

Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage

Autor(en): **Dubs, Werner R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **127/128 (1946)**

Heft 9: **G.e.P.-Generalversammlung in Lugano**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83892>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

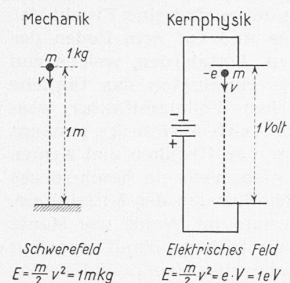


Bild 1. Energieeinheiten der Mechanik und der Kernphysik

Dieser Betrag könnte nach den bisherigen Verfahren erzeugt werden durch die Verbrennung von rd. 3 000 000 kg Kohle. Die gesamte schweizerische Jahresproduktion an elektrischer Energie beträgt rd. 10 Milliarden kWh; sie könnte somit durch die Umwandlung von 400 gr Masse gedeckt werden.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass in der Kernphysik die Energietönungen, die bei der Reaktion der einzelnen Atomkerne auftreten, in einer besonderen Energieeinheit gemessen werden.

Durchläuft ein Elektron mit der Ladung e eine elektrische Spannungsdifferenz V , so wird es beschleunigt. Sein Energiegewinn ist $e \cdot V$ Erg (Bild 1).

Man bezeichnet als 1 Elektronvolt (eV) diejenige kinetische Energie, die das Elektron mit der Ladung e erhält, wenn es eine elektrische Potentialdifferenz von 1 Volt durchläuft. Setzt man die entsprechenden Zahlenwerte ein, so erhält man mit:

$$e = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ el. stat. cgs-Einheiten, } 1 V = 1/300 \text{ el. stat. cgs-Einheiten die Beziehung:}$$

$$1 eV = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ Erg}$$

Meist wird mit der Einheit 1 Million Elektronvolt (MeV) gerechnet. Der Anschluss an die technischen Energieeinheiten wird durch folgende Umrechnungsfaktoren gegeben:

$$1 MeV = 3,827 \cdot 10^{-17} \text{ kcal}$$

$$1 MeV = 4,45 \cdot 10^{-20} \text{ kWh}$$

Nachdem wir eine Vorstellung gewonnen haben über die ungeheure Energiekonzentration in der Materie, wollen wir uns den Prozessen zuwenden, bei denen das erwähnte Wechselspiel der Ueberführung von Materie in Energie in Erscheinung tritt.

Einen der bekanntesten Prozesse dieser Art stellt die natürliche Radioaktivität dar. Das nur in ganz geringen Mengen vorkommende Radium zerfällt jedoch derart langsam (in 1590 Jahren wird erst die Hälfte der Zerfallsenergie frei), dass die Energieumwandlung in der Zeiteinheit technisch nicht von Interesse ist. Von grösster Bedeutung für die Energiegewinnung sind dagegen die bei der künstlichen Atomumwandlung sich abspielenden Kernreaktionen. Zum Verständnis dieser Vorgänge müssen wir kurz den Aufbau des Atoms aus seinen Elementarteilchen in Erinnerung rufen. Auf Grund von genial ausgedachten Versuchen ist es E. Rutherford 1911 gelungen zu beweisen, dass das Atom aus einem winzigen Kern besteht, der von einer Hülle umgeben ist (Bild 2).

Die Bauelemente eines Atoms sind:

Ort	Symbol	Name	Zeichen	Masse*	Ladung**
Hülle	•	Elektron	e	0,000548	- 1
	⊕	Proton	p	1,007582	+ 1
Kern	○	Neutron	n	1,008930	0

*) Einheit der Masse $1,66 \cdot 10^{-24}$ gr

***) Einheit der Ladung $4,80 \cdot 10^{-10}$ el. stat. cgs-Einheiten.

Beim elektrisch neutralen Atom ist die Zahl der Elektronen, die auf den Bohr'schen Bahnen den Atomkern umkreisen, gleich gross, wie die Anzahl der positiven Ladungseinheiten des Kernes. Das einfachste Atom ist das des Wasserstoffs mit einem Proton als Kern und einem Elektron in der Hülle (Bild 3).

