Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 6

Artikel: Das Grundprinzip des Blitzschutzes

Autor: Berger, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915927

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

(über zehn Jahre) von zirka 0,4 % des Ingenieursalärs für jedes absolvierte Nachdiplom-Semester, beispielsweise also 2,4 % des Salärs, wenn der Stipendiat während dreier Semester Zusatzrenten von 20 % bezogen hatte.

Die Schätzungen zeigen, dass Leistungen dieser Grössenordnung sowohl für die Firmen wie für die Ingenieure gut tragbar wären. Die Realisierung einer Institution dieser oder ähnlicher Art hängt nur davon ab, ob die Einsicht in die Dringlichkeit der Sache bei den Arbeitgebern und den Ingenieuren schon vorhanden ist.

Die Ergebnisse einer verbesserten Ausbildung zeigen sich nur langfristig. Aber die langfristigen Unterlassungen sind später kaum kurzfristig aufholbar: Heutige Schwierigkeiten sind oft die langfristigen Versäumnisse von gestern. Die europäischen Hochschulen haben in der Nachdiplomausbildung einen beachtlichen Rückstand. Vielleicht könnte die Schweiz, die ehedem so fortschrittlich war im Ausbildungswesen, versuchen, sich wieder eine führende Position zu verschaffen durch gute Lösungen für die Ausbildung und Erhaltung der Qualität ihrer Kader.

Literatur

[1] *C. C. Cutler:* Spectral lines. IEEE Spectrum 3(1966)7, p. 55.
[2] *D. V. De Simone:* Education for Innovation. Oxford/New York, Pergamon Press, 1968.
[3] Nachdiplomkurse an der Abteilung für Elektrotechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Zürich, ETH Sekretariat Abteilung IIIB, 1969.
[4] Goals of engineering education. Preliminary report. Washington, American Society for Engineering Education, Goals Colmittee, 1965.
[5] *E. Gerecke:* Weiterausbildung von Diplomingenieuren an der ETH. NZZ 187(1966)1453 vom 2. 4. 1966.
[6] *G. Epprecht:* Genügt ein vierjähriges Studium für den Ingenieur? NZZ 187(1966)2546 vom 9. 6. 1966.
[7] *E. Handschin, P. Stucki* und *W. Werner:* Weiterausbildung von Diplomingenieuren an der ETH. NZZ 187(1966)2553 vom 10. 6. 1966.
[8] *H. A. Laett:* Die Weiterausbildung von Hochschulingenieuren. NZZ 187(1966)3044 vom 12. 7. 1966.
[9] *E. Gerecke:* Nachdiplomstudium IIIC. Bull. SEV 57(1966)25, S. 1164 bis 1167.
[10] *C. E. Geisendorf:* La postformation. ETH-Bull. 1(1967)2, S. 1...4.
[11] *A. A. Jaecklin:* Nachdiplomstudium heute statt morgen. GEP Bulletin –(1968)80, S. 5+7...8.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *Georg Epprecht,* Vorsteher des Mikrowellen-Laboratoriums der ETH, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.

Weitere Vorträge dieser Vortragsreihe folgen.

Das Grundprinzip des Blitzschutzes [1])

Von *K. Berger,* Zürich

906-907

621.316.933

An der 10. Internationalen Blitzschutz-Konferenz wurde eine Reihe von Referaten vorgetragen, die sich alle mit den Erdungswiderständen oder Erdungsimpedanzen befassen, so dass man den Eindruck erhielt, mit kleinen Erdungswiderständen sei das Blitzschutzproblem für Gebäude irgendwelcher Art gelöst. Es schien daher nötig, das Grundproblem des Blitzschutzes im gesamten zu betrachten. Diesem Zweck dienen die folgenden einfachen Überlegungen:

Der Zweck des Blitzschutzes lässt sich wie folgt umschreiben:

1. Schutz von Personen und Sachen *im* Gebäude, das vom Blitz getroffen wird;
2. Schutz von Personen *neben* dem vom Blitz getroffenen Gebäude;
3. Verhinderung von Gefährdungen und Sachschäden *in oder bei Nachbargebäuden,* die mit dem vom Blitz betroffenen Gebäude über elektrische Leiter verbunden sind, z. B. über Niederspannungsnetze, Telephonleitungen usw.

