

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 15

Artikel: Die Handhabung der Brennelemente für verschiedene Typen von Kernkraftwerken
Autor: Ribaux, Paul / Breguet, Thierry
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85171>

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: 05.04.2026

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

Die Handhabung der Brennelemente für verschiedene Typen von Kernkraftwerken

DK 621.039.566

Von Paul Ribaux und Thierry Breguet, Genf

1. Einleitung

Der Ausdruck «Handhabung der Brennelemente» wird in diesem Aufsatz in weitem Sinne angewendet; er bezieht sich vor allem auf die Kontrolle neuer Brennelemente sowie die Vorbereitung und Durchführung der Reaktorladung; bei bestrahlten Brennelementen umfasst er die Entladung, das zyklische Vertauschen, die Beförderung ins Abklingbecken sowie ein mögliches Einkapseln, Speichern, Zerlegen und Befördern zur Wiederaufbereitungsanlage. Im allgemeinen ist festzustellen, dass die Brennstoffelemente zerbrechliche Gebilde von länglicher, prismatischer oder zylindrischer Form sind, welche, je nach Reaktortyp, zwischen 5 und 800 kg wiegen. Die Vorgänge dieser «Handhabung», im besonderen das Laden und Entladen des Reaktors, sind je nach den Reaktortypen sehr verschieden. Anhand von Studien und Ausführungen, welche bei Charmilles durchgeführt wurden, seien die wichtigsten Eigenschaften der in Tabelle 1 aufgeführten Anlagen erläutert.

Bild 1 gibt eine schematische Übersicht über die Brennelemente-Handhabungseinrichtungen eines Kernkraftwerkes. Sie kann je nach Reaktortyp und Kraftwerkordnung etwas verändert sein; einige Operationen (wie zum Beispiel die Brennelementmontage, die Kontrolle bestrahlter Brennelemente usw.) können beigefügt oder andere weggelassen werden (wie zum Beispiel im Kraftwerk Mühleberg, wo die Lademaschine die aktiven Brennelemente direkt ins Abklingbecken abliefern, ohne eine Transfereinrichtung zu benötigen).

Ausser den eigentlichen Brennelementhandhabungen müssen zusätzliche Vorbereitungsoperationen ausgeführt werden, so zum Beispiel das Abheben des Reaktordeckels und das Wegräumen einiger innerer Teile im Falle eines

wassergekühlten Reaktors oder das Abheben der Schildstopfen im Falle eines gasgekühlten Reaktors. Diese Operationen werden im allgemeinen mit Spezialwerkzeugen und -vorrichtungen, gelegentlich auch mit der Lademaschine ausgeführt. Im übrigen kann die Lademaschine, gegebenenfalls mit besonderen Werkzeugen versehen, weitere Gegenstände, wie Regelstäbe, Messinstrumente usw., handhaben.

Bild 2 zeigt die Handhabungseinrichtungen in einem Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerk (Beznau; Westinghouse-Druckwasserreaktor). In diesem Fall werden die neuen Brennelemente mit dem Portalkran 13 von der Brennstofflagerstelle, die in Bild 2 nicht abgebildet ist, mit der Transfereinrichtung, Teile 5 bis 12, zur Lademaschine 1 bis 4 befördert. Die bestrahlten Brennelemente durchlaufen den umgekehrten Weg bis zur Brennstofflagerstelle 14 im Abklingbecken F.

2. Handhabung neuer Brennelemente

Die Handhabung neuer Brennelemente stellt keine schwierigen Probleme, da diese nur leicht radioaktiv sind und auch keine Kühlung benötigen. Daher kann auf eine Abschirmung gegenüber dem Personal gänzlich oder teilweise verzichtet werden. Die Wahl der Werkstoffe ist somit erleichtert, unter anderem kann Plastik verwendet werden (die Strahlenbeständigkeit organischer Werkstoffe ist viel geringer als jene der Metalle). Als Beispiel sei erwähnt, dass die Lagerstelle für neue Brennelemente der Anlage Beznau in glasfaserverstärktem Polyester (Bild 3) ausgeführt wurde.

Die Brennelemente werden vor dem Laden des Reaktors nochmals geprüft (Aussehen, Abmessungen, physikalische Eigenschaften usw.). Bild 4 zeigt den hierfür vorge-

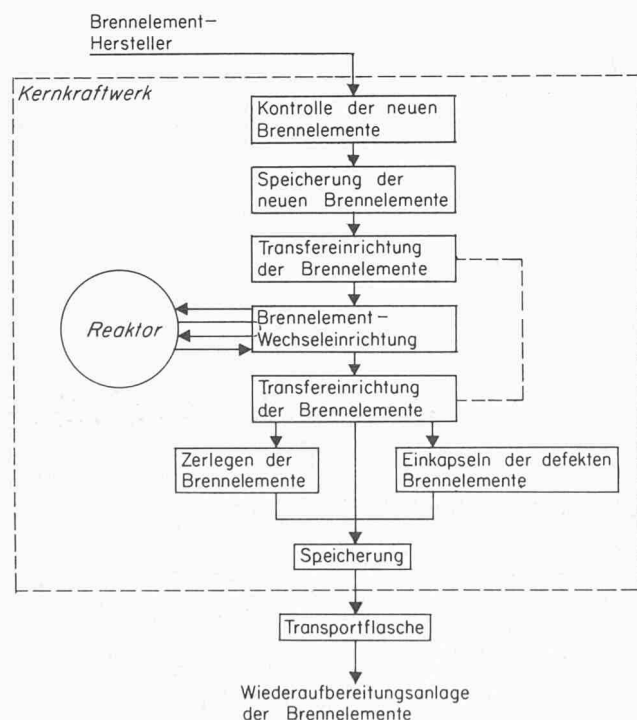


Bild 1. Schema der Brennelementhandhabung

Tabelle 1. Übersicht der Reaktoren, die mit Handhabungseinrichtungen von Charmilles ausgerüstet sind

