

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83 (1965)
Heft: 28

Artikel: Über den Wert von Schutzmassnahmen gegen nukleare Waffen
Autor: Basler, E. / Kämpfer, U.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68209>

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: 09.02.2026

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

Sprinklereinrichtungen und ähnliches vorsehen, um einen Brand womöglich im Keime zu ersticken. (Bei Gebäuden mit Explosionsgefahr sind noch weitere Überlegungen anzustellen).

Im übrigen ist das Studium des in der Bauzeitung erwähnten Bulletins des Brandverhütungsdienstes allen am Bau oder Betrieb eines brandgefährdeten Gebäudes Beteiligten sehr zu empfehlen. Es fördert den Einblick in das Verhalten einer Konstruktion in einem Schadenfeuer und gibt wertvolle Hinweise, die es ermöglichen, die Feuer-sicherheit ohne oder mit nur geringen Mehrkosten durch zweckent-sprechende Konstruktion zu verbessern.

Es wäre interessant, die Ansicht der Fachleute zu vernehmen, ob auf Grund der in Altdorf und bei andern Brandfällen gemachten Erfahrungen die grossen Feuerbelastungen besser im obersten Ge-schoss statt im Keller untergebracht würden. Ferner wäre es wün-schenswert, zu hören, wie sich der Luftschuttkeller, der im Gebäude in Altdorf untergebracht war, verhalten hat und ob es nach den gemach-ten Erfahrungen überhaupt zulässig ist, Luftschutträume in einem Gebäude mit grosser Feuerbelastung unterzubringen.

Roland Guyer, dipl. Ing., 8044 Zürich, Gladbachstr. 47

Über den Wert von Schutzmassnahmen gegen nukleare Waffen

DK 699.85

Von Dr. sc. techn. **E. Basler**, Leiter des Forschungsinstitutes für militärische Bautechnik, und **U. Kämpfer**, dipl. math. ETH, wissenschaft-licher Mitarbeiter

Einleitung

Das Auseinanderklaffen der Auffassungen über den Nutzen von baulichen Schutzmassnahmen ist geradezu beängstigend. Es gibt Leute, die glauben, dass schon mit den Luftschuttkellern des Zweiten Welt-krieges oder mit Feldunterständen ein absoluter Schutz gegen Nuklear-explosionen erzielt werden könne und wiederum andere, die den Sinn jeder Anstrengung auf diesem Gebiet bezweifeln. Der Einwand, dass die Kräfte der Atomwaffe viel grösser seien als das Tragvermögen einer 30 oder 40 cm starken Eisenbetondecke, wird immer wieder erhoben. Nachfolgend werden einige Gedankenmodelle aufgestellt, die es erlauben, auf gewisse Fragen klare Antworten zu geben und insbesondere den Nutzen von Atom-Schutzmassnahmen objektiver zu bewerten. Mit diesen Grundlagen lässt sich auch der optimal anzu-strebende Ausbaugrad besser abschätzen. Es wird sogar möglich sein, die «Rentabilität» von verschiedenen aufwendigen Schutzmassnahmen zu vergleichen.

Wie gross sind die Kräfte der Atomwaffe?

Für einen Nichtfachmann ist es vorteilhaft, wenn er von der Voraussetzung ausgeht, dass bei einer Nuklearexplosion für alle Beanspruchungsarten (z. B. Druck, Hitze, radioaktive Strahlung usw.) jeder Wert von null bis unendlich angetroffen werden kann, je nach der Distanz vom Detonationszentrum. In Bild 1 ist als Beispiel die Intensität des allseitig wirkenden Überdruckes aufgetragen, als Funktion der Distanz vom Bodennullpunkt der Detonation für die Einsatzhöhen «Null», «Tief» und «Hoch». Die fette Linie bezieht sich auf einen Sprengpunkt auf der Erdoberfläche, bzw. im Ursprung des Koordinatensystems. Wenige zehn Meter daneben sind die Drücke noch fast unendlich gross, die Hitze viele tausend °C, so dass alle Materialien verdampfen; Beton und Eisen eingeschlossen. Je weiter wir uns von dem Explosionszentrum entfernen, um so geringer werden die Intensitäten und gelegentlich kommt eine kritische Distanz, wo auch der ungeschützte Mensch noch zu überleben vermag. Ganz ähnlich wie es eine spezifische Überlebensschwelle für den Menschen, z. B. auf freiem Feld oder im Wohnhaus gibt – was bei Druckintensitäten von etwa 0,3 atü der Fall ist –; existiert auch eine kritische Distanz für den Schutzraum selber, bzw. seine Insassen. Diese kritische Schutzraum-entfernung wird aber näher beim Sprengpunkt zu finden sein, bei-spielsweise dort, wo die Druckintensität den Wert von 3 atü erreicht hat. Da dieser Grenzdruck oft den massgebenden Parameter für die Bemessung darstellt, wird der Schutzzumfang eines Bauwerkes vielfach in atü angegeben. Dies bedingt einen Unterstand, der gegen die übrigen Waffenwirkungen so stark zu schützen vermag, dass der Druck die kritische Schutzdistanz definiert.

Die in den Kartenausschnitten Bilder 2 und 6 wiedergegebenen Illustrationsbeispiele beziehen sich auf eine kleinkalibrige Kernwaffe vom Energieäquivalent von 1 kT (Kilotonne) mit Sprengpunkt auf oder nahe der Erdoberfläche. Die eingezeichneten 0,3 bzw. 3,0 atü Grenzen, massgebend für das Überleben im Haus und im Schutzraum, liegen bei Entfernungen von 570 und 170 Metern. Bei einer 1000mal grösseren Bombe, einer 1 MT-Waffe (Megatonne), wären die ent-sprechenden Distanzen $\sqrt[3]{1000} = 10$ mal grösser; also 5700 m und 1700 m. Für die nachfolgenden Betrachtungen ist es bedeutungsvoll, dass das relative Verhältnis dieser beiden verschiedenen Überlebens-schwellen in erster Näherung unabhängig ist vom Kaliber; es beträgt etwa 1:3,3. Damit ist auch das Verhältnis der von den zwei Kreisen eingeschlossenen Flächen (Bild 2) unabhängig vom Kaliber stets etwa eins zu elf.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass das Wesen des Schutz-raumbaues darin besteht, die (mittlere) Überlebensdistanz vom Explosionszentrum zu verringern. Es steht aber nirgends geschrieben – ausser in willkürlichen Vorschriften –, wie gross diese Reduktion sein muss. Die praktische Begrenzung wird stets gegeben durch einen Vergleich von Aufwand und Nutzen. Wie aber soll man den Nutzen von baulichen Schutzmassnahmen beurteilen?