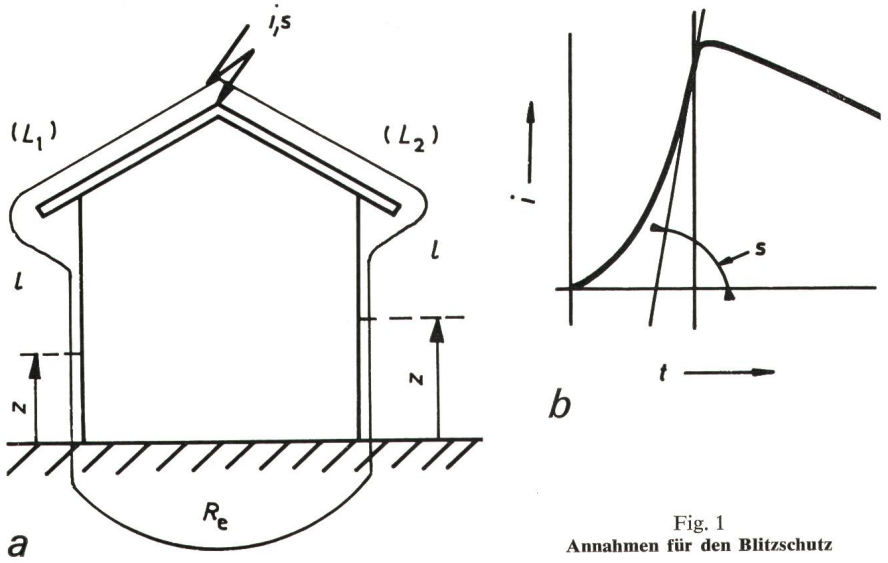
Der Vorgang beim Blitzeinschlag in ein geschütztes Gebäude kann im einzelnen wie folgt beschrieben werden:

1. Stromübergang vom Blitzkanal zu den Fangdrähten oder Auffangmetallen der Blitzschutzanlage;
2. Abfliessen des Blitzstromes über die ihm zur Verfügung stehenden Ableitungen zur Erdung;
3. Stromübergang von der Erdung in die Erde.

Bei den 3 genannten Teilvorgängen entstehen elektrische Spannungsdifferenzen, nämlich:

1. Ein Lichtbogenspannungsabfall am Auffangmetall, der aber lediglich 10...20 V beträgt, und daher nur für Wärmewirkungen von Bedeutung ist;
2. Ein Spannungsabfall induktiver Art längs der Ableitungen, der den Ohmschen Abfall im Kupfer- oder Stahldraht weit übertrifft;

[1]) Erweiterter Diskussionsbeitrag, gehalten an der 10. Internationalen Blitzschutz-Konferenz am 1. Oktober 1969 in Budapest (siehe Heft Nr. 4, S. 192 des Bulletins des SEV).



1. Blitz	2. Blitz
i = 25 kA s = 20 kA/µs	i = 60 kA s = 50 kA/µs
l = 15 m , $L_1 = L_2$ = 20 µH	
Erdung	
R_e = 1 Ω	R_e = 20 Ω
$u = i\,R_e + s \cdot L(z)$	

