soutènement est de nature à s'infléchir, il ne doit supporter que la première composante, le poids du remblai : le mouvement de "laminage" qui n'est que de quelques centimètres n'entraîne aucune perte sensible de section. Il n'est donc pas opportun de soutenir une couronne en remblai au moyen d'un soutènement rigide comme ce fut le cas dans la galerie de mesure 3, pourvue d'un soutènement normal. Les étaçons en acier sont pliés par le remblai "laminé" et sont souvent endommagés. Selon les mesures dont on dispose, des étaçons télescopiques légers d'une résistance du soutènement de 5 à 10 Mgf/m^2 semblent tout à fait suffisants pour supporter la couronne en remblai sans se détériorer. En tout état de cause, la résistance du soutènement requise dépend du pendage et de l'épaisseur de la cavité remblayée dans la veine, mais il est évident qu'il n'est guère possible de déterminer la nature de ce rapport à l'aide des deux seuls exemples d'observation dont on dispose. Il y a donc lieu de déterminer d'une manière théorique, selon la statique des milieux granuleux, les composantes-poids d'un remblai, en fonction du pendage et de l'épaisseur de la cavité remblayée. Une telle analyse est actuellement en cours et sera publiée prochainement.

2.28 Galerie de mesure 8

Comme les galeries de mesure 2 et 6, la galerie de mesure 8 est installée dans la veine H. Son montage n'a été terminé qu'il y a 6 mois et les observations en sont encore au stade initial. Un rapport succinct à leur sujet ne sera possible que d'ici un ou deux ans.

Les observations faites jusqu'à présent montrent à nouveau qu'un accroissement de la résistance du soutènement limite considérablement la réduction de section due à la déformation et à l'ameublissement des terrains.

3. La convergence dans les galeries d'abattage

3.1 Nature des recherches

Les recherches relatives à la convergence dans les galeries d'abattage se fondent essentiellement sur les travaux approfondis et détaillés du groupe de travail français (1) (2). Nous empruntons à ces travaux les six principes suivants relatifs à l'évolution de la convergence dans les galeries en plateau :

1. En cas d'exploitation d'une veine qui n'est pas influencée par d'autres travaux miniers, la convergence des galeries d'abattage est fonction de la puissance de la couche, de la nature du remblai et de la distance de la taille.

2. La convergence est proportionnelle à la puissance W de la couche.

3. La convergence est proportionnelle à un facteur de remblai q qui est,

en cas de foudroyage	$q = 1,0$
en cas de remblayage pneumatique	$q = 0,5$
en cas de remblayage hydraulique	$q = 0,3$.

4. La convergence est proportionnelle à un facteur K qui dépend du fait que la paire de points observée se trouve au parement ou au milieu de la galerie. En cas d'abattage en une seule aile (la relevée suivante est encore en place) ce facteur est, pour la convergence au parement côté taille :

en cas de foudroyage avec barrage en galerie	$K = 0,6$
en cas de remblayage complet	$K = 0,6 - 0,9$.

(1) Schwartz, B., Chambon, C., Decomps, J. et Viallet, F. : Préviation des convergences dans les voies influencées par les tailles qu'elles desservent. Rev. ind. min. 44 (1962), p. 621/654.

(2) Voir note au bas de la page 16.

5. La convergence est proportionnelle à une fonction empirique $F(d)$ dont la valeur dépend de la distance séparant le front de taille de la paire de points observée. En cas d'abattage en une seule aile en champ vierge, on a obtenu pour le parement côté taille les valeurs suivantes (d négatif avant le passage de la taille, ensuite positif) :

d m	-50	-30	-20	-10	+10	+20	+30	+50	+100	+200	+300
$F(d)$	0,02	0,04	0,05	0,07	0,49	0,59	0,64	0,72	0,82	0,92	0,98

Cette fonction est représentée à la fig. 50, l'amplitude se situant entre $d = -100$ et $d = +400$. Entre $d = -10$ et $+10$, la fonction est indéterminée et ne se prête pas au calcul de la convergence.

Pour la convergence $C_{d_1}^{d_2}$ survenant lorsque la taille passe de d_1 à d_2 , on applique l'équation :

$$C_{d_1}^{d_2} = K \cdot q \cdot W \cdot [F(d_2) - F(d_1)]$$

Lorsque le front de la galerie a progressé de moins de 30 m, il faut encore tenir compte de l'influence du creusement de celle-ci, dont le calcul n'est toutefois pas possible sans mesures préalables.

6. La convergence au milieu de la galerie est approximativement proportionnelle à celle du parement côté taille.

Ce sont donc les galeries en plateure exploitées en une seule aile, où la relevée suivante est encore en place et qui ne sont pas influencées par aucun autre chantier d'exploitation, qui offrent les meilleures possibilités de comparaison entre mesures et calculs. C'est pour la paroi côté taille que le calcul de la convergence peut être effectué avec le plus d'exactitude et en l'espèce, on peut attendre le meilleur résultat en cas de foudroyage avec barrage en galerie, parce qu'on sait que $K = 0,6$ (contrairement au remblayage complet où K doit se situer entre 0,6 et 0,9). La convergence probable entre deux points d'avancement de la taille d_1 et d_2 est pour ce cas :

$$C_{d_1}^{d_2} = 0,6 W [F(d_2) - F(d_1)]$$

le facteur q étant égal à 1,0 en cas de foudroyage.

Nos efforts ont maintenant pour objet de mesurer le plus de convergences possible dans les conditions pour lesquelles cette équation de convergence a été établie et de contrôler ainsi la possibilité d'utiliser cette dernière. Il est apparu que des galeries réunissant intégralement ces conditions sont relativement rares dans le bassin de la Ruhr. Cette circonstance est essentiellement imputable au fait qu'il n'existe que peu d'endroits où la pression et les mouvements de terrains ne sont pas influencés par d'autres travaux. C'est pourquoi nous ne possédons aujourd'hui que pour 8 galeries des résultats de mesure comparables aux calculs effectués en fonction de l'équation précitée.

Certains experts estiment de surcroît qu'il est insuffisant de ne calculer la convergence que pour la partie de la galerie du côté de la taille, car c'est essentiellement la réduction de l'ensemble de la section interne de la galerie qui intéresse l'exploitant. Nous tenons compte de cette exigence si nous mesurons, outre la convergence d'une paire de points, la réduction de la section interne de la galerie. Cette opération a lieu par le procédé photographique ⁽¹⁾, de la manière suivante :

Une croix de mesure constituée de deux lattes de 1 m de long disposées perpendiculairement est suspendue à la couronne de la section à calculer. Les 4 extrémités de cette croix sont recouvertes d'une substance réfléchissant la lumière. Le périmètre de la section interne est marqué à la craie et photographié ensuite en même temps que la croix de mesure. La fig. 51 montre une telle photographie prise avant le passage de la taille et la fig. 52, après le passage de la taille. La croix de mesure, dont les dimensions sont connues, joue dans ces images le rôle d'une échelle et il est facile de calculer la variation d'une section photographiée à intervalles différents en comparant les photographies, même si celles-ci ont été prises à des distances différentes.

(1) Cf. Skutta, E. : Planmäßige gesteinsmechanische Untersuchungen des Schichtenverbandes von Karbongesteinen auf dem Steinkohlenbergwerk Emil Mayrisch. Thèse, Aix-la-Chapelle, 1963.

Cette opération s'effectue, soit par planimétrie des sections apparaissant sur les différentes photographies et par calcul dans chaque cas de leur grandeur absolue à l'aide de l'échelle, soit par reproduction de toutes les photographies de telle manière que la croix de mesure apparaisse partout dans les mêmes dimensions et ensuite par planimétrie de la réduction de section après superposition des photographies. Il est alors possible de déterminer la grandeur et la forme de la section pour diverses situations de la taille et de représenter cette section, comme la convergence, en fonction de ces situations. Ces mesures ne permettent toutefois pas encore de tirer des conclusions de caractère général; c'est pourquoi nous ne ferons état ci-après que des résultats des mesures de convergence effectuées dans les huit galeries mentionnées.

3.2 Résultats des observations et calculs comparatifs

Les recherches ont débuté en août 1964 et se sont soldées jusqu'à présent par les résultats suivants :

Galerie N° 1, siège Auguste Victoria, veine Katharina, profondeur 1 010 m, puissance 200 cm, pendage 12⁸, foudroyage avec barrage en galerie, toit et mur en schiste.

La convergence a été mesurée à partir de 8 m environ avant jusqu'à partiellement 270 m après le passage de la taille. En moyenne, elle a été entre - 8 et + 130 m de 930 mm, tandis que les calculs sur la base de la deuxième équation donnent 936 mm, ce qui constitue donc une très bonne concordance. Comme la galerie était en avance de moins de 30 m, il fallait encore ajouter à la convergence calculée la part de réduction due au creusement de la galerie (voir ci-dessus), laquelle part n'est pas connue. De toute manière, après le passage de la taille, la convergence est à l'abri de cette influence de telle manière qu'on peut procéder à des comparaisons valables. C'est pourquoi le deuxième chiffre, dans le tableau reproduit à la figure 53, représente la convergence entre + 10 et + 130 m. Celle-ci concorde également d'une manière satisfaisante avec la convergence calculée.

Résultat : La convergence totale concorde avec la valeur calculée, bien qu'elle ne commence qu'à - 8 m, où la fonction de convergence

ne se prête pas au calcul (cf ci-dessus), et bien que la galerie soit en avance de moins de 30 m. La convergence après le passage de la taille correspond également aux valeurs calculées.

Galerie 2, siège Emscher-Lippe, veine Robert, profondeur 710 m, puissance 209 cm, pendage 29⁸, foudroyage avec barrage en galerie.

Au toit 6 m de schiste, ensuite 10 m de grès, au mur schiste. Les paires de points se trouvent 20 à 30 m avant une faille traversant en diagonale où la galerie fait un coude. Les nouveaux travaux d'abattage restent confinés en amont de la faille, de telle sorte que la taille devient toujours plus courte.

Il résulte de cette forme de chantier que les paires de points de convergence après le changement de direction des travaux d'exploitation sont influencées plus faiblement que si ceux-ci avaient continué à progresser en ligne droite. C'est pourquoi nous ne pouvons nous référer à des fins de comparaison qu'aux convergences mesurées avant le changement de direction. Or, celles-ci n'ont été observées essentiellement que pour des situations de taille entre - 10 et + 10 et ne sont donc pas comparables elles non plus. Ce n'est que pour la paire de points la plus éloignée du coude qu'il existe une possibilité de comparaison : il s'agit de $C_{+11}^{+29} = 134$ mm contre 150 mm d'après les calculs.

Résultat : la seule comparaison valable se solde par un résultat satisfaisant; au demeurant, le changement de direction de la galerie donne lieu à des convergences plus faibles et ne permet pas de comparaisons.

Galerie N° 3, siège Schlägel und Eisen, veine P, profondeur 860 m, puissance 206 cm, pendage 8⁸, foudroyage avec barrage en galerie. Au toit 4 m de schiste, ensuite 10 m de grès, au mur schiste et charbon. La convergence a été mesurée à la fois dans la voie de tête et dans la voie à convoyeur, sur la paroi se trouvant du côté de la taille; dans les deux cas, la hauteur exploitable voisine était encore présente. Compte tenu d'une faible dispersion, la convergence est moins forte que ne l'indiquent les calculs; avant le passage de la taille, il arrive qu'elle ne produise pas du tout et peu avant le passage,

on rencontre même des valeurs de convergence négatives, c'est-à-dire des accroissements au lieu de réductions de la distance entre les différents points. En moyenne, comme le montre la figure 53, la convergence totale ne représente que le 0,47e et la convergence après le passage de la taille le 0,69e de la valeur calculée.

Résultat : le calcul indique des convergences trop fortes : pour la convergence après le passage de la taille, l'écart se situe peut-être encore dans les limites acceptables.

Galerie N° 4, siège Hugo, veine H_1/H_2 , profondeur 490 m, puissance 213 cm, pendage 20^e, foudroyage avec exploitation en rabattant, roches encaissantes schisteuses. Les paires de points pour la mesure de la convergence ne sont pas marquées sur la paroi côté taille mais au milieu de la section de la galerie. Selon les recherches françaises, les soulèvements du mur constatés grâce à ce marquage constituent jusqu'à 50 % de la convergence. Si on suppose donc, eu égard au procédé de calcul, que 50 % de la convergence consistent en soulèvement du mur et que les 50 % restants représentent la valeur calculée, on obtient une convergence exactement double de celle à laquelle on pouvait s'attendre sur la base de l'équation précitée. C'est selon cette directive que les convergences ont été calculées mais elles ne représentent cependant que 20 à 25 % des valeurs mesurées, comme le montre également le tableau.

Résultat : Dans cette galerie exploitée en rabattant, la convergence est égale à 4,5 fois la convergence maximale que laissent prévoir les calculs.

Galerie N° 5, siège Rheinpreussen, veine Zollverein 1, profondeur 480 m, puissance 80 cm, pendage 4^e, foudroyage avec barrage en galerie, roches encaissantes schisteuses. Cette galerie est également en avance de moins de 30 m (25 m au maximum), mais le calcul rend correctement la convergence totale. En moyenne (cf. figure 53), la différence n'est que de 10 %. La convergence après le passage de la taille est, en règle générale, plus élevée (1,7 fois) en moyenne que la convergence calculée.

Résultat : La convergence totale correspond à la valeur calculée, la convergence après le passage de la taille est 1,7 fois plus forte que cette dernière.

Galerie N° 6, siège Ewald 1/7, veine Q, profondeur 920 m, puissance 230 cm, pendage 5^g, remblayage pneumatique, roches encaissantes schisteuses. Le facteur K nécessaire au calcul de la convergence en cas de remblayage pneumatique n'étant pas connu avec précision, aucune comparaison valable n'est possible. En outre, les paires de points sont placées approximativement au milieu de la galerie et non pas sur la paroi côté taille. Entre - 10 et + 50, on a observé une convergence moyenne de 860 mm. Le calcul donne 900 mm lorsque $K = 0,6$ et 1 350 mm lorsque $K = 0,9$. Ces chiffres ne figurent pas au tableau de la fig. 53.

Galerie N° 7, siège Emil Mayrisch, veine N, profondeur 650 m, puissance 100 cm, pendage 9^g, foudroyage avec barrage en galerie, roches encaissantes schisteuses.

Résultat : La convergence totale est égale à 80 % de la valeur calculée; pour la convergence après le passage de la taille, on peut dire qu'il y a pratiquement concordance. Dans l'ensemble, le résultat est satisfaisant.

Galerie N° 8, siège Emil Mayrisch, veine 13, profondeur 750 m, puissance 130 cm, pendage 13^g, foudroyage avec barrage en galerie, roches encaissantes schisteuses.

La galerie était en avance jusqu'à 90 m. Avant le passage de la taille, la convergence est 2 à 9 fois plus importante que ne l'indiquent les calculs mais même après le passage de la taille, elle est encore environ deux fois aussi importante. Pendant le passage de la taille en revanche, l'accroissement est relativement faible, aussi la convergence totale (cf. tableau) n'est-elle égale qu'à 1,65 fois la valeur calculée.

Résultat : Les convergences calculées sont en règle générale trop faibles; l'allure générale des courbes convergence/distance de la taille ne correspond pas à celle que donnent à prévoir les calculs.

3.3 Appréciation des résultats

Il est clair que les conditions que doivent réunir les galeries d'abattage pour se prêter à un calcul de routine de la convergence, pour la paroi du côté de la taille, sont :

1. pendage de la couche jusqu'à 33⁸;
2. exploitation en une seule aile, la hauteur exploitable suivante étant encore présente;
3. aucune influence d'autres travaux d'exploitation;
4. exploitation par foudroyage avec barrage en galerie;
5. allure approximativement rectiligne.

Ces conditions sont réunies pour les galeries d'abattage Nos. 1, 3, 5, 7 et 8. Toutefois, seule une part des mesures et des calculs donne des résultats concordants. Il y a concordance pour les galeries N° 1 et N° 7, ainsi que pour la galerie N° 5 avant le passage de la taille; en revanche, pour la galerie N° 3, la convergence calculée est trop forte; pour la galerie N° 8 et pour la galerie N° 5 après le passage de la taille, elle est trop faible. Le calcul ne donne donc des convergences correctes que pour la moitié de ces galeries.

Ces recherches ne sont pas suffisamment étendues pour déterminer le pourcentage de galeries du bassin de la Ruhr réunissant les conditions requises pour l'application du procédé de calcul. Mais elles montrent que des différences considérables se manifestent qui vont à l'encontre de certains des six principes relatifs à l'évolution de la convergence, énoncés au point 3.1.

Le fait que de telles différences n'apparaissent guère dans les bassins charbonniers français et sarrois semble indiquer que la cause réside dans certains facteurs caractéristiques du bassin de la Ruhr. Si on recherche ces facteurs, on se heurte à deux caractéristiques : la présence de grès et les différences de profondeur. Le massif charbonnier de la Ruhr contient des couches de grès épaisses et consistantes dont l'expérience a révélé qu'elles risquaient assez fréquemment d'occasionner des coups de terrain lors de l'exploitation de veines voisines. Aucun coup de terrain n'ayant encore été observé dans les mines sarroises et lorraines, il est probable qu'il n'y existe aucun banc de grès de cette nature, capable de supporter une charge. De tels bancs de grès surincombants s'affaissent moins au-dessus des galeries que des couches schisteuses et cette différence de comportement se traduit par une convergence plus faible.

Certaines observations confirment cette opinion ^{1) 2)}, et il est vraisemblable que la faible convergence de la galerie de mesure N° 3 s'explique également par la haute résistance du banc de grès de 10 m de puissance, dans le toit supérieur.

En règle générale, les profondeurs dans le bassin de la Ruhr présentent des différences inhabituelles et elles s'échelonnent pour les 8 galeries entre 480 et 1 010 m. Si, en outre, on tient également compte du fait que les terrains environnants présentent pour chaque galerie une structure différente, on comprend que le rapport entre la pression des terrains et leur résistance varie dans des limites relativement étendues. On pourrait attendre des différences correspondantes dans l'importance de la part de déformation visée au point 2.13; aussi, tant qu'on ne tient pas compte tout au moins de l'influence de la profondeur, il semble qu'on ne puisse comparer entre elles que des mesures de convergence prises à des profondeurs à peu près identiques.

Si les différences constatées étaient imputables au fait que la résistance des terrains comme la profondeur d'exploitation dans le bassin de la Ruhr varient dans des limites particulièrement larges, il faudrait encore incorporer dans le calcul de convergence des facteurs de conversion tenant compte de ces influences. De tels facteurs de correction, semblables à ceux qui ont déjà été établis pour les différents types de remblai, ne peuvent être calculés que sur la base d'observations plus étendues que celles qui ont été faites jusqu'à présent. C'est pourquoi les spécialistes poursuivent les mesures.

1) Hoffmann, H. : Messungsergebnisse in einem gebirgsschlaggefährdeten Flöz. Glückauf 87 (1951), p. 101/113.

2) Bräuner, G. : Zur Beurteilung und Bekämpfung der Gebirgsschläge im Ruhrbergbau. Bergbau-Archiv 25 (1964), H.5, p. 1/14.

4. Résistance des piliers et tension de la couronne dans l'exploitation par piliers longs abandonnés

4.1 Définition de la tâche à accomplir

Dans l'exploitation par piliers longs abandonnés, on laisse intactes à intervalles réguliers de petites parties des gisements, les "piliers", qui supportent les terrains susjacents et remplacent remblai et soutènement. En règle générale, on s'efforce en l'espèce de réduire au maximum les pertes à l'abattage, c'est-à-dire de laisser un pourcentage aussi faible que possible du contenu du gisement sous forme de piliers; mais, dans chaque cas, les dimensions et l'agencement des piliers doivent être tels que les terrains soient soutenus d'une manière sûre. Cette nécessité implique les deux conditions suivantes :

- 1) les piliers doivent être suffisamment forts pour supporter la charge que soutenait la partie exploitée de la veine et
- 2) doivent être suffisamment rapprochés les uns des autres pour que les couronnes en porte-à-faux ne s'effondrent pas dans les intervalles.

Pour pouvoir mesurer et agencer les piliers conformément à ces exigences, tout en ayant le minimum de pertes à l'abattage, l'exploitant doit savoir :

- a) quelles tensions se manifesteront dans les piliers et les couronnes s'il respecte le schéma d'exploitation prévu et
- b) quelles tensions les piliers et couronnes pourront supporter.

Pour calculer notamment la résistance d'un pilier de dimensions données, il doit connaître la résistance à la compression du matériau dont celui-ci est composé. Or, cette résistance, pour de nombreux types de roches comme notamment le charbon et différents minerais, n'est pas une constante, mais est fonction de la grosseur de l'éprouvette sur laquelle elle est mesurée. Le calcul de la résistance à la compression valable pour les piliers constitue donc l'une des tâches les plus importantes et les plus difficiles à résoudre pour apprécier la force portante des piliers de charbon et de minerai. Cette tâche a fait l'objet des recherches ci-dessous mentionnées. Les chercheurs ont élaboré un procédé de mesures pour calculer

la résistance à la compression et l'ont appliqué dans les chantiers d'exploitation par piliers abandonnés de la mine de fer Nammen-Wohlverwahrt. Au cours des recherches, ils ont également mesuré les variations de tension aux couronnes. Le programme de recherche est décrit en détail dans l'annexe au 6e rapport intérimaire du 21.9.1964 adressé par le Steinkohlenbergbauverein à la Haute Autorité; d'autres détails et résultats ont été publiés depuis lors (5). Nous nous limitons donc ici à un exposé succinct des recherches et de leurs principaux résultats.

4.2 Procédé de calcul de la résistance à la compression

Les essais au banc ont montré que la résistance à la compression d'un échantillon de charbon ou de minerai de forme cubique diminue lorsque la longueur des arêtes s'accroît, selon une fonction de type hyperbolique comme celle représentée schématiquement à la fig. 54 ¹⁾. La diminution de la résistance devient donc de plus en plus faible pour les grandes arêtes et, lorsque celles-ci atteignent une dimension suffisante, elle finit par être tout à fait négligeable. En ce qui concerne la force portante des piliers naturels, cette résistance minimale est en tout état de cause décisive. Il s'agit donc de déterminer à partir de quelle longueur d'arête la résistance du cube à la compression reste pratiquement constante; on connaît alors la grosseur du cube permettant de calculer la résistance exacte à la compression. On peut y parvenir en soumettant des cubes d'essai d'arêtes toujours plus grandes à un essai de pression uniaxiale. Il va de soi que des cubes de faible taille dont les arêtes sont inférieures à 20 cm peuvent en règle générale être facilement prélevés et transportés; ils peuvent donc faire l'objet d'un essai de compression sur une presse en laboratoire. En revanche, des cubes de plus grande taille ne peuvent être extraits que difficilement d'une manière complète et en bloc homogène, d'un matériau comme par exemple le charbon, traversé de nombreux clivages, et il est plus difficile encore de les transporter sans qu'ils se désagrègent. La meilleure façon de les conserver intacts est de laisser une de leurs faces, en règle générale la face intérieure, en communication avec le rocher et de ne découvrir que les cinq autres faces. L'essai de compression est alors effectué in situ.

Cf. par ex. Steart, F.A. : Strength and stability of pillars in coal mines. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa 1954, p. 309/325.

Par ailleurs, le résultat d'un essai de compression dépend essentiellement de la manière dont la charge externe exerce son action. Les conditions y afférentes doivent être identiques pour les essais au banc et in situ si l'on veut que les résultats soient comparables. La particularité de l'essai au banc réside dans le fait que les deux plaques comprimant le cube restent toujours parallèles et que par conséquent le cube est raccourci d'une manière régulière sur ses quatre faces jusqu'à ce que la fracture s'opère. Quant à l'essai in situ, il se caractérise par le fait que la face restant en contact avec le rocher n'autorise qu'un allongement transversal très faible. Cette situation correspond également aux conditions normales; un véritable pilier n'est-il pas intimement soudé à la roche par deux de ses faces opposées ? Les essais in situ doivent donc être effectués de telle manière que, d'une part, l'allongement transversal à l'extrémité libre du cube reste aussi faible qu'à l'extrémité scellée et que, d'autre part, les quatre faces soient comprimées de la même manière pendant l'essai de compression. En conformité avec ces exigences, les essais au banc doivent être effectués de telle manière que l'allongement transversal aux deux extrémités soit entravé de la même manière que pour les essais in situ. Les autres conditions externes d'essai comme la vitesse de charge doivent aussi être identiques et les roches prévues pour l'essai au banc doivent être enveloppées d'un emballage étanche à l'air immédiatement après leur prélèvement afin de préserver leur humidité initiale.

Les échantillons pour les essais au banc ne sont pas découpés exactement en forme de cubes, les bords étant, dans le sens de la charge, plus longs de 2 cm que dans le sens horizontal. Pour éviter l'allongement transversal, ces échantillons sont insérés aux deux extrémités dans des évidements de forme carrée, profonds de 1 cm, pratiqués dans des plaques de pression en acier, de telle sorte que la partie restant libre ait, elle, la forme cubique. Une telle plaque de compression est représentée à la fig. 55. La fente entre les bords de son évidement et l'échantillon ne peut excéder 1 mm. Là où elle est supérieure, elle est comblée au moyen de bandes de tôles en acier. Toutes les fentes sont cimentées à l'aide de résine synthétique. Techniquement, il n'est guère possible d'empêcher l'allongement transversal exactement dans la même mesure que le permet l'imbrication

in situ; un certain contrôle pour une concordance au moins approximative est toutefois possible à l'aide du cliché de foudroyage. Après la cassure et lorsque l'essai a été effectué de la manière appropriée, le cube d'essai présente en son milieu un rétrécissement, comme le montre par exemple la figure 56. Lorsque la presse expérimentale est pourvue d'un joint à rotule, celui-ci doit être immobilisé de telle manière que le cube d'essai soit comprimé dans la même mesure sur les quatre faces.

Lors des essais in situ, les forces requises pour comprimer l'échantillon doivent être exercées à l'endroit même où ce dernier se trouve. A cet effet, on a recours, selon l'élasticité du matériau, à des étançons hydrauliques qui transmettent leur pression à l'échantillon par l'intermédiaire d'une plaque de fer, ou à des boîtes de pression. Pour du matériau à la fois peu compressible et rigide, on a mis au point des coussins de pression spéciaux qui, pour des pressions jusqu'à $1\ 500\ \text{kgf/cm}^2$, doivent avoir une course de travail de 2 cm (*). Nous indiquons à titre d'exemple l'agencement utilisé pour un essai in situ sur un cube de minerai de fer d'un mètre d'arête, pour lequel de tels coussins de compression ont été utilisés.

Comme le montre la figure 57, le cube d'essai est encore rattaché au rocher par sa face supérieure, mais la disposition n'est pas différente lorsqu'au contraire c'est la face inférieure qui reste ancrée au rocher et la face supérieure qui est libre. Le support est constitué soit par des roches naturelles, soit par du béton armé. Dans ce support est incorporée une plaque en acier lisse ("plaque de butée" dans la fig. 57), sur laquelle reposent les coussins de compression. Dans l'exemple considéré, neuf coussins de compression sont utilisés, dont l'agencement est illustré à la fig. 57. Ils sont montés de telle manière que la pression de chaque coussin puisse être réglé séparément. En cas de fortes pressions, il est opportun de compenser les différences de déformation par une plaque intermédiaire aussi rigide que possible, qui est constituée dans l'exemple de la fig. 57 par deux couches de fer plat. La connexion avec la face inférieure du cube d'essai est assurée par une deuxième plaque de compression en acier

(*) de Reeper, F. : Anordnung und Durchführung von Druckversuchen in situ bis $2\ 000\ \text{kg/cm}^2$. 1er Congrès international sur la mécanique des roches, Lisbonne 1966.

lisse et l'extrémité inférieure du cube est emprisonnée par une bague de serrage en acier. Cette bague de serrage a pour objet d'empêcher l'allongement transversal dans la même mesure qu'à l'extrémité soudée à la roche.

On obtient ce résultat soit par un colmatage des joints comme pour les essais au banc, soit en insérant, comme dans le cas de la fig. 57, des coussins de compression spéciaux de forme allongée entre la bague de serrage et les quatre faces du cube. Ces coussins de compression sont raccordés à une pompe spéciale qui règle la pression latérale pendant l'essai de telle manière que l'allongement transversal soit de même grandeur qu'à l'extrémité du cube soudée à la roche. La commande de la pression axiale exercée par les neuf coussins de compression pendant l'essai s'effectue selon le schéma de la fig. 58, étant bien entendu que la compression du cube doit en tout temps être aussi forte sur les quatre faces. La compression est donc continuellement contrôlée sur les quatre faces; à cette fin, on peut utiliser des bandes de mesure des extensomètres ou des appareils mécaniques de mesure en parcours. Pour des roches peu compressibles, la compression doit être mesurée à 0,01 mm près.