Ein objektives Schutzleistungs-Kriterium

Aufgrund von Vorarbeiten^{1), 2)} wurde im Forschungsinstitut für militärische Bautechnik eine erweiterte Studie über die Aussagekraft verschiedener Schutzleistungskriterien begonnen. Begriffe wie Anzahl Tote zu Anzahl Überlebenden, Zahl der Geretteten pro Franken Schutzmassnahmen, Ausfälle mit Schutzmassnahmen zu Ausfällen ohne Schutzmassnahmen, Überlebenswahrscheinlichkeiten des Men-schen und andere mehr, wurden einer näheren Analyse unterzogen. Bis dahin hat sich aber der in ²⁾ vorgeschlagene «Wirkungsgrad» einer Schutzmassnahme

$$(1a) \quad \eta = \frac{\text{Anzahl Personen gerettet durch Massnahme}}{\text{Anzahl Personen gefallen ohne Massnahme}}$$

als eines der leistungsfähigsten und aussagekräftigsten Kriterien er-wiesen. Wenn in diesem Wirkungsgrad die Absolutzahlen noch substituiert werden durch die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse nach Gleichung (1 b), dann ergibt sich eine bedeutungsvolle Erweiterung des Begriffes:

$$(1b) \quad \eta = \frac{\text{Zuwachs der Überlebenswahrscheinlichkeit durch Massnahme}}{\text{Ausfallwahrscheinlichkeit ohne Massnahme}}$$

¹⁾ Die Beanspruchung von Bauwerken durch Nuklearwaffen, Ab-schnitt 3.3, E. Basler, «Technische Mitteilungen für Sappeure, Pontoniere und Mineure», 27. Jahrgang, 1962

²⁾ Abschätzung des Tragvermögens von Schutzbauten und Beurteil-ung ihrer Schutzwirkung, E. und K. Basler, Bericht des Zürcher Sympo-siums über wissenschaftliche Grundlagen des Schutzraumbaues, Juli 1963, Bundesamt für Zivilschutz.

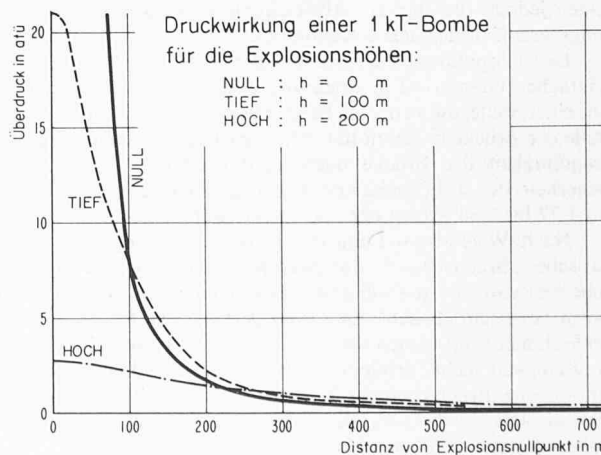


Bild 1. Allseitig wirkender Ueberdruck in Abhängigkeit von der Distanz vom Explosionszentrum bzw. Explosions-Null-punkt, in natürlichem Masstab

$$= \frac{W_{\bar{u}s} - W_{\bar{u}o}}{W_{ao}}$$

Hierin bedeuten

$W_{\bar{u}s}$ = Überlebenswahrscheinlichkeit mit Schutzmassnahme

$W_{\bar{u}o}$ = Überlebenswahrscheinlichkeit ohne Schutzmassnahme

W_{ao} = Ausfallswahrscheinlichkeit ohne Schutzmassnahme

Mit dieser Erweiterung wird derselbe Bewertungsstab nun auch anwendbar auf Einzelziele, wie im Zusammenhang mit den Bildern 6, 7 und 8 näher ausgeführt wird.

Wie aus den Gleichungen (1a) und (1b) zu entnehmen ist, nähert sich der dimensionslose Wirkungsgrad dem unteren Grenzwert Null, wenn die getroffene Schutzmassnahme nichts wert ist, d. h. wenn sie wenig Menschen zu retten vermag im Vergleich zu denjenigen, die ohnehin gefallen wären. Beim Einzelziel bedeutet dies, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit relativ wenig erhöht wird. Der obere Grenzwert $\eta = 1$ oder $\eta = 100\%$ wird dann erreicht, wenn die untersuchte Schutzmassnahme alle Personen zu retten vermag, die sonst ausgefallen wären. Zähler und Nenner werden in diesem Fall gleich gross. Einem Quotienten von 1 in Gleichung (1b) entspricht eine Situation, bei der man mit Hilfe der Schutzmassnahme das sonst vorhandene Ausfallrisiko hätte eliminieren können.

Das Modell der gleichmässigen Bevölkerungsverteilung

Die mit den Gleichungen (1) definierten Wirkungsgrade der Schutzmassnahme sollen nachfolgend auf zwei extreme Bevölkerungs- oder Truppenverteilungen angewendet werden, die als Grenzfälle aller praktisch vorkommenden Situationen angesehen werden können: Die gleichmässig dichte Verteilung und die ausgesprochen geballte. Diese wird im folgenden als «konzentrierte Verteilung» oder «Punktziel» bezeichnet. Die Bilder 2 und 6 können als Illustrationsbeispiele dieser beiden Extremformen angesehen werden. Diese beiden Grenzfälle der Bevölkerungs- oder Truppenverteilung könnten analytisch abgeleitet werden als extreme Formen aus einer beliebigen Häufigkeitsverteilung, wobei sich alle Zwischenwerte der «Konzentration» in einem einzigen Parameter, dem Streumass, kontinuierlich erfassen liessen. Da jedoch für die nachfolgenden Schlussfolgerungen diese Zwischenwerte nicht benötigt werden, können wir uns hier begnügen mit der Diskussion der beiden elementaren Grenzfälle.

Bild 3 stellt eine Abstraktion des Illustrationsbeispiels von Bild 2 dar. Eine mehr oder weniger gleichmässig verteilte Bevölkerung oder Truppe, symbolisiert durch die schwarzen Punkte und gekennzeichnet durch eine Dichte q_e in Personen pro km^2 , sei durchsetzt mit ebenfalls statistisch gleichmässig verteilten Schutzräumen.

An diesen Schutzräumen, die als Rechtecke markiert sind, interessieren uns als massgebende Parameter in erster Linie die Zahl der vorhandenen Schutzplätze pro Flächeneinheit, also die Schutz-

platzdichte q_s , sowie ihr Schutzzumfang, der beispielsweise 3 atü betragen soll. Die äussere, fett gezeichnete Umgrenzungslinie stelle wiederum die z. B. fünfzigprozentige Überlebensschwelle der Personen ohne Schutzmassnahmen dar, währenddem die innere Linie die Kernzone umgrenzt, innerhalb der auch die Schutzräume versagen. Die beiden Umgrenzungslinien können infolge topographischer Unregelmässigkeiten stark von der idealen Kreisform abweichen. Dies spielt in den folgenden Resultaten aber keine Rolle, vorausgesetzt, dass die Grösse der Flächen F_o und F_s erhalten bleibt.

Wird nun der Nutzen der getroffenen Schutzmassnahme vorerst nur qualitativ beurteilt, so lässt sich aus Bild 3 entnehmen, dass die Schutzräume ausserhalb des Gebietes F_o für diesen – willkürlich gewählten – Angriff nichts geholfen haben; man hätte in diesem Randgebiet auch ohne sie überleben können. Die Schutzräume in der Kernzone F_s , in unmittelbarer Nähe des Explosionszentrums, nützen auch nichts; sie liegen zu nahe am Sprengpunkt, und ein Überleben ist hier nicht denkbar, ob mit oder ohne Schutzräume. Diejenigen Unterstände endlich, die wirklich Menschenleben gerettet haben, liegen alle in der Ringfläche F_o minus F_s . Alle sich in diesem Gebiet befindenden Personen wären auch umgekommen, hätten sie nicht, vielleicht nur teilweise, Zuflucht in den Schutzräumen gefunden.