Dem Wasserstoff folgt im periodischen System der Elemente das Helium, dessen Atom einen zweifach positiv geladenen Kern

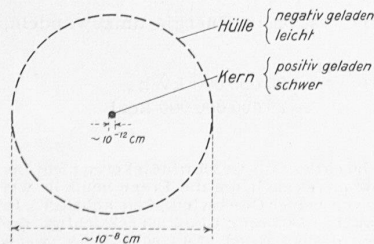


Bild 2. Das Kernatom nach Rutherford (nicht massstäblich!)

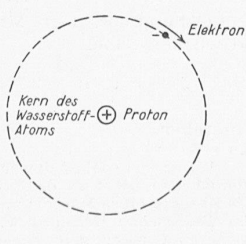


Bild 3. Das Wasserstoffatom

und zwei Elektronen aufweist, deren Abstände vom Kern ungefähr gleich gross sind (Bild 4).

Das schwerste in der Natur vorkommende Atom ist das Uranatom U 238, dessen Kern aus 92 Protonen und 146 Neutronen besteht (Bild 5, vereinfacht).

Die Zahl der Protonen im Atomkern, d. h. die Kernladungszahl, hat für jedes chemische Element einen festen Wert. Sie ist die massgebende Grösse für die chemische Natur eines Elementes. Dagegen ist die Zahl der Neutronen, die im allgemeinen etwas grösser ist als die Protonenzahl, für ein bestimmtes chemisches Element nicht immer gleich gross. Dies hat zur Folge, dass bei gleicher Kernladungszahl und damit bei den gleichen chemischen Eigenschaften verschieden schwere Atomsorten, die Isotope, entstehen. Isotope haben somit bei der gleichen Anzahl Protonen verschiedene Neutronenzahlen und daher verschiedene Massen.

Die durch die chemischen Verfahren dargestellten Elemente erweisen sich sehr oft als ein Gemisch von Isotopen. So gibt es neben dem leichten Wasserstoff, dessen Kern einfach ein Proton ist, noch den schweren Wasserstoff (Deuterium), dessen Kern ein Proton und ein Neutron aufweist (Bild 6).

Der natürliche Wasserstoff ist ein Gemisch von 99,98 % leichtem Wasserstoff und 0,02 % schwerem Wasserstoff. Das Deuterium, d. h. der Kern des schweren Wasserstoffs, ist eines der wirksamsten Geschosse für die Atomumwandlungen. Die Verbindung des Deuteriums mit dem Sauerstoff in der Form D_2O wird als schweres Wasser oder als Deuteriumoxyd bezeichnet. Da sich das schwere Wasser langsamer zersetzt, kann es durch fortgesetzte Elektrolyse im gewöhnlichen Wasser angereichert werden. (Anlage Rjukan, Norwegen.)

In Anbetracht der grossen Bedeutung, die dem schweren Wasser in der Kernphysik zukommt, sind in Tabelle 1 die wichtigsten physikalischen Eigenschaften von natürlichem Wasser und schwerem Wasser einander gegenübergestellt worden.

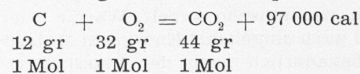
Tabelle 1. Eigenschaften von leichtem Wasser und schwerem Wasser

		H ₂ O	D ₂ O
Molekulargewicht		18	20
spez. Gewicht 20 ° C	kg/dm ³	0,998	1,106
Dichte max. bei	° C	4,0	11,6
kritische Temperatur	° C	374,2	371,5
Gefrierpunkt	} bei 760 mm Hg	0	+ 3,8
Siedepunkt		° C	100

Auch das letzte Element des periodischen Systems, das Uran, besitzt mehrere Isotopen. So besteht das natürliche Uran aus einem Gemisch von drei Isotopen (Bild 7). Bemerkenswert ist, dass die Atomgewichte von Elementen sehr verschiedener Herkunft immer gleich sind, ein Beweis dafür, dass die Mengenverhältnisse der Isotopen überall auf der Erde gleich sein müssen.