Fig. 1
Annahmen für den Blitzschutz

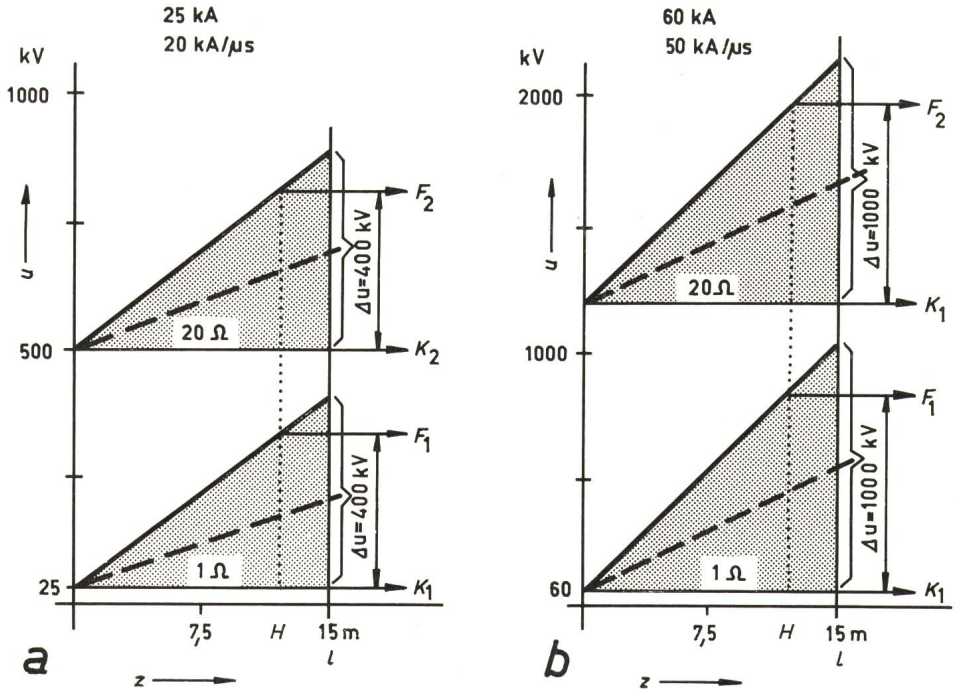


Fig. 2
Spannung im Punkt z bzw. l

Spannungsdifferenzen im Gebäude — 1 Ableitung — — — 2 Ableitungen

Weitere Bezeichnungen siehe im Text

	Beispiel a	Beispiel b
Blitzdaten	25 kA 20 kA/µs	60 kA 50 kA/µs
Erderspannung $i\,R_e$	25 kV ($R_e = 1\ \Omega$) 500 kV ($R_e = 20\ \Omega$)	60 kV ($R_e = 1\ \Omega$) 1200 kV ($R_e = 20\ \Omega$)
Induktive Spannung $\Delta u = s \cdot L(l)$ für $L = 20\ \mu H$	400 kV	1000 kV

3. Ein Spannungsabfall an der Erdung, bei dem die räumliche Ausdehnung und Anordnung der Elektroden einerseits, der spezifische Bodenwiderstand und die eventuelle Nichthomogenität des Bodens anderseits eine Rolle spielen.

Der Zweck des Blitzschutzes kann somit in elektrischer Beziehung so gefasst werden, dass verlangt wird, dass keine gefährlichen *Spannungsdifferenzen* (nicht «Potentiale») am menschlichen oder tierischen Körper, und keine brandgefährlichen *Funken oder Lichtbogen* entstehen. Der Erreichung dieses Zwecks dient das Grundprinzip des Blitzschutzes. Es soll anhand von zwei Figuren klargestellt werden.

Fig. 1 legt die Annahmen fest, die wir einer angenäherten Berechnung der Spannungsabfälle beim Blitzeinschlag zugrunde legen wollen. In Fig. 1a ist schematisch ein Gebäude skizziert, dessen Blitzschutz aus einer Firstleitung, zwei Ableitungen l und einer Ringerdung R_e besteht. In Fig. 1b ist der Blitzstromverlauf $i(t)$ angedeutet, wie er sich aus den vielen Oszillogrammen der Versuchstation am Monte San Salvatore für den ersten Teilblitz ergibt. Der Strom steigt in einigen µs auf seinen Höchstwert, wobei das Tempo des Aufstieges, die sog. Steilheit s, bis zum Scheitelwert wächst (dies im Gegensatz zu der von der CEI vor vielen Jahren genormten Stromform). Auf der rechten Seite von Fig. 1 ist eine Tabelle aufgezeichnet. Sie enthält zwei typische Blitzströme:

Mittlerer Blitz	Kräftiger Blitz
$i = 25$ kA	$i = 60$ kA
$s = 20$ kA/µs	$s = 50$ kA/µs

Ferner sind zwei verschieden gute Erdungen angenommen, nämlich:

Gute Erdung	Übliche, eher schlechte Erdung
$R_e = 1\ \Omega$	$R_e = 20\ \Omega$

In der Tabelle ist ferner die Länge jeder Ableitung zu ca. 15 m angenommen, was einer Induktivität von ca. $L_1 = L_2 = 20\ \mu H$ entspricht.

