

# NOBEL HEFTE

## SPRENGMITTEL IN FORSCHUNG UND PRAXIS

Sonderdruck aus Heft 4, Juli 1959

### Blitzschutz für elektrische Sprengzünder im Stollenbau

Von Professor Dr. K. Berger, Zürich, Professor J. P. Fourestier, Paris, und Professor Dr. H. F. Schwenkhagen, Wuppertal<sup>1</sup>

In der Blitzschutztechnik ist es allgemein üblich, unterirdisch liegende Objekte ohne besondere Schutzmaßnahmen als blitzsicher zu betrachten, weil sie vom Blitz nicht unmittelbar getroffen werden können. Die Praxis des Schießens mit elektrischen Sprengzündern unter Tage, z. B. im Ruhrkohlenbergbau, hat in jahrzehntelanger Erfahrung gezeigt, daß diese Ansicht auch für Objekte zutrifft, die durch so kleine Energien (1 mWs) ausgelöst werden können wie elektrische Sprengzünder. Gelegentliches vorzeitiges Zünden von Brückenzündern im Stollenbau im Hochgebirge vor dem zweiten Weltkrieg und von Zündern im fertigen Munitionsstollen in der Schweiz während des Krieges zeigte, daß diese Annahme nicht generell zutrifft. Ein Sprengunglück beim Bau des Rißbachstollens<sup>2</sup> durch den Hirschkopf in Bayern am 2. August 1948 ist von einem von uns ausführlich untersucht worden und hat erste Anhaltspunkte dafür gegeben, worauf die Auslösung der Schüsse durch die Brückenzünder bei einem Blitzeinschlag in das Deckgebirge oder am Stollenmund letzten Endes zurückzuführen ist. Über diese Ursachen hat inzwischen ein ergiebiger Meinungs-austausch

zwischen Fachleuten stattgefunden, dessen Ergebnis nach unserer übereinstimmenden Meinung etwa folgendermaßen formuliert werden kann:

Trifft nach Abbildung 1 ein Blitzeinschlag einen beliebigen Geländepunkt der Erdoberfläche, so strömt die vom Blitz transportierte Ladung von der Einschlagstelle kugelsymmetrisch ab, um sich schließlich so auf die Erdoberfläche in der Umgebung des Einschlagpunktes zu verteilen, wie das die von der Wolkenladung her bestimmte Feldverteilung im Luftraum bestimmt. Für die Verteilung des Blitzstromes nach der Tiefe zu ist dabei außer evtl. Schichtung des Bodens mit verschiedener Leitfähigkeit insbesondere die Tatsache maßgebend, daß der Blitzstrom zwar kein Wechselstrom-, sondern ein Gleichstromstoß ist, aber doch so schnell veränderlich ist, daß die von ihm erzeugten magnetischen Wechselfelder ein tieferes Eindringen in den Boden behindern. Wenn wir dem Blitz eine „äquivalente Frequenz“<sup>3</sup> von 10 kHz zuschreiben, wie das bei der Analyse des Blitzstromverlaufes mit 100  $\mu$ s Halbwertdauer (Abb. 2)<sup>4</sup> durchaus gerechtfertigt erscheint, so ergibt sich auch je nach dem spezifischen Widerstand des Gesteins eine Eindringtiefe nach der Zahlentafel 1.

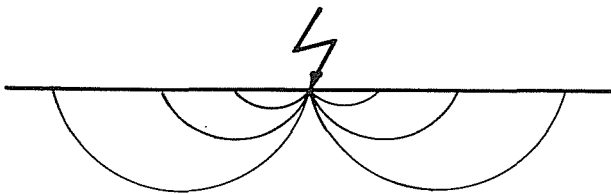


Abb. 1. Ausbreitung des Blitzstromes im Erdreich.

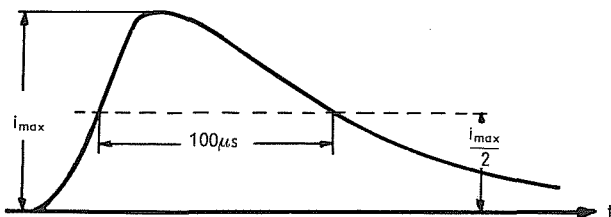


Abb. 2. Blitzstromverlauf.

Zahlentafel 1.

Bodenart	Humus	Kalkstein	Granit	
Spez. Widerstand . . . . . $\rho$	100	1000	10 000	$\Omega$ m
Eindringtiefe . . . . . t	50	150	500	m

<sup>1</sup> Erweiterte Wiedergabe eines am 18. 6. 1958 auf der 5. Internationalen Blitzschutzkonferenz in Wien durch Professor Dr.-Ing. Schwenkhagen vorgetragenen Kurzreferates.

<sup>2</sup> s. Schweizer Bulletin für Geniewesen Nr. 18 aus dem Jahre 1950.

<sup>3</sup> s. Allgemeine Wechselstromlehre T. I; H. F. Schwenkhagen, Springer-Verlag.

<sup>4</sup> s. Blitzschutz, 6. Auflage, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Seite 24.

In dem elektrotechnisch üblichen Sinne ist dabei als Eindringtiefe der Abstand von der Erdoberfläche bezeichnet, in dem bei einer ebenen Strömung die Stromdichte auf  $\frac{1}{e} \approx 37\%$  ihres Oberflächenwertes abgesunken ist. Beim 5fachen Wert dieser Eindringtiefe ist der Strom praktisch nicht mehr vorhanden. Die Zahlentafel zeigt, daß Blitzeinwirkungen in großer Tiefe unter gut leitendem Boden praktisch nicht mehr vorhanden sind, daß aber in sehr schlecht leitenden massiven Urgesteinen auch bei erheblicher Überdeckung noch merkliche Anteile des Blitzstromes fließen. Die Konzentration des Stromes in der Nähe der Oberfläche bei gut leitendem Boden wird in Industriegebieten noch durch die Erhöhung der Oberflächenleitfähigkeit durch Rohr- und Schienennetze verstärkt. Die völlige Sicherheit des elektrischen Schießens im Steinkohlenbergbau des Ruhrgebietes gegen Blitzstörungen, wie sie sich jahrzehntelang praktisch erwiesen hat, ist damit auch theoretisch geklärt. Andererseits sind in schlecht leitenden Felsen auch bei großer Überdeckung noch Stromeinwirkungen möglich und zu befürchten.

