

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 37 (1946)  
**Heft:** 24

**Artikel:** Neue Vorschläge für Maschinen zur Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen  
**Autor:** Dällenbach, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061141>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

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

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 23 77 44  
Postcheckkonto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

37. Jahrgang

Nr. 24

Samstag, 30. November 1946

Neue Vorschläge für Maschinen  
zur Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen

Von Walter Dällenbach, Zürich

621.385.822

*An Hand von zwei Ausführungsbeispielen werden Maschinen zur Beschleunigung elektrisch geladener Teilchen beschrieben, die gegenüber bekannten Anordnungen einige Vorteile haben.*

*L'auteur décrit, en se référant à deux exemples d'exécution, des machines pour l'accélération de particules chargées électriquement, qui laissent prévoir quelques avantages par rapport aux dispositifs connus.*

Die zu beschleunigenden Teilchen durchlaufen bei neueren Maschinen (Synchrotron und dessen Weiterentwicklung [1, 2, 3] <sup>1)</sup>) viele Male ein und dieselbe Bahn, insbesondere *ein und dieselbe Kreisbahn*. Das bedingt:

1. Beim Start eines Teilchens muss dieses von ausserhalb in diese Kreisbahn injiziert werden, wobei die Teilchenquelle die Kreisbahn nicht behindern darf.

2. Die Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung muss proportional der Geschwindigkeit der Teilchen zunehmen.

3. Die Intensität des magnetischen Führungsfeldes der Kreisbahn muss proportional dem Produkt aus der Masse des Teilchens und der Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung zunehmen. Die Wand der Vakuumkammer, in welcher die Kreisbahn verläuft, ist also für magnetische Wechselfelder durchlässig auszubilden.

Je ungenauer die Bedingungen 2 und 3 eingehalten werden, um so grösser wird der Radienbereich, den die Teilchen bestreichen, um so breiter in radialer Richtung die Vakuumkammer und das Magnetsystem für das Führungsfeld. Beim Cyclotron werden die beiden Bedingungen 2 und 3 überhaupt nicht beachtet, *einer* der Gründe für den hohen Materialaufwand dieser Maschine.

4. Mit Erreichen der angestrebten Endenergie muss das Teilchen zur weiteren Verwendung, wo möglich in einem von allen Seiten frei zugänglichen Strahl, aus der Kreisbahn herausgeholt werden.

5. Wegen der Dauer eines Spiels von Beschleunigungen, beginnend mit der Injektion eines Teilchenimpulses, bis zum Strahlaustritt dieses Impulses muss die Teilchenimpulsfrequenz rund 10 000mal kleiner als die Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung gewählt werden, d. h. nur jede 10 000. Periode der beschleunigenden Wechselspannung kann ein Teilchenimpuls injiziert und die Teilchenquelle ausgenutzt werden.

Jeder dieser Punkte ist für die Konstruktion einfacher und wirtschaftlicher Maschinen nachteilig. Der alte Geradaus-Beschleuniger [4, 5, 6] besass keinen dieser Nachteile, die alle davon herrühren,

dass beim Synchrotron, wie übrigens auch beim Betatron, von jedem Teilchen ein und dieselbe Bahn viele Male durchlaufen wird. Im Gegensatz dazu durchläuft beim Geradaus-Beschleuniger jedes Teilchen die Bahn nur einmal. Der Geradaus-Beschleuniger hat aber andere Nachteile, nämlich

a) die bei höheren Endenergien grosse Länge des Beschleunigerrohres,

b) die, verglichen mit einem magnetischen Führungsfeld, unbefriedigende Fokussierung,

c) die komplizierte Struktur des Hochfrequenzsystems zur Speisung der Beschleunigungsstrecken mit Wechselspannung.