Wie gross ist nun für diesen in Bild 3 skizzierten Modellfall der Wirkungsgrad der getroffenen Schutzmassnahme? Nach der Definition Gleichung (1a) muss vorerst die «Zahl der durch die Massnahmen geretteten Personen» ermittelt werden. Wenn zum Zeitpunkt der Detonation die vorhandenen Schutzräume nur bis zu einem *Volligkeitsgrad* φ ($0 < \varphi < 1$) gefüllt sind, so befinden sich in der Ringfläche eine Anzahl

$$Z = (F_o - F_s) q_s \varphi$$

Personen in den Schutzräumen. Der Nenner N der Gleichung (1a) ergibt sich aus der «Zahl der Personen, die ohne Massnahmen ausgefallen wären», und diese beträgt:

$$N = F_o q_e$$

Somit ergibt sich der *Wirkungsgrad* η unter Berücksichtigung der Affinität der nicht notwendigerweise kreisförmigen Flächen F_o und F_s , also bei Gültigkeit von $F_s:F_o = d_s^2:d_o^2$ zu

$$(2) \quad \eta = \frac{Z}{N} = \frac{\varphi q_s (F_o - F_s)}{q_e F_o} = \varphi \frac{q_s}{q_e} \left[1 - \left(\frac{d_s}{d_o} \right)^2 \right]$$

Wird der Klammerausdruck mit *baulichem Wirkungsgrad* η_b bezeichnet, da dieser Wert nur von den baulichen Massnahmen, bzw. dem Schutzzumfang abhängt,

$$(3) \quad \eta_b = 1 - \frac{d_s^2}{d_o^2}$$



Bild 2. Illustrationsbeispiel einer mehr oder weniger gleichmässig verteilten Bevölkerung. Die 0,3- bzw. 3,0-atü-Isobaren entsprechen den zu erwartenden Schadenradien für ungeschützte und optimal geschützte Personen. Massstab 1:25 000.

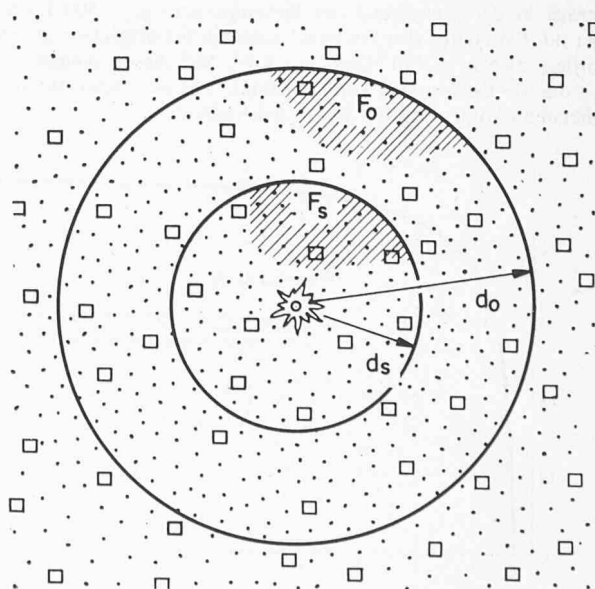


Bild 3. Waffeneinsatz auf ein Modell einer gleichmässig verteilten Bevölkerung, durchsetzt mit gleichmässig verteilten Schutzräumen

und das Verhältnis der Schutzplatzdichte q_s zur Einwohnerdichte q_e als *Ausbaugrad* α definiert, weil diese Zahl angibt, welcher Bruchteil der Bevölkerung überhaupt einen Schutzplatz zur Verfügung hat,

$$(4) \quad \alpha = \frac{q_s}{q_e}$$

so lässt sich der *Gesamtwirkungsgrad* η , Gleichung (2), darstellen als das Produkt von drei dimensionslosen Faktoren, deren Zahlenwerte alle zwischen Null und Eins liegen:

$$(5) \quad \eta = \varphi \alpha \eta_b$$

Der *Volligkeitsgrad* φ , der angibt, welcher Bruchteil der vorhandenen Schutzplätze im Zeitpunkt des Angriffes vorschriftsmässig belegt ist (alle Zugänge geschlossen!), ist wesentlich von den getroffenen *organisatorischen* Massnahmen abhängig. Ohne eine gute Organisation, ein Warnsystem und entsprechende Verhaltensvorschriften nützt auch der beste Schutzraum wenig, was auch in Gleichung (5) zum Ausdruck kommt. Der *Ausbaugrad* α , der angibt, für welchen Prozentsatz der Bevölkerung Schutzplätze gebaut sind, hängt vor allem von *legislativen Massnahmen* ab. Der *bauliche Wirkungsgrad* η_b ist nur eine Funktion vom Verhältnis der Überlebensdistanz d_s des Schutzraumes zu derjenigen ohne Schutzräume, d_o . Da dieses Verhältnis, wie früher ausgeführt, weitgehend unabhängig ist vom eingesetzten Waffenkaliber, lässt sich dieser Wirkungsgrad als Funktion des Schutzzumfanges der Unterstandskonstruktion ausdrücken. In Bild 4 ist dieser fundamentale Zusammenhang, der nicht sorgfältig genug studiert werden kann, aufgetragen. Der steile Anstieg der Schutzleistungszahl η_b vom Nullwert bei etwa 0,3 atü – entsprechend der Überlebensschwelle des ungeschützten Menschen – bis zu etwa 1 atü besagt, dass in diesem Bereich mit geringen Steigerungen des Schutzniveaus erhebliche Verbesserungen der Schutzwirkungen erzielt werden können. Der flache Kurvenverlauf bei höheren Werten als 3 atü (der auch erwartet werden könnte beim nochmaligen Studium des Bildes 1) bringt zum Ausdruck, dass eine Steigerung des Schutzzumfanges über 3 atü nur noch geringen Gewinn bringt.