Bezeichnung der Anlage	Standort	Reaktortyp	Inbetriebsetzung der Handhabungseinrichtungen
Dragon	Winfrith (England)	HTR ¹⁾	1964
Lucens	Lucens (Schweiz)	D ₂ O/CO ₂ ²⁾	1966
NOK I	Beznau (Schweiz)	PWR ³⁾	1969
NOK II	Beznau (Schweiz)	PWR	1971
AKM	Mühleberg (Schweiz)	BWR ⁴⁾	1971
Doel I	Doel (Belgien)	PWR	1972
Doel II	Doel (Belgien)	PWR	1974
Ringhals II	Ringhals (Schweden)	PWR	1972
Tihange	Tihange (Belgien)	PWR	1973

¹⁾ Hochtemperatur, heliumgekühlter Reaktor

²⁾ Schwerwassermoderierter (D₂O), gasgekühlter (CO₂) Reaktor; Druckrohr-Typ

³⁾ Druckwasserreaktor, ⁴⁾ Siedewasserreaktor

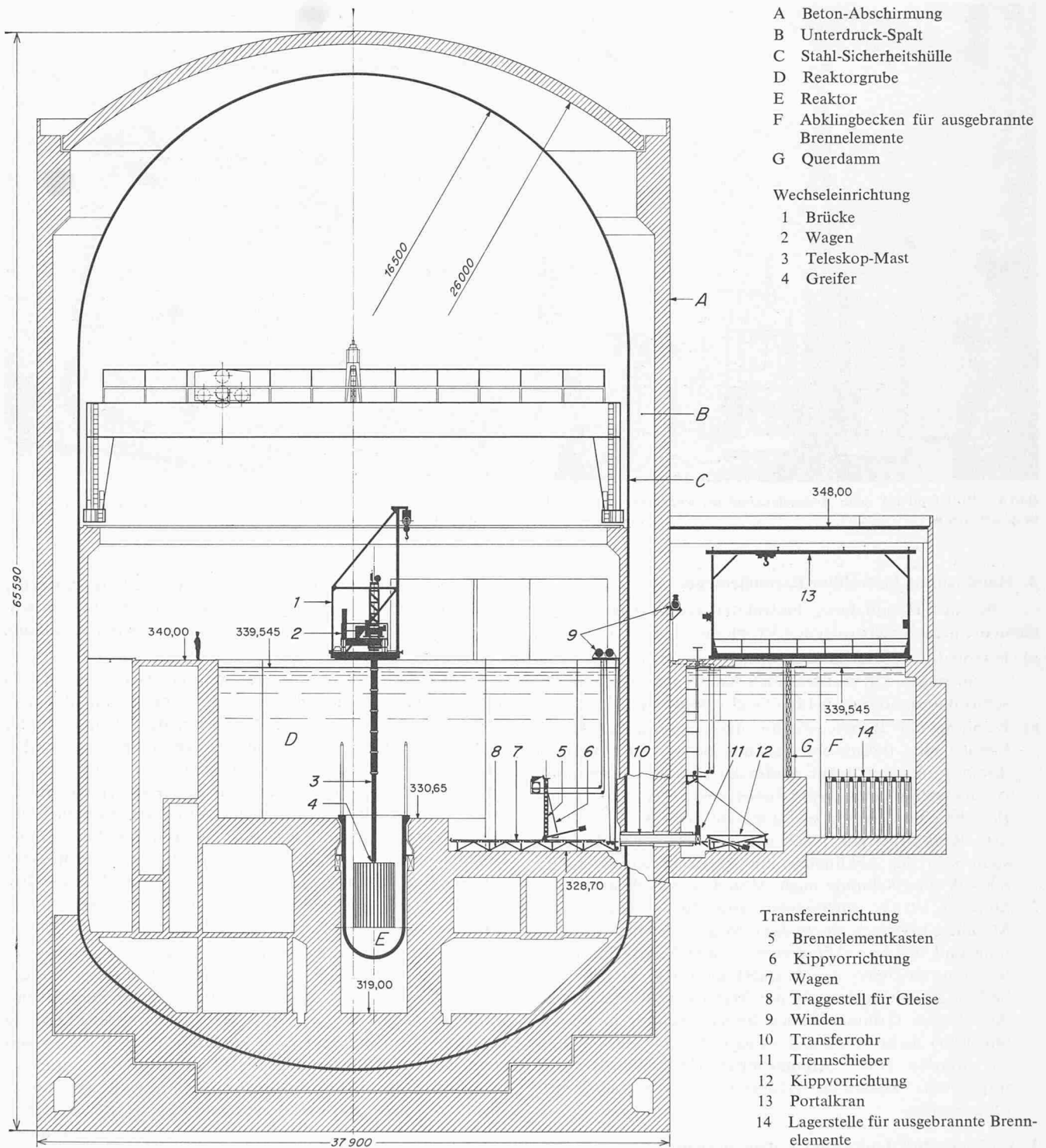


Bild 2. Brennelement-Handhabungseinrichtung im Kernkraftwerk Beznau der NOK

sehenen Prüfstand, welcher für die Anlage Mühleberg konstruiert wurde. Die Transfervorrichtung sowie die Lade- und Entlademaschine werden im allgemeinen sowohl für neue als auch für bestrahlte Brennelemente verwendet. Deshalb sind die betreffenden Einrichtungen für die Handhabung stark radioaktiver Brennelemente zu bemessen, die neben der Abschirmung ebenfalls Kühlung benötigen.