4.3 Calcul de la résistance à la compression du minerai de fer de la mine Nammen-Wohlverwahrt

Le procédé décrit ci-dessus a été appliqué au minerai de fer de la mine Nammen-Wohlverwahrt (Barbara-Erzbergbau G.m.b.H.) parce que c'est là que sont réunies les conditions les plus favorables pour effectuer les essais sans encombre et pour mettre le procédé au point jusqu'à ce qu'il soit utilisable sur le plan industriel.

Il s'agit en l'espèce du minerai de fer calcaire du "Klippenflöz". Les échantillons ont été détachés de cette roche par foration trou à trou, car ils eussent été trop aisément détériorés par le minage. Le procédé est décrit plus en détail dans la publication (5). Au total, 18 cubes ont été soumis à l'expérience dont un de 5 cm, 4 de 10 cm, 6 de 20 cm, un de 30 cm, 4 de 40 cm et 2 de 100 cm d'arête. Parmi ceux-ci, le cube de 30 cm d'arête, deux des cubes de 40 cm d'arête et les deux cubes de 100 cm d'arête ont été comprimés in situ, les autres au banc. Les essais in situ ont été effectués en partie au moyen des presses formées d'étauçons hydrauliques décrites dans la publi-

cation (5), en partie au moyen de coussins de compression selon le schéma décrit ci-dessus. Lors de l'intégralité des essais, la charge a été accrue en au moins 5 phases d'importance égale, de manière à ce que la cassure ait lieu 2 heures environ après le début de l'essai. La figure 59 montre un cube de 1 m d'arête préparé pour un essai in situ, qui est resté soudé à la couronne et est comprimé par des coussins de compression. Pour observer la compression et l'allongement transversal, on utilise des appareils mécaniques d'une sensibilité de 0,01 mm, qu'on peut distinguer sur les faces du cube; en outre, on remarque dans le sens axial des extensomètres à raison d'un supplémentaire par face. Après foudroyage, le cube présente l'aspect illustré par la figure 60 : les fissures ne sont pas visibles - les lignes blanches représentent des enchevêtrements calcaires -, mais le cube est entièrement détruit et extérieurement on remarque à nouveau le rétrécissement typique dans la zone centrale.

Les résultats des recherches relatives à la résistance à la compression sont représentés à la fig. 61. On voit que, conformément à la fig. 54, la résistance décroît lorsque la grosseur de l'échantillon augmente, selon une fonction dont l'allure est indiquée par la ligne en trait interrompu. On peut conclure de l'observation de cette ligne que, pour des arêtes supérieures à 1 m, on ne peut s'attendre pratiquement à aucune régression nouvelle de la résistance à la compression et qu'en ce qui concerne la force portante des piliers, on doit donc se fonder sur des résistances à la compression de 500 - 600 kgf/cm².

Les essais in situ ont permis de tirer un certain nombre d'autres conclusions intéressantes. En se fondant sur les indications des extensomètres disposés sur les côtés du cube d'essai, on calcule un module d'élasticité de 450 000 à 500 000 kgf/cm², mais on a observé localement des endroits plus faibles où le module d'élasticité n'avait que la moitié de cette valeur. La valeur moyenne du module d'élasticité est toutefois aussi élevée qu'après les essais au banc. Un certain nombre d'extensomètres étaient disposés à la couronne et enregistraient les déformations de celle-ci. Ils ont montré que la couronne est comprimée d'une manière tangentielle pendant un essai de compression. Les premiers phénomènes manifestes de cas-

sure au cube d'essai apparaissaient à partir de 70 % environ de la charge de foudroyage définitive, sous forme d'éclatement de petites écailles. Pour environ 50 % de la charge de foudroyage, l'eau interstitielle de la roche était éjectée.

Une deuxième expérience d'application du procédé susmentionné de calcul de la résistance à la compression avait été projetée à la mine Westende, où on envisageait de protéger certaines galeries au moyen de piliers de grès abandonnés. Des essais initiaux in situ ont déjà été effectués, mais depuis lors la direction a abandonné le projet de creuser ces galeries. L'exécution du programme de recherches n'a donc pas dépassé le stade initial.

5. Exposé sommaire des résultats

En ce qui concerne l'incidence de la résistance du soutènement sur la réduction de section, nous possédons des observations sur six galeries en couche. Deux de ces galeries (galeries de mesure 1 et 4) progressent dans le champ simultanément avec les travaux d'exploitation de la veine considérée. Deux autres (2 et 6) sont situées intégralement dans la couche et exposées à des pressions de terrain élevées. Il ressort de ces observations que la réduction de section due à un affaissement du toit surplombant les travaux d'abattage dans la taille n'est pas influencée d'une manière essentielle par les forces de soutènement. En revanche, la réduction de section résultant de la déformation et de l'ameublement des terrains et qui peut aller jusqu'à 100 %, c'est-à-dire jusqu'à la fermeture complète de la galerie, est influencée dans une mesure considérable. Des résistances du soutènement de 30 à 50 Mgf/m^2 ont empêché au moins la moitié de la réduction de section qui se serait produite si le soutènement n'avait pas été renforcé. En réalité, l'influence de la résistance du soutènement est plus grande que ne l'indiquent les résultats des mesures, car elle est atténuée, dans les courtes sections de galeries où la contre-pression est élevée, par le fait que les sections voisines sont pourvues de soutènements plus faibles (effet de recouvrement). Il n'est pas encore possible de réunir des indications plus précises à cet égard, mais on espère toutefois en obtenir grâce à des recherches théoriques et aux observations qui sont encore en cours dans la ga-

lerie de mesure 8. Dans deux galeries en dressant (3 et 7), les experts ont recherché la méthode la plus appropriée pour soutenir une couronne de remblai. Ils ont découvert que ce remblai exerce sur le soutènement une pression double, due à son propre poids d'une part, à la convergence d'autre part. Pour une contre-pression de 5 à 10 Mgf/m^2 , le soutènement résistera toujours à la première composante de cette charge, mais il devra céder à l'expansion du remblai résultant de la convergence.

Jusqu'à ce jour, la convergence dans les galeries d'abattage a été observée dans huit galeries réunissant toutes les caractéristiques minières auxquelles s'applique le procédé de calcul ris au point par le groupe de travail français. La concordance entre les convergences mesurées et calculées n'est satisfaisante que pour la moitié des galeries. Les écarts affectent les deux types de valeurs. On suppose qu'ils sont imputables au fait que, dans le bassin de la Ruhr, il existe des différences particulièrement grandes quant à la structure des terrains (grès !) et à la profondeur d'exploitation.

En ce qui concerne la force portante des piliers, les experts ont mis au point un procédé destiné à calculer la résistance à la compression qui permet de supporter le poids des terrains. Selon ce procédé, on détermine par des essais de compression au banc et in situ la diminution de la résistance des cubes à la compression lorsque la longueur de leur arête augmente. On détermine par la même occasion à partir de quelle grandeur du cube la résistance à la compression reste pratiquement constante. Cette recherche a été effectuée intégralement dans un siège d'exploitation de minerai de fer et a donné comme résistance déterminante à la compression 500 à 600 kgf/cm^2 , alors que les mesures usuelles effectuées sur des petits cubes d'essai (10 cm d'arête) indiquent une valeur double.

Publications relatives aux résultats de la recherche

- (1) Jahns, H. : Der Einfluss des Ausbauwiderstandes auf die Querschnittsverminderung von Strecken.
Glückauf 98 (1963), p. 1461/70.
- (2) Bräuner, G. : Zusatzdruck und Entlastung unter dem Abbau flachgelagerter Steinkohlenflöze.
Bergbau-Archiv 25 (1964), Heft 3, p. 27/37.
- (3) Jahns, H. : Einfluss der Ausbaukräfte auf das pseudoplastische Hineinfließen von Karbongestein in Grubenräume von 1 000 m Teufe.
Felsmechanik und Ingenieurgeologie 1/3-4, 1963.
- (4) Bräuner, G. : Konvergenz und Ausbauwiderstand in einer besonders druckhaften Strecke.
Glückauf 101 (1965), p. 1449/52.
- (5) Jahns, H. : Messung der Gebirgsfestigkeit in situ bei wachsendem Masstabsverhältnis.
1. Internationaler Kongress für Felsmechanik, Lissabon 1966.

Liste des figures

- Fig. 1 Section rectangulaire de galerie, calcul de la réduction
Fig. 2 de section
- Fig. 3 Section circulaire de galerie, calcul de la réduction de
Fig. 4 section.
- Fig. 5 Marquage de points dans des trous de forage.
- Fig. 6 Mesure du desserrement au niveau d'un trou de forage
(photographie).
- Fig. 7 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R_1 .
- Fig. 8 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R_1 , situation du
champ de mesure.
- Fig. 9 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R_1 , section.
- Fig. 10 Vue de la galerie de mesure 1, (photographie).
- Fig. 11 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R_1 , schéma de montage.
- Fig. 12 Courbe type de convergence et résistance du soutènement dans
la galerie de mesure 1.
- Fig. 13 Galerie de mesure 1, coefficients de convergence.
- Fig. 14 Galerie de mesure 2, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H.
- Fig. 15 Galerie de mesure 2, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H,
situation du champ de mesure.
- Fig. 16 Galerie de mesure 2, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H,
section.
- Fig. 17 Vue de la galerie de mesure 2 (photographie).
- Fig. 18 Courbe type de convergence et résistance du soutènement
dans la galerie de mesure 2.
- Fig. 19 Plissement de la sole dans la galerie de mesure 2 (photo-
graphie).
- Fig. 20 Galerie de mesure 2, convergence comparable des sections
de mesure 6 et 10.
- Fig. 21 Convergence de la galerie de mesure 2 pour différentes
résistances du soutènement d'après (1).
- Fig. 22 Convergence de la galerie de mesure 2 en fonction de
l'éloignement du front de galerie.
- Fig. 23 Réduction de section de la galerie de mesure 2 en fonc-
tion de l'éloignement du front de galerie.

- Fig. 24 Situation de la galerie de mesure 3, Mine Oespel, veine Mausegatt.
- Fig. 25 Vue de la galerie de mesure 3 (photographie).
- Fig. 26 Etayage du remblai à la couronne de la galerie de mesure 3 (photographie).
- Fig. 27 Pression du remblai, convergence et fléchissement des plaques de mesure dans la galerie de mesure 3.
- Fig. 28 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, veine Röttgersbank 2^h.
- Fig. 29 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, veine Röttgersbank 2^h, situation du champ de mesure.
- Fig. 30 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, veine Röttgersbank 2^h, section.
- Fig. 31 Vue de la galerie de mesure 4, pendant l'avancement (photographie).
- Fig. 32 Veine et mur au front de la galerie de mesure 4 (photographie).
- Fig. 33 Courbe type de convergence et résistance moyenne du soutènement dans la galerie de mesure 4.
- Fig. 34 Vue de la partie à soutènement hydraulique de la galerie de mesure 4, après traversée de la taille et enlèvement des étaçons hydrauliques (photographie).
- Fig. 35 Vue de la partie à soutènement non hydraulique de la galerie de mesure 4, après traversée de la taille (photographie).
- Fig. 36 Galerie de mesure 4, coefficients de convergence.
- Fig. 37 Vue de la galerie de mesure 5 (photographie).
- Fig. 38 Galerie de mesure 6, Mine Graf Bismark 2/6/9; veine H.
- Fig. 39 Galerie de mesure 6, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H, situation du champ de mesure.
- Fig. 40 Galerie de mesure 6, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H, section.
- Fig. 41 Vue de la galerie de mesure 6 (photographie).
- Fig. 42 Réduction de section et résistance du soutènement dans la section de mesure 5 de la galerie 6.
- Fig. 43 Influence des variations de la résistance du soutènement.
- Fig. 44 Réduction de section de la galerie de mesure 6 en représentation semi-logarithmique.

- Fig. 45 Convergence pour différentes résistances du soutènement (d'après (4), galerie de mesure 6.
- Fig. 46 Galerie de mesure 7, Mine Scharnhorst, veine Schöttelchen, plan.
- Fig. 47 Section de la galerie de mesure 7, Mine Scharnhorst, veine Schöttelchen.
- Fig. 48 Vue de la galerie de mesure 7 (photographie).
- Fig. 49 Pression du remblai, convergence et fléchissement des plaques de mesure dans la galerie de mesure 7.
- Fig. 50 Fonction de convergence entre - 100 et + 400 m.
- Fig. 51 Section de galerie avec croix de mesure, avant traversée de la taille (photographie).
- Fig. 52 Section de galerie avec croix de mesure, après traversée de la taille (photographie).
- Fig. 53 Convergence moyenne des galeries d'abattage dans l'exploitation par foudroyage avec barrage en galerie. (Les chiffres sont soulignés). En cas de concordance entre convergence mesurée et convergence calculée.
- Fig. 54 Réduction de la résistance à la compression du massif en fonction de l'augmentation de longueur de l'arête (schématique).
- Fig. 55 Plaque de compression pour empêcher l'allongement transversal dans les essais au banc (photographie).
- Fig. 56 Cliché type de foudroyage d'un cube d'essai (photographie).
- Fig. 57 Dispositif de l'essai de compression in situ (coupe).
- Fig. 58 Schéma de montage pour un essai de compression in situ.
- Fig. 59 Massif de 1 m de côté préparé pour l'essai de compression in situ (photographie).
- Fig. 60 Massif de 1 m de côté in situ après foudroyage (photographie).
- Fig. 61 Résistance à la compression des massifs de minerai de fer entre 5 et 100 m de côté.

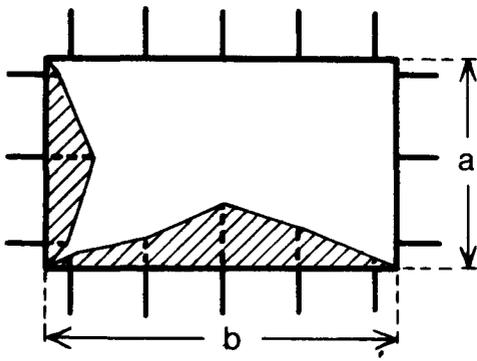


Abb.1

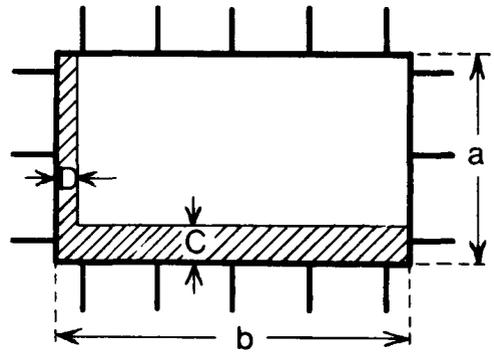


Abb.2

Rechteckiger Streckenquerschnitt

Calcul de la réduction de section

Fig. 1

Fig. 2

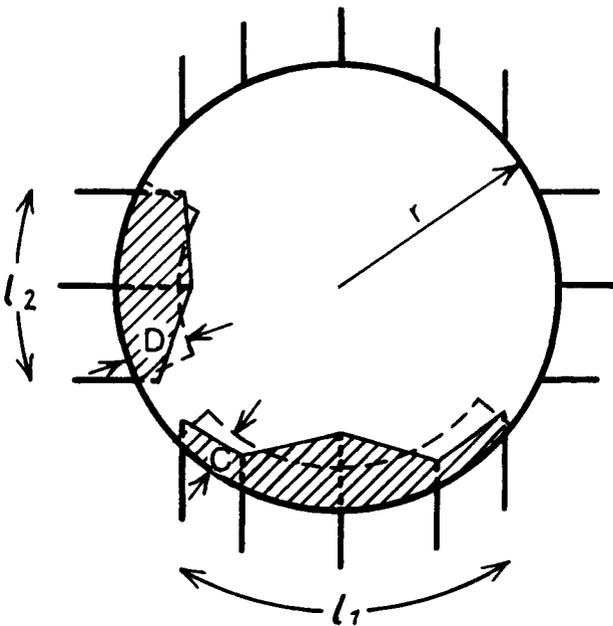


Abb.3

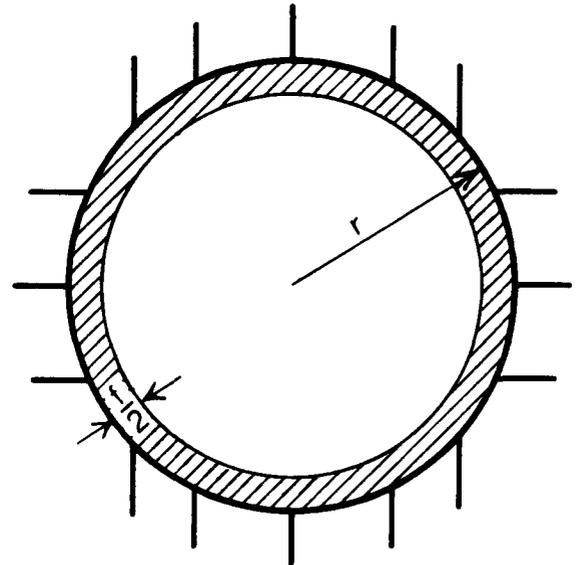


Abb.4

Kreisförmiger Streckenquerschnitt

Berechnung der Querschnittsverminderung

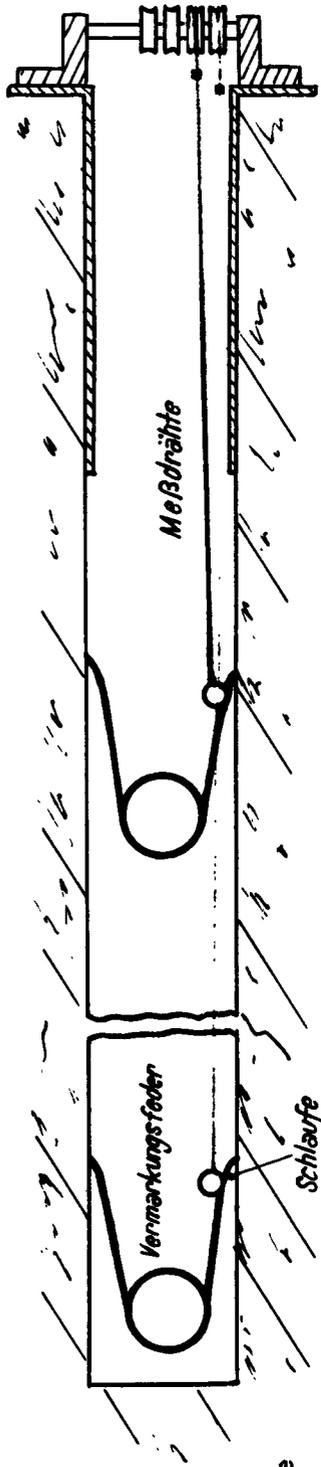
Section rectangulaire de galerie

Fig. 3

Fig. 4

Section circulaire de galerie.

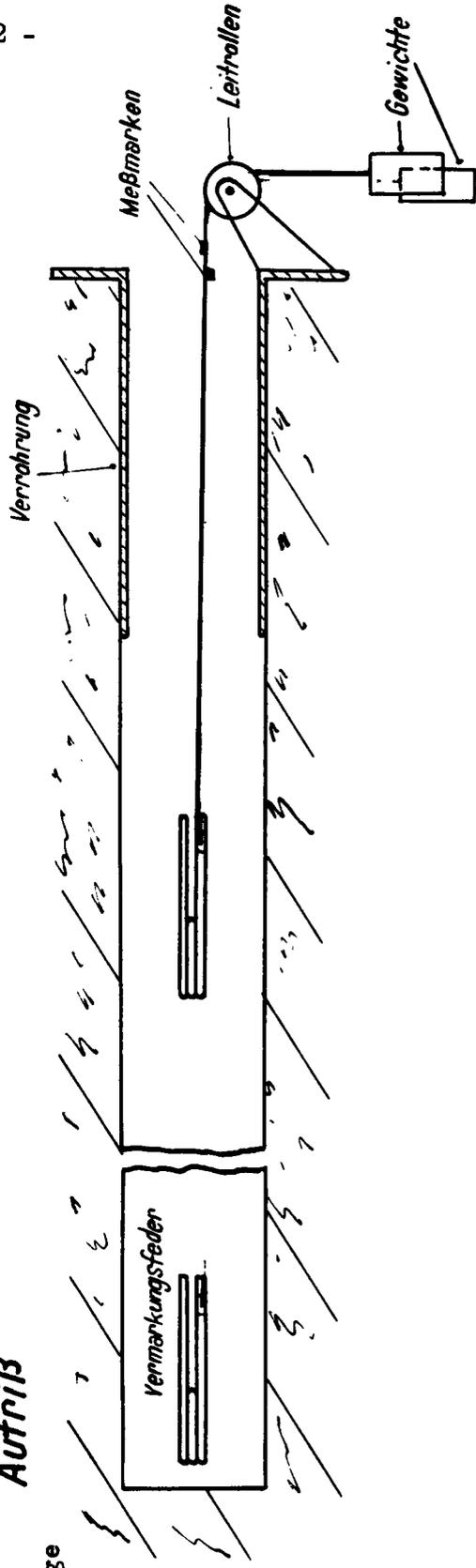
Grundriß



- (I) Plan
 (1) Ressort de marquage
 (2) Boucle
 (3) Fils de mesure

- 62 -

Aufriß



- (II) Elévation
 (1) Ressort de marquage
 (2) Tubage
 (3) Marques de mesure
 (4) Galets de guidage
 (5) Poids

Abb. 5 Punktvermarkung in Bohrlöchern

Fig. 5 Marquage de points dans des trous de forage



Abb. 6 Messung der Auflockerung an einem Bohrloch

Fig. 6 Mesure de desserrement au niveau d'un trou de forage.

Fig. 7 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R₁.

Echelle 1 : 2 000.

(1) Cadres hydrauliques de mesure

(2) Piliers résiduels dans la veine S1 1929 - 31

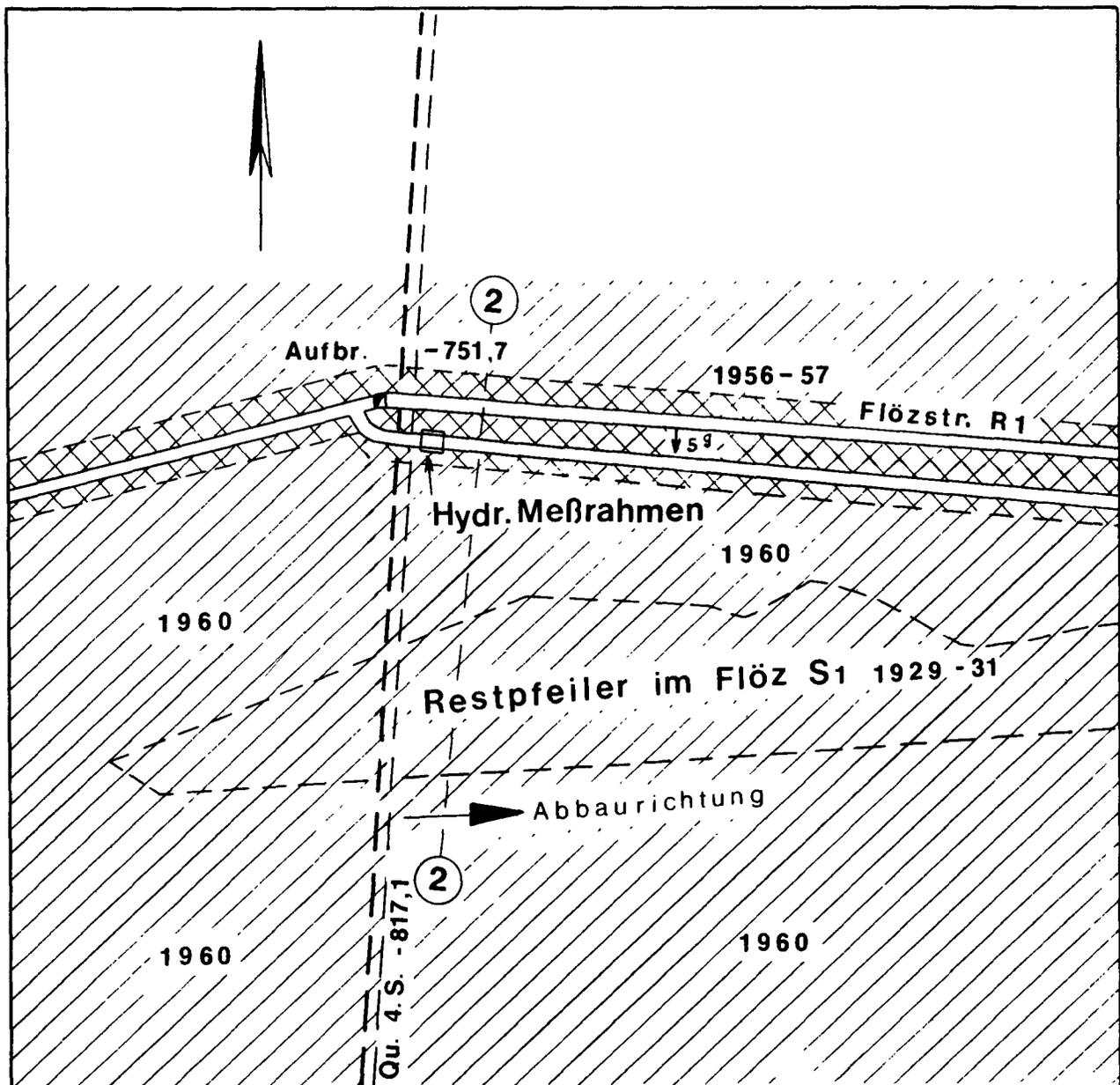
(3) Sens d'abattage

(4) Coupe suivant 2 - 2

(5) Piliers résiduels

(6) Abattu

(7) Galerie de mesure 1



Schnitt ② - ②

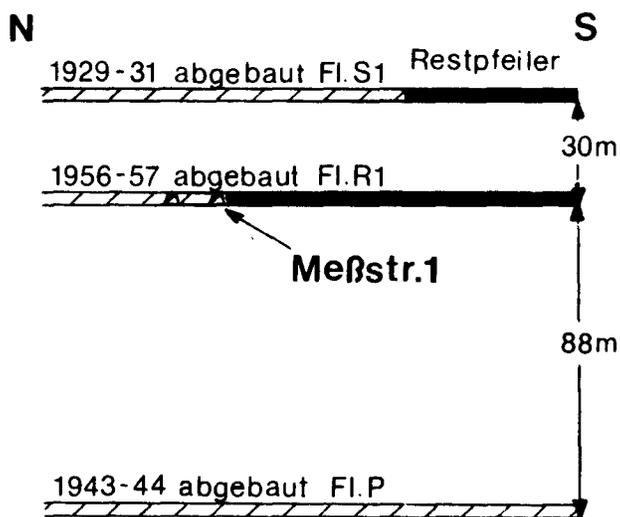


Abb. 7
Meßstrecke 1
Zeche Lohberg
Flöz R1

M. 1:2000



Fig. 8 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, veine R1, situation du champ de mesure. Echelle 1 : 200

- (1) Coupe
- (2) Taille
- (3) Bure
- (4) Voie de base - Quartier 4
- (5) Voie de tête - Quartier 13
- (6) Section de mesure
- (7) Cadres hydrauliques
- (8) Sens d'abattage