Liegt nämlich innerhalb des vom Blitzstrom durchflossenen Bodens ein Stollen, so ist dieser im elektrischen Sinne nach Abbildung 3 praktisch als eine leitfähige Nadel anzusehen, die an ihrem einen Ende einen Teil des Stromes aus der Umgebung ansaugt, um ihn am anderen Ende wieder an das umgebende Erdreich abzugeben. Das Stromlinienbild würde bei homogener Durchströmung ähnlich aussehen wie das Feldlinienbild in der Umgebung einer Stricknadel in einem homogenen magnetischen Feld. Das wahre Feldbild der Strömung ist viel komplizierter und würde eher dem entsprechen, das sich beim Einlegen einer Stecknadel in das Feld eines starken Stabmagneten in der Nähe eines der Pole ergibt. Es hängt überdies von der Bodengestaltung sowie selbstverständlich auch von der Verteilung einer Inhomogenität der Leitfähigkeit des Bodens ab, ist aber bei homogenem Erdreich

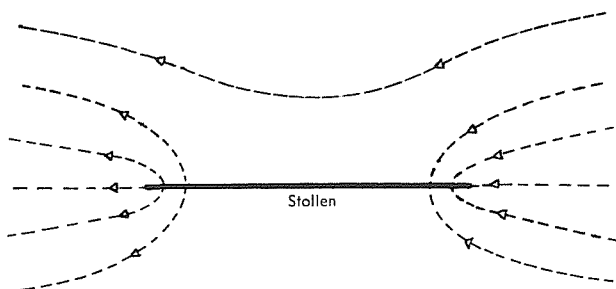


Abb. 3. Einfluß des Stollens auf die Stromverteilung im Boden.

unabhängig von dem spezifischen Widerstand, weil der Leitfähigkeitsunterschied zwischen den im Stollen vorhandenen Einbauten, wie Gleisen, Wasserrohren usw., so gewaltig ist, daß das Leitfähigkeitsverhältnis immer beinahe unendlich groß ist. Die leitende Nadel sammelt also den Blitzstrom aus einem größeren Bodenquerschnitt und konzentriert ihn vorzugsweise an ihren beiden Enden, am Stollenmund und an der Stollenbrust. Die hier in erster Näherung halbkugelsymmetrisch aus- bzw. eintretenden Ströme können dabei je nach der Lage der beiden Enden zum Blitzeinschlag und der Überdeckung sowie der Inhomogenität der Bodenleitfähigkeit sehr verschieden groß sein. Der eine von uns hat durch Modellversuche im elektrolytischen Trog beispielsweise festgestellt, daß unter Vernachlässigung des Effekts der Stromverdrängung, den wir soeben diskutiert haben, für einen Stollen in einem Berg nach Abbildung 4 bei einem Blitzeinschlag in die Bergspitze bei 100 m Überdeckung etwa 1...2%, bei 500 m Überdeckung etwa ebensoviel Promille des Blitzstromes in das brustseitige Ende der Nadel eintraten und daß dieser Wert von einer seitlichen Versetzung  $s$  der Stollenbrust gegenüber dem Einschlagpunkt verhältnismäßig wenig abhängt. Wegen des zusätzlichen Einflusses der Stromverdrängung wären diese Werte als obere Grenzen anzusehen.

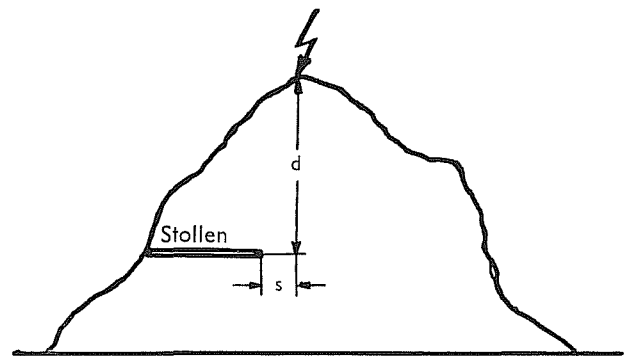


Abb. 4. Einschlag eines Blitzes in die Überdeckung.

Schlägt dagegen ein Blitz nicht auf der Überdeckung ein, sondern am Stollenmund, so ergibt sich der zweifellos besonders ungünstige Fall, daß an einem Ende der Nadel fast der volle Blitzstrom in die Nadel eingeführt wird. Es hängt nunmehr davon ab, wie gut eine Stromabgabe in das umgebende Gestein vom Gleis und den anderen metallischen Einbauten erfolgen kann, welcher Teil des Blitzstromes die Stollenbrust erreicht und hier in dem eigentlich gefährlichen Gebiet in das Erdreich austritt.

Das in erster Näherung halbkugelsymmetrische Feld an der Stollenbrust, Abbildung 5, erzeugt Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Punkten des Gebirges, d. h. also elektrische Spannungen. Sie sind der Größe der Stromdichte und damit also auch dem austretenden Stromanteil einerseits und dem spezifischen Widerstand des Gebirges andererseits proportional.

Beobachtungen, die bei der Durchströmung mancher Bodenarten gemacht worden sind, deuten allerdings darauf hin, daß Proportionalität zwischen Stromdichte und Feldstärke nur bis zu einer Höchstfeldstärke in der Größenordnung  $2 \cdots 4 \text{ kV/cm}$  besteht, die dann bei größeren Stromdichten konstant bleibt. In der Abbildung ist der Verlauf der Feldstärke und der Spannung über dem Abstand vom Ende der metallischen Einbauten an der Stollenbrust für den Fall konstanter Leitfähigkeit einerseits und für den Fall andererseits dargestellt, daß in einem inneren Bereich die Leitfähigkeit mit steigender Stromdichte stark zunimmt. Wir wollen die nicht restlos geklärten Gründe dieser Zunahme hier nicht erörtern. Für verschiedene Größen des „Gleisendstromes“ einerseits und des spezifischen Gesteinswiderstandes andererseits zeigt Zahlentafel 2 die Werte des Grenzzadius

Zahlentafel 2. Grenzzadius  $r_g$  für  $E_g = 3 \text{ kV/cm} = 300 \text{ kV/m}$ .

$I_e$	10	30	100	300	1000	A
$\rho \ \Omega \text{ m}$						
100	0,02	0,04	0,07	0,13	0,23	m
1 000	0,07	0,13	0,23	0,40	0,73	m
10 000	0,23	0,40	0,73	1,27	2,31	m

$$E_g = \frac{I_e \cdot \rho}{2\pi r_g^2}; \quad r_g = \sqrt{\frac{I_e \cdot \rho}{E_g \cdot 2\pi}} \approx 0,4 \sqrt{\frac{I_e \cdot \rho}{E_g}}$$

zwischen den beiden soeben gekennzeichneten Gebieten. In der Abbildung 5 ist außer dem Verlauf der Feldstärke aber auch noch der Verlauf der Spannung gegen das Gleisende eingetragen, wobei dessen äquivalenter Radius, auf den es im übrigen nicht entscheidend ankommt, beispielsweise zu 1 m angenommen werden kann. Die Spannungen zwischen verschiedenen Punkten des Gebirges sind bei gleichem Gleisendstrom von der Annahme dieses Radius unabhängig, sobald wir Abstände betrachten, die außerhalb des Grenzzadius liegen.

Berühren nun z. B. die blanken Enden zweier Zünderdrähte oder ein Zünderdraht und die Zünder-

hülse zwei Punkte in dem „Spannungstrichter“ vor dem Gleisende in verschiedenem Abstand von diesem, so greifen sie nach Abbildung 6 aus dem Feld damit eine Spannung  $U_1$  ab. Durch den Zünder und damit auch durch die Glühbrücke fließt ein Strom, der durch die Spannung einerseits und durch den Ausbreitungswiderstand der blanken Enden gegen das Gestein andererseits bestimmt wird. Bei genügender Größe der Zeitdauer dieses Stromes kann es dann zur Auslösung der Glühbrücke kommen. Der Ausbreitungswiderstand der Drahtenden hängt praktisch außer vom spezifischen Widerstand des Gesteins oder des am Boden des Stollens stehenden Wassers ausschließlich von der freien Länge der

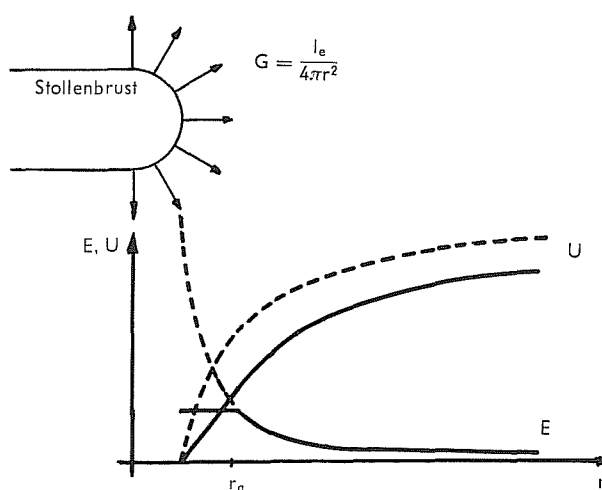


Abb. 5. Spannungs- und Feldstärkenverlauf an der Stollenbrust.