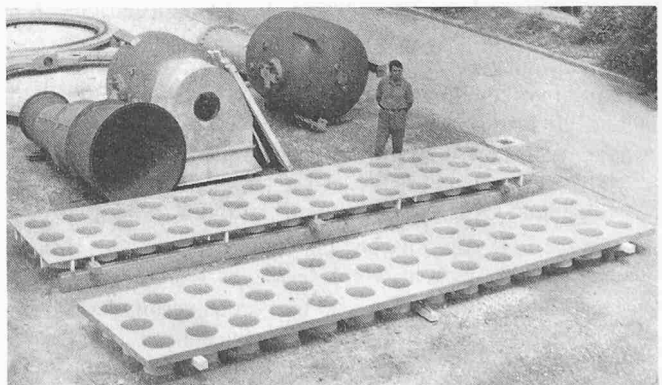


Bild 3. Vorn obere Platte, hinten untere Platte der Lagerstelle für neue Brennelemente, ausgeführt in glasfaserverstärktem Polyester für das Kernkraftwerk Beznau

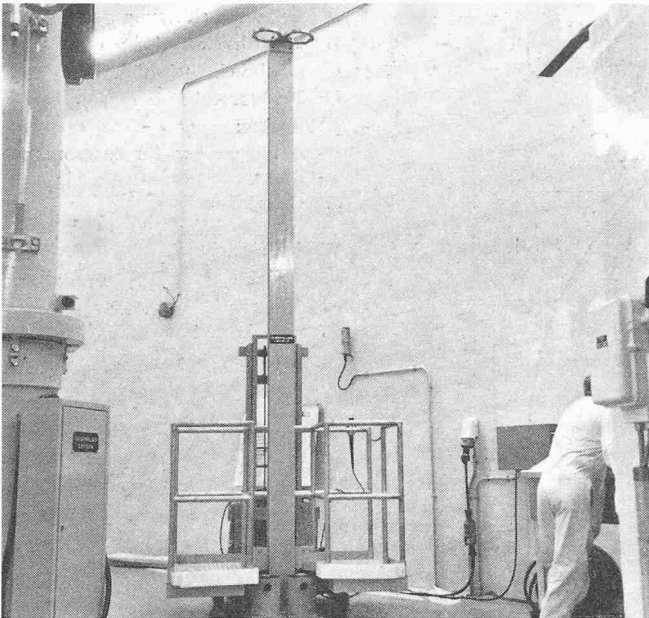


Bild 4. Prüfstand für neue Brennelemente im Kernkraftwerk Mühleberg der BKW

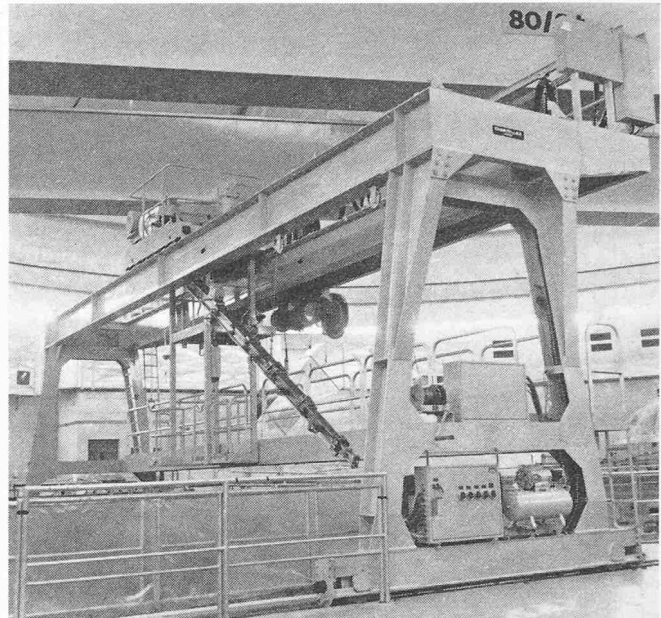


Bild 5. Wechseinrichtung für Brennelemente im Kernkraftwerk Mühleberg

3. Handhabung bestrahlter Brennelemente

Bei der Handhabung bestrahlter radioaktiver Brennelemente stellen sich folgende Probleme:

- a) Personalschutz durch Stahl-, Blei-, Beton- oder Wasserabschirmung. Oft werden auch Kombinationen von Abschirmungsmaterialien (Sandwich) verwendet.
- b) Kühlung der Brennelemente, die während der Handhabung eine thermische Leistung entwickeln. Diese ist direkt proportional zur Radioaktivität. Ein bestimmtes Brennelement eines Druckwasserreaktors entwickelt zum Beispiel eine Leistung von ungefähr 10 000 kW während dem Reaktorbetrieb. Nach dem Abstellen des Reaktors stellt sich die Abklingleistung wie folgt ein: ungefähr 800 kW eine Sekunde nach Abstellen, 80 kW nach zwei Stunden, 40 kW nach einem Tag, 10 kW nach einem Monat, 1 kW nach einem Jahr. Wegen der hohen Strahlung und um eine Ablagerung in den Mikrofiltern und Ionenaustauschern des Wasserkreislaufes im Abklingbecken zu vermeiden, ist die Materialwahl beschränkt. Aus diesem Grunde können übliche Schmiermittel (Öl und Fett) nicht verwendet werden. In den meisten Fällen werden feste Schmiermittel (Molybdän-Bisulfid, graphitische Zusammensetzungen) oder Wasserschmierung benutzt.

3.1 Brennstoff-Lade- und Entlademaschine (Wechseinrichtung)

Zu unterscheiden sind Wechselvorgänge bei abgestelltem Reaktor und solche während des Reaktorbetriebs. Am häufigsten kommt der erste Fall vor, wird doch der Reaktor jährlich abgestellt, um Revisionen und allfällige Reparaturen vorzunehmen. Solange die Wechselvorgänge nicht mehr Zeit beanspruchen als die Dauer des Unterhalts der Anlage, so ist diese Art nicht nachteilig.

Der Brennelementwechsel bei abgestelltem Reaktor ist aus folgenden Gründen einfach auszuführen:

- Die geringe thermische Leistung, welche die Brennelemente entwickeln, vereinfacht das Kühlungsproblem.
- Der Kühlgasdruck des Reaktors kann vermindert (Dragon) oder sogar fast bis auf den atmosphärischen Druck herabgesetzt werden (Lucens). Dies erlaubt, im Falle

des gasgekühlten Reaktors, die Anwendung einfacher Verbindungselemente zwischen den Wechseinrichtungen und dem Reaktorgefäß oder zwischen diesem und der Transferflasche.