Bei den chemischen Prozessen verändert sich nur die Elektronenhülle. Da in diesem Fall der Kern als Hauptträger der Masse nicht beteiligt ist, wird es nach den vorausgehenden Ausführungen über die Aequivalenz von Masse und Energie ohne weiteres klar, dass bei den exotherm verlaufenden chemischen Reaktionen (Verbrennung der Kohle, Explosion von Sprengstoff) die Wärmetönungen klein sind.

Die Verbrennung der Kohle zu Kohlensäure verläuft mit einer Wärmeentwicklung von 97 000 cal pro Mol Kohlenstoff:



Dieser Verbrennungswärme entspricht ein Massenverlust oder Massendefekt von:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{97\,000}{2,389 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{20}} = 4,5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{gr}}{\text{Mol}}$$

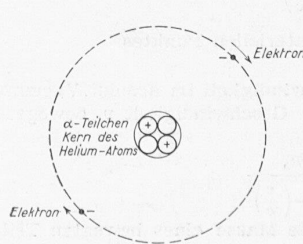


Bild 4. Das Heliumatom

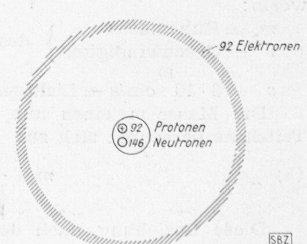


Bild 5. Das Atom des Urans U-238

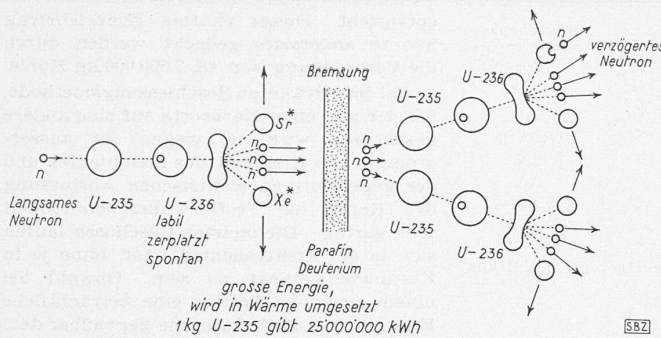


Bild 9. Die Kettenreaktion von Uran - 235

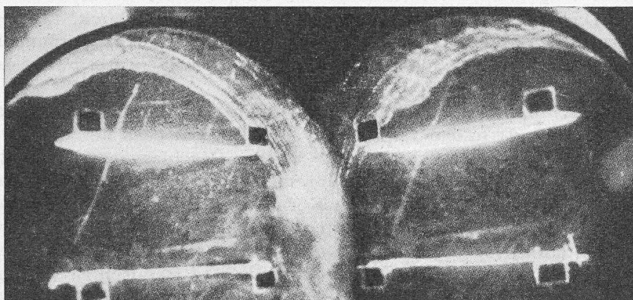
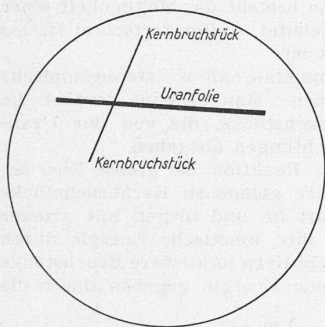


Bild 10 und 10a. Wilsonkammer-Aufnahme von der Spaltung des Urans - 235 durch Neutronen. Aufnahme: D. Corson & R. Thornton, Phys. Rev. 55,509, 1939



In der Kammer sind dünne Uranfolien ausgespannt, die der Einwirkung von Neutronen aus einem Cyclotron ausgesetzt sind

Das unmittelbare Produkt der Spaltung des Urankerns U 235 sind zwei schwere, nicht beständige Isotope der Elemente Xenon und Strontium, die sich im β -Zerfall (d.h. Emission von Elektronen) nach Art der radioaktiven Reihen in stabile Elemente umwandeln.