Mit diesen Zahlenwerten lässt sich die Spannung (u) an jedem Punkt (P) des Blitzableiters angenähert ausrechnen. Zu diesem Zweck bezeichnen wir die Entfernung des Punktes P bis zum Schwerpunkt der Erdung mit z.

$z = 0$ entspricht einem Punkt im Schwerpunkt der Erdung

$z = l$ entspricht der Länge einer Ableitung von der Erdung bis zum Dachfirst.

Für einen beliebigen Punkt P (z) gilt bei der beschriebenen Stromkurve:

$$u = i\,R_e + s \cdot L(z)$$

Besonders gilt für $z = 0$: $u_e = i\,R_e$

für $z = l$: $u_l = i\,R_e + s \cdot L(l) = i\,R_e + \Delta u$

Fig. 2 gibt nun eine graphische Darstellung der Spannung u des Blitzableiters gegen Erde unter Voraussetzung einer einzigen Ableitung L. Abszisse ist die Länge (z), gemessen von der Erdung Richtung Dach, Ordinate die Spannung $u = i\,R_e + s \cdot L(z)$.

Die induktive Spannung wächst proportional mit der Länge z der Ableitung. Die Fläche zwischen Gesamtspannung und Erdungsspannung ist durch einen grauen Ton hervorgehoben worden.

Bei zwei Ableitungen wird die induktive Spannung Δu auf die Hälfte reduziert, bei vier Ableitungen auf rund ¼, sofern diese Ableitungen nicht unmittelbar nebeneinanderliegen. Diese Bedung muss erfüllt werden, damit sich die magnetischen Felder der einzelnen Ableitungen unabhängig voneinander ausbilden können. Der Fall mit 2 Ableitungen ist in der Figur gestrichelt angedeutet.

In Fig. 2 sind ausserdem mit K_1 und K_2 die Spannungen bezeichnet, die durch Kabel oder Wasserleitungen im Erdboden nach aussen, z. B. in Nachbarhäuser verschleppt werden. Entsprechend bedeuten F_1 und F_2 die Spannungen, die von einer Freileitung verschleppt werden, sofern diese in der Höhe H an der Hauswand befestigt und in dieser Höhe über Niederspannungsableiter mit der Blitzschutzableitung verbunden ist.

Was sind nun die Konsequenzen dieser grundsätzlichen Betrachtung?

1. Die Personen- und Sachgefährdung im Gebäude hängt grundsätzlich nicht von der Güte der Erdung (R_e) ab, sondern vom Spannungsabfall (Δu) längs der Blitzstromableitung. Infolge der wirksamen Steuerung des Feldes gilt dies insbesondere für Gebäude mit Ring- oder Fundamenterdung.

2. Die Gefährdungsspannungen im Gebäude sinken ungefähr im gleichen Masse, wie die Anzahl gleicher, voneinander entfernter Ableitungen grösser wird. Unmittelbar nebeneinander liegende Ableitungen wirken jedoch nicht viel besser als eine Ableitung allein.

3. Metallteile mit wesentlich vertikaler Ausdehnung sind an beiden Enden an die übrigen Ableitungen zu verbinden. Regenabfallrohre aus Kupfer oder Stahl sollten in erster Linie als Ableitungen benützt werden, da ihre Induktivität wesentlich kleiner ist als diejenige von Kupfer- oder Stahldraht bzw. -Band.

4. Die Vermaschung aller grösseren Metallteile des Gebäudes ist für den Blitzschutz im Gebäude wichtiger als der Erdungswiderstand R_e. Den besten Blitzschutz gewähren Stahlskelettbauten und Bauten mit allseitig durchgehender Armierung.

5. Querverbindungen zwischen den vertikalen Ableitungen sind in 1. Linie am Dach und am Erdboden wirksam, weniger in mittlerer Höhe.