Im Falle der Leichtwasserreaktoren (PWR oder BWR) kann der Deckel mit Hilfe eines Schwengels vom Reaktorgefäß abgehoben werden. Nachdem der Reaktor unter Wasser gesetzt ist, können die Auswechslungsvorgänge beginnen. Das Wasser dient gleichzeitig zur Abschirmung und zur Kühlung. Im allgemeinen ist diese Art von Reaktoren für jährliche Brennelementwechsel vorgesehen. Während dieser Vorgänge wird nur ein Teil ($\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$) der Brennelemente erneuert, die andern werden im Reaktor versetzt, um einen optimalen Verbrauch des Brennstoffes und die beste Leistungsverteilung im Reaktorkern zu gewährleisten.

Die Brennelement-Wechselvorgänge, welche sich während des Reaktorbetriebs abwickeln, stellen einige zusätzliche Probleme. Diese ergeben sich wegen der hohen Temperaturen, wegen der Notwendigkeit, die thermische Leistung des Brennelementes auf Null zu bringen sowie dieses von einer Hochdruckumgebung im Reaktor in das unter atmosphärischem Druck stehende Brennelementlager überzuführen. Diese Betriebsart wird nur für die Reaktortypen mit natürlichem oder leicht angereichertem Uran angewendet, weil die grosse Zahl der Brennelemente ein kontinuierliches Wechseln derselben erfordert. Die einzigen industriellen Anwendungen dieser Art finden sich bei den englischen und französischen gasgekühlten Reaktoren wie auch bei den kanadischen Schwerwasserreaktoren.

Das Grundprinzip der Wechseinrichtungen aller Leichtwasserreaktoren ist dasselbe (Bild 2 für Beznau und Bild 5 für Mühleberg). Ein teleskopischer Mast, welcher am Querfahrwerk des Krans befestigt ist, ermöglicht mittels eines Greifers das Anheben und das Versetzen der Brennelemente in der wassergefüllten Reaktorgrube. Alle Maschinenteile, welche im Wasser eingetaucht sind, müssen korrosionsbeständig sein und werden mit Wasser geschmiert. Die Steuerung des Längs- und Querfahrwerks muss eine Genauigkeit aufweisen, welche jene von Standardausführungen im Kranbau bei weitem übertrifft. Dies



Bild 6. Wechseinrichtung der Anlage Dragon während den Werkstattversuchen; am unteren Ende des Schwenkarms ist der Greifer ersichtlich

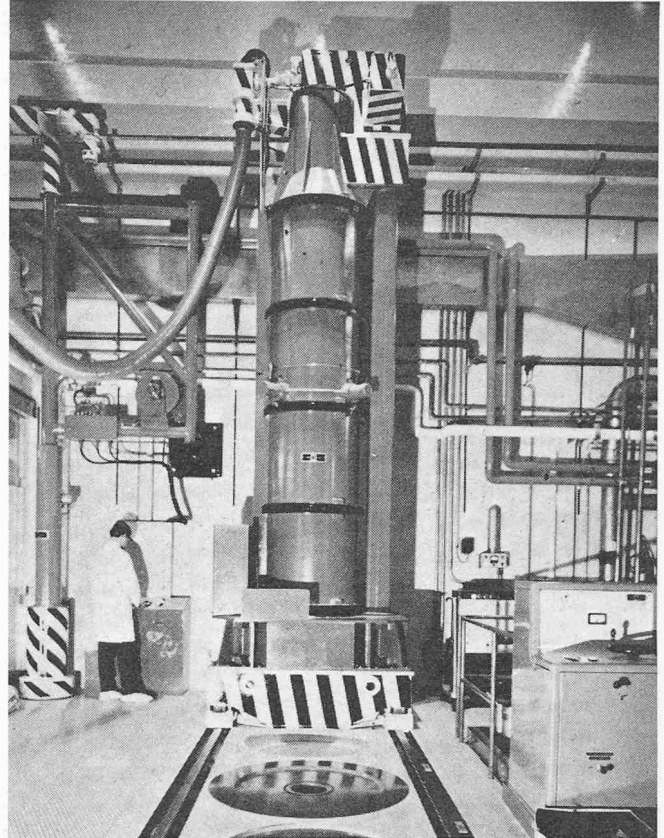


Bild 7. Transportflasche für Brennelemente in der Anlage Lucens

ist nötig wegen der Zerbrechlichkeit der Brennelemente und der engen und genauen Anordnung im Reaktorkern.

Die vertikalen Bewegungen des Greifers müssen ebenfalls mit grösster Genauigkeit ausgeführt werden (zum Beispiel Stop der Bewegung im Falle einer Fremdkörperberührung). Strenge Vorsichtsmassnahmen wurden getroffen, um jegliche Fehloperationen zu vermeiden; aus diesem Grunde ist zum Beispiel der Greifer mit einer doppelten Verriegelung versehen, um sein Öffnen zu verhindern, wenn das Brennelement nicht an einem bestimmten Platz abgestellt ist (Reaktorkern, Transfereinrichtung oder Brennelement-Lagerstelle).

Die Handhabung der Brennelemente im Falle der gas- oder natriumgekühlten Reaktoren stellt wesentlich höhere Anforderungen. So sind die mechanischen Teile der Wechselvorrichtungen viel komplizierter als jene der Leichtwasserreaktoren, weil sie in das dichte Reaktorgefäss eindringen müssen, weil der Raum beschränkt ist und weil in diesem hohe Temperaturen herrschen.

In der Anlage Dragon [1] arbeitet die Wechselvorrichtung innerhalb des Reaktorgefässes, jene von Lucens [2] und [3] ausserhalb. Bild 6 zeigt die Dragon-Wechselvorrichtung während der Werkstattversuche, welche in einer sauberen Umgebung (filtrierte Luft, kontrollierte Feuchtigkeit, Gebrauch von Handschuhen usw.) ausgeführt wurden.

3.2 Brennstoff-Transfereinrichtung

Diese Einrichtung bezweckt die Beförderung der Brennelemente von der Wechselvorrichtung zum Brennelementlager, Verschlussstation für defekte Brennelemente, Brennelement-Zerlegungseinrichtung, Trocknungsstation usw. Sie kann sich aus einer mit Blei abgeschirmten Transferflasche einschliesslich Greifer zusammensetzen, welche sich

auf Schienen bewegt, wie in Lucens (Bild 7) [2], oder aus einer eingetauchten Einrichtung, wo das Wasser die Abschirmung bildet, wie bei den Anlagen Beznau und Doel (Belgien).