Ein Beispiel, wie sich der in Bild 3 skizzierte Modellfall und das mit Gleichung (1) gegebene Bewertungskriterium auch auf abgegrenzte Gebiete übertragen lässt, ist in Bild 5 gegeben. Innerhalb einer umschlossenen Fläche $F_t = 40000 \text{ km}^2$ sei eine Bevölkerung ungleichmässig verteilt, so dass die Bevölkerungsdichte $q_e(x, y)$ wie auch die Schutzplatzdichte $q_s(x, y)$ noch vom Ort abhängen können. Die Bevölkerungsdichte über die ganze Fläche F_t gerechnet, betrage $q_m = 125$ Personen pro km^2 . Der Schutzzumfang der zu testenden baulichen Massnahme, z. B. der Bau von 3-atü-Unterständen, sei jedoch derselbe an allen Orten, d. h. wir beschränken unsere Untersuchungen auf die Leistungsfähigkeit einer spezifischen Schutzmassnahme. Man an beliebigem Ort eine Kernexplosion z. B. vom Kaliber 1 MT angenommen, dann beträgt die Fläche, innerhalb der die Bevölkerung ohne Schutzmassnahme ausfällt, $F_o = 25 \text{ km}^2$ und diejenige, innerhalb der auch Schutzräume versagen, $F_s = 2,3 \text{ km}^2$. Die Bevölkerungsdichte betrage in der Umgebung des Sprengpunktes $q_e = 500 \text{ Einw./km}^2$, aber nur die Hälfte aller Personen seien mit Schutzplätzen ausgerüstet worden, also $q_s = 250$ Plätze pro km^2 . Mit diesen Angaben lassen sich die zur Bestimmung von Gleichung (1 b) verlangten Wahrscheinlichkeiten (Abkürzung W) sofort anschreiben:

Ohne Schutzmassnahmen beträgt die

$$\text{Ausfalls-}W \quad W_{ao} = \frac{F_o q_e}{F_t q_m} = 0,00250$$

$$\text{Überlebens-}W \quad W_{üo} = 1 - W_{ao} = 0,99750$$

Mit Schutzmassnahmen beträgt die

$$\text{Ausfalls-}W \quad W_{as} = \frac{F_o q_e - (F_o - F_s) q_s}{F_t q_m} = 0,00136$$

$$\text{Überlebens-}W \quad W_{üs} = 1 - W_{as} = 0,99864$$

Der Wirkungsgrad dieser Massnahme beträgt gemäss Definition Gleichung (1 b)

$$\eta = \frac{W_{üs} - W_{üo}}{W_{ao}} = \frac{0,99864 - 0,99750}{0,00250} = 0,455$$

Wäre für alle Personen ein Schutzplatz gleicher Stärke vorgesehen worden, dann hätte sich der Wirkungsgrad η bei gleichem Volligkeitsgrad φ verdoppelt zu $\eta = 0,91$. Dieser letztere Wert stimmt überein mit den Werten von Bild 4 für einen Schutzzumfang von 3 atü. Dass dieses Modell mit begrenztem Einzugsgebiet auf dieselben Resultate führt wie dasjenige des Bildes 3 lässt sich leicht nachweisen, wenn man an Stelle der Zahlenwerte die algebraischen Ausdrücke stehen lässt. Das Resultat der hier gestellten Aufgabe – mit Einbezug eines Volligkeitsgrades φ – reduziert sich nach einer hier nicht wiedergegebenen Zwischenrechnung auf folgende Form:

$$(6) \quad \eta(x, y) = \frac{W_{üs} - W_{üo}}{W_{ao}} = \varphi(x, y) \frac{q_s(x, y)}{q_e(x, y)} \left[1 - \frac{d_s^2}{d_o^2} \right]$$

Gleichung (6) ist in der Tat identisch mit Gleichung (2). Würden demselben Modell mehrere Waffeneinsätze mit verschiedenen Kalibern zu Grunde gelegt, so liesse sich der Wirkungsgrad der Schutzmassnahme mit geringem Mehraufwand auf ähnliche Art ermitteln.

Das Modell eines konzentrierten Zieles (Punktziel)

Wie früher erwähnt, lässt sich das Punktziel auffassen als Grenzfall einer sich lokal immer stärker verdichtenden kontinuierlichen Bevölkerungsverteilung. Dabei wird angenommen, dass die zu schützende Zielfläche klein ist im Vergleich zum «wirksamen» Einzugsgebiet der Explosion. Bild 6 stellt ein – allerdings unwahrscheinliches – Illustrationsbeispiel eines Punktzieles dar. Was nützt nun eine Verstärkungsmassnahme, z. B. der Bau von 3-atü-Schutzräumen in diesem Zielgebiet? Eine Auswertung der Definition (1 b) des Wirkungsgrades führt zu folgendem Ergebnis: Die Ausfallswahrscheinlichkeit des Zieles ohne Schutzmassnahme ist 100%. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten sind 0, ob mit oder ohne Massnahme, und damit auch der Wirkungsgrad η . Diese Tatsache lässt sich verallgemeinern zu einer höchst folgenschweren Aussage: «Wenn ein Gegner die Absicht hat, ein Punktziel atomar anzugreifen, dann ist es erledigt, unabhängig davon, ob es verstärkt worden ist oder nicht». Bei dieser Schlussfolgerung gehen wir allerdings von zwei Voraussetzungen aus, die einer weiteren Präzisierung bedürfen: Es wird angenommen, dass der Gegner die Zielkoordinaten kennt und dass die Waffenstreuung klein ist im Vergleich zum Einzugsgebiet der Explosion.

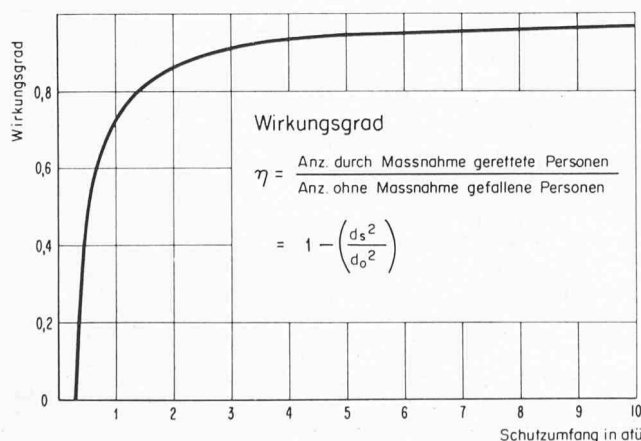


Bild 4. Der bauliche Wirkungsgrad η einer Schutzmassnahme in Abhängigkeit vom Schutzzumfang, ermittelt am Modell der gleichmässigen Bevölkerungsverteilung

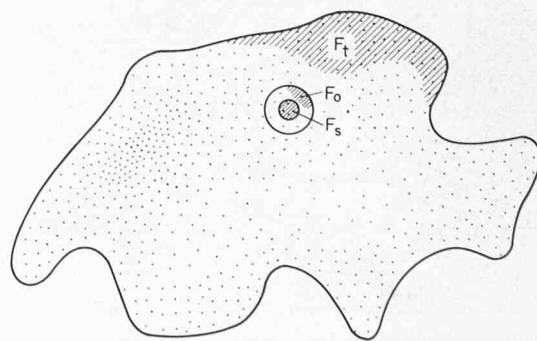


Bild 5. Ermittlung des Wirkungsgrades einer getroffenen Schutzmassnahme bei einem oder mehreren Waffeneinsätzen auf ein umgrenztes Bezugsgebiet mit ortsabhängiger Bevölkerungs- oder Schutzplatzdichte