Es kann gezeigt werden, dass die schweren Kerne zur Sicherung ihrer Stabilität einen gewissen Neutronenüberschuss enthalten müssen. Das Verhältnis der Neutronenzahl (n) zur Protonenzahl (p) wächst vom Wert 1 bei den leichten Elementen zu den schweren Elementen auf 1,6 an (Bild 11).

Zerfällt nun der Zwischenkern U 236 spontan, so ist bei den leichteren Zerfallskernen das Verhältnis der Neutronenzahl zur Protonenzahl kleiner als beim schweren Urankern und es werden einige Neutronen in Freiheit gesetzt. Zur Aufrechterhaltung einer Kettenreaktion ist aber die Tatsache einer Neutronenvermehrung allein nicht hinreichend, sondern es müssen die abgespaltenen Neutronen auch genügend kinetische Energie besitzen, um selbst wieder den Primärprozess auszulösen.

Damit nicht zu viele Neutronen die Uranmasse ohne Wirkung verlassen und sich im Raum verlieren, ist es notwendig, dass das Reaktionsmaterial U 235 in einer gewissen Mindestmenge vorhanden ist. So aussichtsreich die Reaktion mit Uran-235 zunächst erscheint, so muss andererseits in Rechnung gestellt werden, dass dieses Uranisotop nur zu 0,7% im natürlichen Uran enthalten ist.

Eines der wichtigsten Ausgangsmaterialien für die Gewinnung des Urans ist die Uranpechblende, die wegen ihres Radiumgehaltes um die Jahrhundertwende bekannt geworden ist. In 100 kg Uranpechblende sind enthalten rd. 75 kg Uranoxyd U_3O_8 , darin rd. 63 kg natürliches

Uran und in diesem rd. 0,450 kg Uranisotop U 235.

Die Trennung des Uranisotops U 235 vom Uran-238 ist aber wegen dem chemisch gleichen Verhalten der Isotope ausserordentlich schwierig und verlangt einen riesigen Aufwand. Brauchbar sind nur Verfahren, die die sehr geringe Verschiedenheit der Massen ausnützen.

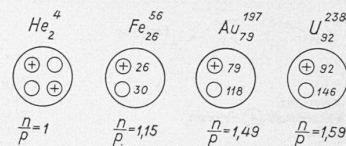


Bild 11. Das Verhältnis der Neutronenzahl (n) zur Protonenzahl (p) bei verschiedenen chemischen Elementen

Von diesen hat vor allem das Thermodiffusionsverfahren, das zur Gewinnung der notwendigen Menge von Uran-235 für die erste Atombombe angewendet wurde, besondere Bedeutung erlangt. Darnach wurde in den Trennkolonnen von Oak Ridge (Bild 12) erstmals in technischem Ausmass das Uran-235 von 0,7% auf etwa 40% (?) angereichert.

Nach Untersuchungen (vor 1920) von Enskog und S. Chapman (England) besteht beim Vorhandensein eines Temperaturgradienten, in einer Gasmischung die Tendenz, dass sich eine Sorte der Moleküle in der kalten, die andere in der warmen Zone anreichert. Dieses Bestreben hängt nicht nur vom Molekulargewicht, sondern auch von den Kräften zwischen den Molekülen ab.

Der Thermodiffusionseffekt wurde erstmals von H. Clusius und G. Dickel (München) zur Trennung von Isotopen angewendet. Bringt man ein gasförmiges Isotopengemisch in ein vertikales Rohr, das in seiner Axe durch ein zweites geheiztes Rohr begrenzt wird, so reichern sich die Gasmoleküle des schwereren Isotops an der kalten Wand des äusseren Rohres an und sinken dort ab, während die Moleküle des leichten Isotops an der heissen Wand des Innenrohres emporsteigen (Bild 13). Man erhält so im oberen Teil des Trennrohres eine grössere Konzentration des leichteren Isotops. Die Konzentrationsänderung ist allerdings nur sehr gering, so dass für eine genügende Anreicherung eine grosse Zahl solcher Trennröhre hintereinander geschaltet werden muss. In der amerikanischen Grossanlage ist es nach Ueberwindung grosser Schwierigkeiten gelungen, den Thermodiffusionseffekt von Flüssigkeiten zur Trennung des leichten und schweren Uranhexafluorides anzuwenden. Die Theorie der Thermodiffusion in Gasen ist sehr verwickelt und in Flüssigkeiten noch komplizierter.