Ist das Abklingbecken ausserhalb des Reaktorssicherheitsgebäudes angeordnet, muss das Brennelement aus Sicherheits- und Dichtungsgründen (minimaler Durchtrittsquerschnitt) in horizontaler Lage durch die Hülle des Sicherheitsgebäudes geschoben werden. Bei der Anlage Beznau (Bild 2) werden die Brennelemente mit Hilfe von Kabeln und Rollen in die horizontale Lage gebracht und anschliessend horizontal verschoben (Bild 8). Die entsprechende Einrichtung der Anlage Doel besteht aus einer hydraulischen Kippvorrichtung. Die Zylinder dieser Vorrichtung werden mit Wasser gespiesen (Leck im Abklingbecken ist somit kein Problem). Die horizontale Verschiebung der Brennelemente vollzieht sich durch hydraulische Triebkraft. Während dieser Operation befindet sich das Brennelement in einem Transferwagenbehälter, welcher für Kühlungs Zwecke mit seitlichen Öffnungen versehen ist. Der Transferwagen hat kolbenartige Enden, welche gegenüber dem Transferrohr ein nennenswertes Spiel aufweisen. Die horizontale Kraft wird durch den Druckabfall, welcher von der Wasserzirkulation in der einen oder anderen Richtung herührt, erzeugt.

3.3 Behandlung und Speicherung der bestrahlten Brennelemente

Die dem Reaktor entnommenen Brennelemente weisen wegen ihres spaltbaren Materials (Uranium und Plutonium) noch einen wirtschaftlichen Wert auf und können für die Fabrikation neuer Brennelemente verwendet werden. Der Austausch des spaltbaren Materials wird auf chemi-

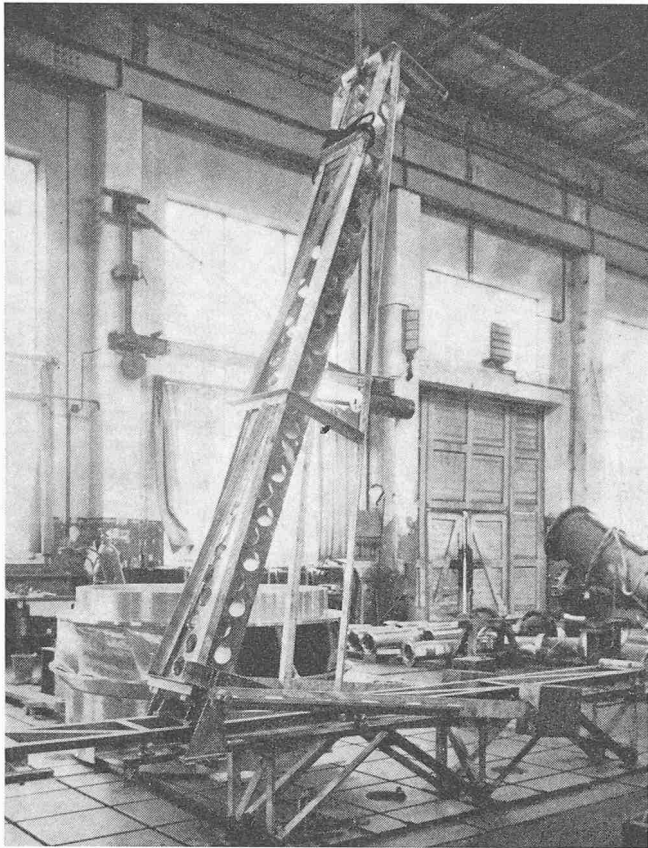


Bild 8. Brennelement-Transfereinrichtung für das Kernkraftwerk Beznau während Kippversuchen in der Werkstatt

schem Weg in einer Wiederaufbereitungsanlage vorgenommen.

Von einem Transport der Brennelemente zur Wiederaufbereitungsanlage sofort nach dem Reaktorausbau wird aus ökonomischen Gründen abgesehen; er würde allzu dicke Abschirmungen erfordern und hohe Anforderungen an die Kühlung stellen. Gegebenenfalls müssen die Brennelemente vor dem Transport zerlegt werden, um Werkstoffe, die die Wiederaufbereitung erschweren, zu beseitigen und das Transportvolumen zu verringern. Defekte Brennelemente, zum Beispiel solche, welche Hüllensrisse aufweisen, müssen vor der Lagerung eingekapselt werden, um eine radioaktive Verseuchung des Abklingbeckens zu vermeiden (Bild 9). Es ist üblich, die Brennelemente vor dem Versand zur Wiederaufbereitung während drei bis sechs Monaten zu lagern.

Bild 9. Behälter für defekte Brennelemente für das Kernkraftwerk Mühleberg

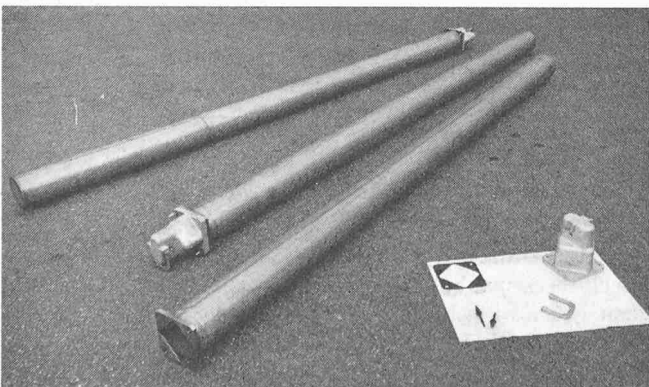


Bild 10 zeigt die Brennelement-Zerlegungseinrichtung, welche im Abklingbecken der Anlage Lucens [5] steht. Der Zerlegungsvorgang vollzieht sich auf einer Art Operationstisch mittels Werkzeugen, welche am Ende von Stangen befestigt sind und durch Operateure betätigt werden oder welche direkt am Operationstisch befestigt sind. Diese Werkzeuge werden mechanisch oder hydraulisch (Wasser) angetrieben.