6. Mit mindestens 4 parallelen Ableitungen von nicht mehr als 15 m Länge werden die Spannungsdifferenzen im Gebäude üblicher Höhe bei den meisten Blitzen derart klein, dass die «Näherungsbedingungen» ohne besondere Massnahmen erfüllt sind, indem Spannungen von 100 bis 250 kV weniger als 0,4 m Schlagweite in Luft ergeben. Voraussetzung ist eine als Steuerelektrode wirkende Erdung des Gebäudes, am besten Ring- oder Fundamenterdung, an die alle wesentlichen Metallteile verbunden sind.

7. Vom Gebäude wegführende Freileitungen übertragen die volle Spannung, d. h. sowohl die Erdungsspannung $i R_e$ als auch den induktiven Spannungsabfall Δu bis zur Höhe der Freileitung, sofern sich dort Ableiter oder unzulässige Näherungen befinden. Diese hohen Spannungen gefährden Ortsnetze und Installationen der Nachbarhäuser beträchtlich.

8. Vom Gebäude wegführende Kabel übertragen höchstens die Erdungsspannung $i R_e$. Durch Anschliessen leitender Kabelmäntel an die beidseitigen Gebäudeerdungen wird die übertragene Spannung reduziert.

9. Auf dem gewachsenen Erdboden entsteht beim Gebäude ein Spannungstrichter, d. h. es entstehen Schrittspannungen, die durch die feldsteuernde Wirkung von Ring- oder Fundamenterdungen stark reduziert werden. Aus diesem Grunde sowie infolge der kurzen Dauer dieser Schrittspannungen dürften sie vermutlich keine Personengefährdung darstellen, dies im Gegensatz zum Fall eines unter einen blitzbetroffenen Baum Schutzsuchenden.

Die vorstehenden Folgerungen gelten in erster Linie für Wohnhäuser üblicher Grösse. Das geschilderte Grundprinzip ist jedoch allgemein; es gilt sinngemäss auch für andere Bauten, insbesondere auch für Hochhäuser, Hochkamine usw. Während im Tiefland Werte von einigen Ohm für R_e erreicht werden können, ist dies im Gebirge überhaupt nicht möglich. Der Blitzschutz basiert im letzteren Falle ausschliesslich auf der Einhaltung kleiner Werte für $\Delta u = s \cdot l$, nicht auf den Werten von R_e. Kleine Werte von Δu werden erreicht durch eine grosse Anzahl paralleler Ableitungen, die im Grenzfall mit dem Bodennetz einen Faradayschen Käfig bilden, innerhalb dessen der Blitzschutz vollkommen ist.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *K. Berger,* Forschungsleiter der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Elektrische Energie-Technik und -Erzeugung
Technique et production de l'énergie

Die Brennelemente im Kernkraftwerk

621.039.54:621.311.25:621.039

[Nach *H. Schenk:* Technische und wirtschaftliche Fragen des Einsatzes der Brennelemente im Kernkraftwerk. Atom und Strom 15(1969)9, S. 146...151]

Die Brennelemente stellen für ein Kernkraftwerk in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht einen wesentlichen Faktor dar. Ihrem rationellen Einsatz und ihrer optimalen Ausnützung kommen daher eine erhebliche Bedeutung zu.

Der Brennstoffkreislauf, dessen zeitlicher Ablauf möglichst flexibel sein soll, um ihn an wechselnde Betriebsbedingungen anpassen zu können, setzt sich aus drei Abschnitten zusammen, zu denen vor allem die folgenden Schritte gehören: Beschaffung und Anreicherung des Urans, Herstellung der Brennelemente; Überwachung der Brennelemente während des Betriebes, Ermittlung des erreichten Abbrandes, Festlegung des Zeitpunktes für den nächsten Brennelementwechsel und welche Elemente ausgewechselt werden; Untersuchung und Wiederaufbereitung der verbrauchten Brennelemente.