Weitere Einzelheiten über die verschiedenen sehr interessanten Verfahren zur Trennung der Uranisotopen können dem offiziellen Bericht von H. D. Smyth entnommen werden.³⁾ Da für den Betrieb einer «Uranenergieanlage» das natürliche Uran verwendet werden kann und dabei gleichzeitig Plutonium entsteht, das als Explosivstoff der heutigen Atombombe dient, beansprucht die Reindarstellung des Urans-235 im Wesentlichen nur noch historisches Interesse.

Das Uran-238 reagiert in ganz anderer Weise auf eine Neutronenbombardierung als U 235. Während das Uranisotop U 235 nur mit langsamen Neutronen wirkungsvoll gespalten werden

³⁾ H. D. Smyth: «Atomic Energy». A General Account of the Development of Methods of Using Atomic Energy for Military Purposes under the Auspices of the United States Government 1940-1945. Published in the United States of America by the Government Printing Office, 1945.

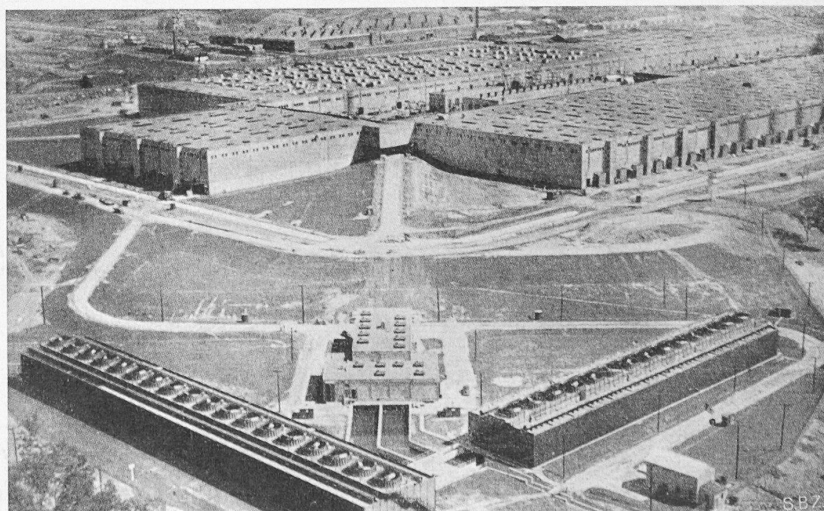


Bild 12. Anlagen zur Trennung der Uranisotopen in Oak-Ridge U. S. A. Quelle s. Fussnote ³⁾

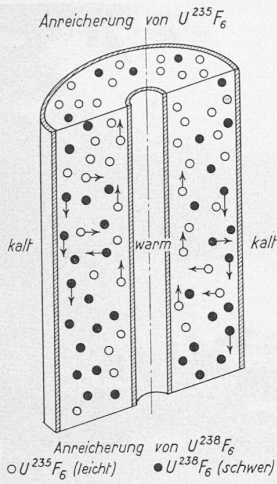


Bild 13. Prinzip der Thermosdiffusion

kerns U239 in das Element Neptunium und weiter in das Element Plutonium zu verwandeln. Die Elemente Uran 239 und Neptunium sind β -Strahler, d.h. in ihrem Kern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um und sendet dabei ein Elektron aus. Damit rückt aber die Ordnungszahl um eine Einheit hinauf und wir erhalten die chemisch neuen Elemente Neptunium (Np) und Plutonium (Pu) (Bild 14). Das Plutonium ist ebenfalls ein radioaktives Element; es zerfällt unter Aussenden eines α -Teilchens in Uran-235. Die Zerfallswahrscheinlichkeit ist jedoch derart gering, dass der Kern praktisch als stabil angesehen werden kann. Der Plutoniumkern eignet sich in analoger Weise wie der Kern des Urans-235 sehr gut für eine Kettenreaktion, namentlich zur detonativen Energieproduktion in der Bombe.