Bild 11 zeigt eine Lagerstelle für bestrahlte Brennelemente, welche zur Unterwasserspeicherung verwendet wird. Die Lagerstelle ist so gebaut, dass eine kritische Anordnung ausgeschlossen ist (keine Kernkettenreaktion). Die obere Platte der Lagerstelle ist so ausgebildet, dass bei einer Fehloperation während des Einführens eines Brennelementes eine Beschädigung verhindert wird. Am Boden der Lagerstelle sind Stossdämpfer angebracht, welche bei einem unvorhergesehenen, frühzeitigen Loslassen der Brennelemente die kinetische Energie absorbieren würden.

3.4 Transportflasche

Der Transport der Brennelemente ausserhalb des Kraftwerkes vollzieht sich in Flaschen, die mit einer Abschirmung (Blei, Stahl, Uran) versehen sind. Das Abführen der thermischen Leistung (1 bis 100 kW, je nach Fall) muss gewährleistet sein, um die Brennelemente unterhalb der höchsten zulässigen Temperatur zu halten. Verschiedene Vorsichtsmassnahmen müssen getroffen werden, um zum Beispiel eine kritische Anordnung der Brennelemente zu vermeiden oder einen ungewollten Druckanstieg in der Flasche zu verhüten.

Das Laden und Entladen der Brennelemente in der Transportflasche vollzieht sich unter Wasser; deshalb muss diese aussen so beschaffen sein, dass sie eine Dekontamination vor dem Transport erleichtert.

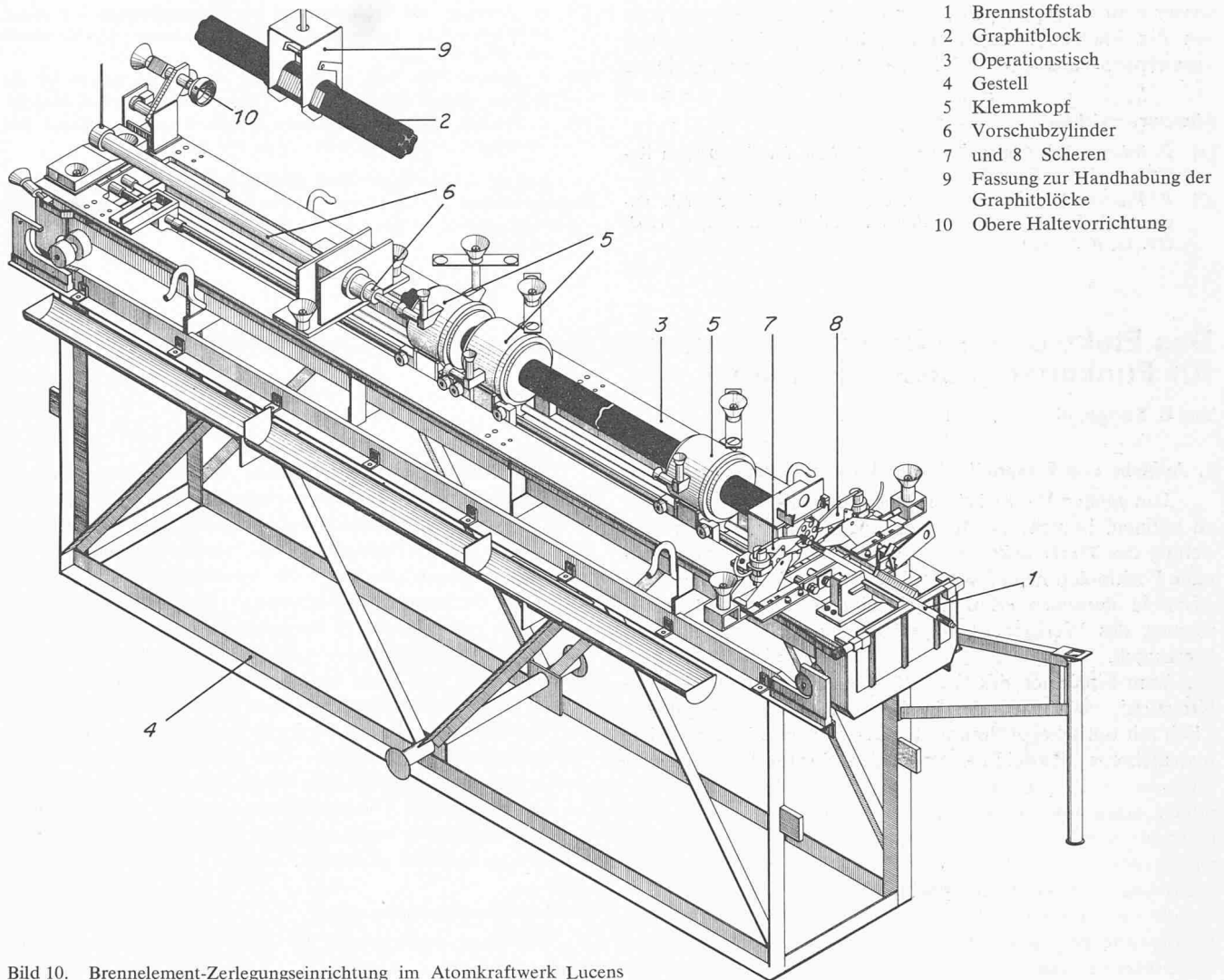
Die Flaschen, welche für Brennelementtransporte ausserhalb der Kraftwerke vorgesehen sind, haben den strengen Vorschriften der «International Atomic Energy Agency» in Wien zu entsprechen. Die Hersteller müssen unter anderem nachweisen, dass die Flasche den unten erwähnten, aufeinanderfolgenden Unfällen standhält, ohne dass die Abschirmung oder die Dichtigkeit der Flasche beschädigt wird:

- 1) Fall aus 9 Metern Höhe auf eine ebene, feste Fläche.
- 2) Fall aus 1 Meter Höhe auf einen vertikal aufgestellten Dorn, Durchmesser 15 cm und Höhe 20 cm.
- 3) Aufenthalt während 30 Minuten in einer strahlenden Umgebung von 800°C (Treibstoff-Feuer).
- 4) Eintauchen unter mindestens 1 Meter Wasser.