Im folgenden wird über Vorschläge zu Konstruktionen berichtet, welche sowohl die Nachteile 1...5, als auch die Nachteile a...c vermeiden. Das Prinzip dieser Konstruktionen ist folgendes:

Ein evakuierter Hohlraumresonator ist frequenzbestimmender Resonator einer mit ihm *induktiv magnetisch* gekoppelten Senderöhre. Er schwingt mit *konstanter Frequenz* und mit *konstanter Amplitude*. Die Bahn der zu beschleunigenden Teilchen wird von jedem Teilchen nur einmal durchlaufen. Diese Bahn durchsetzt den Hohlraumresonator in einem Spannungsbauch insgesamt  $(n + 1)$ mal. Zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigungen durchlaufen die Teilchen einen Leitkanal, insgesamt also  $n$  Leitkanäle. Diese Leitkanäle sind Rohre aus nichtferromagnetischem Metall, die mindestens angenähert über Halbkreise oder über volle Kreise führen und am Hohlraumresonator vakuumdicht anschliessen. Durch ausserhalb der Rohre angeordnete Magnetsysteme wird im Innern der Rohre ein *zeitlich konstantes* magnetisches Führungsfeld mit optimaler fokussierender Wirkung erregt. Die Länge der Leitkanäle und die Intensität dieses magnetischen Führungsfeldes sind so bemessen, dass die sukzessiven Beschleunigungen eines «synchronen Teilchens» je nach dem Typ des Beschleunigers in Zeitabständen einer ganzen bzw.

<sup>1)</sup> s. Literaturverzeichnis am Schluss.

halben Periode der beschleunigenden Wechselspannung aufeinander folgen. Vor der ersten Beschleunigungsstrecke ist die Teilchenquelle von allen Seiten frei zugänglich am Hohlraumresonator vakuumdicht angeschlossen. Die Teilchen treten aus der Quelle mit einer Energie aus, die klein ist gegenüber ihrer Energie nach der ersten Beschleunigung. Nach der letzten Beschleunigung tritt der Strahl von allen Seiten frei zugänglich, z. B. durch ein Fenster, aus dem Hohlraumresonator aus. Geräte für Deuteronen können durch Reduzieren der Amplitude der beschleunigenden Wechselspannung und der Intensität des magnetischen Führungsfeldes beide im gleichen Verhältnis wie  $m/e$  auch mit Protonen gefahren werden, ohne dass geometrische Abmessungen oder die Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung geändert werden müssen. Die relativistische Zunahme der Masse ist streng berücksichtigt, so dass in *einer* Apparatur Teilchen von null bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit gebracht werden können. Unter der grossen Zahl möglicher Ausführungsbeispiele sollen hier zwei Grenzfälle kurz beschrieben werden.

#### Beschleuniger für Teilchen mit zur Lichtgeschwindigkeit kleiner Geschwindigkeit

Der Hohlraumresonator ist rotationssymmetrisch. Im Spannungsbau bildet die Wandung einen Kreisringkondensator, zwischen dem die beschleunigende Wechselspannung auftritt und an dessen zwei äusseren Rändern ein Torus von kreisförmigem oder quadratischem Querschnitt als Induktivität anschliesst, der das magnetische Wechselfeld enthält, mit welchem die Senderöhre induktiv gekoppelt ist, während die zwei inneren Ränder je durch einen nach aussen gewölbten Deckel, z. B. eine Kugelkalotte, verschlossen sind. Die Leitkanäle sind über Halbkreise führende Rohrstücke. Die Radien dieser Halbkreise aufeinander folgender Leitkanäle verhalten sich angenähert wie

$$\sqrt{1} : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots : \sqrt{n}$$