Die massgebenden Parameter, auf die es hier ankommt, sind die *kritische Überlebensdistanz* d_s des Zieles vom Explosionszentrum und die *Treffgenauigkeit des Waffenträgers*, ausgedrückt z. B. durch die 50%ige Kreisstreueung s_k , also den Radius einer Kreisfläche, innerhalb der die Hälfte aller Treffer zu erwarten ist. Mit dieser Streuungszahl s_k kann man auch eine Unsicherheit in der Kenntnis der genauen Zielkoordinaten ausdrücken. Wird die weitere Voraussetzung gemacht, dass die Treffererwartung sich nach den Gesetzen der Gauss'schen Häufigkeitsverteilung beschreiben lässt – ein solches Trefferbild ist in Bild 7 mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitstabellen konstruiert worden – dann lässt sich die Ausfallwahrscheinlichkeit des Punktzieles als Funktion dieser beiden Parameter angeben. Da es nur auf das Verhältnis von Zerstörungsradius d_s zu Kreisstreueung s_k ankommt, kann, wie in Bild 7 wiedergegeben, in einer einzigen Kurve die Ausfall- (oder Überlebens-) Wahrscheinlichkeit des Punktzieles als Funktion einer auf die Kreisstreueung bezogenen Schutzdistanz angegeben werden. Diese Ausfallwahrscheinlichkeiten könnten vergrössert werden durch Abgabe mehrerer Schüsse, beziehungsweise durch mehrere Waffeneinsätze auf dasselbe Ziel. Für diese Fälle liessen sich weitere Kurven im selben Diagramm konstruieren. Sie würden sich mit steigender Schusszahl mehr nach links verschieben. Die Kurve des Bildes 7 stellt einen Grundzusammenhang dar, auf den bei Diskussionen um die Nützlichkeit von Verstärkungsmassnahmen bei Punktzielen immer wieder zurückgegriffen werden muss. Es lässt sich daraus entnehmen, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit bei einem einzigen Waffeneinsatz grösser als 90% ist, sobald der Radius der Zielfläche, der identisch ist mit der Schutzdistanz d_s , kleiner als $\frac{3}{8}$ der Kreisstreueung s_k ist, währenddem sie auf 10% absinkt bei einem Verhältnis d_s zu $s_k = 1,85$.

Nach dem eher entmutigenden Resultat der Beurteilung des Nutzens der Schutzmassnahme, wie im Beispiel des Bildes 6 dargestellt, soll nun der Wirkungsgrad derselben Massnahme noch einmal überprüft werden, diesmal jedoch unter der Annahme, dass die eingesetzte 1 kT-Bombe mit einer Trefferstreueung $s_k = 300$ m behaftet sei. Mit Hilfe von Bild 7 lässt sich der Wirkungsgrad dieser Schutzmassnahme rasch ermitteln. Ohne Schutzmassnahme betragen die Ausfall- bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten $W_{ao} = 0,92$ bzw. $W_{üo} = 0,08$ für einen Abszissenwert von $d_o:s_k = 170:300 = 0,57$, und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten lassen sich aus Bild 7 zu $W_{as} = 0,20$ und $W_{üs} = 0,80$ entnehmen. In Gleichung (1 b) eingesetzt ergibt sich ein Wirkungsgrad von

$$\eta = \frac{W_{üs} - W_{üo}}{W_{ao}} = \frac{0,8 - 0,08}{0,92} = 0,78$$

Dieser Wirkungsgrad von $\eta = 0,78$ ist immer noch nicht so gut wie derjenige für dieselben Verstärkungsmassnahmen bei einer gleichmässigen Bevölkerungsverteilung, wo einem Schutzzumfang von 3 attü ein Wirkungsgrad von $\eta = 0,91$ zugeordnet ist (siehe Bild 4). Nun kann man zeigen (der mathematische Beweis wird hier übersprungen),

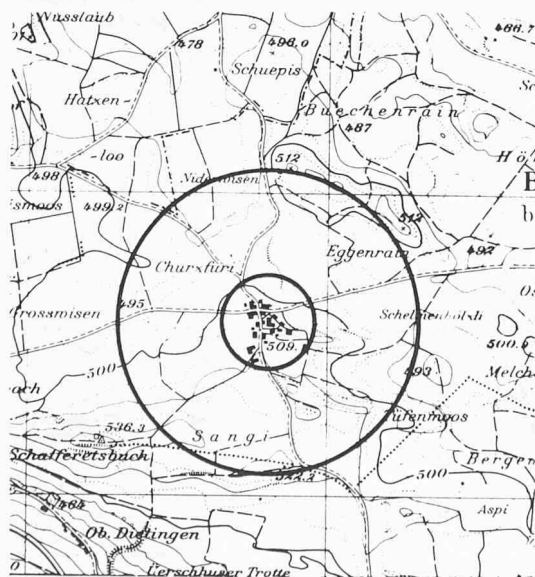


Bild 6. Illustrationsbeispiel einer als Punktziel zu bezeichnenden Situation. Die Zielabmessungen sind klein im Vergleich zum Zerstörungsradius der Waffe. 1:25 000.

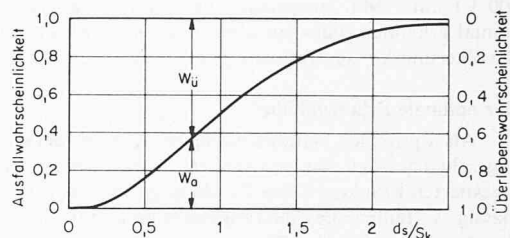
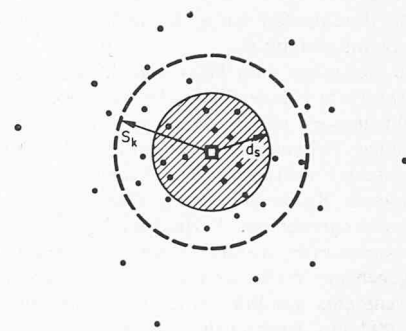


Bild 7. Ausfall bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit eines Punktzieles bei einem einzigen Waffeneinsatz in Abhängigkeit der auf die Waffestreueung s_k bezogenen Schutzdistanz d_s .

dass derselbe Wirkungsgrad η wie bei der gleichmässigen Bevölkerungsverteilung auch für Punktziele erreicht werden kann, wenn die Waffestreueung s_k sehr gross wird im Vergleich zu den Schutzradien des Punktzieles. Dieser Grenzfall lässt sich vergleichen mit einer Situation, wo der Gegner Bomben willkürlich, bzw. blind in ein Gebiet hineinwirft. Die Schutzmassnahmen sind in diesem letzteren Fall gleichwertig, ob die Bevölkerung gleichmässig verteilt oder an einem Punkt konzentriert angenommen wird.

Aus diesen Überlegungen lässt sich die wichtige Schlussfolgerung ziehen, dass Schutzmassnahmen für Bevölkerungskonzentrationen oder Punktziele im besten Fall gleich wirksam sein können wie bei gleichmässiger Bevölkerungsverteilung, im schlechtesten Fall aber gar nichts nützen. Diese Verhältnisse sind ausgedrückt in Bild 8, das den Wirkungsgrad η als Funktion des Schutzzumfanges in attü für das Punktziel angibt, in gleicher Weise wie es in Bild 4 für die gleichmässige Bevölkerungsverteilung vorgenommen wurde. Es ist daraus zu entnehmen, dass man zwischen dem oberen Grenzwert, der mit Bild 4 identisch ist und dem unteren, der mit der Abszisse zusammenfällt und besagt, dass jede Schutzsteigerung überhaupt nichts nützt, alle Zwi-