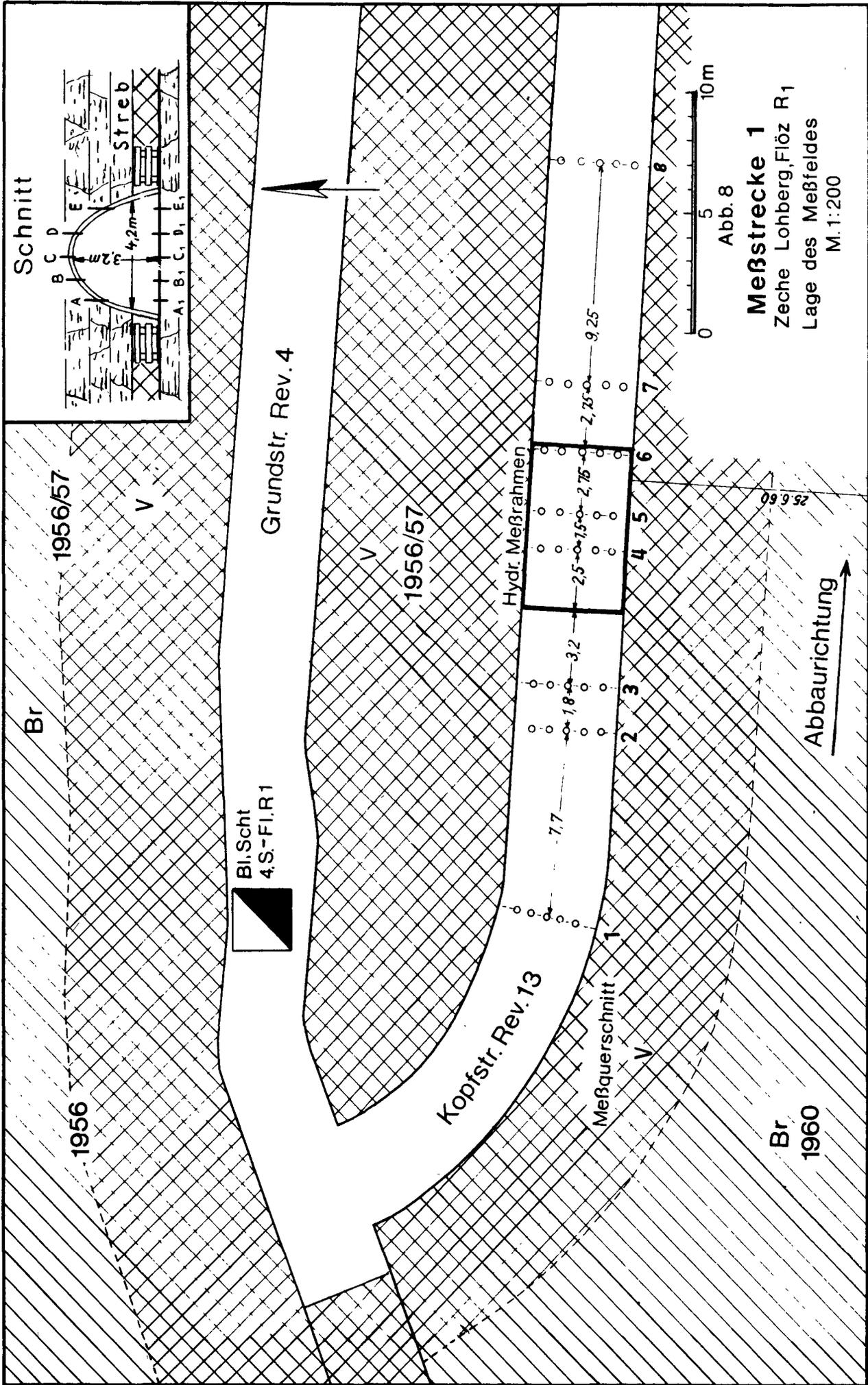


Abb. 8
Meßstrecke 1
 Zeche Lohberg, Flöz R₁
 Lage des Meßfeldes
 M. 1:200

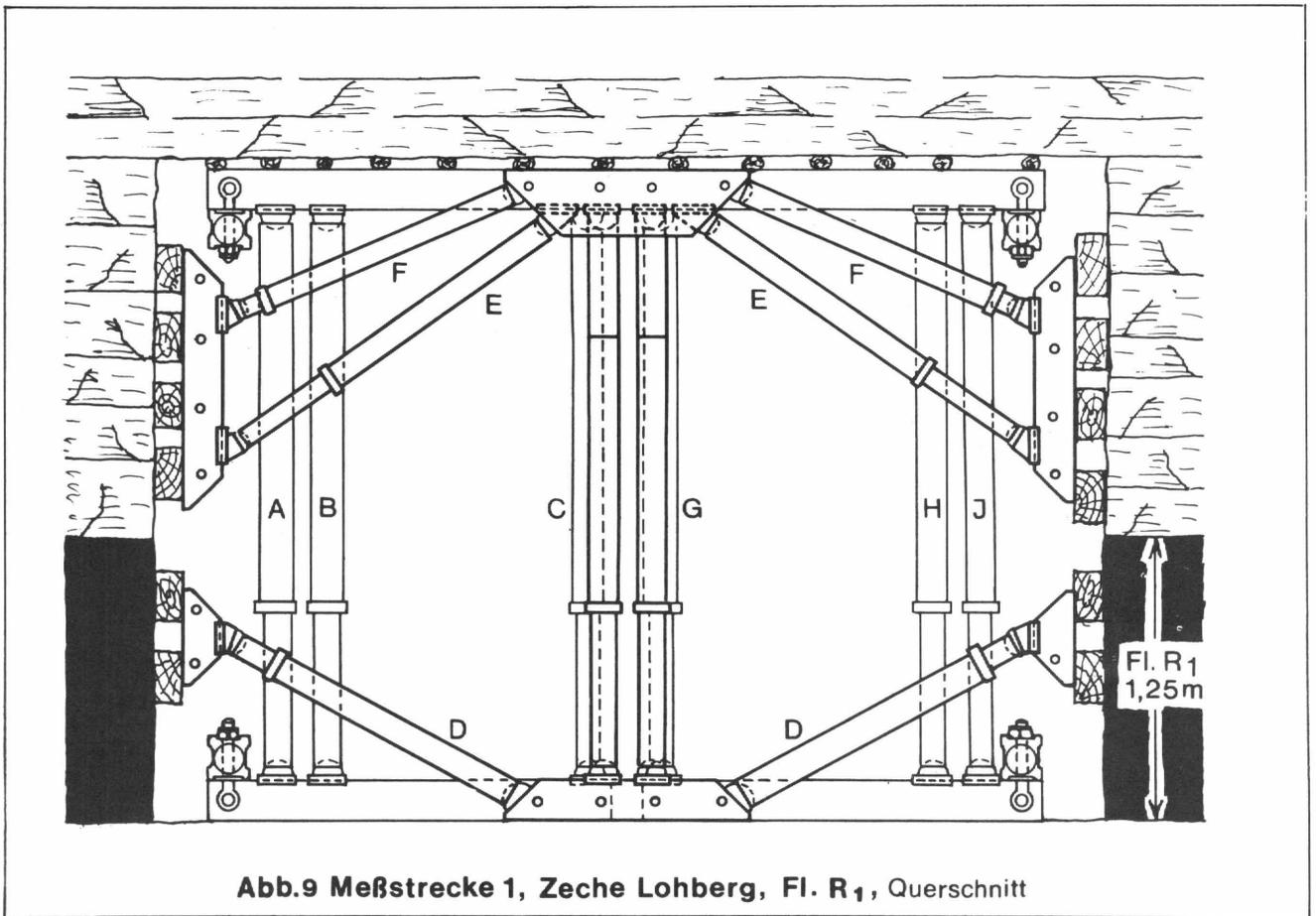


Fig. 9 Galerie de mesure 1, Mine Lohberg, Veine R₁, section



Abb.10 Blick in die Meßstrecke 1

Fig. 10 Vue de la galerie de mesure 1

Fig. 11 Galerie de mesure hydraulique 1, schéma électrique

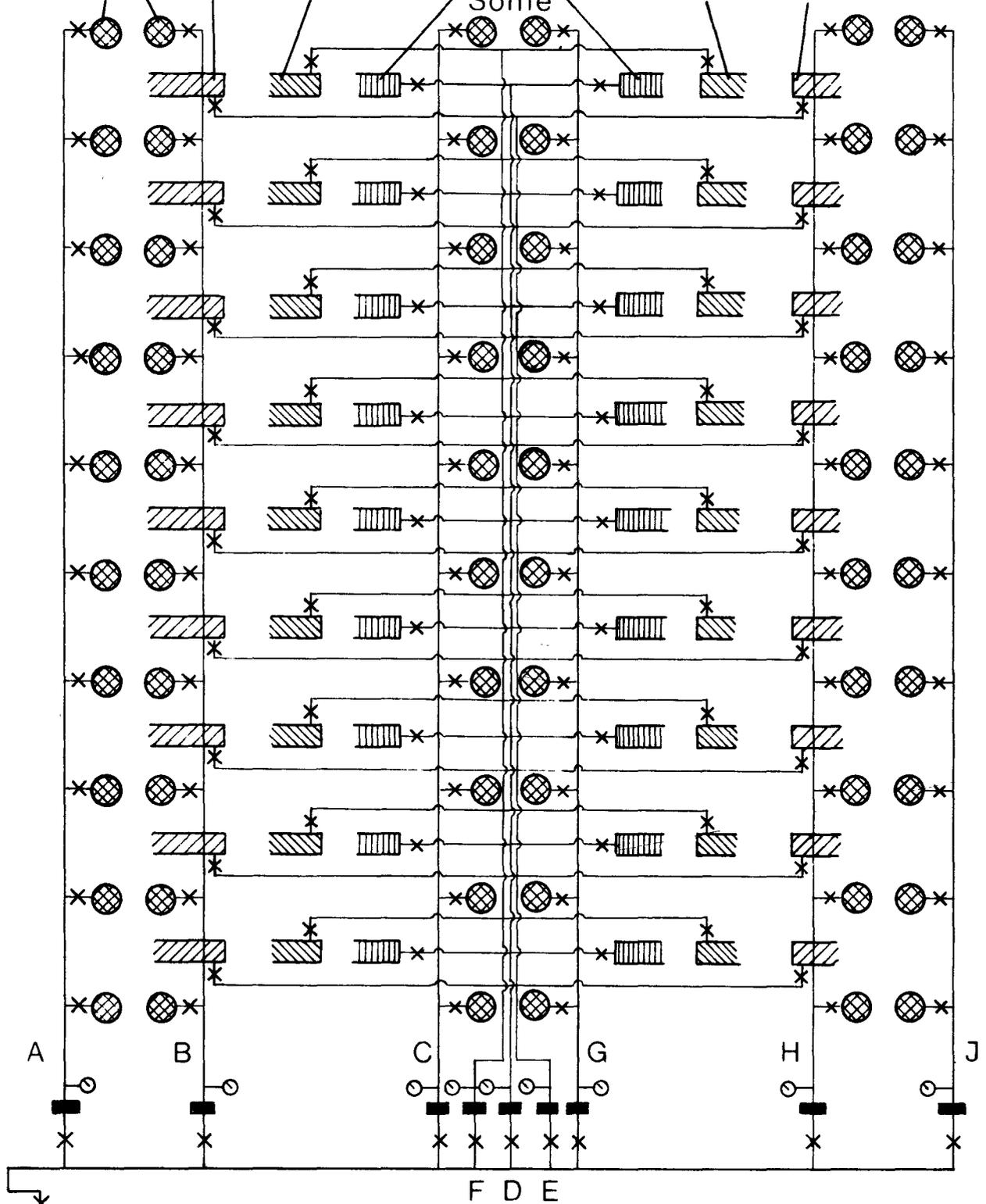
- (1) Légende
- (2) Manomètre
- (3) Soupape de sûreté
- (4) Soupape anti-retour
- (5) Étançons verticaux
- (6) Étançons des parements (couronne)
- (7) Bas
- (8) Haut
- (9) Semelle des étançons de parements
- (10) Pompe à haute pression

senkr. Stempel

Stoßstempel (Firste)
unten oben

Stoßstpl
Sohle

Stoßstempel (Firste)
oben unten



Hochdruck-Pumpe

Erläuterung:

○ Manometer ■ Überdruckventil × Absperrventil

Abb.11 Hydraulische Meßstr. 1, Schaltungsplan

Fig. 12 Courbe type de convergence et résistance du soutènement dans la galerie de mesure 1.

(1) Convergence en mm

(2) Résistance du soutènement en Mgf/m^2

(3) Eloignement

(4) Devant la taille

(5) Derrière la taille

(6) Inconnu

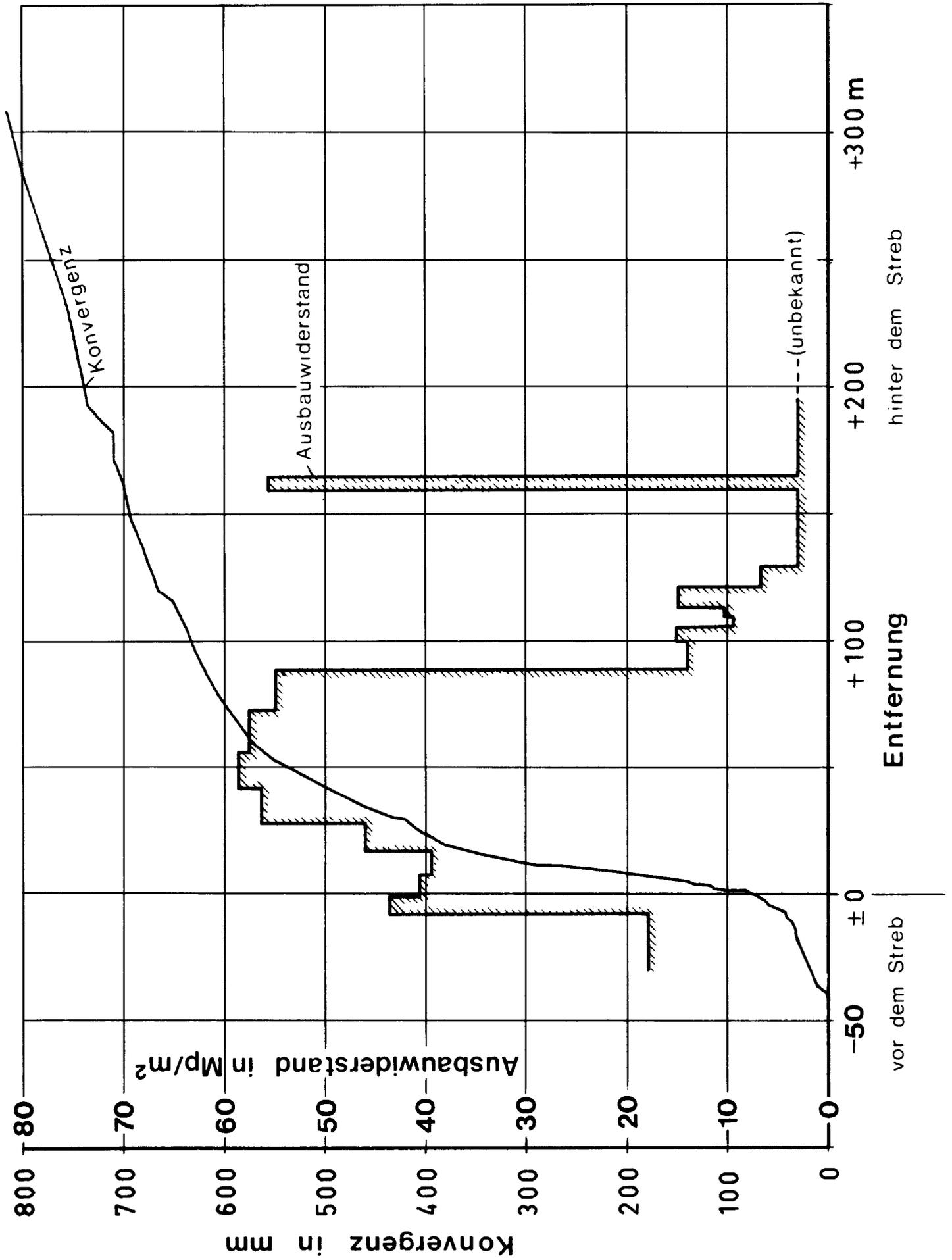
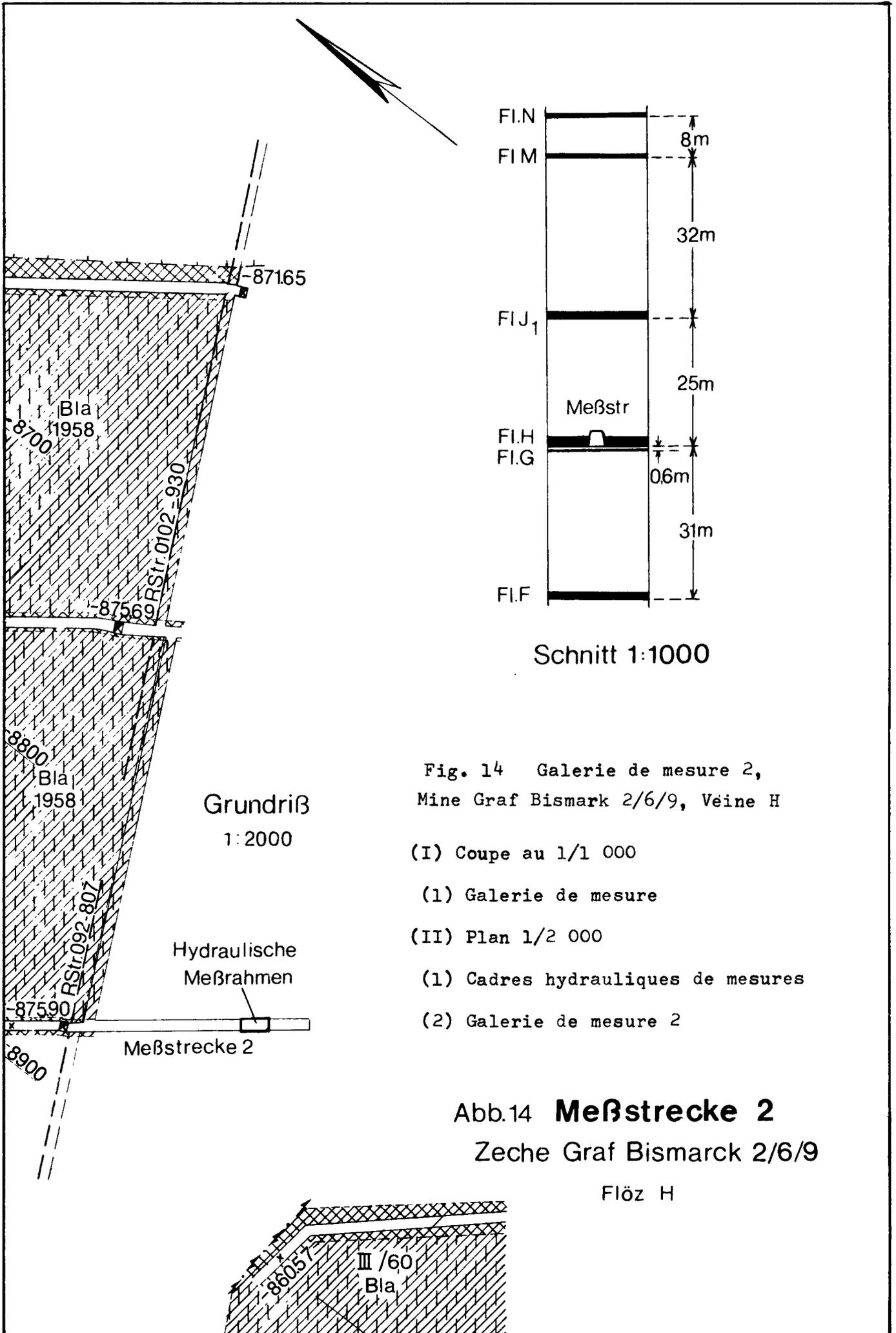


Abb.12 Typische Konvergenzkurve und Ausbauwiderstand in der Meßstrecke 1



Schnitt 1:1000

Grundriß
1:2000

Fig. 14 Galerie de mesure 2,
Mine Graf Bismark 2/6/9, Veine H

(I) Coupe au 1/1 000

(1) Galerie de mesure

(II) Plan 1/2 000

(1) Cadres hydrauliques de mesures

(2) Galerie de mesure 2

Abb.14 **Meßstrecke 2**

Zeche Graf Bismarck 2/6/9

Flöz H

Fig. 15 Mine Graf Bismark 2/6/9, Situation du champ de mesure,
veine H

(I) Légende

- a) soutènement par cadres
- b) soutènement par cadres avec ancrages dans le toit
- c) soutènement par cadres
- d) galerie de mesure à soutènement hydraulique
- e) soutènement par cadres

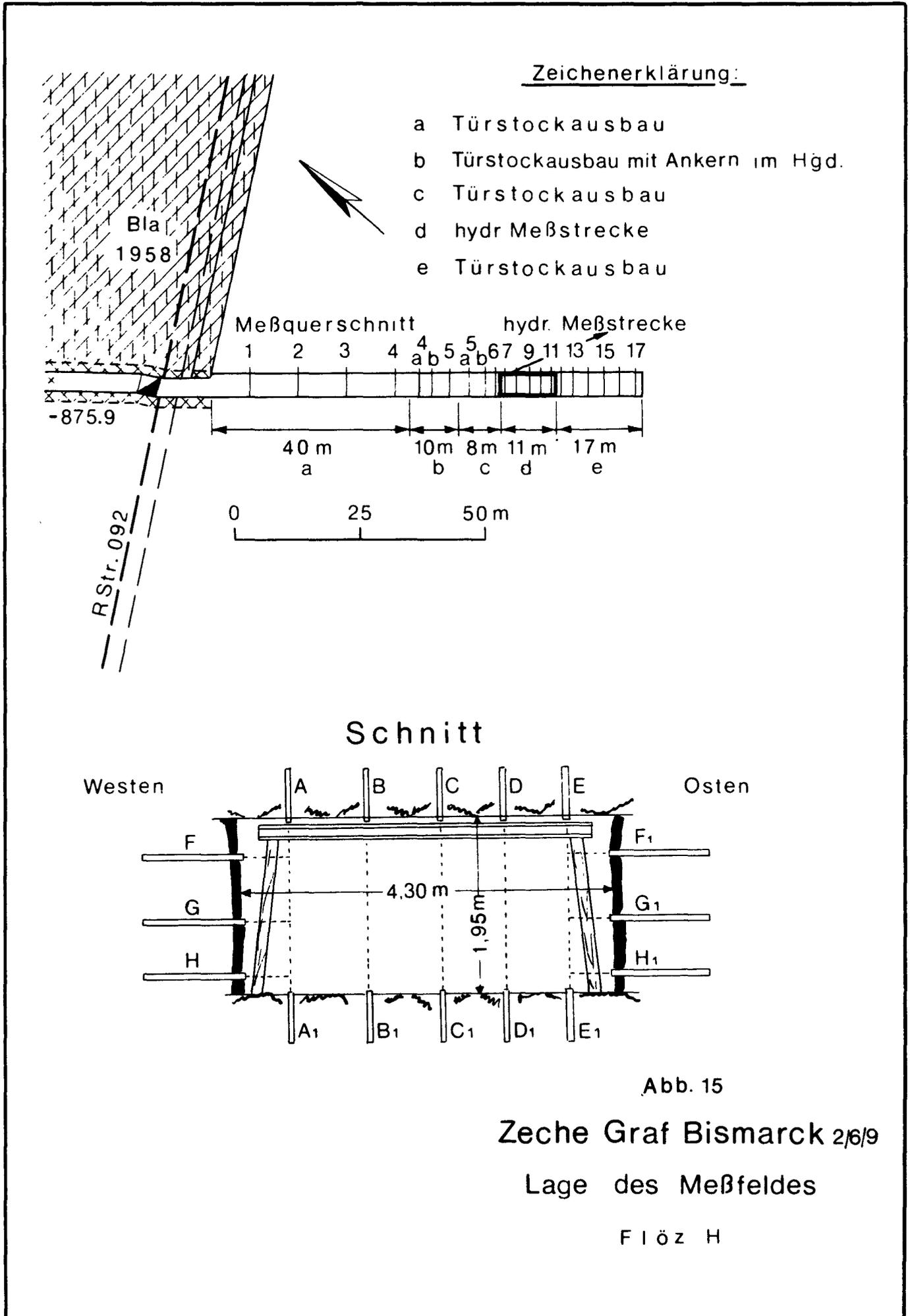
(1) section de mesure

(2) galerie de mesure à soutènement hydraulique

(II) Coupe

(1) ouest

(2) est



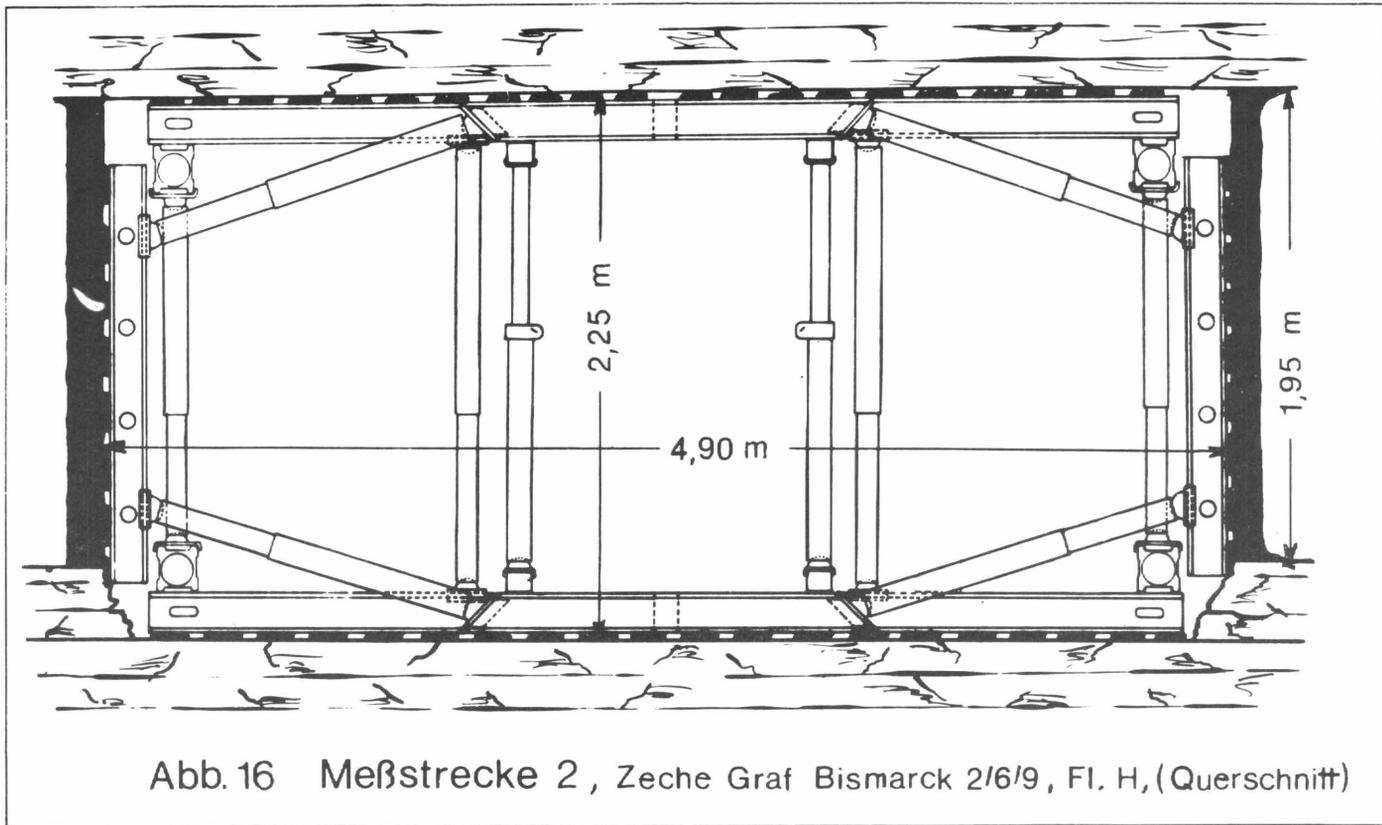


Fig. 16 Galerie de mesure 2, Mine Graf Bismark 2/6/9, Veine H (section)



Abb.17 Blick in die Meßstrecke 2

Fig. 17 Vue de la galerie de mesure 2

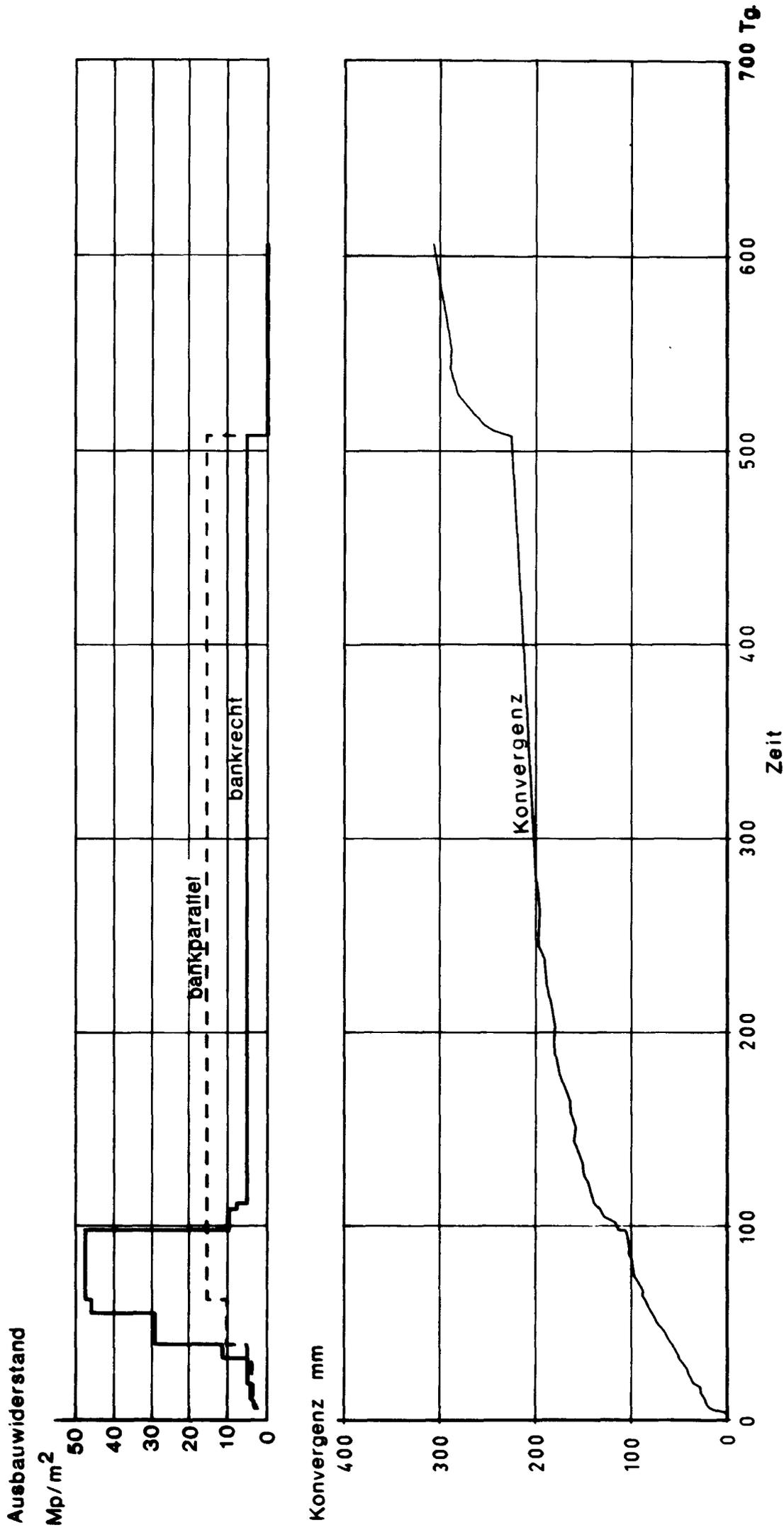


Abb. 18 Typische Konvergenzkurve und Ausbauwiderstand in der Meßstrecke 2

Fig. 18 Courbe type de convergence et résistance du soutènement (1) Résistance du soutènement Mgf/m^2
dans la galerie de mesure 2.