Die Energieerzeugung eines Kernkraftwerkes darf durch Brennelementschäden, sofern sie in gewissen Grenzen liegen, nicht beeinträchtigt werden. Nimmt der Umfang der Schäden zu, so kann der Betrieb des Werkes zum Erliegen kommen, was durch dauernde Kontrolle der Brennelemente weitgehend verhindert wird. Solange nicht ausreichende Erfahrungen über die zulässigen Grenzbeanspruchungen vorliegen, dürfen die Brennelemente nicht über das unvermeidbare Mass hinaus beansprucht werden. Der Lastfaktor spielt dabei eine wichtige Rolle. Wenn von einem Energieversorgungsunternehmen mehrere Kernkraftwerke betrieben werden, so lässt sich deren Einsatz zweckmässig steuern und die Zeitpunkte für den Brennelementwechsel in den einzelnen Werken aufeinander abstimmen.

Eine andere Möglichkeit der Beeinflussung des Zeitpunktes bietet die Wahl der Anreicherung des Urans. Eine Änderung um 0,2 % kann den Brennelementwechsel um zwei bis drei Monate verschieben. Eine gleiche Zeitspanne ist durch eine Abbranderhöhung, allerdings bei verminderter Leistung, zu gewinnen. Diese beiden Materialgrössen stehen in enger Beziehung zueinander, da zum technisch ereichbaren Abbrand eine optimale Anreicherung festgelegt werden kann.

Für eine 300-MW-Anlage belaufen sich die Anschaffungskosten einer Brennelement-Nachladung auf rund 17 Mill. DM, während die gesamten Wiederaufbereitungskosten bei 10 % davon liegen. Der Verbrauch des Brennstoffs von der Beschaffung des Urans bis zur Ausscheidung der Brennelemente erstreckt sich über einige Jahre. Entscheidungen über einen geänderten Einsatz eines Kernkraftwerkes, vor allem aber eine beabsichtigte Stillegung sollen daher zur Vermeidung unnötiger Kosten möglichst schon Jahre im Voraus getroffen werden, weil die Brennelemente meist für einen bestimmten Reaktor hergestellt werden und nur in diesem verwendbar sind. *K. Winkler*

Elektrische Lichttechnik, Lampen
Technique de l'éclairage, lampes

Güte der Strassenbeleuchtung

628.971.6

[Nach *H.-J. Hentschel:* Gütebewertung der Strassenbeleuchtung in Theorie und Praxis. Siemens-Zeitschrift 44(1970)1, S. 28...35]

Die Sicherheit und Leistungsfähigkeit eines Verkehrsweges sowie der Fahrkomfort hängen bei Nacht in hohem Masse von der Güte der Beleuchtung ab. Die Güte der Strassenbeleuchtung kann physiologisch oder psychologisch bewertet werden. Komponenten der physiologischen Güte sind die Leuchtdichte, die Blendung und das Kontrastsehen. Nach internationalen Empfehlungen soll die mittlere Leuchtdichte 2 cd/m² betragen. Neben der mittleren Leuchtdichte ist die Leuchtdichteverteilung wichtig. Diese kann mit einem Goniophotometer gemessen und durch vier Kennzahlen dargestellt werden. Die Leuchtdichteverteilung lässt sich mit Hilfe eines Computers berechnen.

Die Sicherheit des Strassenverkehrs hängt auch von der Blendung durch die Strassenbeleuchtung ab. Die Blendung kann man berechnen, und Daten für eine gute Blendbewertung und die Blendgrenze liegen vor. Die Blendung hängt mit dem Kontrastsehen zusammen. Hindernisse im Anhalteraum von 60...160 m vor dem Kraftfahrzeug müssen rechtzeitig erkennbar sein. Das Hindernis muss sich erkennbar von seiner Umgebung abheben.

Die psychologischen Gütemerkmale werden mit Hilfe eines Beobachtungskollektivs ermittelt. Ein praktischer Versuch wurde auf einem bestimmten Strassenstück mit 400 Beobachtern durchgeführt. Für die Beleuchtung einer Strasse sind neben sicherheitstechnischen auch wirtschaftliche Gesichtspunkte massgebend. Es gilt, zwischen den optimalen Gütewerten einer Strassenbeleuchtung und der Wirtschaftlichkeit der Anlage einen Kompromiss auszuarbeiten. Der Abstand zwischen zwei Leuchten sollte — um nur ein Beispiel zu nennen — für eine gleichmässige Beleuchtung möglichst klein sein, kann aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht beliebig klein sein. *H. Gibas*