Da den Elementen Neptunium und Plutonium, die in der freien Natur nicht vorkommen, die Ordnungszahlen 93 und 94 zugeordnet werden müssen, stehen sie im periodischen System der Elemente jenseits des Urans und werden daher auch als Transurane bezeichnet.

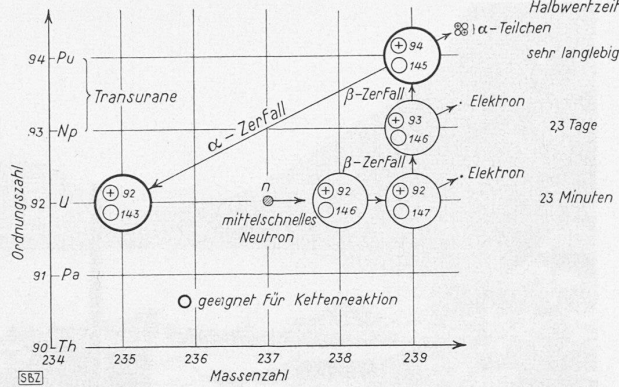


Bild 14. Die Umwandlung des Urans-238

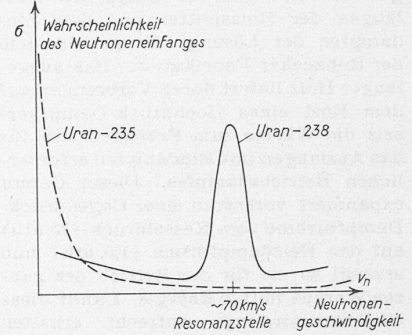


Bild 15. Die Einfangwahrscheinlichkeit für Neutronen verschiedener Geschwindigkeiten in Uran-235 und Uran-238

In diesem Zusammenhang mag die Tatsache von Interesse sein, dass die Entdeckung der Transurane auf Prof. E. Fermi (Rom) zurückgeht, der bereits im Jahre 1934 entsprechende Arbeiten veröffentlicht hat.

Trifft bei einer Beschiessung des natürlichen Urans ein langsames Neutron zufällig (im Mittel nach etwa 200 Stößen) auf einen der seltenen Kerne des Urans 235, so löst es in bekannter Weise eine Spaltung dieses Atomkerns aus. Die dabei freiwerdenden schnellen Neutronen verlieren durch Stöße mit den übrigen Urankernen einen Teil ihrer kinetischen Energie und durchlaufen bei dieser Gelegenheit den Geschwindigkeitsbereich, in dem sie von den in erdrückender Mehrzahl vorhandenen Kernen des Urans-238 besonders leicht eingefangen werden (Bild 15). Dies hat zur Folge, dass praktisch keine langsamen Neutronen für eine weitere Spaltung des Urans 235 mehr übrig bleiben und daher die Kettenreaktion erlischt. Das Uran 238 absorbiert also bei seiner Umwandlung die für die Kette notwendigen Neutronen, ohne selbst neue Neutronen freizugeben.

Trotz dieser Schwierigkeiten haben die amerikanischen Physiker den Weg gefunden, die Kettenreaktion mit dem natürlichen Uran in Gang zu halten. (Schluss folgt)

Gerbstoff-Fabrikation bei der „Tannini Ticinesi S. A.“ in Maroggia-Melano

Allgemeines

Die zum Ledergerben erforderlichen Gerbstoffe kommen in der Natur vor allem in der Rinde und dem Holz verschiedener Pflanzen vor; am bekanntesten sind die Rinden von Eichen, Fichten und Mimosen (Süd-Afrika), ferner Quebrachoholz (Argentinien und Paraguay), sowie Holz und Rinde der Edelkastanie. Bei der Schnellgerberei werden die Häute direkt in gerbstoffhaltige Lösungen (Gerbrühen) gebracht und nicht wie bei der Grubengerberei mit gerbstoffhaltiger Loh vermisch, wodurch der Prozess in wenigen Monaten, sogar Wochen beendet ist. Hierzu muss der Gerbstoff aber vorerst aus den Pflanzenteilen extrahiert und in die Form einer konzentrierten Flüssigkeit oder eines festen, in Wasser löslichen Stoffes umgearbeitet werden. Die Herstellung von solchem Gerbstoffextrakt oder Tannin ist die Aufgabe der Tannini Ticinesi Maroggia-Melano.