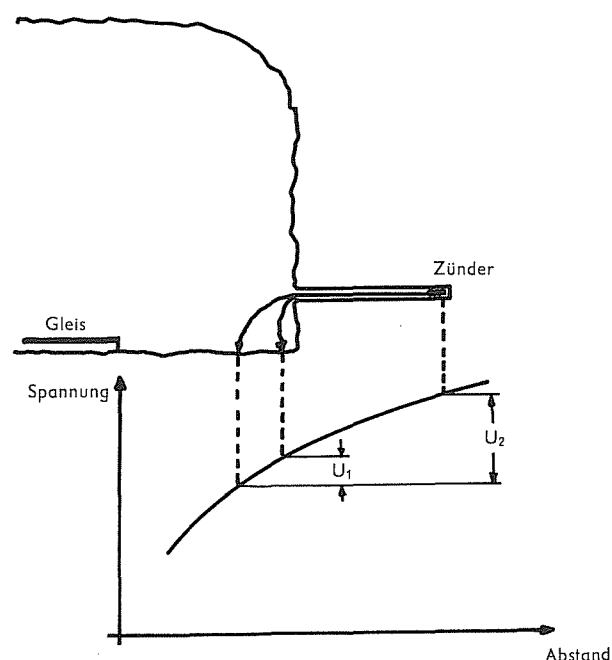


Abb. 6. Spannung an den Zünderdrähten und der Zünderhülse.

Drähte ab. Er wird selbst bei auf großer Länge freigemachten Enden, wie sie zum Herstellen der Kettenverbindungen benötigt werden, sehr groß sein gegenüber dem inneren Widerstand der Zünder. Er ist infolgedessen ausschlaggebend für die Größe des zustande kommenden Stromes bei gegebener Spannung. Da nun sowohl diese als auch der Ausbreitungswiderstand in gleicher Weise von der Leitfähigkeit des Gesteins abhängen, ist das Zündrisiko von dieser praktisch unabhängig.

Das würde auch dann noch gelten, wenn nur ein Zünderdraht einen Punkt im Feld berührt, da der Zünder selbst mit seiner Hülse stets einen zweiten Abgriff im Feld darstellt ( $U_2$ ). Die Spannungen zwischen dem Bohrlochtiefsten und dem heraushängenden Ende des Zünderdrahtes nehmen bei den üblichen Bohrtiefen aber in jedem Fall so hohe Werte an, daß eine Isolation des freien Drahtendes oder des Zünders gegen das umgebende Gebirge als aussichtslos erscheint. Selbst wenn wir noch weit unterhalb der Grenzfeldstärke bleiben, so ergeben sich bei Abständen zwischen Zünder und Ende des Zünderdrahtes von 2...3 m mögliche Spannungen von einigen 100 kV, denen weder die üblichen Drahtisolationen, noch jede denkbare Zünderhülseisolation widerstehen kann. Man würde kaum höhere Isolationswerte als einige 10 kV für realisierbar halten können. Ein Ansprechen des Zünders kann dann auch bei nur einseitiger Berührung eines Drahtendes mit Erde bzw. einseitigem Durchschlag erfolgen und nun sogar auf doppelte Weise erklärt werden. Es könnte einerseits die bisher allein diskutierte Hypothese des Stromdurchganges durch die Glühbrücke die Zündung auslösen oder aber ein unmittelbarer Durchschlag von der Glühbrücke oder ihren Zuführungen durch die Zündpille zur Zünderhülse. Versuche mit verschiedenen Zünderarten haben gezeigt, daß offenbar die verschiedenen Initialsprengstoffe gegen solche Funkenzündungen sehr unterschiedlich empfindlich sind. Während einige Zündsätze auch mit starken Funken kaum ausgelöst werden können, genügen bei anderen bereits schwächste Entladungen durch die Pillen für diesen Effekt. In jedem Falle kann man aber Zündungen durch den Pillendurchschlag verhindern, wenn die Pillenzuleitungen so ausgebildet werden, daß ein evtl. Durchschlag von der Hülse zur Glühbrückenzuleitung auf der Zuleitung und nicht durch die Pille erfolgt. Unsere weiteren Betrachtungen sollen sich nur mit der Zündung durch den Brückenstrom befassen, da es ja in jedem Falle möglich ist, die Durchschlagzündung der Pille zu verhindern.

Obwohl man gelegentlich ein ungewolltes Ansprechen von Brückenzündern aus beliebiger Ursache als Fehlzündung bezeichnet, werden wir im Folgenden diesen Ausdruck vermeiden und ungewollte Auslösungen von Zündern durch den Einfluß des Blitzes kurz als Blitzzündung bezeichnen. Damit sind mit Sicherheit Verwechslungen mit der anderen Bedeutung des Begriffes Fehlzündung vermieden, unter der der Praktiker oft das Ausbleiben einer gewollten Zündung versteht.

### Verhinderung von Blitzzündungen

Aus dem beschriebenen Mechanismus des Zündvorganges ergibt sich automatisch eine Reihe von Möglichkeiten für die Verhinderung von Blitzzündungen, die nachstehend diskutiert werden sollen. Ein Teil davon ist bereits früher vorgeschlagen worden, andere werden seit kurzer Zeit diskutiert. Wir wollen dabei sämtliche Möglichkeiten erörtern, auch wenn sie zunächst schwierig oder praktisch undurchführbar erscheinen.

#### 1. Schießen mit Zündschnur

Es scheint nahezuliegen, solche Blitzzündungen dadurch auszuschließen, daß man für den Stollenbau im Gebirge generell oder wenigstens bei Gewittergefahr oder nur bei bestehendem Gewitter das elektrische Schießen grundsätzlich vermeidet und statt dessen die Verwendung von Zündschnüren fordert. Solche Vorschriften sind gelegentlich erörtert worden. Wir sind der Meinung, daß sie nicht ernsthaft in Erwägung gezogen werden können. Man würde zwar damit die erfreulicherweise doch sehr seltenen Blitzzündungen von elektrischen Zündern im Stollen ausschließen, zugleich aber die Zahl der stehengebliebenen Schüsse, die es beim elektrischen Schießen kaum gibt, wieder auf die erfahrungsgemäß höheren Werte anheben, die sich beim Zündschnurschießen anscheinend nicht vermeiden lassen. Beim Ausräumen oder Abbohren würden dann nach der bisherigen Erfahrung zweifellos mehr Unfälle eintreten als durch den Fortfall der wenigen Blitzzündungen beseitigt werden. Diese Maßnahme erscheint also nicht nur im Interesse eines schnellen Stollenvortriebs, sondern auch im Interesse der Unfallverhütung höchst unzweckmäßig.