Die Teilchenquelle sitzt vakuumdicht aussen an einer Stelle der Wandung, die den Kreisringkondensator bildet, und sendet Teilchen längs einer elektrischen Kraftlinie der beschleunigenden Wechselspannung. Diese elektrische Kraftlinie deckt sich mit einer Mantellinie des Kreiszyinders, welcher koaxial zum Kreisringkondensator einen Radius besitzt, der ungefähr in der Mitte zwischen dem kleinen und dem grossen Radius der beiden kreisringförmigen Wandteile liegt, die den Kondensator bilden. Auch alle weiteren Beschleunigungsstrecken liegen auf Mantellinien dieses «mittleren Kreiszyinders». Die Leitkanäle sind mit Ein- und Austrittsöffnung in die kreisringförmigen Wandteile des Kondensators derart vakuumdicht eingesetzt, dass die Ebenen der Halbkreise, über welche die Leitkanäle führen, zur Rotationsachse des Hohlraumresonators parallel stehen, dass ferner alle geraden Leitkanäle auf der gleichen Seite wie die Teilchenquelle, alle ungeraden Leitkanäle aber auf der entgegengesetzten Seite des Hohlraumresonators sich befinden, dass Beschleunigungsstrecken und

Leitkanäle, diese nach wachsenden Radien geordnet, alternierend aufeinander folgen, und so für die Teilchen eine Bahn bestimmen, die als eine von der Teilchenquelle bis zum Strahlaustritt im Radius wachsende Schraubenlinie bezeichnet werden kann. Der Radius des  $n$ ten und grössten Leitkanals stimmt mit dem Radius des «mittleren Kreiszyinders» überein. In allen Leitkanälen besteht ungefähr die gleiche Intensität des magnetischen Führungsfeldes. Die sukzessiven Beschleunigungen eines «synchronen Teilchens» folgen sich in Zeitabständen einer halben Periode der beschleunigenden Wechselspannung. Für die Zahl  $n$  der Leitkanäle setzt die Möglichkeit der konstruktiven Anordnung der Magnetsysteme, welche die Führungsfelder in den  $n$  Leitkanälen hervorrufen, eine obere Grenze.  $n$  ist um Grössenordnungen niedriger als die Zahl der Umläufe beim Synchrotron und Betatron. Da im Innern des Hohlraumresonators, insbesondere im Bereiche der beschleunigenden Wechselspannung, elektrische Isolatoren nicht vorhanden sind, ist der Erhöhung der Amplitude der beschleunigenden Wechselspannung zunächst keine Grenze gesetzt; dagegen sind die elektrischen Feldstärken an allen metallischen Oberflächen mit Rücksicht auf autoelektronische Entladungen zu limitieren. Mit  $n$  zwischen 10 und 100 erhält man ausreichend homogene und genügend breite Teilchenimpulse, und zwar auch dann, wenn die «synchronen Teilchen» durch den Scheitelwert der Wechselspannung beschleunigt werden, also der Teilchenimpuls im wesentlichen aus gegenüber den «synchronen Teilchen» verspäteten und in der Phase semistabilen Teilchen besteht, wodurch die beste Ausnutzung der Wechselspannung gegeben ist. Die Teilchenimpulsfrequenz stimmt mit der Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung überein. Man wird also Strahlströme erwarten, welche die beim Synchrotron und Betatron erreichbaren um Grössenordnungen übertreffen.

#### Beschleuniger für Elektronen nahe der Lichtgeschwindigkeit

Ein Metallrohr sei auf einen Kreiszyinder in Gestalt einer Schraubenlinie konstanter Steigung gewickelt. Längs einer Mantellinie des Kreiszyinders wird aus jedem Schraubengang des Rohres ein kurzes Stück herausgeschnitten. Die dadurch entstehenden freien Enden der die Leitkanäle darstellenden einzelnen Schraubengänge werden in zwei schmale, lange, rechteckige Metallplatten vakuumdicht eingesetzt. Diese zwei Metallplatten sind zueinander im Abstand gleich der Beschleunigungsstrecke und mit ihrer Länge zur Zylinderachse parallel, und ihre Ebenen stehen auf der Zylinderfläche senkrecht. Sie bilden einen Plattenkondensator im Spannungsbau eines Hohlraumresonators und sind Teile dessen Wandung. Die beiden Ränder der zwei Platten sind durch eine Metallfläche miteinander verbunden, die den Raum für den magnetischen Wechselfluss bildet. Dieser Raum läuft rings um den Plattenkondensator und umgibt ihn als ein dicker Wulst. Gegenüber der Eintrittsöffnung des ersten Schrau-