Ausgangsstoff bildet hier ausschliesslich das Holz der Edelkastanie, das in den Wäldern des Kantons Tessin, der südlichen Bündnertäler und der benachbarten, am Südfuss der Alpen gelegenen Gebiete Italiens wächst. Diese Vorkommen bestimmten die Ortswahl für den Fabrikbau am Südende des Luganersees mit günstigem Anschluss an Bahn, Strasse und See.

Eine vorsichtige, auf lange Sicht geplante Nutzung der Waldbestände unter Beachtung der geltenden Forstgesetze und in enger Arbeitsgemeinschaft mit den massgebenden Forstämtern sichert die Stetigkeit der Rohstoffversorgung und ergibt den besten Ertrag. Es ist daher zur Pflege des Nachwuchses ein Fonds für den Anbau und die Nachpflanzung von Kastanienbäumen beim Forst- und Landwirtschaftsdepartement des Kantons Tessin gegründet worden, der durch Beiträge der Industrie, des Kantons und des Bundes gespiessen wird. In verschiedenen Baumschulen werden junge Bäume nachgezogen und den Waldbesitzern zu besonders günstigen Preisen abgegeben. Neue Pflanzungen erhalten Subventionen, günstig gelegene junge Bäume werden veredelt und schöne Bestände prämiert.

Die Notwendigkeit der Selbstversorgung mit einheimischen Gerbstoffen hat sich für die Schweiz erstmals während des Krieges 1914/18 ergeben und im Jahre 1917 zur Gründung der ersten schweizerischen Tanninfabrik in Chiasso geführt. Dieses Werk hat sich gut entwickelt; der stets wachsende Bedarf machte nach zehnjährigem Betrieb eine vollständige Erneuerung nötig. Verschiedene Gründe liessen eine Verlegung an den gegenwärtigen Standort in der Nähe von Melano als vorteilhaft erscheinen. Im Jahre 1928 schritt man zum Bau einer neuen, nach modernen Grundsätzen gebauten Fabrik, die am 1. August 1930 dem Betrieb übergeben werden konnte und nachfolgend beschrieben werden soll. Sie verarbeitet im Mittel jährlich 25 000 t Edelkastanienholz und erzeugt daraus rd. 2500 t Tannin. Der tägliche Durchsatz beträgt 100 t Holz und 10 t Tannin.

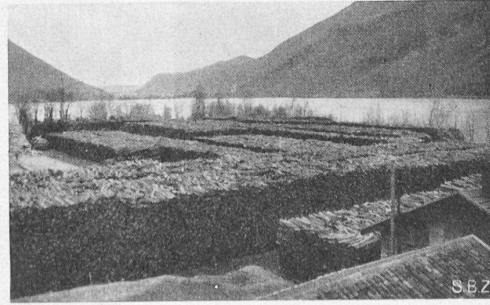
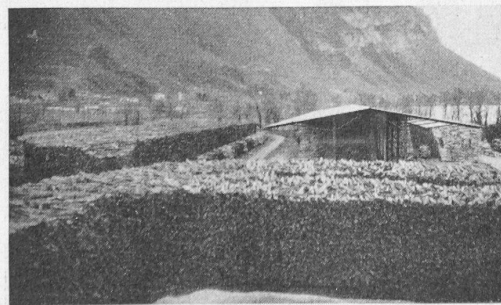


Bild 1a und 1b. Kastanienholzlager der «Tannini Ticinesi S. A.» in Maroggia-Melano

Der Arbeitsprozess besteht aus drei getrennten Vorgängen