#### 2. Verlegung einer Oberflächenerdung

Der Vorschlag des einen von uns, für eine ausreichende Oberflächenleitfähigkeit oberhalb der Trasse des Stollens durch Verlegung eines Boden-seils zu sorgen, ist praktisch ausgeführt worden.

Man hat dabei sogar durch seitliche Ausläufererden im besonderen Maße für eine gute Abdeckung der Gesamttrasse gesorgt. Eine Zündung ist nach Einführung dieser Maßnahme in dem Stollen nicht eingetreten, was jedoch kein Beweis für ihre Wirksamkeit ist. Vielleicht ist ja auch in dieser Zeit kein Blitzeinschlag mehr erfolgt.

Die Maßnahme kann sicher nicht generell angewendet werden und wird im Hochgebirge überhaupt nicht mehr angewendet werden können. Man wird sie nur in Ausnahmefällen als zusätzlichen Schutz in Erwägung ziehen, z. B. für den Schutz der ersten Vortriebsstrecke vom Stollenmund aus, für den die Gefahr von Blitzzündungen besonders groß ist.

### 3. Aufbinden der Zünderdrähte

Der bereits bei der Untersuchung des Rißbachstollenunglücks gemachte Vorschlag, die freien Zünderdrähte nicht herabhängen zu lassen, sondern an einem Querholz und somit isoliert aufzubinden, ist wiederholt gemacht worden. Seine Anwendung ist mit gewissen Unbequemlichkeiten verbunden, weil das Querholz u. U. den Zugang zu einem Teil der Bohrlöcher für das Laden mit Sprengstoff erschwert. Sicher verhindert man damit den Abgriff von Spannungen vom Boden des Stollens durch von der Stollenbrust herabhängende Drahtenden solange, wie die Luftstrecke zwischen Drähten und Boden (Gleis) nicht durchgeschlagen wird.

Wir werden allerdings aus der Tatsache, daß nach Anwendung dieser Maßnahme kein weiteres Schießunglück mehr im Rißbachstollen und in einigen anderen Stollen eingetreten ist, wo man die Drähte aufgebunden hat, nicht schließen dürfen, daß die Maßnahme 100%ige Sicherheit bringt. Die Fälle, in denen der Gleisendstrom gefährlich groß wird, sind eben glücklicherweise doch selten. Die Maßnahme ist auch kaum jemals allein angewendet worden.

Sie wird mit Sicherheit unwirksam, wenn das elektrische Feld im Gebirge vor der Stollenbrust so groß wird, daß es zu Hülsen- oder Drahtdurchschlägen kommt. Sie ist also lediglich als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme empfehlenswert, für sich allein aber bestimmt nicht ausreichend.

### 4. Höhere Isolation der Zünderdrähte und Isolation der Zünder

Da der Durchschlag zwischen den Zündbrückenleitungen und der Zünderhülse einerseits, den Zünderleitungen und dem Gebirge andererseits

sogar die soeben erwähnte Maßnahme des Drahtaufbindens illusorisch machen kann, ist mehrfach vorgeschlagen worden, die Zünderhülsen zu isolieren oder vollständig aus Isoliermaterial herzustellen. Versuche in dieser Richtung sind mehrfach durchgeführt worden. Die mit einer PVC-Umspritzung erreichten Durchschlagwerte der Zünder in der Größenordnung bis zu 20 kV erscheinen jedoch im Vergleich zu den möglichen Beanspruchungen sehr niedrig (s. o.). Noch größere Isolationswerte scheinen selbst bei erheblichem Aufwand, der kostenmäßig schon bei den Versuchsausführungen beträchtlich sein würde, nicht mehr erreichbar. Dazu kommt die Schwierigkeit, die erwähnten Werte nicht nur fabrikationsmäßig, sondern auch nach langer Lagerung und Handhabung der Zünder beim Einbau 100%ig sicherzustellen. Wir versagen uns bei dieser Tatsache eine Abschätzung des Wertes dieser Maßnahme, der wohl theoretisches Interesse, aber keine praktische Bedeutung zukommen dürfte.

### 5. Zurücknahme der Gleise

Würde der Austrittspunkt des Gleisendstromes auf einen größeren Abstand von der Stollenbrust zurückverlegt werden können, so würde dies eine erhebliche Entlastung der Stollenbrust vom Blitzstromfeld und damit auch der Strombeanspruchung der Zünder bedeuten. Das könnte dadurch erreicht werden, daß das am weitesten zur Stollenbrust vorreichende Gleis — alle übrigen Leitungen werden in der Regel erst später nachgebaut — jeweils vor dem Beginn der Ladearbeiten ein Stück zurückgenommen wird. Setzt man hierfür etwa einen Abstand von 25 m von der Stollenbrust an, so gehen die möglichen Beanspruchungen der Zünderbrücke zwischen zwei Abgriffspunkten um einen Faktor in der Größenordnung 70...150, also rund um den Faktor 100 zurück. Wenn die Grenzfeldstärke nicht erreicht wird, beträgt der Faktor immer noch 30...40, wenn der Grenzradius in der Gegend von 5...10 m liegt. Erst wenn der Grenzradius größer ist als der Abstand zwischen Gleisende und Stollenbrust wird keine Entlastung auftreten.

Die geringe Zahl der bei Gewittern auftretenden Blitzzündungen scheint uns ein Beweis dafür zu sein, daß nicht bei jedem Blitzschlag in das Deckgebirge eines Stollens eine Zündung auftritt. In vielen Fällen, in denen der mit der Blitzzündung zusammenstreffende Blitzschlag beobachtet worden ist, wird von besonders heftigen Blitzschlägen gesprochen. Da die statistische Verteilung der Höhe

des Blitzstromes bekannt ist\*, gestatten uns diese Berechnungen eine Abschätzung der Gefahrverminderung, die diese Maßnahme mit sich bringen würde. Unterstellen wir z. B., daß ohne die Maßnahme 9 von 10 Blitzschlägen in die Überdeckung zu einer Zündung führen würden, was sicher übertrieben ist, so ergibt sich aus der Statistik der Blitzstromverteilung, daß nur die Ströme von einigen kA schädlich waren. Eine Erhöhung der Sicherheit um den Faktor 30 ergäbe, daß in Zukunft nur noch Blitze mit mehr als 60 oder sogar mehr kA zu Blitzzündungen führen könnten, die jedoch in wenigen % aller Fälle auftreten. Das Risiko würde also ganz beträchtlich zurückgehen. Das würde noch deutlicher in Erscheinung treten, wenn wir etwa zugrunde legen, daß nur die Hälfte aller Blitze zu Störungen führt, weil selbst dann im statistischen Mittel die wahrscheinliche Stromstärke von 10...20 kA bei Multiplikationen mit dem Faktor der Sicherheitserhöhung zu gigantischen Strömen führen würde, die ein Blitzschlag wohl nicht mehr führt.

Die Maßnahme erscheint also sehr aussichtsreich, begegnet aber praktisch ungewöhnlich großen Schwierigkeiten. Gegen das Zurücknehmen des Gleises sträuben sich die Stollenarbeiter wegen der damit verbundenen Schwierigkeiten beim Abräumen der freigesprengten Gesteinsbrocken. Bisher hat sich jedenfalls diese schon frühzeitig vorgeschlagene Maßnahme nicht durchsetzen können. Nach diesen Erfahrungen erscheint ihre praktische Anwendung bedauerlicherweise fast ausgeschlossen.