- (2) Parallèle aux éponges
- (3) Perpendiculaire aux éponges
- (4) Convergence



Abb. 19 Auffaltung der Sohle in der Meßstrecke 2

Fig. 19 Plissement de la sole dans la galerie de mesure 2.

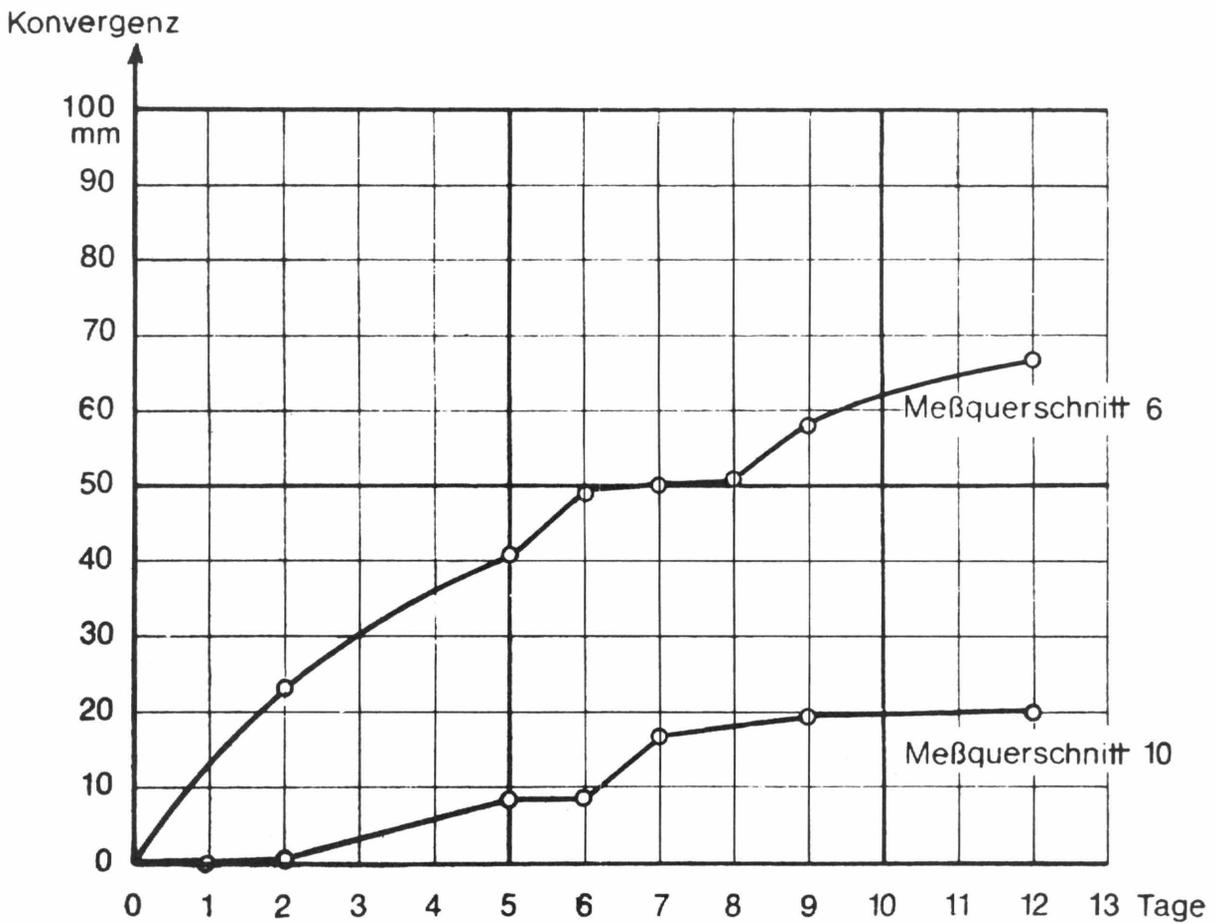


Abb. 20 Meßstrecke 2, Vergleichbare Konvergenz der Meßquerschnitte 6 und 10

Fig. 20 Galerie de mesure 2, convergence comparable des sections de mesure 6 et 10.

(1) Convergence

(3) Section de mesure 6

(2) Jours

(4) Section de mesure 10

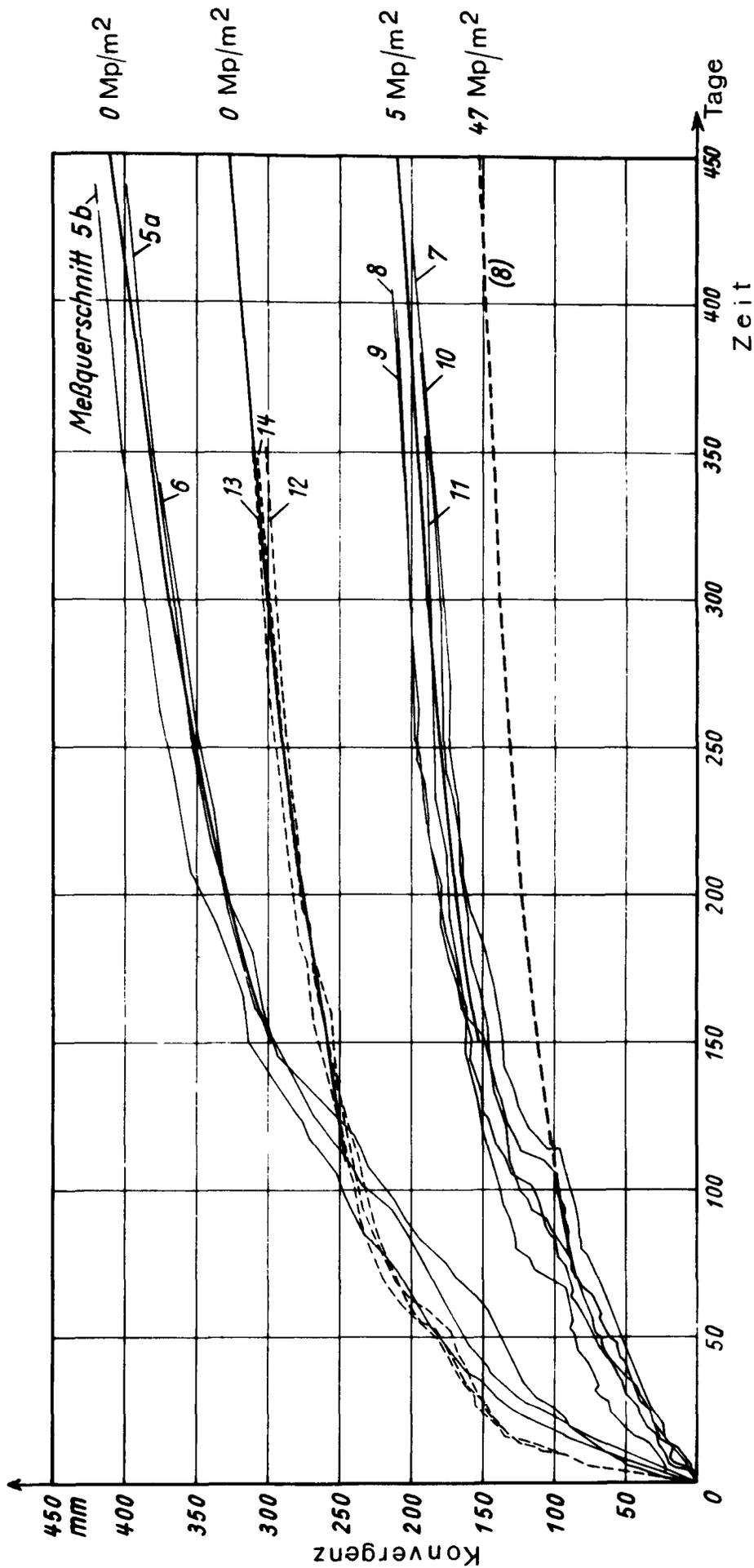


Abb.21 Konvergenz der Meßstrecke 2 bei verschiedenen Ausbauwiderständen nach (1)

Fig. 21 Convergence de la galerie de mesure 2 pour différentes résistances de soutènement d'après (1)

- (1) Convergence
- (2) Temps en jours
- (3) Section de mesure Mgf/m^2

Fig. 22 Convergence de la galerie de mesure 2 en fonction de l'éloignement du front de galerie

(1) Convergence

(2) Eloignement du front de galerie

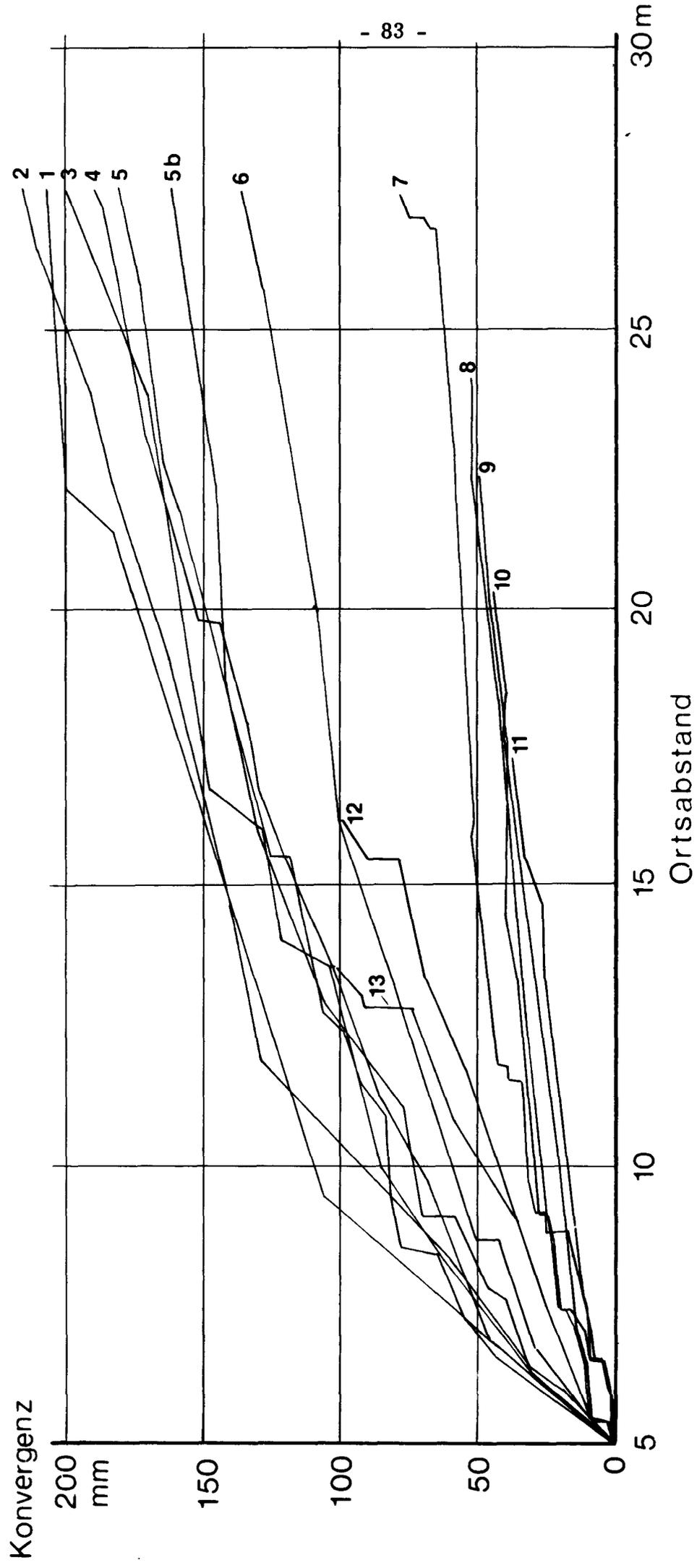


Abb. 22 Konvergenz der Meßstrecke 2 in Abhängigkeit vom Ortsabstand

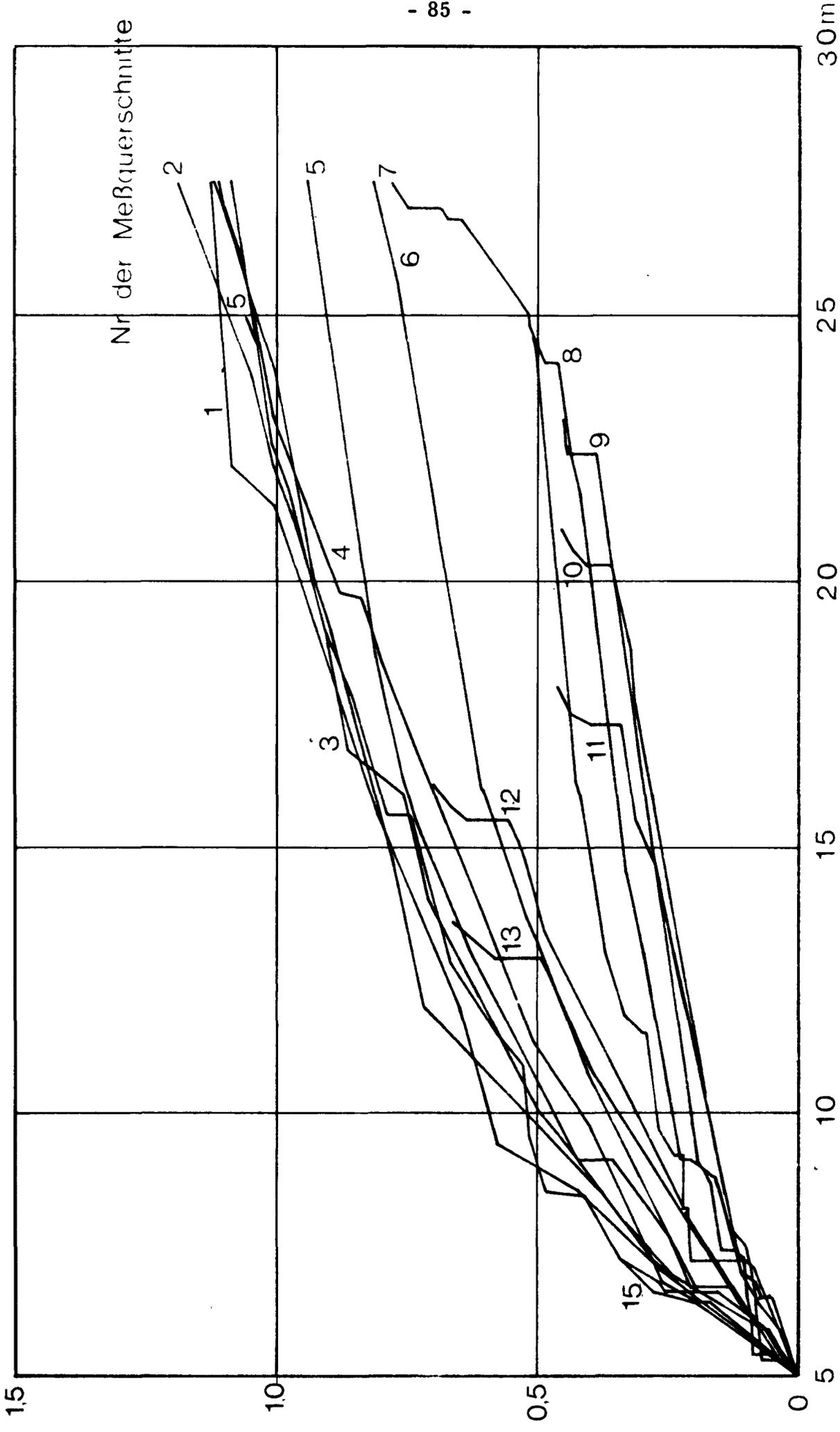
Fig. 23 Réduction de section de la galerie de mesure 2 en fonction de l'éloignement du front de galerie

(1) Réduction de section en m^2

(2) Eloignement du front de galerie en m

(3) N° des sections de mesure

Querschnittsverminderung [m²]



Nr der Meßquerschnitte

Ortsabstand [m]

Abb. 23 Querschnittsverminderung der Meßstrecke 2 in Abhängigkeit vom Ortsabstand

Fig. 24 Situation de la galerie de mesure 3, Mine Oespel, Veine Mausegatt

(I) Elévation

- (1) Charbon en place
- (2) Pendage
- (3) Remblai
- (4) Angle de talus
- (5) Puissance de couche
- (6) Fil de garnissage
- (7) Pares de points de convergence
- (8) Soutènement hydraulique
- (9) Caisse de remplissage
- (10) Exploitation chassante
- (11) Sens d'abattage
- (12) Galerie

(II) Coupe

- (1) Remblai
- (2) Madriers renforcés de fers en U
- (3) Points de convergence
- (4) Etançons hydrauliques

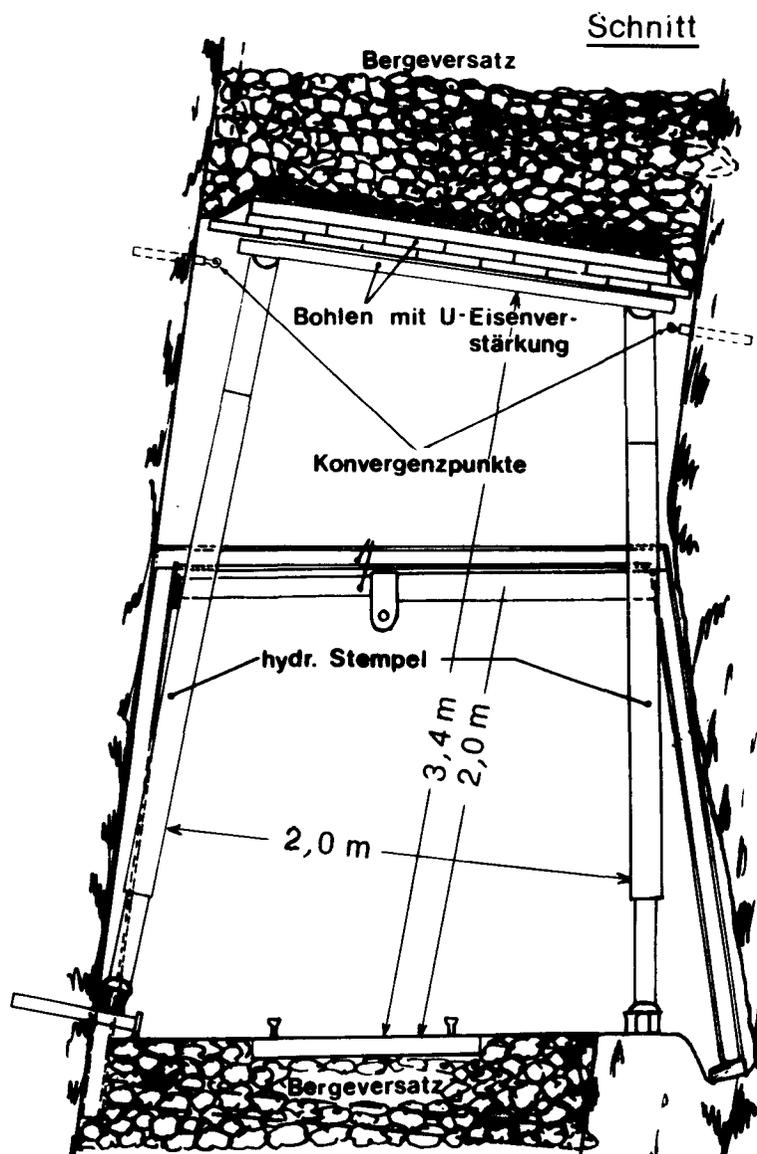
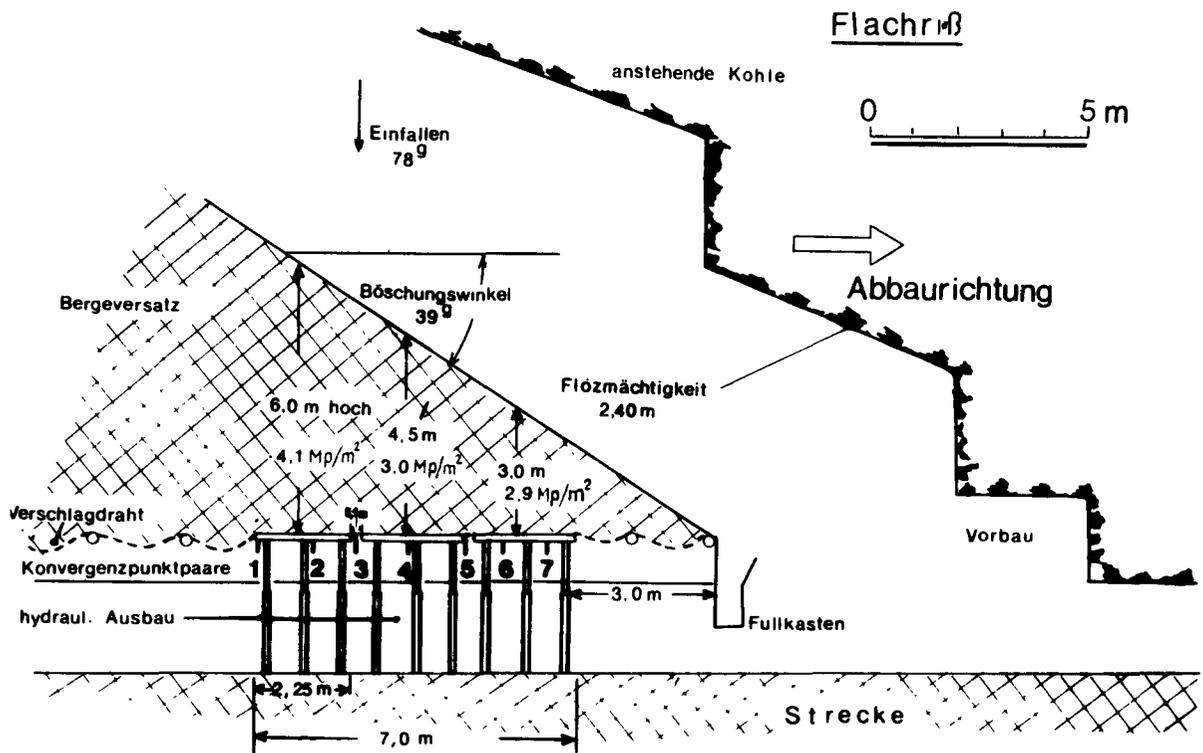


Abb.24 Lage der Meßstrecke 3, Zeche Oespel, Fl. Mausegatt



Abb.25

Blick in die
Meßstrecke 3

Fig. 25 Vue de la galerie de mesure 3.

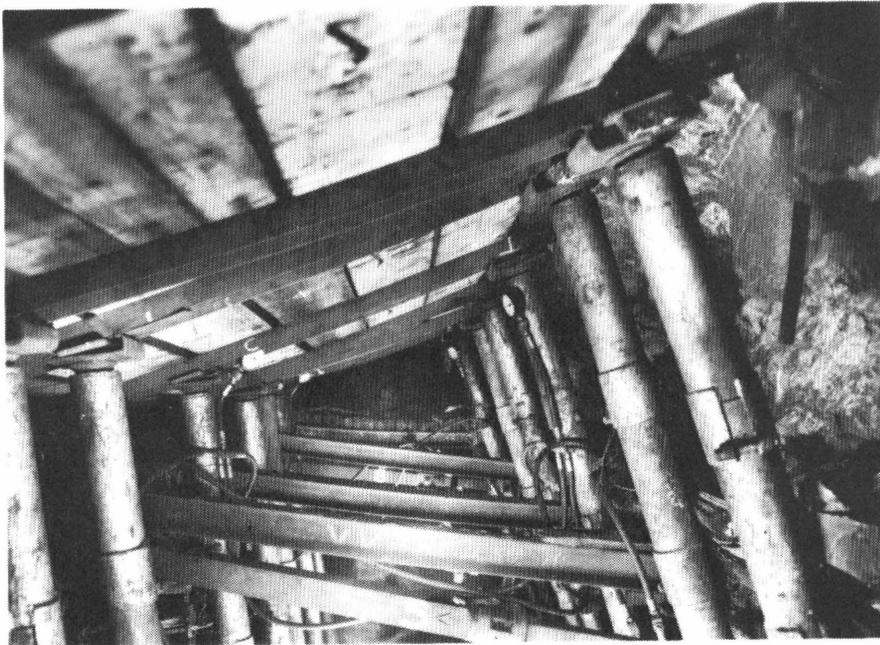


Abb.26 Unterfangung des Versatzes in der Firste der Meßstrecke 3

Fig. 26 Etayage du remblai à la couronne de la galerie de mesure 3.