benganges bzw. Leitkanals befindet sich die Elektronenquelle, gegenüber der Austrittsöffnung des letzten Schraubenganges bzw. Leitkanals das Fenster für den Strahlaustritt. Die Länge eines jeden Leitkanals ist gleich der Wellenlänge der beschleunigenden Wechselspannung. Der erste Leitkanal muss dann etwas kürzer gemacht werden, wenn die erste Beschleunigung nicht ausreicht, die Elektronen nahe genug an die Lichtgeschwindigkeit heranzubringen. Sukzessive Beschleunigungen eines «synchronen Teilchens» folgen sich in Zeitabständen einer ganzen Periode der beschleunigenden Wechselspannung. Die Intensität des magnetischen Führungsfeldes nimmt von Leitkanal zu Leitkanal proportional der Masse der Elektronen zu. Die Leitkanäle sind hier nicht in getrennten, sondern in einem gemeinsamen, weitere Materialeinsparungen ermöglichenden Magnetsystem angeordnet. Die Teilchenimpulsbreite beträgt bei sonst gleichen Verhältnissen, insbesondere gleichen Anforderungen an die Homogenität des austretenden Strahls, etwa ein Viertel der Impulsbreite bei Teilchen mit zur Lichtgeschwindigkeit kleiner Geschwindigkeit. Die Strahlungsdämpfung der Elektronen in Folge

der zentripetalen Beschleunigung in den Leitkanälen bildet bei  $10^3$  MeV noch keine Begrenzung der Endenergie, weil der Energiezuwachs pro Umlauf gross gemacht werden kann gegenüber dem entsprechenden Strahlungsverlust.

### Literatur

- [1] *Veksler, V.*: C. R. (Doklady) Acad. Sci. USSR Bd. 43 (1944), Nr. 8, S. 444 ff., und Bd. 44(1944), Nr. 9, S. 393 ff.; J. Phys. USSR Bd. 9(1945), Nr. 3, S. 153 ff.
- [2] *McMillan, E. M.*: The synchrotron — a proposed high energy particle accelerator. Phys. Rev. Bd. 68(1945), S. 143...144.
- [3] *Crane, H. R.*: The racetrack: A proposed modification of the synchrotron. Phys. Rev. Bd. 69(1946), Nr. 9/10, S. 542.
- [4] *Wideröe, R.*: Ueber ein neues Prinzip zur Herstellung hoher Spannungen. Arch. Elektrotechn. Bd. 21(1928), Nr. 4, S. 387...406.
- [5] *Sloan, D. H., und Lawrence, E. O.*: The production of heavy high speed ions without the use of high voltages. Phys. Rev. Bd. 38(1931), Nr. 11, S. 2021...2032.
- [6] *Lawrence, E. O., und Sloan, D. H.*: The production of high speed canal rays without the use of high voltages. Proc. Nat. Acad. Sci. Bd. 17(1931), Nr. 1, S. 64...70.

Adresse des Autors:

Dr. Ing. *W. Dällenbach*, Beustweg 3, Zürich 7.