## 6. Verwendung von HU-Zündern

Die Erfahrung über die Möglichkeit der Blitzzündung normal empfindlicher Brückenzünder hat dazu geführt, daß in jüngster Zeit Zünder mit wesentlich geringerer Empfindlichkeit, also wesentlich höherer Ansprechenergie entwickelt worden sind. Sie sind unter der Typenbezeichnung HU als hochunempfindliche Zünder auf dem Markt. Sie unterscheiden sich von normalen elektrischen Brückenzündern nicht im Prinzip, sondern nur dadurch, daß durch andere elektrische und mechanische Abmessungen der Glühbrücke sowohl der statische Ansprechstrom als auch das vom Zünder mit Sicherheit ausgehaltene Produkt aus dem Quadrat der Stromstärke und der Belastungszeit weit größer ist als bei den bisherigen Zündern. Bei gleichen äußeren Abmessun-

gen ergeben sich für die bisherigen normalempfindlichen und die hochunempfindlichen Zünder die in der Zahlentafel 3 gegenübergestellten Daten.

Zahlentafel 3.

Zündertyp: . . . . .	A <sub>7</sub>	HU	
Dauerstrom ohne jede Zündung . .	0,18	4	A
Impulshöchstwert ohne jede Zündung . . . . .	0,8	1100	A <sup>2</sup> ms
Mindestzündenergie (einschl. Zünderzuleitungen) für sichere Zündung (100% Ansprechen)	8	1250	mWs

Die in dieser Zahlentafel angegebenen Werte für den Zündimpuls bzw. die Zündenergie beziehen sich dabei auf Belastungszeiten unter einer Millisekunde, wie sie der tatsächlichen Beanspruchung durch einen Blitzteilstrom entsprechen. Die angegebenen Mindestzündenergien für 100%igen Ansprecherfolg verstehen sich für den Zünder einschließlich normaler Zuleitungen, für die beim HU-Zünder die dafür praktisch verwendeten 0,6-mm-Kupferdrähte von 3,5 m Länge eingesetzt sind, die den Gesamtwiderstand auf ungefähr 0,6 Ohm bringen.

Da der Impulshöchstwert um den Faktor 1375 höher liegt als bei normalempfindlichen A<sub>7</sub>-Zündern, ergibt sich eine  $\sqrt{1375}$  = etwa 40mal so große sichere Stromstärke bei einer Blitzentladung.

Mit dieser Feststellung gelten nun wiederum alle Überlegungen, wie sie bereits für die Zurücknahme des Gleises angestellt worden sind. Es ist für die Sicherheit gleichgültig, ob man unter Beibehaltung der Zünderempfindlichkeit den aus dem Blitz herrührenden Zündimpuls um einen bestimmten Faktor vermindert oder ob man bei gleichem möglichen Zündimpuls die Empfindlichkeit der Zünder mit dem gleichen Faktor herabsetzt. Tatsächlich erbringt der HU-Zünder etwa den gleichen Faktor für die Sicherheitserhöhung wie die Zurücknahme der Gleise um 25 m. Wir können also ebenso, wie das oben für die praktisch unbeliebte, vielleicht sogar undurchführbare Maßnahme der Rücknahme der Gleise diskutiert wurde, schließen, daß der HU-Zünder ohne jede weitere Sicherheitsmaßnahme Blitzzündungen von Schüssen bei Einschlägen in die Überdeckung zu so seltenen Ereignissen machen wird, daß sie als höhere Gewalt aufgefaßt werden können, oder sie vielleicht gänzlich ausschließt.

\* Blitzschutz 6. Auflage, Seite 25, ferner Bulletin des SEV, Bd. 46. Nr. 9, K. Berger: Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947 bis 1954 auf dem Monte San Salvatore, S. 420.

Es ist vielleicht nur theoretisch interessant, müßte aber wohl doch erwähnt werden, daß die Verwendung von HU-Zündern bei gleichzeitiger Zurücknahme der Gleisenden zur Multiplikation der Sicherheitsfaktoren führen würde und damit ein versehentliches Losgehen der Zünder völlig außerhalb des Bereiches der Möglichkeit gerückt ist.

Die Verwendung von HU-Zündern schließt allerdings die Benutzung der bisher üblichen Zündmaschinen aus. Die Zahlenwerte der obigen Tabelle zeigen, daß man etwa die tausendfache Zündenergie benötigt. Man könnte fast dem Brauch der Praktiker folgen und die normalempfindlichen Zünder als die Milliwattsekundentype, die HU-Zünder als die Wattsekundentype bezeichnen. Für eine Kette von beispielsweise 80 gleichzeitig zu schießenden Zündern würde man nach den angegebenen Daten ohne die Schießleitung bereits eine Leistung von 120 Ws benötigen, die mit einer Entladungszeit von unter 1 ms zur Wirkung gebracht werden müßte. Zündmaschinen mit Speicherkondensatoren entsprechender Größe, die im Augenblick des Schießens eine Spannung von 3000 V auf die Schießleitung geben, sind entwickelt und verfügbar. Es ist zu hoffen, daß Anfangsschwierigkeiten mit der inneren Isolation dieser Zündmaschine, die natürlich höhere Anforderungen stellen als die der normalen Maschinen, beseitigt werden können, wenn sie nicht überhaupt bei der neueren Konstruktion schon überwunden sind. Das größere Gewicht dieser Zündmaschinen sollte ihrer Verwendung nicht hinderlich im Wege stehen, da über längere Strecken der Transport auf Gleisen erfolgen kann, über kürzere Strecken die Kräfte eines Mannes für das Tragen aber noch keineswegs überbeansprucht werden. Auch die gelegentlich geäußerten Bedenken gegen die Höhe der Schießspannung sollten der Verwendung solcher Maschinen nicht ernsthaft im Wege stehen. Die Spannung liegt an den Klemmen der Maschine, bzw. an den Leitungen nur im Augenblick des Schusses. Es ist leicht, die Klemmen so auszubilden, daß zufällige Berührungen beim Schießen ausgeschlossen sind. Selbst beim absichtlichen Herausführen der Spannung über Anschlüsse, das natürlich durch entsprechende Vorschriften verboten sein sollte, sind Unfälle bei der Kürze der Einwirkungszeit unwahrscheinlich.

Für die Praxis des Schießens mit HU-Zündern ist es jedoch wichtig, auf guten Zustand der Isolation der Schießleitung zu achten. Bei der hohen Spannung können Durchschläge an schlecht isolierten alten

Schießleitungen zwischen Hin- und Rückleitung die Zünderkette kurzschließen und damit den Schieß-erfolg gefährden.

Diesen höheren Anforderungen an das Schießzubehör bei der Verwendung von HU-Zündern steht aber auch der Vorteil gegenüber, daß man den Widerstand der einzelnen Zünder und der Zünderkette mit normalen Widerstandsmeßgeräten ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen messen kann. Die Zeitdauer der Prüfung der Zünderkette auf Widerstand ist besonders bei eventuell häufig zu wiederholender Messung bei Fehlern durch den Fortfall der Notwendigkeit, bei jeder Prüfung wieder in Deckung zu gehen, in außergewöhnlichem Maße vermindert. Selbstverständlich gelten diese Überlegungen nur für tragbare Widerstandsmeßgeräte mit eingebauten Taschenlampenbatterien oder Feldelementen als Energiequelle. Die Verwendung der Netzspannung für solche Messungen muß nach wie vor ausgeschlossen bleiben.