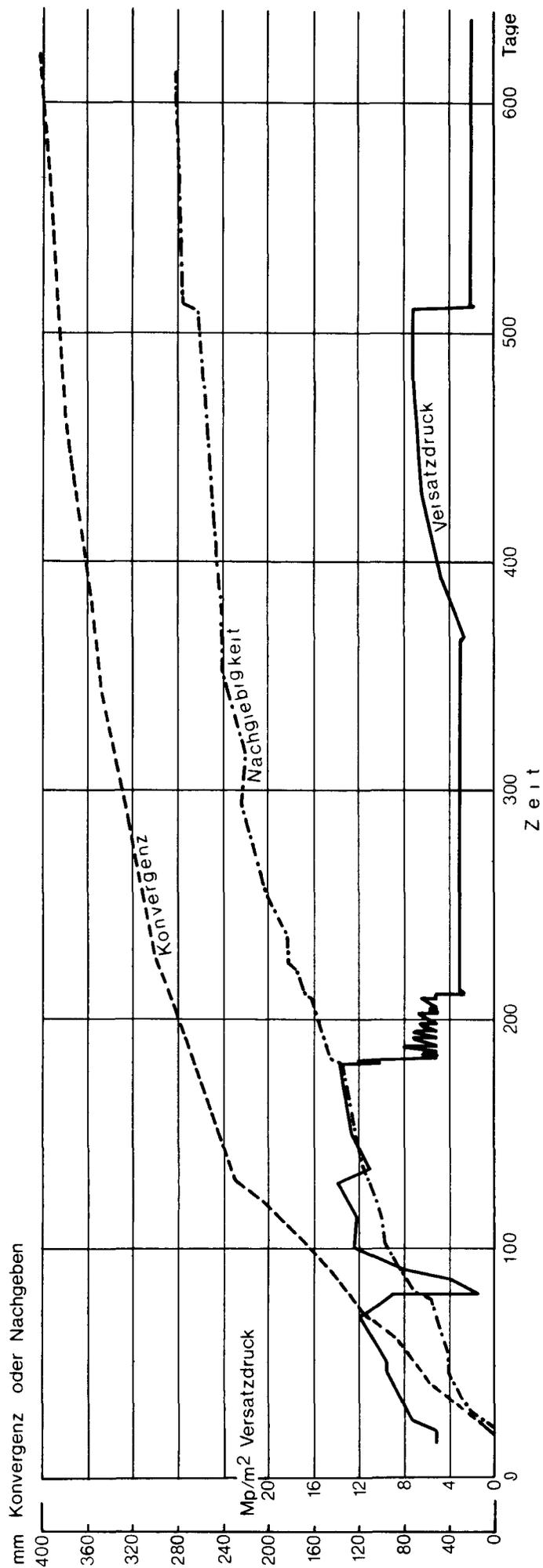


Abb. 27 Versatzdruck Konvergenz und Nachgeben der Meßplatten in der Meßstrecke 3

Fig. 27 Pression du remblai, convergence et fléchissement des plaques de mesure dans la galerie de mesure 3.

- (1) Convergence ou fléchissement
- (2) Pression du remblai Mgf/m^2
- (3) Convergence
- (4) Coulissement
- (5) Temps en jours

Fig. 28 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, Veine Röttgersbank
2 H

(I) Plan au 1: 1 000

(1) Fl. = veine

(2) Cadres hydrauliques de mesure

(II) Coupe au 1 : 2 000

(1) Galerie de mesure 4

(2) 4e étage

(3) 5e étage

(4) 6e étage

(5) Fl. = veine

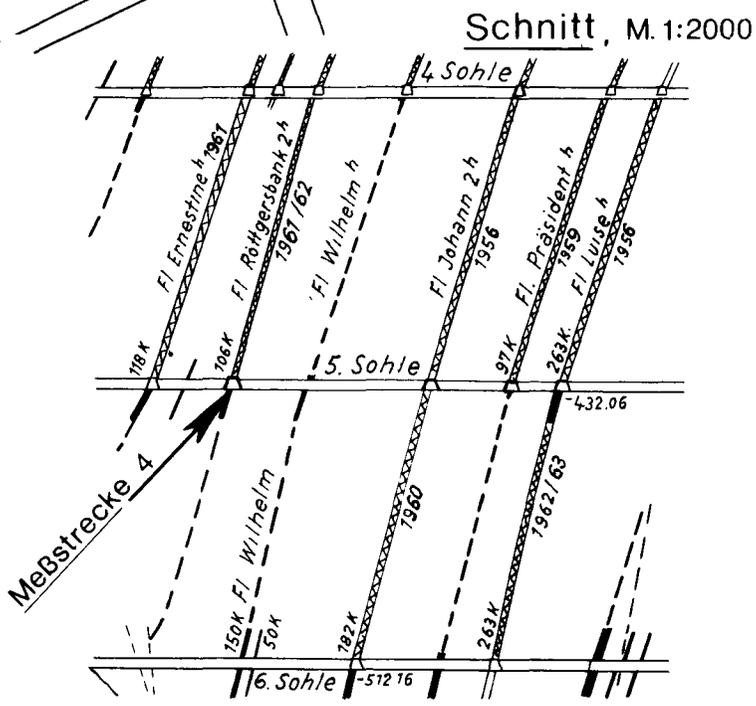
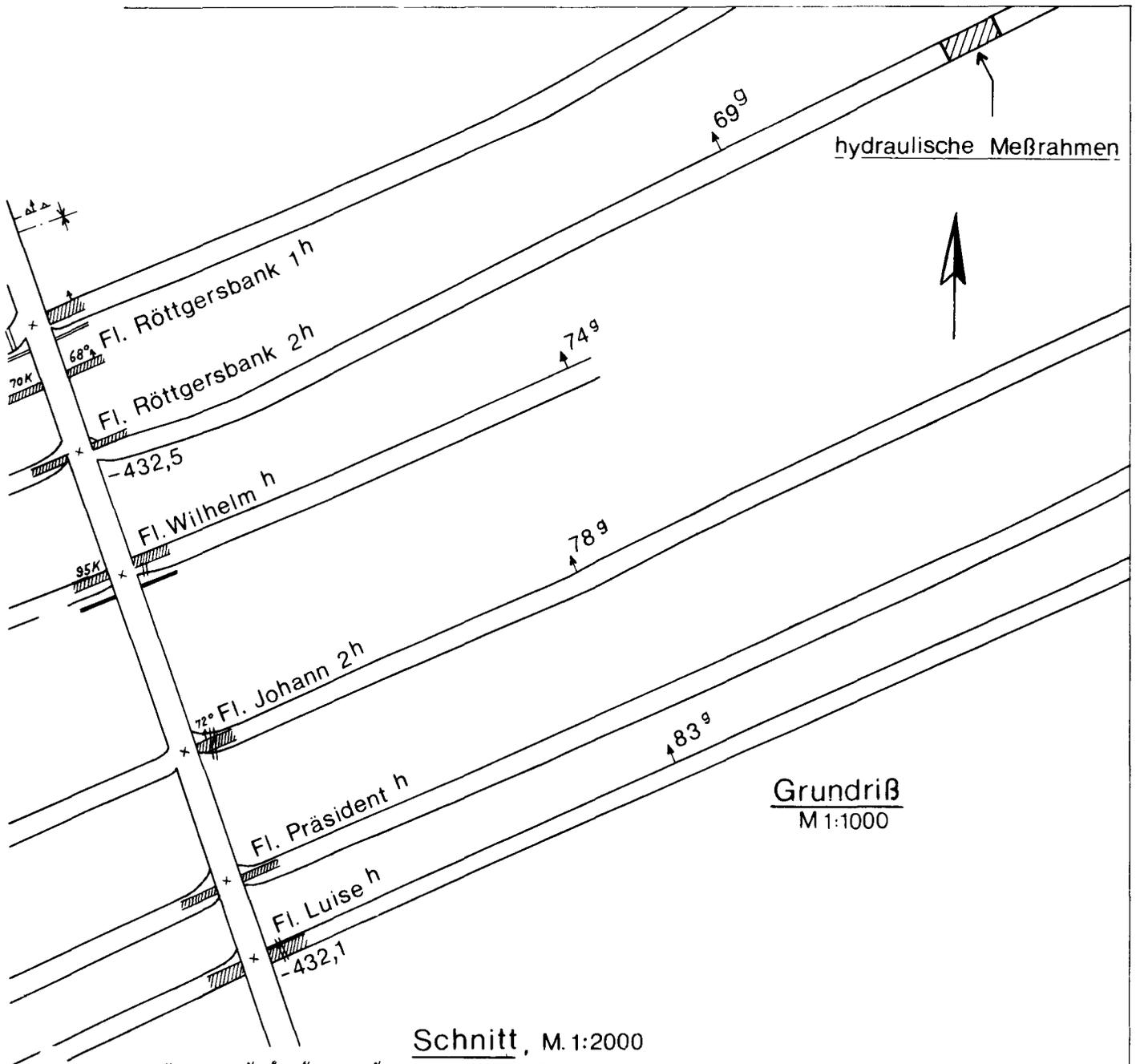


Abb. 28

Meßstrecke 4

Zeche Scharnhorst

Flöz Röttgersbank 2^h

Fig. 29 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, Veine Röttgersbank
2 H

Situation du champ de mesure

(I) Plan au 1 : 200

Normal	Rallonges Langebein 20 t	Cadres hydrauliques de mesure	Rallonges Langebein de 15 t	Normal
--------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	--------

Section de mesure

(1) Normal

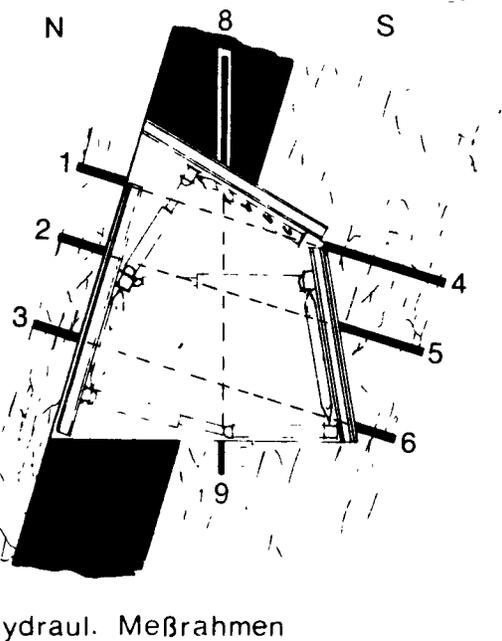
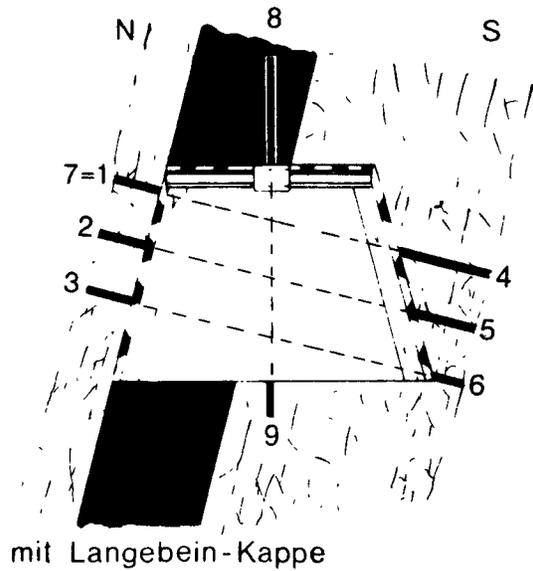
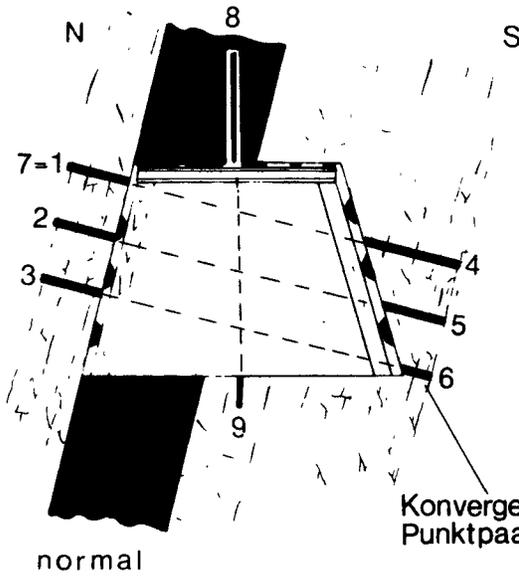
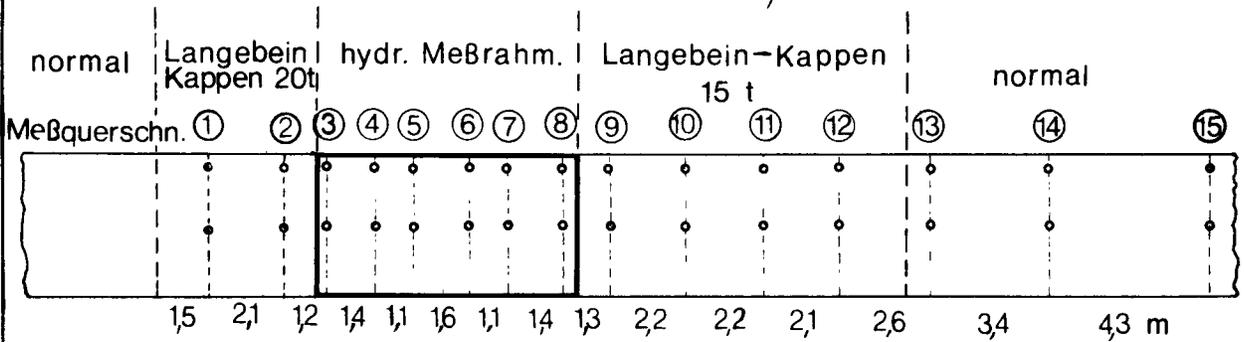
(2) Paires de pointes de convergence

(3) Avec rallonges Langebein

(II) Coupes au 1 : 100

(1) Cadres hydrauliques de mesure

Grundriß
1:200



Schnitte
1:100

Abb 29

Meßstrecke 4

Zeche Scharnhorst
Flöz Röttgersbank 2^h

Lage des Meßfeldes

Fig. 30 Galerie de mesure 4, Mine Scharnhorst, Veine Röttgersbank
2 H, Section

- (1) Nord
- (2) Sud
- (3) Veine Röttgersbank 1,06 m
- (4) Eclisse
- (5) Sous-poutre
- (6) Etaçon en bois
- (7) Etaçon hydraulique
- (8) Boîte à pression angulaire Memo 124 CP/60
- (9) Sous-poutre 2,5 m de longueur - 2 rallonges GI 130
- (10) Berline

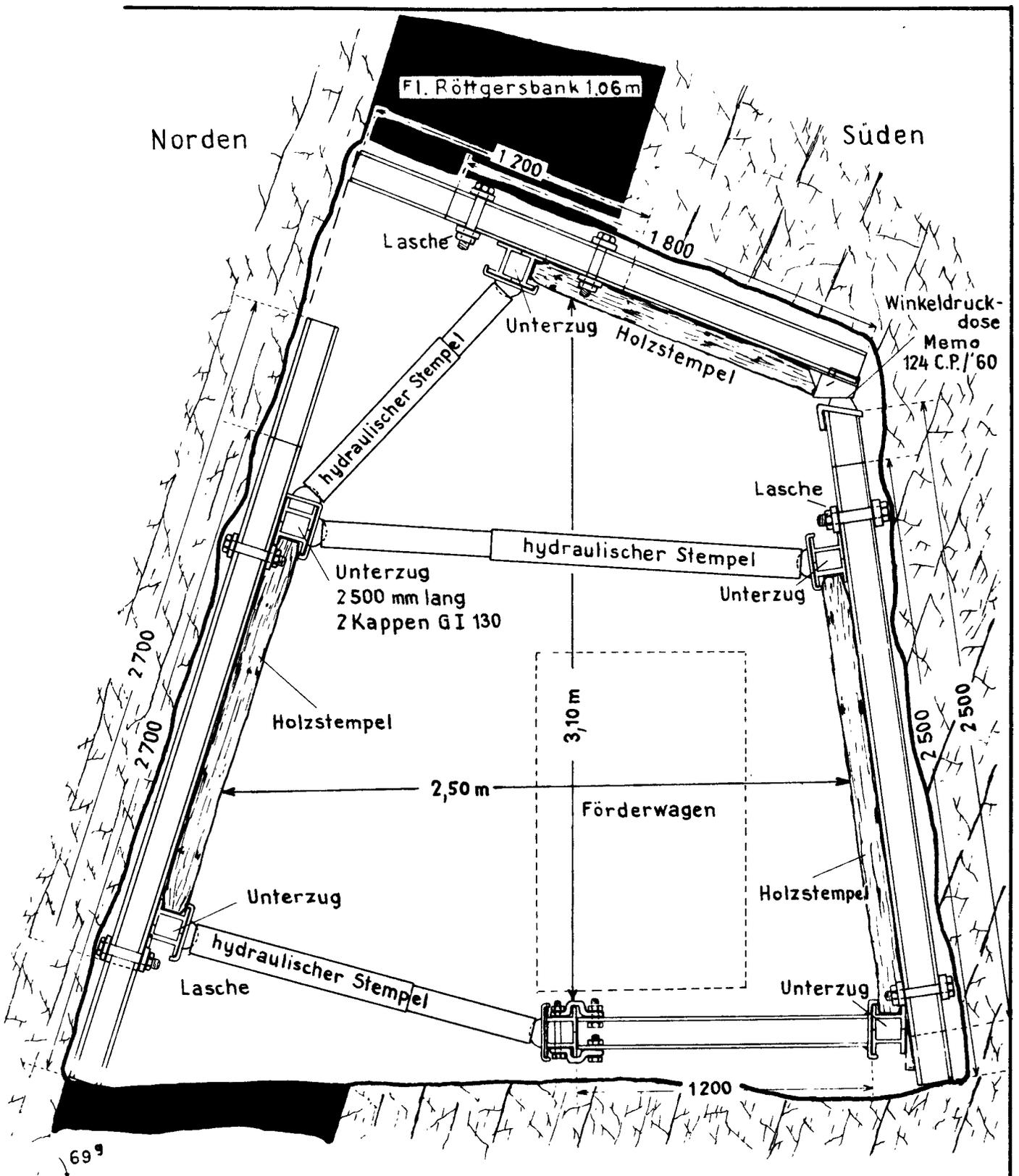


Abb.30 Meßstrecke 4
Zeche Scharnhorst
 Flöz Röttgersbank 2^h
 Querschnitt



Abb. 31 Blick in die Meßstrecke 4 während des Vortriebs

Fig. 31 Vue de la galerie de mesure 4 pendant l'avancement.



Abb. 32 Flöz und Flözliegendes im Ort der Meßstrecke 4

Fig. 32 Veine et mur de veine au front de la galerie de mesure 4.

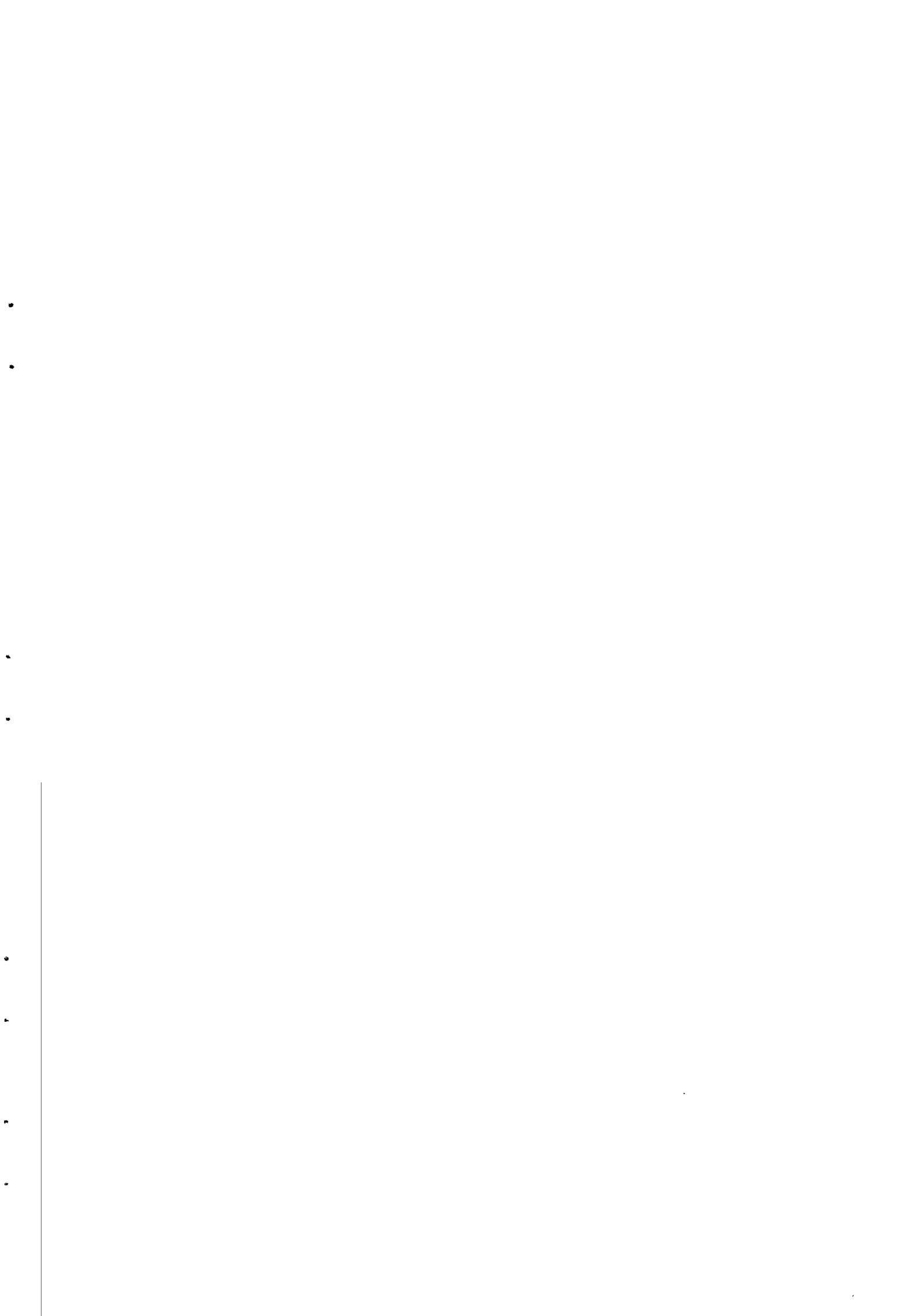


Fig. 33 Courbe type de convergence et résistance moyenne du soutènement dans la galerie de mesure 4.

- (1) Légende
- (2) Convergence
- (3) Eloignement du front de galerie
- (4) Abattage veine Ernestine
- (5) Abattage veine Röttgersbank
- (6) Abattage veine Luise
- (7) Convergence
- (8) Eloignement
- (9) Résistance du soutènement Mgf/m^2
- (10) Résistance du soutènement (perpendiculaire aux épontes)
- (11) Exploitation susjacenté veine Ernestine
- (12) Traversée de taille veine Röttgersbank
- (13) Exploitation sous-jacente veine Luise
- (14) Temps en jours
- (15) Front de galerie

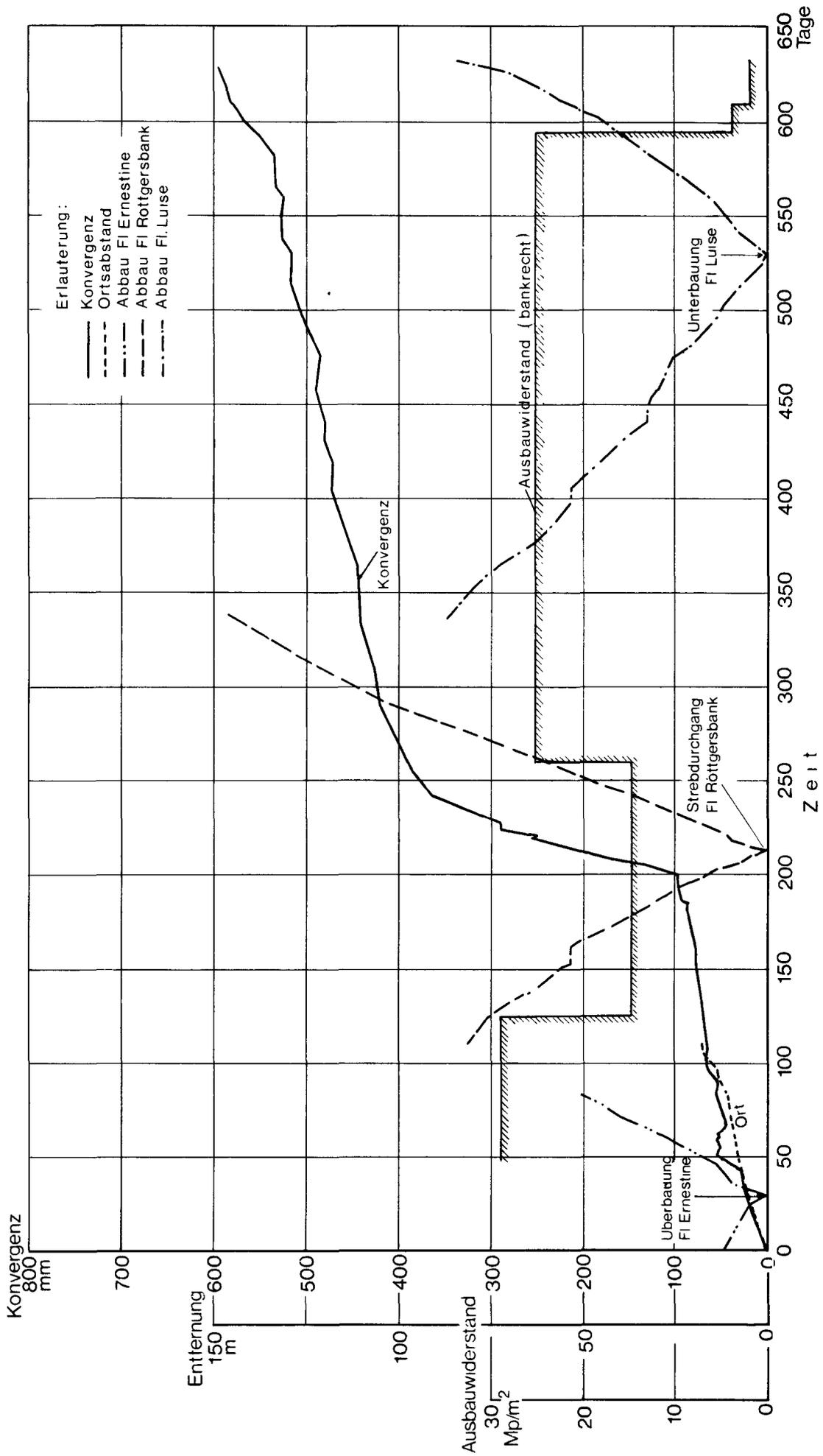


Abb.33 Typische Konvergenzkurve und mittlerer Ausbauwiderstand in der Meßstrecke 4

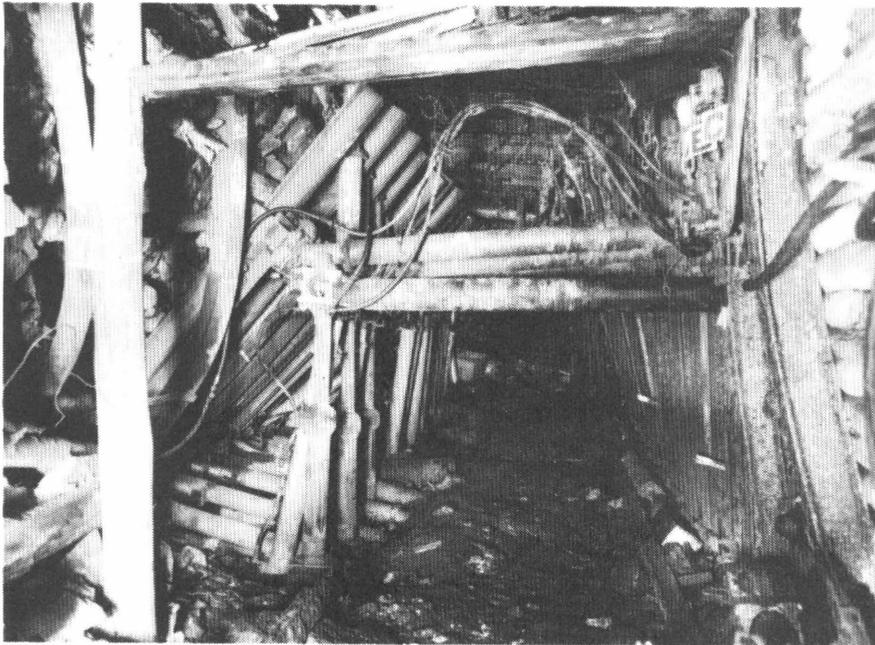


Abb. 34 Blick in den hydraulisch ausgebauten Teil der Meßstrecke 4 nach Strebdurchgang u. teilw. Entfernung d. hydr. Stempel

Fig. 34 Vue de la partie à soutènement hydraulique dans la galerie de mesure 4, après traversée de la taille et dépose partielle des étaçons hydrauliques.