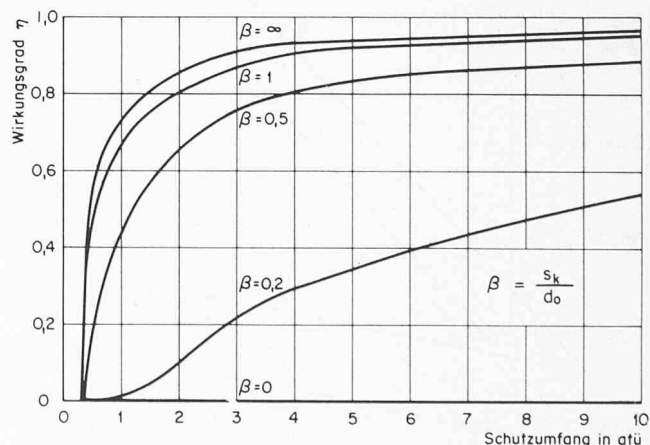


Bild 8. Der bauliche Wirkungsgrad η einer Schutzmassnahme in Abhängigkeit vom Schutzzumfang und für verschieden grosse Kreisstreueungen, ermittelt am Modell des Punktzieles. Man beachte, dass für grosse Waffestreueungen ($\beta > 1$) der Wirkungsgrad der Verstärkungsmassnahme beim Punktziel gleich gross wird wie bei der gleichmässig verteilten Bevölkerung (Bild 4), während bei einem genau platzierten Waffeneinsatz ($\beta = 0$) die Schutzmassnahme überhaupt nichts nützt

schenwerte durchlaufen kann, je nach dem Verhältnis $\beta = \text{Streu- radius zu Schutzdistanz } d_0$.

Diese Gedanken zum Wert von Schutzmassnahmen bei Punktzielen wären nicht vollständig, wenn nicht noch eine weitere Tatsache in Betracht gezogen würde: Wenn ein Angreifer erkennt, dass seine Erfolgschancen bei einem Einzelangriff klein sind, so hat er nebst der Möglichkeit des Einsatzes weiterer gleicher Waffen eventuell auch noch die Wahl einer Kalibersteigerung. Die Gegenüberstellung des Aufwandes von Angreifer und Verteidiger ist für diesen letzteren Fall in Bild 9 vorgenommen worden. Jedem Schutzzumfang des Einzelzieles ist – bei gegebener Waffenstreuung s_k – dasjenige Kaliber zugeordnet, das vom Angreifer gewählt werden muss, um mit einem einzigen Einsatz eine 90%ige Ausfallwahrscheinlichkeit zu erzielen. Aus Bild 9 ist als Beispiel erkennbar, dass bei einer Waffenstreuung $s_k = 500$ m, einer Schutzsteigerung von 3 auf 10 atü eine Kalibervergrösserung von 400 kT auf 1 MT entspricht. Die Resultate des Bildes 9 lassen noch einmal erkennen, dass ein allzu hoch gesteigerter Schutzzumfang bei Bevölkerungskonzentrationen oder Punktzielen wenig sinnvoll ist.

Der optimale Schutzzumfang

Als optimaler Schutzzumfang muss wohl derjenige Ausbaugrad angesehen werden, der am meisten Menschen zu retten vermag pro investierten Franken. Diese Forderung führt beim Idealfall der gleichmässig verteilten Bevölkerungsverteilung auf das an sich triviale Resultat, dass das Verhältnis vom Wirkungsgrad η der Schutzmassnahme zu Schutzplatzkosten möglichst gross sein muss.

Mit Kenntnis der Abhängigkeit dieses Wirkungsgrades vom Schutzzumfang (Bilder 4 und 8) und der Schutzplatzkosten als Funktion des Schutzzumfanges liesse sich dieses Verhältnis sofort bilden und das Maximum bestimmen. Die Hauptschwierigkeit liegt im Erarbeiten einer zuverlässigen Relation zwischen Schutzplatzkosten und Schutzzumfang, da dieser Zusammenhang stark beeinflusst wird vom gewählten Konstruktionstyp, der Schutzraumgrösse, den vorhandenen topographischen und geologischen Verhältnissen und allfälligen übrigen, gleichzeitig zu erstellenden Bauten. Da aber zu vermuten war, dass diese Kostenrelation das Resultat nicht sehr empfindlich beeinflusst, ist eine solche Optimalisierung durchgeführt worden mit sehr extremen Schätzungen über den Zusammenhang von Schutzplatzkosten und Schutzzumfang (siehe Bild 10). Wird pro Schutzplatz ein Volumen von 3 m³ umbauten Raumes pro Person angenommen, was einem Nettovolumen von 2 bis 2,5 m³ pro Person entspricht und für Zivilschutzverhältnisse eine übliche Grössenordnung darstellt, so lassen sich die Kosten eines klimatisierten, allseitig geschlossenen Kellerraumes ohne jeden Schutzwert, also ohne Berücksichtigung einer atomaren Beanspruchung, zu 120 Fr. als unterste und 250 Fr. pro m³ als oberste Grenze schätzen. Damit ergeben sich im Diagramm

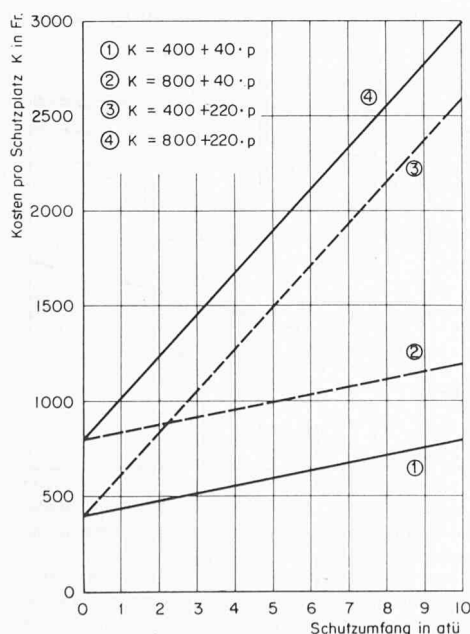


Bild 10. Die der Optimalisierungsstudie zugrunde gelegten Kostenrelationen zwischen Schutzzumfang, gemessen in atü, und Schutzplatzkosten in Franken

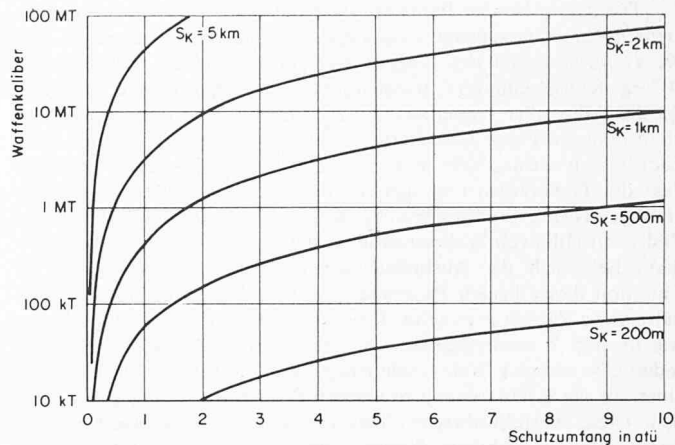


Bild 9. Für 90%ige Ausfallwahrscheinlichkeit benötigtes Waffenkaliber als Funktion des Schutzzumfanges und der Streuung s_k