#### 7. Verwendung von Schirmdrähten

Durch einen von uns sind in der Versuchsanstalt der Forschungskommission für Hochspannungsfragen des schweizerischen Elektrotechnischen Vereins in Däniken Versuche durchgeführt worden, um Schutzmaßnahmen gegen Blitzzündungen zu erproben. Hierbei wurden stromstarke Hochspannungsstöße auf einen 2 m langen Betonblock gegeben, in dem Bohrlöcher auf 1,5 m Tiefe geführt und mit blinden Zündern besetzt waren. Bei diesen Versuchen mit Entladungen, deren zeitlicher Verlauf dem eines Blitzstromes entsprach, sind u. a. auch die oben theoretisch errechneten Werte für die erhöhte Sicherheit der HU-Zünder bestätigt worden.

In dieser Versuchsanlage sind aber auch Versuche darüber durchgeführt worden, ob und wie weit es gelingen würde, durch Kurzschließen der Felder im Spannungstrichter vor der Stollenbrust die Beanspruchung der Zünder zu vermindern und auf diese Weise die Sicherheit zu erhöhen. Nach einem Vorschlag von Berger ist dabei zunächst eine Anordnung betrachtet worden, bei der die Zünderhülse über einen isoliert mitgeführten dritten Draht an das Gleisende angeschlossen werden soll. Die Versuche haben ergeben, daß sich bei Verwendung eines derart abgeschirmten Zünder die gleichen oder sogar noch etwas höhere Sicherheitsfaktoren erreichen lassen wie bei HU-Zündern ohne solche Schutzmaßnahmen. Nachdem erkannt worden war, daß die induktive Beeinflussung der Zünderleitungen vom

Schirmdraht auch die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme begrenzte, sind Kontrollversuche mit einer Abschirmung durch einen geflochtenen Metallschlauch über der Zünderleitung ausgeführt worden. Sie haben bestätigt, daß damit die Ansprechgrenze beinahe beliebig weiter hochgeschoben werden kann. Die Verbesserung und die Erhöhung des Sicherheitsfaktors ist dabei für den normalen Zünder weit größer als für den HU-Zünder, dessen an sich bereits höhere Sicherheit nur noch verhältnismäßig geringfügig weiter erhöht werden konnte.

Während den Versuchen mit einem Metallschlauch zur Abschirmung der Zuleitungsdrähte wohl aus wirtschaftlichen Gründen nur theoretisches Interesse zukommen wird, wäre das Einlegen eines dritten Drahtes als Abschirmungsdraht diskutabel. Ermüßte wohl durch andere Farbe der Isolation oder auf andere Weise so deutlich gekennzeichnet werden, daß keine Verwechslungen der Drähte der Zünderkette mit den Schirmdrähten möglich werden. Bei Verwechslung eines Zünderdrahtes mit einem Schirmdraht würde ja nicht nur die Zünderkette offenbleiben, sondern auch die Gefahr von Blitzzündungen entgegen der Absicht erhöht werden. Es wird vielleicht einige Mühe machen, das Vorurteil der Schießpraktiker gegen eine solche Anordnung zu überwinden, deren Gegenargument die Arbeitserhöhung durch die Verdoppelung der herzustellenden Verbindungen und die 50%ige Erhöhung der Leitung ist.

#### 8. Isolierte Schießleitung, Erdungen und Kurzschlußverbindungen

In den österreichischen Blitzschutzvorschriften\* findet sich ein Hinweis darauf, daß die Schießleitung als ganzes von den übrigen metallenen Einbauten, wie Gleisen, Rohren usw., im Stollen gut isoliert gehalten werden soll. Die Ausführungen in den obigen Abschnitten dürften gezeigt haben, daß wir dieser Meinung in vollem Umfange beipflichten. Es würde selbstverständlich im Sinne der Verhinderung von Blitzzündungen unter Tage keinen größeren Fehler geben als etwa eine absichtliche oder unabsichtliche Erdung eines Poles der Zündmaschine oder Schießleitung. Der Spannungsabgriff, den wir als entscheidende Ursache für Fehlzündungen ansehen, würde damit auf eine größere Potentialdifferenz erstreckt werden. Die gute Isolation der Schießleitung ist aber auch schon mit Rücksicht darauf

besonders beim HU-Zünder eine selbstverständliche Forderung, daß nicht etwa gewollte Zündungen versagen.

Die österreichischen Vorschriften sehen außerdem vor, daß alle metallenen Einbauten im Stollen untereinander gut leitend an vielen Stellen verbunden werden sollen. Wir pflichten der Zweckmäßigkeit auch dieser Meinung in vollem Umfange bei. Die Parallelschaltung aller Teile vermindert die Gefahr des Entstehens von Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Installationen. Sie vermindert damit die Gefahr von sekundären Überschlügen, die natürlich auch die Zünderkette und die Schießleitung in Mitleidenschaft ziehen würden. Darüber hinaus erhöht eine solche Maßnahme den Ableitungsbelag der Leitungen im Stollen und ergibt somit eine Senkung des Gleisendstromes für den noch zu diskutierenden Fall eines Blitzeinschlages am Stollenmund. Wir würden uns also auch dieser Empfehlung aus Gründen der Sicherheit anschließen.

Die österreichischen Bestimmungen sehen aber außerdem vor, daß die metallenen Einbauten im Stollen an jeder gut leitenden Verwerfungsspalte zusätzlich geerdet werden sollen. Wir sehen in der Durchführung solcher Erdungen nicht nur Vorteile, sondern auch mögliche Nachteile.

Ihr Vorteil liegt darin, daß bei Blitzeinschlägen am Stollenmund der durch die Gleise und Leitungen in den Stollen hineingetragene Strom besser auf das Gebirge verteilt wird, und infolgedessen weniger Strom am Gleisende ankommt. Der Spannungstrichter an dieser Stelle wird also weniger gefährlich. Handelt es sich andererseits um Blitzeinschläge ins Deckgebirge und werden diese durch Verwerfungsspalten in die Tiefe geführt, so würde jede solche Erdung die Zahl der Punkte erhöhen, von denen aus bei einem Einschlag in das Deckgebirge ein gefährlicher Strom auf das Gleisende übertragen werden könnte. Von etwas über 20 Sprengunfällen durch Blitzeinschläge im Stollenbetrieb sind nach einer Untersuchung des einen von uns rund  $\frac{1}{3}$  bei einem Blitzeinschlag erfolgt, der am oder in der Nähe des Stollenmundes beobachtet wurde. In etwas weniger als  $\frac{1}{3}$  aller Fälle ist gleichzeitig mit dem Sprengungsglück ein Blitzeinschlag in das Deckgebirge beobachtet, während in etwas mehr als  $\frac{1}{3}$  aller Fälle der Einschlagsort überhaupt unbekannt ist, soweit es sich hierbei nicht um Fälle handelt, bei denen vielleicht das Gewitter gar nicht der echte Grund des Sprengungsglücks war. Wir dürfen wohl unterstellen, daß eher ein Einschlag ins Deckgebirge