## Erfahrungen mit der Erdung von Starkstromanlagen bei Verwendung isolierender Schraubmuffen in Wasserleitungsrohren

Von *W. Ryf*, Zürich

621.316.99

Es handelt sich um einen Auszug aus einem Referat, welches der Verfasser im Jahre 1940 an einer Zusammenkunft der Vereinigung Städtischer Elektrizitätswerke hielt, ergänzt durch Bekanntgabe von Erfahrungen, die sich seither im Laufe der Beratungen in der Erdungskommission des SEV und VSE sowie durch Versuche der Materialprüfanstalt des SEV ergeben haben. Einleitend wird an einem Beispiel auf die Unfallgefahr beim Vorhandensein hoher Erdungswiderstände hingewiesen. Hierauf wird dargelegt, dass Erdplatten, Erdpfähle und Bleimäntel von Niederspannungskabeln in den meisten Fällen als Erdelektroden ungeeignet sind, während andererseits bei der Erdung an ein ausgedehntes Wasserleitungsnetz sehr kleine Erdübergangswiderstände erreicht werden. Es wird ferner auf die irrige Auffassung hingewiesen, wonach die Wasserleitungsinstallation eines Hauses allein als Erdelektrode genüge. Es folgt eine Beschreibung der Schraubmuffenrohre, die in den letzten Jahren von verschiedenen Wasserversorgungen, hauptsächlich der Wasserversorgung der Stadt Zürich, verwendet werden. Hierauf werden die ungünstigen Eigenschaften dieser Rohrmuffen bezüglich der Qualität der Erdung elektrischer Anlagen erklärt. Ferner wird auf die Gefahren hingewiesen, die bei vermehrter Verwendung von Schraubmuffenrohren an elektrischen und sanitären Hausinstallationen auftreten können. Abschliessend wird gezeigt, wie durch eine einfache Vorrichtung die mehr oder weniger isolierenden Schraubmuffen elektrisch überbrückt werden können, so dass einerseits das Wasserleitungsnetz wie früher seine vorzüglichen Erdungseigenschaften besitzt, andererseits die Biegebarkeit der Rohrleitungen vollauf gewahrt bleibt.

Il s'agit d'un extrait du rapport présenté par l'auteur, en 1940, à une réunion du Groupement des entreprises électriques municipales et complété par les expériences faites depuis lors au cours des discussions au sein de la Commission de l'ASE et de l'UCS pour l'étude des questions de mise à la terre et des essais effectués par la Station d'essai des matériaux de l'ASE. L'auteur cite tout d'abord un accident mortel dû à des résistances de mise à la terre trop élevées, puis il montre que les plaques, les pieux et les gaines de plomb des câbles à basse tension ne constituent généralement que de mauvaises électrodes de terre, tandis que la mise à la terre par une canalisation d'eau étendue n'offre que de très faibles résistances. Il insiste d'autre part sur le fait que les canalisations d'eau d'un immeuble ne suffisent toutefois pas, à elles seules, pour jouer le rôle d'électrodes de terre. Après avoir décrit les manchons à vis utilisés assez fréquemment, depuis quelques années, notamment par le Service des eaux de la Ville de Zurich, M. Ryf démontre que ces manchons sont préjudiciables à la qualité de la mise à la terre des installations électriques et attire l'attention sur les dangers qui résulteraient d'un emploi généralisé de ces manchons, aussi bien pour les installations électriques que pour les installations sanitaires des habitations. Il termine son exposé en indiquant qu'un dispositif très simple permet de shunter électriquement les manchons à vis, qui sont toujours plus ou moins isolants, de manière que les canalisations d'eau redeviennent d'excellentes électrodes de terre, tout en conservant la flexibilité désirée.

### 1. Unfallgefahr bei schlechten Erdungsverhältnissen

An einem regnerischen Tage wurde vor einer kleinen Transformatorenstation ein neunjähriger Knabe tot auf der Erde liegend aufgefunden. In der Hand hielt er einen Zaundraht. Der Unfall muss auf folgende Umstände zurückgeführt werden (Fig. 1):

Vor der Station befand sich ein auf Holzpfosten verlegter, mit einer gut geerdeten Eisenbahnbrücke verbundener Drahtzaun. Der Nullpunkt der 500-V-Wicklung eines 50-kVA-Transformators war über eine im Lehm Boden eingebettete Erdplatte geerdet (Erdübergangswiderstand  $18,5 \Omega$ ). Ungefähr 2 km von dieser Transformatorenstation entfernt bestand in einem Bauernhaus in einer Steckdose ein Erd-