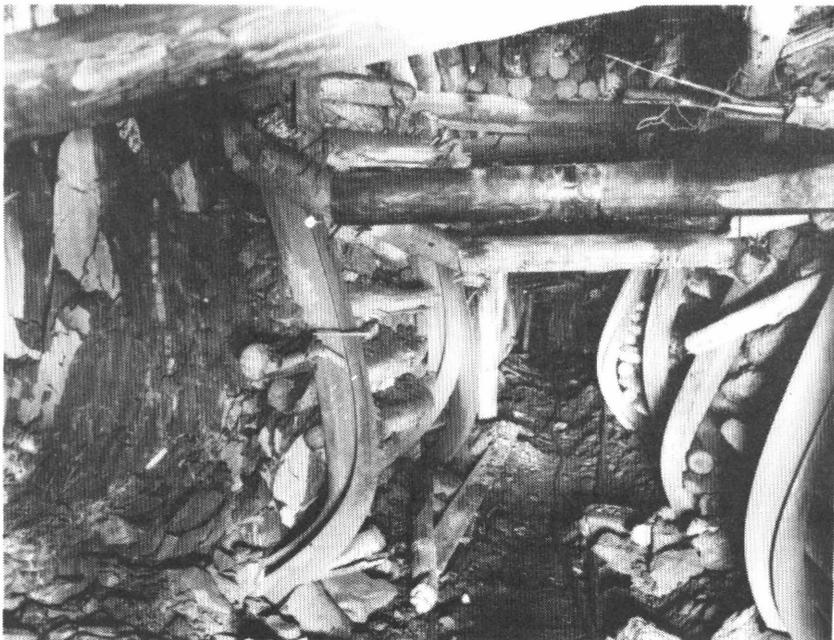


Abb. 35 Blick in den nicht hydraulisch ausgebauten Teil der Meßstrecke 4 nach Strebdurchgang

Fig. 35 Vue de la partie à soutènement non hydraulique dans la galerie de mesure 4, après traversée de la taille.

Section de mesure N°	Meßquerschnitt Nr.	C_{-50}^{+135} mm	C_{-50}^{-10} mm	C_{+10}^{+135} mm
	0	-	-	-
	1	386	76	182
	2	344	42	184
Valeur moyenne	Mittelwert	365	59	183
	3	276	28	170
	4	258	32	138
	5	356	40	184
	6	374	42	196
	7	376	52	182
	8	376	56	188
Valeur moyenne	Mittelwert	336	42	176
	9	408	42	184
	10	370	44	196
	11	382	48	222
	12	398	82	198
	13	376	68	182
	14	382	60	186
	15	352	42	154
Valeur moyenne	Mittelwert	381	55	189

Abb. 36 Meßstrecke 4

Konvergenz - Kennziffern



Abb. 37 Blick in die Meßstrecke 5

Fig. 37 Vue de la galerie de mesure 5

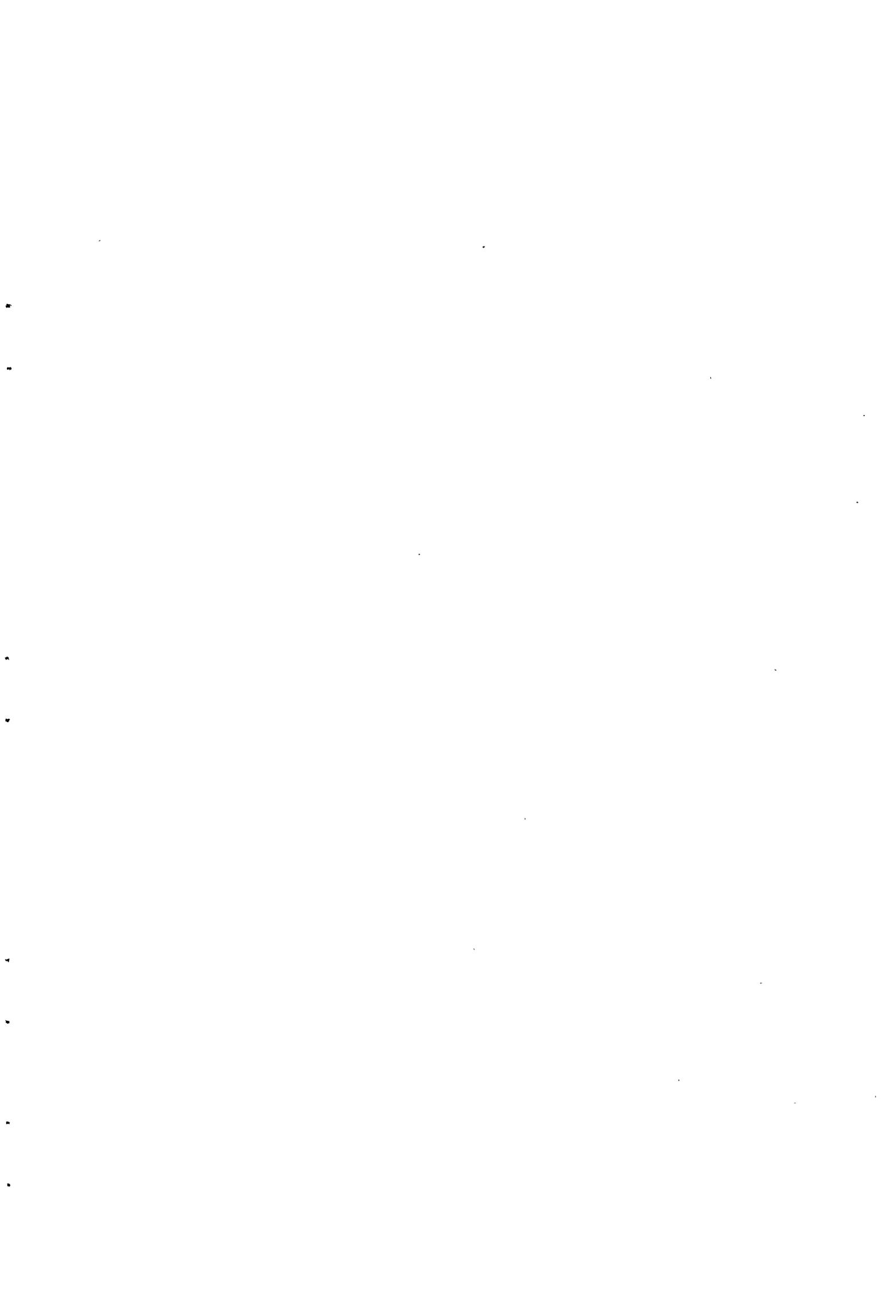


Fig. 38 Galerie de mesure 6, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H

(I) coupe au 1:1 000

(1) Galerie de mesure à soutènement hydraulique 6

(II) Plan au 1 : 5 000

(1) Galerie de mesure hydraulique 6

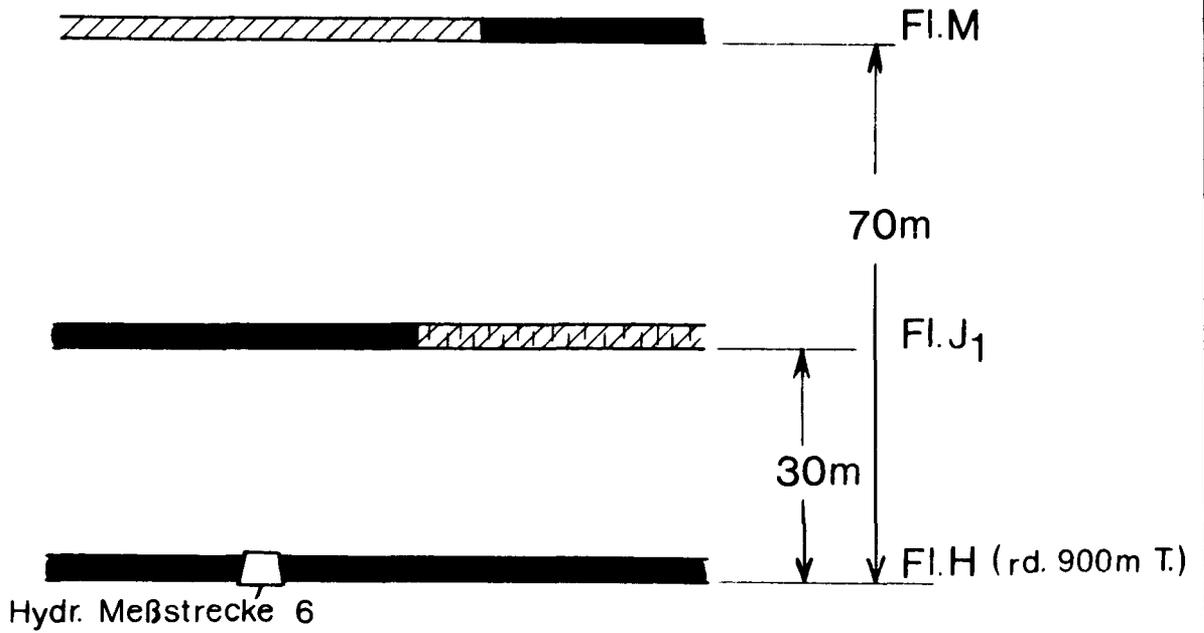
(2) Piliers résiduels dans la veine J1 ou M

(3) Sens de l'abattage

(4) Creusement en montant

Schnitt ① - ①

1 : 1000



Grundriß

1:5000

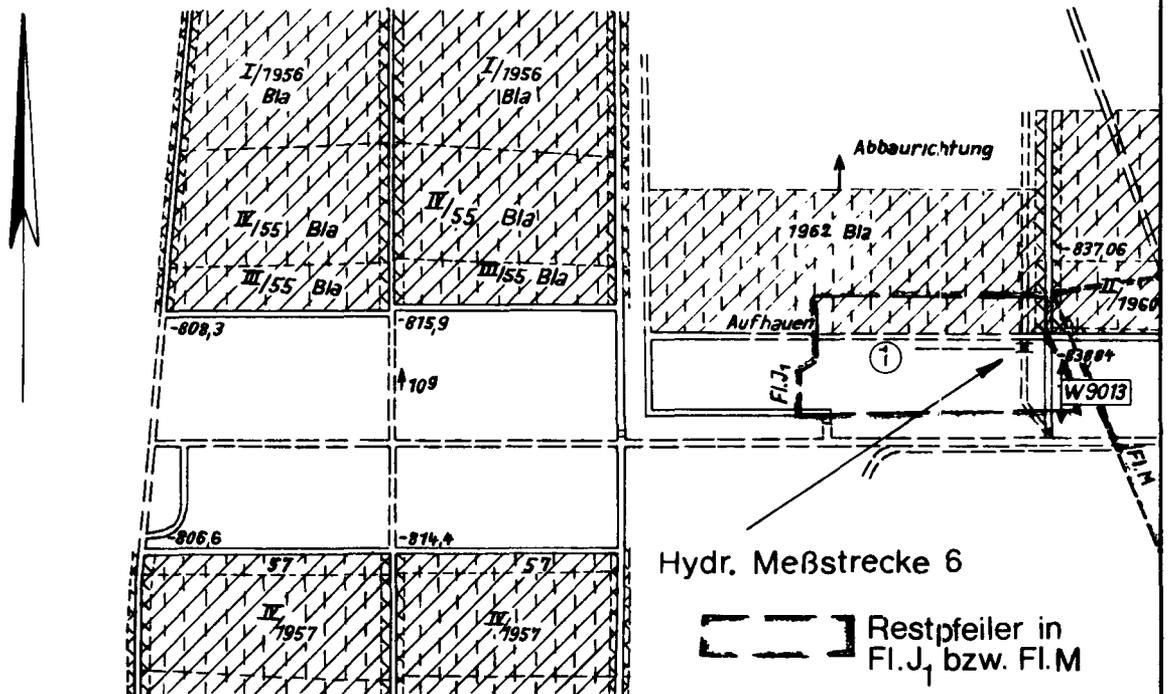
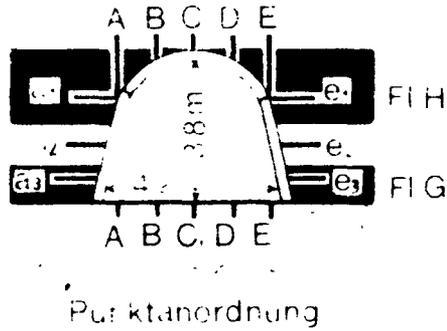


Abb. 38

Meßstrecke 6

Zeche Graf Bismark 2/6/9

Flöz H



Schnitt
M 1 200

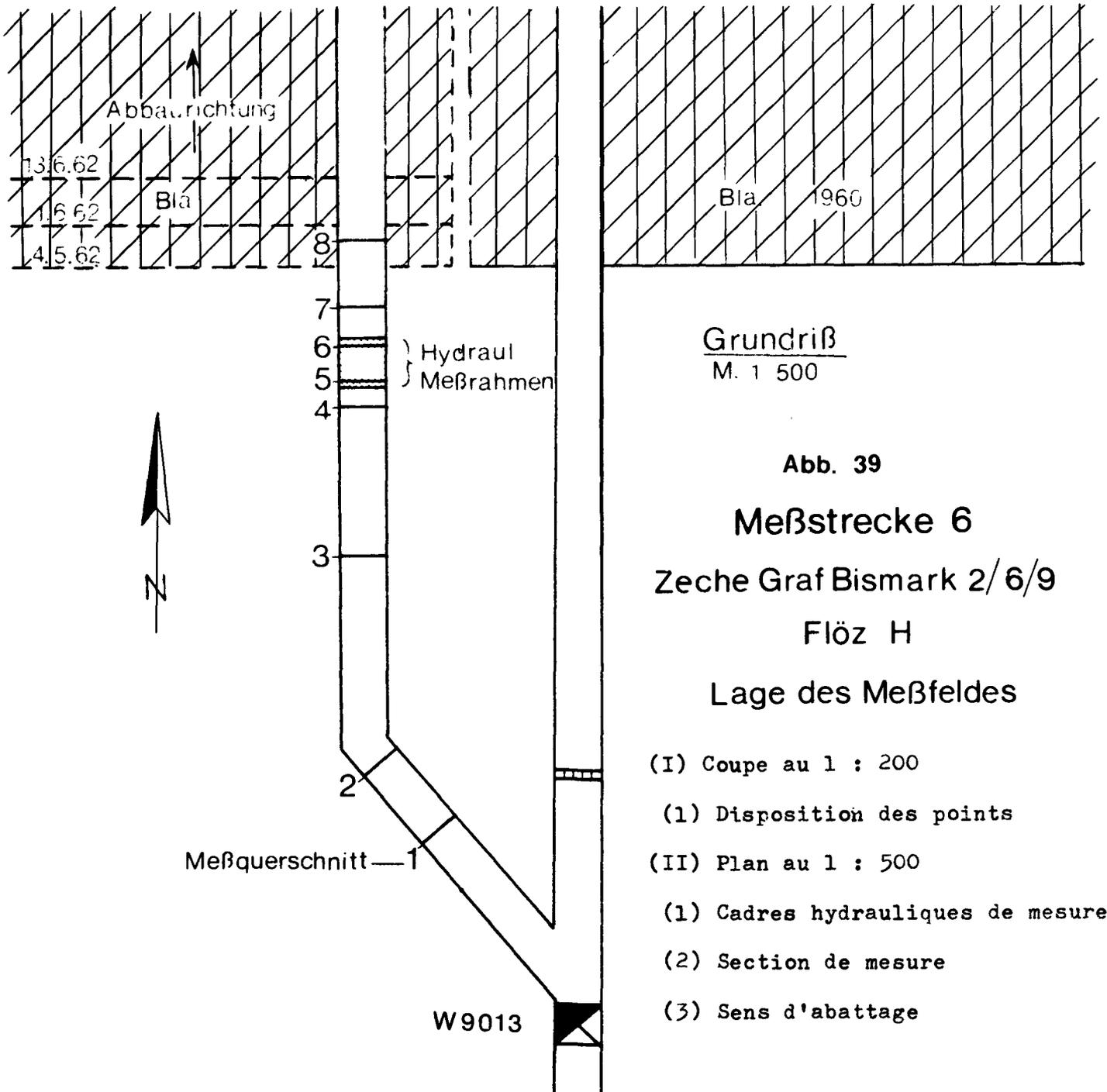


Fig. 39 Galerie de mesure 6, Mine Graf Bismark 2/6/9, veine H, situation du champ de mesure.

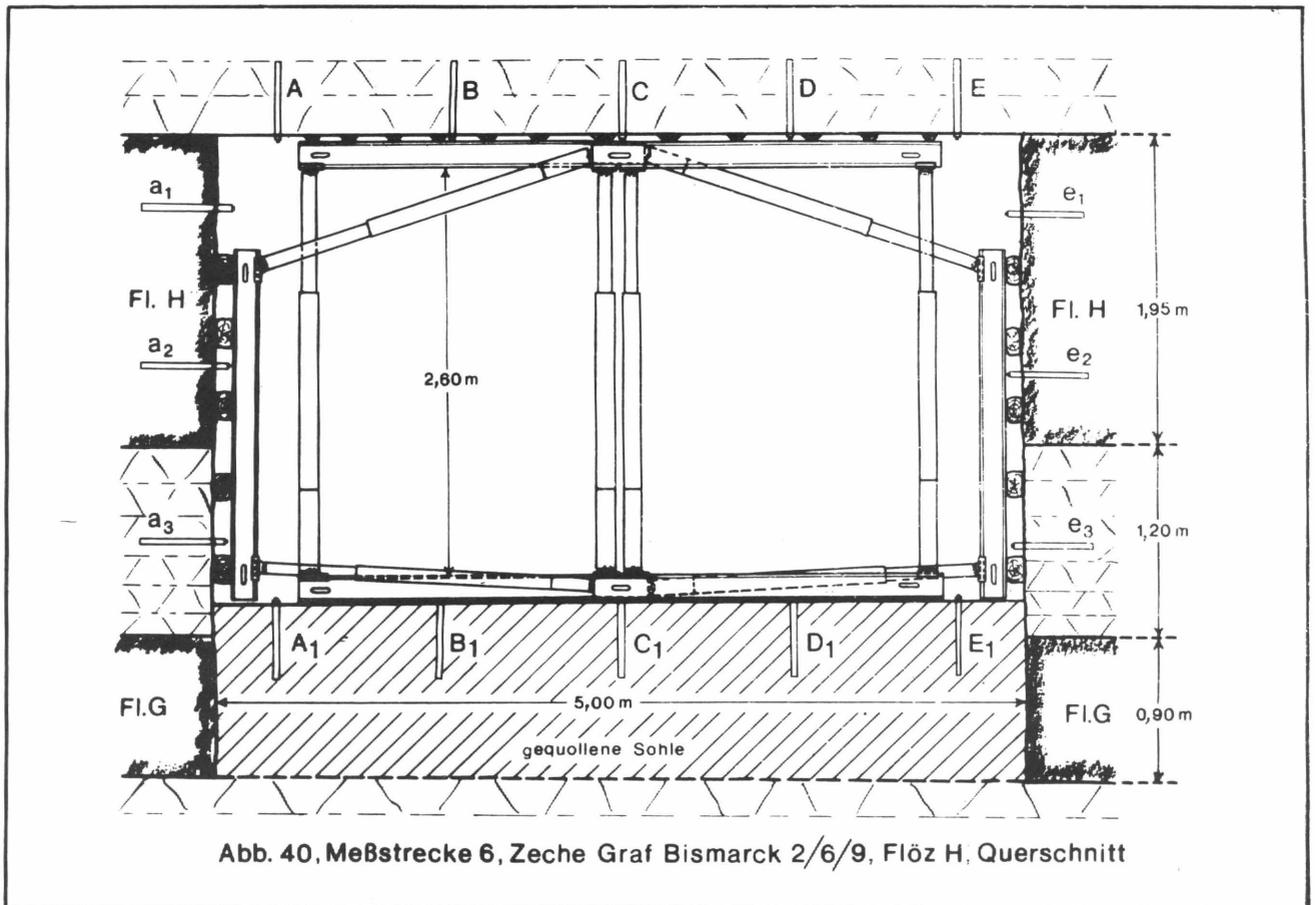


Fig. 40 Galerie de mesure 6, mine Graf Bismarck 2/6/9, veine H, section

(1) Sole gonflée

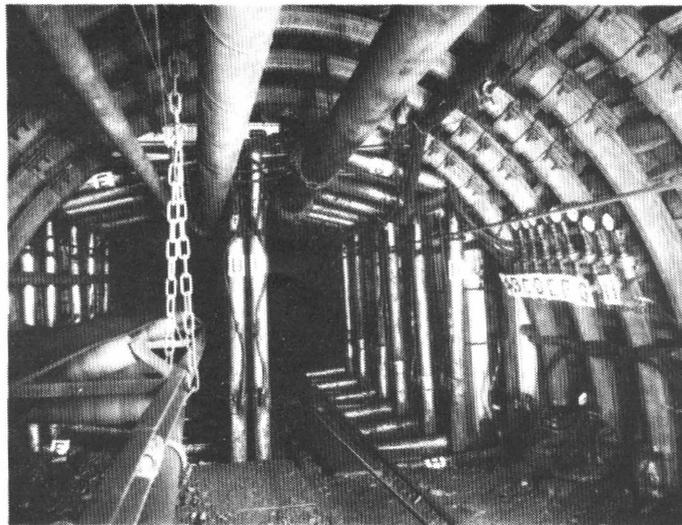


Abb. 41 Blick in die Meßstrecke 6

Fig. 41 Vue de la galerie de mesure 6

Fig. 42 Réduction de section et résistance du soutènement dans la section de mesure 5 de la galerie 6.

- (1) Mgf/m^2
- (2) Parallèle aux épontes
- (3) Perpendiculaire aux épontes
- (4) Résistance du soutènement
- (5) Réduction de section
- (6) Jours

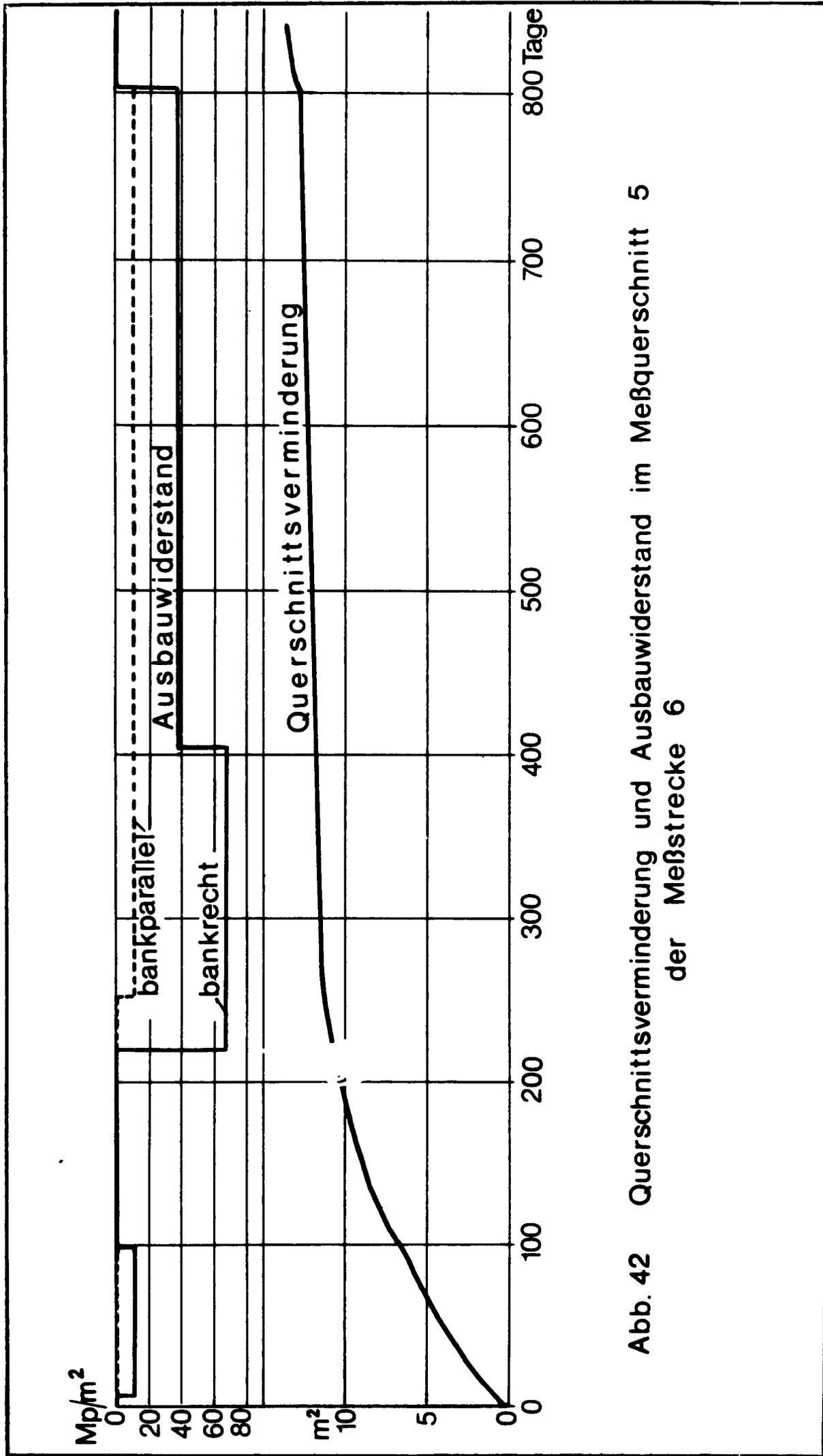


Abb. 42 Querschnittsverminderung und Ausbauwiderstand im Meßquerschnitt 5 der Meßstrecke 6

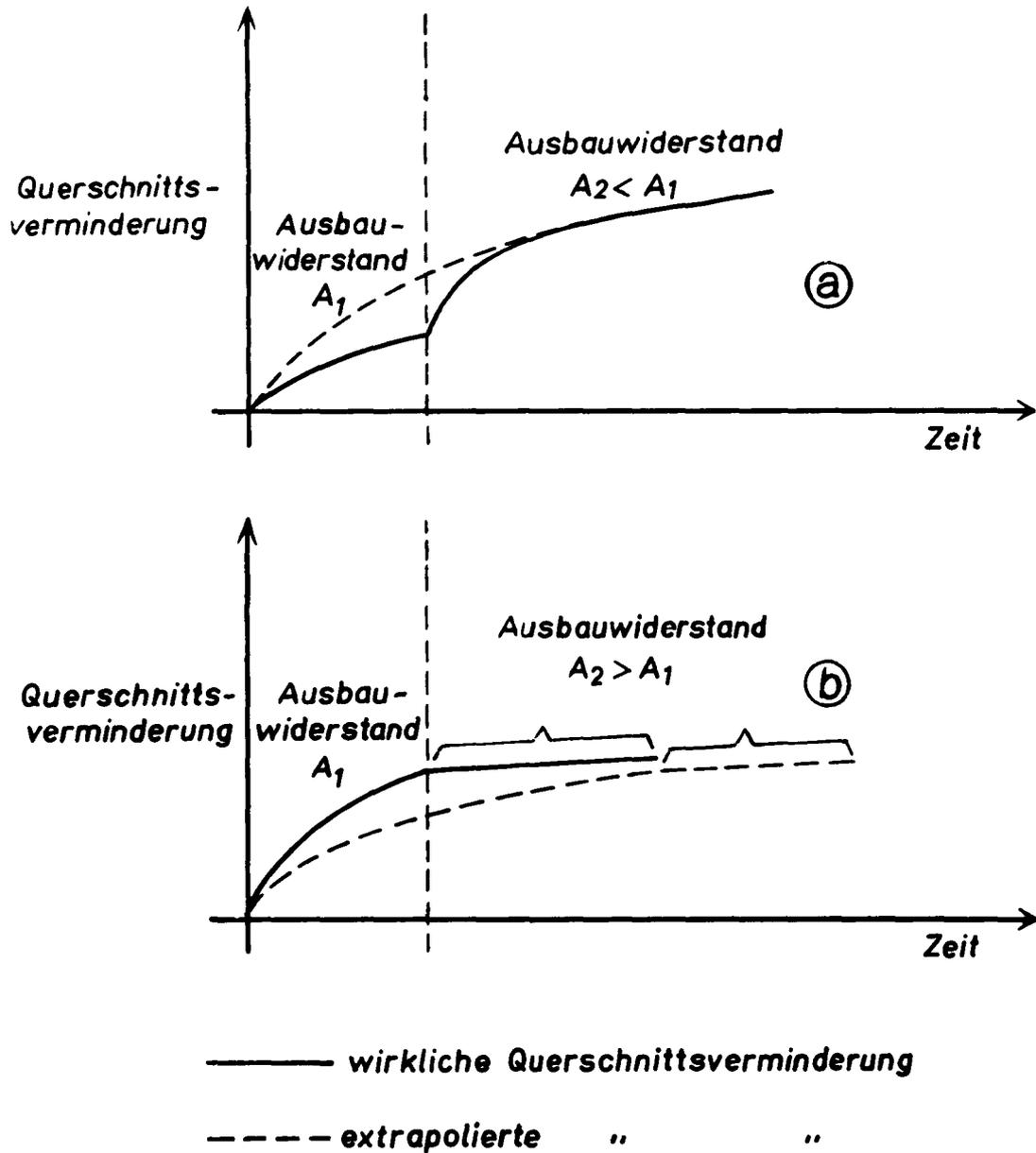


Abb. 43 Zum Einfluß von Änderungen des Ausbauwiderstandes

Fig. 43 Influence des variations de la résistance du soutènement

- (1) Réduction de section
- (2) Temps
- (3) Résistance du soutènement
- (4) Réduction effective de section
- (5) Réduction extrapolée de section