Bild 12 zeigt eine 25 Tonnen schwere, mit Blei abgeschirmte Transportflasche, welche für den Strassentransport der defekten, in Druckrohren verschlossenen Brennelemente der Anlage Lucens angefertigt wurde. Die Kühlung erfolgt einerseits durch die aussen auf der Flasche angeschweissten Rippen und andererseits durch einen wasserdurchflossenen Radiator (natürliche Konvektion). Sollte während des Transportes ein Unfall vorkommen, gewährleistet ein Traggestell, welches hoch deformierbar und thermisch isoliert ist, den Schutz der Flasche.

3.5 Steuerung der Brennelement-Handhabungseinrichtung

Der Einfachheit halber und aus wirtschaftlichen Gründen begnügt man sich oft mit einer schrittweisen Steuerung, das heisst einer Steuerung, bei welcher der Operateur jede elementare Bewegung ausführt, um die Einrichtung anhand der Messinstrumentangaben in die gewünschte Stellung zu



- 1 Brennstoffstab
- 2 Graphitblock
- 3 Operationstisch
- 4 Gestell
- 5 Klemmkopf
- 6 Vorschubzylinder
- 7 und 8 Scheren
- 9 Fassung zur Handhabung der Graphitblöcke
- 10 Obere Haltevorrichtung

Bild 10. Brennelement-Zerlegungseinrichtung im Atomkraftwerk Lucens

bringen. Verriegelungen verhüten das Ausführen von vielfach gefährlichen Fehlbewegungen. In anderen Fällen, wie zum Beispiel für die Transfereinrichtung Doel, wird eine vollautomatische Steuerung vorgezogen, welche jedoch jederzeit unterbrochen werden kann, um auf eine schrittweise Steuerung umzuschalten.

4. Schlussfolgerung

Obschon die Grundprinzipien der Brennelementhandhabung im allgemeinen durch den Reaktorlieferanten festgelegt werden, gestatten nur gründliche Kenntnisse der Betriebsbedingungen und eine auf mehrere Ausführungen gestützte Erfahrung das Anbieten wirtschaftlich interes-

Bild 11. Lagerstelle für ausgebrannte Elemente im Kernkraftwerk Beznau

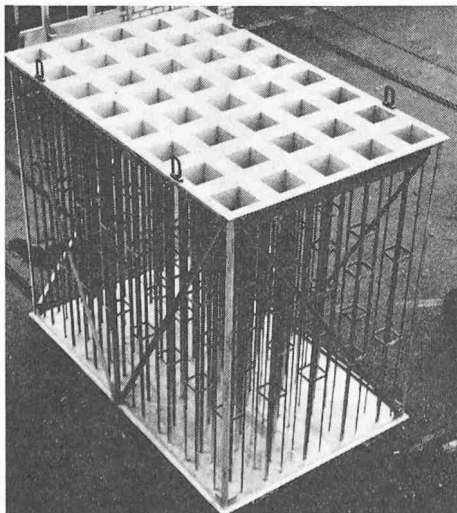
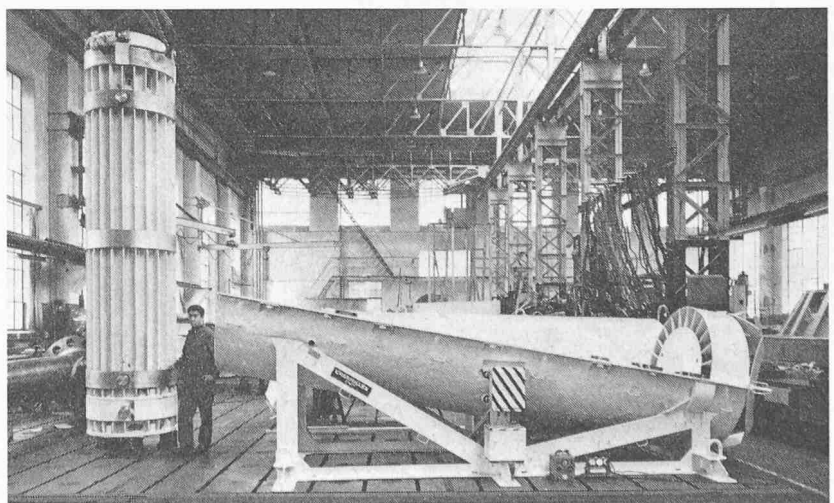


Bild 12. Links Transportflasche für defekte Brennelemente, rechts das Schutz- und Traggestell der Transportflasche für die Anlage Lucens



santer Einrichtungen von hoher Qualität. Idealerweise sollten die Fachleute schon während des Projektierens eng zusammenarbeiten, um die besten Bedingungen zu erzielen.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Ribaux: The Charge/Discharge Machine for the Dragon Reactor - «Neue Technik» 1965, No. B1.
 [2] P. Ribaux: La manutention du combustible de la centrale nucléaire de Lucens - «Informations Techniques Charmilles» 1968, No. 12, p. 57-60.

- [3] H. Sommer: Die Handhabung der Brennelemente im ersten schweizerischen Versuchskernkraftwerk Lucens - «Kerntechnik» 9 (1967), Heft 7.
 [4] P. Ribaux: The fuel handling and storage equipment of the Beznau nuclear power station - «Neue Technik» 1968, No. B4.
 [5] P. Ribaux: Dismantling facility for the Lucens irradiated fuel assemblies - «Neue Technik» 1970, No. B3.

Adresse der Verfasser: Paul Ribaux, dipl. Ing. ETHL, Leiter der kerntechnischen Abteilung, und Thierry Breguet, Ing., kerntechnische Abteilung, beide: Ateliers des Charmilles S. A., 109, rue de Lyon, 1211 Genf 13.