\* Ausschuß für Blitzableiterbau im Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau: Leitsätze für die Errichtung und Überprüfung von Blitzschutzanlagen.



als einer am Stollenmund übersehen wird; so gibt diese Statistik einen Hinweis darauf, daß wohl Blitzzündungen bisher doppelt so oft im Zusammenhang durch Einschläge ins Deckgebirge als mit solchen am Stollenmund ausgelöst waren. Daraus ergibt sich, daß Zusatzerdungen wohl in einem von drei Fällen eine Verminderung der Gefahr, aber in zwei von drei Fällen eine Erhöhung der Gefahr bringen. Vielleicht ist die Zahl der Fälle mit Gefahrerhöhung noch größer, weil ja bisher solche Erdungen nicht ausgeführt worden sind. Man darf andererseits vielleicht auch die Gefahr des Heruntertragens von Blitzentladungen durch gut leitende Spalten im Deckgebirge nicht überschätzen. In der bereits oben erwähnten Untersuchung sind zwar in etwas mehr als  $\frac{1}{3}$  aller Fälle die Blitzzündungen in der Nähe von Verwerfungsspalten vor der Stollenbrust eingetreten. Es hängt aber natürlich von der Häufigkeit des Vorkommens solcher Spalten überhaupt ab, inwieweit nicht fast bei jeder Position der Stollenbrust die Nachbarschaft einer Spalte behauptet werden könnte. Die Beobachtung reicht zwar aus, um die Mahnung zu rechtfertigen, mit dem Laden der Bohrlöcher und den Schießarbeiten bei Annäherung an eine Spalte besonders vorsichtig zu sein, wenn der Austritt von Wasser oder Gesteinstaub, der auf eine andere Formation hinweist, die Nähe einer Verwerfungsspalte anzeigt. Ob diese Beobachtung bereits ausreicht, um die Spaltenwirkung als entscheidendes Charakteristikum für die Blitzzündungen anzusprechen, erscheint uns aber fraglich. Man darf dabei ja keinesfalls vergessen, daß der Leitfähigkeitsunterschied zwischen Verwerfungsspalte und Gebirge keineswegs etwa dem zwischen Stollengleis und Gestein entspricht. Im schlecht leitenden Urgestein würde selbst eine wasserführende Spalte nur sehr reines Regenwasser führen können, dessen Salzbeimengungen so gering sind, daß die Leitfähigkeit klein bleibt. Spalten haben überdies bei geringer Quermächtigkeit und sehr verschiedener Tiefe in der Regel eine große Längsausdehnung, die die Stromübergabe an das Gebirge durch großen Ableitungsquerschnitt erleichtert und dadurch sogar das Stollengleis von der Stromzuführung im gefährlichen Spannungstrichter entlastet. Freilich passen die Zahlen über Einschläge am Stollenmund und Einschläge im Deckgebirge noch nicht recht mit den Überlegungen zusammen, die man rein theoretisch für ihren Anteil schätzen könnte. Beim Einschlag in das Deckgebirge könnte man als gefährlichen Einschlagbereich etwa die Grundfläche eines Kegels mit einem spitzen Winkel von  $45^\circ$  ansehen, dessen

Spitze an der Stollenbrust liegt. Bei 300 m Überdeckung würde das immerhin eine gefährdende Einschlagfläche von der Größenordnung  $0,3 \text{ km}^2$  ergeben. Demgegenüber erscheint der Stollenmund als rein punktförmige Einschlagmöglichkeit als Ausgangspunkt der Blitzzündungen unwahrscheinlich bevorzugt. Vielleicht erklärt sich dieser Widerspruch jedoch aus der Tatsache, daß am Stollenmund manchmal mit dem Gleis des Stollens Verladeanlagen, Aufbereitungsanlagen, die Erdungsanlagen von Betriebsgebäuden usw. verbunden sind. Eine Fläche von der Größenordnung  $0,15 \text{ km}^2$  ergibt sich leicht auch für diesen Punkt. Sie würde zur Erklärung des beobachteten Verhältnisses 1:2 bereits ausreichen.

Angesichts der Tatsache, daß wir beim heutigen Stand unserer Kenntnis noch nicht zu entscheiden vermögen, ob die Erdung der Stolleneinbauten an Verwerfungsspalten gefahrvermindernd oder gefahrerhöhend wirken würde, raten wir, von ihrer Verwendung zunächst abzusehen.

#### 9. Gewitterwarnung

Unabhängig von allen rein technischen Schutzmaßnahmen, die oben erörtert worden sind, würde es natürlich vorteilhaft sein, bei bestehendem oder heranziehendem Gewitter keine Ladearbeiten an der Stollenbrust durchzuführen und eine etwa begonnene Besetzung der Bohrlöcher sofort zu unterbrechen. Der damit verbundene Verlust an Vortriebsarbeiten sollte nicht gar zu entscheidend sein, da die Zeit von der Beendigung der Bohrarbeiten bis zum Abschluß der Sprengung nur einen verhältnismäßig kleinen Prozentsatz der Gesamtarbeitszeit darstellt und die Koinzidenz dieser Zeiten mit den ebenfalls kurzen Perioden einer Gewittertätigkeit in bedrohlicher Nähe noch unwahrscheinlicher ist. Der Vortriebsverlust dürfte sich, insgesamt gesehen, wohl höchstens auf Tausendstel der Bauzeit erstrecken.

Voraussetzung dafür wäre jedoch die rechtzeitige Feststellung des Gefahrenzustandes. Hierfür kommen in Frage:

##### a) Meteorologischer Gewitterwarndienst

Das Eintreffen von Frontgewittern kann von der Wettervorhersage mit recht großer Sicherheit auf Bruchteile einer Stunde genau angekündigt und der Bauleitung mitgeteilt werden, wenn entsprechende Vereinbarungen getroffen sind. Da solche Warnungen ein bis zwei Stunden vor dem Eintreffen des Gewitters gegeben werden können, ist genügend Zeit vorhanden, um die Warnung auch bei längeren Stollen bis an den Arbeitspunkt zu übermitteln.

Schwieriger liegen die Verhältnisse für Wärmegewitter. Hier kann der Warndienst eigentlich nur die Neigung zur Bildung solcher Gewitter zu bestimmten Tageszeiten voraussagen. Ihre Entwicklung ist gerade im Hochgebirge selbst von geübten Beobachtern nicht so lange vorauszusagen, daß eine Übermittlung der Meldung an die Stollenbrust immer rechtzeitig gewährleistet ist. Die Entwicklung von der ungefährlichen Regenwolke bis zur gefahrdrohenden ersten Entladung kann unter Umständen weniger als 10 Minuten dauern.

#### b) Messung der elektrischen Feldstärke

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen bei Dauerregistrierungen ist das luftelektrische Feld an sich starken Veränderungen unterworfen. Das würde dazu führen, daß einerseits auch bei Wetterlagen, die jede Blitzbildung ausschließen, Warnungen gegeben werden, die sich nachträglich als unnötig erweisen. Man würde zu einem solchen Gerät auch dann kein Vertrauen haben, wenn es berechtigten Alarm gibt. Andererseits zeigen die Registrierungen, daß das luftelektrische Feld auch bei Gewitter hohe Werte in der Nähe der Erdoberfläche meist erst nach dem ersten Blitzschlag annimmt. Bis die Meldung dann die Stollenbrust erreicht, kann es leicht zu spät sein. Nach dem ersten Blitzschlag bedarf es aber auch eines luftelektrischen Warngerätes nicht mehr. Nach meteorologischer Ansicht sind Mitteilungen darüber, daß dem Gewitter im Abstand von einigen Stunden eine „luftelektrische Nase“ in der Feldstärkenregistrierung vorausgehe, wahrscheinlich nur Zufallsbeobachtungen. Die Dauerregistrierungen des einen von uns zeigen, daß sie keinesfalls jedem Gewitter vorausgehen und daß ähnliche Vorgänge sehr häufig auftreten, ohne daß ein Gewitter folgt. Ein zuverlässiger Warndienst könnte hierauf wohl nicht aufgebaut werden.