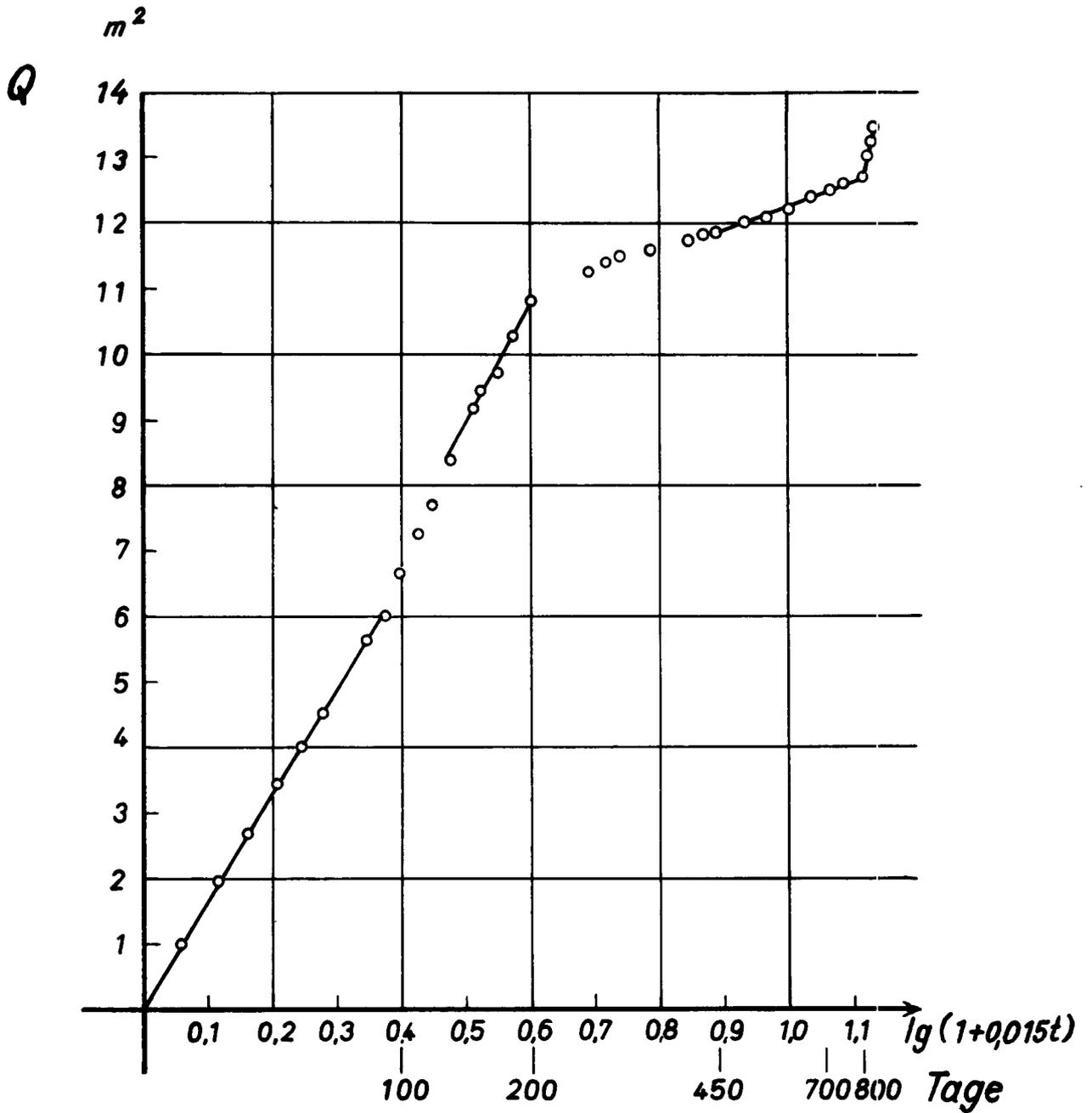


Abb.44 Die Querschnittsverminderung der Meßstrecke 6 in halblogarithmischer Darstellung

Fig. 44 Réduction de la galerie de mesure 6 en représentation semi-logarithmique

(1) Jours

Fig. 45 Convergence pour différentes résistances du soutènement
(d'après (4), galerie de mesure 6

- (1) Convergence
- (2) Résistance du soutènement
- (3) Sole
- (4) Parements
- (5) Durée
- (6) Jours

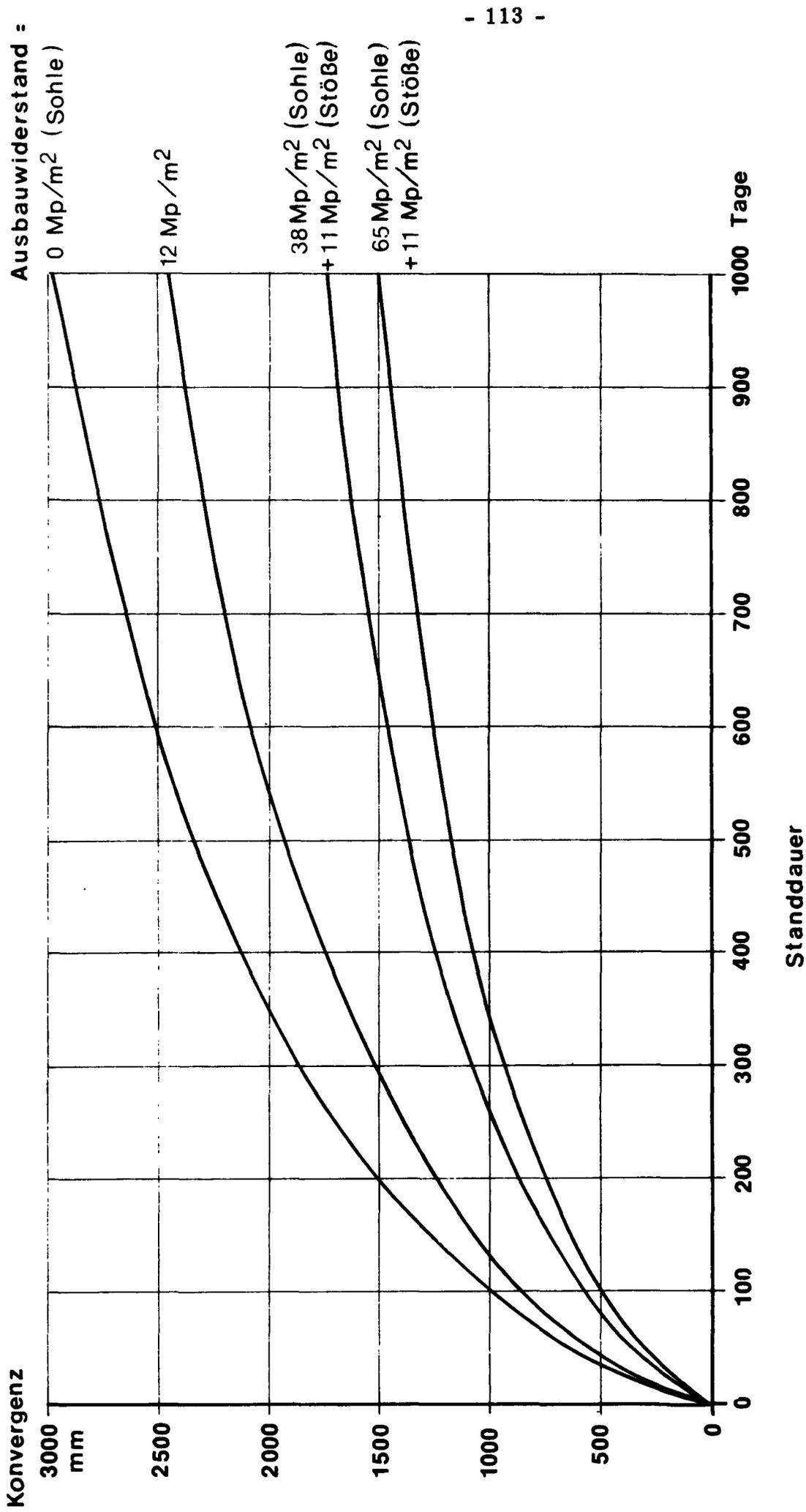


Abb.45 Konvergenz bei verschiedenen Ausbauwiderständen
(nach (4)), Meßstrecke 6

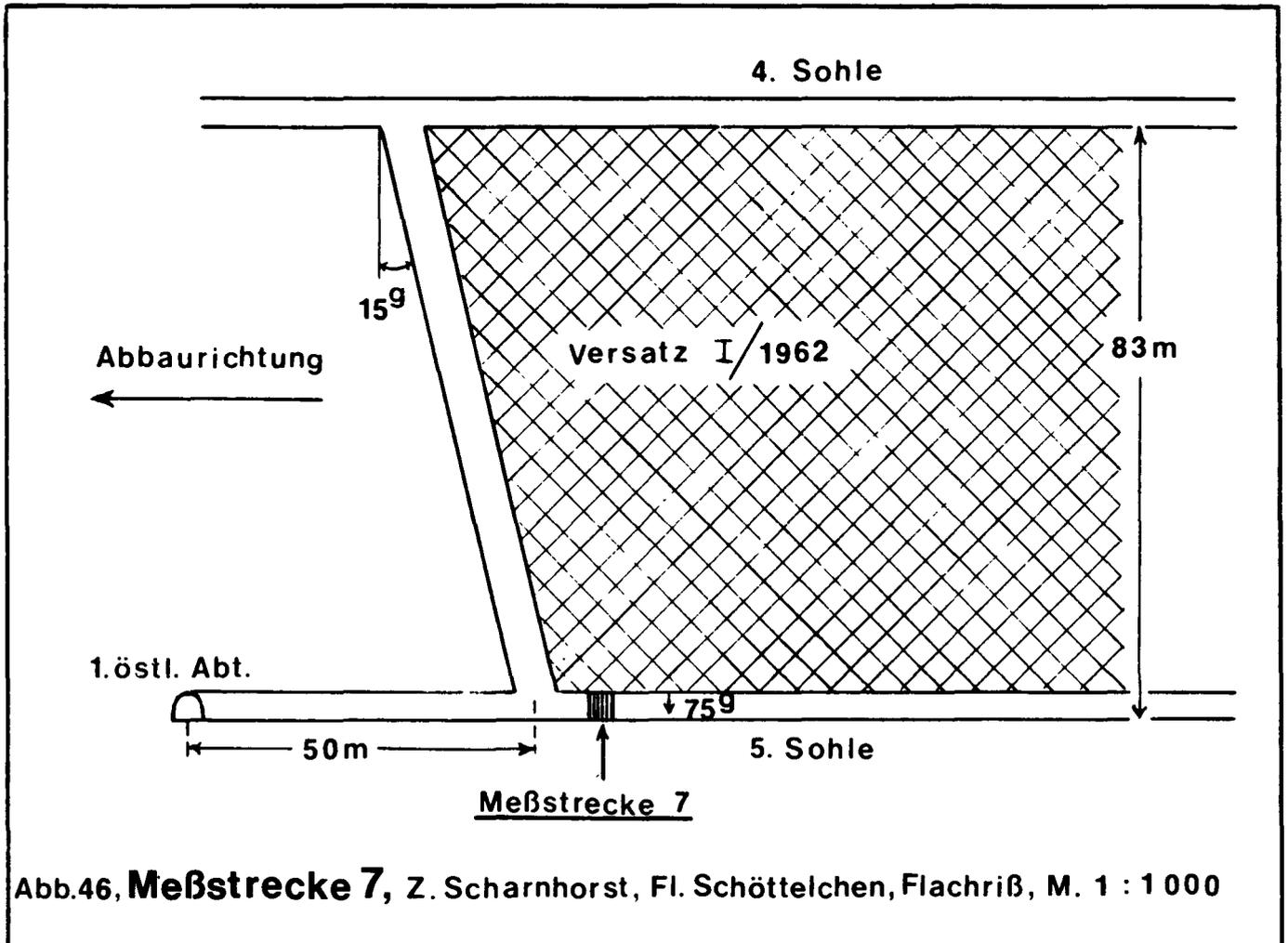


Abb.46, **Meßstrecke 7**, Z. Scharnhorst, Fl. Schöttelchen, Flachriß, M. 1 : 1 000

Fig. 46 Galerie de mesure 7, mine Scharnhorst, veine Schöttelchen, élévation au 1 : 1 000

- (1) 4e étage
- (2) Remblai I/1962
- (3) Sens d'abattage
- (4) Galerie de mesure 7
- (5) 5e étage
- (6) Première section est

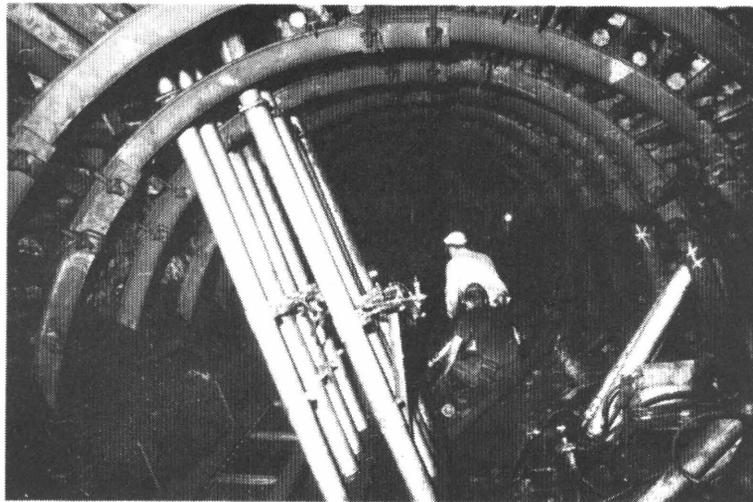
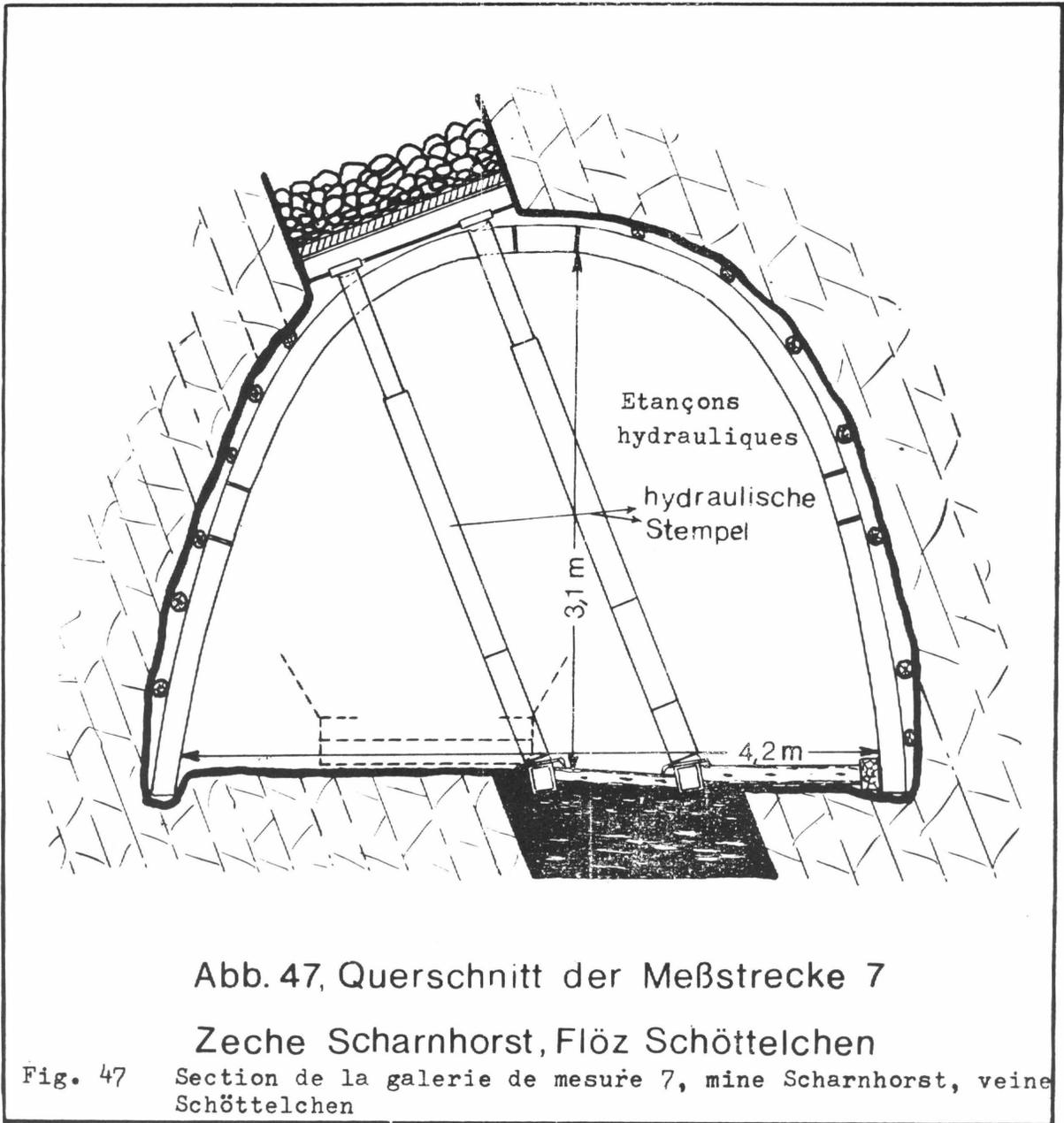


Fig. 49 Pressions du remblai, convergence et fléchissement des plaques de mesure dans la galerie de mesure 7

- (1) Convergence
- (2) Fléchissement
- (3) Pression du remblai Mgf/m^2
- (4) Pendage
- (5) Puissance de couche
- (6) Février
- (7) Mars
- (8) Avril
- (9) Septembre

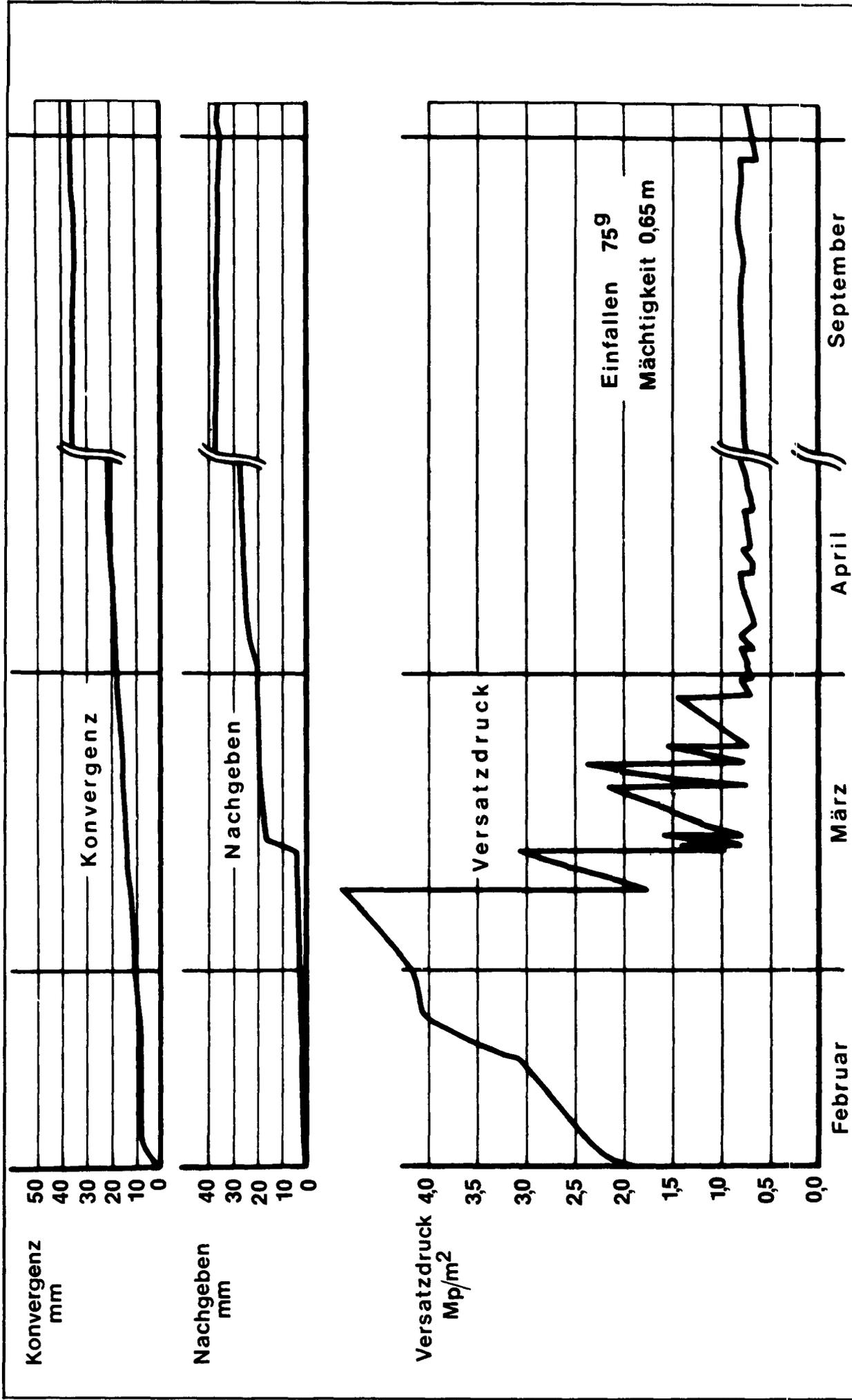


Abb. 49 Versatzdruck , Konvergenz und Nachgeben der Meßplatten in der Meßstrecke 7

Fig. 50 Fonction de convergence entre - 100 et + 400 m

- (1) Fonction de convergence
- (2) Etat de la taille
- (3) Veine en exploitation
- (4) Veine à exploiter
- (5) Paire de points de convergence

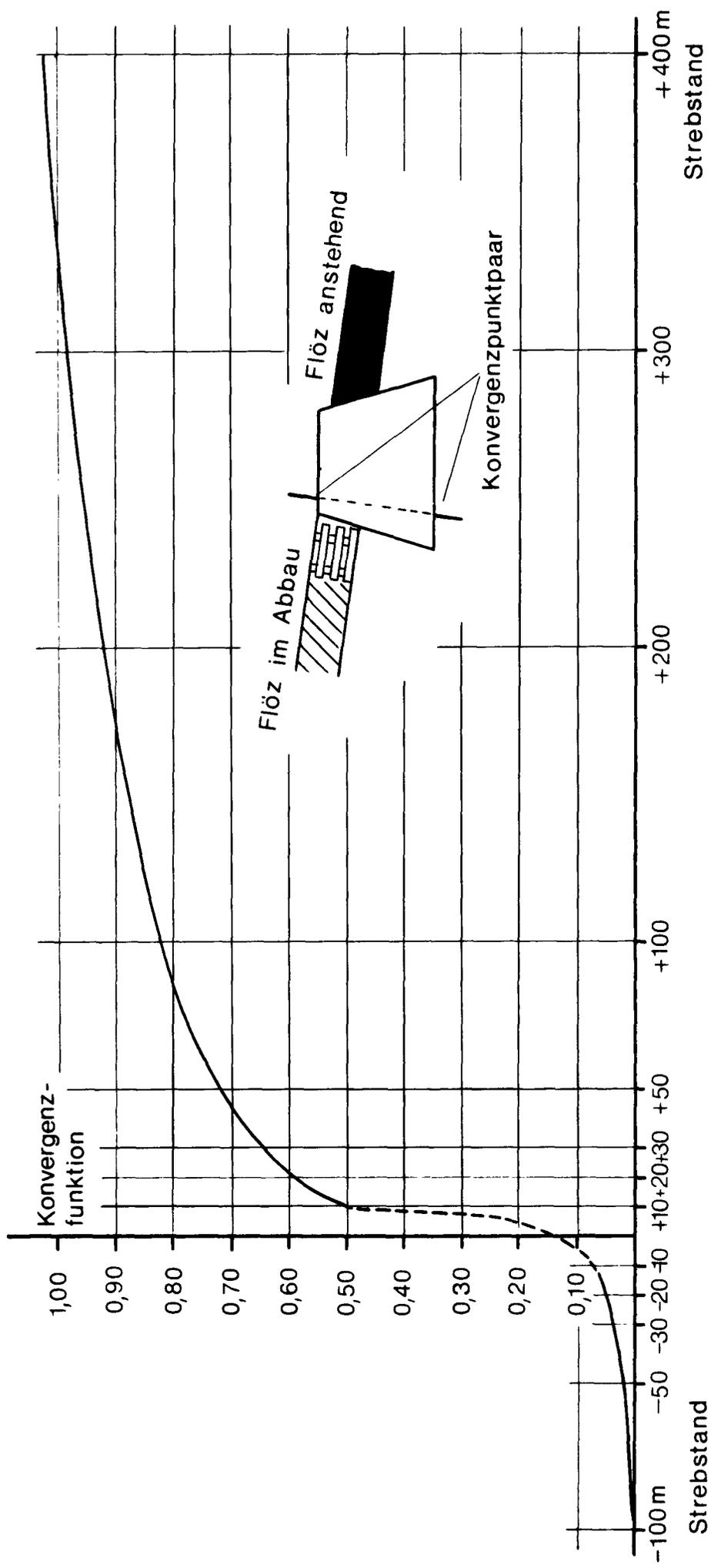


Abb. 50 Konvergenzfunktion zwischen -100 und +400m



Abb. 51 Streckenquerschnitt mit Meßkreuz
vor Strebdurchgang

Fig. 51 Section de galerie avec croix de mesure, avant le passage de la taille

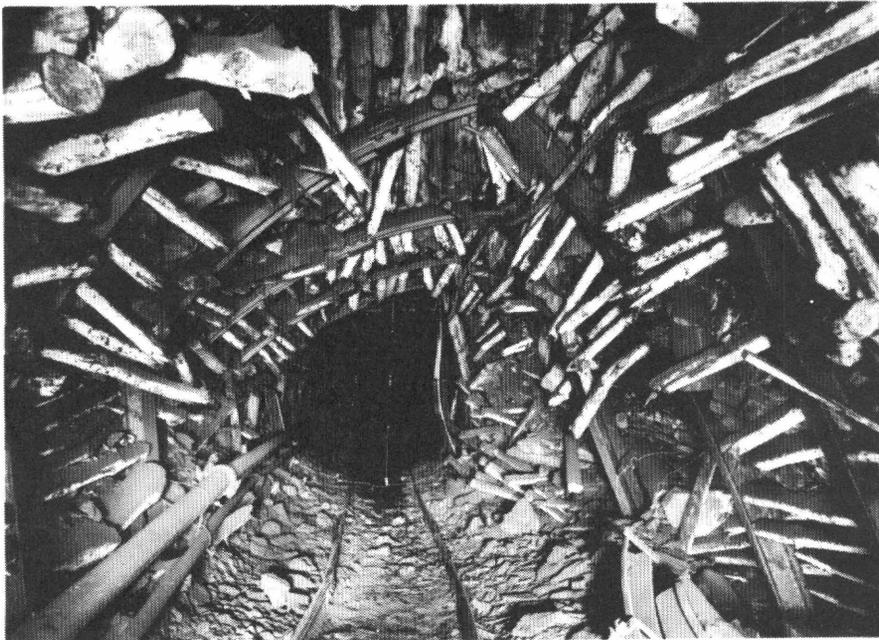


Abb. 52 Streckenquerschnitt mit Meßkreuz
nach Strebdurchgang

Fig. 52 Section de mesure avec croix de mesure, après passage de taille

Strecke Nr.	Flozmach- tigkeit cm	Konvergenz insgesamt		Konvergenz nach Strebdurchgang	
		gemessen mm	berechnet mm	gemessen mm	berechnet mm
1	200	+130 C = <u>930</u> - 8	<u>936</u>	+130 C = <u>411</u> + 10	<u>444</u>
3	206	+ 85 C = 438 - 20	927	+ 85 C = 265 + 10	383
4	213	- 10 C = 776 - 73	172		
5	80	+ 70 C = <u>365</u> - 10	<u>336</u>	+ 70 C = 228 + 10	134
7	100	+150 C = <u>400</u> - 25	<u>504</u>	+150 C = <u>150</u> + 25	<u>156</u>
8	130	+140 C = 1105 - 85	670	+140 C = 615 +10	290

Abb. 53

Durchschnittliche Konvergenz der Abbaustrecken
bei Bruchbau mit Streckendamm

(Bei Übereinstimmung zwischen gemessener und berechneter Konvergenz sind die betreffenden Zahlen unterstrichen)

Fig. 53 Convergence moyenne des galeries d'abattage dans l'exploitation par foudroyage avec barrage en galerie (en cas de concordance entre la convergence mesurée et la convergence calculée, les chiffres sont soulignés).