des Bildes 10 die beiden Ordinatenschnittpunkte zu 400 Fr. und 800 Fr. als obere Grenze von «Schutzplätzen ohne Schutzwert». Der Kostenanstieg mit zunehmendem Schutzzumfang (Strahlenschutz, Erschütterungsschutz und andere Beanspruchungsarten mit eingerechnet) wird in dieser groben Näherung linear angenommen, wobei Erfahrungswerte darauf hindeuten, dass eine Kostenzunahme pro atü Schutzzumfang und pro Schutzplatz zwischen den Grenzen von 40 und 200 Franken liegen. Aufgrund dieser Werte resultieren die sehr auseinanderklaffenden Annahmen über Schutzplatzkosten und Schutzzumfang, wie dargestellt in Bild 10. Wird nun der Quotient gebildet zwischen Wirkungsgrad und Schutzplatzkosten für alle vier Kostenfunktionen, so ergibt sich das in Bild 11 dargestellte Resultat. Es ist bemerkenswert, dass die Maxima dieser Quotienten bei einem Schutzzumfang von 0,75 bis 3 atü liegen, entsprechend einem Wirkungsgrad η von 70 bis 90%. Zusätzliche Kostenuntersuchungen für diesen Schutzzumfang haben ergeben, dass man bei Neubauten mit eventuell weniger als 1000 Fr. Investitionen pro Schutzplatz einen Wirkungsgrad von dieser Grössenordnung erzielen kann, und dass vorläufig gerechnet werden darf, dass man mit Investitionen von 1000 Fr. pro Person bei einem willkürlich gewählten Atomangriff auf unser Land rund 80–90% derjenigen Personen retten könnte, die ohne diese getroffenen Massnahmen ausgefallen wären.

Fast noch wichtiger als diese einmaligen Investitionskosten sind die Jahreskosten, da der Schutzraum als Dauerinvestition angesehen werden muss. Obwohl solche unterirdischen massiven Betonkonstruktionen eine sehr lange Lebensdauer haben, soll ihre volle Wirksamkeit als nicht zu lange veranschlagt werden, weil die Beanspruchungsart, d. h. die Waffenwirkungen sich dauernd ändern. Wird der volle Nutzen einer Neuinvestition zu 30–35 Jahren eingesetzt, so könnte man folgern, dass mit baulichen Aufwendungen von rund 30 Fr. pro Person und Jahr der mögliche Ausfall an Personen bei irgendeinem Atomangriff auf rund $1/10$ heruntergedrückt werden könnte.

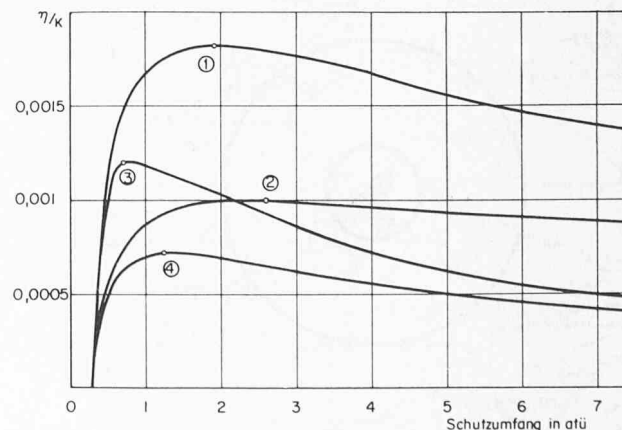


Bild 11. Resultat der Optimalisierung. Die besten Verhältnisse von Wirkungsgrad zu Schutzplatzkosten liegen im Bereich eines Schutzzumfanges von 0,75 bis 3 atü. Die Kurven beziehen sich auf die entsprechend bezeichneten Kostenrelationen von Bild 10

Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Mit Hilfe der hier wiedergegebenen Begriffe und Zusammenhänge lassen sich eine ganze Anzahl der eingangs gestellten Fragen objektiv überblicken. Die nachfolgend gezogenen Schlussfolgerungen müssen notwendigerweise summarisch bleiben oder sich auf Illustrationsbeispiele des Zivilschutzes beschränken.

1. Gegen die Atomwaffe lässt sich kein absoluter Schutz erzielen.
2. Ein Punktziel zu verstärken, von dem man annehmen muss, dass der Gegner seine Koordinaten kennt und es als lohnendes Atomziel betrachten wird, ist wenig sinnvoll oder überhaupt unnütz, wenn die mögliche Waffenstreuung s_k klein ist im Verhältnis zur erzielbaren Schutzdistanz d_s .
3. Der beste Schutz wird erreicht, wenn wenigstens in der Grösse des Einzugsgebietes einer Explosion eine mehr oder weniger gleichmässige Bevölkerungs- oder Truppenverteilung angestrebt werden kann.

Einfache Rechnung zur Kontrolle des Zementgehaltes bei Betonmischungen

DK 693.552.3

Der Aufsatz von Dr. Max Herzog, Aarau, in H. 19, S. 319 der Schweizerischen Bauzeitung vom 13. Mai 1965 veranlasst mich zu folgender Beantwortung.

Sehr viele Ingenieure machen merkwürdigerweise wie Dr. Herzog immer wieder den Fehler, Rechnungen zur Kontrolle des Zementgehaltes bei Betonmischungen auf Basis der Volumina durchzuführen. Auch die VESI-Norm 1965 (Verband der selbständig praktizierenden Ingenieure des Kantons Zürich) beruht auf dem gleichen fundamentalen Fehler. Die Schüttgewichte der normalen Portlandzemente, die in der Schweiz produziert werden, schwanken zwischen 1,1 und 1,35 t/m³. Ein Sand mit guter Kornzusammensetzung zwischen 0 und 5 mm verändert sein Schüttgewicht bei 4 Gew. % Feuchtigkeitsgehalt um rund 45% gegenüber seinem Schüttgewicht bei absoluter Trockenheit. Ein Kiessand-Gemisch mit Korngrössen von 0÷30 mm, nach EMPA-Siebkurve zusammengesetzt, hat in erdfeuchtem Zustand eine Differenz des Schüttgewichtes von rund 20% gegenüber einer sehr sandreichen Mischung, die ebenfalls erdfeucht ist. Diese grossen Streuungen zeigen, dass Rechnungen, welche auf den Volumina beruhen, sehr grosse Unsicherheiten enthalten müssen.

Umgekehrt ist bekannt, dass die Gewichte von verdichtetem Frischbeton nicht sehr stark schwanken. Für einen Frischbeton P 300 kann mit genügender Genauigkeit ein Raumgewicht von 2,45÷2,50 t/m³ angenommen werden. Diese Streuung beträgt nur 2%. Wenn wir beispielsweise von einem Frischbeton-Gewicht von 2480 kg/m³ ausgehen, haben wir bei einem Beton P 300 definitionsgemäss 300 kg Zement, und wenn wir einen Wasser-Zement-Faktor von 0,5 wählen, sind dies 150 kg, so dass für das Kiessand-Gemisch 2030 kg bleiben. Sind nun, was vielfach der Fall ist, an der Betonaufbereitungsanlage keine Einrichtungen vorhanden, um den Zement und die Zuschlagstoffe zu wägen, so soll nicht ein Schüttgewicht angenommen werden, das aus irgendwelchen Tabellen entnommen wird, sondern es ist von Fall zu Fall mit einer einfachen Waage der Inhalt eines Zementkistchens zu bestimmen und auf die gleiche Weise der Inhalt eines Aufzugskübels mit dem entsprechenden Kiessand-Gemisch.