#### c) Feldsprung-Warngeräte

Warngeräte, die anstelle der Feldstärke die plötzliche Feldstärkenänderung, den Feldstärkensprung benutzen, sind ebenfalls in Vorschlag gebracht worden. Da sie nur Blitze, nicht aber das Feld anzeigen, dafür aber über größere Entfernungen wirksam sind, ergeben sie eine eindeutige Gewitteranzeige. Zweifellos sind sie besser geeignet als Geräte, die von der Feldstärke abhängig sind. Ihr Einsatz in Kombination mit unmittelbaren Beobachtungen und in Zusammenarbeit mit einem Gewitterwarndienst würde der Bauleitung die Entscheidung über Einstellung oder Fortsetzung des Schießbetriebes zweifellos erleichtern. Die rechtzeitige Übermittlung

der Warnungen an die Arbeitsstelle hängt aber auch von der Geschwindigkeit der Nachrichtenübermittlung ab. Wo Telefoneinrichtungen fehlen, ist nur bei kurzen Stollen noch eine rechtzeitige Warnung möglich. Sie ist allerdings hier besonders wichtig, weil der geringe Abstand vom Stollenmund einerseits und die geringe Überdeckung an der Stollenbrust andererseits die Gefahr im Spannungstrichter sowohl bei Einschlägen am Stollenmund wie bei Einschlägen in die Überdeckung besonders hoch erscheinen lassen.

#### d) Stollenbrust-Warngeräte

Es sind neuerdings Warngeräte in Vorschlag gebracht worden, die sich die Erscheinungen im Spannungstrichter selbst zunutze machen, die zu Fehlzündungen mit normalempfindlichen Zündern geführt haben. Derartige Geräte würden einpolig mit dem Gleis, mit dem zweiten Pol mit dem Grund eines Bohrloches verbunden werden, das unter Umständen für diese Zwecke zusätzlich gebohrt werden könnte. Die zwischen diesen beiden Punkten abgegriffene Spannung, die weit größer ist als die den Zünder gefährdende Potentialdifferenz, führt zum Durchschlag eines Wachspapierstreifens und zum Ansprechen eines Relais oder eines normalempfindlichen Zünder und löst damit einen optischen oder akustischen Daueralarm aus, der direkt die Arbeiter an der Stollenbrust warnt. Nach Abstellen der Warnung bietet die Beobachtung des weiteren Ansprechens die Möglichkeit für eine Entscheidung über die Fortsetzung der Schießarbeiten. Es wird abzuwarten bleiben, ob ein solches Gerät, das ohne fremden Strom nur mit eingebauten Batterien arbeitet und dessen Wirkung jederzeit kontrolliert werden kann, für den robusten Betrieb an der Stollenbrust genügend zuverlässig hergestellt werden kann. Es würde die Anlage von Telefoneinrichtungen entbehrlich machen, die allerdings auch aus anderen Gründen doch wohl erwünscht wären. Bezeichnend ist jedenfalls, wie schon mehrfach beobachtet worden ist, daß bei Gewittern über Tage die mit dem Bohren beschäftigten Männer durch Elektrisierungen belästigt wurden, ohne daß sie dem jedoch besondere Beachtung schenkten. In einem uns bekannten Fall ist hierauf sogar wenig später ein Schießunfall gefolgt.

#### Zusammenfassung

Die Untersuchung einiger Sprengunglücke, bei denen elektrische Zünder normaler Empfindlichkeit durch Blitzeinschlag in die Überdeckung oder am Stollenmund vorzeitig ausgelöst wurden, haben zu einer

klaren Vorstellung von den physikalischen Vorgängen geführt, die dabei eine Rolle spielen. Hieraus lassen sich eine Reihe von Schutzmaßnahmen ableiten, deren Vor- und Nachteile in diesem Aufsatz diskutiert werden. Aus einer großen Anzahl möglicher Schutzmaßnahmen erscheinen uns für eine unmittelbare Anwendung vor allem Gewitterwarnungen wichtig. Unter Zusammenarbeit mit den Wetterwarten und entsprechende Beobachtungs- und Warnanlagen würden sich diese in jedem Fall vorteilhaft auswirken, vor allem, wenn sie unmittelbar an der Stollenbrust eingesetzt werden können, oder die Warnung telefonisch an den Arbeitsort übermittelt werden kann.

Die theoretischen Überlegungen und der experimentelle Befund lassen erwarten, daß beim Einsatz von HU-Zündern Blitzzündungen auf einen verschwindenden Bruchteil der Fälle beschränkt würden, die bisher vorgekommen sind. Ihrer sofortigen Benutzung im Stollenbetrieb stehen weder ernsthafte Bedenken noch irgendwelche Nachteile im Wege.

Rein mechanische Maßnahmen, wie das Aufbinden der Zünderdrähte, das Zurücknehmen der Gleise und die zusätzliche Isolation von Hülsen und Zünderleitungen versprechen zwar zum Teil begrenzte, zum Teil sehr erhebliche Vorteile, sind aber un-

bequem, z. T. vielleicht sogar im benötigten Ausmaß undurchführbar.

Der interessante Vorschlag, neben den Zünderleitungen im Bohrloch Abschirmdrähte zu verwenden, ist experimentell für den Einzelzünder erprobt und bringt hier großen Sicherheitsgewinn. Eine experimentelle Weiterverfolgung dieser Anregung würde uns der Mühe wert erscheinen.

Die gute Isolation der Schießleitung von allen anderen metallenen Einbauten, die untereinander zu verbinden sind, muß in jedem Falle gefordert werden. Dagegen erscheint die Erdung an Verwerfungsspalten im fertiggestellten Teil des Stollens nicht nur teuer und schwer durchführbar, sondern auch unter gewissen Umständen bedenklich, weil sie gefahrerhöhend wirken kann.

Nach dem augenblicklichen Stand der Erkenntnisse wäre die Verwendung von HU-Zündern für den Stollenbau, bei dem die Gefahr der Einwirkung von Blitzschlägen besteht, im Interesse der Arbeitssicherheit erforderlich und mit großer Wahrscheinlichkeit auch ausreichend.

Anmerkung der Schriftleitung:

Über den praktischen Einsatz der HU-Zünder erscheint demnächst in dieser Zeitschrift eine Veröffentlichung.

---

Herausgegeben vom

Sprengtechnischen Dienst der Dynamit-Actien-Gesellschaft, vorm. Alfred Nobel & Co., Troisdorf (Bez. Köln), und der Wasag-Chemie A.-G., Essen.

Verantwortliche Schriftleitung: Dipl.-Ing. Berg, Essen, Kopstadtplatz 10 — Druck: Fried. Krupp Grafische Anstalt, Essen.