Galerie N°	puissance de couche	Convergence mesurée	au total calculée	Convergence après passage de la taille mesurée/calculée
------------	------------------------	------------------------	----------------------	--

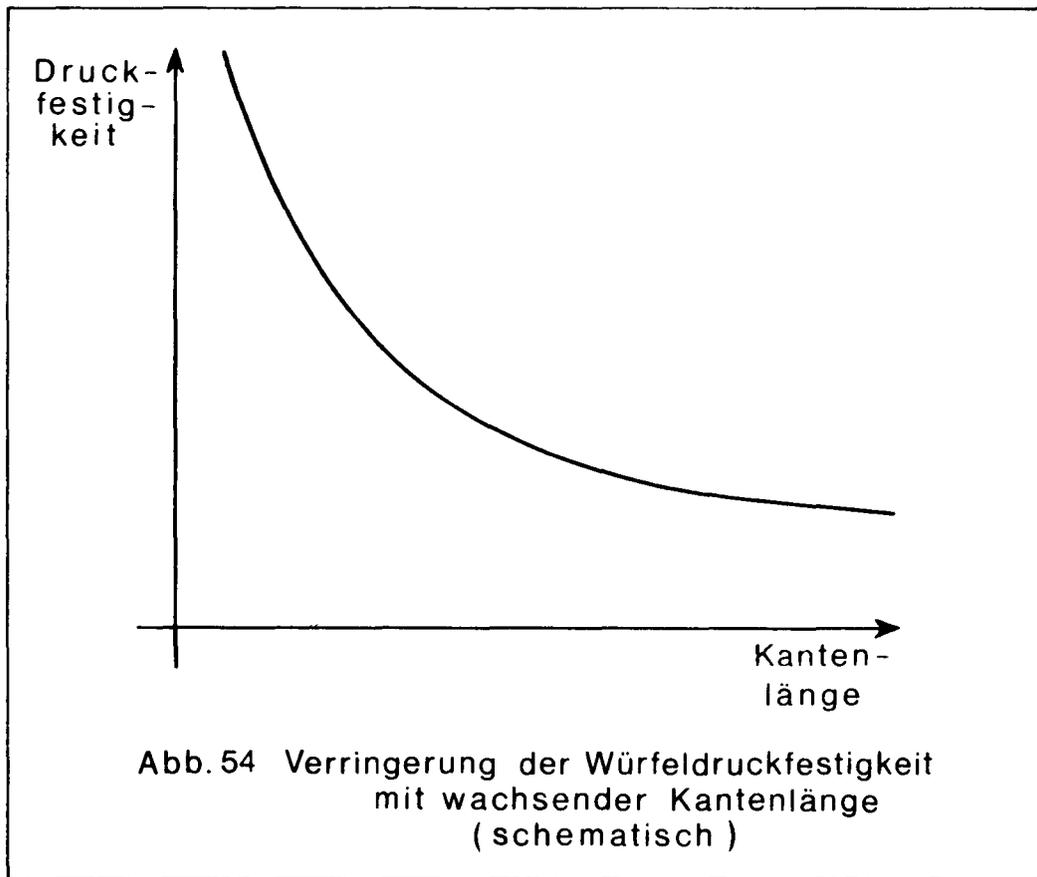
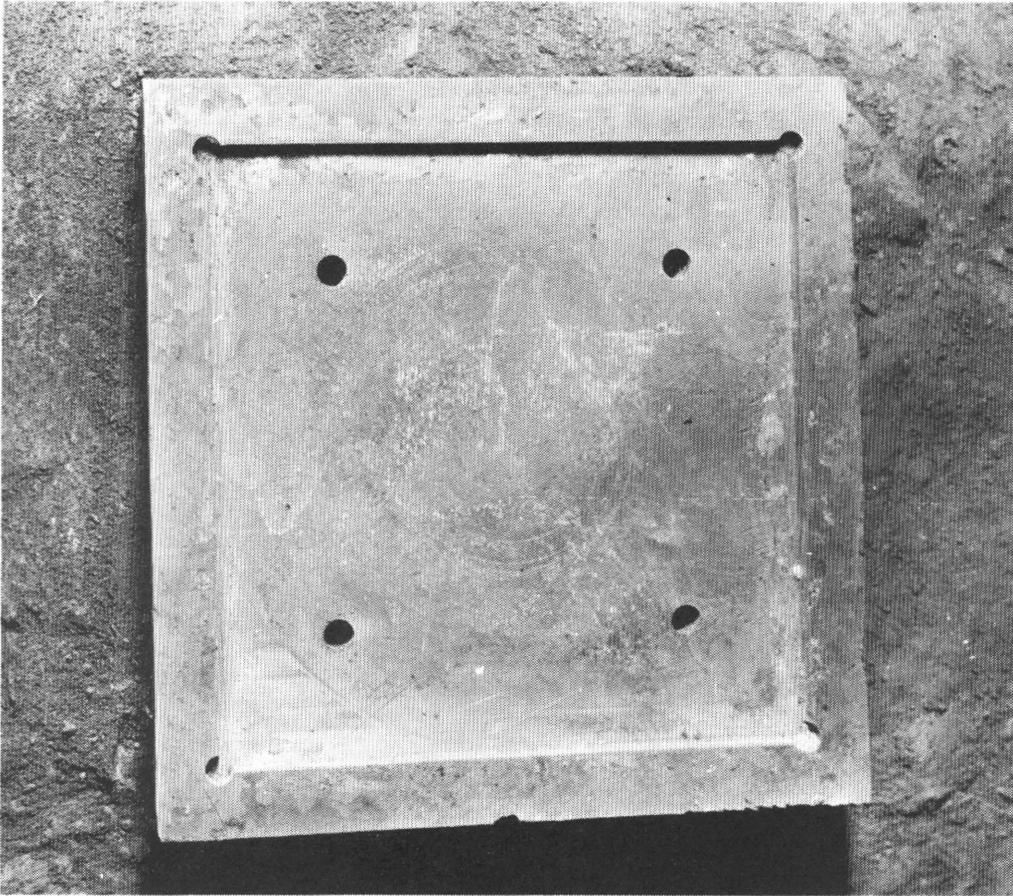


Fig. 54 Réduction de la résistance à la compression du massif en fonction de l'augmentation de l'arête (schématique)

- (1) Résistance à la compression
- (2) Arête



**Abb. 55 Druckplatte zur Behinderung der Quer-
dehnung bei Prüfstandversuchen**

Fig. 55 Plaque de compression pour empêcher l'allongement
transversal dans les essais au banc



Abb. 56 Typisches Bruchbild eines Probewürfels

Fig. 56 Cliché type de foudroyage d'un massif d'essai

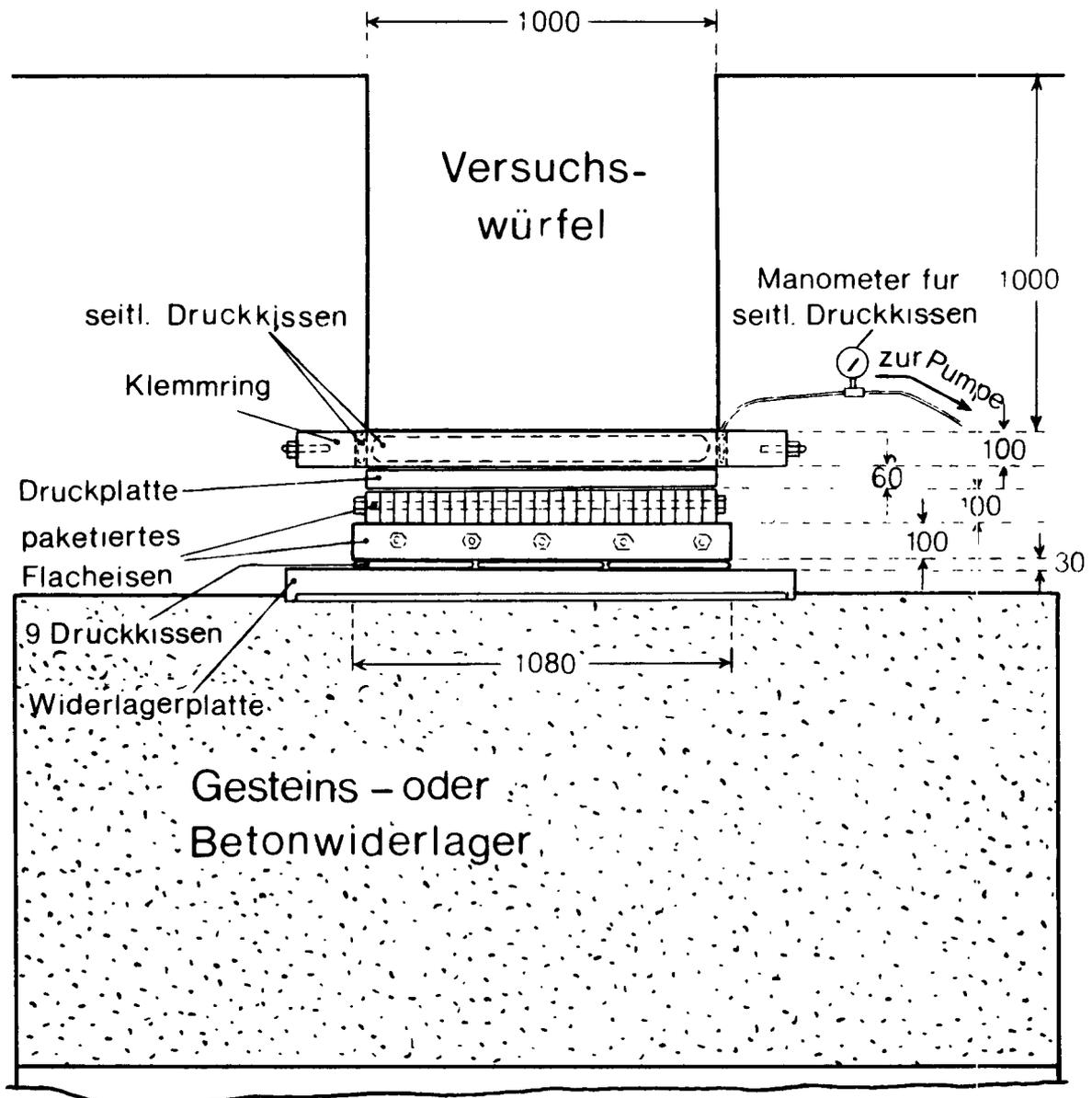


Abb. 57 Anordnung zum Druckversuch in situ
(Schnitt)

M. 1:20

Fig. 57 Dispositif de l'essai de compression in situ (coupe)
(échelle 1 : 20)

- (1) Tube d'essai
- (2) Coussins de compression latéraux
- (3) Bague de serrage
- (4) Manomètre pour les coussins de compression latéraux
- (5) Vers la pompe
- (6) Plaque de compression
- (7) Fers plats en paquets
- (8) 9 coussins de compression
- (9) Plaque de butée
- (10) Support en roche ou en béton

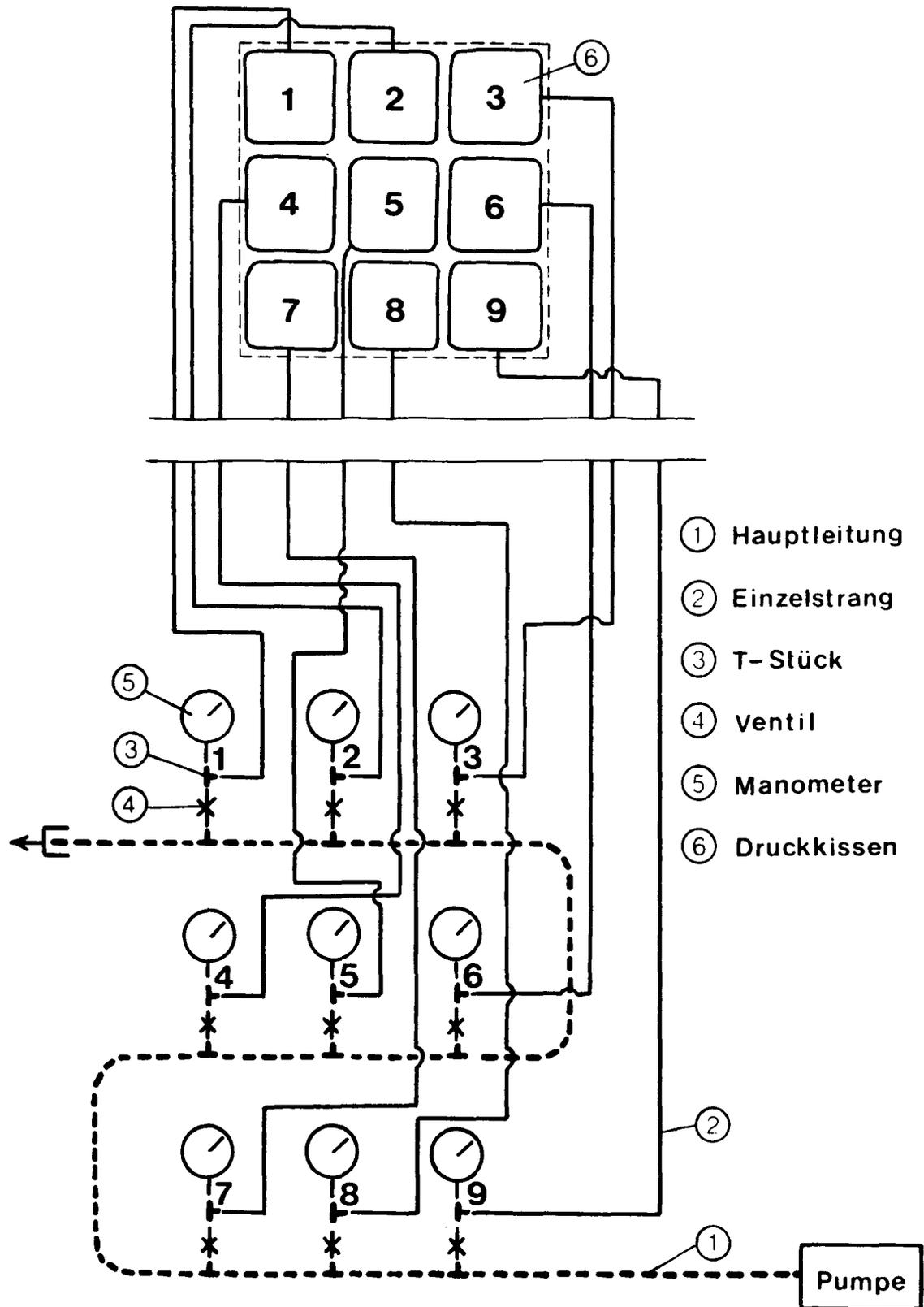


Abb. 58 Schaltungsplan für einen Druckversuch
 in situ

Fig. 58 Schéma de montage pour un essai de compression in situ

- (1) Conduite principale
- (2) Brin
- (3) Té
- (4) Soupape
- (5) Manomètre
- (6) Coussin de compression
- (7) Pompe

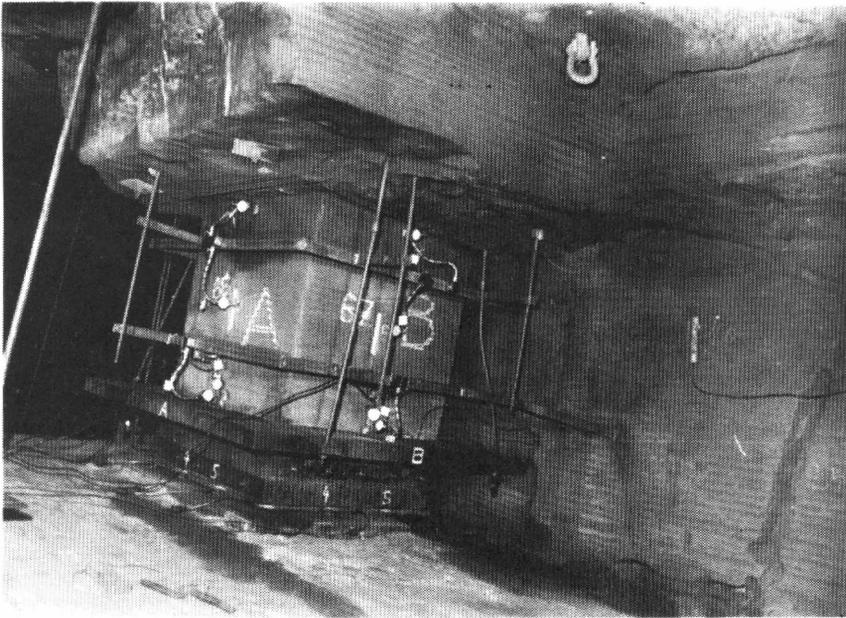


Abb. 59 Zum Druckversuch in situ vorbereiteter 1m - Würfel

Fig. 59 Massif de 1 m de côté préparé pour l'essai de compression in situ

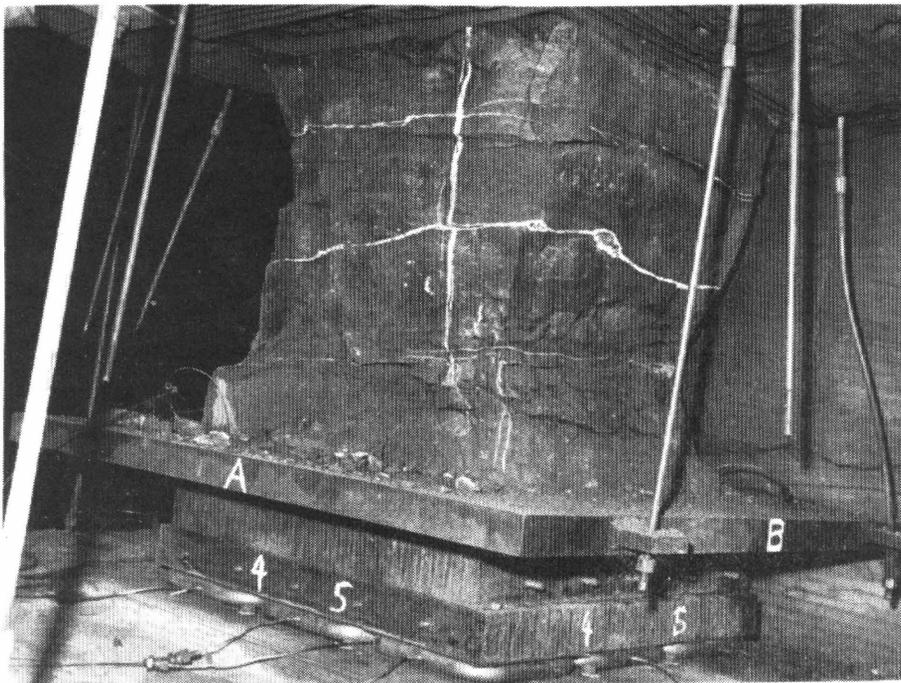


Abb. 60 1m-Würfel in situ nach stattgefundenem Bruch

Fig. 60 Massif de 1 m de côté in situ après foudroyage

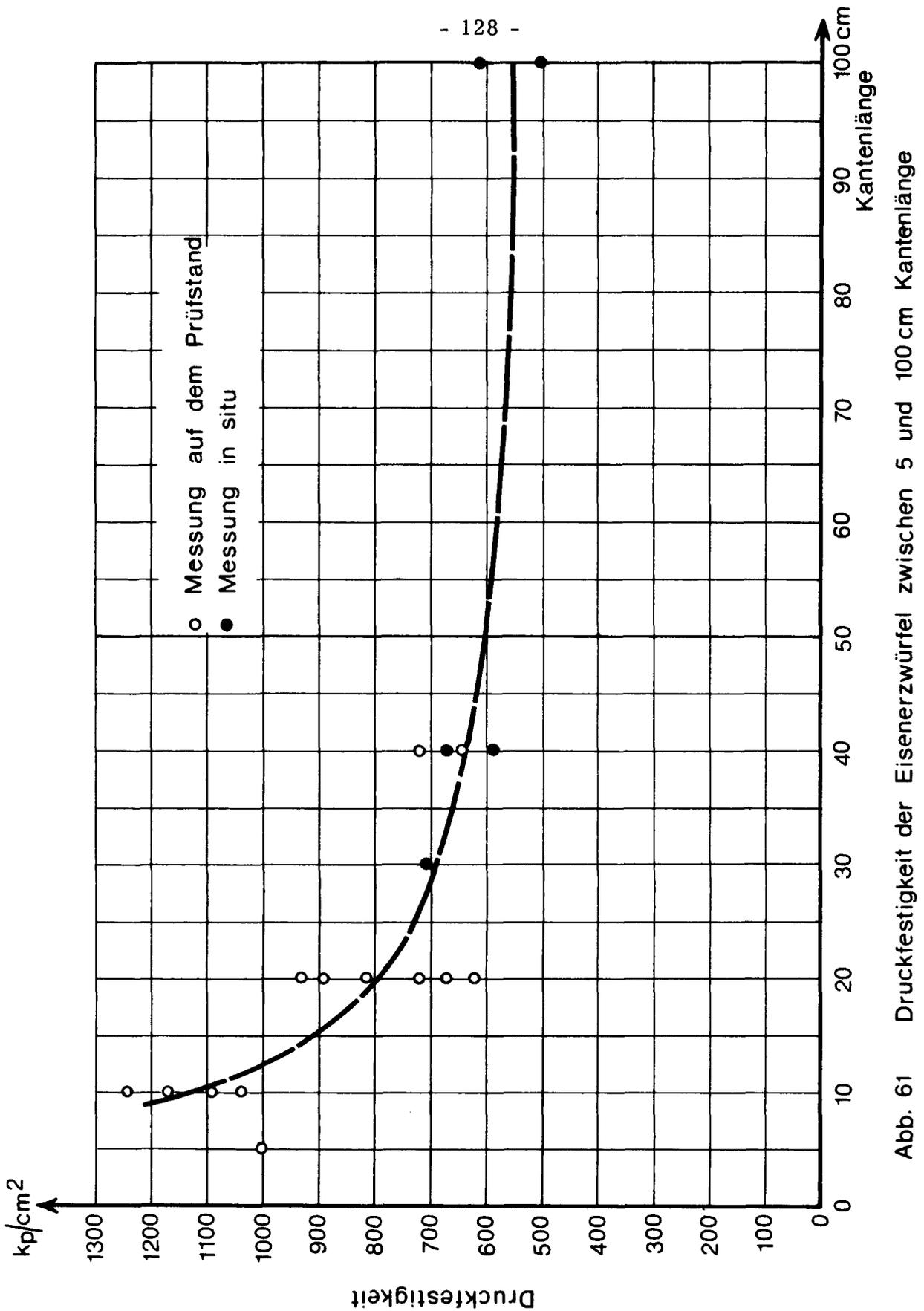


Abb. 61 Druckfestigkeit der Eisenerzwürfel zwischen 5 und 100 cm Kantenlänge

Fig. 61 Résistance à la compression des cubes de minerai de fer compris entre 5 et 100 cm de côté

- (1) Résistance à la compression
- (2) Arête
- (3) Mesure au banc d'essai
- (4) Mesure in situ

**Publications technico-économiques
de la Commission des Communautés européennes dans le domaine du charbon**

Doc. n°	Titre	Année	Langues	Prix en unités de compte
9591/1/59/1	Creusement rapide de galeries dans le rocher et dans le charbon	1959	d	2,50
6470/2/60/1	Mesures de rationalisation dans les charbonnages	1960	d, f	2,50
11848/2/66/1	Mesures de rationalisation et de modernisation dans les charbonnages des bassins de la Sarre et de la Lorraine	1966	d, f	3,00
	Le grisou et les moyens de le combattre. Deuxième journée d'information du 10 février 1967 à Luxembourg	1967	d, f	2,50
13909	Réunion technique de la commission de recherches charbon du 10 au 12 avril 1967 à Essen	1967	d, f	2,50
Recueils de recherches Charbon				
11466/2/65/1	N° 1 Chargement des fours à coke avec du charbon pré-chauffé	1966	d, f	1,50
11734/2/66/1	N° 2 Combustion du charbon	1966	d, f, i, n	1,50
11735/2/66/1	N° 3 Inflammation et combustion de charbon gras sur grille	1966	d, f, i, n	1,50
12546/2/66/1	N° 4 Mécanisation du creusement au rocher — Machine de creusement des galeries SVM 40	1966	d, f	1,50
12633/2/66/1	N° 5 Chaudière « Package » à tube d'eau à grille oscillante	1966	d, f	1,50
12634/2/66/1	N° 6 Chaudière « Package » à tube d'eau, alimentée à charbon pulvérisé	1966	d, f	1,50
3934	N° 7 Dégagements instantanés I — CERCHAR	1966	d, f	1,50
3935	N° 8 Dégagements instantanés I — INICHAR	1966	d, f	1,50
3931	N° 9 Mise à l'épreuve de barrages et d'arrêts-barrages	1967	d, f	1,50
3936	N° 10 Télécontrôle et télécommande en taille havée	1967	d, f	1,50
4488	N° 12 Désulfuration des gaz de fumées des foyers au charbon	1968	d, f	1,50
4489	N° 13 Contraintes, mouvements et formation de cassures dans les roches encaissant les galeries en veines	1969	d, f, n	1,50
	N° 14 Chaudière de chauffage central à coke	1969	d, f, n	1,50
	N° 15 Etude sur le tirage des cheminées sous l'influence de rafales de vent		en préparation	
	N° 16 Recherches concernant les techniques de combustion des différentes catégories de charbon dans les poêles et petites chaudières		en préparation	
	N° 17 Soutènement mécanisé des tailles - Steinkohlenbergbauverein	1969	d, f	2,50
4491	N° 20 Recherches fondamentales sur la chimie et la physique des charbons et des cokes — Rapport de synthèse I	1968	d, f	3,50
	N° 21 Commandes hydrostatiques pour des installations d'abattage de charbon	1968	d, f, n	1,50
	N° 22 Recherches sur les pressions des terrains I — Steinkohlenbergbauverein	1969	d, f	1,50
4492	N° 23 Recherches sur les pressions des terrains I — CERCHAR. Rapport général	1968	d, f	1,50
	N° 24 Recherches concernant les mouvements de terrains au voisinage des galeries	1969	d, f, n	1,50
	N° 25 Mécanique des terrains houillers dans le cas de déformations planes	1969	d, f	5,50
4493	N° 26 Etude concernant le gisement, le dégagement du grisou et les moyens de le combattre, effectuée dans les mines des Pays-Bas	1968	d, f, n	1,50
4494	N° 27 Etude des pressions de terrain en relation avec les dégagements instantanés de grisou	1969	d, f, n	1,50
	N° 28 Cadres articulés sur piles de bois	1969	f, n	1,00

Des exemplaires supplémentaires du présent recueil, tout comme les publications mentionnées plus haut, peuvent être commandés à

l'Office de vente des publications officielles des Communautés européennes
37, rue Glesener
LUXEMBOURG