Das Elektrodenführungs- und -vorschubsystem von Charmilles für Funkenerosionsmaschinen

DK 621.96.048.4

Von B. Bonga, dipl. Ing., Genf

1. Aufgabe und Hauptteile der Elektrodenführungsvorrichtung

Um genaue Werkstücke mittels Funkenerosion herstellen zu können, braucht es Mittel zur Aufnahme und zum Einrichten des Werkstückes, einen Werkzeughalter, der eine genaue Positionierung des Werkzeuges sowie ein schnelles Auswechseln desselben erlaubt, und eine genaue Vorschubbewegung des Werkzeuges gegenüber dem zu bearbeitenden Werkstück.

Zum Einrichten des Werkstückes wird ein Koordinaten-Kreuztisch verwendet, für hochpräzise Arbeiten sogar ein Tisch mit optischer Ablesung. Bei der Funkenerosion arbeitet man meistens mit zwei Formelektroden, eine für das Schruppen und eine für das Schlichten. Die Schlichtelektrode muss in der selben Achse und Winkellage wie die Schruppelektrode aufgespannt werden. Spannanzgen sind dazu ungeeignet. Es wurde deshalb ein besonderes Elektroden-Aufspannsystem entwickelt, mit welchem verschiedene Elektrodenhalter verwendet werden können. Bild 1 zeigt einige solcher Halter. Zur Bearbeitung der Elektrode spannt man den Rohling in den zugehörigen Halter ein. Bei der Bearbeitung geht man von den Referenzflächen des Halters aus, Bild 2.

Die Elektrodenvorschubeinheit ist mit einer Elektromagnet-Spannplatte versehen, die erlaubt, den Halter mit einer fertig bearbeiteten Elektrode aufzunehmen (Bild 3). Es treten dabei keine grossen Spannkkräfte auf, welche die Elektrode aus ihrer Lage bringen könnten. Eine Anschlagleiste und ein Stift sorgen für die genaue Positionierung. Die verschiedenen Teile sind leicht von Schmutz zu reinigen, der eine genaue Positionierung verhindern könnte. Allfällige Beschädigungen an der Referenzfläche sind leicht festzustellen und zu beheben.

Es gibt verschiedenartige Konstruktionen, die bezwecken, die Elektroden während ihrem Vorschub gegenüber dem Werkstück sicher zu führen. Die neueste Entwicklung auf diesem Gebiet ist eine Führung mittels hydrostatischen Lagern, die eine sehr genaue Vorschubbewegung des Werkzeuges ohne Reibung ermöglicht und ausserdem eine grosse statische und dynamische Steifheit garantiert.

2. Elektrodenvorschubsysteme

Die Funkenwirkstrecke der elektrischen Entladungen ist relativ gering. Dies erlaubt mit kleinem Arbeitsspalt zu arbeiten und demzufolge genaue Werkstücke herzustellen. Die Führung

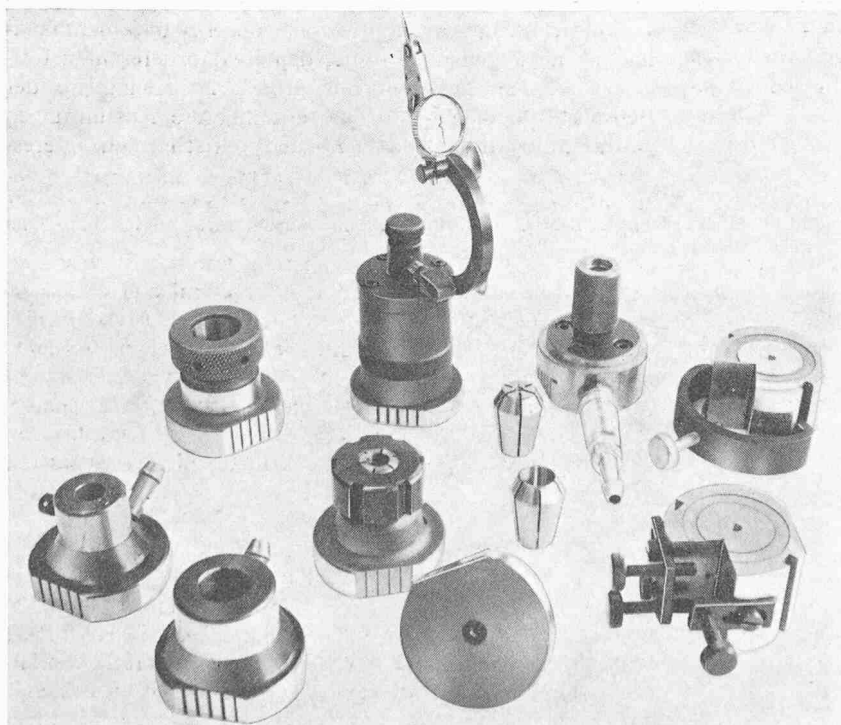


Bild 1. Verschiedene Ausführungen von Elektrodenhaltern

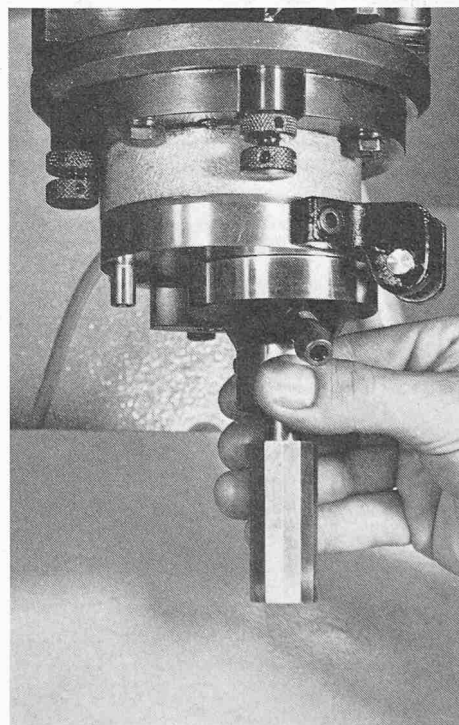


Bild 3. Einsetzen einer Elektrode in einen Halter mit elektromagnetischer Spannplatte