Kurz wiederholt das Rezept: Rechnung gewichtsmässig durchführen, Bestimmung der entsprechenden Mengen durch Probewägungen, welche auf jeder Baustelle zu wiederholen sind.

Die Kontrolle auf den Zementgehalt eines Betons kann auf dem Bauplatz sehr einfach und exakt auf folgende Weise durchgeführt werden. Von einer Mischung ist der zugegebene Zementgehalt mit einer einfachen Waage zu kontrollieren. Die ganze Mischung wird anschliessend in eine aus Schalbrettern provisorisch hergestellte Kiste geschüttet. Vernünftigerweise wählt man den Grundriss dieser Kiste 1×1 m. Nachdem dieser Beton vibriert ist, misst man das Volumen des verdichteten Betons. Der Zementgehalt pro Mischung kann durch Wägen und das erhaltene Betonvolumen durch Messen sehr genau ermittelt werden. Aus diesen beiden Werten ergibt sich die genaue Angabe von kg/m³ verdichteten Beton. Wenn man für diese Probe in der Messkiste mehr als eine Mischung zusammennimmt, so können noch die Unterschiede von Mischung zu Mischung ausgeglichen werden. Nach dieser Ergiebigkeitsprobe soll die Zementzugabe pro Mischung korrigiert werden. Es wäre zu wünschen, dass sich die Ingenieure auf diese einfache Ergiebigkeitskontrolle stützen und endlich mit ungenauen volumetrischen Berechnungen aufhören würden.

Hans Stamm, dipl. Ing. ETH, Leiter der Techn. Forschungs- und Beratungsstelle der Schweiz. Zementindustrie, Wildegg

4. Verstärkungsmassnahmen für Truppen- oder Bevölkerungskonzentrationen sind dann von ebenso grossem Nutzen wie bei der gleichmässigen Verteilung, wenn der gegnerische Angriff als zufällig angesehen werden kann.

5. Werden nur wirtschaftliche Gesichtspunkte berücksichtigt, dann liegt der optimale Schutzzumfang bei Neubauten, wie sie für Zivilschutzverhältnisse üblich sind, in der Grössenordnung von 0,75 bis 3 atü entsprechend einem Wirkungsgrad von 70 bis 90%.

6. Als eine realistische Beurteilung des Nutzens von Atomschutzmassnahmen auf Flächenziele darf angenommen werden, dass mit rund 1000 Fr. Investitionen pro Person die Zahl der Ausfälle bei irgendeinem Waffeneinsatz auf einen Zehntel verringert werden könnte.

Adressen der Verfasser: Dr. E. Basler in Firma Basler & Hofmann, 8008 Zürich, Forchstrasse 84, und U. Kämpfer, dipl. Math., 8049 Zürich, Ackersteinstrasse 197. — Forschungsinstitut für Militärische Bau-technik, 8001 Zürich, Auf der Mauer 2.

Die Zuschrift von Ing. H. Stamm beanstandet grundsätzlich die vom Verfasser verwendete volumetrische Methode zur Kontrolle des Zementgehaltes von Betonmischungen. Aber im Zeitalter der Überbeschäftigung des Baugewerbes sind unproduktive Untersuchungen – wie die sogenannte Ergiebigkeitsprobe – zu mindest unbeliebt und nur auf bedeutenden Baustellen durchsetzbar. In allen übrigen Fällen gestattet die von mir angegebene Rechnung die schnellste Abschätzung der erforderlichen Zementmenge.

Der Einfluss der Variation des Schüttgewichtes von Zement auf das Ergebnis der volumetrischen Rechnung ist klein. Im Zahlenbeispiel des Verfassers¹⁾ liefert

$\gamma = 1,1 \text{ t/m}^3$	$Z = 63 \text{ kg}$
$\gamma = 1,2 \text{ t/m}^3$	$Z = 64 \text{ kg}$
$\gamma = 1,35 \text{ t/m}^3$	$Z = 66 \text{ kg}$

Der Einfluss der Variation des Raumgewichtes von Kiessand ist grösser. Für das im Mittelland (im Aufsatz als Arbeitsbereich des Verfassers zitiert) übliche runde Material 0÷30 mm liefert das Zahlenbeispiel

$F = 3\%$	$\gamma = 1,75 \text{ t/m}^3$	$Z = 64 \text{ kg}$
$F = 10\%$	$\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$	$Z = 68 \text{ kg}$

Selbst für die sehr hohe Eigenfeuchtigkeit des Kiessandes von 10% ergibt die Rechnung mit den vom Verfasser verwendeten Mittelwerten eine nur um 6% zu kleine Zementmenge.

Dies lässt den Schluss zu, dass die Ergebnisse der einfachen volumetrischen Rechnung des Verfassers doch nicht so schlecht sind, wie die Zuschrift von Ing. Stamm vermuten lässt. Dr. Max Herzog, Aarau

Die Redaktion hat diese beiden Äusserungen Ing. R. Joosting, EMPA, vorgelegt und von ihm folgende Antwort bekommen:

1. Wünscht man mit möglichst grosser Genauigkeit den Zementgehalt einer Betonmischung zu bestimmen, so ist die Ergiebigkeitsprobe die am besten geeignete Methode. Die verschiedenen Komponenten des Betons werden hierbei mit einer Waage gewogen, wobei eine Genauigkeit der Wägung von 0,5 bis 1,0% ohne weiteres erzielt werden kann. Das Volumen des verdichteten Betons in der Spezialschalung kann mit einer Genauigkeit von 1 bis 2% gemessen werden.

2. Auch die Kontrolle des Zementgehaltes bei Betonmischungen auf Basis der Volumina ist möglich. Hierbei muss man sich aber gegenwärtig, dass die Genauigkeit dieser Methode bedeutend schlechter ist, als diejenige der Ergiebigkeitsprobe. Durch fehlerhafte Schätzungen der Raumgewichte des Betons, des Zementes und des Kiessandes können unter Umständen bei der Zementgehaltsbestimmung Fehler bis zu 20% entstehen.

3. Dem Argument von Dr. Herzog, dass auf kleineren Baustellen die Ergiebigkeitsproben nicht durchgeführt werden können, kann ich nicht beipflichten. Die Durchführung nimmt höchstens eine halbe bis eine Stunde in Anspruch. Meines Erachtens ist dieser geringe Aufwand auch für kleinere Baustellen noch erträglich.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Beide Methoden sind brauchbar. Wünscht man genaue Resultate, so wendet man die Ergiebigkeitsprobe an, begnügt man sich dagegen mit approximativen Werten, so kann auch die volumetrische Methode zum Ziel führen.

Robert Joosting, dipl. Ing., Vorsteher der Abteilung Beton und Bindemittel, EMPA, Dübendorf ZH

¹⁾ Hier sei berichtigt, dass es in Zeile 15 meines Aufsatzes heissen soll: Zement 300 kg = 250 l.